

O. Beyreis · A. Heller · E. M. Bursche

Außenlufthygiene

Gustav Fischer Verlag · Stuttgart

SCHRIFTENREIHE

DES VEREINS FÜR WASSER-, BODEN- UND LUFTHYGIENE
BERLIN-DAHLEM / GEGRÜNDET IM JAHRE 1902

HERAUSGEGEBEN IM AUFTRAGE DES
VEREINS FÜR WASSER-, BODEN- UND LUFTHYGIENE
VON PROF. DR. E. TIEGS

Nr. 10

Beiträge zur Außenlufthygiene

von

Dr. O. Beyreis · Prof. Dr. A. Heller

Dr. Eva-Maria Bursche



GUSTAV FISCHER VERLAG · STUTTGART

1955

Alle Rechte vorbehalten
Copyright by Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem
Printed in Germany

Druck: A.W. Hayn's Erben, Berlin West

Herrn Bergwerksdirektor

Prof. Dr. Dr. h. c. K. Oberste-Brink

Vorsitzendem des Vereins für Wasser-,

Boden- und Lufthygiene

zu seinem 70. Geburtstage

Vorwort

In Juni 1927 hielt der Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene seine erste Wanderversammlung in Essen ab, in der ausführlich über alle Arbeitsgebiete der damaligen Preußischen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene berichtet wurde. Auch über die im Jahre 1923 neu von der Landesanstalt aufgenommene Arbeit über Lufthygiene wurde erstmals vor einem großen Kreis in mehreren, umfassenden Vorträgen berichtet. Seit dieser Zeit hat dieses Arbeitsgebiet eine wachsende Bedeutung erlangt. Die Reinhaltung der Luft ist nicht nur für die Gesundheit der Bevölkerung, sondern auch für die Gesamtwirtschaft von großem Wert. Sie ist in einer Industrie-egend oft kostspielig; häufig können allerdings auch volkswirtschaftlich wertvolle Stoffe dabei zurückgewonnen werden. Die Amerikaner versuchen, einen brauchbaren Weg zu finden, da auch bei ihnen die Gefahren der Luftverunreinigung erkannt sind.

Es erschien uns daher wertvoll, die wesentlichen Erfahrungen und Gedankengänge der Amerikaner unseren Mitgliedern und den anderen an diesen Fragen interessierten Kreisen zu übermitteln. In diesem Heft sind zwei weitere lufthygienische Arbeiten aufgenommen worden, die zeigen, daß man sich auch in Deutschland mit diesen Fragen auseinandersetzt.

E. Tieg s

Lufthygiene in den USA

Von Dr. med. O. BEYREIS, Obermedizinalrat i. R.

Bei uns in Deutschland hat man sich verhältnismäßig selten und erst ziemlich spät mit der Lufthygiene befaßt. Neben M. RUBNER¹⁾ waren es wohl zuerst C. FLÜGGE²⁾ und K. B. LEHMANN³⁾, die sich mit der Einwirkung schädlicher Luftbestandteile auf den Organismus und mit der Verbesserung der Luft beschäftigten. Sie prüften in erster Linie die Verhältnisse in geschlossenen Räumen und in Fabriken, während die Luftverunreinigungen in der freien Luft sie weniger interessierten. Abgesehen von den richtig erkannten Einwirkungen der klimatischen Faktoren waren bis zur Jahrhundertwende die Ergebnisse auf diesem Gebiet nur gering. Erst mit der Verbesserung der biologischen, chemischen, physikalischen und meteorologischen Untersuchungsmethoden und seit der Beauftragung der Preussischen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene mit diesem Arbeitsgebiet⁴⁾ ist eine größere Klarheit gewonnen worden. Je rascher unsere Industrie wuchs, desto bedeutsamer wurde — neben der Abwasserbeseitigung — die Lufthygiene. Von gesicherten Ergebnissen können wir aber auch heute nur auf Teilgebieten sprechen. Um so interessanter sind für uns die Methoden und Fortschritte in den USA, die im Kriege mit bedeutenden Mitteln auf diesem Gebiet forschend und praktisch tätig gewesen sind.

Kein Staat hat so rasch gewaltige Großstädte und eine überdimensionale Industrie aufgebaut wie die Vereinigten Staaten von Nordamerika; deshalb sieht man sich dort auch den beiden großen Problemen, welche diese Entwicklung mit sich bringt, der Beseitigung der Abwässer und den Schäden durch die Luftverunreinigungen, viel unmittelbarer gegenübergestellt als das bei uns der Fall war. Das bei uns noch nicht genügend beachtete Problem der Luftverunreinigung bewegt die führenden Männer der USA in so hohem Maße, daß am 10. Dezember 1949 Präsident HARRY TRUMAN die Weisung gab, durch eine interministerielle Kommission und durch die interessierten privaten und öffentlichen Kreise den augenblicklichen Stand der Erfahrungen auf diesem schwierigen Gebiet zusammenzufassen, und zu prüfen, was man zur Verhütung schädlicher Einwirkungen von Luftverunreinigungen unternehmen könne. Die Ergebnisse des am 3. Mai 1950 zusammengetretenen Kongresses legt Louis C. McCABE auf Weisung von Präsident TRUMAN der Öffentlichkeit vor⁵⁾. Neben den Hauptsitzungen wurden in sieben Unter-

¹⁾ M. RUBNER: Hygienische Nachteile der übermäßigen Rauchentwicklung, Vierteljahresschr. f. gerichtl. Med. u. öffl. Sanitätswesen, 3. F., Bd. 21, 1901.

²⁾ CARL FLÜGGE: Grundriß der Hygiene, Leipzig, Veit u. Co, 1908, VI. Aufl.

³⁾ K. B. LEHMANN: Experimentelle Studien über den Einfluß hygienisch und technisch wichtiger Gase und Dämpfe auf den Organismus. Arch. Hyg., 1893, S. 180 u. S. 324.

⁴⁾ R. WELDERT u. E. TIEGS: Die Hygiene der Luft, Wasser u. Gas, Nr. 22 vom 25. 2. 1921, S. A.

⁵⁾ LOUIS C. McCABE: Air Pollution, Proceedings of the United States, Technical Conference on Air Pollution (Luftverunreinigungen, Verfahren u. Fortschritte der Vereinigten Staaten, Technische Konferenz über Luftverunreinigungen), McGraw — Hill Book Company, Inc., New York, Toronto, London, 1952. XIV + 847 S., zahlreiche Abb. und Tabellen.

gruppen Sitzungen abgehalten, und zwar für

1. land- und forstwirtschaftliche Fragen,
2. analytische Methoden und Möglichkeiten,
3. Ausrüstung,
4. Gesundheitswesen,
5. Instrumente,
6. Gesetzgebung,
7. Meteorologie.

Beteiligt waren an diesem Kongreß die maßgebenden Referenten des Innenministeriums, des Öffentlichen Gesundheitsdienstes, der Bergverwaltung, des Landwirtschaftsministeriums, die Atom-Energie-Kommission, der Wetterdienst, das Normenbüro, die wissenschaftlichen Abteilungen von Heer, Marine und Luftwaffe, die Universitäten, Technischen Hochschulen und wissenschaftlichen Stiftungen sowie eine Reihe interessierter Fachleute aus der Industrie und der Wirtschaft. Dem Kongreß wurde eine vom 2. Mai 1950 datierte Botschaft Präsident TRUMANS überreicht, in welcher er darauf hinweist, daß

die ständig wachsende Luftverunreinigung ein sehr ernstes Problem darstelle, das alle Bevölkerungsgruppen bewege. Die Luftverunreinigungen entwerteten Eigentum, schädigten die Kulturen, die Städte und das Land. Er wies auf das Unglück von Donora, Pa., hin, wo im Oktober 1948 infolge ungünstiger meteorologischer Verhältnisse durch die Luftverunreinigungen 6000 Personen (das sind 42 % der Gesamtbevölkerung des Ortes) erkrankten. Von ihnen starben 20. Die Gesundheitsschäden, welche durch Luftverunreinigungen entstehen könnten, seien besonders wichtig. Deshalb sei es bedeutungsvoll, die Zusammenhänge zwischen Luftverunreinigungen und Krankheit herauszufinden.

Auf dem Kongreß wurden auch Erfahrungen aus Großbritannien, Kanada und den Niederlanden vorgetragen. Der Leiter der ständigen Konferenz der Vereinigten Gesellschaften, betr. Luftverunreinigungen, London, teilte bei der Eröffnungssitzung mit, daß die Luftverunreinigungen in Großbritannien durch ein über das ganze Land ausgebreitetes Kontrollsystem überwacht werden, das in engster Zusammenarbeit mit den örtlichen Sanitäts- und Medizinalbehörden sowie mit mehreren anderen Organisationen zusammenarbeite. Durch dieses Überwachungssystem würden die einfachen, örtlichen Untersuchungen durchgeführt.

Schwierigkeiten bei der Ermittlung der Ursachen

Der Zusammenhang von „Schaden“ und „Luftverunreinigung“ ist keineswegs leicht festzustellen. Es spielen dabei meteorologische Vorgänge, Luftströmungen, die Lufttemperatur, der Feuchtigkeitsgehalt, die elektrische Leitfähigkeit der Luft, Wirbelströme, die täglichen, stündlichen und jahreszeitlichen Luftveränderungen eine bedeutsame Rolle. Pflanzen und Tiere sind gute biologische Tests. Die Unterschiedlichkeit der Wirkung von Luftabgasen ist aber groß. Bald sind Pflanzen empfindlicher, bald Tiere; auch die einzelnen Arten reagieren gegen einzelne Schäden recht verschieden. Die Einwirkungszeit und die Konzentration spielt dabei eine große Rolle. Jedenfalls sind biologische Tests nicht selten empfindlicher als chemische Untersuchungen.

Schäden durch Luftverunreinigungen in USA

V. WEBSTER JOHNSON⁶⁾ schätzt den jährlichen Schaden, der bei Menschen, Haustieren, Pflanzen, Gebäuden und anderem Material durch Luftverunreinigungen angerichtet wird, auf 1 500 000 000 Dollar oder auf 10 Dollar je Kopf und Jahr. Die Ausgaben von Industrie und Ortsbehörden zur Abwendung von Schäden betragen 100 000 000 Dollar im Jahr. Dabei könnten manche Schäden gar nicht in Geld ausgedrückt werden, z. B. Gesundheitsschäden. Das klassische Beispiel für Schäden durch Luftverunreinigungen ist die Zerstörung des Parlamentsgebäudes in London. Dort werden jedes Jahr rund 500 000 Tonnen Schwefelsäure in die Luft gelassen⁷⁾. In Großbritannien werden etwa 200 Millionen Tonnen Kohle im Jahr mit einem Schwefelgehalt von 1,5 % verbraucht. Das sind rund drei Millionen Tonnen Schwefel, die etwa sechs Millionen Tonnen schwefliger Säure oder fast zehn Millionen Tonnen Schwefelsäure entsprechen. Die entsprechende Zahl in den USA ist nach Dr. LESSING bei einem etwas höheren Schwefelgehalt der amerikanischen Kohle und dem mehr als dreimal so hohen Kohleverbrauch mehr als 30 Millionen Tonnen Schwefelsäure im Jahr. Zu dieser Summe muß man die Menge schwefliger Säure hinzurechnen, die durch Heizöl erzeugt wird, so daß man in den USA mit einer Immission von über 50 Millionen Tonnen Schwefelsäure im Jahr rechnen kann. Zu den Schäden durch Luftverunreinigungen gehören neben den Schäden an Pflanzen, Wald, Tieren, Eigentum und der Gesundheit der Bevölkerung auch die Wirkungen durch die Beschleunigung der Erosion, der vermehrten Sedimentation in den Binnengewässern und den Speichern und der Verlust an Wasser durch die Vernichtung der Vegetation. Einen erheblichen Teil dieser Verluste kann man in Geld nicht ausdrücken.

Schaden in der Land- und Forstwirtschaft

Mehrere Arbeiten beschäftigen sich mit akuten und chronischen Schäden der Pflanzen durch Schwefeldioxyd (SO_2) und Schwefeltrioxyd (SO_3). SO_2 ist eine der hauptsächlichsten Noxen für die Vegetation. Die Pflanzen haben das Vermögen, einen Teil der SO_2 zu SO_3 zu oxydieren, das weniger schädlich ist als SO_2 . Über die Schädlichkeit dieser Gase und über die Wirkungen auf die Vegetation liegen umfangreiche Untersuchungen und Beobachtungen auch bei uns mit ähnlichen Ergebnissen vor⁸⁾, so daß sich eine Besprechung an dieser Stelle erübrigt. Schwefelwasserstoff und Merkaptane sind nicht schädlich für die Vegetation. Wenig ist über die Giftigkeit des Ozons bekannt, das normalerweise in einer Konzentration von 0,01 bis 0,02 % in der Atmosphäre enthalten ist. Als ein besonderer Schaden wurde der Silberblattschaden (silver leaf injury) von Los Angeles⁹⁾ geschildert, dessen Ursache bisher noch nicht ermittelt werden konnte. Möglicherweise liegen Schadeinwirkungen von organischen oder von mehreren Stoffen vor.

Sieben Vorträge beschäftigen sich mit der Einwirkung von Fluor auf Pflanzen und Haustiere, ein Thema, das während des letzten Weltkrieges eine

⁶⁾ WEBSTER JOHNSON: Air pollution in relation to economics, aus (5) S. 37 ff.

⁷⁾ Dr. LESSING, aus (5) S. 22.

⁸⁾ Literatur siehe z. B. bei E. TIEGS: Rauchschäden, in Sorauers Handb. d. Pflanzenkrankheiten, Berlin, Paul Paray, 1934.

⁹⁾ MOYER D. THOMAS, RUSSEL H. HENDRICKS & GEORG R. HILL: Some impurities in the air and their effects on plants, aus (5) S. 41 ff.

überraschende Bedeutung erlangte. Im Staate Tennessee wurden zum Studium der Fluorwirkung zwei Versuchsfarmen in verschiedenen Gegenden eingerichtet. Die Untersuchungen erstreckten sich nicht nur auf Flußsäure, sondern auch auf fluorhaltigen Staub, der den Fluorgehalt im Futter und im Boden stark anreichern kann. Die Fluorimmissionen erfolgten von Aluminiumwerken oder von Fabriken, die Superphosphat und Tricalciumphosphat herstellen. Pflanzen können Fluor in Gasform (H_2F_2) oder als Nebeltröpfchen durch ihre Spaltöffnungen oder aber auch durch die Wurzeln aus dem Boden aufnehmen. Der Weg kann durch Röntgenuntersuchung festgestellt werden. Zur Feststellung der Bodenverunreinigungen durch Luftimmissionen ist deshalb die Untersuchung nicht betroffener Bodenproben auf den Fluorgehalt notwendig. Auch Pflanzen, die selbst keine typischen Fluorschäden aufweisen, können durch Verfütterung bei den Haustieren Fluorosis auslösen¹⁰⁾. Die Tiere können auch Fluorsalze (Apatit) mit dem Wasser aufnehmen. Kalkhaltiger Boden vermag das Fluor weitgehend zu binden, so daß es für die Pflanzen ungefährlich wird. Pflanzen und Bäume zeigen charakteristische Veränderungen an Blättern und Nadeln. Am empfindlichsten sind die jungen Blätter, während die älteren Pflanzenteile widerstandsfähiger sind¹¹⁾. Durch getrennte chemische Untersuchung der einzelnen Teile (Wurzeln, Stengel, Blätter) kann der Aufnahmeweg des Fluors auch bestimmt werden. — Bei Haustieren sind entsprechende Beobachtungen gemacht. In der vorrherrschenden Windrichtung von den Fabriken werden die F-Gase und -Staube bis auf eine Entfernung von sieben englischen Meilen fortgetragen (= 11,25 km). Eine länger dauernde, mittlere Zufuhr von Fluor ist schädlicher als eine kurzdauernde, aber entsprechend höhere Exposition. Die ersten Zeichen von Fluorosis bei Haustieren sind die Hypoplasie des Zahnschmelzes, die Fleckelung und Lochbildung in den Schneidezähnen. Bei höheren Graden der Fluoraufnahme kommt es zu abnormem Knochenwachstum, zu ungenügender Nahrungsaufnahme, zu Auszehrung, Durchfall, Abnahme der Milchproduktion und der Fortpflanzungsfähigkeit.

Von verschiedenen Seiten wurde darauf aufmerksam gemacht, wie schwierig es auf dem Gebiet der Land- und Fortwirtschaft sei, die durch Luftverunreinigungen hervorgerufenen Schäden von den Schäden anderer Art, z. B. infolge von Trockenheit oder zu großer Feuchtigkeit, von Frost, Insektenschäden, Schäden durch Bestäubungsmittel oder aber auch von Pflanzenkrankheiten zu unterscheiden.

Analytische Methoden

Bei der Schwierigkeit, andere Schäden an Pflanzen und Tieren von den Rauch- und Abgasschäden zu trennen, kommt den analytischen Methoden zur Feststellung bestimmter Stoffe in der Luft eine große Bedeutung zu. Die somatischen Veränderungen allein genügen hierzu in der Regel nicht, worauf besonders deutsche Botaniker immer wieder hingewiesen haben¹²⁾. Deshalb ist

¹⁰⁾ WALTER H. MacINTIRE: Air versus soil as channels for fluoric contamination of vegetation in two Tennessee locals. aus (5) S. 53.

¹¹⁾ ROBERT H. DAINES, IDA LEONE & EILEEN BRENNAN: The effect of Fluorine on plants as determined by soil nutrition and fumigation studies, aus (5) S. 97 ff.

¹²⁾ Literatur bei E. TIEGS (8).

gerade auf diesem Gebiet in den USA ausgiebig gearbeitet worden. Die Größe und Schwere der einzelnen Partikel sind nicht nur für die Streuweite von entscheidender Bedeutung, sondern auch für die Wirkungsweise verschiedener Reinigungsmethoden. Die Probeentnahmen für Gase sind in einem Code zusammengestellt. Schwere Teilchen werden nach den auch bei uns üblichen Verfahren in einer längeren Beobachtungszeit, gewöhnlich von 30 Tagen, gesammelt. Aerosole werden durch Sedimentation, photometrische Methoden, mit Zentrifugen, Filtern, Wäschern oder Elektrofiltern gesammelt und bestimmt. Die Wahl der Methode ist für das Ergebnis entscheidend. Größe, Gestalt und Dichtigkeit von Teilchen bis zu 0,002 Mikron werden mit dem Elektronenmikroskop gemessen. Die chemische Beschaffenheit wird bei geringen Mengen spektrographisch bestimmt. Mit Hilfe von Ballons und einer Luftpumpe können bis zu Höhen von 152 m Gase aus der Luft in der Nähe der Schornsteine oder in weiterem Umkreis zur Untersuchung entnommen werden (Batelle-Methode)¹³⁾.

Die Schwierigkeiten der Analyse sind dadurch bedingt, daß in einer großen Luftmenge nur eine kleine Menge des Schadstoffes vorhanden ist, der als Gas, Staub oder in Form von Tröpfchen ganz verschiedener Teilgröße auftreten kann. Eine weitere Schwierigkeit entsteht dadurch, daß die Schadstoffe unter Einwirkung von Wärme, Wasser, Sonne, der Luft oder anderer Stoffe ihre chemische Zusammensetzung rasch ändern und danach schwer zu erkennen sind. Bei den modernen Raffinationsprodukten, z. B. des Petroleums, werden etwa 90 verschiedene Hydrocarbonate in die Luft geblasen; bei den Crack-Produkten auch zahlreiche ungesättigte Hydrocarbonate. Auch die Müllverbrennung, die in der Regel eine unvollständige Verbrennung ist, führt zur Bildung von Alkoholen, Ketonen, Aldehyden, Phenolen und Phenoläthern. Im ganzen werden mehr als 100 dieser Destillate gezählt, die die Luft verunreinigen¹⁴⁾.

Schwefelverbindungen in Luftverunreinigungen

Schwefelverbindungen gehören zu den am häufigsten angetroffenen Stoffen in den Luftverunreinigungen. Ihnen werden oft die schwersten Schadwirkungen zugeschrieben. Neben SO_2 und SO_3 kommen H_2S und freier S vor, ferner CS_2 , Methanaethiol (Methylmercaptan), Na_2CS_3 , NaCS_2 und andere organische Verbindungen, z. B. Allyl- und Propyldisulfide, die beide starke Reizwirkung haben. Bei Anwesenheit von SO_2 und H_2S bildet sich freier S, ebenso kann bei der Bildung von SO_3 aus SO_2 freier Schwefel entstehen: $3 \text{SO}_2 = 2 \text{SO}_3 + \text{S}$. Im Sonnenlicht kann Schwefeldioxyd mit Ozon Schwefelheptoxyd bilden: $2 \text{SO}_2 + \text{O}_3 = \text{S}_2\text{O}_7$. Auch mit Sauerstoff können SO_2 und SO_3 Schwefelheptoxyde bilden. Schwefelheptoxyd ist nicht nur stark reizend, es ist das Anhydrid der Per-Dischwefelsäure, die ein außerordentlich stark wirkendes Oxydierungsmittel ist. Es ist deshalb von großem Interesse, diese verschiedenen Stoffe voneinander zu trennen und ihre Menge in den Abgasen zu bestimmen. M. B. JACOBS¹⁵⁾ zeigt die verschiedenen Methoden auf,

¹³⁾ HAMNETT P. MUNGER: The spectrum of particle size and its relation to air pollution, (5), S. 159 ff.

¹⁴⁾ A. J. HAAGEN-SMIT: Chemical analysis of air pollutants, aus (5) S. 193 ff.

¹⁵⁾ MORRIS B. JACOBS: Methods for the differentiation of Sulfur-bearing components of air contaminants, (5) S. 201 ff.

nach denen es gelingt, mit einer ausreichenden Genauigkeit diese Bestimmungen vorzunehmen. Er weist darauf hin, daß es einer Fabrik gelang, mit Hilfe geeigneter Einrichtungen täglich 20 Tonnen SO_2 zurückzuhalten, die bis dahin in die Luft abgestoßen wurden.

S p e k t r o c h e m i s c h e U n t e r s u c h u n g e n

Mit spektrochemischen Untersuchungsmethoden¹⁶⁾ 17) können rasch und übersichtlich etwa 70 Elemente in Staub, Rauch und Luft, tierischer und pflanzlicher Asche festgestellt werden. Schwer festzustellen sind Gase, die Halogene, Metalloide und Schwefel.

P h y s i o l o g i s c h e W i r k u n g e n v o n L u f t v e r u n r e i n i g u n g e n

H. F. JOHNSON von der Universität Illinois¹⁸⁾ beschäftigt sich mit den physiologischen Wirkungen einer Reihe industrieller Abgase und Dämpfe auf den Menschen, insbesondere mit Acrolein, Ammoniak, Kohlenoxyd, Chlor, Formaldehyd, mit den aromatischen und aliphatischen Hydrocarbonaten, der Salzsäure, der Cyansäure, der Flußsäure, dem Schwefelwasserstoff, dem Stickoxydul und Stickoxyd, dem Phosgen, der schwefligen Säure und dem Schwefelsäureanhydrid. Er zeigt auf, daß neben der akuten Wirkung auch eine chronische bei der dauernden Immission geringer Mengen von Abgasen vorhanden ist. Über das Zusammenwirken mehrerer, im einzelnen als unschädlich angenommenen Stoffe, die dann eine deutliche Schadwirkung auszuüben fähig seien, seien nur geringe, experimentelle Erfahrungen vorhanden. Im einzelnen weist JOHNSTONE darauf hin, daß 0,003 mg SO_2 auf 1 g Luft noch durch Geschmack und Geruch festgestellt werden können; 0,01 mg wirken auf die Kehlkopfschleimhaut als Reiz, 0,015 sei die stärkste Konzentration von SO_2 , die man eine Stunde und länger aushalten könne. Besonders Asthmatiker würden durch den Reiz getroffen. In der Luft werden SO_2 und SO_3 von der Luftfeuchtigkeit aufgenommen und bilden dann kleine Säuretröpfchen, die bestehen bleiben, wenn die Luftfeuchtigkeit abnimmt. Bei der Nebelbildung spielt es die größte Rolle. Untersuchungen in Los Angeles haben gezeigt, daß die Durchsichtigkeit der Luft parallel dem Gehalt an SO_2 und SO_3 ist. Es hängt von der Art der Verbrennung ab, ob der in der Kohle enthaltene Schwefel völlig oder nur teilweise zu SO_2 verbrennt. Bei der Verheizung von pulverisierter Kohle wird bis zu 95 % des S in SO_2 verwandelt.

In die Luft abgestoßene Ammoniakdämpfe bilden Nebel oder sie werden in feinen Wassertröpfchen gelöst. Ammoniak reagiert leicht mit sauren Gasen oder Tröpfchen in der Luft.

Chloraldehyde, Chlorketone und Chlornitrile sind starke Reizgase, die schon bei kleinsten Mengen Augen und Atmungsorgane reizen. Sie sind bisher noch nicht frei in der Luft nachgewiesen, aber eine Reihe ähnlicher Verbindungen sind schon gefunden worden.

¹⁶⁾ R. A. FRIEDEL: Spectrometric analysis; application to atmospheric pollutants, aus (5) S. 222.

¹⁷⁾ BOURDON F. SCRIBNER: Spectrographic analysis in air pollution studies, aus (5) S. 231 ff.

¹⁸⁾ H. F. JOHNSTONE: Properties and behavior of air contaminants, aus (5) S. 147 ff.

Chlorcyan (ClCN) bildet sich bei Anwesenheit von Chlor und Cyansäure in der Luft. Beide Gase kommen als Abgase bei der Industrie vor. Das Chlorcyan ist ebenfalls ein starkes Reizgas, das in der Luft ziemlich beständig ist und nur langsam durch Aufnahme von Wasser hydrolysiert wird.

Die physikalischen Eigenschaften der Aerosole, d. h. der festen und flüssigen Bestandteile in der Luft in der Größe von 0,01 bis 100 Mikron im Durchmesser, sind ebenso wichtig wie die chemischen: die Sichtbarkeit, ihr Niederschlag, ihre Koagulation, die Beständigkeit, die Ausbreitung in die Atmosphäre, ihre elektrischen Eigenschaften sind von großer Bedeutung. Sie können beträchtliche Teile des wirksamen Teiles des Sonnenlichtes abfangen und das Licht brechen, selbst wenn die Teilchen kleiner als die Wellenlänge des Lichtes sind. Je kleiner die Teilchen sind, desto weiter können sie von dem Ort ihrer Abblase fortgetragen werden. Nebel, Sporen, Pollen, See- und Spritzwasser sind natürliche Aerosole.

Bei Menschen stehen die Reizwirkungen auf die Atmungsorgane und die Mundschleimhaut im Vordergrund.

Einwirkungen der Luftverunreinigungen auf die Gesundheit

Die Beweisführung für die Einwirkungen der Luftverunreinigungen auf die Gesundheit ist ebenso schwer zu führen wie die Aufzeigung der Gefahren der unhygienischen Abwasserbeseitigung. Bei dieser ist die Schwierigkeit durch die Besonderheiten des Wassers bedingt, das einmal in ständiger Bewegung ist, selbst dort, wo es sich um „stehende“ Gewässer handelt, zum anderen aber das beste Lösungsmittel für eine Unzahl von Stoffen ist, die sich dann mit seiner Hilfe oder in ihm umsetzen und wandeln. Etwas Ähnliches bietet der Luftraum dar. Auch in ihm herrscht ständige Bewegung; auch in ihm gehen ständig unter dem Einfluß der Berührung, der Sonne, der Bewegung, der Wärme chemische Umsetzungen seiner Einzelteile vor sich. Beim Wasser haben diese Schwierigkeiten dazu geführt, daß man sich vorwiegend damit beschäftigte, die Rolle zu erforschen, die es bei der Übertragung der Infektionskrankheiten spielte. Die Belebung dieser Forschungsrichtung durch die bedeutenden Leistungen ROBERT KOCHS und seiner Schüler ist unverkennbar. Demgegenüber traten die Fragen, ob auch andere Bestandteile des Abwassers und welche die Gesundheit zu schädigen geeignet seien, fast völlig — und ganz unberechtigt — in den Hintergrund. Die Luft ist schon von HIPPOCRATES als eine wesentliche Voraussetzung des Wohlbefindens erkannt worden. Um die Bedeutung guter, reiner Luft wußte man, man hatte auch ihre „contagiöse“ Wirkung gesehen und beachtet. Aber als die Medizin eine Naturwissenschaft wurde und man den Nachweis für diese Beobachtungen verlangte, mißlang er. Nachdem nun ROBERT KOCH die Trennung der Krankheitserreger und ihre Reinzüchtung gezeigt hatte, versuchten seine Schüler diese Methode auch auf die Luft anzuwenden. Aber der Gehalt an Krankheitserregern, an Mikroorganismen überhaupt in der atmosphärischen Luft war so gering, daß man ihm keine große Bedeutung beimaß. Das ist bis zu unseren Tagen so geblieben. Nur für die Zimmerluft ergab sich eine größere Gefährdung, der Gehalt an Krankheitserregern der Luft im Freien wurde

noch 1940 von SPITTA für unbedenklich gehalten¹⁹⁾. Es war aber offensichtlich, daß „schlechte Luft“ gesundheitsschädlich war. J. G. TOWNSEND²⁰⁾ weist darauf hin, daß das große Unglück im Maastal in Belgien im Jahre 1930, bei dem 60 Menschen durch Rauchvergiftung zu Tode kamen, und die Katastrophe in Donora, Pa., bei der rund 6000 Personen erkrankten und 20 starben, einwandfreie Beweise für die Gefährlichkeit der Luftverunreinigungen seien. Auch die Erkrankungen in Los Angeles, wo etwa 10- bis 20mal im Jahr ein Nebel auftritt, der besonders die Augen in Mitleidenschaft zieht, sind ein solcher Beweis. Diese und ähnliche Beobachtungen — auch früher schon bei uns — haben dazu geführt, daß sich in erster Linie die Chemiker und Biologen mit der Erforschung der Ursachen beschäftigten.

Die Nebelkatastrophe von Donora

Zur Erforschung des Unglücks von Donora in den USA wurde ein eigenes Laboratorium ein ganzes Jahr eingesetzt, an dem Physiologen der Universität Cincinnati und die Sachverständigen der Bundesgesundheitsverwaltung die Ursachen aufzuklären versuchten²¹⁾. Donora ist ein kleiner, in einem Gebirgsflusstal gelegener Ort. Ihm gegenüber und in seiner unmittelbaren Nachbarschaft auf der anderen Seite des Flusses liegt der Ort Webster. Die Gesamtbevölkerung beider Orte betrug 13 839 Personen. In dem Doppelort besteht eine Zinkschmelze, eine Schlackenaufbereitungsfabrik, eine Schwefelsäurefabrik, eine Drahtzieherei, Reismühle, 13 offene Hochöfen, 2 Gebläseöfen; es wird Eisenbahn und Schifffahrt betrieben. Vorwiegend wird mit Kohle geheizt, in geringerem Umfang mit Naturgas. Einige Koksöfen und Ölbetriebe sind vorhanden. Wenn die Temperaturen der oberen Luftschichten höher sind als die der unteren, so staut sich der Nebel in den tiefelegenen Orten. In der Woche vom 25. Oktober bis zum 31. Oktober 1948 verschwand der Nebel nie ganz, nahm aber dann gegen Ende der Woche so zu, daß der Fahrverkehr ganz eingestellt werden mußte. Zu Beginn der Woche — am Montag, Dienstag und Mittwoch — ereigneten sich nur wenige Erkrankungen. Am Donnerstag traten zahlreiche Erkrankungen auf und am Freitag und Samstag wurden Tausende krank. Am 31. Oktober schlug ein Regen den Nebel nieder (Sonntag). Im ganzen erkrankten 5910 Personen = 42,7 % der Gesamtbevölkerung. In erster Linie waren die Atmungsorgane befallen, zum geringeren Teil traten auch Erscheinungen von seiten des Magen-Darm-Kanals auf. 10,4 % der Bevölkerung waren schwerkrank, 20 Personen starben. Mit zunehmendem Alter stieg die Zahl der Erkrankten von 23,4 % unter 20 Jahren bis auf 60,2 % derjenigen, die über 55 Jahre alt waren. Von den Erkrankten waren 75,4 % vorher nicht krank gewesen. Kurz nach Abzug des Nebels waren über 80 % beschwerdefrei. Offenbar spielten weder das Geschlecht noch die Beschäftigung, noch die Aufenthaltsdauer am Ort für das Auftreten der Erkrankung eine Rolle. Drei Autopsien wurden vorgenommen; eine kurz nach dem Exitus, zwei sechs Monate später. In den drei Fällen wurde ein fortgeschrittenes Herzleiden, Bronchitis und Bronchiolitis vorge-

¹⁹⁾ O. SPITTA: Zur Frage der Bedeutung des Bakteriengehaltes der Luft, besonders in Hinsicht auf die Hygiene von Lüftungsanlagen; Wärme- und Kältetechnik, 1940, Heft 7, S. 101.

²⁰⁾ Dr. J. G. TOWNSEND: Short exposure to high concentrations of air pollutants, aus (5), S. 451 ff.

²¹⁾ WILLIAM F. ASHE: Acute effects of air pollution in Donora, Pennsylvania, aus (5) S. 455 ff.

funden, die aber nach Ansicht des Pathologen allein nicht den Tod verursachen konnten. Der Pathologe des Bundesgesundheitsamtes äußerte sich dahin: „Es scheint daher, daß in der eingeatmeten Luft eine Substanz enthalten war, die zu einer Lungenreizung führte und den Tod solcher Kranken herbeiführte, die infolge bestehender Erkrankungen geringere Schäden nicht mehr vertragen konnten.“ — In derselben Woche starben mehrere Tiere.

Da dieses die erste bekanntgewordene Massenerkrankung durch Abgase in den USA war, wurden die näheren Begleitumstände so genau erforscht, wie es möglich war. Die meteorologischen Verhältnisse waren ungewöhnlich, aber die industriellen, kommerziellen und sonstigen Verhältnisse wichen nicht von denen anderer Industriestädte ab. Die Atmosphäre war zur Hauptsache durch CO_2 , CO , SO_2 , Staub von Kohle, Eisendioxyd, Zinkoxyd und von Spuren fast aller bekannten Metalle, von N-Oxyden, SO_3 und relativ geringen Mengen anderer Gase verunreinigt. Nach den genauen Ermittlungen konnte angenommen werden, daß keiner dieser Stoffe in einer ausreichend toxischen Menge vorhanden war. Es ist aber ganz unbekannt, ob eine Mischung verschiedener dieser Stoffe zu den Erkrankungen geführt haben kann. Die Untersuchungen haben also zahlreiche Fragen offengelassen. Überraschend ist, daß offenbar biologische Beobachtungen anderer Art, z. B. an der Vegetation, nicht gemacht worden sind. Auch über das Untersuchungsergebnis der gestorbenen Tiere berichtet ASHE nichts.

Nach den Ermittlungen des Öffentlichen Gesundheitsdienstes hat offenbar schon früher unter ähnlichen atmosphärischen Bedingungen in Donora eine ähnliche Krankheit geherrscht, die aber damals in ihrer Bedeutung nicht erkannt worden ist.

Die Wirkungen von Luftverunreinigungen auf die Haut

Der Respirationstraktus und die Haut sind die ausgedehntesten Organe des Körpers, auf welche die Luft einwirken kann, wie MARION B. SULZBERGER ausführte²²⁾. Was einmal die Filter der oberen Luftwege passierte, bleibt leicht in den Luftwegen oder ist nur schwer daraus zu entfernen. Bei der Haut ist das anders; sie kann leicht von Fremdstoffen befreit werden. Die Schleimhäute der Lungen sind so beschaffen, daß sie Gase absorbieren oder durchlassen. Die Haut dagegen ist so eingerichtet, daß sie den Körper vor fremden Stoffen schützt. Eine Reihe von Stoffen vermag aber die Haut zu durchdringen, zu ihnen gehören u. a. Quecksilber-, Anilin-, Wismut-, Cyan-, Jod-, Phenol-Verbindungen, Bleiverbindungen, Toluidine, um nur einige zu nennen.

Die Menge und die Konzentration der Stoffe in der Luft, der Wassergehalt, die Temperatur, der Luftdruck und die Luftbewegung sind bei der Aufnahme durch die Haut von Bedeutung. Zu den Krankheiten, die so ausgelöst oder hervorgerufen werden können, gehören u. a.: Pigmentationen und Depigmentationen, Warzenbildung, Krebs und krebsartige Bildungen (bei gewissen Ölfraktionen, Kohlendunst, Teer, Diphenylchloride), Urticaria (bei pollenhaltigem Staub), Dermatitis und Kontaktekzeme. Auch Antibiotica machen ähnliche Veränderungen. Selbstverständlich kann auch in zahlreichen Fällen die Noxe über den Respirations- oder Magendarmtractus eindringen.

²²⁾ MARION B. SULZBERGER: Skin effects of air pollutants, aus (5) S. 462 ff.

Alle normalen Funktionen der Haut können durch Luftverunreinigungen weitgehend beeinflusst werden. Daher erklärt sich oft die günstige Wirkung eines Ortswechsels mit anderem Klima. Auf diesem Gebiet bedarf es noch ausgedehnter, sorgfältiger wissenschaftlicher Untersuchungen.

Giftige Luftverunreinigungen

Bei dem akuten Ausbruch einer Massenerkrankung wie bei dem Londoner Nebel, dem Unglück im Maastal oder in Donora ist es verhältnismäßig leicht, den Zusammenhang zwischen Luftverunreinigung und Krankheit festzustellen. Viel schwieriger ist es, den Zusammenhang zwischen chronisch entstandenen Leiden und Luftverunreinigungen aufzuklären. Es fehlen dazu ausreichende biologische Untersuchungen und klinische Beobachtungen. Wenn man die Giftigkeit einer durch chemische Stoffe bedingten Luftverunreinigung feststellen will, so muß man — wie TABERSHAW²³⁾ hervorhebt — die Abwehrreaktion des Körpers, die Einwirkungszeit, die Konzentration des chemischen Stoffes beachten, ob er nun inhaliert oder durch den Magen-Darm-Kanal aufgenommen wird. Konzentration und Einwirkungszeit sind für die Giftwirkung bedeutsamer als die Menge des abgeblasenen Stoffes. Da der menschliche Körper sich in bedeutendem Umfang gegen äußere Noxen schützen kann, besonders gegen geringere, an die er sich zu gewöhnen vermag, so ist es sehr schwer, einen direkten Zusammenhang herzustellen, zumal man das Tierexperiment nicht ohne weiteres heranziehen kann. Manche durch Gifte hervorgerufenen Reaktionen sind vollkommen reversibel. Es gibt aber ein Element, das ganz charakteristische klinische und pathologische Symptome verursacht, die leicht von anderen Krankheiten zu unterscheiden sind: das Beryllium und einige seiner Verbindungen.

In Neu-England-City wurde schon 1942 bei den Arbeitern einer Fabrik für Fluoreszenzlampen eine charakteristische, chronische Lungenerkrankung festgestellt, die allmählich mit Atemnot, Husten und Abmagerung begann. Es wurde mit Zink-Beryllium-Silikat gearbeitet. Es war offensichtlich, daß die Berylliumverbindung die schädliche Ursache war, aber es kamen Zweifel daran auf. Der Staubauswurf aus der Fabrik war so gering, daß die Nähe von Wohnhäusern nicht weiter beachtet wurde. Bei der Suche nach einer anderen Ursache wurden alle Möglichkeiten, auch die Wasserversorgung, eingehend geprüft. Dabei wurde bekannt, daß eine in der Nähe lebende Frau, die niemals in der Fabrik gearbeitet hatte, an denselben Krankheitssymptomen erkrankt war, wie die Fabrikarbeiter. Sie starb und durch die Sektion konnte die Diagnose: chronische Berylliumvergiftung bestätigt werden. Eine andere Todesursache konnte nicht gefunden werden. Da die geringen Mengen von Beryllium in der Luft noch nicht bestimmt werden konnten, unterblieben solche Untersuchungen. Es wurde aber festgestellt, daß die Wohnung in der Richtung lag, in die oft die Abgase der Fabrik getrieben wurden. Nach entsprechenden Maßnahmen wurden keine weiteren Fälle bekannt. Dagegen haben EISENBUD²⁴⁾ und seine Mitarbeiter über elf Fälle von Vergiftung durch eine andere Berylliumverbindung in der Umgebung einer Fabrik be-

²³⁾ Dr. IRVING R. TABERSHAW: Chemically active air pollutants, aus (5) S. 468 ff.

²⁴⁾ Dr. MERRIL EISENBUD, R. C. WANTA, CYRIL DUSTAN, L. T. STEADMAN, W. B. HARRIS and B. S. WOLF: Nonoccupational Beryllosis, J. Ind. Hyg. Toxicol., Nr. 31, Nr. 5, September 1949. (Zitiert aus 5.)

richtet, die Beryllium-Oxyd herstellte. Drei der betreffenden Personen waren nicht in der Fabrik beschäftigt. Die meisten Fälle wurden zufällig entdeckt, als die charakteristischen Erscheinungen der Berylliumvergiftung bei den Ärzten bekannt wurden. Aus einem Zeitraum von mehreren Jahren wurden neun Fälle bekannt. Um den Gefährdungsbereich festzustellen, wurde auf Antrag der Fabrik der Öffentliche Gesundheitsdienst beauftragt, eine umfassende Röntgenuntersuchung in der Bevölkerung anzustellen. Über 10 000 Personen wurden untersucht. Dabei wurden zwei weitere Fälle von Beryllosis festgestellt. Die Erkrankungen ereigneten sich innerhalb eines Radius von $\frac{3}{4}$ engl. Meilen (etwa 0,8 km). Bemerkenswert war, daß die Anfälligkeit in der Umgebung der Fabrik bedeutend höher war als bei den Arbeitern, die mit der hundertfachen Menge Beryllium in Berührung kamen. Diese Tatsache wurde auf die Kleinheit der Staubteilchen zurückgeführt. Im allgemeinen wird man annehmen können, daß der Arbeiter in einer Fabrik den Schädigungen am meisten ausgesetzt ist. Aber nicht immer ist das der Fall; mancher Arbeitsprozeß geht in einem so geschlossenen System vor sich, daß die Umgebung durch die ausgestoßenen Gase oder den Staub stärker gefährdet ist als die Arbeiter im Werk. Die Arbeiter sind der Gefährdung auch nur acht Stunden ausgesetzt; sie haben dann 16 Stunden Zeit, um sich wieder zu erholen. Die Menschen aber, die in Reichweite einer Fabrik wohnen, sind den Abgasen 24 Stunden am Tag ausgesetzt, tagein, tagaus.

Aus diesen Erfahrungen erhellt die Bedeutung einer sorgfältigen Beobachtung und Feststellung auch geringer Staub- und Gasmengen, deren Giftigkeit bekannt ist. Wir wissen ja nur wenig davon, deshalb ist eine dauernde Zusammenarbeit der Gewerbeaufsichtsbehörde, der Gesundheitsbehörde und der Fabrikleitungen unbedingt erforderlich. Die Fälle zeigen aber auch, daß der Sicherheitsfaktor für die Ausstoßung von giftigen Gasen bedeutend erhöht werden muß.

Die Feststellung chronischer Gesundheitsschäden durch langandauernde Einwirkung geringer Konzentrationen von schädlichen Stoffen ist natürlich viel schwerer zu erbringen als die Feststellung von größeren oder geringeren Mengen von Stoffen, deren Herkunft bekannt ist und die akute Krankheitsveränderungen bewirken. Dazu muß man sich über die

Luftverunreinigungen natürlicher Art

zunächst einmal im klaren sein. KEHOE²⁵⁾ macht darauf aufmerksam, daß die Atmosphäre einer ständig wechselnden Zusammensetzung und Dynamik unterliegt — ähnlich wie das auch beim Wasser der Fall ist. In der Luft sind die meisten Elemente und Stoffe in wechselnder Zusammensetzung enthalten, aus denen die Erde zusammengesetzt ist. Auch aus dem Weltraum können Stoffe in die Atmosphäre gelangen. Durch das Wachstum, die Blüte und den Verfall von Pflanzen, durch die Lebensprozesse von Mensch und Tier gelangen nicht nur große Mengen organischer Stoffe in die Luft, die weitgehende physiologische Wirkungen haben, es werden auch ständig Umsetzungen chemischer Art bewirkt. Alle neuen Untersuchungsmethoden erzielen immer wieder neue Ergebnisse. So hat uns das Elektronenmikroskop ein ganzes Universum kleinster Teile in der Luft kennen gelehrt. Es erhebt sich

²⁵⁾ ROBERT A. KEHOE: Effects of prolonged exposure to air pollutants, aus (5) S. 474 ff.

die Frage, ob diese natürlichen Bestandteile allein schon schädliche Wirkungen auslösen können. Sie müssen nach ihrer Menge, Größe und Verteilung sowie nach ihrer Beschaffenheit erforscht werden, ehe man ihre Schädlichkeit beurteilen kann.

Luftverunreinigungen künstlicher Art

Die Konzentration der Industrie und die Anhäufung der Bevölkerung in den Städten sowie die Entwicklung ganz neuer chemischer und physikalischer Methoden haben zu einer starken Vermehrung der Luftverunreinigungen an gewissen Orten geführt und besonders solche Stoffe in die Atmosphäre entlassen, die dort keine natürlichen Bestandteile sind. КЕНОЕ warnt vor einer Vereinfachung des Problems. Es besteht die Neigung, eine oder wenige Noxen unter verschiedenen Gesichtspunkten auszuwählen. Es fehlen genaue Beobachtungen über ausreichende Zeiten hinsichtlich der Luftverunreinigungen in den Industriezentren. Die wenigen vorhandenen Beobachtungen betreffen nur a k u t e Schädigungen, können aber keine Aufklärung über c h r o n i s c h e Einwirkungen geben. Nur auf indirektem Wege können wir bisher einige, dazu noch zweifelhafte Schlüsse ziehen. Tierexperimente und Beobachtungen an Arbeitern der industriellen Werke bieten gewisse Anhaltspunkte, können aber nur bedingt verwertet werden. Alles, was wir wissen, stammt aus ärztlichen Beobachtungen in den Fabriken. Nach unseren lückenhaften Kenntnissen kann man es aber als wahrscheinlich annehmen, daß chronische Erkrankungen verschiedener Art in z. Z. noch geringem, aber zunehmendem Umfang als direkte Folge der Luftverunreinigungen über unseren Städten auftreten werden.

In der nachfolgenden Aussprache teilt Dr. HANS NEUBURGER mit, daß bei periodischen Untersuchungen von Luftverunreinigungen mit dem Elektronenmikroskop 30 bis 40 Millionen Partikel im Kubikzentimeter gefunden wurden.

Luftverunreinigungen und Krebs

Bei uns in Deutschland ist gerade augenblicklich die Frage lebhaft umstritten, ob Krebs durch Tabakrauch hervorgerufen oder zum mindesten begünstigt wird. Es wird deshalb interessieren, daß W. C. HUEPER²⁶⁾ vom National Cancer Institut, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, annimmt, daß eine bemerkenswerte Zahl von festgestellten oder vermuteten Krebsfällen wahrscheinlich durch gewisse cancerogene Stoffe in Staub, Rauch, Dampf, Nebel oder Gasen hervorgerufen wird. Manche dieser Industrieprodukte werden entweder während ihres Gebrauchs oder als Abgase abgelassen. Die geringsten Mengen dieser Stoffe, die Krebs erzeugen können, sind noch nicht erforscht. Abgesehen vom Lungen- und Scrotalkrebs, die durch Ruß (Teer) hervorgerufen werden, hat man sich nur selten mit krebserregenden Stoffen in den Abgasen befaßt. Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, daß die Verbrennungsprodukte oder die flüchtigen Fraktionen von Kohle, die Ruß, cancerogenen Teer, Teer oder Holzteer enthalten, an vielen Orten abgelassen werden. Ähnliche Produkte von Mineral- oder Schieferölen

²⁶⁾ W. C. HUEPER: Environmental cancer hazards caused by industrial air pollution, aus (5) S. 479 ff.

und von Naturgas werden als häusliche oder industrielle Abgase in die Atmosphäre entlassen oder haften an Mineralpartikeln, die aus den Krack-Türmen entweichen und dabei Bestandteile von Rauch werden. Auch Staub, Rauch und Dämpfe mit Naphthylaminen und Benzol können bei mangelhaften Reinigungsanlagen in die Luft entweichen. HUEPER gibt eine lange Liste von cancerogenen Stoffen an, von denen die meisten in der deutschen Liste der meldepflichtigen Berufserkrankungen vom 26. 7. 1952 enthalten sind. Er weist dabei auf die besondere Gefahr der Werke hin, die sich mit Chrom, Beryllium, Asbest und radioaktivem Material befassen. — Cancerogene Stoffe können durch die Lungen, die Haut oder den Magen-Darmkanal in den Körper gelangen. Die Gefährdung der Bevölkerung durch cancerogene Luftverunreinigungen kann auch auf dem Wege ihrer späteren Aufnahme und Berührung mit Trinkwasser, Nahrungsstoffen und dem Erdboden vor sich gehen. Die Krebse können nicht nur den Respirationstrakt (Nase und Lungen) befallen, sondern je nach der Art des Wirkstoffs auch andere Organe, z. B. die Haut, Knochen, Knochenmark, Blase. Die künftige Kontrolle dieser potentiellen Gefahrenquellen beruht 1. auf dem quantitativen und qualitativen Nachweis cancerogener Stoffe in der Umgebung von Fabriken, 2. auf der genauen Feststellung von Krebserkrankungen in dem Abgasbereich solcher Fabriken, 3. in der wirksamen Anwendung geeigneter Mittel und Methoden, um die Immission solcher Stoffe in die Umgebung zu verhindern. Die Möglichkeit der Krebsentstehung durch Luftverunreinigungen verdient jedenfalls auch bei uns eine sorgfältige Nachprüfung.

Wirkung von chemisch inaktivem Staub in Luftverunreinigungen

Staubteilchen werden mit der Luft nicht nur gelegentlich, sondern täglich und regelmäßig von uns eingeatmet. Ein entsprechender Teil davon bleibt in der Lunge und bewirkt dort eine Veränderung, die wir als Pneumokoniose bezeichnen. Diese Veränderung wird nur durch feste Teilchen hervorgerufen. Dämpfe, Gase, Bakterien, Viren, Pilze und Allergene rufen sie — *sensu strictiori* — nicht hervor ²⁷⁾ ²⁸⁾. Experimentelle Untersuchungen und klinische Studien über alle Arten von Pneumonokoniosen sind nur im beschränkten Umfang vorhanden. Wenn es sich um inaktiven Staub handelt, ruft er keine anatomischen, immunbiologischen oder physiologischen Veränderungen hervor. Aktiver Staub dagegen kann unter ähnlichen Bedingungen pathologische Veränderungen, Dysfunktion und Empfänglichkeit für Infektionskrankheiten hervorrufen. Bei bestimmten chemisch und physikalisch differenzierten Stoffen können auch an und für sich inaktive Substanzen Noxen auslösen. Ihre Konzentration in der Atmosphäre, die Temperatur und der Feuchtigkeitsgehalt spielen eine Rolle dabei, ferner die zurückgehaltene Menge, die Dauer der Inhalation, der Zustand der Atmungsorgane und die Größe der Teilchen, wenn z. B. durch den Fabrikationsvorgang die Größe der Partikel so sehr verkleinert wird, daß sie mikroskopisch nicht mehr sichtbar sind. Wir dürfen annehmen, daß ganz kleine Teilchen ganz verschiedene Veränderungen wie

²⁷⁾ ARTHUR J. VORWALD: Effects of „inert“ dusts in air pollution, aus (5), S. 485 ff.

²⁸⁾ Siehe auch deutsche Literatur bei WORTH & SCHILLER: Die Pneumonokoniosen, Stauffen Verlag, Kamp-Lintford, 1954.

größere von derselben Art hervorrufen. Injektions- und Inhalationsexperimente mit sphärischen Quarzpartikeln, die größer als 3 Mikron sind, haben bewiesen, daß sie im Gewebe keinen Schaden anrichten. Siliciumdioxid, das kleiner als 3 Mikron ist, führt dagegen zu Entzündungen, die im umgekehrten Verhältnis zu seiner Größe stehen. Bei derselben Substanz mit einer Teilchengröße von 0,1 Mikron und darunter wird der Entzündungsprozeß diffuser und mehr zellulär als die örtliche hyaline Reaktion, welche die Knötchensilicosis charakterisiert. Wenn der chemische Charakter einer inaktiven Substanz durch die Fabrikationsweise sich verändert hat, können die Staubteilchen in der Luft aktiv werden und vermögen nun Entzündungen in der Lunge hervorzurufen. Hitze kann solche Veränderungen hervorrufen, es ist aber sehr wahrscheinlich, daß auch andere Verunreinigungen in der Luft solche Änderungen bedingen. Die inaktiven Stoffe können Träger von Gasen, Allergenen oder anderen Schmutzstoffen werden, die ihrerseits das Lungengewebe schädigen. So kann der schädliche Stoff im Lungengewebe angereichert werden. Es erfolgt dann ein Lungenschaden, obwohl die eingeatmeten Partikel von Haus aus inaktiv und die atmosphärische Konzentration des mitgeführten Stoffes unterhalb der Giftschwelle war. Inaktive Stoffe können auch, nachdem sie im Gewebe gespeichert sind, aus dem Körper Reizstoffe anziehen und anreichern, die im Körper vorhanden sind. So kann die Adsorption von Tuberkulin z. B. die Ursache massiver Bindegewebsschädigungen bei der Tuberkulo-Silikose sein, wenn große Mengen von Kohlenstaub oder Eisenoxydstaub inhaliert worden sind, die an und für sich inaktiv sind. — Andererseits kann in der verunreinigten und eingeatmeten Luft ein Gemisch von feinen Staubteilchen enthalten sein, von denen der eine oder der andere Bestandteil allein zwar schädlich ist, aber im „Gemisch“ keine Schadenswirkung hervorbringt. Die verschiedenen Teilchen können sich gegenseitig einhüllen (agglutinieren) und verklumpen, so daß es zu keiner Giftwirkung mehr kommen kann, wie z. B. beim Zusammentreffen von feinem Aluminiumstaub oder Aluminiumhydrat und Siliciumdioxidteilchen.

Die anatomischen Veränderungen in den Lungen bei Aufnahme von inaktivem Staub sind durchaus charakteristisch und sind besonders gut sichtbar, wenn der Staub sich durch seine Farbe vom Lungengewebe abhebt (Kohlepartikelchen). Der Staub wird in den feinen Lymphgefäßen der Pleura, um die Gefäßscheiden und in den Lymphknoten gespeichert. Mikroskopisch wird der Staub im Cytoplasma des reticuloendothelialen Zellsystems gefunden. Die Zellen können mit dem Staub so vollgestopft sein, daß ihre eigentliche Struktur nicht mehr sichtbar ist. Wenn aber die Zellstruktur nicht verdeckt ist, sieht man auch keine offenkundige Degeneration; Entzündungserscheinungen fehlen.

Radioaktive Ionen in Luftverunreinigungen

Herstellung und Gebrauch von radioaktivem Material ist ein völlig neues Arbeitsgebiet, das erst ganz allmählich seine Bedeutung erkennen läßt. Die radioaktiven Stoffe werden aber in wachsendem Umfang nicht nur in Kliniken, sondern auch in der Industrie, der Technik und zur Forschung verwandt. Damit erhebt sich die Frage, welchen Schaden sie in der Luft und im Abwasser sowie im Müll anrichten können. Die Bedeutung massiver Immission radioaktiver Substanz in die Atmosphäre wurde offenbar, als

durch die Atomexplosion auf den Bikini-Inseln eine Reihe von japanischen Fischern sich schwere und schwerste Vergiftungen zuzog. So große Mengen radioaktiver Stoffe sind in normalen Friedenszeiten in der Atmosphäre bei uns nicht zu erwarten. Immerhin werden die Ausführungen von ABEL WOLMAN hierüber für uns von großer Bedeutung sein²⁹⁾.

Radioaktive Ionen können in der Luft in Form von Gasen, Dämpfen und kleinen Partikelchen auftreten als Abfallprodukte oder bei der Verwendung von radioaktivem Material für die oben genannten Zwecke. Sie stammen aus der für Kühlzwecke verwendeten Luft, aus Lösungen, die für chemische Zwecke benötigt werden, aus den Abzugsvorrichtungen und aus dem Staub und Rauch bei Arbeiten mit Erz und Metall, sowie aus Verbrennungen bei hohen Temperaturen von Abfallmaterialien oder von Tieren, die zu Experimenten benutzt werden. Die Teilchengröße schwankt von 1 Mikron bis zu 40 Mikron. Als gasförmige Stoffe kommen in Betracht radioaktives J^{131} , A^{40} , Xe^{133} , Kr^{85} mit Halbwertszeiten von 8,3 Tagen, 110 Minuten, 5,4 Tagen und 4 Stunden. Die zur Kühlung verwendete Luft wird durch Gaswäscher, Filter und Fällmittel gereinigt. Größere Anlagen sollen möglichst weit entfernt von Siedlungen angelegt werden. Das Ablassen leicht verunreinigter Gase und Dämpfe in die Atmosphäre wird nur erlaubt, wenn die atmosphärischen Bedingungen günstig sind. Der ganze Fragenkomplex bedarf noch umfangreicher weiterer Studien.

Mund- und Zahnkrankheiten

Es gibt etwa 42 Stoffe, die als Ursachen für Veränderungen in der Mundhöhle festgestellt worden sind. 18 von diesen sind nach JAMES DUNNING³⁰⁾ staubförmig, 12 sind Gase. Einige verursachen mehr mechanische Schäden — Fleckenbildung oder vorzeitiges Abschleifen — wie z. B. Kupfer, Eisen, Nickel, Chrom, Kohlenstaub, Knochen, Celluloid, Sägemehl, Mehl und Tabak. Chemische Schäden sind in der Regel mit krankhaften Veränderungen an den Zähnen oder den sie umgebenden Geweben verbunden, wie sie bei den Schwermetallen, bei Fluor, Phosphor und Zucker auftreten. Arsenik, Chrom, Phosphor und Ionen-Strahlen rufen charakteristische Veränderungen im Gewebe und Alveolarnekrose hervor. Wismut, Blei und Quecksilber verschlimmern periodontale Prozesse und verfärben das Zahnfleisch. Kohlehydratstaub bringt festhaftende Plaques an der Oberfläche der Zähne, die allmählich zur Caries führen, hervor. Manche dieser Stoffe wirken weit mehr auf bereits bestehende Krankheitsprozesse im Munde ein als auf eine gesunde Mundhöhle und gesunde Zähne.

Die meisten dieser Veränderungen sind bei uns in Deutschland aus der Gewerbehygiene gut bekannt. Es ist aber gut, daß sie im Zusammenhang mit Luftverunreinigungen einmal erwähnt werden. Sie sind von Zahnärzten leicht zu erkennen. Deshalb könnten Zahnärzte bei der Aufklärung unbekannter Schäden mit herangezogen werden. Die angerichteten Schäden bei Luftverunreinigungen im Freien werden selten bedeutend sein, sie sind aber instruktiv. Luftverunreinigungen werden leicht durch die Nase und den Mund

²⁹⁾ ABEL WOLMAN: Effects of ionizing radiation in air pollution, aus (5) S. 489.

³⁰⁾ Dr. JAMES M. DUNNING: Effects on oral structures from air pollution, aus (5) S. 503 ff.

in die Mundhöhle gebracht. Mundatmer sind natürlicherweise viel mehr gefährdet als Nasenatmer; aber auch bei diesen werden Luftverunreinigungen leicht in die Mundhöhle gelangen. Die puffernde Wirkung des Speichels schwächt allerdings die Einwirkung, besonders von Säuren, ab.

Allergische Erkrankungen und Luftverunreinigungen

Es ist sehr schwer, die Wirkungen chemischer Luftverunreinigungen von denen organischer zu unterscheiden. Erst in neuerer Zeit hat man in den allergischen Hauttests und durch Tierversuche manche Wirkungen einwandfrei klären können und viele Krankheitsbilder auch ihrer Herkunft nach näher bestimmt. In den USA hat sich in einigen Gegenden eine Industrie entwickelt, in denen Körner und Samen aller Art behandelt werden. So hat z. B. Minneapolis, wie WITTICH³¹⁾ ausführt, 14 große Mehlmühlen, 17 Futtermühlen, 7 Saatküchen und 40 verschiedene Elevatorenhäuser.

Fabriken von Leinöl, Bleistiften (Cedernholzstaub), Cedernöl, Castoröl, Malz, Farben, Papier, Viehfutter, Staub von Baumwoll-Entkernungsmaschinen u. s. f. geben Anlaß zu allergischen Erkrankungen der Atmungsorgane und der Haut. Pilze von Weizen, Mais, Roggen, Hafer, Gerste, Hirse und anderen Vegetabilien werden in enormer Menge verstreut. STAKMAAN (zit. nach WITTICH) beobachtete während der Saison 1935 1 Millionen Sporen je Quadratfuß (= 929 cm²) in 24 Stunden. HEALD (zit. nach WITTICH) stellte fest, daß ein einziges befallenes Weizenkorn 6 bis 7 Millionen Sporen enthält. Bei den Arbeitern sieht man Fälle von Kontaktdermatitis, atopische Formen von Hautallergie, chronische Rhinitis und Asthma, und zwar nicht nur bei den unmittelbar Beteiligten, sondern auch in der Umgebung. Diese Verstaubung ist wenigstens teilweise die Ursache von Heufieber und Asthma. Klinische und experimentelle Studien bestätigen, daß 24 % der Patienten der großen Allergie-Klinik in Minneapolis durch solche Ursachen erkrankten. — Spezifische Allergene üben zusammen mit zahlreichen chemischen Stoffen eine Wirkung aus, die einer der beiden Stoffe allein nicht hat. Auch zahlreiche Insektizide haben allergische Wirkung. Träger dieser Insektizide war früher Siliziumstaub, der sicher allergisch wirkt. Er ist deshalb in den USA verboten. Die gebrauchten Insektizide haben zum Teil starke Reizwirkung auf die Atmungsorgane; sie vermögen Asthma, Rhinitis und Ekzeme auszulösen oder zu verschlimmern. Naphthalin, Teer, Tabakrauch, Chromsäure, Formaldehyddämpfe können ebenfalls allergisch wirken, um nur einige zu nennen.

Maßnahmen gegen Luftverunreinigungen

Auch die Reinigung und Vernichtung der Auswurfstoffe in den USA hat in den letzten beiden Jahrzehnten eine bedeutende Ausweitung erfahren. RUFF³²⁾ beschreibt den SUTER-RUFFSchen Katalysatorofen, mit dem die vollständige Verbrennung oder Oxydation brennbarer Abgase unter Gewinnung zusätzlicher Wärme gelingt. Er kann allerdings nur dort angewandt werden, wo die völlig oxydierten Endprodukte geruchlos und auch sonst harmlos sind und wenn die Ausgangsstoffe keine unverbrennbaren Bestandteile enthalten. Alle Hydrocarbonate gehören hierher, viele Farben, Lacke, Emaille,

³¹⁾ F. W. WITTICH: Respiratory tract allergic effects from chemical air pollution, aus (5) S. 520 ff.

³²⁾ R. J. RUFF: Catalytic combustion of hydrocarbon vapors, aus (5) S. 259 ff.

Abgase von Fischöl- und Tierfettfabriken, Kaffeeröstereien und Ölraffinerien. Der Katalysator ermöglicht ohne Flammenbildung die vollständige Oxydation bei einer genügenden Ausgangstemperatur. Ist die Temperatur bei Beginn zu niedrig, so kann eine Vorwärmung die richtige Ausgangssituation herstellen. Der Katalysator hat eine Lebensdauer von mehr als 3000 bis 4000 Stunden. Dann kann er regeneriert werden.

SMITH und STAFFORD³³⁾ beschreiben die Wirkungsweise und Entwicklung eines hochwirksamen Filterpapiers, das ursprünglich für den Einsatz von Gasmasken für den Kriegseinsatz entwickelt wurde, jetzt aber für den zivilen Verbrauch freigegeben ist. Es besteht aus einem Papierstoff, der mit Asbestfasern durchsetzt ist, und der fast völlig auch kleinste Teilchen mit einer Korngröße bis herab zu 0,3 Mikron abzuhalten vermag. Das Filter ist leicht brennbar und kann nicht bei Feuchtigkeit benutzt werden. Es ist für alle Zwecke geeignet, bei denen eine besonders gereinigte Luft notwendig ist, da es auch Luftkeime und Sporen weitgehend zurückzuhalten vermag, z. B. also für Atommeiler, Fabriken für Photofilme, feinmechanische Werkstätten, in der Medikamentenfabrikation, für Operationssäle.

JAMES W. MAY beschreibt die Theorie und praktische Verwendbarkeit der Viscose-Kontakt-Filter³⁴⁾, die auch bei uns durch die Delbag-Viscin-Luftfilter³⁵⁾ bekannt geworden sind. — Die Berechnung, Wirkungsweise, Reinigung, Kosten sowie die Anwendungsmöglichkeiten von mit Stoff bespannten Filtern wurde von R. T. PRING³⁶⁾ dargelegt. Dabei wurden als Bespannungsmaterial besonders das Asbeston der US Rubber Company und das Orlon von Du Pont hervorgehoben, die beide Temperaturen bis 275 ° Fahrenheit vertragen und von denen das Asbeston alkalibeständig, das Orlon säurebeständig ist. — SILVERMAN³⁷⁾ erörtert ausführlich die verschiedenen Arten und die Wirkungsweise von Beetfiltern (Furchenfiltern) zur Reinigung von Aerosolen. Als Füllmaterial dienen u. a. Haar, Baumwolle, Wolle, Glasfasern, Koks, Sand, Gesteinsbrocken. Diese verhältnismäßig umfangreichen Filter haben hohe Anschaffungs- und Betriebskosten (Morrison).

Bei dem Pease-Anthony-Cyclon Gaswäscher handelt es sich um ein Aggregat³⁸⁾, bei dem die zu reinigenden Dämpfe und Abgase tangential an den Wäscher herangeführt und in eine Drehbewegung versetzt werden. In diesen sich drehenden Dampf- und Gasstrom wird fein verteiltes Wasser oder ein anderes Lösungsmittel hineingespritzt. Bei dem Pease-Anthony-Venturi-Wäscher, der auf demselben Prinzip beruht, ist der Geschwindigkeitsunterschied zwischen dem auszuwaschenden Aerosol und der Waschflüssigkeit bedeutend höher. Die Wirksamkeit der Wäscher gegenüber sehr feinen Teilchen oder Aerosolen unter 1 Mikron hängt davon ab, wie fein die Zerstäubung der Lösungsmittel gelingt, da Aerosole größeren Tropfen auszuweichen pflegen.

³³⁾ WALTER J. SMITH and EARL STAFFORD: Development of a dry fibrous filter, aus (5) S. 264 ff.

³⁴⁾ JAMES W. MAY: Viscous Impingement Filters, aus (5) S. 273 ff.

³⁵⁾ Dr. ERICH WERNICKE: Lufthygienisches, Kl. Mitteilungen d. Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, 1927, V. Beiheft, S. 257 ff.

³⁶⁾ ROBERT T. PRING: Bag-type cloth dust and fume collectors, aus (5) S. 280 ff.

³⁷⁾ LESLIE SILVERMAN: Characteristics of filter beds for aerosols, aus (5) S. 289/301.

³⁸⁾ Dr. R. V. KLEINSCHMIDT & A. W. ANTHONY Jr.: Pease-Anthony cyclonic spray scrubbers, aus (5) S. 310 ff.

Partikel, die größer als 1 bis 5 Mikron sind, können — vorausgesetzt, daß ein geeignetes Lösungsmittel vorhanden ist — mit hoher Wirksamkeit ausgewaschen werden³⁹⁾.

Auch aktive Kohle ist in hervorragendem Maße geeignet, Luftverunreinigungen zu beseitigen. Hierzu gehören 1. organische Lösungsmittel mit niederem Druck, die nachher zurückgewonnen werden können; 2. zahlreiche stark riechende und schädliche Gase und Dämpfe, die bei industriellen Prozessen abgestoßen werden. Zu der ersten Gruppe gehören z. B. Hydrocarbonate, Äther, Ester, Ketone, Alkohole und Chlorverbindungen. Die Bedeutung dieser Rückgewinnung erkennt man daran, daß durch die 1950 in den USA gebauten oder im Bau befindlichen Anlagen mit aktiver Kohle nahezu 1,5 Billionen engl. Pfund von Dämpfen von Lösungsmitteln mit einem Wert von über 100 000 000 Dollar jährlich zurückgewonnen werden können. Das Verfahren ist verhältnismäßig einfach, die gebrauchte Kohle kann reaktiviert werden. Gebrauchte wird in der Regel eine sehr dauerhafte, harte Kokosnuß-Holzkohle, die ursprünglich für militärische Zwecke hergestellt wurde. RAY⁴⁰⁾ führt mehrere Betriebe an, in welchen auf diese Weise erhebliche Mengen von Lösungsmitteln zurückgewonnen werden. Ich will nur darauf hinweisen, daß eine Fabrik für rauchlose Pulver jährlich während des Krieges zwischen 50 000 000 und 75 000 000 Gallonen (1 Gallone = 3,78 l) Äther und Alkohol zurückgewinnen konnte. — Außer der Zurückgewinnung wertvoller Stoffe hat aber die Desodorisierung und Adsorption durch aktive Kohle eine besondere Bedeutung für die Abfangung von stinkenden, reizenden und zersetzenden Gasen und Dämpfen (Merkaptane, Acroleine, SO_2 u. a.). Auch zur Verbesserung für die Luft, die zur Belüftung von Gebäuden, Garagen, Schulen, Vergnügungsunternehmen dient, ist es zweckmäßig, durch Filter von aktiver Kohle alle unangenehmen Gerüche zu beseitigen. Solche Filter haben auch ohne Regeneration eine lange Lebensdauer. Ohne auf alle Möglichkeiten einzugehen, will ich noch hervorheben, daß die aktive Kohle durch Impregnation mit Chemikalien für das Auffangen gewisser Gase und Dämpfe geeignet gemacht werden kann, so daß sich hier eine ausgedehnte Möglichkeit zur Verhinderung schädlicher Luftverunreinigungen ergibt.

1824 entdeckte der deutsche Physiker HOHLFELD die Fähigkeit hochgespannter elektrischer Ströme, aus der Luft Staub niederzuschlagen. Seitdem befaßt sich nicht nur bei uns in Deutschland, sondern auch in den USA eine beachtlich angewachsene Industrie mit der Herstellung von Elektro-Filtern zur Reinigung von Luft und Abgasen. In erster Linie haben solche Filter Bedeutung für Zementfabriken, Papiermühlen, ferner zur Reinigung von Rauch, Flugasche, von Koksofendämpfen, zur Zurückgewinnung von flugfähigem Material der Nicht-Eisen-Industrie, zum Abfangen und zur Zurückgewinnung von schwefliger Säure und von Phosphorsäurenebeln, zur Rückgewinnung von elementarem Phosphor aus Abzugsdämpfen⁴¹⁾. Sie können Staub, Tröpfchen und Rauch sammeln, dagegen sind sie außerstande, Gase und Dämpfe zu kollektivieren. Sollte das nötig sein, aber auch, wenn besondere Bedingungen das wünschenswert machen, so verwendet man Elektro-Filter zusammen mit anderen Filtern. Dämpfe müssen zuvor kondensiert sein.

³⁹⁾ W. P. JONES & A. W. ANTHONY Jr.: Pease-Anthony Venturi scrubbers, aus (5) S. 318/329.

⁴⁰⁾ ARTHUR B. RAY: Role of activated carbon in practical control of atmospheric contamination, aus (5) S. 357 ff.

Elektro-Filter sind bei der Anlage teuer, haben aber eine lange Lebenszeit und nur geringe Betriebskosten.

Der Wert hoher Schornsteine⁴²⁾ für die Verteilung und Abführung von Gasen und Dämpfen ist auch bei uns schon lange anerkannt⁴³⁾. HILL macht besonders darauf aufmerksam, daß durch Erhitzung der Abgase die Wirkung der Schornsteine sich ebenso steigern läßt wie durch die Beschleunigung der Geschwindigkeit. Die gegebenen genauen Berechnungsgrundlagen müssen in jedem einzelnen Fall neu ermittelt werden.

Die Bemühungen über die Verringerung der Rauch- und Rußplage durch die Eisenbahnen und die Binnenschifffahrt verdienen unsere größte Aufmerksamkeit. EARL C. PAYNE⁴⁴⁾ stellte als Grundsätze für diese Bemühungen der Kohlewirtschaft folgende Ziele auf: 1. Die volle Zufriedenheit des Verbrauchers, 2. eine hohe Ausnutzungsquote, 3. eine Herabsetzung der Betriebskosten neben einer merklichen Verbesserung der Abgase zu erreichen. Die ausgedehnten Versuche sind durchaus erfolgreich gewesen. Es hat sich erwiesen, daß eine doppelt gesiebte und gewaschene Kohle von einer Größe von 1 bis 5 Inches (= 2,54 bis 12,7 cm) die beste Verbrennung gewährleistet und bei besserer Ausnutzung 13 bis 20 % Ersparnis bringt. Gleichzeitig wird der Schornsteinauswurf an Kohlepartikelchen und Flugasche merklich herabgesetzt. Mehr als 20 Eisenbahngesellschaften ziehen die doppelt gesiebten und gewaschenen Kohlen im Verbrauch vor und einige haben sich schon ganz auf sie umgestellt. Eine Eisenbahngesellschaft in Pittsburgh hat in den letzten zwölf Monaten durch Verwendung solcher Kohle die Heizkosten um 25 % herabgesetzt. Eine andere Gesellschaft hat rund 10 000 Dollar monatlich im ersten Jahr der Umstellung gespart. Dazu kommen Einsparungen bei der Ein- und Umladung von Kohle und Asche, Einsparung an Personal usw. Da die Elektrifizierung der Eisenbahnen bei uns in Deutschland wohl geraume Zeit in Anspruch nehmen wird, aber auch im Hinblick auf die Binnenschifffahrt sollte man diesen Ergebnissen auch hier gebührende Beachtung schenken.

1940 wurden 18 Millionen bewohnte Wohnungen in den USA mit Kohle beheizt. Seitdem sind wohl ein Teil der Bewohner zu Öl- und Gasheizung übergegangen, es wurden aber 1949 432 000 Raumöfen, 209 000 andere Öfen und 52 000 Boiler fabriziert, die alle auf Kohlefeuerung mit Handbedienung eingestellt sind. Von diesen gehen entsprechende Luftverunreinigungen aus. Um diese zu verringern, hat die Bituminous Coal Research, Inc., Columbus, Ohio, umfangreiche Versuche angestellt, um rauchlose Öfen zu entwickeln. Nach dem Bericht von JAMES R. GARVEY⁴⁵⁾ ist es ihr gelungen, einen „rauchlosen“ Kohlenbrenner zu entwickeln, dem die Luft nicht vertikal von unten, sondern seitlich und von oben vorgewärmt zugeführt wird. Dadurch wird eine

⁴¹⁾ WALTER A. SCHMIDT & CARL R. FLODIN: Fundamental principles, design, application, performance and limitations of electrical precipitation equipment, aus (5) S. 373 ff.

⁴²⁾ GEORG R. HILL: The place of tall stacks in air pollution control, aus (5) S. 408 ff.

⁴³⁾ Dr. WILHELM LIESEGANG: Das Verhalten von Abgasen in der Luft, Kl. Mitteilungen f. Mitglieder d. Vereins f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene, 1939, Nr. 6/9, S. 187 ff.

⁴⁴⁾ EARL C. PAYNE: Railroad activity in reducing atmospheric pollution, aus (5) S. 415/421.

⁴⁵⁾ JAMES R. GARVEY: Design and use of smokeless hand-fired residential coal-burning equipment, aus (5) S. 422/430.

fast vollständige Verbrennung und eine weit höhere Hitze erzeugt. Die Anfangsschwierigkeiten der industriellen Produktion, die darin lagen, daß das gewöhnlich verwandte Material die erzielten hohen Hitzegrade nicht aushielt, sind überwunden. Die Martin Stove und Range Company, Florence, Ala., und die Oakland Foundry Company, Belleville, Ill., stellen Öfen dieses Typs her, die etwa 20 bis 25 % teurer sind als die Öfen alter Art. Der Preis kann dadurch, daß der neue Ofen etwa 20 bis 30 % des Heizmaterials bei der gleichen Wärmeerzeugung einspart, rasch herausgewirtschaftet werden.

Gesetzliche Maßnahmen und ihre Erfolge

Es bleibt noch übrig, einige Worte über die Gesetzgebung zur Verhütung von Luftverunreinigungen zu sagen. Kürzlich hat HELLER⁴⁶⁾ darüber im „Gesundheitsingenieur“ Ausführungen gemacht. Das Recht auf Erlaß entsprechender Vorschriften in den USA steht der Bundesregierung, danach den Länderregierungen, endlich den Bezirksregierungen (Counties) und schließlich den Städten zu. Da der Bundesgesetzgeber bisher keine Gesetze zur Verhütung von Luftverunreinigungen erlassen, sondern sich darauf beschränkt hat, durch Gesetze die Mitwirkung seiner Dienststellen an der Untersuchung und Aufklärung festzulegen, so liegt z. Z. praktisch die Gesetzgebung bei den übrigen genannten Instanzen, die davon in sehr unterschiedlicher Weise Gebrauch gemacht haben. In einer Hinsicht unterscheidet sie sich aber wesentlich von der bei uns in Deutschland geübten Praxis. Bei uns pflegt man Vorschriften erst zu erlassen, wenn die Möglichkeit der Durchführung der beabsichtigten Maßnahmen gesichert ist. Wenn man die Durchführung der gesetzlichen Maßnahmen für sehr schwierig oder kostspielig hält, sieht man vielfach von einer gesetzlichen Regelung ab. Diese Bedenken bestehen in den USA jedenfalls nicht in demselben Maße wie bei uns. Dort hat man in einigen Staaten im Interesse der allgemeinen Wohlfahrt scharfe Bestimmungen zur Reinhaltung der Luft erlassen, ohne daß die technischen Möglichkeiten der Durchführung bereits gegeben waren. Es zeigte sich aber dann, daß die Technik in verhältnismäßig kurzer Zeit eine ausreichende, manchmal sogar eine gute Lösung des Problems fand, die sich oft genug auch als wirtschaftlich so gut erwies, daß die Industrie selber sich mit bedeutenden Mitteln an den Forschungsarbeiten beteiligte.

In Deutschland besteht auf dem der Lufthygiene nahe verwandten Gebiet der Abwasserhygiene fast in allen Bundesstaaten die Bestimmung, daß Wasserläufe nicht zum Nachteil Dritter verunreinigt werden dürfen. Tatsächlich haben in ganz großem Umfang die verantwortlichen Verwaltungsbehörden diesen gesetzlichen Bestimmungen keine genügende Geltung verschafft, und heute soll deshalb der Bund und die Staaten einen Teil der Mittel bereitstellen, damit ein erträglicher Zustand wieder hergestellt wird. Als Präsident HARRY TRUMAN durch seinen Erlaß vom 10. Dezember 1949 die Vorbereitung des Kongresses über Lufthygiene in die Wege leitete, führte er aus,

„daß jede Ortsbehörde ihre eigene Lage prüfen und die gesetzgeberischen Maßnahmen den örtlichen Verhältnissen anpassen müsse. Er nähme nicht an, daß die Überlegungen des Kongresses zur Entwicklung eines Pro-

⁴⁶⁾ Dr. ARNOLD HELLER: Soll man in Deutschland das Abgasproblem, insbesondere bei Feuerstätten, gesetzlich regeln? Gesundh.-Ing., 75 Jg., 1954, Heft 23/24, S. A.

grammes führen würden, das den ohnehin so stark angespannten Etat des Bundes in Anspruch nehmen würde, zumal die Maßnahmen zur Verbesserung der Schäden in erster Linie örtliche Aufgaben seien.“

Die Beseitigung oder zum mindesten Verbesserung der durch Luftverunreinigungen entstandenen Schäden ist nämlich dort, wo gesetzliche Bestimmungen bestehen, Sache der Verunreiniger. Mittel aus öffentlicher Hand werden dafür in den USA nicht bereitgestellt. Die Überwachung und Durchführung der gesetzlichen Bestimmungen allein ist Sache der Instanz, welche die Bestimmungen im Interesse der allgemeinen Wohlfahrt oder der Gesundheit erlassen hat. Die Bundesverwaltung beteiligt sich ihrerseits an der Erforschung der Schäden und bei der Prüfung geeigneter Mittel und Methoden zur Verbesserung des durch die Entwicklung der Industrie entstandenen Zustandes.

Aus dieser staatspolitischen Lage ist es zu verstehen, daß die Gesetzgebung auf dem Gebiet der Luftverunreinigungen bei den 50 Bundesstaaten liegt. Bei ihnen ist das Bedürfnis nach einer Gesetzgebung auf diesem Gebiet sehr unterschiedlich, da in vorwiegend ländlichen Staaten Klagen über Belästigung durch Rauchschäden nur dann aufkommen, wenn große Fabriken oder mit Kohle betriebene Elektrizitätswerke größere Mengen schwefliger Säure in die Umgebung abstoßen. Staaten mit einer Massierung von industriellen Betrieben andererseits haben sehr unter den Rauchschäden und den Abgasen zu leiden. Aber auch innerhalb der Staaten selbst ist die Notwendigkeit zum Erlaß neuer Gesetze sehr unterschiedlich, da die räumliche Verteilung der Industriebetriebe keine gleichmäßige ist. In fast allen Staaten bestehen deshalb Ermächtigungsgesetze, durch die Counties (größere Verwaltungsbezirke), Städte, Dörfer und Flecken ermächtigt werden, die notwendigen Anordnungen zu erlassen und durchzuführen. Es besteht keine Neigung, auf gerade diesem Gebiet die Gesetzgebung zu zentralisieren. Da mehr als 3000 Counties und über 50 000 Groß- und Mittelstädte vorhanden sind, kann man sich vorstellen, wie verschiedenartig die erlassenen Bestimmungen und Vorschriften sind. Am schwierigsten ist wohl die Überwachung der Verunreiniger, da diese Überwachung nur mit einer Durchprüfung der Betriebe und, wo auch die Überwachung der Abgase aus den Privathaushalten notwendig ist, auch der Heizvorrichtungen in den Haushalten einhergeht. Nur technisch ausgebildete „Inspektoren“ kommen dafür in Betracht. Diese Kosten können nur Großstädte, größere Verwaltungsbezirke (Counties) oder Länder aufbringen, die vielleicht noch — auf einem anderen Sektor der Verwaltung — die notwendigen Laboratorien zur Durchführung der schwierigen Untersuchung haben⁴⁷⁾.

Es ist interessant, einen Blick auf diese örtlichen „Ordinances“, die wir bei uns wohl als Polizeiverordnungen bezeichnen würden, zu werfen. Die bei uns bekanntesten sind die von Pittsburgh, Los Angeles und St. Louis.

In Pittsburgh⁴⁸⁾ und anderen Bezirken der County Allegheny findet sich eine starke Konzentration der Schwerindustrie mit einer Bevölkerung von 1½ Millionen Einwohnern. Eine bituminöse Kohle mit hohem Aschengehalt steht in beliebiger Menge zur Verfügung. Die topographischen Ver-

⁴⁷⁾ ARTHUR C. STERN: Problems in the drafting and administration of air pollution control legislation, aus (5) S. 685/694.

⁴⁸⁾ RALPH H. GERMAN, ROSE, EICHENAUER, STEWARD & ROSE: Problems of compliance with air pollution ordinances in Allegheny County, Pennsylvania, aus (5) S. 695/701.

hältnisse sind wenig günstig, da sie die Aufstauung und Zurückhaltung von Luftverunreinigungen in der wenig bewegten Atmosphäre begünstigen. Nach dem Erlaß verschiedener Verordnungen gegen Luftverunreinigungen wurden die jetzt geltenden etwa im Jahre 1947 erlassen. Sie verbieten die Ablassung von „dichtem Rauch“ mit Ausnahme einer kurzen Zeit, die für das Anmachen des Feuers oder die Reinigung der Feuerstätte benötigt wird. Als „dichter Rauch“ wird ein Rauch bezeichnet, der nach der Meßmethode von RINGELMANN eine Dichtigkeit von 2 und mehr hat. Es wird ferner die Immission von Sott, Flugasche, schädlichen Säuren, Rauch, Gasen, Schlacke geregelt. Der Verkauf, der Transport und der Verbrauch von festem Brennstoff, der nicht den Bestimmungen eines rauchlos brennenden Brennmaterials entspricht, ist verboten. Diese Begriffsbestimmung ist genau erläutert; der Brennstoff darf nicht mehr als 20 % Aschenbestandteile nach seinem Trockengewicht enthalten. Ein Brennstoff mit höherem Aschengehalt darf nur in zugelassenen Öfen mit mechanischer Feuerungsanlage verbraucht werden. Auch Lokomotiven dürfen nur mit „rauchlosem“ Brennmaterial arbeiten oder müssen Einrichtungen zur Rauchverhütung besitzen. Bei Neuerrichtungen von Feuerstätten oder beim Umbau von älteren können von der Aufsichtsbehörde besondere Auflagen gemacht werden. — Die County von Alleghany hat am 17. Mai 1949 eine sorgfältig bearbeitete Verordnung gegen Rauchschäden erlassen, deren Bestimmungen in etwa von der Verordnung von Pittsburgh abweichen. Es ist deshalb in der Regel besser, sich an die schärferen Bestimmungen — z. B. für die Eisenbahnen — zu halten, da die Polizeigewalt nicht an der Grenze zwischen der County und der Stadt Pittsburgh endet, da auch die Rauchemission nicht an der Grenze Halt zu machen pflegt. — Die Verordnung zur Beschränkung des Rauches von Alleghany County⁴⁹⁾ verlangt, daß die Ausstoßung fester Bestandteile mit dem Rauch der Lokomotiven um 75 % vermindert wird, und zwar vom 1. Juni 1954 ab. Als diese Verordnung erlassen wurde, war man sich noch keineswegs darüber im klaren, ob damit eine erträgliche Unschädlichkeitsgrenze erreicht und ob überhaupt technisch die Möglichkeit bestünde, das Ziel zu erreichen. Aber sowohl die Eisenbahnen als auch die Kohleindustrie haben sofort ein Forschungsprogramm entwickelt, das diesem Zweck dient. — Die Hausbrandöfen dürfen nur einen Rauchausstoß nach der Ringelmannskala Nr. 2 haben. Die Folge davon ist, daß immer mehr Haushaltungen zur Verwendung von Gas, Anthrazitkohle oder anderem rauchschwachen Brennmaterial übergehen. Die Verordnungen tragen insofern alten, unmodernen Anlagen Rechnung, als sie hierfür Erleichterungen und Ausnahmen zulassen.

Nach dem allgemeinen Recht sind auch die Rauchschäden wegen Beeinträchtigung des öffentlichen oder privaten Wohles zu verhindern⁴⁹⁾; sie gelten als „nuisance“. Schon 1880 verbot der oberste Gerichtshof von Pennsylvania eine Bleischmelze wegen der schädlichen Wirkung auf Landwirtschaft und Viehzucht. Es muß allerdings in jedem einzelnen Fall nachgewiesen werden, daß Rauch schädlich oder nachteilig für den Einzelnen oder — im Falle des öffentlichen Wohles — für eine größere Zahl von Personen ist. Dieser Nachweis wurde mit dem Anwachsen der Städte immer schwieriger, da es sich ja nun nicht mehr um nur eine Schadensquelle handelt. Daher wurde in Californien das Rauchschaden-Statut erlassen, insbesondere auch

⁴⁹⁾ HAROLD W. KENNEDY: The legal aspects of California air pollution control act, aus (5), S. 702/711.

deshalb, weil das allgemeine Gesetz keine Möglichkeit für eine Überwachung und Untersuchung der Betriebe, für eine Belehrung der Besitzer und für eventuelle Zwangsmaßnahmen bietet. In Californien war es ferner nicht möglich, das Recht auf Erlaß von entsprechenden Verordnungen auf die Städte oder Counties zu delegieren. Auf der anderen Seite war es nicht notwendig, scharfe Bestimmungen zur Unterdrückung der Rauchimmissionen überall zu erlassen. Das Gesetz mußte also so biegsam sein, daß es in den Industriegebieten eine merkbliche Besserung des Zustandes unter Schonung der anderen Landesteile bringen konnte.

Los Angeles ist eines der bedeutendsten Industriezentren der Welt. Infolge seiner geographischen Lage leidet es häufiger an Luftinversionen, bei denen durch Überlagerung der kalten Bodenluftschichten durch höher gelegene warme Luft die Verunreinigungen in Bodennähe festgehalten werden und so zu einer erheblichen Belästigung der Bevölkerung werden. Dabei tritt ein starker Reizzustand der Augenbindehäute ein. Welche Immissionen für dieses Augenleiden verantwortlich sind, ist bisher noch nicht festgestellt. Da man aber die Luftinversionen nicht beseitigen kann, muß man die Lufthygiene wesentlich verbessern.

Das dazu erlassene Gesetz schafft in jeder County eine Luftüberwachungsstelle, deren Grenzen mit den Grenzen der County übereinstimmen. Die Polizeigewalt erstreckt sich auf den ganzen Bezirk, auch auf die in ihm liegenden Städte, die Selbstverwaltung haben. In den einzelnen Bezirken (Counties) wird das Gesetz aber erst wirksam, wenn die Überwachungsbehörde (Board of Supervisers) nach öffentlicher Verhandlung feststellt, daß eine Luftverunreinigung besteht, die mit örtlichen Mitteln nicht beseitigt werden kann. Danach erlangt das Gesetz erst in diesem Bezirk Wirksamkeit. Der County-board of Supervisers ist gleichzeitig Regierungs- und Überwachungsinstanz und bewilligt selbst die für die Überwachung notwendigen Geldmittel. Eine unabhängige Beschwerdeinstanz ist mit zwei Juristen und einem Chemie- oder Maschineningenieur als Richtern besetzt. Nach dem Gesetz kann jede Luftüberwachungsstelle einer County innerhalb gewisser Grenzen selbst Bestimmungen festsetzen, welche die Bedeutung gesetzlicher Vorschriften haben und bei Nichtbeachtung entsprechend bestraft werden können.

In dem Bezirk von Los Angeles wurde das Gesetz sofort in Kraft gesetzt. Schon bestehende Betriebe bedürfen keiner neuen Genehmigung. Neue Betriebe oder Betriebe, die sich vergrößern, umbauen, den Betrieb oder den Besitzer ändern, bedürfen einer Genehmigung, bei deren Erteilung ihnen Auflagen gemacht werden können. Aus den Genehmigungen geht hervor, daß von 1948 bis 1950 2 522 428 Dollar zur Verbesserung der Luftverhältnisse ausgegeben wurden. Die Bestimmungen verbieten die Immission von festen Teilchen von irgendeiner Quelle von mehr als 0,4 grain (1 grain = 0,065 g) je Kubikfuß (1 Fuß = 30,48 cm) bei einer Temperatur von 60 ° Fahrenheit. Der zulässige Auswurf von schwefliger Säure, Staub, Sott, Schmutz, Kohleteilchen, anderen schädlichen Säuren, Dampf, Gasen, Gerüchen oder einem Gemisch davon ist ebenfalls geregelt. Zu einem Teil beziehen sich die Regeln auf den Durchsatz. Die Bestimmungen können gelockert oder verschärft werden, je nachdem die Lage das erfordert.

Der Überwachungsbehörde ist ein Beirat an die Seite gestellt, der aus Ingenieuren, Wissenschaftlern und anderen Mitgliedern besteht, die ehrenamtlich tätig sind. Als übergeordnete Instanz besteht die obengenannte Be-

schwerdestelle. Diese kann auf Antrag des Betroffenen oder des Kontrollbeamten den ergangenen Bescheid abändern oder den Vollzug aufschieben, falls das nach mündlicher Verhandlung sich als notwendig erweist. Die Verhandlung ist öffentlich⁵⁰⁾.

St. Louis hatte seit 1867 bereits Verordnungen gegen die Rauchplage erlassen. Aber mannigfache Umstände hatten eine wirksame Durchführung erschwert. Als 1939 ein ganz schwerer Nebel die Stadt heimsuchte, der die Sicherheit auf der Straße fast ganz aufhob, nahmen sich die Presse und die Öffentlichkeit der Angelegenheit an und forderten wirksame Maßnahmen. 1940 wurde die jetzt gültige Verordnung erlassen, die im wesentlichen wie die von Pittsburgh und Los Angeles arbeitet, sich aber auf die Bekämpfung von Rauch und Flugasche beschränkt. Es ist die Verbrennung von rauchschwachem Brennmaterial vorgeschrieben. Wer das nicht brennen, sondern bei dem billigeren, aschenreichen Material bleiben will, ist verpflichtet, zur mechanischen Feuerung überzugehen und gegebenenfalls geeignete Filter zum Abfangen der Kohle und Aschenteile einzubauen. Durch diese Maßnahmen hat sich die Rauchimmission um 73 % vermindert⁵¹⁾. Dieser Erfolg ist allerdings nur erzielt, weil die höchste Strafe — die Schließung einer Fabrik, die sich nicht an die Anordnung hält — tatsächlich durchgeführt wird. Im allgemeinen erfolgt eine solche Schließung im Frühjahr, damit die Fabrikleitung Gelegenheit hat, die notwendigen Maßnahmen zu treffen⁴⁷⁾.

Diese Verordnungen mögen als Beispiel für viele andere gelten, die inhaltlich aber sehr den örtlichen Verhältnissen angepaßt sind. Benachbarte Bezirke finden in der Regel eine freundschaftliche Form der Zusammenarbeit zum allgemeinen Wohl.

Wo die Luftverunreinigungen die Grenzen eines Staates überschreiten, stellt sich zwischen den beteiligten Staaten in der Regel ohne Schwierigkeiten die notwendige Zusammenarbeit ein; die Bundesverwaltung leistet von sich aus dabei Hilfe, falls sich das zur Überbrückung von Schwierigkeiten als notwendig erweist. Schwieriger wird es, wenn die Regelung internationaler Schäden durch Luftverunreinigungen auftaucht, wie das in zwei Fällen zwischen Kanada und den USA der Fall war. In diesen beiden Fällen wurde von beiden Staaten eine gemeinsame Schlichtungskommission eingesetzt, die die Aufgabe hatte, festzustellen, ob ein Schaden und in welchem Umfang entstanden sei, wodurch er verursacht wurde. Auch die Feststellung der Entschädigung wurde der Kommission übertragen und sie ersucht, Vorschläge zur Verbesserung zu machen.

Die Ergebnisse dieser Gesetzgebung in den USA sind trotz der kurzen Anlaufzeit als durchaus beachtlich zu bezeichnen. In großem Umfang beteiligt sich die Industrie an den Forschungsaufgaben, nicht nur an den Versuchen, die Rauchschiäden zu vermindern und wertvolle Stoffe zurückzugewinnen, sondern auch an der objektiven Aufklärung der angerichteten oder zu befürchtenden Schäden. Das allgemeine Interesse an den Problemen der Lufthygiene ist in den USA groß, offenbar durchweg größer als hier bei uns. Allein die Licht- und Kraftindustrie hat die Absicht, rund 60 000 000 Dollar für Einrichtungen aufzuwenden⁵²⁾. Durch bessere Heizmethoden hat sich die Lage dieser Industrie so verbessert, daß die notwendige Menge Kohle zur

⁵⁰⁾ HERBERT V. WALKER: The hearing board under California air pollution control act, aus (5) S. 712.

⁵¹⁾ RAYMOND R. TUCKER: The St. Louis code and its operation, aus (5), S. 726 ff.

Erzeugung von einer Kilowattstunde nur noch 40 % der Menge beträgt, die man noch vor 30 Jahren gebrauchte.

Ausblick

Die Donora-Katastrophe, wohl auch die gelegentlich wiederkehrenden Nebel-Katastrophen in London, haben in fast allen Staaten der USA eine Fülle von Gesetzesvorschlägen und Anregungen an die Parlamente herangebracht. Im Jahre 1948/49 wurden in zwölf Staaten 33 Vorschläge betr. Lufthygiene den gesetzgebenden Körperschaften vorgelegt; im Jahre 1949/50 wurden in acht Staaten 17 Gesetzentwürfe und Entschließungen vorgelegt. Fünf Gesetzentwürfe oder Entschließungsentwürfe wurden dem 81. Kongreß vorgelegt, obwohl die Gesetzgebung in diesem Sektor den Staaten obliegt. Wohl hatte man sich auch früher schon mit Rauchschäden und den Belästigungen durch Abgase beschäftigt. In St. Louis wurden 1867, 1893, 1899 und 1937 Verordnungen zur Bekämpfung von Rauchschäden erlassen; in Pittsburgh 1895 und 1911. Aber diese Verordnungen waren nur wenig wirksam, da kein zureichender Kontrollapparat vorhanden war. Nach der Katastrophe von Donora wurde das anders. Man kann wohl sagen, mit amerikanischer Geschwindigkeit wurden die wissenschaftlichen Erkenntnisse zusammengefaßt, ein ausreichender Verwaltungsapparat geschaffen und mit den notwendigen Vollmachten ausgestattet. Die Öffentlichkeit wurde unterrichtet und zur Mitarbeit herangezogen. Soweit man das nach einer kurzen Anlaufzeit sagen kann, ist der Erfolg nicht ausgeblieben, obwohl man erst am Anfang des Weges steht.

⁵²⁾ Diskussion E. F. Wolf, aus (5) S. 447.

Inhaltsverzeichnis

1. Lufthygiene in den USA	1
2. Schwierigkeiten bei der Ermittlung des Zusammenhanges von Luftverunreinigungen und Schaden	2
3. Schäden durch Luftverunreinigungen	3
4. Schäden in der Land- und Forstwirtschaft	3
5. Analytische Methoden	4
6. Schwefelverbindungen in Luftverunreinigungen	5
7. Spektrochemische Untersuchungen	6
8. Physiologische Wirkungen von Luftverunreinigungen	6
9. Einwirkungen von Luftverunreinigungen auf die Gesundheit	7
10. Die Nebelkatastrophe von Donora	8
11. Die Wirkungen von Luftverunreinigungen auf die Haut	9
12. Giftige Luftverunreinigungen	10
13. Luftverunreinigungen natürlicher Art	11
14. Luftverunreinigungen künstlicher Art	12
15. Luftverunreinigungen und Krebs	12
16. Die Wirkung von chemisch inaktivem Staub	13
17. Radioaktive Ionen in Luftverunreinigungen	14
18. Über den Zusammenhang von Luftverunreinigungen und Mund- und Zahnkrankheiten	15
19. Allergische Erkrankungen und Luftverunreinigungen	16
20. Maßnahmen gegen Luftverunreinigungen	16
21. Gesetzliche Maßnahmen und ihre Erfolge	20
22. Ausblick	25
23. Namen- und Ortsverzeichnis	26

Autoren- und Ortsverzeichnis

(Zahlenangaben beziehen sich auf die Seiten)

Alleghany County	21	Maastal, Belgien	8, 10
Anthony, Jr., A. W.	17, 18	May, James W.	17
Ashe, William F.	8	Mc Cabe, Louis C.	1
		Mc Intire, Walter H.	4
Batelle	5	Minneapolis	16
Belleville, Ill.	20	Munger, Hamnet P.	5
Bethesda, Maryland	12		
Bikini-Inseln	15	Neuburger, Hans	12
Brennan, Ellen	4	Neu-England-City	10
Californien	23	Payne, Earl C.	19
Canada	24	Pennsylvania	22
Cincinnati	8	Pittsburg	19, 21
Columbus, Ohio	19	Pring, Robert T.	17
Daines, Robert	4		
Donora, Pa.	2, 8, 10, 25	Ray, Arthur B.	18
Dunning, James M.	15	Rose	21
Dustan, Cyril	10	Rubner, M.	1
		Ruff, R. J.	16
Eichenauer	21		
Eisenbud, Merrill	10	St. Louis	21, 24, 25
		Schiller	13
Flodin, Carl R.	19	Schmidt, Walter A.	19
Florence, Ala.	20	Scribner, Bourden F.	6
Flügge, Carl	1	Silverman, Leslie	17
Friedl, R. A.	6	Smith, Walter J.	17
		Spitta, O.	8
Garvey, James R.	19	Stafford, Earl	17
German, Ralph H.	21	Stakmaan	16
		Steadman, L. T.	10
Hagen-Smit, A. J.	5	Stern, Arthur C.	21
Harris, W. B.	12	Steward	21
Heller, Arnold	20	Sulzberger, Marion B.	9
Hendricks, Russel H.	3		
Hill, Georg R.	3, 19	Tabershaw, Irving R.	10
Hippokrates	7	Tennessee	4
Hohlfeld	18	Thomas, Moyer D.	3
Hueper, W. C.	12	Tiegs, E.	1, 3, 4
		Townsend, J. G.	8
Illinois	6	Truman, Harry	1, 2, 20
Jacobs, Merris B.	5	Tucker, Raymond R.	24
Jones, W. P.	18		
Johnson, V. Webster	3	Vorwald, Arthur J.	13
Johnson, H. F.	6		
Kehoe, Robert A.	11, 12	Walker, Herbert W.	24
Kennedy, Harold W.	22	Wanta, R. C.	10
Kleinschmidt, R. V.	17	Webster, Pa.	8
Koch, Robert	7	Weldert, R.	1
		Wernicke, Erich	17
Lehmann, K. B.	1	Wittich, F. W.	16
Leone, Ida	4	Wolf, B. S.	10
Lessing	3	Wolf, E. F.	25
Liesegang, Wilhelm	19	Wolman, Abel	15
London	2, 3, 10	Worth	13
Los Angeles	8, 21, 23		

Verfahren zur Untersuchung der Außenluft und deren Bedeutung für die Lufthygiene

Von Prof. Dr. A. HELLER

Bundesgesundheitsamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene

(Mit Tafel I und 5 Abbildungen im Text)

(Vortrag, gehalten auf der Kissinger Tagung der Deutschen Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie, am 29. April 1955)

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Lassen Sie mich zunächst dem Herrn Vorsitzenden der Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie, Herrn Prof. Dr. SCHÜTZ, dafür danken, daß ich heute vor den Mitgliedern dieser Gesellschaft und insonderheit vor den hier versammelten Amtsärzten, die vielfach amtlich mit dem Problem der Industrieabgase befaßt werden, über die im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene ausgebildeten Methoden der Außenluftuntersuchung und deren Bedeutung für die Sicherstellung eines ausreichenden Anwohnerschutzes gegen Industrieabgase sprechen kann. Ich muß zugleich um Ihr Einverständnis bitten, daß ich in Anbetracht der mir nur zur Verfügung stehenden 30 Minuten allein die wichtigsten Untersuchungsverfahren und von diesen auch nur das Kennzeichnende vortrage, um wenigstens noch einige allgemein interessierende Fragen der Lufthygiene kurz besprechen zu können.

Der Mediziner — und auch der Botaniker — sind gewohnt, das Eintreten von Schäden beim Menschen oder bei Pflanzen von dem Überschreiten bestimmter Giftigkeitsschwellenwerte abhängig zu machen. Sie erwarten daher im allgemeinen von dem Chemiker, daß er — ebenso wie bei Luftuntersuchungen in geschlossenen Räumen — auch bei Untersuchungen in der freien Luft Werte für die Schadstoffkonzentration angibt. Während dieser Wunsch nun bei Luftuntersuchungen in Fabrikräumen leicht erfüllt werden kann, stößt seine Erfüllung in der Außenluft auch heute noch auf wenig bekannte, beträchtliche Schwierigkeiten, zumal wenn die Geldmittel für solche Untersuchungen knapp bemessen sind. Das ist übrigens in allererster Linie der Grund, weshalb die Außenlufthygiene in bezug auf exakte Untersuchungsergebnisse überall, selbst im reichen Amerika, gegenüber der Gewerbehygiene um Jahrzehnte zurück ist.

Zum Verständnis des Weges, den wir in der damaligen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene beschritten haben, muß ich hier näher auf diese Schwierigkeiten eingehen. — Zwar handelt es sich sowohl bei Luftuntersuchungen in Räumen als auch bei solchen im Freien um den Nachweis oder die Bestimmung von Spuren der Fremdstoffe in ein- und demselben Trägergas. Aber der Zustand, in welchem sich das Trägergas „Luft“ befindet, und die Bedingungen, unter denen die Untersuchungen durchzuführen sind, sind so grundverschieden, daß notgedrungen auch das Untersuchungsverfahren in beiden Fällen nicht das gleiche sein kann.

Während in geschlossenem Raume der betreffende Schadstoff in einem ruhenden Luftkörper vorhanden ist, hat man es in der freien Luft mit einer

sehr ungleichmäßigen Verteilung des Fremdstoffes in einem Lufterkörper zu tun, der sich in ständiger und dabei vorwiegend ungeordneter Bewegung befindet. Das Verhalten des Schadstoffes im Freien hängt von einer ganzen Reihe meteorologischer Faktoren unmittelbar und auch mittelbar ab, die einem schnellen und häufigen Wechsel unterworfen sind. Es ist ferner abhängig von dem Fremdstoff selbst, von seiner Fähigkeit, mit dem in der Luft vorhandenen Wasserdampf in Wechselwirkung zu treten oder mit anderen, ebenfalls in der Luft vorhandenen Stoffen unter Bildung neuer chemischer Verbindungen zu reagieren. Als Beispiele führe ich an: Die Oxydation von Schwefeldioxyd zu Schwefeltrioxyd bzw. zu Schwefelsäure; die Bildung von Salmiaknebeln — Ammoniumchlorid — aus Salzsäure und Ammoniak. Die Abgasverteilung in der Außenluft hängt ferner ab von der Bodengestaltung in der Umgebung der Abgasquelle, von den Einleitungsbedingungen, also vom Wärmeinhalt, dem Verdünnungsgrad, der Strömungsgeschwindigkeit der Abgase sowie von der Schornsteinhöhe.

Die größten Schwierigkeiten für die Untersuchung im Freien sind aber ohne Zweifel durch die schnell wechselnden meteorologischen Faktoren gegeben. Da ist zunächst der Wind zu nennen: Will man in der Achse einer Rauchfahne eine Luftprobe entnehmen, so erkennt man sehr bald, daß es meist nicht gelingt, auch nur wenige Minuten lang genau in der Achse der Abgasfahne zu bleiben. Man müßte daher jeder Richtungsänderung des Windes folgen und seinen Standort ändern, wenn man die Schadstoffkonzentration bestimmen will. Das ist bei Verwendung unhandlicher oder schwer beweglicher Entnahmeapparaturen schlechthin unmöglich. — Nun unterliegt aber die nach dem Verlassen des Schornsteines sich bildende Abgasfahne nicht nur der horizontalen, sondern auch der vertikalen Richtungsänderung. Die Entnahmestelle wird erfahrungsgemäß nur stoßweise von den Abgasen getroffen. — Außerdem hat die Windgeschwindigkeit einen Einfluß auf die Abgasverteilung. In einer bestimmten Entfernung von der Abgasquelle ist daher die Schadstoffkonzentration ferner abhängig von der ebenfalls wechselnden Windgeschwindigkeit. Diese ist im allgemeinen weit weniger konstant, wie der Laie annimmt. Daß sie aber für die Schadstoffgehalte der Luft sehr wesentlich ist, wissen viele; denn stark riechende Abgasbestandteile sind in einem bestimmten Abstände von der Einleitungsstelle bei starkem Winde weit weniger wahrnehmbar als bei geringer Luftbewegung.

Hierbei spielen allerdings auch noch andere Vorgänge in der Atmosphäre eine Rolle, die die Meteorologen als „Turbulenz“ bezeichnen.

Als weitere für die Abgaskonzentration im Freien wesentliche Faktoren nenne ich die relative Luftfeuchtigkeit, den Nebel, die Inversionsschichten sowie die Niederschläge. Letztere spielen vor allem bei der Abscheidung von Feststoffen, wie Staub und Flugasche, eine bedeutende Rolle.

Daher unterliegt z. B. der Wechsel der Konzentrationsverhältnisse in der Umgebung Abgas erzeugender Betriebe tageszeitlichen Schwankungen. Wenn in den Abendstunden die Windbewegung schwächer wird und wenn der Feuchtigkeitsgehalt in den Nachtstunden ansteigt, sind die Abgasbelästigungen und -konzentrationen bedeutend stärker als in den Tagesstunden, in denen der Massenaustausch sich schneller vollzieht. Daher kommen dann die Klagen der Anwohner über verstärkte nächtliche Störungen durch Abgase,

auch dann, wenn diese in Wirklichkeit — und nachweisbar — in gleichbleibender Stärke abgelassen werden.

Die Schwierigkeiten der exakten quantitativen Bestimmungen von Schadstoffkonzentrationen in der Außenluft lassen sich am besten durch eine Mitteilung aus der Untersuchungspraxis aufzeigen: Wir haben einmal in 500 m Abstand von einem Betriebe, der erhebliche Mengen Schwefeldioxyd zu ebener Erde in die Luft einleitete, die Säurekonzentration in der Abgasfahne nach dem jodometrischen Verfahren von ZEPF und VETTER quantitativ zu bestimmen versucht. Dabei haben wir nur dann Luft durch die Apparatur geleitet, wenn wir nach dem Geruch wirklich in der Abgasfahne waren. Dennoch schwankten bei stets gleichbleibendem Abgasanfall die gefundenen Werte zwischen 0,07 und 1 mg SO_2/m^3 , also im Verhältnis 1 : 14.

Wir benutzen daher für unsere Luftuntersuchungen im allgemeinen Standardverfahren, die zwar nur Relativwerte liefern, aber bei Vorhandensein einer großen Anzahl von Vergleichswerten uns durchaus Aufschluß über den Verunreinigungsgrad in der Umgebung eines Industrierwerkes geben. Aus den Befunden solcher Untersuchungen lassen sich auch Schlüsse auf den Einfluß der Abgase jedes einzelnen Werkes ziehen, wenn die Untersuchung gleichzeitig in der Umgebung mehrerer Werke zweckentsprechend durchgeführt wird. Ferner kann die Reichweite einer bestimmten Abgasquelle im Bedarfsfalle ermittelt werden. Das im Institut verwendete Standardverfahren zur Bestimmung von Gesamtschwefel (Schwefeldioxyd + Schwefeltrioxyd bzw. schweflige Säure + Schwefelsäure), von Chloriden bzw. Chlor sowie von Schwefelwasserstoff wird im allgemeinen als „Glockenverfahren“ von W. LIESEGANG bezeichnet. Es ist leider in Medizinerkreisen und auch bei den Amtsärzten viel zu wenig bekannt, besonders hinsichtlich seiner Anwendungsmöglichkeiten. Ich will daher kurz auf die Gesamtschwefelbestimmung eingehen.

Über die Porzellanglocke, die in Abb. 1 in Aufsicht und im Schnitt gezeigt wird, wird eine für Extraktionszwecke gebräuchliche Filtrierpapier-

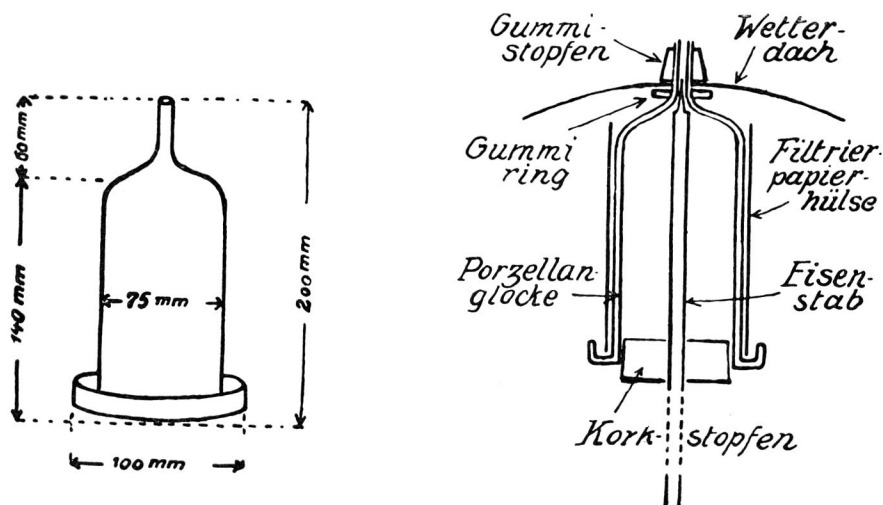


Abb. 1. Entnahmeglocke in Aufsicht und im Schnitt.

vorherrschenden Windrichtungen nordöstlich und östlich von der Abgasquelle nicht nur zwei, sondern drei bzw. sogar vier Proben entnommen. Sind mehrere Einzelquellen, die einander benachbart liegen, auf ihre Bedeutung für die gesamte Luftverunreinigung in ihrer Umgebung zu untersuchen, so werden die Entnahmegeräte auf u. U. auch kleineren Kreislängen (200 m) angeordnet, die um jede der Abgasquellen geschlagen werden. Soll die Reichweite der Abgaswirkung festgestellt werden, so hat man eine andere Anordnung zu treffen. In diesem Falle werden die Proben auf mehreren Meßstrahlen in den bevorzugten Windrichtungen in verschiedenen Abständen von 250 oder 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m usw. bis etwa in 5 oder 6 km Entfernung entnommen. In Groß- und Industriestädten haben wir bisweilen 30 und mehr Meßstellen zur gleichen Zeit eingerichtet. Ich wiederhole: Es kommt immer auf die Fragestellung an. Die Lage der Entnahmestellen ist so zu wählen, daß die an ihnen erhaltenen Meßergebnisse bestmögliche Unterlagen für den Grad der Luftverunreinigung an den betreffenden Punkten des Untersuchungsgebietes liefern.

Von der alkalischen Papierfläche werden die in der vorbeistreichenden Luft enthaltenen Säuren begierig aufgenommen. Alle Proben bleiben 100 Stunden stehen. Sie sind nach einem vorher festgelegten Plan schnell hintereinander aufgestellt worden und werden in der gleichen Reihenfolge auch wieder eingezogen. Dabei werden die Hülsen abgenommen und — zusammen mit etwa in der Glockenwanne vorhandener Flüssigkeit — in eine mit Glasstopfen versehene Pulverflasche gebracht. Die Aufarbeitung der Proben geschieht im Laboratorium nach bekannten Analysenmethoden.

Während der Dauer der Probeentnahme wird die Windrichtung mit einem Anemographen an einem Punkt mitten im Untersuchungsgelände, der — hoch gelegen — die umgebenden Gebäude möglichst weit überragt, fortlaufend registriert. Außerdem werden mit selbstschreibenden Geräten die Lufttemperatur, die relative Feuchtigkeit der Luft sowie der Luftdruck fortlaufend gemessen. Nach entsprechender Auswertung der Windmeßergebnisse weiß man, wieviel Windstunden jede einzelne Probe von den Abgasen des betreffenden Betriebes bestrichen worden ist. Diese prozentualen Windwerte werden nun zu den gefundenen Schwefelwerten in Beziehung gesetzt.

Bevor ich Ihnen dafür einige Beispiele im Bild zeige, möchte ich hinsichtlich der Bedeutung der Schwefelwerte erst folgendes ausführen: Unter den üblichen Witterungsbedingungen findet man in 100 Stunden:

in nicht verunreinigter Landluft	bis 5 mg S
in Städten mit offener Bauweise ohne Industrie	bis 10 mg S
in dicht besiedelten Großstädten	bis 20 mg S
in der Umgebung von chemischen Fabriken	bis 50 mg S
in der Nähe einzelner Industriewerke wurden früher gefunden	bis 300 mg S

Nach den in vielen Fällen gleichzeitig vorgenommenen Bestimmungen der absoluten SO_2 -Konzentration bestehen folgende Beziehungen zwi-

schen Schwefelwerten je 100 Stunden und mittleren SO_2 -Konzentrationen in der Luft: Es entsprechen etwa der Größenordnung nach:

Glockenwert	mg SO_2/m^3
10	0,1
10—20	0,1—0,2
20—50	0,2—0,5
50—200	0,5—1,0

Bei Schwefelwerten bis zu 30 mg S ist nach unseren Erfahrungen das Auftreten von Anwohnerschädigungen — sogar von Pflanzenschäden — nicht zu erwarten. Erst wenn der Glockenwert 50 mg S überschritten wird, haben wir mit Vegetationsschäden zu rechnen, und bei 100 mg S pflegen die Einwirkungen auf Mensch und Tier schon sehr unangenehm zu sein. Allerdings ist bei der Auswertung der Ergebnisse stets auch die Wetterlage während der Probeentnahme zu berücksichtigen. Hat während der Untersuchung längere Zeit hindurch Nebel geherrscht, ist die Luftbewegung dazu noch gering gewesen, so werden stets höhere Werte gefunden als bei normalem Wetter.

Ein Beispiel für die Auswertung bringen die folgenden Abbildungen. Wir zeichneten einmal die Prozente der Zeit ein, während der der Wind nach jeder der acht Hauptwindrichtungen geweht hatte, und zum anderen die Höhe der an den entsprechenden Stellen gefundenen Schwefelwerte.

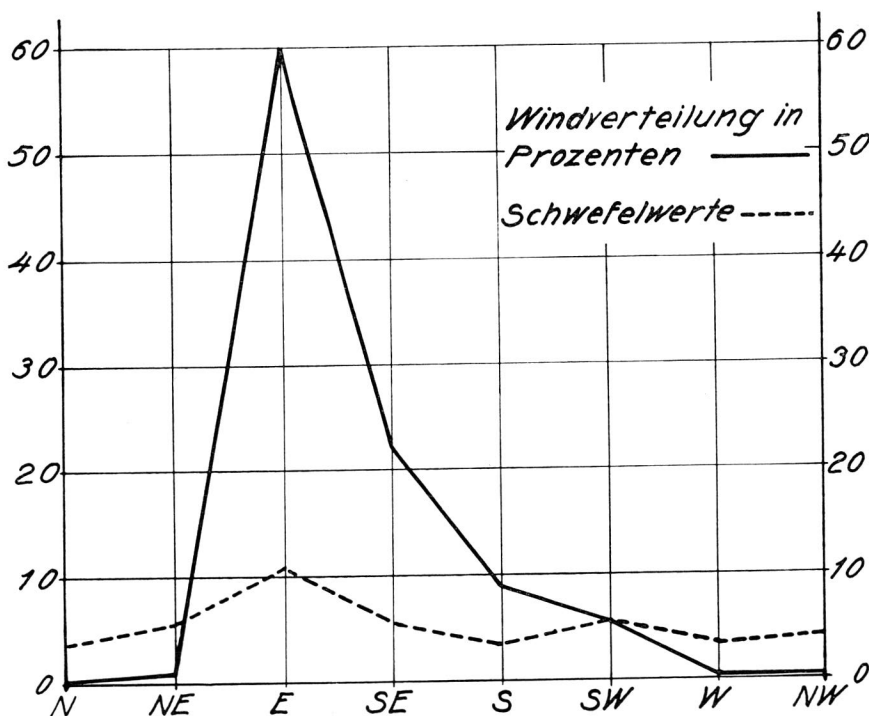


Abb. 3. Zusammenhang zwischen Windverteilung und Schwefelwerten bei Untersuchung einer Abgasquelle.

In Abb. 3 liegt der Normalwert bei 4 mg S/100 Stunden, der östlich der Fabrik gefundene Höchstwert betrug bei 61 Westwindstunden 10,6 mg S. Diese Beeinflussung der Umgebung durch SO_2 -haltige Abgase ist als belanglos zu bezeichnen.

Abb. 4 zeigt die Auswertung der Befunde einer Untersuchung in der Umgebung zweier Betriebe, die beide SO_2 in die Luft einleiteten und etwa 1 km voneinander entfernt lagen. Es sollten bestimmt werden einmal der

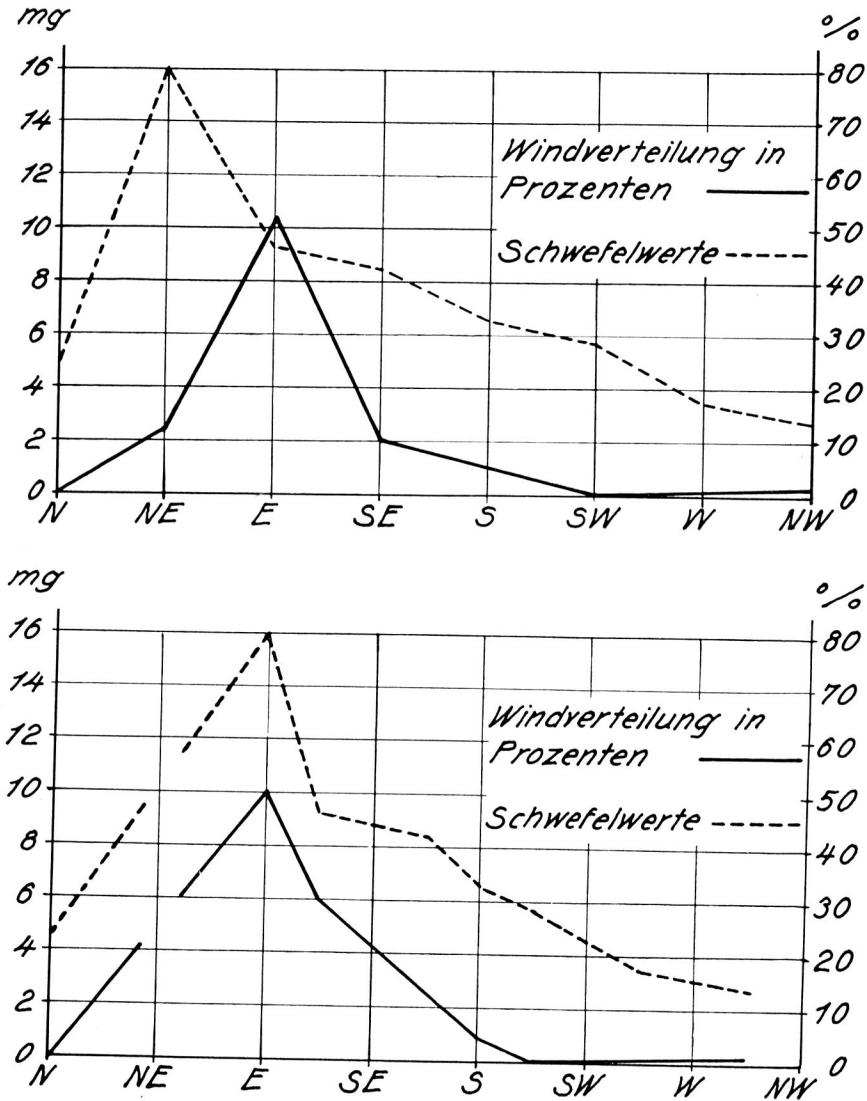


Abb. 4. Windverteilung und Schwefelwerte, bezogen auf zwei gleichzeitig untersuchte Abgasquellen.

Grad der Gesamtverunreinigung und zweitens der Anteil jeder einzelnen Abgasquelle. Der Verlauf der Kurven zeigt, daß die um den zweiten Betrieb (unten), nicht aber die um den ersten Betrieb (oben) gefundenen S-Werte mit den entsprechenden Windprozenten übereinstimmen. Die Verunreinigung ist also vornehmlich durch den zweiten Betrieb verursacht worden. Da der höchste Schwefelwert bei 52 % Wind nur 16 mg S betrug, das entspricht einem 100-Stunden-Wert von etwa 30, ist mit einer schädlichen Wirkung der Abgase auf Pflanzen oder gar auf Menschen nicht zu rechnen.

Für die Feststellung der Reichweite der Verunreinigung pflegen wir die Entnahmestellen in den voraussichtlich vorherrschenden Windrichtungen, und zwar auf zwei oder drei Meßstrahlen einzurichten. So wurden z. B. im folgenden Fall (Tab. 1) von einem Hüttenwerk aus nach Nordosten die Entnahmegерäte bis zu einer Entfernung von 5000 m aufgestellt. Wir erhielten hier bei 80 % Südwestwind folgende Werte:

Tabelle 1

Entfernung m	Schwefelwert S	Entfernung m	Schwefelwert S
250	363,5	2000	13,3
400	114,5	3000	7,3
1000	50,2	4000	2,6
1500	27,4	5000	3,3

In Entfernungen bis zu 1000 m war die Verunreinigung überaus stark. Es fanden sich dort auch allenthalben umfangreiche Rauchblößen. Ferner läßt diese Zusammenstellung erkennen, daß der Grad der Luftverunreinigung mit zunehmender Entfernung äußerst schnell abnimmt. Im Abstände über 1500 m waren ungünstige Einflüsse auf die Pflanzenwelt auch in der vorherrschenden Windrichtung nicht festzustellen.

Schwefelwasserstoff bestimmen wir mit den gleichen Entnahmegерäten. Zu diesem Zweck wird das um die Glocke gelegte Filtrierpapier mit 10%iger essigsaurer Bleiacetatlösung getränkt und die Stärke der Färbung nach 24stündiger Expositionszeit mit einem Farbmaßstab von acht Stufen verglichen (s. Tafel I).

Da man im allgemeinen aus den Wettermeldungen auf die vorherrschende Windrichtung in den nächsten 24 Stunden schließen kann, erfolgt in diesem Falle die Probenahme nur in dem Sektor, der voraussichtlich unter der zu untersuchenden Abgasfahne liegen wird.

Für die Bestimmung fester Luftverunreinigungen (Staub, Flugasche) verwenden wir heute fast ausschließlich Niederschlagswasserauffanggeräте, und zwar aus folgendem Grunde: Im Freien treten kaum jemals solche Staubanreicherungen auf, daß dadurch unmittelbare Schäden der Gesundheit hervorgerufen werden. Es handelt sich dabei vielmehr um wirtschaftliche Beeinträchtigungen der Anwohner, z. B. Verschmutzung von Baulichkeiten, Wohnräumen, landwirtschaftlichen und gärtnerischen Er-

zeugnissen. Daher kommt es bei der Beurteilung der Luftverhältnisse nicht auf den Staubgehalt der Luft, sondern auf die Staubmenge an, die sich in einer bestimmten Entfernung von der Staubquelle in einer gewissen Zeit von selbst absetzt.

Diesen Staubniederschlag bestimmen wir mit dem in Abb. 5 gebrachten Niederschlagswasserauffanggerät. Es besteht aus einem Steinguttrichter von 30,5 cm Durchmesser. Die wirksame Auffangfläche beträgt somit 730 cm². Der Trichterhals ist entsprechend mit einer 10-Liter-Flasche verbunden, die als Sammelgerät für die mit dem Niederschlagswasser eingespülten Verunreinigungen dient. An jedem Monatsende wird die Flasche gewechselt und

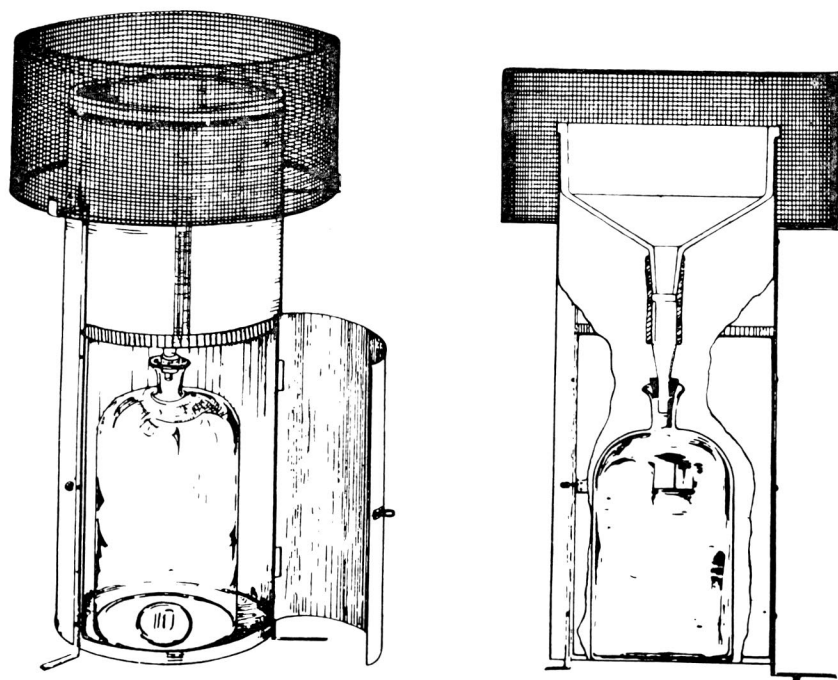


Abb. 5. Niederschlagswasserauffanggerät.

(Hersteller: Firma Amberts, Steinzeugfabrik, Höhr-Grenzhausen bei Koblenz)

die Probe im Laboratorium auf ihren Gehalt an festen und an gelösten Bestandteilen untersucht. Als Ergebnis geben wir die Summe der gelösten und ungelösten Stoffe in g/100 m² an.

Solche Geräte haben wir seit längerer Zeit in Industrie- und Großstädten, in dünnbesiedelten Gebieten und auch in rein ländlichen Gegenden aufgestellt. Die Ergebnisse bieten uns gute Vergleichsmöglichkeiten.

Wir haben derartige Geräte auch in der vorherrschenden Windrichtung von Großkesselanlagen und Hüttenbetrieben untergebracht, um deren Staubauswurf fortlaufend kontrollieren zu können. Daß in diesem Falle Aussagen über den Verschmutzungsgrad nur auf Grund gleichzeitiger Unterlagen über

die Windrichtung während des Zeitraumes der Probenahme gemacht werden können, versteht sich nach dem oben Gesagten von selbst. Ein Beispiel aus der Praxis bringe ich in Tabelle 2.

Die Entnahmestellen I bis III sind in verschiedenen Bezirken einer rheinisch-westfälischen Industriestadt eingerichtet, geben also diejenige monatliche Staubmenge für die verschiedenen Monate des Jahres 1954 an, die ohne Zutun eines bestimmten Industriebetriebes sich aus der Luft abgeschieden hat (diffuse Luftverunreinigung). Die Entnahmestellen IV bis IX befinden sich in 1000 bis 2000 m Entfernung von bestimmten Industriewerken in der vorherrschenden Windrichtung. Die Ergebnisse der Entnahmestelle X lagen nicht wesentlich höher als die der Stellen I bis III, da — entgegen unserer Annahme — der dortige Hafenbetrieb offenbar keine bedeutende Staubquelle darstellt.

Tabelle 2

	Menge der gelösten und ungelösten Stoffe in g/100 m ² und Monat								
Entnahme- stelle	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
I	1315	1543	2008	1915	2271	1737	1837	1454	1982
II	567	1284	1182	1547	1427	1427	1362	1007	1347
III	691	1346	1567	3224	2751	1376	3169	1123	1157
IV	-	1846	3066	2850	-	2649	2869	1114	1482
V	-	3305	4150	4943	8046	5761	6029	5106	-
VI	-	1311	1691	2169	3173	2284	2253	1672	1838
VII	-	-	2571	2764	3384	2443	2505	2386	3145
VIII	-	2632	3462	4650	4540	2507	5393	3316	5629
IX	-	3487	3290	6518	6058	7332	2282	4018	5276
X	-	1636	2046	2289	1160	1550	5039	844	2012

Man kann natürlich Verschiedenes gegen diese Art der Außenluftuntersuchung einwenden, etwa die verhältnismäßig lange Dauer oder auch die Tatsache, daß auf diese Weise die den Mediziner und Biologen interessierenden Spitzenwerte der Verunreinigung nicht erfaßt werden. Solche Werte würde man indessen — ausgenommen zu Zeiten länger dauernder abnormer Wetterlagen (Nebel, Windstille, tiefliegende Inversionsschichten) — nur bei Betriebsstörungen erhalten können, deren Auftreten ohnehin nicht vor auszusehen ist. Diese Nachteile wären nicht einmal dadurch zu beseitigen, daß man, wie in jüngster Zeit in Amerika, ständig ein Heer von Gesundheitsingenieuren mit teuren und komplizierten Meßgeräten an die Brennpunkte der Luftverunreinigung beordert. Die Forderung nach Spitzenwerten könnten nur erfüllt werden, wenn man mit ungeheuerem Kostenaufwand den zu untersuchenden Betrieb in geringsten Abständen mit selbstregistrierenden Geräten umstellte, die fortlaufend jederzeit die Konzentration der verschiedenen schädlichen Stoffe aufzeichnen. Dabei müßte gewährleistet sein, daß bei jeder möglichen Windrichtung wenigstens jeweils ein Gerät von den Abgasen bestrichen wird.

Derartige Erhebungen würden viel zu teuer werden. Unser Grundsatz war: mit möglichst geringem Aufwand brauchbare Unterlagen für unsere

Gutachten zu erhalten. Erforderlichenfalls müssen die physikalischen und chemischen Luftuntersuchungen durch botanische Erhebungen in der Umgebung der Industriewerke ergänzt werden. Es handelt sich dabei im wesentlichen um Untersuchungen der Pflanzenteile auf Säurewirkungen — beispielsweise um die in Fachkreisen bekannte Phäophytinprobe —, um Prüfung auf *a b n o r m e* Zunahme des Schwefelgehaltes in den Blattorganen während einer Vegetationsperiode und um mikroskopische Untersuchung zur Feststellung der Schadensursache (Raucheflüsse oder Parasiten). Auch aus der Messung des Zuwachses bei Holzgewächsen können Schlüsse in der Rauchschadenfrage gezogen werden.

Neben den Ergebnissen der Außenluftuntersuchung sind für unsere Gutachten die Befunde aus genauen *i n n e r b e t r i e b l i c h e n* Erhebungen in den als Abgasquellen in Betracht kommenden Fabriken als weitere Unterlagen unentbehrlich, und zwar aus folgendem Grunde: Das Institut erstattet seine Gutachten überwiegend in behördlichem Auftrage, und zwar für die Aufsichtsbehörde (Gewerbeaufsichtsamt, Bergamt), vor allem auch im Falle der Neugenehmigung für die Beschlußbehörden oder — ferner — für die Gerichte in Streitverfahren zwischen Anlieger und Industriebetrieb. Für uns ist es mit der Diagnose nicht getan, sondern man erwartet von uns Vorschläge für die Abstellung des Übelstandes bzw. für ausreichende Sicherstellung des Anwohnerschutzes — also gleichsam die Therapie. Dazu ist man aber nur in der Lage, wenn die Betriebsvorgänge genau bekannt sind und der Sachbearbeiter die Technologie beherrscht. Selbst wenn das Institut, wie es neuerdings immer öfter vorkommt, bei der Stadt- und Landesplanung herangezogen wird, ist die gründliche Kenntnis der technischen Betriebsvorgänge in den verschiedenen Werken für unsere Sachbearbeiter dringend notwendig.

Seit mehr als zwei Jahrzehnten haben wir mit den örtlichen Aufsichtsbehörden, insbesondere mit den Gewerbeaufsichts- und Bergämtern eng zusammengearbeitet. Weniger oft sind wir von den Gesundheitsämtern zur Mitarbeit herangezogen worden. Wie wünschenswert und auch ersprießlich aber gerade die Mitarbeit der Amtsärzte ist, konnte ich in den letzten Jahren in Duisburg erfahren, als es durch die Initiative des früheren Stadtmedizinaldirektors zu groß angelegten Erhebungen über die Luftbeschaffenheit des gesamten Stadtgebietes kam. Die zur Zeit noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen haben auch das besondere Interesse des jetzigen Stadtmedizinaldirektors gefunden, der sich — ebenso wie die verantwortlichen Herren der anderen Duisburger Behörden (Gewerbeaufsichtsamt, Bergämter und Stadtreinigungsamt) — mit großem Erfolg um die Besserung der Verhältnisse bemüht. Auch die Vertreter der dortigen Industrie sind — das sei hier dankbar vermerkt — ebenfalls bestrebt, alles wirtschaftlich Mögliche zur Besserung der Luftverhältnisse zu tun. Durch die *e n g e Z u s a m m e n a r b e i t* aller Beteiligten ist im Raume von Groß-Duisburg bereits Bedeutendes erreicht worden.

So bitte ich die hier versammelten Damen und Herren, insbesondere die Amtsärzte, dem Problem der Außenluftverunreinigung in Zukunft noch

mehr Beachtung zu schenken. Erwünscht wäre auch eine verstärkte Mitarbeit gerade von medizinischer Seite. Ich denke da an die Bestimmung von Giftigkeitsschwellenwerten auch für Schadstoffgemische. Nach amerikanischen Untersuchungen soll SO_3 bzw. H_2SO_4 fünfmal so schädlich sein wie SO_2 . Ich denke auch an die Aufstellung von Krankenstatistiken in den verschiedenen Gebieten, die mit verschiedenen Zweigen der Großindustrie stark durchsetzt sind.

Schließlich wäre es meines Erachtens an der Zeit, die Bedeutung der Reinhaltung der Außenluft auch auf den Hochschulen herauszustellen. Es sollten wenigstens auf einigen deutschen Universitäten Lehrstühle für dieses Fachgebiet eingerichtet werden, damit die Möglichkeit zu Forschung und Lehre in diesem für das Zusammenleben der Menschen auf engstem Raum so wichtigen Fach gegeben ist.

Anschrift d. Verf. Berlin-Dahlem, Corrensplatz 1

Vegetationsschäden durch Fluor

Von

Dr. EVA-MARIA BURSCHKE

(Mit Tafel II und 13 Abbildungen im Text)

Einleitung

Die Bedeutung von Vegetationsschäden durch Fluor wurde erst erkannt, nachdem in der Nähe von Fluor verarbeitenden Industrien bedeutende Schäden des Pflanzenwachstums aufgetreten sind und die starke toxische Wirkung des Fluors ersichtlich wurde. Im Gegensatz zu den SO_2 - und HCl -Rauchschäden waren die des Fluors bisher noch nicht in diesem Umfange planmäßig untersucht worden.

Die von den Wissenschaftlern und Praktikern beobachteten Merkmale sind, obwohl mehrfach behauptet, keineswegs als charakteristisch anzusehen, da sie sich oft nur auf Einzelbeobachtungen stützen, die selbst am Schadensort nicht immer als übereinstimmend bezeichnet werden können. Die Wirkung eines anorganischen, mehr oder minder körperfremden Stoffes, wie es das Fluor darstellt, hängt nicht nur von der Pflanze selbst, sondern auch von den Standortverhältnissen ab. Auch die Zusammenstellung der verschiedensten Beobachtungen, wie sie E. HASELHOFF, G. BREDEMANN und W. HASELHOFF (7) und letzthin G. BREDEMANN (2) bringen, reicht noch nicht zu einer schlüssigen Beweisführung über den ursächlichen Zusammenhang zwischen dem Schadensbild und einer nachteiligen Fluorbeeinflussung aus.

Zur Sicherung der Diagnose rauchgeschädigter Pflanzen hat eine Reihe von Untersuchern in Laboratoriums- und auch in Freilandversuchen experimentelle Arbeiten durchgeführt. Dabei waren die Untersuchungen von dem Gedanken geleitet, die Versuchsanordnung weitestgehend den natürlichen Verhältnissen anzupassen. Man bediente sich der chemischen Methode, der makroskopischen und mikroskopischen Beobachtungen. Der Fangpflanzenbau, der von P. SORAUER (27, 29) vorgeschlagen worden ist, hat kaum Anwendung gefunden, weil die Mühe nicht dem zu erwartenden Erfolg entspricht.

Bei Untersuchungen praktischer Schadensfälle müssen unbedingt neben den örtlichen Verhältnissen auch die innerbetrieblichen Vorgänge, d. h. die Technologie der Arbeitsprozesse genauestens bekannt sein und bei der Beurteilung berücksichtigt werden.

Eine endgültige Diagnose der Schadensfrage kann bisher nur gestellt werden, wenn die Summe der Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen berücksichtigt wird. Das Bestreben aller mit diesen Fragen Beschäftigten gipfelt darin, einen absolut sicheren Nachweis für die Rauchschadenbeurteilung zu finden, um der weittragenden Bedeutung dieser praktischen Fragen der Industrie und der durch die industriellen Abgase verursachten Vegetationsschäden gerecht zu werden. Nur in dieser Weise können die Streitfragen in schnellen und eindeutigen Verfahren behoben werden.

Mit steigendem Interesse für die einschlägigen Fragen und weiterem Ausbau der Maßnahmen zur Verhütung — oder zumindest mit einer umfangreicheren Kenntnis der Symptome zur Beurteilung von Streitfragen — gewinnt auch das Problem der zunächst äußerlich nicht sichtbaren, der sogenannten „unsichtbaren“ Schäden, mehr und mehr an Bedeutung. Diese in der Praxis so besonders wichtige Frage einer Vermehrung des Abgasgiftstoffes in der Pflanze ohne andere makroskopisch wahrnehmbare Veränderung als möglicherweise einer Hemmung des Wachstums ist bisher noch nicht abschließend beantwortet worden und verlangt weiterhin eingehende Untersuchungen. Sucht man eine Klärung dieses Problems, so wird man sich auch anderer Methoden als der bisher genannten bedienen können. Die in zellphysiologischen Veränderungen zu suchenden Störungen lassen sich möglicherweise bei Beobachtungen der Strukturänderungen am lebenden und an den infolge Säureeinwirkung absterbenden Protoplasten mit der plasmolytischen Methode in charakteristischer Weise erfassen, wie dies H. SCHINDLER (25) schon für Säure- und Alkalitod des Protoplasten nachweisen konnte.

Eine weitere Möglichkeit ist vielleicht in der spektroskopischen Methode gegeben, die W. DÖRRIES (5, 6) so weit bearbeitet hat, daß mit Hilfe des Laubblattspektroskops an Ort und Stelle in den grünen Blättern Phäophytin nachgewiesen werden kann. Nun braucht aber Phäophytinbildung nicht immer auf saure Abgasschäden zurückzuführen zu sein, sondern sie kann auch durch Witterungseinflüsse und damit verbundene Phäophytinbildung durch merklich saure Reaktion des Zellsaftes, der von den Zellinhaltsstoffen abhängig ist, hervorgerufen werden. So muß die Anwendungsmöglichkeit dieses Schadensindiziums zwar eingeschränkt werden, doch bliebe zu untersuchen, ob nicht die durch Rauchgaseinwirkung hervorgerufenen Schäden auf andere Weise spektroskopisch zu erfassen sind.

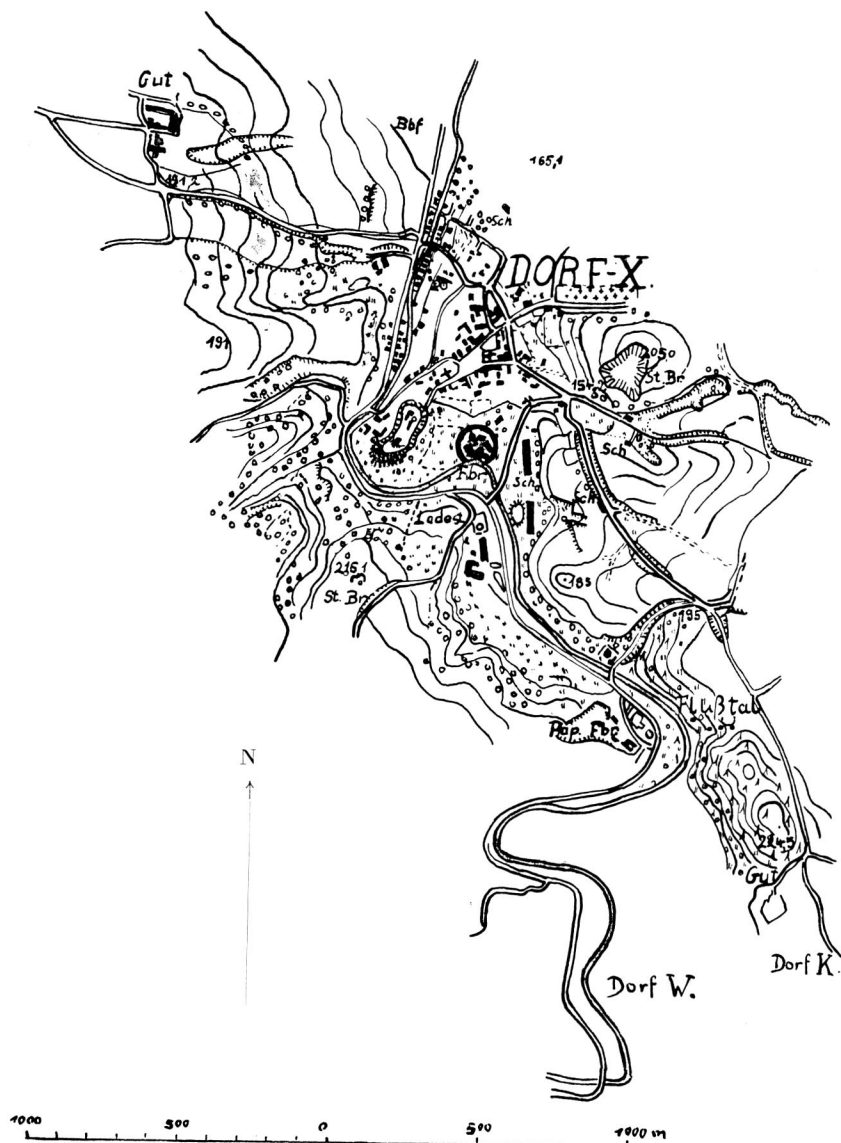
Im folgenden ist der Versuch unternommen worden, an Hand eingehender Beobachtungen, die bei der Einwirkung von Fluorverbindungen, insbesondere von Fluorwasserstoff, auf grüne Pflanzen gemacht werden konnten, in der Praxis und im experimentellen Laboratoriumsversuch ein möglichst klares Bild der Eigenart der Schäden zu gewinnen und mit möglichst präzisen Methoden die Beurteilung und sichere Erkennung der Fluor-Rauchschäden auf verschiedenen Wegen zu erreichen.

Vorliegende Arbeit wurde in der Reichsanstalt für Wasser-, Boden- und Luftgüte in Berlin-Dahlem angefertigt und Ende 1946 abgeschlossen. Den Herren Prof. Dr. Dr. KOLKWITZ und Prof. Dr. TIEGS bin ich für die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit zu großem Dank verpflichtet. Eine Neubeschaffung von Chemikalien, Apparaturen und Apparaturteilen war zu der Zeit, in der die Untersuchungen vorgenommen worden sind, nicht mehr möglich. Außerdem ist der Verfasserin bei einem Luftangriff auf Berlin im Februar 1945 ein großer Teil der Unterlagen der bis dahin eineinhalbjährigen Arbeit über dieses Thema verbrannt.

I. Makroskopische Beobachtungen

Im Jahre 1943 bot sich Gelegenheit in der Umgebung einer chemischen Fabrik, die fluorhaltige Rohstoffe verarbeitet und Fluorprodukte herstellt, Schädigungen an der Vegetation zu beobachten. Bei einer chemisch-tech-

Lageskizze.



Maßstab 1/25000 der natürlichen Länge

⊙ = Fabrik u. Schadensquelle.

nologischen Besichtigung des Betriebes konnte festgestellt werden, daß bei einer Flußsäureherstellung aus Flußspat mit den Restgasen auch Flußsäure durch den Schornstein entweicht. Außerdem gelangen wechselnde Mengen Flußsäure aus der nicht vollkommen abzudichtenden Apparatur in die Luft. Wie groß diese Flußsäuremengen sind, läßt sich nicht annäherungsweise mit Sicherheit feststellen. Sie können aber erfahrungsgemäß größer sein als die Schornsteinverluste. Bei der Herstellung von Kryolith, Aluminiumfluorid, Natriumfluorid und Fluaten, die außer der Flußsäure zu den Herstellungsprodukten dieses Betriebes gehören, tritt kein wesentlicher Flußsäureverlust ein, der in den Abgasen als Schädigungsfaktor eine Rolle spielen könnte.

Die Klage der Bewohner des Ortes in näherer und weiterer Umgebung der Fabrik über Vegetationsschäden in Gärten und auf den Feldern haben schon zu eingehenden Beobachtungen und manchen Erörterungen geführt.

Zwei Besichtigungen des genannten Gebietes im Zeitabstand von mehreren Monaten (Juni und September) ließen folgende Anomalien bei Pflanzen erkennen. Die Vegetation, die sich in unmittelbarer Nähe der Fabrik befindet, wirkte offensichtlich schwer geschädigt. Die Fabrik liegt in einem von leichten Hügeln begrenzten Kessel in Mitteldeutschland, der von einem Fluß von Westen nach Südosten durchzogen wird (s. Lageskizze). Im Westen stößt das Fabrikgelände unmittelbar an einen kleinen Berg, dessen Vegetation an der Ostseite Blattschäden aufwies. Die vereinzelt stehenden Sträucher und Bäume waren bis auf eine Buche, die frisch und normal aussah, völlig kahl; die Vegetation bis zu 1,50 m Höhe über dem gewachsenen Boden — wie z. B. Brennessel und Hopfen — war im Juni z. T. grün, z. T. wirkten die Blätter trocken und abgestorben. Im September ist der Hopfen vollkommen vertrocknet gewesen.

Doch schon die Südseite des Berges, die also nicht unmittelbar an das Fabrikgelände angrenzt, sondern den Eingang des Flußtales nach Norden bildet, konnte im Hinblick auf die Vegetation im allgemeinen als normal bezeichnet werden. Das wilde, baumartige Kirschgesträuch war gut belaubt, es fielen indessen die teilweise sehr kleinen Blätter auf. Geschädigte Blätter waren rotbraun gefärbt. Eine Esche, die am Eingang zum Flußtal westlich der Fabrik den Abgasen frei zugänglich steht, zeigte wohl schütterere Belaubung aber keine wesentliche Blattverfärbung außer auffällig braun bis schwärzlich trockenen Blattspitzen (Taf. II Fig. 1). Derartige Verfärbungen der Blattspitzen fielen hier besonders ins Auge. Weiter abwärts im Flußtal nach Norden, etwa 400 m von der Fabrik entfernt, konnte eindeutig ein Schaden an Lärchen festgestellt werden. Die Triebspitzen wiesen teils rötlich verfärbte Nadeln auf, teils waren sie völlig kahl. Bis zu einer Höhe von 1,50 m sah die Vegetation normal aus. An Bäumen fiel die Kleinheit der Blätter und teilweise die trockene, schwarze Blattspitze auf sowie ausgesprochene Blattrandverfärbung. Noch in einer Entfernung 800 m nördlich der Fabrik konnte eine eigenartige, löffelförmige Einrollung der Blätter an Kirschbäumen beobachtet werden. Die Interkostalfelder waren häufig gelblich verfärbt. Diese Beobachtung ist in diesem Gebiet wiederholt auch an anderen Stellen gemacht worden. Sonst wiesen in dieser Entfernung die Blätter der Laubbäume keine makroskopisch wahrnehmbaren Schäden mehr auf, während an Koniferen noch rötlich verfärbte Nadeln zu beobachten waren.

Die Pflaumen sind zur Reifezeit im September in weiterer und näherer Umgebung der Fabrik normal ausgebildet gewesen. Nur in einem 150 m nord-nordwestlich der Fabrik gelegenen Garten im Dorfe X zeigte ein Pflaumenbaum schwer geschädigte Früchte, wie sie von KOTTE (12) als charakteristisch für Bühler Frühzwetschen beschrieben worden sind. Abb. 1 zeigt die photographische Wiedergabe der frisch vom Baum genommenen Früchte. Der Baum hatte kaum noch Blätter (diese s. Abb. 2), aber sehr viele Früchte, alle mit nekrotischer Fruchtspitze. Die sonst wohl ausgebildeten, aber noch nicht vollkommen ausgereiften Früchte fallen frühzeitig ab. An Kirschen

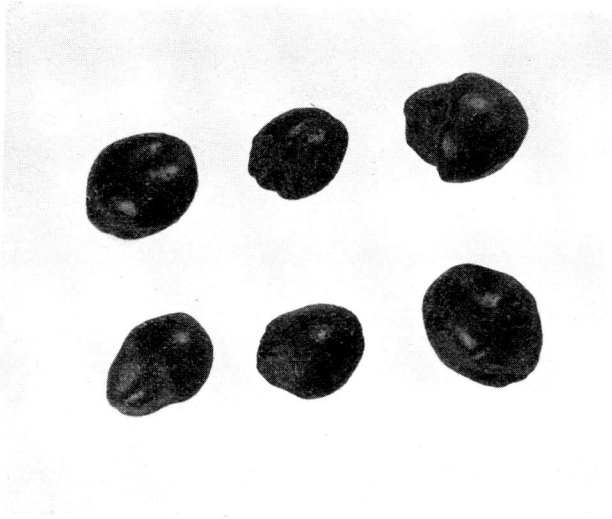


Abb. 1. Durch Fluorabgase geschädigte Pflaumen.

konnten ebenfalls nekrotisch veränderte Fruchtspitzen beobachtet werden, — über gleiche Erscheinungen berichtet W. TEMPEL (35) und G. BREDEMANN (2) — doch waren die Fruchtspitzen nicht so weitgehend verbildet wie bei den Pflaumen.

Schwere Schäden sollte man in der Hauptwindrichtung tagsüber nordwestlich, nachts flußabwärts an Stellen mit starker Nebelbildung erwarten, doch sind gerade südöstlich der Fabrik an der Straße zum Dorf W. weniger auffallende Beobachtungen gemacht worden. Nur bis zu etwa 750 m Entfernung war hier und da ein Birnbaum mit den bemerkenswert schwarzen Blattspitzen zu finden. An der Straße zum Dorf K., die im Gegensatz zur im Flußtal verlaufenden Straße nach Dorf W. auf der Höhe entlang führt, konnte keine besondere Schädigung verzeichnet werden, abgesehen davon, daß die Bäume im allgemeinen einen wenig gesunden Eindruck machten. Nirgends ist, wie F. W. NEGER (13) von Äpfeln beschrieben hat, Verfärbung, die von den Lentizellen ausgeht, beobachtet worden. An Stellen starker Nebelbildung waren jedoch Schäden offensichtlich.

Die Wildflora unter 1,50 m Höhe war ohne Befund und als normal zu bezeichnen.

In den zwischen Anhöhen von Westen nach Osten und von Nordwesten nach Südosten verlaufenden Senken, etwa in 350 m Entfernung von der Fabrik beginnend, handelte es sich offenbar um Abgasschäden, wie sie an Kirsch- und Apfelbäumen in Zweigdürre und hauptsächlich in trockenen und schwarzen oder dunkelbraunen Blattspitzen zu erkennen sind (Abb. 2 b und c). Auch hier konnten teilweise auffallend kleine Blätter beobachtet



Abb. 2. Durch Fluorabgase geschädigtes Blatt eines
a) Pflaumenbaumes, b) Kirschbaumes, c) Apfelbaumes.

werden. Doch dient hervorgehoben zu werden, daß neben einem geschädigten Baum einer der gleichen Art stehen kann, der keinerlei Schadensmerkmale aufweist. Blattrandfärbung herrschte vor.

Die vorstehenden Beobachtungen in der freien Natur zeigen, daß keines der äußeren, makroskopischen Kennzeichen eine unfehlbare Diagnose auf fluorhaltige Abgase zuläßt. Allerdings ist bis zu einem gewissen Grade eine Beurteilung möglich, weil Kennzeichen, wie sie bei Rauchschäden durch HCl , SO_2 , usw. hervorgerufen werden, nicht auftreten, wie z. B. Ausbleichen der Blätter, besondere Farbunterschiede im Übergang vom unbeschädigten in den geschädigten Blatteil. Das Bild des Fluorschadens ist anscheinend je nach Individualität der Pflanze gekennzeichnet: durch Braun- bis Schwarzfärbung der Blattspitze und der damit häufig verbundenen Schrumpelung, ausgesprochener Blattrandverfärbung, die vom Rande ausgehend sich nach der Blattmittellippe hin verbreitert, durch eine scharfe Grenze zwischen geschädigtem und nichtgeschädigtem Blattmaterial und oft auffälliger Kleinheit der Blätter. Gleiche Beobachtungen haben auch STOKLASA (33) und BREDEMANN (2) mitgeteilt. P. RECKENDORFER (21) spricht von Farbnüancierungen über alle Zwischenstufen der Vergilbung und Verfärbung bis zum satten Rot- bzw. Dunkelbraun eines nekrotischen Gewebes, was im Untersuchungsgebiet nicht festgestellt werden konnte.

II. Experimentelle Beräucherungsversuche im Laboratorium

Um die Fluorschäden an den grünen Pflanzen in der freien Natur im Versuch nachzuahmen und damit eine Bestätigung für die als typisch angesehenen Schadensmerkmale zu erhalten, wurden experimentelle Beräucherungsversuche im Laboratorium angestellt.

Auf die Schwierigkeiten der Nachahmung natürlicher Verhältnisse im Experiment wird in der einschlägigen Literatur allgemein hingewiesen. Die Ergebnisse können nur bedingt ausgewertet werden, da es kaum möglich ist, alle Faktoren, die in der freien Natur das Erscheinungsbild bedingen, im Versuch in vollkommener Weise zu vereinen. Trotzdem bietet der Laboratoriumsversuch wertvolle Hinweise auf die Natur der Schäden, und im Vergleich mit dem in der freien Natur entstandenen Schadensbild lassen sich Schlußfolgerungen ziehen.

Die Versuchsanordnung war folgende: Glasglocken (Durchmesser = 27 cm, Höhe 33 cm) mit eingeschliffenem Rand wurden auf ein dazugehöriges Glastischchen aufgesetzt. Die Glasplatten hatten in der Mitte ein kreisrundes Loch (ϕ 2 cm), durch das die Stiele der Pflanzen gesteckt wurden, so daß sich unter der Glocke nur der obere mit Blättern besetzte Teil der Pflanze befand und die Stiele darunter in einem Glasgefäß mit Wasser standen. Um die Stiele herum wurde das Loch zur sicheren Abdichtung gegen Luftaustausch mit Paraffin getränkter Watte verschlossen. Um eine Glasanätzung durch Fluorwasserstoff zu vermeiden, wurde die Glasglocke innen mit einer Paraffinschicht versehen. Das bedeutete zwar einen hochprozentigen Lichtverlust (nach wiederholten Messungen mit der Langeschen Photozelle durchschnittlich 60 %), spielte aber in diesem Fall keine maßgebliche Rolle, da wegen der einfachen Apparatur und den zeitbedingten geringen Mitteln nicht mit absoluten, sondern mit relativen Werten gerechnet werden mußte. Zum Vergleich wurde stets ein Kontrollversuch unter gleichen Bedingungen angesetzt, und somit war auch ein Maß gegeben, die Schädigung zu beurteilen. Die Versuchslösung ist in einer halben Petrischale — es kam dabei auf möglichst große Oberfläche an — auf das Glastischchen unter die Glocke gestellt worden, und durch die verdunstende Flüssigkeit wurde eine HF enthaltende Atmosphäre geschaffen. Die Glocken standen mitten im Arbeitsraum ohne direkte Sonneneinwirkung.

Für einen orientierenden Versuch ist eine halbe, völlig mit Paraffin ausgekleidete Petrischale mit 5 ccm einer 40%igen HF-Lösung von Schering beschickt worden. Etwa 75 cm lange, mit Früchten behangene Zweige von einem Stachelbeer-, einem Johannisbeerstrauch und einem Kirschbaum kamen frisch in die Versuchapparatur. Das Wassergefäß, in dem die Zweige standen, wurde täglich mit frischem Wasser beschickt. Um eine möglichst gute Luftfeuchtigkeit zu erzielen, stellte man unter jede Glocke eine weitere halbe Petrischale mit 20 ccm Leitungswasser.

Nach 24 Stunden waren die Blätter in der HF-Atmosphäre alle einheitlich olivgrün verfärbt und fielen bei leichter Berührung ab. Die Johannisbeeren und Stachelbeeren waren alle abgefallen, und ihre Farbe war gegenüber den Kontrollproben matt geworden. Die Kirschen hingen noch am Zweig, doch waren einige von ihnen geplatzt. Die Kontrollproben waren unverändert. Damit wurde der Versuch abgebrochen. Das Ergebnis zeigte,

daß die Verdunstung eine hochprozentige HF-Atmosphäre schaffte, die innerhalb kürzester Zeit zu Totschaden führt. Ein zweiter Versuch wurde daher mit 30 ccm einer 1%igen HF-Lösung angesetzt. Die weiteren Versuchsbedingungen entsprachen dem ersten Versuch. Nach 24 Stunden ergab sich folgendes Bild: die Blätter des Stachelbeerzweiges waren alle geschädigt, der Blattrand war braun verfärbt. Teilweise zog sich die Schädigung vom Rand aus auch tiefer in das Blatt hinein auf die Blattmittelrippe zu. Der geschädigte Teil setzte immer scharf gegen den gesunden ab (Abb. 3). Die Blätter über dem die HF-Lösung enthaltenden Gefäß waren völlig dunkelolivgrün verfärbt. Die roten Stachelbeeren, die zu unterst am Zweig hingen, waren abgefallen. An denen, die noch am Zweig hingen, konnten kleine rote Tröpfchen beobachtet werden. Die Farbe der Früchte hatte im Gegensatz zum Kontrollversuch das leuchtende Rot verloren. Der Johannisbeerzweig war ebenfalls geschädigt, doch waren nicht alle Blätter angegriffen. Über dem HF-Gefäß sind sie am stärksten verfärbt gewesen, es folgten regellos geschädigte und gesunde Blätter; auch hier handelt es sich um Blattrandverfärbungen (Abb. 3 b). Die Beeren zeigten, wie die Stachelbeeren, kleine Flüssigkeitströpfchen und mattere Farben als die der Kontrollproben. Die untersten Blätter des Kirschzweiges wiesen einen breiten olivgrün verfärbten Rand auf, von dem aus sich gleichfarbige Stränge zwischen den Adern zur Blattmittelrippe hinzogen (Abb. 3 c). Die Kirschen waren matter in der Farbe als die der Kontrollprobe.

Dieser Versuch zeigte, daß bei der Verdunstung 1%iger HF-Lösung unter den gegebenen Bedingungen soviel HF frei wird, daß eine allmähliche Schädigung zu beobachten ist.

Beim folgenden Versuch wurde eine 0,5%ige HF-Konzentration gewählt, und die Wirkung unter den gleichen Bedingungen wie bei den ersten beiden Versuchen beobachtet. Noch nach 48 Stunden war keine Veränderung zu bemerken, außer beim Stachelbeerzweig, der einige geschädigte Blätter — wie im zweiten Versuch beschrieben — aufwies. Nach vier Tagen zeigten der Johannisbeerzweig und der Kirschzweig nach wie vor ihr normales Aussehen, während vom Stachelbeerzweig bis auf zwei Blätter alle anderen abgefallen und vollkommen unregelmäßig verfärbt waren, und zwar gelb und braun. Da aber der Kontrollzweig das gleiche Aussehen zeigte, können die Merkmale nicht zu einer Beurteilung herangezogen werden.

Diese mehrfach wiederholten Versuche ließen erkennen, daß die Verdunstung einer 1%igen HF-Lösung geeignet ist, weitere Versuche in dieser Weise durchzuführen, um die Art der Schädigung von Laubblättern durch HF beobachten zu können.

Da es gleichzeitig interessierte, wieweit die Pflanzen auf ein und dieselbe Menge HF verschieden reagieren, wählte man für weitere Versuche gleicher Art: nicht blühende Fliederzweige, Jasmin- und Rüsternzweige. Schließlich ist es zweckmäßig, möglichst verschiedene Blattpflanzen zu beobachten, um einen allgemeinen Überblick über die Schädigung durch HF zu gewinnen.

In der Rauchschadenliteratur (8, 26, 40) findet wiederholt die Tatsache Erwähnung, daß Feuchtigkeit die Schadenswirkung saurer Rauchgase unterstützend beeinflussen kann, deshalb wurden die Versuche so eingerichtet, daß der eine Teil nur mit dem Gefäß, angefüllt mit der X%igen HF-Lösung,

beschickt wurde, während man zur Erhaltung einer guten Luftfeuchtigkeit zwei halbe Petrischalen mit 30 ccm Wasser darunter stellte. In Parallelversuchen wurden zur Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes die Glasglocken innen mit angefeuchtetem Fließpapier bekleidet, während außerdem innerhalb der Glocke wassergetränkte Fließpapierstreifen herunterhingen.

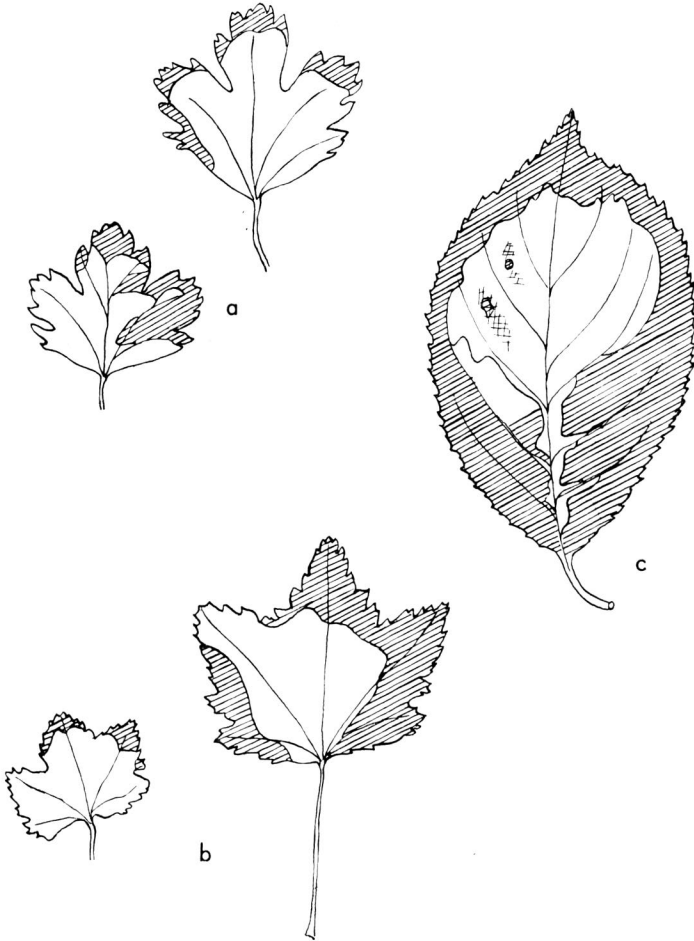


Abb. 3. Im Beräucherungsversuch mit HF geschädigte
a) Stachelbeerblätter, b) Johannisbeerblätter, c) Kirschblatt.

Zusammenfassend führten die Versuche bei der angewendeten Versuchsanordnung und Verdunstungsmenge von 30 ccm 1%iger HF-Lösung bei normaler sommerlicher Durchschnittstemperatur von 18° C zu folgendem Ergebnis: Ruster, Jasmin, Flieder, Johannisbeere, Stachelbeere und Kirsche werden sichtbar geschädigt. Die Empfindlichkeit der Pflanzenarten ist jedoch verschieden (G. BREDEMANN [2]). Die Versuche ergaben für die Ruster die größte Unempfindlichkeit gegenüber HF-Einwirkung, es folgt Jasmin, während Flieder, Johannisbeere, Stachelbeere und Kirsche sich am anfällig-

sten erweisen. Die einzelnen Versuche innerhalb der gleichen Pflanzenart, an verschiedenen Tagen als Parallelversuche zu vorhergehenden angesetzt, brachten übereinstimmende Ergebnisse über Schädigungsgrad und -bild. Das Schadensbild ist bis auf eine kleine Abweichung beim Jasmin, der farblich einen Übergang vom Chlorophyllgrün des gesunden Gewebes über grünlich-gelbes Oliv zum gelb-braunen Oliv zeigt, überall gleich. Die geschädigten Blatteile sind bei Rüster, Flieder, Stachelbeere braun-schwarz, bei der Kirsche und Johannisbeere bräunlich-oliv; sie setzen unmittelbar ohne farblichen Übergang an das gesunde Gewebe an. Sehr auffallend ist, daß die Schädigung bei allen Versuchspflanzen vom Rande ausgeht, meist sogar von der Blattspitze; also den Verhältnissen in der freien Natur entsprechend. Abweichende fleckenartige Verfärbungen wurden nur wenig beobachtet. Außer bräunlicher-oliv und braun bis schwarz-brauner Verfärbung traten keine sonstigen Farbtönungen auf.

Eine Steigerung der Schadenswirkung durch Schaffung besonders hoher Luftfeuchtigkeit konnte nicht festgestellt werden.

III. Mikroskopische Untersuchungen

Um die Wirkung des Fluors auf die Pflanzen, die sich am sichtbarsten in der Blattschädigung und Schädigung der Früchte ausdrückt, näher kennenzulernen und beurteilen zu können, wurden Blattquerschnitte von Pflanzenmaterial aus der freien Natur und von durch eigene Beräucherungsversuche geschädigten Blättern untersucht. Zum Vergleich ist gesundes Material aus rauchfreien Gebieten und auch durch den natürlichen Ablauf der Jahreszeiten vergilbtes Material dem gegenübergestellt worden. Das Schadensbild tritt so klar hervor.

Für die Zeichnungen wurden jeweils die Stellen aus einer Anzahl von Schnitten gewählt, die den durchschnittlichen Bildeindruck vermittelten.

Abb. 4 a zeigt den Querschnitt durch ein Blatt des Nußbaums, der etwa 800 m nordöstlich der Fabrik wächst; zum Vergleich Abb. 4 b der Querschnitt durch ein herbstlich verfärbtes Nußbaumblatt aus einem Garten in Berlin-Dahlem. Der Unterschied in der Größe der Blattquerschnitte kann keine den Schaden betreffende Beurteilung zulassen, da die Höhe stark schwankt, je nachdem, ob der Schnitt aus der Blattmitte, aus der Spitzenregion oder aus der Basis genommen ist. Außerdem spielen das Alter und die allgemeine Größe des Blattes eine Rolle. Zahlreiche Untersuchungen zeigen jedoch, daß die Zellen durch Fluor-Giftwirkung schrumpfen. Folglich ist der Querschnitt durch die geschädigten Teile kleiner als der Querschnitt von einem gesunden Blatt. Abb. 4 c gibt den Querschnitt durch den Teil eines Nußbaumblattes aus Fluoreinflußgebiet wieder, der den Übergang von dem geschädigten in den nicht geschädigten Blatteil bildet. Deutlich ist zu erkennen, daß die Epidermis ein wenig eingefallen ist, d. h. die dünnen Längswände sind leicht gefaltet und die Querwände auf Grund der Verzerrung der Zellen durch die Schädigung des Gewebes wellenförmig verändert. Die Zellwände der Epidermis sind nicht etwa durch Ätzung der Säure zerstört, sondern dem normalen Aussehen gegenüber nur gelblich verfärbt. Der Zellinhalt ist — braun verfärbt — der Zellwand aufgetrocknet. Das gleiche Bild zeigt das Schwammparenchymgewebe. Nur hat sich hier der Zellinhalt, bevor er dieses letzte Stadium erlangt hat, etwas zusammengezogen und dann

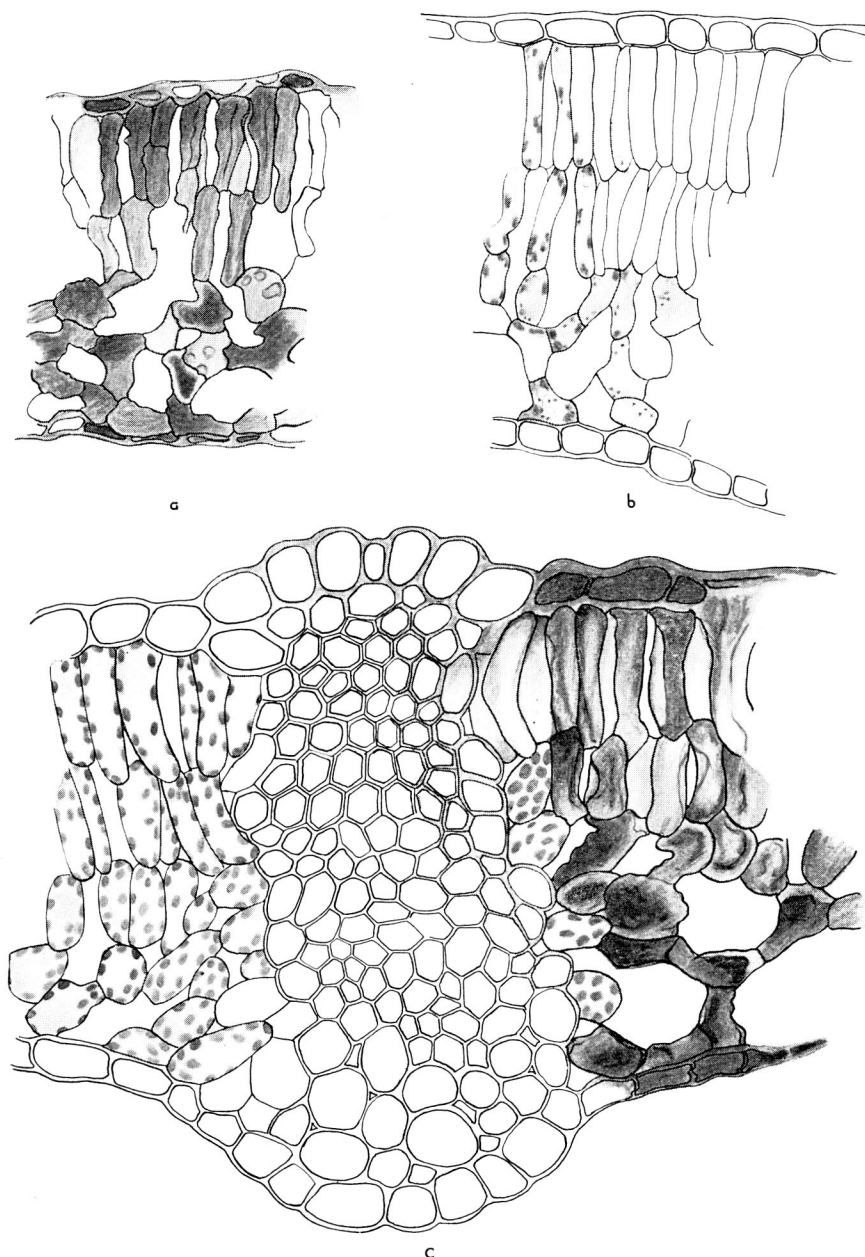


Abb. 4. Querschnittsausschnitte von Nußbaumblättern:

- a) Querschnittsausschnitt von durch Fluorabgase geschädigtem Blatteil,
- b) Querschnittsausschnitt von einem nicht durch Fluorabgase beeinflussten, herbstlichen Blatt,
- c) Querschnittsausschnitt zwischen durch Fluorabgase geschädigtem und nicht sichtbar geschädigtem Blatteil entnommen.

dieses Aussehen angenommen. Einzelne Zellinhaltsbestandteile lassen sich nicht mehr erkennen. Es hat also eine völlige Auflösung stattgefunden. Besondere Beachtung verdient der Übergang von gesundem in geschädigtes Gewebe. Der Vorgang beim Absterben des Gewebes läßt sich deutlich verfolgen. Die Chlorophyllkörner verlieren ihre Farbe, lösen sich auf, der Zellinhalt wird zu einer homogenen Masse, die erst olivgrün ist und sich dann braun färbt, d. h. es bildet sich Phäophytin, das offenbar weiter abgebaut wird. An einer anderen Stelle des Blattes waren die Zellwände des Gefäßbündels völlig gelb, ein Teil des Siebteils braun; doch bleibt die normale Struktur der Gefäßbündel erhalten, und erst bei schwerster Blattschädigung verlieren diese Zellen ihre Form. Das Bild des Querschnittes der braunen Schadensstelle ist das gleiche, wie es Abb. 4 a von einem weiteren Blatt des gleichen Nußbaums zeigt. Abb. 4 b dagegen gibt den Querschnitt durch ein herbstlich trockenes Nußbaumblatt von einem Baum in Berlin-Dahlem wieder. Hier handelt es sich um den natürlichen Ablauf der herbstlichen Gelbfärbung, die dadurch zustande kommt, daß das Chlorophyll abgebaut wird, während das Karotin und das Xanthophyll erhalten bleiben. Abb. 4 a und c geben somit das Bild unnatürlicher Gewebeerstörung wieder.

Bei den folgenden beiden Querschnitten (Abb. 5 a u. b) handelt es sich um Apfelbaumblätter. Abb. 5 a zeigt den Querschnitt durch ein Apfelbaumblatt aus der Umgebung der Fabrik, etwa 500 m ost-nordöstlich der Scha-

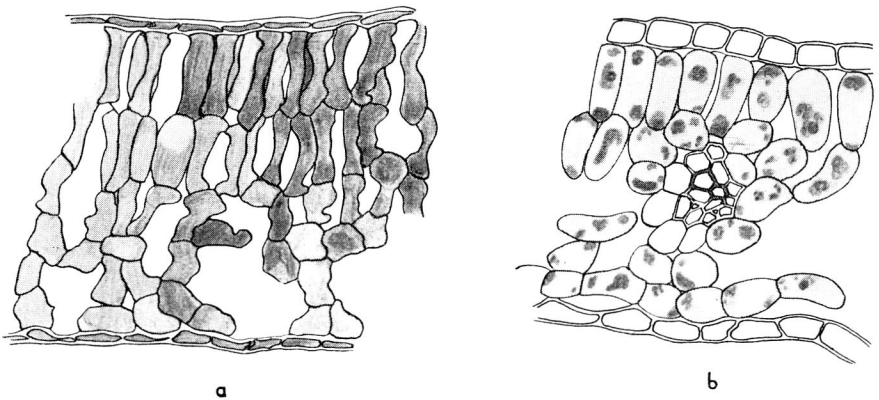


Abb. 5. a) Querschnittsausschnitt von einem durch Fluorabgase geschädigten Blatt eines Apfelbaumes,

b) Querschnittsausschnitt von einem herbstlich verfärbten, nicht durch Fluorabgase beeinflussten Apfelbaumblatt.

densquelle. Es ist das Gebiet, in dem die Schäden am augenfälligsten und schwersten sind. Auch hier ist die Epidermis leicht eingefallen, die Zellwände haben ihre straffe Form verloren und sind gelblich verfärbt. Der Zellinhalt ist gelb gefärbt und den Zellwänden aufgetrocknet. Auch Palisadenzellen und Schwammparenchym gleichen dem Bild, das in den Abb. 4 a und c vom Nußbaum gegeben ist. Zum Vergleich ist wiederum ein

herbstlich verfärbtes Apfelblatt (Abb. 5 b) von einem Baum im Institutsgarten in Berlin-Dahlem geschnitten worden. Das Bild ist das gleiche wie an Hand von geschädigtem und herbstlich braunem Nußbaumblatt beschrieben.

Die folgenden Abbildungen (Tafel II) zeigen Querschnitte durch ein Blatt der Esche 100 m südwestlich der Fabrik am Eingang des Flußtales. Der Baum war zwar schütter belaubt, aber die Blätter waren fast ausschließlich normal grün bis auf die teilweise trockene, schwarzbraun verfärbte Blattspitze. Es war nun zu untersuchen, ob die äußerlich normal aussehenden Blätter nicht schon Gewebeveränderungen aufweisen, die mikroskopisch ein pathologisches Zellbild erkennen lassen. Es wurden Querschnitte durch die äußerste Blattspitze (Taf. II Fig. 4), durch die schwarzbraune Schadensstelle kurz vor der Übergangszone in frischgrün aussehendes Gewebe (Taf. II Fig. 3) und durch äußerlich normal erscheinendes Gewebe kurz hinter der Schadenszone (Taf. II Fig. 2) untersucht. Von Blättern aus rauchfreiem Gebiet wurden auch Querschnitte angefertigt und unter dem Mikroskop untersucht, wobei aber kein Unterschied zu Fig. 2 festzustellen war. Diese Tatsache besagt also, wie schon die Beobachtungen an den Nußbaumblattquerschnitten ergeben haben, daß etwaige äußerlich nicht wahrnehmbare Schäden auf diese Weise mikroskopisch nicht zu erfassen sind. Das mikroskopische Bild der Schadensstelle dagegen zeigt genau so offensichtlich, wie auch schon makroskopisch festzustellen ist, die weitgehende Veränderung des Blattgewebes. Auch hier bei der Esche sind die Merkmale die gleichen wie bei den zuvor besprochenen Nußbaum- und Apfelbaumblattquerschnitten. Fig. 3 läßt erkennen, daß die schwarzbraune Färbung, die man makroskopisch wahrnimmt, darauf zurückzuführen ist, daß der Zellinhalt der Epidermis schon weitgehend verfärbt ist. Palisaden- und Schwammparenchym weist oliv gefärbten Zellinhalt auf. Trotz dieser noch nicht im letzten Stadium befindlichen Schädigung hat schon eine völlige Auflösung der Zellinhaltsbestandteile stattgefunden, und es ist nur noch eine homogene Masse zu erkennen. Die Schrumpfung des Zellinhaltes ist wohl auf Wasserentzug zurückzuführen, die ähnlich den Verhältnissen beim Vorgang der Plasmolyse auf dem Ausgleich der Druckverhältnisse beruht, und so den Protoplasten, noch bevor weitere Zerstörungen auftreten, die endgültige Form gibt. Im Vergleich zu den Figuren 3 und 4 ist noch zu bemerken, daß durch weitestgehenden Wasserentzug das Gewebe noch stärker zusammenschrumpft. Die endgültige Farbe ist braun und der Protoplast liegt aufgetrocknet der faltigen Wand an. Ein Vergleich mit Querschnitten, die von gleichem geschädigtem Material stammen, das aber zur Konservierung in Formalin und Borax (pH = 7,5) — für mikroskopische Untersuchungen derartigen Materials ist offenbar dieses Konservierungsmittel gut geeignet — aufbewahrt war, ergab keinen Unterschied zu den zuvor besprochenen Beobachtungen.

Um einen möglichst umfassenden Überblick über die mikroskopischen Verhältnisse der durch Fluorwasserstoff geschädigten Pflanzen zu gewinnen, wurden weiterhin Blätter des Kirschbaums geschnitten, der unmittelbar auf dem Fabrikgelände steht und schwer geschädigt erscheint. Wieder liegt das gleiche Bild (Abb. 6 a) vor, wie in den vorhergehenden Fällen, wenn es sich

um HF-geschädigtes Blattmaterial handelt. Als Schadensursache kommt nach den örtlichen Verhältnissen nur HF-Einwirkung in Frage. Die Epidermis ist nicht soweit eingesunken, wie es die Abbildungen der Querschnitte 4 a und c, 5 a und Taf. II Fig. 4 zeigen. Abb. 6 a läßt ebenfalls die eigenartige Form der Palisadenzellen erkennen. So berechtigen die bisherigen Ausführungen wohl zu dem Schluß, daß die Palisadenzellen bei HF-Einwirkung hantelförmige Gestalt annehmen. Abb. 6 b zeigt zum Vergleich den Querschnitt durch ein Kirschblatt aus der rauchfreien Gegend des Institutsgartens in Berlin-Dahlem.

Die Übergänge zwischen makroskopisch normal aussehendem und geschädigtem Gewebe sind in vielen Querschnitten untersucht worden. Hierbei wurde festgestellt, daß sich die Chlorophyllkörner als erstes auflösen, d. h. die Form verlieren, und die grüne Farbe des Chlorophylls in oliv übergeht. Der ganze Zellinhalt wird allmählich braun. Die Zellwände erleiden anfangs noch keine Veränderung. Erst mit dem Versagen der Funktionstüchtigkeit verlieren die Zellwände ihre Festigkeit und werden faltig. Zerstörungen der Zellmembranen sind niemals beobachtet worden. Selbst beim Betropfen des Blattmaterials mit 40%iger HF-Lösung sah das Querschnittsbild durch die lokal begrenzten Schadensstellen nicht anders aus als zuvor geschildert. Querschnitte von Blättern, die in Formalin und Borax konserviert waren, zeigten das gleiche Aussehen.

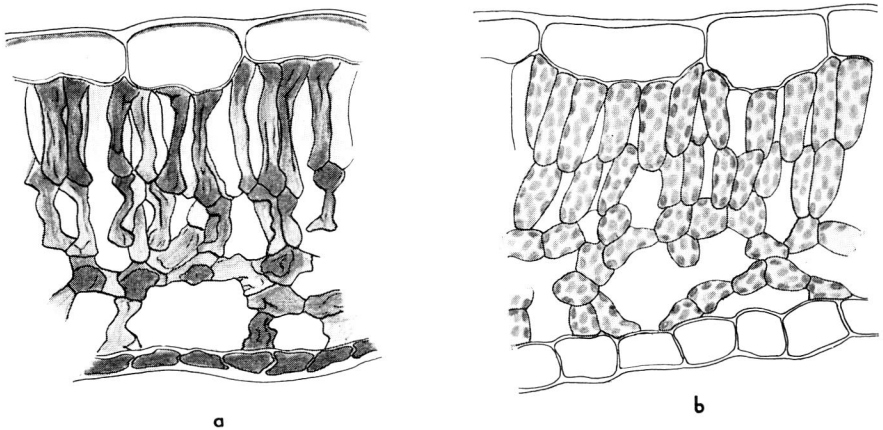


Abb. 6. a) Querschnittsausschnitt von einem durch Fluorabgase geschädigten Blatt eines Kirschbaumes,
b) Querschnittsausschnitt vom Blatt eines Kirschbaumes aus rauchfreiem Gebiet.

Auch bei diesen Untersuchungen wurde Blattmaterial aus der freien Natur im Fluoreinflußgebiet mit Blattmaterial verglichen, das im Experiment durch HF geschädigt worden war. Dazu ist die gleiche Apparatur, wie bei den vorhergehenden Beräucherungsversuchen in Abschnitt II beschrieben, verwendet worden. Mit 40%iger HF-Lösung beräuchertes Kirschblattmaterial, das unmittelbar bei sichtbar eintretender Schädigung geschnitten

wurde, zeigte im Blattquerschnitt nur einheitlich olivgrün verfärbte Protoplasten, doch formte sich mit der Zeit das gleiche Bild wie in Abb. 6 a wiedergegeben. Versuche und Beobachtungen mit vergleichendem Material vom Apfelbaum des Institutsgartens sind — in gleicher Richtung laufend — ebenfalls durchgeführt worden. Sie brachten Übereinstimmung zwischen freier Natur und Laboratoriumsversuch.

Ferner war der Pflaumenbaum, etwa 150 m nördlich der Fabrik wachsend, besonders beachtenswert. Er fiel in der Hauptsache durch seine eigentümlich mißgebildeten Früchte auf (Abb. 1). Der apikale Fruchtteil hatte sich

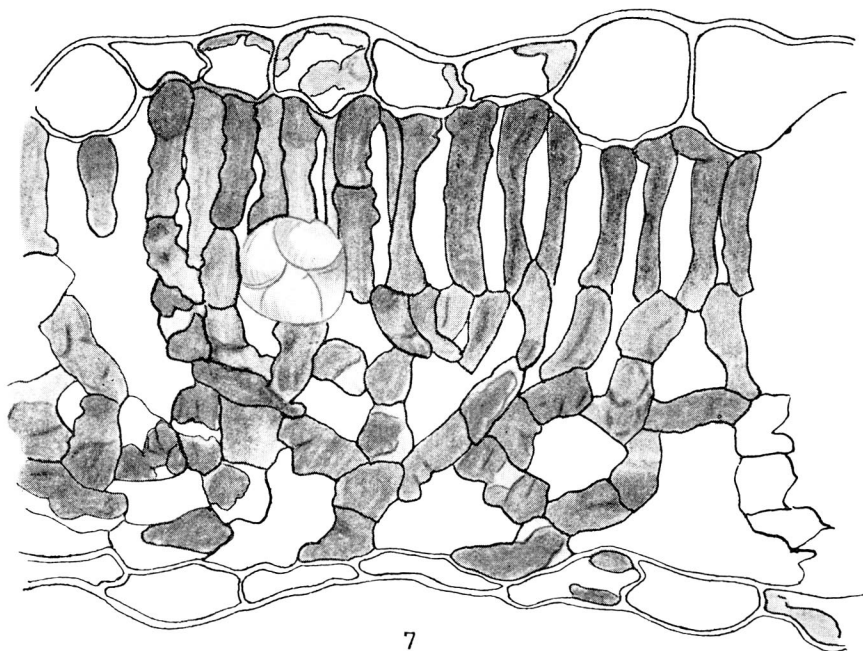


Abb. 7. Querschnittsausschnitt von einem durch Fluorabgase geschädigten Blatt eines Pflaumenbaumes.

abnorm verändert, er sah braun aus und war hart und zusammen-geschrumpft. Auch die Blätter des Baumes machten einen stark geschädigten Eindruck, ihr Querschnitt ist in Abb. 7 wiedergegeben. Das Bild gleicht dem aller vorstehend beschriebenen Beobachtungen.

Von besonderem Interesse sind die Querschnitte durch das Fruchtgewebe der Pflaume. Abb. 8 a zeigt den Querschnitt durch den apikalen Fruchtteil, Abb. 8 b durch den normalen oberen Fruchtteil. Abb. 8 b deckt sich mit dem Bild des Querschnittes durch eine Frucht aus rauchfreiem Gebiet. Abb. 8 a entspricht völlig den Verhältnissen, die bei geschädigtem Blattmaterial gegeben sind. Die Epidermis ist leicht gefaltet, die Zellwände sind gelblich verfärbt, der Zellinhalt ist gebräunt und erscheint als eine homogene Masse, die der Zellwand aufgetrocknet ist. Auch die Zellwände des Fruchtfleischgewebes sind gelblich verfärbt und gefaltet, der Zellinhalt ist der Zellwand aufgetrocknet.

Alle Querschnitte der HF-rauchgeschädigten bzw. beräucherten Blätter ergeben also ein typisches Bild: eine leicht gefaltete Epidermis und ein stark gefaltetes Parenchym mit hantelförmig verbildeten Palisadenzellen. Der einheitlich gelb bis braun verfärbte Inhalt der Zellen — eine homogen erscheinende Masse — ist den Zellwänden aufgetrocknet. Direkte Ätzhäden, von denen R. BALKS (22) spricht, konnten nicht festgestellt werden.

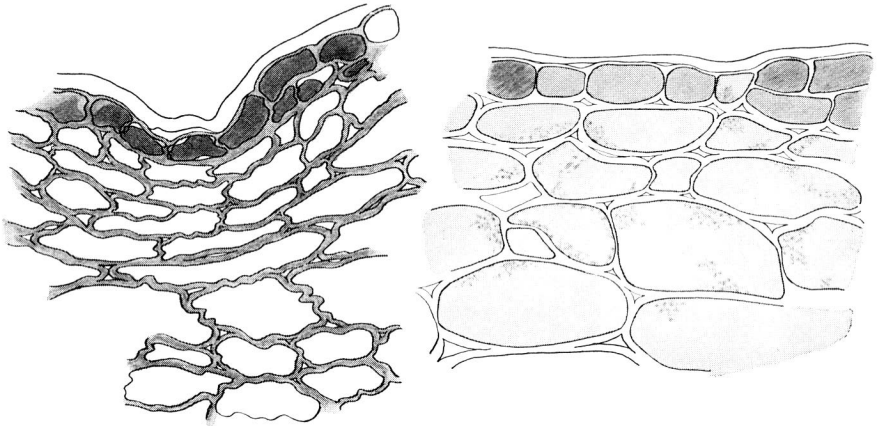


Abb. 8. Gewebeschnitte vom a) durch Fluorabgase geschädigten Fruchteil einer Pflaume, b) nicht geschädigten Fruchteil derselben Frucht.

Ähnliche Beobachtungen an Blattpflanzen, die mit HF beräuchert waren, teilt J. STOKLASA (33) mit. Er fand bei der Untersuchung von Blattquerschnitten, daß Palisaden- und Schwammparenchym angegriffen waren und stark gelitten hatten. Das Chlorophyll im Palisaden- wie auch im Schwammparenchym war zersetzt.

G. LINDAU (8) beschreibt den anatomischen Befund eines experimentell durch Fluor geschädigten Eichenblattes. Er fand beide Epidermisschichten intakt und den Inhalt der Mesophyllzellen leicht gebräunt. „Die einzelnen Chloroplasten sind noch erkennbar, aber der übrige Inhalt hat ein öliges Aussehen erhalten.“

Um entscheiden zu können, ob diese Beobachtungen für Fluor-Rauchschädigung sprechen, müssen zum Vergleich Querschnitte von Blättern herangezogen werden, die durch andere äußere Einflüsse geschädigt oder zum Absterben gebracht worden sind.

H. ZINKERNAGEL (43) hat Bohnen-, Pflaumenbaum- und Buscherbsenblätter geschnitten, die mit SO_2 begast worden waren. Alle drei anatomischen Befunde unterscheiden sich deutlich von den Blattquerschnitten der durch HF geschädigten Blätter. Palisaden- und Schwammparenchymzellen der mit SO_2 begasten Blätter zeigen nicht die eigenartige „Hantelform“; der Zellinhalt liegt nicht als einheitlich verfärbte Masse den deformierten Zellwänden an, sondern, wie die Abb. 82, 84, 86 und 87 (43) erkennen lassen, als scharf konturierter Klumpen in der Mitte der Zellen. Auch J. STOKLASA (33) spricht von Unterschieden zwischen HF-Schäden gegenüber jenen, die durch SO_2 hervorgerufen werden.

Der von P. SORAUER (28) wiedergegebene Querschnitt eines durch Salzsäure geschädigten Haferblattes zeigt keinerlei Übereinstimmung mit den eigenen Befunden. Der Zellinhalt liegt als verfärbte Masse zusammengeklumpt in der Zellmitte. Die Beschreibung eines Längsschnittes durch eine Fichtennadel dagegen, die durch künstliche Zufuhr von schwefliger Säure allmählich zur Rotfärbung gebracht worden war, entspricht den eigenen Beobachtungen mit HF.

M. DETER (4) hat Querschnitte von Blättern untersucht, die durch Chlorsulfonsäure und Schwefeltrioxyd geschädigt waren. Sie fand eine eingefallene Epidermis, „hantelförmige“ Palisadenzellen und einheitlich gelb verfärbte, der Zellwand aufgetrocknete Zellinhaltssubstanz.

Im allgemeinen ist das Material mikroskopischer Beobachtungen in der Rauchschadenliteratur nicht sehr umfangreich. Wenn auch nicht zu erwarten ist, daß die mikroskopische Untersuchung die Lösung des Rauchschadenproblems bringen wird, kann doch ein Zusammentragen mannigfacher Beobachtungen und ein gegenseitiger Vergleich aufschlußreich sein und näher an das Problem heranzuführen wie z. B. in diesem Fall, der deutlich den Unterschied zwischen der Blattschädigung durch HF und durch SO_2 zeigt. Die Übereinstimmung des durch schweflige Säure geschädigten Fichtennadelbefundes von P. SORAUER und der von M. DETER wiedergegebenen Abbildungen mit den eigenen Befunden von HF geschädigtem Blattmaterial gibt zu der Annahme Anlaß, daß es sich bei den Rauchschäden saurer Gase in erster Linie um eine H-Ionenwirkung handelt, die das beschriebene Krankheitsbild hervorruft, da die beobachteten Tatsachen eine weitgehende Übereinstimmung der anatomischen Befunde durch Säure geschädigter Laubblätter aufweisen.

IV. Plasmolyseversuche

Wenn auch das anatomische Bild von Blattquerschnitten rauchgeschädigter Pflanzen gewisse Aussagen über die Schadensursache zuläßt, bietet es dennoch nicht die Sicherheit einer unfehlbaren, einwandfreien Diagnose. Außerdem zeigen die Beobachtungen und Versuche des vorhergehenden Abschnittes über mikroskopische Untersuchungen, daß in dieser Weise nur sichtbare Schäden erfaßt werden können, während die Erkennung von etwaigen unsichtbaren Schäden auf diesem Wege nicht möglich zu sein scheint. So gilt es andere Methoden heranzuziehen, um eine sichere Beurteilung von akuten Schäden und besonders von chronischen aber noch unsichtbaren Schäden zu ermöglichen.

Ein gangbarer Weg zur Erreichung dieses Zieles schien im Plasmolyseverfahren gegeben, da man mit Hilfe dieser Methode tiefer in die Lebens-tätigkeit der Zelle eindringen und die Lebensfunktionen beobachten kann.

Bisher hat der Plasmolyseversuch in der Rauchschadenkunde noch keine große Bedeutung erlangt, doch weisen einige Arbeiten wie z. B. A. ANDRÉ (1) und R. THÜMLER (36) einen Weg, der durch die gewonnenen Erkenntnisse weitere Steinchen zum großen Mosaik der Kenntnisse über Rauchschäden an der Vegetation beiträgt.

Auch führt ein zusammenfassender Überblick über die vorstehenden beiden Abschnitte folgerichtig zur plasmolytischen Methode, da die mikroskopischen Ergebnisse gezeigt haben, daß die ersten sichtbaren Veränderungen

gen sich in Verfärbung der Chloroplasten äußern, somit also die Wirkung der HF auf Zellinhaltsbestandteile erfolgt. Daraus ergeben sich die Fragen: ist HF ein Assimilationsgift, das erst das Chlorophyll angreift und über die Zersetzung des Chlorophylls das Protoplasma; oder umgekehrt: wird das Protoplasma angegriffen und über seine Zersetzungsprodukte das Chlorophyll?

K. NOACK (14 bis 17) nimmt an, daß die Giftwirkung der schwefligen Säure darauf beruht, daß aus einer im Chloroplasten in kolloidaler Form vorhandenen Eisenverbindung das Metall durch Säuren wasserlöslich gemacht wird. Dieses Kolloid steht mutmaßlich im Zusammenhang mit der Verbindung, die die Assimilation katalysiert. S. KOSTYTSCHEW (11) vertritt den Standpunkt, daß giftige Stoffe stets nur eine Hemmung der Photosynthese hervorrufen. Weiter ist nach K. NOACK mit der Inaktivierung des Assimilationsapparates durch schweflige Säure auch die Zerstörung des übrigen Zellplasmas ausgelöst worden. In neuester Zeit hat P. RECKENDORFER (19 bis 21) feststellen können, daß „das für die Pflanzen nach außen hin visuell nicht aufscheinende Krankheitsbild des chronischen Rauchsadens mit einem ausreichenden Nachschub an Ca untrennbar verbunden ist, und in dem Augenblick, wo der pflanzlichen Zelle zum Zweck ihrer Fluor-Blockierungstendenzen nur ungenügende Mengen an Calciumionen zugeführt werden, steht eine Störung im Aufbau der Chloroplasten zu erwarten, ein Rückläufigwerden der Chlorophyllproduktion mit jenen ersten symptomatischen Anzeichen der Vergilbung und Verfärbung . . .“. Weiterhin schreibt er: „Nach der Passage des Plasmodesmas wird nun das diffusible Fluorion im Gefolge von Diffusionsströmen über das Protoplasma, die Vakuolenwände und Safräume, bzw. unter Benützung von Plasmasträngen (Plasmodesmen) von einer Hautschicht zur anderen und wieder durch die Zellulosemembran von Zelle zu Zelle wandern . . .“. Es fragt sich also, ob diese Strukturänderungen infolge Säureeinwirkung durch zellphysiologische Versuche sichtbar zu machen sind, oder auf Grund besonderen Verhaltens des Protoplasten sich feststellen lassen.

Da auch H. SCHINDLER (25) unterschiedliches Verhalten der Protoplasten bei Säure — bzw. Alkalieinwirkung bei den Plasmolysevorgängen festgestellt hat, schien diese Methode geeignet, zur Lösung der gestellten Aufgabe beitragen zu können; nämlich auf diese Weise ein Charakteristikum zu finden, das eine einwandfreie Diagnose der Schadensursache und damit eine genaue Bestimmung des betreffenden Giftstoffes auf Grund eines spezifischen Merkmales zuläßt.

Wie die makroskopischen Beobachtungen in der freien Natur gezeigt haben, erzeugen verschiedene schädliche Abgase verschiedene Schadensbilder. In der Arbeit von E. TIEGS (37) in Sorauers Handbuch der Pflanzenkrankheiten findet sich die Angabe, daß schweflige Säure meist Braunfärbung und Fleckenbildung, Salzsäure dagegen Ausbleichen und Vertrocknen der Ränder oder Fleckenbildung in den Interkostalfeldern hervorrufen. Das Verhalten der Pflanzen ist natürlich je nach Jahreszeit, Standort und individueller Entwicklung verschieden, doch treten diese zuvor erwähnten Merkmale im allgemeinen typisch hervor, ebenso wie in Gegenden, in denen die Atmosphäre fluorhaltig ist, die schwärzliche Blattspitze und schwarzbraune Blatt- randverfärbung ins Auge fällt. Daraus ist zu schließen, daß das Anion der Säure eine ganz spezifische Wirkung auf die Pflanzen ausübt.

Zu Beginn der Versuche wurde die Wirkung von NaF und NaCl auf Pflanzen nebeneinander geprüft, um durch Vergleich der Ergebnisse näheren Aufschluß über das Verhalten des Fluors und Chlors gegenüber Pflanzen zu erhalten.

Das Versuchsobjekt war das Brunnenmoos (*Fontinalis antipyretica*). Seine Blättchen bestehen aus einer Zellschicht, die rhombenförmigen Chloroplasten sind in übersichtlichem Mosaik angeordnet. Die Pflanze schien besonders geeignet, da sie für einen Laboratoriumsversuch die wenigsten Schwierigkeiten bietet, und als Wasserpflanze kann sie sich im Versuch in ihrem natürlichen Medium entwickeln. Sie ist so widerstandsfähig, daß das Abschneiden eines etwa 10 cm langen Endtriebes keine ungünstige Wirkung auf die normale Weiterentwicklung ausübt.

Zur mikroskopischen Untersuchung wird das Blatt im ganzen abgetrennt, und der Plasmolysevorgang kann auf Grund der einen Zellschicht gut beobachtet werden, ohne daß — z. B. wie bei Blattoberflächenschnitten von *Tradescantia*, dem klassischen Plasmolyseobjekt — immer eine gewisse Wundwirkung in den Verlauf des Plasmolysevorganges mit einbezogen werden muß.

Es galt ein geeignetes Medium zu finden, in dem sich *Fontinalis antipyretica* gut entwickeln konnte. Diesen Anforderungen entspräche schon das Leitungswasser, doch konnte es bei diesen Versuchen keine Verwendung finden, da sein Calciumgehalt so hoch ist, daß merkliche Mengen NaF in das praktisch im Wasser unlösliche CaF_2 übergeführt werden, was an einem deutlichen Niederschlag zu erkennen ist. Destilliertes Wasser, das frei von Calcium ist, übt auf Grund seines niedrigen pH-Wertes eine schädliche Wirkung auf *Fontinalis a.* aus; die Pflanzen ändern schon nach wenigen Tagen ihre Farbe. Weitere Versuche mit Wofatit-Wasser (Calcium freies Leitungswasser) haben ergeben, daß nach zwei Tagen keine Plasmolyse mehr möglich ist, also ebenfalls Schädigung der Pflanzen eintritt. Daraus muß gefolgert werden, daß *Fontinalis a.* einen gewissen Calciumgehalt zum Leben braucht. Die Pflanzen wurden daher unter natürlichen Bedingungen in dem Standortwasser aus dem Teufelssee bei Rehbrücke/Potsdam (eine chemische Untersuchung des Teufelseewassers nach K. HÖLL [10] siehe Tab. 1) beobachtet. Darin wuchsen die Pflanzen normal und hielten sich über Monate. Der Calciumgehalt des Standortwassers war so gering, daß eine Trübung durch Ausfällung von Calciumfluorid nicht beobachtet werden konnte. Daher ist ein auf chemisch-analytischem Wege meßbarer Fluorverlust bei Verwendung von Standortwasser unmöglich. Nach eigenen Messungen betrug der pH-Wert dieses Wassers 7. Es wurde jeweils nach vierzehn Tagen erneuert, um unerwünschte Bakterienbildung zu verhindern.

Methode: Die Versuchsgefäße waren 100 ccm Weithals-Stehkolben, die jeweils mit 50 ccm Wasser bzw. Lösung und zwei etwa 10 cm langen *Fontinalis a.* — Endtrieben beschickt wurden. Sie wurden nicht verkorkt, um den natürlichen Luftaustausch nicht zu unterbinden. Geringer Verdunstungsverlust und damit verbundene gewisse Konzentrationserhöhung ist im Hinblick darauf in Kauf genommen worden, damit die Pflanzen nur nicht unter unnatürlichen Bedingungen durch krankhafte Nebenerscheinungen das reine Bild der Fluor- wie der Chlorschädigung beeinträchtigten. Es kam in der Hauptsache darauf an, alle Nebenfaktoren auszuschalten, um die allei-

nige Wirkung von Fluor und Chlor beobachten zu können. So war es nicht wesentlich festzustellen, bei welcher absoluten Lösungskonzentration *Fontinalis a.* geschädigt wird, sondern wie es geschädigt wird, und es war ferner notwendig, die Unterschiede bei den mikroskopischen Beobachtungen vergleichen zu können. Die durch den Verdunstungsverlust bedingte Konzentrationserhöhung hat unter gleichen äußeren Bedingungen (Temperatur, Luftdruck) bei den Untersuchungs- und Kontrollproben den gleichen Wert, so daß das Ergebnis der Betrachtungen dadurch nicht beeinflusst wird.

Die Versuchskölbchen standen auf dem Arbeitstisch in der Mitte des Arbeitsraumes, also in diffusem Tageslicht. Die Endtriebe, die für den Versuch ausersehen waren, sind, bevor sie in die Versuchslösung gelegt wurden, durch Plasmolyse auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft worden, und zwar jeweils ein Blatt aus der Spitzenregion des Endtriebes, eines aus der Mitte und eines etwa an der Schnittfläche des Stiels. Nur wenn der Plasmolyseverlauf in allen Blättern normal war, fanden die Endtriebe für den Versuch Verwendung.

Als Plasmolytikum diente 10%ige KNO_3 -Lösung. Der Plasmolyse- und Deplasmolyseverlauf vollzog sich in einem gesunden Blatt bis zur völligen Abkuglung des Protoplasten in der Zellmitte innerhalb weniger Minuten, ebenso die Deplasmolyse bis zur normalen Streckung des Protoplasten.

Es wurden je ein Blättchen aus der obersten, der mittleren und der untersten Region des Endtriebes plasmolysiert.

Eine ausführliche Wiedergabe des Verlaufs der ersten Versuche erübrigt sich, weil sie nur eine Übersicht über die Konzentrationsverhältnisse geben sollten, bei denen Grenzplasmolyse — d. h. die Konzentration, die gerade keine Schädigung mehr erkennen läßt — zu erwarten ist.

Danach wurden die Hauptversuche angesetzt, deren Verlauf aus den Tabellen II, III, IV und V ersichtlich ist. In der ersten Spalte sind die Tage angegeben, an denen die Beschaffenheit der Endtriebe durch Plasmolyse und Deplasmolyse geprüft worden ist, in der zweiten Spalte befinden sich die Versuchsergebnisse der Kontrollversuche in reinem Standortwasser zu den jeweiligen Versuchsreihen, in den folgenden Spalten die Ergebnisse von den Versuchen mit Lösungen verschiedener Konzentration. Zeigten Endtriebe und Zellbild keine Veränderung gegenüber dem normalen Verhalten, ist die Spalte „allgemeine Beobachtungen“ fortgelassen worden.

Als Grenzkonzentration gilt die NaF-Konzentration, die *Fontinalis a.* gerade nicht mehr schädigt, so daß die normale Lebenstätigkeit der Zelle durch Plasmolyse mit KNO_3 nachgewiesen werden kann. Zur genauen Bestimmung dieser Grenzkonzentration, die, wie Versuche erkennen ließen, zwischen 0,05 % und 0,01 % NaF liegen muß, wurden neben einem Kontrollversuch vier Gläser mit je 50 ccm 0,03%iger NaF-Lösung und zwei Endtrieben *Fontinalis a.* angesetzt. Das Versuchsverfahren war das gleiche wie zuvor beschrieben. Das Ergebnis zeigte, daß innerhalb von acht Tagen kein Unterschied gegenüber dem Verhalten der Kontrollproben festgestellt werden konnte. Der Parallelversuch mit 0,04%iger NaF-Lösung ergab nach 24 Stunden schon ein etwas lockeres Chloroplastenmosaik und einige leicht kontrahierte Protoplasten, doch waren Plasmolyse und Deplasmolyse noch positiv, und nach fünf Tagen konnte immer noch Plasmolyse und Deplasmolyse beobachtet werden. Darauf wurden die Blätter weiß-flekkig, so daß

sie an Panaschüren erinnerten, und im größten Teil der Zellen waren die Protoplasten in den Ecken der Zelllängen leicht kontrahiert. In den äußerlich grün und normal erscheinenden Blattstellen konnten noch normale Plasmolyse und Deplasmolyse beobachtet werden. 0,03 %ige NaF-Lösung bedeutet also für *Fontinalis a.* unter gegebenen Bedingungen die Grenzkonzentration.

Für NaCl liegt die Grenzkonzentration bei 0,2 %. In 0,3%iger NaCl-Lösung konnte nach 24 Stunden vollständige Plasmolyse und Deplasmolyse erzielt werden, doch war das Chloroplastenmosaik schon etwas gelockert. Nach vier Tagen waren im größten Teil der Zellen die Protoplasten kontrahiert und am fünften Tag nur noch in ganz wenigen Zellen Plasmolyse möglich.

Dieses Ergebnis bringt erneut die Bestätigung, daß Fluor in hohem Maße für die Pflanzen schädlich ist.

Charakteristische Erscheinungen bei Plasmolyse- und Deplasmolyseverlauf, besondere Erstarrungsformen der Protoplasten oder Veränderungen des Plasmas, auch eigentümliche Verzögerungen von Plasmolyse und Deplasmolyse sind nicht beobachtet worden.

Wie aus den Tabellen ersichtlich, ergeben sich manche Verschiedenheiten in der Auswirkung von NaCl und NaF auf *Fontinalis a.* So konnte bei den Schädigungen durch NaCl ein typisches Zusammenballen der Chloroplasten in der Zellmitte beobachtet werden, während ähnliche Wirkung bei Versuchen mit NaF-Lösungen nicht festzustellen war. Auch verlieren die Endtriebe in NaF-Lösung eher an Farbe, als es bei den Endtrieben in NaCl-Lösung der Fall ist. Ein Auflösen und Entfärbung der Chloroplasten ist in beiden Versuchsreihen beobachtet worden; verstärkt traten diese Erscheinungen in NaF-Lösungen auf.

Auch der zeitliche Ablauf von Plasmolyse und Deplasmolyse ist geprüft worden. Dadurch sollte die Frage geklärt werden, ob nicht unsichtbare Schäden durch besondere Trägheit oder Aktivierung des Plasmas charakterisiert sind, die sich in einem verlangsamten oder beschleunigten Plasmolyse- oder Deplasmolyseverlauf ausdrücken. In übereinstimmender Weise, wie zuvor angegeben, wurde der zeitliche Ablauf vom Ansetzen des Plasmolytikums am Deckglas bis zur Abkuglung des Protoplasten und vom Ansetzen des Deplasmolytikums (Standortwasser) bis zur völligen Streckung des Protoplasten mit der Stoppuhr untersucht. Als Plasmolytikum diente 5%ige KNO_3 -Lösung. Die Ergebnisse ließen erkennen, daß die Plasmolysezeiten in den gesunden *Fontinalis*-Blättern stark schwanken und für die Endtriebe in verschiedenen NaF-Lösungen gilt das gleiche. Geringe Schädigungen lassen sich auf diese Weise deshalb nicht erfassen.

R. THÜMLER (36) hat — nur ein anderes Ziel verfolgend — in gleicher Weise gearbeitet. Er suchte eine Bestätigung der Annahme, daß der Entzug von Calcium aus der äußeren Plasmabegrenzung sich in einer Auflockerung des Plasmas bemerkbar macht, was wiederum einen Einfluß auf den mikroskopisch zu verfolgenden Deplasmolyseverlauf haben könnte. Als Calcium fällendes Mittel nahm er Kaliumfluorid. Er bezeichnet seine Ergebnisse als indifferent und nicht seinen Erwartungen entsprechend.

Im Zusammenhang mit diesen Versuchen soll eine bemerkenswerte Beobachtung nicht unerwähnt bleiben. Je zwei *Fontinalis a.*-Endtriebe wur-

den in vier Versuchskölbchen mit je 50 ccm 0,05%iger NaF-Lösung gleichmäßig verteilt. Nach 24 Stunden ließ sich schon ein leichtes Abheben des Plasmas von der Zellwand und ein gelockertes Chloroplastenmosaik erkennen. Die Plasmolyse vollzog sich nur noch schwach, und in einigen Zellen war sie nicht mehr möglich. Daraufhin wurden aus zwei Kölbchen die Endtriebe herausgenommen, gut abgespült und in zwei neue Kölbchen, die je 50 ccm Standortwasser enthielten, gelegt. Zwei Tage nach diesem Wechsel gab der Plasmolyseverlauf ein fast normales Bild. Ein großer Teil der Zellen wirkte und reagierte normal, und nur in einem kleinen Teil der Zellen waren die Protoplasten kontrahiert und Plasmolyse konnte nicht mehr erzielt werden. Bei den gesunden Zellen ergab sich beim Deplasmolysevorgang nur ein Unterschied zu dem Verhalten der Kontroll-Endtriebe dadurch, daß die Protoplasten zerplatzten. Die Endtriebe dagegen, die in 0,05%iger NaF-Lösung verblieben waren, waren schon 48 Stunden nach dem Ansetzen des Versuchs soweit geschädigt, daß nur in ganz wenigen Zellen noch Plasmolyse erzielt werden konnte. Die Endtriebe in Standortwasser, die 24 Stunden in NaF-Lösung gelegen hatten, waren am vierten Tag nach dem Ansetzen des Versuches so weit gesundet, daß die Plasmolyse — mit Ausnahme weniger Zellen, in denen keine Plasmolyse mehr möglich war — normal verlief. Nach weiteren drei Tagen wurden die gleichen Beobachtungen gemacht. Die Ergebnisse eines Parallelversuches brachten Übereinstimmung mit denen des zuvor besprochenen Versuches. Diese Tatsache deutet darauf hin, daß Fluorschädigung der Pflanzen auf einer Anreicherung des Fluors im Pflanzengewebe besteht, die dann wieder rückgängig gemacht werden kann, wenn der Fluorgehalt in der Pflanze einen bestimmten Wert nicht überschritten hat.

Plasmolyseversuche mit durch Fluorwasserstoff geschädigten Wasserpflanzen

Da es sich bei industriellen Emissionen des Fluors in der Hauptsache um die Fluorwasserstoffsäure handelt, war nun zu untersuchen, inwiefern das Zellbild unter Einwirkung dieser Säure verändert wird und welche grundsätzlichen Unterschiede zwischen NaF- und HF-Schaden zu beobachten sind.

Versuche mit Fluorwasserstoffsäure bieten besondere Schwierigkeiten, weil die Säure alle Stoffe bis auf Paraffin, Platin und Guttapercha angreift. Für die Pflanzenversuche können aber nur Glasgefäße Verwendung finden, da sie allein den Pflanzen annähernd natürliche Lichtverhältnisse bieten. Das Paraffinieren der Gefäße wurde für unzweckmäßig gehalten, weil dadurch ein Lichtverlust von 40 % entsteht, der zumindest eine Schwächung der Lebenstätigkeit der Pflanzen bewirkt und einer Säurewirkung Vorschub leistet. Es wurden daher verschiedene Lacküberzüge (Zaponlack, Filmfolie usw.) erprobt, doch sie alle gaben Stoffe an das Wasser ab, die die Lebensfunktion der Pflanzen unkontrollierbar beeinflussten, so daß nach Vorversuchen, die ungefähr in die Nähe der Lösungsstärke für Grenzkonzentration führten, jegliche Behandlung unterbleiben konnte, da die äußerst schwachen Säurekonzentrationen Glas nicht mehr nachweisbar angreifen.

Die Aufzeichnungen der Versuchsergebnisse und dazugehörige Mikrographien sind vernichtet. Aus den noch vorhandenen Notizen läßt sich nachfolgendes Bild der durchgeführten Versuche rekonstruieren.

Die schädigende Wirkung des Fluorwasserstoffs ist viel größer als die des Natriumfluorids, und die Grenzkonzentration für Fluorwasserstoff liegt dementsprechend erheblich niedriger als die des Natriumfluorids. Daraus folgt, daß dem H-Ion ein wesentlicher Anteil bei der Pflanzenschädigung durch HF zukommt. Eine Bestätigung der außerordentlichen Schädlichkeit des Zusammenwirkens von Wasserstoff und Fluor bietet die Feststellung, daß HF-Lösung und Aqua dest. von gleichem pH-Wert sich in der Auswirkung auf *Fontinalis a.* völlig verschieden verhalten. In Aqua dest. halten sich die Endtriebe noch längere Zeit frisch und normal, während in einer Fluorwasserstofflösung vom gleichen pH schon nach wenigen Stunden Phäoptytinbildung zu beobachten ist.

Da die allgemeine Säurewirkung auf Chlorophyll eine Phäoptytinbildung hervorruft, die auf Abspaltung des Magnesiums im Chlorophyllmolekül beruht, worauf im folgenden Abschnitt über spektroskopische Versuche näher eingegangen werden soll, mußte besonders dem Verhalten der Chloroplasten Beachtung geschenkt werden. Hierfür war das angeführte Chloroplastenmosaik von *Fontinalis a.* ungeeignet. *Elodea densa* dagegen mit einem nur zwei Zellreihen enthaltenden Blatt und den im Plasma locker verteilten Chloroplasten war für diese Zwecke geeigneter, und ihre Kultur bereitet keine besonderen Schwierigkeiten. Das Material stammte aus dem Harz, und konnte im Laboratorium in einem Aquarium mit Leitungswasser des Instituts zur guten Entwicklung gebracht werden. Das Aquarium stand in einiger Entfernung vom Südfenster, ohne daß es dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt war.

Die Versuche wurden in der gleichen Weise wie die Plasmolyseversuche mit NaF durchgeführt. Die *Elodea densa*-Wirtel wurden 5 cm lang abgeschnitten und je einer in ein Versuchsglas mit 50 cm³ Lösung gelegt.

Als Plasmolytikum diente in diesem Falle nicht KNO₃. Da nämlich 10 %ige KNO₃-Lösung ein sehr starkes Plasmolytikum darstellt, bei dem sich die Plasmolyse in verhältnismäßig kurzer Zeit vollzieht, und es außerdem ein der Pflanze artfremder Stoff ist, der auch eine gewisse Giftwirkung auf die Pflanze ausübt, wurde zur besseren Beobachtung des Plasmolysevorgangs und einer dabei sich vielleicht vollziehenden Veränderung im Protoplasma eine 1 n Rohrzuckerlösung gewählt. Bis zur völligen Abkuglung der Protoplasten in nicht geschädigten Zellen vergingen durchschnittlich 30 bis 40 Minuten.

Die HF-Grenzkonzentration, bei der *Elodea densa* gerade nicht mehr geschädigt wird, liegt bei 0,0005 %. Es ist bemerkenswert, daß mit 1 n-Rohrzuckerlösung bei Wirteln, die nur wenige Stunden in einer 0,0008 und 0,0009 %igen HF-Lösung gelegen haben, keine normale Plasmolyse mehr zu erzielen war. Ein großer Teil der Protoplasten des *Elodea densa*-Blattes, die sich zuvor nicht von den gesunden unterschieden, hatte sich während des Plasmolysevorganges wesentlich von den Zellwänden abgehoben und lag nicht, wie zu erwarten, abgekugelt in der Zelle, sondern in bizarren, verzerrten Formen. Das Plasma schien erstarrt. Deplasmolyse war nicht mehr möglich. Doch selbst diese Erscheinung war nicht ausgesprochen typisch.

Da die Plasmolyseversuche keine eindeutigen Schadensbilder erkennen ließen, die der praktischen Diagnose von Rauchschäden hätten dienen können, sind derartige Untersuchungen, da sie über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen, nicht weitergeführt worden.

V. Spektroskopische Versuche

Die makroskopischen und mikroskopischen Symptome der rauchgeschädigten, chlorophyllführenden Pflanzen durch saure Gase zeigten, wie aus den zuvor besprochenen Untersuchungen ersichtlich ist, zwar für HF-Schäden manche typischen Merkmale, aber es konnte jedoch keines als hinreichend beweiskräftig angesehen werden.

Die Säureempfindlichkeit der grünen Blattfarbstoffe ist in der ausgedehnten Chlorophyll-Literatur eingehend behandelt worden. R. WILLSTÄTTER (41) und seinen Mitarbeitern gelang die chemische Identifizierung der durch Säureeinwirkung entstehenden Derivate des Chlorophylls a und b, die er Phäophytin a und b nannte. Die Phäophytine entstehen durch quantitative Abspaltung des komplex gebundenen Magnesiums aus dem Chlorophyllmolekül, wobei das Magnesium durch Wasserstoff ersetzt wird. Die grüne Farbe des Chlorophylls schlägt dabei in braun um, und das Absorptionsspektrum zeigt einige charakteristische Veränderungen gegenüber dem des normalen Chlorophylls. Diese Tatsache läßt sich spektroskopisch einwandfrei nachweisen. Besonders auffallend ist eine starke Absorption im Grün vor der Fraunhoferschen — Linie E. Qualitativ sind diese beiden Spektren ohne weiteres zu erfassen, doch die quantitative Bestimmung ist mit einigen Schwierigkeiten verbunden.

Die spektroskopische Methode hat in der Rauchschadendiagnostik bisher wenig Anwendung gefunden. F. W. OLIVER (18) berichtet über positive Werte, die er mit Hilfe der spektroskopischen Methode erzielt hat, wenn er zuvor Chlorophyllan (Phäophytin) mikroskopisch in Blattquerschnitten nachweisen konnte. J. STOKLASA (34) teilt ähnliche Erfahrungen mit. H. WISLICENUS (42) hat mit Hilfe des Spektroskops die Zersetzung des Chlorophylls durch H_2SO_4 verfolgt. Erst W. DÖRRIES (5, 6) hat sich eingehender mit dieser Methode beschäftigt, um sie der Rauchschadendiagnostik dienstbar zu machen. Nach seiner Ansicht und auf Grund der Ergebnisse seiner Versuche kann die spektroskopische Methode in vielen Fällen der praktischen Rauchschadenexpertise gute Dienste leisten. Doch kann auch sie nicht allein zur Beurteilung von Rauchschäden herangezogen werden, da noch andere äußere Einflüsse auf die Pflanze gleiche Phäophytinwirkung wie durch saure Abgase hervorrufen können. Diese Methode wurde speziell für die HF-Einwirkung auf grüne Pflanzen erprobt.

Während bisher die Betrachtung des Spektrums durch die üblichen Spektralapparate an das Auge des Beobachters hohe Anforderung stellte und bei Serienarbeit und Untersuchung mehrerer Spektralbereiche in einem Analysengang leicht Ermüdung des Auges zu befürchten war, wurden die folgenden Untersuchungen mit dem lichtelektrischen Spektralphotometer nach Dr. B. Lange durchgeführt. Das Arbeitsverfahren ist sehr einfach und gegenüber den bisher üblichen spektralanalytischen Verfahren erheblich zeitensparend.

Das lichtelektrische Spektralphotometer läßt eine Bestimmung des spektralen Absorptionsverlaufes im Bereich von 430 bis 720 $\mu\mu$ zu. Es besteht aus einem Monochromator mit Beleuchtungseinrichtung und der photoelektrischen Meßeinrichtung mit Photoelement (die Empfindlichkeit der Photozelle entspricht der des menschlichen Auges. Siehe B. LANGE, „Photoelemente und ihre Anwendung“, 2. Auflage, Verlag Joh. A. Barth, Leipzig 1940). Der Monochromator besitzt ein Abbésches Prisma mit konstanter Ablenkung von 90°. Eintritt- und Austrittsspalt sind symmetrisch und an einer kleinen Meßtrommel einstellbar. Die Wellenlänge wird an einer großen Trommel von 10 cm Durchmesser eingestellt. Ein Teilstrich auf der Trommel entspricht einer spektralen Breite von 1 bis 2 $\mu\mu$. Zur Messung des Photostromes wurde das Spiegelgalvanometer (Multiflex Galvanometer MG 4; Empfindlichkeit etwa $4,9 \times 10^{-9}$ A) benutzt. Die Ablesung des Meßwertes erfolgt durch einen Lichtzeiger mit feiner Strichmarke auf einer 200 mm langen Skala. Der abgelesene Wert für die Lösung bei bestimmter Wellenlänge ins Verhältnis zum abgelesenen Wert für das Lösungsmittel bei gleicher Wellenlänge gesetzt, ergibt die Durchlässigkeit der Lösung für die betreffende Wellenlänge. Dann können die Extinktion und der Logarithmus der Extinktion berechnet werden, und die Werte, in einem Koordinationssystem eingetragen, ergeben die Kurve des betreffenden Absorptionsspektrums. Man wählt zur Aufstellung der Farbkurve die Werte des log der Extinktion, da so nur die Kurvenform unabhängig von Konzentration und Schichtdicke ist.

Besonders M. RÖBEN und M. STERN (23, 30—32) und E. TIEGS (38) haben die Brauchbarkeit der spektralphotometrischen Methode im Dienste der Rauchscheidendiagnostik in zahlreichen Versuchen erprobt und übersichtliches Material zur Beurteilung zusammengetragen. Wie schon erwähnt, kann ein positiver Säurebefund nicht unbedingt auf Einwirkung saurer Gase zurückgeführt werden, da z. B. auch extreme Temperatureinwirkungen Phäophytin in den chlorophyllführenden Blättern erzeugen können (2, 23, 31). So wird das Ergebnis der spektralanalytischen Untersuchung in Frage gestellt; doch kann meist nach eingehender Kenntnisnahme der Örtlichkeit dieser Faktor sichere Beurteilung erfahren, so daß die spektralanalytische Methode als für die Rauchscheidendiagnostik anwendbar angesehen werden kann. Als alleiniges Mittel zur Diagnose kann sie jedoch in dieser Weise keine Verwendung finden.

Zur Orientierung wurde das Verfahren speziell mit HF versetzten Chlorophyllösungen überprüft. Das Spektrum des normalen Chlorophylls aus einem Zuckerrübenblatt ist auf Abb. 9 Kurve A wiedergegeben. Den Extrakt stellte man nach R. WILLSTÄTTER und A. STOLL (41) her. Zur Extraktion des Chlorophylls wurde Methylalkohol verwandt. Die Kurven A, B und C auf Abb. 9 entsprechen den Absorptionsspektren abgestufter Konzentrationen von Chlorophyllösungen; charakteristisch ist die starke Absorption im Rot. Wird dem Extrakt Säure zugesetzt, so erfolgt der Farbumschlag ins Oliv, der, wie schon zuvor besprochen worden ist, durch Phäophytinbildung bedingt ist und im Absorptionsspektrum die typische Bande im Grün bei 535 $\mu\mu$ aufweist, von W. DÖRRIES kurz als

„Phäophytinbande“ bezeichnet. Gleichzeitig tritt eine Aufhellung im gelben Spektralbereich etwa bei $590\text{ }\mu\mu$ auf. Die Kurven ließen erkennen, daß die Zunahme der Durchlässigkeit bei $590\text{ }\mu\mu$ kleiner ist, als die Abnahme der Durchlässigkeit bei $535\text{ }\mu\mu$.

Auf Abb. 10 (Kurve A und B) sind die Absorptionsspektren der Chlorophyllauszüge aus zwei Zuckerrübenblättern wiedergegeben, die mit HF beräuchert worden waren, so daß eines völlig oliv verfärbt war (Kurve A), das andere nur Fleckenbildung aufwies (Kurve B). Deutlich drückt sich dieser Unterschied auch in den Absorptionsspektren aus. Während Kurve A ein Phäophytinspektrum zeigt, läßt Kurve B eine dem gegenüber schwächere Säurewirkung erkennen, die sich im Nachlassen der Aufhellung bei etwa

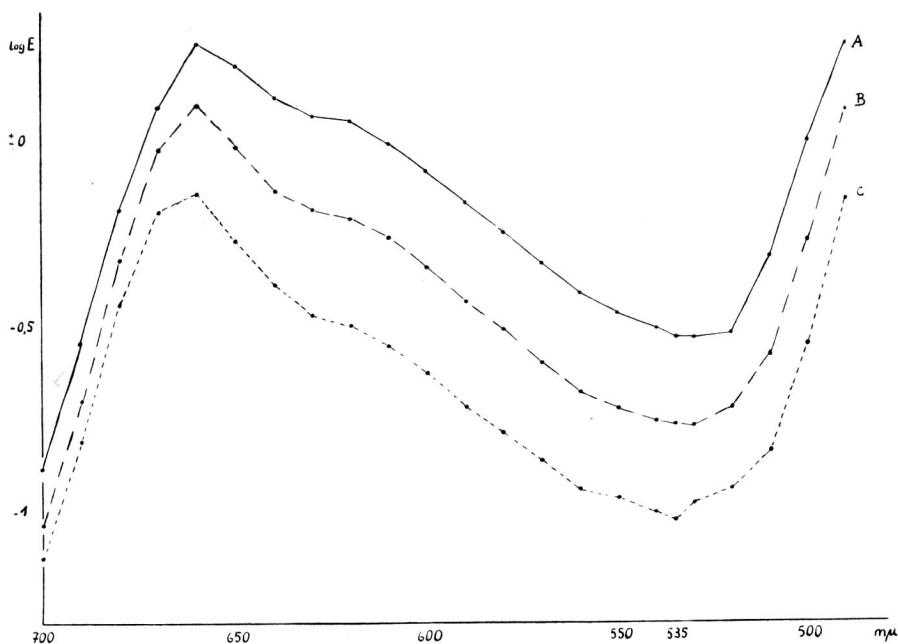


Abb. 9. Absorptionsspektren abgestufter Konzentrationen von Chlorophyllösungen.

$590\text{ }\mu\mu$ ausdrückt. Die Differenz der beiden Punkte 590 und $535\text{ }\mu\mu$ kann als Maß für den Grad der Säureschädigung herangezogen werden, indem die Größe der Differenz bei einer normalen Chlorophylllösung ein negatives Vorzeichen hat, während es bei einer Phäophytinbildung positiv ist. Je nach dem Anteil des Säurezusatzes wird der Wert der Differenz zwischen den beiden Extremen einer reinen Chlorophyll- und Phäophytinlösung liegen.

Wie durch M. STERN (32) in anschaulichen Versuchen gezeigt worden ist, ist eine Zugabe von Kreide beim Zerreiben des Blattes unerlässlich, da bei saurer pH-Reaktion des Pflanzenpreßsaftes die Möglichkeit einer Eigenphäophytinbildung besteht, die durch eine Kreidezugabe unterbunden wird (Neutralisation der Säure). Bei den folgenden Versuchen wurde ein Kreidezusatz fortgelassen, weil der pH-Wert des Zuckerrüben-Preßsaftes (um den

es sich bei den folgenden Versuchen handelt) nicht unter 7 liegt und somit eine Eigenphäophytinbildung nicht möglich ist, und eine wesentliche Abbildung des Fluors durch Calcium vermieden werden sollte.

Aus frischen Zuckerrübenblättern ist durch Zerreiben der Blattsubstanz im Mörser mit Methanol und Quarzsand ein Chlorophyllextrakt hergestellt und eine Versuchsreihe angesetzt worden, die aus folgenden Lösungen bestand: je 2 cm³ dieses Chlorophyllextraktes wurden jeweils mit 1 cm³ aqua dest., 1 cm³ $1/50$ n HF, 1 cm³ $1/100$ n HF, 1 cm³ $1/500$ n HF, 1 cm³ $1/1000$ n HF, 1 cm³ $1/5000$ n HF und 1 cm³ $1/10\,000$ n HF versetzt und sofort

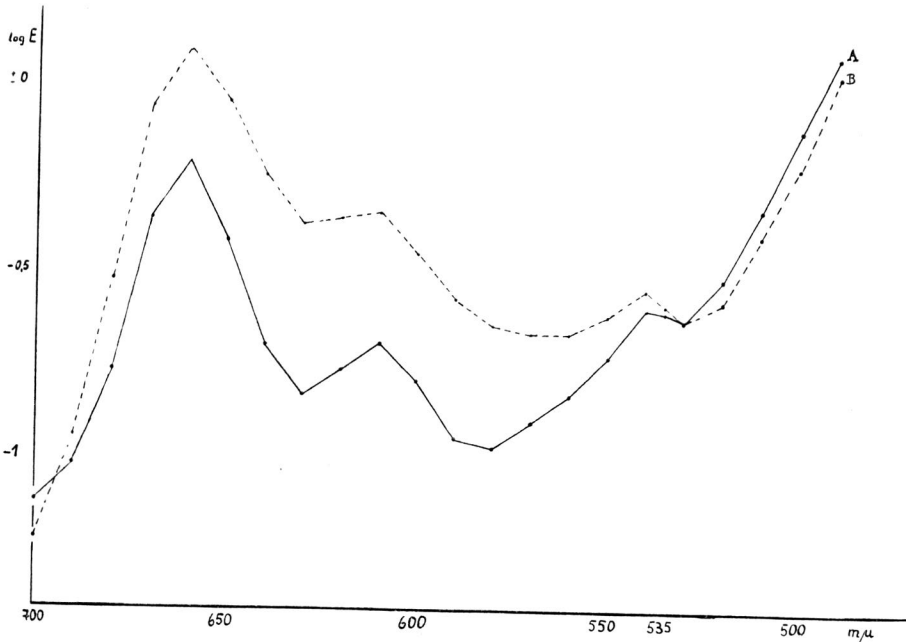


Abb. 10. Absorptionsspektren der Chlorophyllauszüge von zwei durch HF-Beräucherung geschädigten Zuckerrübenblättern:

A. Chlorophyllauszug aus schwer geschädigtem Blatt.

B. Chlorophyllauszug aus Blattmaterial, das nur einige verfärbte Flecke aufwies.

photometriert. Aus Abb. 11 sind die spektralanalytischen Ergebnisse ersichtlich. Der stärkste Säurezusatz von $1/50$ n HF zeigt die ausgeprägteste Säurekurve; genau gemäß der Reihenfolge der Konzentrationsabstufungen fällt der Säurecharakter des Absorptionsspektrums bis zur gleichlaufenden Normal-Chlorophyllkurve ab.

Um festzustellen, ob nach einer längeren Reaktionszeit die Säurewerte anwachsen, wurde eine zweite Versuchsreihe angesetzt, und zwar jeweils 3,5 cm³ Chlorophyllextrakt + 0,5 cm³ der jeweiligen HF-Lösung. Erst drei Stunden nach dem Ansetzen ist photometriert worden. Das Ergebnis ist aus Abb. 12 zu erschen. Obwohl die Konzentrationen niedriger sind als die der ersten Versuchsreihe, ist der Säurecharakter stärker ausgeprägt. 0,5 cm³ $1/1000$ n HF auf 3,5 cm³ Chlorophyllextrakt zeigt noch deutlich Abweichun-

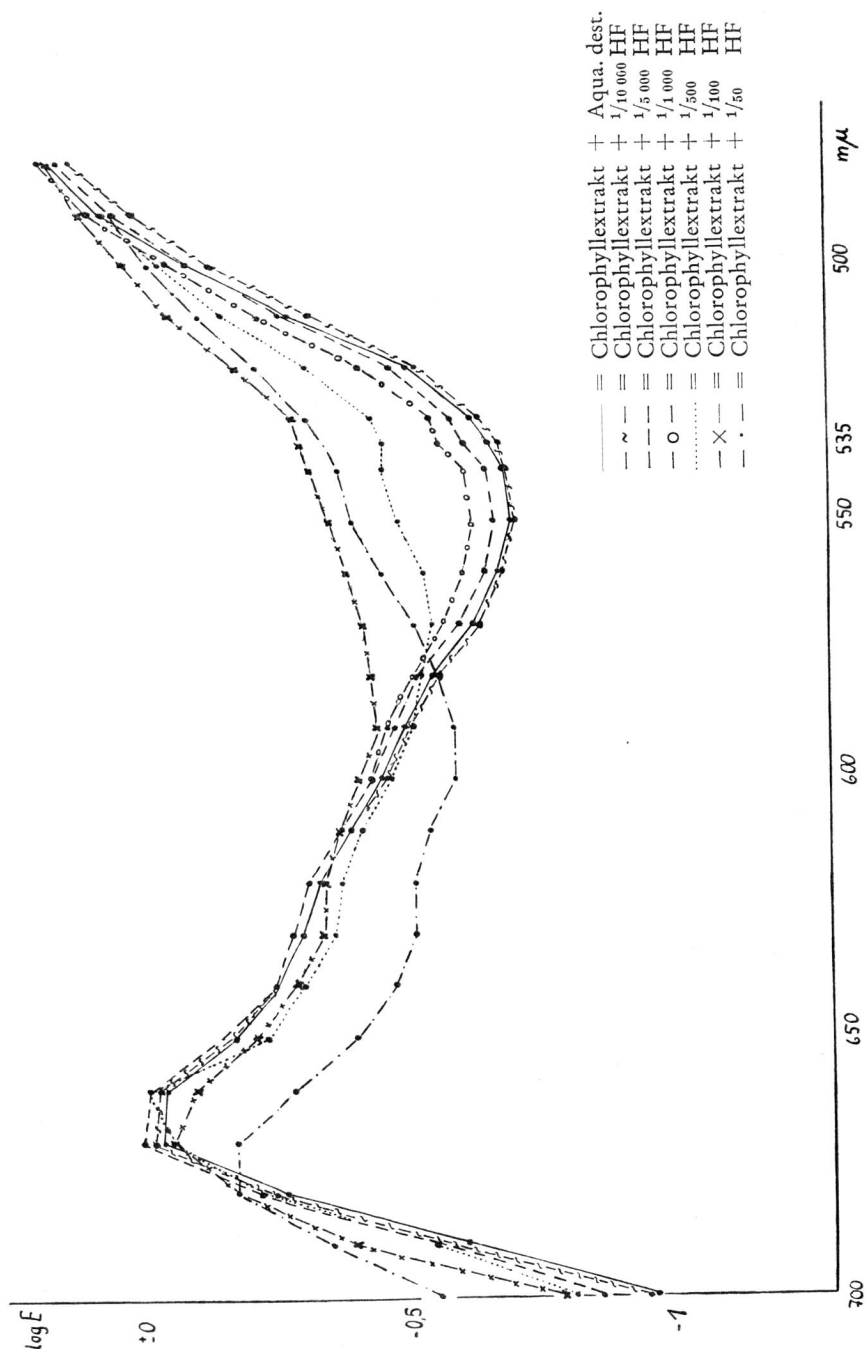


Abb. 11. Absorptionsspektren von Chlorophylllösungen, denen HF verschiedener Konzentration zugegeben worden ist. Die Absorptionsspektren wurden sofort nach dem Ansetzen der Lösungen photometriert.

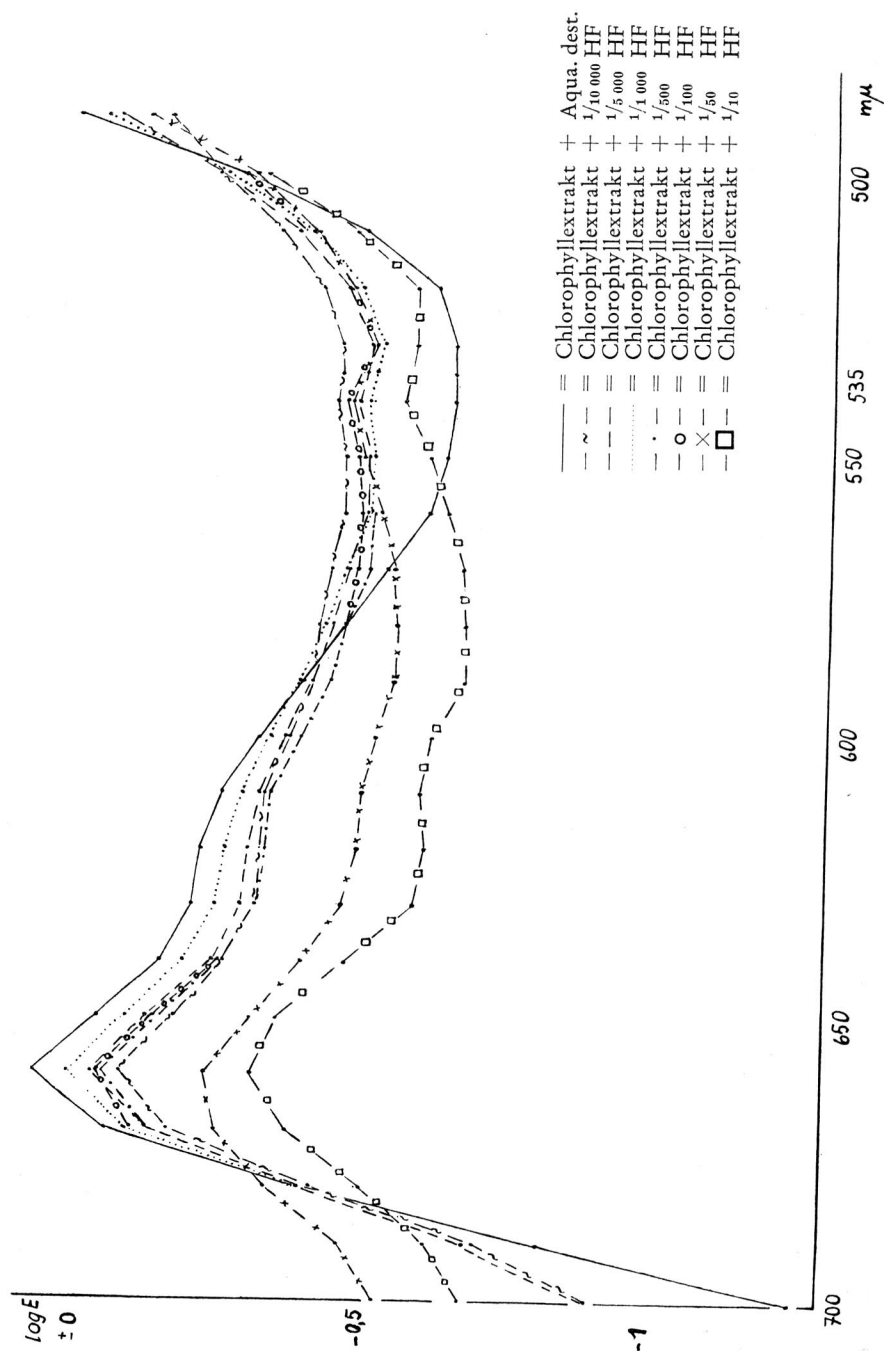


Abb. 12. Absorptionsspektren von Chlorophyllösungen, denen HF verschiedener Konzentration zugesetzt worden ist. Die Absorptionsspektren sind erst 3 Stunden nach dem Ansetzen der Lösungen photometriert worden.

gen vom normalen Chlorophyll, während das bei $1 \text{ cm}^3 \text{ } \frac{1}{1000} \text{ n HF}$ auf 2 cm^3 Chlorophylllösung beim sofortigen Photometrieren kaum noch zu erkennen ist.

Ein Zusatz von NaF zum Chlorophyllextrakt hatte keinerlei Einfluß auf das normale Chlorophyllspektrum.

Abschließend zu diesen Beobachtungen ist festzustellen: die HF-Einwirkung auf den Chlorophyllfarbstoff drückt sich in der allgemeinen Säurewirkung auf Chlorophyll aus, d. h. in einer typischen Phäophytinbildung, die stufenweise je nach Säurekonzentration und Chlorophyllmenge verläuft. Es kann also auf diese Weise nur die Wasserstoffionenwirkung festgestellt werden, nicht aber die des Fluors.

Sind jedoch Rauchschädigungen schon soweit fortgeschritten, daß die geschädigten Blatteile völlig trocken sind, bzw. daß Phäophytin abgebaut ist, so kann der Schädigungsgrad spektroskopisch nicht erfaßt werden. Die an dieser Stelle anzuführenden Absorptionsspektren derartig geschädigten Blattmaterials aus Fluoreinflußgebiet sind durch Brand vernichtet.

Versuche der spektroskopischen Diagnose fluorrauchgeschädigten Blattmaterials mit Hilfe von Methämoglobin

Fluorion liefert mit Methämoglobin eine charakteristische Bande (L. HEILMEYER 9, R. HEISE 24, J. VILLE et E. DERRIEN 39). Die Absorptionsbande einer neutralen Methämoglobinlösung liegt nach HEILMEYER bei $630 \mu\mu$, nach Hari bei $630 \mu\mu$ (dieser und folgende: siehe HEILMEYER S. 99), nach VLÉS bei $635 \mu\mu$ und nach QUAGLIARIELLO bei $631 \mu\mu$. Die Bande des Fluor-Methämoglobins hat HEILMEYER bei $606 \mu\mu$ bestimmt, N. ROST, Fr. FRANZ, R. HEISE (siehe Heilmeyer) bei $612 \mu\mu$. J. VILLE und E. DERRIEN wiesen so Fluor im Fleischextrakt nach; HEISE vergiftete Tiere mit Fluor und konnte das sich bildende Fluor-Methämoglobin deutlich in der photographischen Wiedergabe demonstrieren.

Es fragte sich nun, ob dieses Kriterium für einen Fluornachweis in der Blattsubstanz Anwendung finden kann. Dabei wurde zunächst versucht, einen Aufschluß der Blattsubstanz zu vermeiden, da er meist sehr schwierig ist und den Untersuchungsgang zeitlich stark verzögert.

180 Absorptionskurven, die an Hand zahlreicher Untersuchungen über die Brauchbarkeit des Fluormethämoglobins zur Blattanalyse aufgestellt waren, sind durch Brand vernichtet. Die Darstellung der Versuche und ihrer Ergebnisse kann deshalb nur auf Grund verbliebener Aufzeichnungen gegeben werden.

Methodisches: Das Methämoglobin wurde auf folgende Weise gewonnen. Frisches Pferdeblut ist durch kräftiges Schütteln in sterilisierten Flaschen mit Glaskugeln vor dem Gerinnen bewahrt und das Fibrin abgesondert worden. Danach wurde die Blutflüssigkeit durch Filtrieren durch Mull vom Fibrin getrennt und in hohen, mit isotoner NaCl-Lösung gefüllten Flaschen gewaschen, d. h. etwa 300 cm^3 Blutlösung sind in etwa drei Liter, im Eisschrank gekühlter, 1%iger NaCl-Lösung gegeben und wieder kaltgestellt worden, bis die Blutkörperchen sich am Boden gesetzt hatten. Dieser Prozeß wurde dreimal wiederholt, die Lösung dann von dem Blutkörperchenbrei getrennt und

mit $\frac{1}{3}$ Tuluol versetzt, kräftig durchgeschüttelt und wieder kaltgestellt. Unter wiederholtem Schütteln ließ man die Lösung 48 Stunden stehen. Dann waren drei Schichten erkennbar. Zu unterst der Erythrozytenbrei, dann Hämoglobinlösung und obenauf eine hellere Schicht Leucocyten. Ein kleiner Zusatz von Kaliumferricyanid genügt, um das gewonnene Oxyhämoglobin in Methämoglobin, das eine Zwischenstufe zwischen Oxyhämoglobin und Hämatin darstellt, überzuführen. Bei Einhaltung des pH-Wertes von 6,8, was man durch Zusatz von Sörrensen-Pufferlösung erreichte, wurde die charakteristische Bande im Orange bei $635 \mu\mu$, bei Zusatz von NaF-Lösung die charakteristische Bande bei $603 \mu\mu$ erhalten, die HEILMEYER für $606 \mu\mu$ und E. ROST, Fr. FRANZ, R. HEISE (24) für $612 \mu\mu$ bestimmten.

In mehreren Versuchsreihen, in denen zu einer bestimmten Anzahl cm^3 Methämoglobinlösung (mit Sörrensen-Pufferlösung) eine bestimmte Anzahl cm^3 verschieden prozentiger NaF-Lösung zugesetzt worden war, konnten Absorptionsspektren in zu erwartender Reihenfolge erzielt werden, d. h. von reinem Met-Hb-Spektrum verliefen die Kurven der einzelnen Fluor-Met-Hb-Lösungen über die einzelnen Zwischenstufen bis zum Fluor-Methämoglobin. Das bedeutet also ein Abflachen des Kurvenverlaufes bei $635 \mu\mu$ bei gleichzeitigem Anstieg bei $603 \mu\mu$ bis zur völligen Auslöschung des Met-Hb-Maximums bei $635 \mu\mu$ und dem allein verbleibenden Maximum bei $603 \mu\mu$. Rechnerisch ließ sich der jeweilige Anteil der zu untersuchenden Lösung durch das Verhältnis $603 \mu\mu$ zu $570 \mu\mu$ bestimmen. Die Werte waren nicht absolut, doch ließen sich die einzelnen Konzentrationen gut zwischen den beiden Extremen — reines Met-Hb und gesättigte Fluor-Met-Hb-Lösung — einordnen. Betrug der NaF-Gehalt der zu untersuchenden Lösung 0,02 %, so war der Wert des Verhältnisses größer als 1, bei einer Konzentration von 0,01 % NaF war der Wert kleiner als 1. Die zuverlässige Bestimmung eines Fluorwertes lag bei 0,01 % NaF.

Auf Grund dieser Feststellungen erhob sich nun die erste Forderung zu prüfen, ob das Met-Hb-Spektrum durch Fluor geschädigter Pflanzen in gleicher Weise verändert wird. Ein Zerreiben der Blattsubstanz im Mörser und Versetzen des Preßsaftes mit Met-Hb-Lösung hatte keinen Erfolg, genau so wenig ein Zerreiben verschieden großer Mengen hitze- oder luft-trockenen Blattmaterials.

Diese negativen Befunde führten zu der Folgerung, daß das Fluor in der Blattsubstanz entweder in wasserunlöslicher Form vorliegt, oder in so geringen Mengen, daß die Empfindlichkeit der Methode nicht groß genug ist. Auf jeden Fall ergaben die zuvor besprochenen Versuche, daß ein Aufschluß der Blattsubstanz unvermeidlich ist.

Der Aufschluß ist folgendermaßen durchgeführt worden: Die im Trockenschrank bei 105° getrocknete Blattsubstanz wurde im Porzellanmörser gepulvert, ein Gewichtsteil davon abgenommen und in ein aschfreies Seidenpapierbeutelchen gebracht, das auf einem Platinkörbchen (P) des Verbrennungskolbens (Abb. 13) angebracht wurde. Nachdem der Kolben mit Sauerstoff gefüllt und zur Sicherstellung des quantitativen Verlaufs der Oxydation noch 20 cm^3 Perchlorsäure zugegeben worden waren, wurde elektrisch gezündet, und die Verbrennung setzte ein. Nach etwa einer Stunde, wenn sich die Nebel an der Glaswand abgesetzt hatten, konnte der Kolben mit Hilfe des Abflußhahnes H geöffnet werden, und die im Kolben befindliche

Flüssigkeit floß in ein darunter stehendes 250 cm³ fassendes Becherglas. Das Platinkörbchen wurde herausgehoben und der darauf befindliche Ascherest vorsichtig mit destilliertem Wasser in das Becherglas gespült, so daß zum Schluß etwa 150 bis 200 cm³ Flüssigkeit im Becherglas enthalten waren. Dann ist bis auf ungefähr 50 cm³ eingedampft, filtriert und das Filtrat zur Trockne eingedampft worden. Der Rückstand wurde nun mit einer bestimmten Anzahl cm³ vorbereiteter Met-Hb-Lösung (Met-Hb mit Aqua dest. und Sörrensens-Pufferlösung im Verhältnis 1 : 1 verdünnt) aufgenommen und eine Stunde stehen gelassen. Darauf konnte in üblicher Weise spektralanalytisch gegen eine Vergleichslösung aus Met-Hb, Aqua dest. und Sörrensens-Pufferlösung gemessen werden.

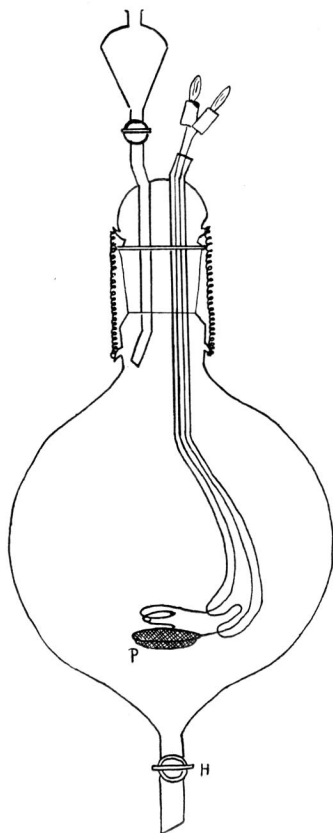


Abb. 13. Verbrennungskolben.

Im folgenden seien die Ergebnisse mitgeteilt. Kontrollversuche, die in jeder Versuchsreihe — parallel zu den sonstigen Untersuchungen fluor-geschädigter Blätter — untersucht wurden, ergaben stets das normale Met-Hb-Spektrum mit der charakteristischen Bande bei 635 $\mu\mu$. Zur Sicherheit, daß die Blutlösung auch einwandfrei war, legte man vor Beginn jeder Ver-

suchsreihe die Grund-Met-Hb-Lösung spektralanalytisch durch eine Absorptionskurve fest. So konnte also genau eine etwaige Veränderung des Spektrums durch die verschiedenen Zusätze vergleichend beobachtet werden. Wie schon zuvor erwähnt, bewirkte der eingedampfte Rückstand unbeschädigten Blattmaterials keinerlei Veränderung des normalen Met-Hb-Spektrums. Dagegen konnte eine typische Fluorbande bei $603\text{ }\mu\mu$ erzielt werden, wenn es sich um Blattmaterial handelte, das im Laboratorium durch Bräucherung mit 40%iger HF schwer geschädigt worden war. Bei Zugabe der Met-Hb-Pufferlösung zum eingedampften Rückstand trat erst ein Aufbrausen ein und die Lösung war schmutzig-gelb und trübe, doch ließ sie sich durch Filtrieren klären, und bei erneuter Met-Hb-Zugabe ließ das Spektrum deutlich die Bande bei $603\text{ }\mu\mu$ erkennen. Da aber die hierfür erforderliche Menge von 10 g Blattsubstanz 20 Verbrennungsgänge notwendig macht, weil im Verbrennungskolben nur jeweils 0,5 g Substanz verbrannt werden können, ist diese Methode unter den gegebenen Bedingungen außerordentlich langwierig, zumal das Verdampfen der einzelnen Lösungen bedeutende Zeit in Anspruch nimmt. In dieser Form kann daher das Verfahren für ständige Untersuchungen nicht verwandt werden.

Um dem Einwurf begegnen zu können, das Fluor habe möglicherweise den Pflanzen äußerlich angehaftet, sind Versuche mit ungewaschenen und durch mehrmaliges Waschen gereinigten Blättern durchgeführt worden. Das Ergebnis war in beiden Fällen das gleiche.

Zur Zeit, in der diese Versuche durchgeführt wurden (Sommer 1944), bestand nicht mehr die Möglichkeit, eine geeignete Apparatur anfertigen zu lassen, so daß die Frage nicht sicher bejaht werden kann, ob dieses Verfahren doch noch brauchbarer zu gestalten ist. Mit den zur Verfügung stehenden Mitteln war es nicht möglich, denn Pflanzenmaterial, das selbst in Fluoreinflußgebiet gesammelt worden war, und das ohne Zweifel schwer fluorgeschädigt war, ergab unter gleichen Versuchsbedingungen, wie zuvor angegeben, keine Abänderung des Met-Hb-Spektrums.

Nach Angaben von Herrn Dr. Krüger/Freiberg (Sachsen) betragen die Fluorwerte, die durch chemische Analyse in seinem Laboratorium in Blattproben aus dem Schadensgebiet, aus dem auch die Proben für die vorliegende Arbeit stammten, gefunden worden sind, im Höchstfall 0,09 % Fluor, so daß nach den Versuchen mit NaF-Zugabe zu Met-Hb-Lösung und der Empfindlichkeit der Fluorreaktion bis zu 0,01 % NaF mit einem positiven Ergebnis für die Proben aus der Industriegegend hätte gerechnet werden müssen. Die tatsächlich erhaltenen Ergebnisse lassen sich nur so deuten, daß im Analysengang ein Fluorverlust auftrat und die Empfindlichkeit der Methode nicht mehr ausreicht. So muß ein Weg gefunden werden, das Fluor bei der Verbrennung quantitativ durch Zugabe einer Na- bzw. Kaliumverbindung zu binden und damit etwaige HF-Bildung zu verhindern. Diese Aufgabe konnte indessen wegen Verlustes der Versuchsprotokolle und wegen der Zeitumstände (April 1945) nicht mehr weiter verfolgt werden.

Zusammenfassung

Für eine Fluorgiftwirkung auf grüne Pflanzen in der freien Natur sind folgende makroskopische Merkmale festgestellt worden: Braun- bis Schwarzfärbung der Blattspitzen und der damit häufig verbundenen Schrumpelung; ausgesprochene Blattrandverfärbung. Die Grenze zwischen geschädigtem und nicht geschädigtem Blatteil ist scharf und zeigt keine farblichen Übergänge. Oft sind die Blätter auffällig klein. Bei Pflaumen und Kirschen sind eigenartig nekrotisch verbildete Fruchtspitzen beobachtet worden.

Experimentelle Beräucherungen mit Fluorwasserstoff brachten gute Übereinstimmung zu den Beobachtungen in der freien Natur. Die Versuchspflanzen ließen deutlich die im ersten Abschnitt angeführten Merkmale erkennen.

Die verschiedene Empfindlichkeit der untersuchten grünen Pflanzenarten gegenüber Fluorwasserstoff-Einwirkungen ergab eine Resistenzreihe: Blätter vom Kirschbaum erwiesen sich am anfälligsten; es folgen Stachelbeeren, Johannisbeere, Flieder, Jasmin, die größte Unempfindlichkeit zeigte die Rüster.

Eine Unterstützung der Schadenswirkung im Versuch bei besonders hoher Luftfeuchtigkeit konnte nicht festgestellt werden.

Querschnitte durch Blattmaterial aus Fluoreinflußgebiet ergaben nachstehendes Bild: eine leicht gefaltete Epidermis, ein stark gefaltetes Parenchym mit „hantelförmigen“ Palisadenzellen. Der Zellinhalt war im Fall schwerer Schädigung einheitlich braun verfärbt, so daß er als homogene Masse erschien, die den Zellwänden aufgetrocknet war. Zwischen makroskopisch geschädigt erscheinendem und unmittelbar anschließendem, normal grünem Blatteil ließ sich mikroskopisch nur eine Verfärbung der Chloroplasten, die sich später auflösen, erkennen. Der Zellinhalt wird zu einer homogenen Masse, die erst olivgrün ist und sich dann braun färbt. Mit diesem Absterbeprozess verläuft gleichzeitig das Faltigwerden der Zellwände. Querschnitte durch herbstlich verfärbtes Blattmaterial wie auch durch nicht geschädigte, grüne Blätter zeigten, daß Fluoreinwirkung im Gegensatz dazu unnatürliche Gewebeveränderung bewirkt. Im Vergleich mit den anatomischen Befunden anderer Beobachter und mit mikroskopischen Beobachtungen an Blattmaterial, das durch verschiedene äußere Einflüsse geschädigt worden ist, hat sich ergeben, daß das anatomische Bild fluorgeschädigten Blattmaterials dem allgemeiner Säurewirkung auf grüne Pflanzen entspricht.

Mit Hilfe plasmolytischer Methoden wurde festgestellt, daß erst 0,03%ige NaF-Lösung *Fontinalis antipyretica* nicht mehr schädigt. Dagegen wirkt NaCl sehr viel weniger schädlich. In 0,2 %iger NaCl-Lösung wurde noch normales plasmolytisches Verhalten beobachtet. Auffallend war, daß bei der Schädigung der Zellen durch NaCl die Chloroplasten häufig in der Mitte zusammengeballt waren, während ähnliche Wirkung bei Versuchen mit NaF-Lösungen nicht festgestellt werden konnten. Die *Fontinalis antipyretica*-Endtriebe verloren in NaF-Lösung eher ihre grüne Farbe als in NaCl-Lösung.

Eine Beeinflussung des zeitlichen Ablaufes der Plasmolyse durch die Giftwirkung von NaF und NaCl auf *Fontinalis antipyretica* konnte nicht festgestellt werden.

Eine gewisse durch NaF hervorgerufene Schädigung der Pflanzenzelle, die im Abheben des Protoplasten von der Zellwand und schwacher Plasmolyse erkennbar war, konnte bei Überführung des Objektes in normale Bedingungen rückgängig gemacht werden; ein Beweis, daß die Giftwirkung des Fluors auf einer Anhäufung im Organismus beruht.

Fluorwasserstoff erwies sich als sehr viel schädlicher als NaF. *Elodea densa* wurde schon in einer 0,0008 %igen HF-Lösung geschädigt. Fluor stellt demnach in Verbindung mit Wasserstoff ein besonders wirksames Pflanzengift dar.

Eine besondere spektralphotometrische Arbeitsmethode wird erläutert. Chlorophyllauszüge aus geschädigtem Blattmaterial wiesen je nach dem Fluorwasserstoffgehalt eine mehr oder weniger starke Bande bei $535 \mu\mu$ auf. Es ließ sich auf diese Weise nur eine typische Säurewirkung bestimmen.

Ein Nachweis des Fluors in Pflanzenmaterial mit Hilfe der Methämoglobin-Methode wurde versucht. In reinen NaF-Lösungen konnte noch 0,01 % NaF einwandfrei nachgewiesen werden. Für einen Nachweis des Fluors im Pflanzenmaterial, ist der Aufschluß der Blattsubstanz unumgänglich. Die dafür ausgearbeitete Methode ist jedoch noch nicht empfindlich genug. Nur von schwer experimentell mit 40 %iger HF geschädigtem Blattmaterial konnte die Fluor-Met-Hb-Bande erzielt werden, Voraussetzung jedoch war die Veraschung der Substanz im Verbrennungskolben.

Tabelle 1

Name des Gewässers	Wasserstoffionenkonzentration	pH	Gesamthärte (deutsche Härtegrade)	Karbonathärte (deutsche Härtegrade)	Calcium (mg CaO pro l)	Magnesium (mg MgO pro l)	Freie Kohlensäure mg CO ₂ pro l	Gebundene und halbgebundene Kohlensäure je CO ₂ mg pro l	Kaliumpermanganatverbrauch	Eisen mg Fe ₂ O ₃ pro l	Chloride mg Cl pro l	Sulfate mg SO ₄ pro l	Phosphate mg P ₂ O ₅ pro l	Stickstoffverbindungen mg N ₂ O ₃ pro l mg N ₂ O ₅ pro l mg NH ₃ pro l + Nitrite nicht nachweisbar ± Nitrate nicht nachweisbar ++ NH ₃ nicht nachweisbar ++ Nitrate = 0 bei 2. Probe
Teufelssee bei Potsdam Juli 1926	6,3	1,7	1,0	17	3,5	9	35	0,3	14	2,5	1,0			+ N ₂ O ₅ = 0,1 NH ₃ = 0,08

Tabelle 2
 Ergebnisse der Plasmolyseversuche mit *Fontinalis antipyretica*.
 Endtriebe durch NaF geschädigt.
 (Versuche vom 5. Juni 1943)

Tag	End- triebe Nr.	0,5%			0,1%			0,05%			0,01%		0,007%	
		Kontrolle		Allgemeine Beobachtung	Pl.	Dpl.	Allgemeine Beobachtung	Pl.	Dpl.	Allgemeine Beobachtung	Pl.	Dpl.	Pl.	Dpl.
		Pl.	Dpl.											
1.	1	+	+	Pfl. schlaff Prtphn. stark- kontrahiert, Chln. normal aussehend.	—	—	Pfl. schlaff Prtphn. kontrahiert, Chln. normal, stellenweise zu einheitl. Masse verschmolzen	+	+	wie Kontrolle	+	+	+	+
	2	+	+		—	—		+	+		+	+	+	+
2.	1	+	+	"	—	—	"	—	—	Chln.-mosaik etwas locker. Im Blatt fast alle Prtphn. kontrahiert	+	+	+	+
	2	+	+	Endtriebe etwas fahlgrün	—	—	Endtriebe etwas fahl	+	+		+	+	+	+
3.	1	+	+	Chln. ausge- blichen, noch körnig	—	—	"	—	—	"	+	+	+	+
	2	+	+		—	—		+	+		+	+	+	+
4.	1	+	+	"	—	—	"	—	—	"	+	+	+	+
	2	+	+		—	—		+	+		+	+	+	+

6.	1	+	+	+	—	—	—	Endtriebe etwas fahl	—	—	—	Prtpln. alle kontr. Chln. teils in Um- rissen ver- schwommen wirkend	+	+	+	+
	2	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+
7.	1	+	+	+	—	—	—	Chln. teils zu einheitl. Masse verschmolzen	—	—	—	„	+	+	+	+
	2	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+
12.	1	+	+	+	—	—	—	Chln. teils in Umrissen ver- schwommen wirkend, entfärbt	—	—	—	„	+	+	+	+
	2	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	Endtriebe schwach gelblich	+	+	+	+
14.	1	+	+	+	—	—	—	„	—	—	—	„	+	+	+	+
	2	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+
17.	1	+	+	+	—	—	—	Chln. haben sich zum größten Teil aufgelöst.	—	—	—	Chln. haben sich zum größten Teil aufgelöst. Prtpln. wirken kriselig.	+	+	+	+
	2	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+
25.	1	+	+	+	—	—	—	Chln. glasig, noch deutlich körnig	—	—	—	„	+	+	+	+
	2	+	+	+	—	—	—	Protopl. kriselig, zusammen geklumpt.	—	—	—	Alle Chln. in Auflösung begriffen, Veralg.	+	+	+	+

Abkürzungen: Chln. = Chloroplasten, Dpl. = Deplasmolyse, kontr. = kontrahiert, Pl. = Plasmolyse, Pfl. = Pflanze, Prtpl. = Protoplasma, Prtpln. = Protoplasten.
 Zeichenerklärungen: + = positiver Plasmolyse- bzw. Deplasmolyseverlauf, — = keine Plasmolyse oder Deplasmolyse mehr möglich.

Ergebnisse der Plasmolyseversuche mit *Fontinalis antipyretica*.
Endtriebe durch NaCl geschädigt.
(Versuche vom 5. Juni 1943)

Tag	End- triebe Nr.	1%		0,7%		0,5%		0,3%		0,1%	
		Kon- trolle	Allgemeine Beobachtung	Pl.	Dpl.	Allgemeine Beobachtung	Pl.	Dpl.	Allgemeine Beobachtung		Pl.
1.	1	+	Chln. mosaik locker, Prt- pln. teilweise leicht kontr.	+	Chln. mosaik etwas lockerer als normal.	+	Pl. u. Dpl. fast völlig normal.	+	Chln. liegen zusammenge- ballt im Plasma. Pl. u. Dpl. normal.	+	+
	2	+		+		+		+		+	+
2.	1	+	Endtriebe nor- mal grün. In Zellen, in denen Prtpln. kontr. Pl. u. Dpl. -	+	Chln. mosaik etwas lockerer als normal.	+	Chln. liegen zusammenge- ballt im Prtpl. Pl. u. Dpl. normal.	+	Chln. teils zus.- geballt teils Prtln. kontr. Dementsprechd. Pl. u. Dpl. + u.-	+	+
	2	+		+		+		+		+	+
3.	1	+	Nur noch wenig Zellen in denen Pl. u. Dpl. +	+	Chln. mosaik etwas trockener als normal.	+	Chln. liegen zusammenge- ballt in Prtpl. Pl. u. Dpl. normal.	+	Im Aussehen nicht so frisch wie Kontrolle	+	+
	2	+		+		+		+		+	+
4.	1	+	Nur noch wenig Zellen in denen Pl. u. Dpl. +	+	Chln. mosaik locker.	+	Im 1. Blatt Prtln. teilweise kontrahiert.	+	Nur noch in wenig. Zellen Plasmolyse	+	+
	2	+		+		+		+		+	+
6.	1	+	Pfl. zart grün. Prtpln. kontr. Chln. deutlich grün.	+	Prtpln. zum großen Teil kontr. In wenigen Zellen	+	Pfln. sehen zart grün aus. Im 1. Blatt fast nur kontr. Prtpln. Im and. Chln. = mosaik locker.	+	Nur noch in wenigen Zellen Plasmolyse	+	+
	2	+		+		+		+		+	+

7.	1	+	+	+	—	Pfln. schlaff sonst wie vor	—	—	—	Prtpln. zum großen Teil kontr. In wenigen Zellen Chln. mosaik locker dort Pl. u. Dpl. -	— + — +	— + — +	Pfl. schwach grün. Nur in wenigen Zellen Dpl. -	— + — +	— + — +	Nur noch in wenigen Zellen Plasmolyse	+	+
	2	+	+	+	—		—	—	—		— + — +	— + — +		— + — +	— + — +		+	+
12.	1	+	+	+	—	Chln. noch normal er- scheinend.	—	—	—	Prtpln. zum großen Teil kontr. In wenigen Zellen Chln. mosaik locker dort Pl. u. Dpl. -	— + — +	— + — +	Pfl. schwach grün. Nur in wenigen Zellen Dpl.	— + — +	— + — +	Endtriebe noch schwach grün. In ganz wenig. Zellen Dpl.	+	+
	2	+	+	+	—		—	—	—		— + — +	— + — +		— + — +	— + — +		+	+
14.	1	+	+	+	—	Chln. noch normal er- scheinend.	—	—	—	Prtpln. zum großen Teil kontr. In wenigen Zellen Chln. mosaik locker dort Pl. u. Dpl. -	— + — +	— + — +	In wenigen Zellen Chln. zus.-geballt dort Pl. u. Dpl. -	— + — +	— + — +	In kontr. Prtpln. ziem- lich undeutlich	+	+
	2	+	+	+	—		—	—	—		— + — +	— + — +		— + — +	— + — +		+	+
17.	1	+	+	+	—	Chln. noch leicht grün, in Umrissen etwas verschwommen	—	—	—	„	— + — +	— + — +	Chln. in Mitte der Zellen normal körnig, grün. Plasma kriselig.	— + — +	— + — +	Chln. teils leicht ver- schwommen wirkend. Prtpln. kontr.	+	+
	2	+	+	+	—		—	—	—		— + — +	— + — +		— + — +	— + — +		+	+
25.	1	+	+	+	—	Endtriebe noch leicht farbig. Chln. deutlich	—	—	—	Chln. teils noch farbig körnig, teils sich auflösend.	— + — +	— + — +	Chln. in Mitte der Zellen körnig, grün. Plasma kriselig, zusammen- geklumpt.	— + — +	— + — +	Chln. teils noch körnig Endtrieb leicht farbig. Veralgt.	+	+
	2	+	+	+	—		—	—	—		— + — +	— + — +		— + — +	— + — +		+	+

Tabelle 4
 Ergebnisse der Plasmolyseversuche mit *Fontinalis antipyretica*.
 Endtriebe durch NaF geschädigt.
 (Versuche vom 31. Mai 1943)

Tag	End- triebe Nr.	Kontrolle			0,5%			0,1%			0,05%			0,01%	0,007%	0,005%
		Pl.	Dpl.		Pl.	Dpl.	Allgemeine Beobachtung	Pl.	Dpl.	Allgemeine Beobachtung	Pl.	Dpl.	Allgemeine Beobachtung	Pl. u. Dpl.	Pl. u. Dpl.	Pl. u. Dpl.
1.	1	+	+		—	—	Pfln. schlaff Prtpln. kontr. Chln. normal	—	—	Prtpln. kontr., wie bei 0,5%	+	+	Chln. in ge- lockertem Mosaik	+	+	+
	2	+	+		—	—		—	—		+	+		+	+	+
2.	1	+	+		—	—	Pfln. schlaff Prtpln. kontr. Chln. normal	—	—	Prtpln. kontr., wie bei 0,5%	—	—	Prtpln. kontrahiert	+	+	+
	2	+	+		—	—		—	—		—	—		+	+	+
4.	1	+	+		—	—	Farbe des End- triebes gelblich	—	—	Pfln. schlaff, gelb-grün, wie in 0,5% NaF	—	—	Prtpln. kontrahiert	+	+	+
	2	+	+		—	—	Chln. nicht mehr normal grün	—	—		—	—		+	+	+
5.	1	+	+		—	—	Chln. fast farblos	—	—	Pfln. schlaff, gelb-grün, wie in 0,5% NaF	—	—	Prtpln. kontrahiert	+	+	+
	2	+	+		—	—		—	—		—	—		+	+	+
7.	1	+	+		—	—	Chln. fast farblos	—	—	Endtriebe nur noch schwach gefärbt	—	—	Chln. noch leicht gefärbt	+	+	+
	2	+	+		—	—		—	—		—	—		+	+	+

13.	1	+	+	—	—	Chln. fast farblos	—	—	Endtriebe völlig ausgebleicht. Chln. farblos kleiner als normal	—	—	Chln. noch leicht gefärbt	+	+
	2	+	+	—	—	Chln. fast farblos	—	—	Endtriebe völlig ausgebleicht. Chln. farblos kleiner als normal	—	—	Chln. noch leicht gefärbt	+	+
16.	1	+	+	—	—	Chln. entfärbt, in einem Blatt aufgelöst	—	—	Endbetriebe völlig ausgebleicht. Chln. farblos kleiner als normal	—	—	Chln. entfärbt	+	+
	2	+	+	—	—	Chln. entfärbt, in einem Blatt aufgelöst	—	—	Endbetriebe völlig ausgebleicht. Chln. farblos kleiner als normal	—	—	Chln. entfärbt	+	+
19.	1	+	+	—	—	Die noch vorhandenen Chln. deutlich in normaler Form	—	—	Chln. fast völlig aufgelöst	—	—	Chln. entfärbt und fast völlig aufgelöst	+	+
	2	+	+	—	—	Die noch vorhandenen Chln. deutlich in normaler Form	—	—	Chln. fast völlig aufgelöst	—	—	Chln. entfärbt und fast völlig aufgelöst	+	+
22.	1	+	+	—	—	Die noch vorhandenen Chln. deutlich in normaler Form	—	—	Chln. fast völlig aufgelöst	—	—	Chln. entfärbt und fast völlig aufgelöst	+	+
	2	+	+	—	—	Die noch vorhandenen Chln. deutlich in normaler Form	—	—	Chln. fast völlig aufgelöst	—	—	Chln. entfärbt und fast völlig aufgelöst	+	+
24.	1	+	+	—	—	Die noch vorhandenen Chln. deutlich in normaler Form	—	—	Chln. fast völlig aufgelöst	—	—	Noch vorhandene Chln. klein körnig, undeutlich, farblos	+	+
	2	+	+	—	—	Die noch vorhandenen Chln. deutlich in normaler Form	—	—	Chln. fast völlig aufgelöst	—	—	Noch vorhandene Chln. klein körnig, undeutlich, farblos	+	+
30.	1	+	+	—	—	Chln. noch deutlich, wie aus Glas	—	—	Chln. fast völlig aufgelöst	—	—	Chln. nur noch wie kleine Punkte. Veralgt	+	+

Tabelle 5
 Ergebnisse der Plasmolyseversuche mit *Fontinalis antipyretica*.
 Endtriebe durch NaCl geschädigt.
 (Versuche vom 31. Mai 1943)

Tag	End- triebe Nr.	Kon- trolle		1%		0,7%		0,5%		0,3%			
		Pl.	Dpl.	Allgemeine Beobachtung	Pl.	Dpl.	Allgemeine Beobachtung	Pl.	Dpl.	Allgemeine Beobachtung			
1.	1	+	+	Endtriebe schlaff u. fahl grün	—	—	Chln. im Plasma zusam- mengeballt	+	+	Im Teil der Zellen Chln. zus. geballt	+	+	Plasmoxysevor- gang etwas träge
	2	+	+		—	—		+	+		+	+	
2.	1	+	+	Endtriebe werden schlaff u. fahl grün	—	—	Chln. im Plasma zusam- mengeballt	+	+	Chln. alle zus.- geballt	+	+	Im Teil der Zellen sind Chln. zus.- geballt
	2	+	+		—	—		+	+		+	+	
4.	1	+	+	Endtriebe werden schlaff u. fahl grün	—	—	Chln. im Plasma zusam- mengeballt	—	+	Nur noch in wenigen Zellen Pl. u. Dpl.	+	+	Prtpln. zum Teil kontr. Pl. u. Dpl. nur in wenigen Zellen
	2	+	+		—	—		—	+		+	+	
7.	1	+	+	Endtriebe werden schlaff u. fahl grün	—	—	Chln. im Plasma zusam- mengeballt	—	—	Nur noch in wenigen Zellen Pl. u. Dpl.	+	+	Prtpln. stark kontrahiert
	2	+	+		—	—		—	—		+	+	
13.	1	+	+	Endtriebe werden schlaff u. fahl grün	—	—	Chln. im Plasma zusam- mengeballt	—	—	Pfln. noch schwach grün Chln. zus.ge- klumpt, doch klar körnig	—	—	Prtpln. stark kontrahiert

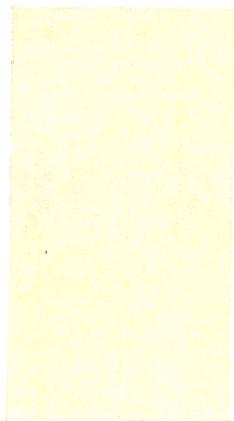
16.	1	+	+	—	—	—	Chln. im Plasma zusammengeballt	—	—	Chln. noch körnig	—	—	Chln. zum größten Teil noch körnig
	2	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19.	1	+	+	—	—	—	Chln. noch normal rhombenförmig, entfärbt	—	—	Chln. beginnen sich aufzulösen	—	—	Chln. teils aufgelöst
	2	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22.	1	+	+	—	—	—	Chln. beginnen sich aufzulösen	—	—	Teilweise Zellen leer erscheinend	—	—	Prtphn. kontr. u. kriselig erscheinend. Zellen zum Teil leer an Chln.
	2	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24.	1	+	+	—	—	—	Chln. beginnen sich aufzulösen	—	—	Chln. zum größten Teil aufgelöst	—	—	Prtphn. kontr. u. kriselig erscheinend. Zellen zum Teil leer an Chln.
	2	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30.	1	+	+	—	—	—	Chln. beginnen sich aufzulösen	—	—	Vorhandene Chln. noch leicht gelblich	—	—	Chln. sich auflösend
	2	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Literaturverzeichnis

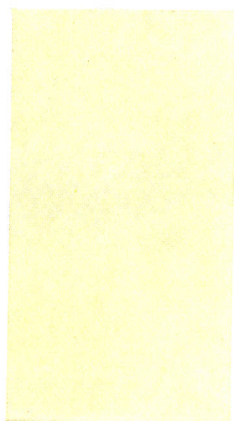
1. ANDRÉ, A.: Untersuchungen über die Einwirkung von schwefliger Säure auf Blattzellen. Inaugural-Dissertation. Rhein. Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn 1934.
2. BREDEMANN, G., Biochemie und Physiologie des Fluors und der industriellen Fluor-Rauchschäden. Akademie Vlg., Berlin 1951.
3. MCCABE, LOUIS C.: Air Pollution. Proceedings of the United States. Technical Conference on Air Pollution. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, London 1952.
4. DETER, M.: Manuskript: Über die Giftwirkung von Chlorsulfonsäure und Schwefeltrioxyd auf chlorophyllführende Pflanzen.
5. DÖRRIS, W.: Über die Brauchbarkeit der spektroskopischen Phäophytinprobe in der Rauchschadendiagnostik. Z. f. Pflanzenkrankh. (Pflanzenpathologie) u. Pflanzenschutz, Bd. 42, H. 6, Jg. 1932.
6. — —: Über ein Laubblattspektroskop. Ber. d. Dtsch. Bot. Ges., Bd. L, H. 2, Jg. 1932.
7. HASELHOFF, E., BREDEMANN, G., HASELHOFF, W.: Entstehung, Erkennung und Beurteilung von Rauchschäden. Gebr. Borntraeger, Berlin 1932.
8. — — und LINDAU, G.: Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Verlag Gebr. Borntraeger, Leipzig 1903.
9. HEILMEYER, L.: Medizinische Spektrophotometrie. Verlag G. Fischer, Jena 1933.
10. HÖLL, K.: Ökologie der Peridineen. Pflanzenforschung 1928.
11. KOSTYTSCHEW, S.: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, Bd. 1. Berlin 1926.
12. KOTTE, W.: Rauchschäden an Steinobst-Früchten. Nachrichtenbl. f. d. Dtsch. Pflanzenschutzdienst, Jg. 9, Nr. 11, 1929.
13. NEGER, F. W.: Über eine merkwürdige Schädigung des Obstes (Apfel) durch saure Rauchgase. Z. f. Obst- u. Gartenbau 45, 1919.
14. NOACK, K.: Photochemische Wirkung des Chlorophylls und ihre Bedeutung für die Kohlensäureassimilation. Z. f. Bot., Bd. 17, 1925.
15. — —: Modellversuche zur Frage der Eisenbeteiligung an der Kohlensäureassimilation der grünen Pflanzen. Biochem. Z. 183, 1927.
16. — —: Über das Chloroplasteneisen. Z. f. Bot., Bd. 23, 1930.
17. — —: Chemie und Physiologie in ihrer Auswirkung auf den Pflanzenbau. Angew. Chemie, 49. Jg., Nr. 38, 1936.
18. OLIVER, F. W.: On the effect of urban fag upon cultivated plants. (With the assistance of Prof. F. F. WEISS and Miss M. F. EWART.) J. of the Royal Hort. Soc. 1893, Bd. XVI, Part. I. (Zit. in 3).
19. RECKENDORFER, P.: Die Bestimmung von Fluor in rauchgeschädigten Pflanzen. Pflanzenschutzberichte 6, Wien 1951.
20. — —: Ein Beitrag zur Mikrochemie des Rauchschadens durch Fluor. Die Wanderung des Fluors im pflanzlichen Gewebe. I. Teil: Die unsichtbaren Schäden. Pflanzenschutzberichte 9, Wien 1952.
21. — —: Ein Beitrag zur Mikrochemie des Rauchschadens durch Fluor. Die Wanderung des Fluors im pflanzlichen Gewebe. II. Teil: Die sichtbaren Schäden. Pflanzenschutzberichte 10, Wien 1953.

22. REINHOLD, F., WALDMANN, H., BALKS, R.: Methodenbuch Bd. XVI, Verwertung der Abwässer und die Untersuchung von Rauchschäden. Neumann Vlg., Radebeul u. Berlin 1953.
23. RÖBEN, M. und STERN, M.: Phäophytinbildung in Blattorganen nach Temperatureinwirkungen. Kleine Mitteilungen, Jg. 11, Nr. 1/4, 1935.
24. ROST, C., FRANZ, FR., HEISE, R.: Beiträge zur Photographie der Blutspektren unter Berücksichtigung der Toxikologie der Ameisensäure. Arb. a. d. Kaiserl. Gesundheitsamt, Bd. 22, Berlin 1909.
25. SCHINDLER, H.: Tötungsart und Absterbebild. I. Der Alkalitod der Pflanzenzelle. Protoplasma, Bd. 30, 1938. — II. Säuretod der Pflanzenzelle. Protoplasma, Bd. 30, 1938.
26. v. SCHROEDER, J. und REUSS, C.: Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Verlag Paul Parey, Berlin 1883.
27. SORAUER, P. und RAMANN, E.: Sogenannte unsichtbare Rauchbeschädigungen. Bot. Centralbl. 80, 1899.
28. — —: Analyse rauchbeschädigter Pflanzen. Landw. Jb. 33, 1904.
29. — —: Die mikroskopische Analyse rauchbeschädigter Pflanzen. Sammlung von Abhandlungen über Abgase u. Rauchschäden, H. 7, 1911.
30. STERN, M.: Phäophytinbildung in Blattorganen nach Temperatureinwirkungen. Kleine Mitteilungen, Jg. 14, Nr. 1/3, 1938.
31. — —: Phäophytinbefunde und pH-Werte in Blattextrakten. Kleine Mitteilungen, Jg. 15, Nr. 10/12, 1939.
32. — —: Phäophytinbefunde und pH-Werte in Blattextrakten: pH-Werte alkoholischer Blattextrakte. Kleine Mitteilungen, Jg. 17, Nr. 10/12, 1941.
33. STOKLASA, J.: Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. Abt. II: Chemische, physikalische und physikalisch-chemische Methoden zur Untersuchung des Bodens und der Pflanze. Teil 3, H. 6, 1927.
34. — —: Die Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und Fabrikexhalationen. Urban & Schwarzenberg, Berlin u. Wien 1923.
35. TEMPEL, W.: Flußsäureschäden an Kirschfrüchten. Kranke Pflanze, Bd. 6, 1929.
36. THÜMLER, R.: Einige Beiträge zur physiologischen Analyse der Rauchschäden Protoplasma, Bd. 36, 1942.
37. TIEGS, E.: SORAUERS Handbuch der Pflanzenkrankheiten. Sonderdruck Bd. 1, 1934.
38. — —: Über den spektralphotometrischen Phäophytinnachweis in Chlorophyll-extrakten. Kleine Mitteilungen, Jg. 15, Nr. 10/12, 1939.
39. VILLE, J. et DERRIEN, E.: Nouveau procédé du fluor dans les substances alimentaires. Bulletin de société chimique de Paris, 3. série, 35, 1906.
40. WIELER, A.: Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen. Verlag Gebr. Borntraeger, Berlin 1905.
41. WILLSTÄTTER, R. und STOLL, A.: Untersuchungen über Chlorophyll. Methoden und Ergebnisse. Verlag Julius Springer, Berlin 1913.
42. WISLICENUS, H.: Sammlung von Abhandlungen über Abgase und Rauchschäden. Experimentelle Rauchschäden, H. 10, 1914.
43. ZINKERNAGEL, H.: Abbildungen mit Text in: SORAUERS Handbuch der Pflanzenkrankheiten. Sonderdruck 1. Bd., 1934.

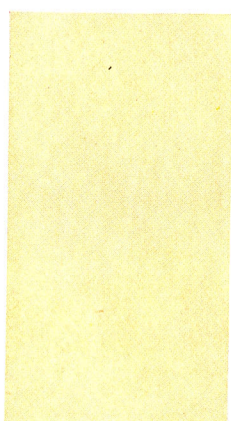
1



2



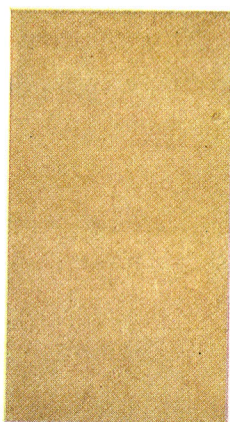
3



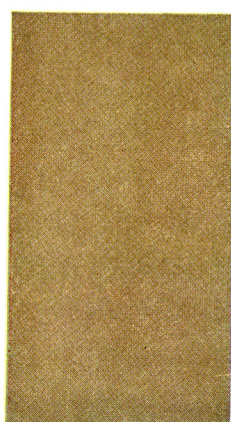
4



5



6



7



8



Die Tafel bringt einen aus acht Werten bestehenden Farbmaßstab, mit welchem die 24 Stunden der Luft ausgesetzten Bleiacetatpapierstreifen verglichen werden. Je nach dem Grad der Luftverunreinigung (Schwefelwasserstoffkonzentration) erhält man ein braunstichiges Weiß (Wert 1), ein Gelbbraun (Wert 4), ein sattes Sepiabraun (Wert 6) oder ein tiefdunkles Schwarzbraun (Wert 8).

Die Farbmaßstäbe können vom Bundesgesundheitsamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem, Corrensplatz 1, bezogen werden.

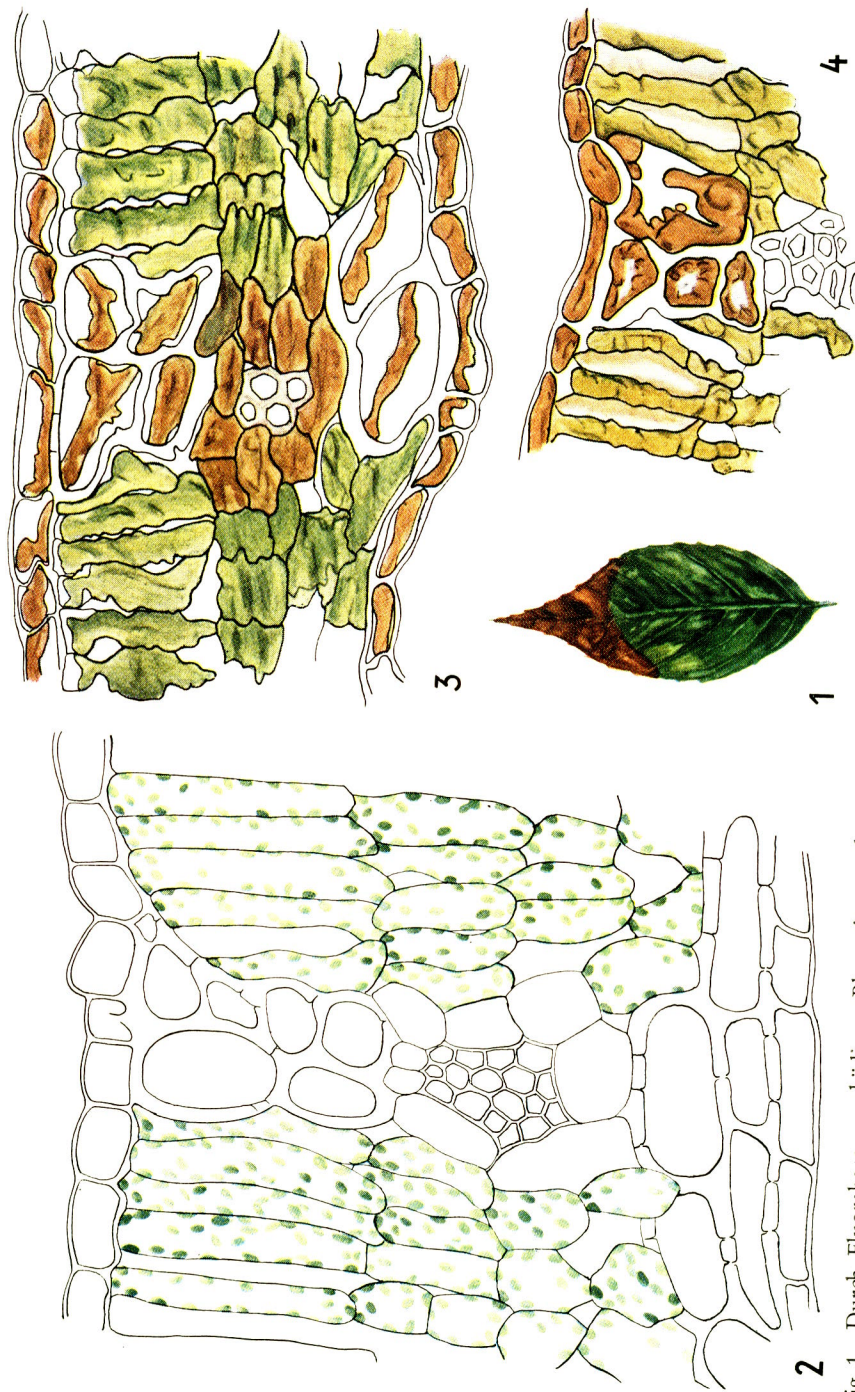


Fig. 1. Durch Fluorabgase geschädigtes Blatt einer Esche. Fig. 2. Querschnittsausschnitt von dem normal grün erscheinenden Teil des Eschenblattes. Fig. 3. Querschnittsausschnitt von der schwarz-braunen Schadenstelle kurz vor der Übergangszone in den normal erscheinenden Blatteil. Fig. 4. Querschnittsausschnitt von der äußersten Blattspitze des Eschenblattes.

