

Aus der Abteilung Allgemeine und Kommunale Hygiene
der Medizinischen Akademie Magdeburg
(Direktor: Doz. Dr. med. G. Schuschke)

Die Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen

Von
Ulrich Mielke
(Eingegangen am 18. Juli 1975)

Teil 1. Planzenschäden

Das Gesetz über die planmäßige Gestaltung der sozialistischen Landeskultur in der DDR – Landeskulturgesetz – vom 14. Mai 1970 (GBl I, S. 67 ff.) mit seinen Durchführungsbestimmungen umfaßt neben dem Naturschutz, der Gestaltung und Pflege der Landschaft, der Nutzung und dem Schutz der Wälder und Gewässer, der Nutzbarmachung und schadlosen Beseitigung der Abprodukte, dem Schutz vor Lärm auch die Reinhaltung der Luft. Durch Einhaltung der in der 5. DVO zum Landeskulturgesetz – Reinhaltung der Luft – vom 17. 1. 1973 festgelegten Grenzwerte wird die Gesundheit der Bürger geschützt, und ihre Arbeits- und Lebensbedingungen werden verbessert. Spezifische Grenzwerte für Pflanzen sind in der 5. DVO nicht angegeben.

Nach Wentzel (1966) befinden sich aber mit den Epiphyten die empfindlichsten Organismen im Hinblick auf die Einwirkung von Luftverunreinigungen unter den Pflanzen.

Im folgenden soll die Wirkung von Luftverunreinigungen auf die Pflanzenwelt dargestellt werden, wobei die Möglichkeit zu prüfen ist, ob von seiten des Naturschutzbeauftragten und des Naturschutzhelfers praktikable, einfache Methoden, die die Anwendung von pflanzlichen Testorganismen beinhalten, zum Nachweis von Luftverunreinigungen eingesetzt werden können.

Dieser Vortestung könnten sich dann auf Anforderung gezielte chemische Messungen anschließen.

Luftverunreinigungen

Nach Horn (1964) liegen unter den Luftverunreinigungen vor:

1. in fester Phase: Staub, Ruß, nichtverbrannte Kohleteilchen;
2. in gasförmiger Phase: Schwefeldioxid, Schwefelwasserstoff, Schwefelkohlenstoff, Kohlenmonoxid, Stickoxide, Chlor, Fluor u. a.;
3. in flüssiger oder dampfförmiger Phase: Schwefelsäure, Teersubstanzen.

Nach Wentzel (1968) besitzen in Europa im Hinblick auf die Verursachung von Schäden an der Vegetation SO_2 , HF und Stäube vorrangige Bedeutung, während Chlor, Stickstoffverbindungen, Blei, Teer u. a. m. von lokaler Bedeutung sind.

Staub und Schwefelverbindungen sind als Luftverunreinigung überall anzutreffen. Stäube entstehen besonders in den Städten durch die Hausfeuerung, aber auch bei vielen Industrieprozessen werden Staubmengen in die Atmosphäre abgegeben (z. B. Zementindustrie). Schwefeldioxid bildet sich bei allen Feuerungsprozessen. Eine besonders starke SO_2 -Abgabe erfolgt durch Eisenerzröstereien. Durch diese großflächige Verbreitung des SO_2 entstehen auch die meisten Pflanzenschäden.

Fluoremissionen, die nur lokal eine Bedeutung besitzen, werden vor allem durch die Stahlindustrie (z. B. Gießereien), durch die chemische Industrie (Düngemittelproduktion) und durch die Tätigkeit der keramischen Industrie (Ziegeleien) abgegeben. Aber auch durch den Hausbrand bildet sich eine Grundbelastung.

Die Luftverunreinigungen, die von den Verunreinigungsquellen aus den Schornsteinen ausgestoßen werden, bezeichnet man als Emissionen. Die im Lebensraum des Menschen ankommende Verunreinigung wird Immission genannt. Die Umwandlung der Emission in die Immission erfolgt unter dem Einfluß meteorologischer Faktoren, wobei besonders Richtung und Geschwindigkeit der Luftströmungen für die Durchmischung der Atmosphäre bedeutungsvoll sind. Auch Temperaturunterschiede zwischen Erdoberfläche und den darüberliegenden Luftschichten beeinflussen die Durchmischung (Turbulenz) der Atmosphäre sehr stark.

Der in bezug auf die Konzentrationen von Luftverunreinigungen in dieser Arbeit verwendete Begriff ppm (parts per million) bedeutet den millionsten Teil von Volumenteilen der Luftverunreinigungen in einem definierten Luftvolumen. Die Umrechnung in Gewichtsangaben ist von der relativen Molekülmasse des jeweiligen Schadstoffes abhängig, beispielsweise ist $1 \text{ ppm CO} = 1,16 \text{ mg CO/m}^3$.

In der schon erwähnten 5. Durchführungsverordnung zum Landeskulturgesetz – Reinhaltung der Luft – werden die Grundsätze für diesen Bereich des Umweltschutzes formuliert. Die Leitung und Planung der Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft, das Kontroll- und Überwachungssystem, die materielle Verantwortlichkeit und Disziplinarmaßnahmen sind weitere wichtige Abschnitte dieses Gesetzes. Die Organe der Hygieneinspektion sind danach verpflichtet, die Immissions- und Emissionskontrolle auszuüben. In der 1. DB zur 5. DVO zum Landeskulturgesetz (Reinhaltung der Luft) – Begrenzung und Überwachung der Immissionen und Emissionen (Luftverunreinigungen) – werden Immissionsgrenzwerte festgelegt. Man bezeichnet sie als MIK-Werte (Maximale Immissionskonzentration). Zwei MIK-Werte werden unterschieden: 1. Kurzzeitgrenzwerte (MIK_K) und 2. Dauergrenzwerte (MIK_D). Die Kurzzeitgrenzwerte begrenzen kurzzeitig auftretende Spitzenkonzentrationen luftverunreinigender Stoffe für Bezugszeiträume von 10 bis 30 Minuten. Die Dauergrenzwerte (MIK_D) begrenzen dagegen länger wirkende Konzentrationen von Luftverunreinigungen. Der Bezugszeitraum beträgt hier 24 Stunden. Auch für die Begrenzung der mittleren Konzentration luftverunreinigender Stoffe werden diese MIK_D -Werte benutzt. Folgende Beispiele sollen für die MIK-Werte genannt werden:

Bezeichnung der Schadstoffe	Konzentration in mg/m^3	
	MIK_K	MIK_D
Chlor	0,10	0,03
Chlorwasserstoff (Salzsäuregas)	0,050	0,015
Gasförmige Fluorverbindungen (HF , SiF_4)	0,020	0,005
Leicht lösliche anorganische Fluoride (NaF , $\text{Na}_2\text{Si F}_6$)	0,03	0,01
Ruß	0,15	0,05
Schwefeldioxid	0,50	0,15
Staub (nichttoxisch)	0,50	0,15
Stickoxide, berechnet auf NO_2	0,10	0,04

Pflanzenschäden – Definition

Nach Guderian, van Haut u. Stratmann (1960) werden als Schäden nur die Störungen und Schädigungen angegeben, die den ideellen und wirtschaftlichen Wert von Pflanzen herabsetzen.

Akute Schäden ergeben sich demnach aus hohen, aber nur kurzzeitig einwirkenden Rauchgaskonzentrationen. Sie sind äußerlich an den Pflanzen wahrnehmbar und meistens sehr charakteristisch ausgebildet.

Chronische Schäden entstehen aus langanhaltenden, ununterbrochenen Einwirkungen von schwachen Rauchgaskonzentrationen. Die chronischen Schäden hinterlassen am Anfang oft keine äußeren sichtbaren Schadensmerkmale, führen aber besonders bei mehrjährigen Gewächsen zu einem langsamen Absterben und zum Rückgang der Produktion und von Zuwachsmengen.

Unsichtbare Schädigungen, physiologische Schäden (Garber 1926), werden überhaupt nicht augenscheinlich faßbar, sondern äußern sich z. B. nur in Veränderungen der Assimilation, der Atmung, der Samenproduktion und ähnlicher Parameter.

Wirkungen von Schwefeldioxid

Während man 1930 noch $2 \text{ ppm} = 5,32 \text{ mg/m}^3$ und 1965 $0,2 \text{ ppm} = 0,53 \text{ mg/m}^3$ als Schwellenwert für einen Schaden durch SO_2 annahm, weiß man heute, daß SO_2 -Mittelwerte von $0,02 \text{ ppm} = 0,05 \text{ mg/m}^3$ über längere Zeit zu erheblichen Schäden an der Vegetation führen können (Wentzel 1968). Unter diesen geringen Konzentrationen des Assimilationsgiftes SO_2 leiden u. a. besonders Stachelbeere, Stieleiche, Rotbuche, Fichte, Kiefer und der Spinat, aber auch Flechten. SO_2 wirkt nach Däßler (1969) großflächig und verursacht sowohl Nah- als auch Fernschäden. Einmalige höhere SO_2 -Konzentrationen führen zu akuten Blattschädigungen, die von Guderian und van Haut (1970) eindrucksvoll beschrieben worden sind. Das SO_2 wird über die Spaltöffnungen aufgenommen und führt zur Schädigung von Palisaden- und Schwammparenchym. Als frühe Symptome erkennt man an den Blättern diffus grüne oder schwach bräunlich verfärbte Flecken. Der Schädigungsvorgang endet mit dem Auftreten elfenbeinfarbiger, brauner bis rotbrauner, seltener auch schwärzlicher Blattnekrosen. Die Nekrosen werden oft von verkorktem dunklem Gewebe umgeben.

Grundformen der Schädigung bei den dikotylen Pflanzen sind Interkostalnekrosen, aber auch kleine punktförmige Nekrosen sollen vorkommen. Bei Blättern mit gesägtem Rand werden zuerst die Zähne erfaßt. Blätter mit tiefen Einschnitten weisen oft Schäden an Spitzen und Rändern auf (Eiche, Spitzahorn, Stachelbeere). Geschädigte Blattflächen können herausfallen, so daß es zur „Fensterbildung“ kommt (Salat, Spinat, Knollenbegonien). Blütenblätter werden im allgemeinen nicht geschädigt, während an Hoch- und Kelchblättern häufig Nekrosen nachweisbar sind.

Bei monokotylen Pflanzen werden die Schadbilder durch Spitzennekrosen (z. B. an Gramineen) repräsentiert. Sehr empfindlich sollen die Grannenhaare von Gramineen auf SO_2 ansprechen. In diesem Zusammenhang sprechen Guderian und van Haut (1970) von Ertragsdepressionen. Halme, Spelzen und Blattscheiden zeigen sich relativ unempfindlich gegenüber SO_2 , so daß in diesen Pflanzenteilen nur bei starker SO_2 -Einwirkung Nekrosen auftreten. Die Übergangszone vom nekrotischen zum grünen Blattabschnitt ist bei den Monokotylen weniger prägnant gezeichnet als bei den Dikotylen.

Nadelhölzer sind besonders empfindlich gegenüber SO_2 . Akute Schädigungen äußern sich an einer rotbraunen oder auch fuchsroten Verfärbung der Nadeln, welche in der Regel von der Blattspitze ausgeht. Außer diesen Spitzennekrosen kommen auch örtlich abgegrenzte Schadbezirke in der Spitzenregion, in der Mitte oder an der Basis der Nadeln vor.

Durch langanhaltende niedrige SO_2 -Konzentrationen entstehen chronische Schädigungen der Blattsubstanz, die sich in Form von Chlorosen äußern. Chlorosen werden durch grünelbe Flecken oder durch Vergilbung der gesamten Blattbreite charakterisiert. Eine allgemeine Chlorosis bewirkt vorzeitige Alterung und Blattabwurf. Alle chlorotischen Schadmuster sind unspezifisch und oft die Vorläufer von nekrotischen Vorgängen.

Eine Gefährdung der verschiedenen landeskulturellen Wirtschaftszweige durch Rauchgase, besonders SO_2 , nimmt in folgender Reihenfolge ab (Wentzel 1968): Forstwirtschaft (Nadelwald), Zierpflanzenbau, Viehwirtschaft, Feldfutterbau, Garten- und Obstbau, Erholungswald (Laubbäume), landwirtschaftlicher Pflanzenbau. Wo im Umkreis von 10 bis 30 km Rauchschäden eintreten, kann von seiten der Forstwirtschaft die Anzucht von Nadelholz als aussichtslos eingestellt werden.

Diese besondere Gefährdung der Nadelwälder führt dazu, daß in entsprechend beaufschlagten Gebieten immissionsresistentere Laubholzbestände den Koniferen vorgezogen werden sollten (Buck 1970). Das Problem der „Koniferenausräucherung“ stellt sich besonders in Mitteleuropa. Der gesundheitliche Zustand von Nadelholzbeständen ist ein guter Indikator für Immissionseinwirkungen im Landschaftsgefüge. Wo Koniferen über längere Zeit gesund bleiben, da wird in der Regel keine Gefährdung für andere Gewächse der Land- und Forstwirtschaft signalisiert (Wentzel 1966). Auch Jäger (1973) schreibt, daß besonders Tanne, Fichte und Douglasie gegenüber SO_2 empfindlich sind, dagegen immergrüne Nadelbäume aus Nordamerika, wie Schwarz- und Weymouthskiefer, Stech- und Omorikafichte, als rauchhart einzustufen sind.

Von den Laubbäumen erweisen sich Esche, Rotbuche, Ahorn- und Erlenarten als rauchempfindlich, während Eiche, Birke und Linde eine relative Unempfindlichkeit aufweisen. Als sehr rauchhart gibt der Verfasser Platane und Gingko an. Er weist ferner darauf hin, daß der Standort für die „Rauchhärte“ eine Rolle spielt. Eine Minderung der Fruktifikation der Waldbäume und vermehrter Parasitenbefall des Waldes sind Nachfolgeschäden bei rauchkranken Wäldern. Nach Dägler (1969) werden in der DDR etwa 200 000 ha Wald von Immissionen, besonders SO_2 , beeinflusst. Bei einem Drittel dieser Fläche wird kein Nadelholz mehr angebaut, so daß ein Ausweichen auf Laubholzbestände nötig war. Der Verfasser beziffert den forstlichen Schaden auf jährlich mehrere Millionen Mark. Das größte Schadgebiet liegt ostwärts der Konzentration von Industriebetrieben um Leipzig und Dessau. Als weiterhin sehr gefährdet werden folgende Gebiete genannt: Erzgebirge (Fichtenwälder), Waldbestände im Raum Zwickau, Karl-Marx-Stadt, im Werra- und Unstrutgebiet sowie in der Lausitz.

Aber nicht nur Schäden am Blattgefüge und die Beeinflussung biochemischer (z. B. Abbau der Chloroplasten) und physiologischer Vorgänge durch SO_2 -Beaufschlagung sind beschrieben worden, auch das gesamte Aussehen von pflanzlichen Organismen kann durch SO_2 determiniert werden. Bäume und Sträucher verkrüppeln und zeigen Zwergwuchs, wobei die Immissionsflanken die größten Schäden aufweisen. Asymmetrische Kronenbildung kann ebenfalls auftreten. Dabei sollte aber keinesfalls übersehen werden, daß auch andere gasförmige Luftverunreinigungen die gleichen Habitusänderungen indizieren.

Es kann beobachtet werden, daß Pflanzen im akuten Schadbereich eine hohe Anfälligkeit gegenüber dem SO_2 zeigen, daß sie aber im chronischen Bereich relativ widerstandsfähig sind, wie es z. B. für die Lärche zutrifft (Guderian und Stratmann 1962).

Erwähnt sei hier auch die fungizide Wirkung von SO_2 , die bekanntlich u. a. beim Schwefeln von Weinfässern benutzt wird.

Guderian und Stratmann (1962) teilen mit, daß der Eichenmehltau (*Microsphaera quercina*), der Amerikanische Stachelbeermehltau (*Spaerotheca mors uvae*), die Erreger

der Kräuselkrankheit des Pfirsich (*Thaphrina deformans*) sowie der Wurzeltöterkrankheit (*Rhizoctonia solani*) eine besondere Empfindlichkeit gegenüber Schwefeldioxid aufweisen. SO₂ wirkt in diesen Fällen vorbeugend und heilend. Allerdings wirken nur solche SO₂-Konzentrationen auf die Schadpilze, die auch gleichzeitig an den Wirtspflanzen nicht spurlos vorübergehen. Die fungizide Wirkung war nur in dem Bereich registrierbar, in dem auch Schäden an der Vegetation auftraten.

Flechten sprechen sehr empfindlich auf SO₂ an. In vielen Städten und auch einigen Landschaften wurde die Verarmung der Flechtenvegetation und ihre Wachstumsverteilung untersucht (z. B. Beschel 1958; Bortenschläger 1963, 1969; Gilbert 1969; Domrös 1966; Kirschbaum 1972; Kirschbaum u. a. 1971; Mielke 1970, 1971; Natho 1964; Villwock 1959, 1962; Rydzak 1955–1959; Voigtländer 1969; eine Zusammenstellung bis 1971 wurde von Kirschbaum u. a. 1971 geliefert). Obwohl mehrere Untersucher (Beschel 1958; Rydzak 1955–1959; Steiner-Schulze-Horn 1955; Klement 1958) die Flechtenreduzierung in Städten auf stadtklimatische Einflüsse zurückführten, überwiegend heute Gesichtspunkte (u. a. Aussterben von bestimmten Flechtenarten in stadtnahen Wäldern; Flechtenwüsten ziehen sich im Lee der Städte weit in die Umgebung von Großstädten hinein), die der Luftverunreinigung die entscheidende Bedeutung für die Flechtenschädigung zuordnen. Dabei dürften verschiedene Luftverunreinigungsfaktoren, besonders aber SO₂- und Fluorimmissionen sowie Stäube, eine Rolle spielen.

Gilbert (1969) zeigte mit seiner Untersuchung des Flechtenvorkommens in Newcastle, daß die Flechten auf Baumrinden wesentlich schneller als die Flechten auf Steinen, z. B. Sandsteinmauern, verschwinden. Der Kalkgehalt der Steine soll in diesem Fall die Wirkung des SO₂ der Luft gemindert haben.

Natho (1964) in Berlin, Voigtländer (1969) in Halle (Saale) und Mielke (1971) in Magdeburg haben die epixylen Flechtenverhältnisse für Großstädte in der DDR untersucht. Mielke (1970) erhob auch den Flechtenbewuchs in der Kleinstadt Osterburg/Altmark.

Natho (1964) fand in Berlin die Krustenflechten *Lecanora varia*, *Lecanora pityrea* und *Lepraria*-Formen. An Laubflechten stellte er vor allem *Parmelia physodes* neben einigen anderen nur vereinzelt vorkommenden Laubflechtenarten fest. In Magdeburg war nach den Untersuchungen von Mielke (1971) nur noch die Krustenflechte *Lecanora varia* vorhanden. Laub- und Strauchflechten fehlen im Magdeburger Stadtgebiet. Vom Stadtkern zum Stadtrand nimmt der Bewuchs mit *Lecanora varia* zu. Es wird eine Zone O ohne Bewuchs, eine Zone A mit Bewuchs < 50 % der Bezugsflächen und eine Zone B mit 50 bis 100 % Bewuchs der Bezugsflächen unterschieden.

Ob nun ein Gebiet ohne Flechtenwuchs als „Flechtenwüste“ bezeichnet wird oder ob das Fehlen von Laub- und Strauchflechten, aber das Vorhandensein von Krustenflechten als Kriterium für den Terminus „Flechtenwüste“ genommen werden, ist nur eine Definitionsfrage und wurde dementsprechend von den einzelnen Bearbeitern auch sehr verschieden gehandhabt.

Selbst in der Kleinstadt Osterburg/Altmark (Mielke 1970), die völlig ohne industrielle Emissionen ist, gibt es im Stadtkern keine Flechten mehr. Hier wirken sich sicher die Hausbrandemissionen aus. Auch Rydzak (1953–1959) fand in einigen polnischen Kleinstädten ähnliche Verhältnisse.

Sehr aufschlußreich sind auch die Untersuchungen von Voigtländer (1969) in Halle (Saale). Er fand als häufigste Flechtenart *Lecanora varia*. Daneben kamen *Candelariella vitellina* und *Candelariella aurella* vor, auch eine *Pertusaria*-Art trat auf. In Halle kommen wie in anderen Großstädten eine flechtenfreie Zone und eine Zone mit Flechtenvegetation vor. Das flechtenfreie Gebiet nimmt die gesamte Innenstadt von Halle ein. Voigtländer gibt an, daß die flechtenfreie Stadtzone mit der Zone der höchsten Luft-

verunreinigung übereinstimmt. Als Grenzwert nennt er einen SO_2 -Wert von $0,40 \text{ mg/m}^3$. Wo der SO_2 -Wert der Luft unter diesen Konzentrationswert sinkt, kommen in Halle wieder Flechten vor.

Besonders beachtenswert erscheinen die Feststellungen, daß auf einigen großen Friedhöfen, die in der flechtenfreien Zone liegen und damit von hohen Schadstoffimmissionen beaufschlagt werden, doch Flechtenwuchs auftritt. Zum Zentrum der Friedhöfe nehmen sowohl die Thallusgrößen als auch der Deckungsgrad zu. Voigtländer (1969) ist der Meinung, daß größere Baumbestände luftreinigend wirken. Er führt ferner an, daß auf den Friedhöfen der SO_2 -Gehalt geringer als in der Umgebung sei. Diese Tatsache würde nach Voigtländer schon durch das Vorkommen ungeschädigter Nadelbäume (vorwiegend *Pinus*-Arten) bekräftigt.

Als Ursachen der Flechtenschädigung macht Voigtländer sowohl die Luftverunreinigungen als auch das Stadtklima verantwortlich. Diese Flechtenkataster zeigen also oft eine gute Deckung zwischen Flechtenzonierung und Immissionsbelastungszonen.

Schönbeck (1968) lieferte mit der von ihm modifizierten Expositionsmethode transplantierter Flechten nach Brodo (1961) in der Umgebung einer Eisenerzrösterei bei gleichzeitiger Registrierung der SO_2 -Immissionskenngrößen den Beweis für die Brauchbarkeit dieser pflanzlichen Organismen als Indikator und stellte die Expositionsmethode mit der besonders SO_2 - und HF-empfindlichen Flechtenart *Parmelia physodes* 1969 praxisreif vor (Schönbeck 1969). Durch die Erfassung der sichtbaren Schädigung kann schon nach Wochen bis einigen Monaten eine Aussage über die Immissionsbelastung gemacht werden. Mit Flechtentransplantaten arbeiteten auch Kirschbaum u. a. (1971) im Frankfurter (a. M.) Raum und in der DDR in Magdeburg Schuschke, Mielke und Schulze (1974). Sowohl bei der Kartierungs- als auch bei der Transplantationsmethode kann von einem allgemeinen Schädigungsnachweis gesprochen werden (Arzani 1974). Wenn auch die Schädigung hauptsächlich durch SO_2 verursacht werden dürfte, haben wir wohl nur in den seltensten Fällen eine reine SO_2 -Einwirkung vorliegen. Entscheidend für die Beurteilung der Flechtenschädigung ist bei diesen angeführten Methoden die äußerlich sichtbare Schädigung, wobei die wesentlich früher einsetzende Stoffwechselstörung nicht berücksichtigt werden kann.

Begasungsexperimente zeigen uns aber die Wirkungen von SO_2 , ohne daß es mit anderen Stoffen gemischt ist, sehr deutlich. Allerdings liegen im Begasungsexperiment die Konzentrationen oft wesentlich höher, als sie in der Umwelt auftreten. Dässler und Ranft (1969) haben im Tharandter Rauchschadenprüffeld SO_2 -Begasungen an 30 Flechten und 20 Moosarten durchgeführt. Die Luftfeuchtigkeit wurde in der Nacht bei 90 % und am Tage bei 70 % eingestellt, die Temperaturen lagen tagsüber zwischen 10 und 15 °C und in der Nacht bei 5 °C und darunter. Bei der Messung der Beleuchtungsstärke wurden Werte zwischen 7000 und 50 000 Lux registriert. Die Flechten und Moose wurden in 3 Serien pro Tag 6 bis 8 Stunden begast. Die SO_2 -Konzentration betrug bei der 1. Serie über 22 Stunden 1,4 ppm, bei der 2. Serie über 60 Stunden 0,6 ppm, bei der 3. Serie über 30 Stunden 3 ppm. Die uns hier interessierenden Flechten ließen sich auf Grund der äußerlich sichtbaren Schädigung in eine vierstufige Schadrangfolge bringen. Als sehr empfindlich stellte sich *Parmelia turfuracea* heraus, unter den empfindlichen Arten finden wir z. B. *Cetraria islandica* und *Parmelia physodes*. Weniger empfindlich waren u. a. *Cladonia gracilis*, *Umbilicaria hirsuta* und *Cladonia furcata*. Als weitgehend rauchhart wurden *Lecanora varia* und *Lecidea scalaris* eingestuft. Gewebsuntersuchungen zeigten, daß zuerst die chlorophyllhaltigen Algenzellen geschädigt werden, was sich durch Entfärbung des grünen Farbstoffes dokumentiert. Der Pilz lebt aber wesentlich länger weiter. Dässler und Ranft (1969) schreiben, daß sich somit das SO_2 vor allem auf den Assimilationsmechanismus auswirkt. Aufschlußreich war auch das Ergebnis, daß

die Lebermoosgattungen *Sphagnum* und *Polytrichum* empfindlicher als die empfindlichsten Flechtenarten reagierten.

Börtitz und Ranft (1972) begasten ebenfalls verschiedene Flechtenarten mit SO_2 (3 ppm über 45 Minuten). Die Bruttoassimilation sank ab und konnte sich nach Abschluß der SO_2 -Einwirkung nur langsam teilweise erholen.

Villwock (1959) konnte nach Begasung lufttrockener Flechten ($0,5 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$) keine Schädigung der Assimilation feststellen, aber die gleichen Versuchsbedingungen schädigten die Flechten im feuchten Zustand. Bei $3,0 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ und 5stündiger Einwirkungszeit starben die Flechten. Trockene Flechtenthalli waren in jedem Fall resistenter als feuchte.

Nach den Untersuchungen von Arzani (1974), der 7 Flechtenarten auf ihre Empfindlichkeit gegenüber SO_2 , HCl und HF prüfte, ergab sich im Hinblick auf die SO_2 -Einwirkung folgende Aussage: Zwei Arten, wenn man die äußerliche Schädigung betrachtet, erwiesen sich als „sehr empfindlich“ (*Parmelia caperata* und *Parmelia turfuracea*). *Parmelia physodes* konnte unter die Rubrik „empfindlich“ eingestuft werden.

Bei einer Begasungszeit von 28 Tagen und bei Berücksichtigung des Chlorophyllabbaus ergab sich diese Rangordnung. Sehr empfindlich: *Cetraria glauca*, *Parmelia turfuracea*, *Parmelia caperata*; empfindlich: *Parmelia saxatilis*, *Parmelia sulcata* und *Parmelia physodes*; weniger empfindlich war nur die Art *Xanthoria parietina*.

Die Atmung wurde nur bei den Arten *Cetraria glauca* und *Parmelia caperata* durch SO_2 geschädigt.

Arzani kam weiter zu dem Ergebnis, daß sich bei Berücksichtigung des Einflusses auf die Photosynthese *Parmelia turfuracea* und *Parmelia physodes* als sehr empfindlich erwiesen, während die anderen Arten weniger empfindlich oder empfindlich reagierten.

Durch SO_2 -Begasung war ein eindeutiger Einfluß auf den Gesamtschwefelgehalt nicht registrierbar, aber der organisch gebundene Schwefelgehalt wuchs bei allen Flechtenarten an (Ausnahme: *Cetraria glauca*). Während bei Arzani zwei Arten atmungsgeschädigt waren, gibt es weitere Untersuchungen über die Wirkung von SO_2 auf den Atmungsapparat, die sowohl den Einfluß bejahen als auch verneinen.

Klee (1969) und Showmann (1971) konnten unter SO_2 -Einfluß ein Absinken der Atmung registrieren. Als wenig beeinflufßbar fanden z. B. Schubert und Fritsche (1965) sowie Dässler und Ranft (1969) die Atmung. Schubert und Fritsche (1965) transplantierten xerische Flechten (*Cladonia foliacea*, *Cladonia rangiformis* und *Diploschistes bryophilus*) u. a. in die Nähe eines großen Industriewerkes. Sie stellen dabei fest, daß einmal das Zellgefüge und die Algen geschädigt wurden. Die erhaltenen Thallusteile wiesen allerdings eine fast normale Atmung auf. Schubert und Fritsche sind der Meinung, daß die Atmungsintensität durch den resistenten Flechtenpilz zustande kommt, da überlebende Algen nur zu geringen Anteilen vorhanden waren.

Rao und Le Blanc (1965) begasten Flechten 24 Stunden mit 5 ppm SO_2 . Das Chlorophyll der Algen wurde daraufhin abgebaut, braune Flecken traten auf. Rao und Le Blanc erklären diese Erscheinungen damit, daß sich durch die SO_2 -Einwirkung H_2SO_3 , HSO_3^- - und SO_4^{2-} -Ionen bilden. Da bei diesem Dissoziationsvorgang H^+ -Ionen entstehen, ersetzen sie das Magnesiumatom im Chlorophyll. So entsteht Phäophytin. Arzani (1974) führt an, daß der Schwefelgehalt der Pflanzen als Indikator für die Einwirkung von SO_2 dienen kann. Die biologische Wirkung des Schadgases zeigt aber mit der Höhe des Schwefelgehaltes in den Pflanzen im allgemeinen keine Übereinstimmung. Es sind bisher nur wenige Arbeiten bekannt, die sich mit S-Gehalt von Flechten beschäftigen (Gilbert 1965; Rao und Le Blanc 1965; Klee 1969). Aus Gilberts (1965) Untersuchungen sollen einige Ergebnisse angeführt werden: Er analysierte den S-Gehalt von *Parmelia saxatilis*-Proben, die er aus verschiedenen Entfernungen von New-

castle entnahm. Bei 6 Kilometer Entfernung von der Stadt entnommenen Flechten lag ein Schwefelgehalt von 2870 ppm vor, nach 14 km Abstand wurden 695 ppm und bei Kilometer 34 225 ppm in den Flechtenthalli entdeckt. Je höher der SO_2 -Gehalt der Luft war, um so größer zeigte sich auch der S-Gehalt von *Parmelia saxatilis*.

Wir können also zusammenfassend feststellen, daß das SO_2 die Algenkomponente als Chlorophyllträger in der Flechte schädigt. Diese Schädigung tritt schon ein, bevor überhaupt äußerlich sichtbare Schäden entdeckt werden. Mit der Algenschädigung stirbt natürlich auch die Flechte als Symbioseorganismus ab, auch wenn der Pilz noch einen längeren Zeitraum überlebt (Reservestoffe). Schubert (1974) entwickelte daher auch die Idee, die Flechtenalgen als Indikator für den Einfluß von SO_2 zu nehmen. Er denkt dabei z. B. an die Gattung *Trebouxia*, die leicht zu kultivieren ist. Das Überleben oder Absterben der runden Algenzellen könnte in speziellen Zählkammern beobachtet und ausgewertet werden.

Auch die Einwirkung von SO_2 auf *Euglena*-Zellen ist von Koning und Jegier (1970) untersucht worden. Bei der Einwirkung von 5,0 ppm SO_2 erhöhte sich der Anteil von Chlorophyll-a, ein Absinken der Photosynthese war trotzdem zu verzeichnen.

Allgemein läßt sich feststellen, daß junge Blätter wesentlich unempfindlicher gegenüber SO_2 -Einfluß sind als bereits sich stärker in Streckung befindende Blätter (van Haut 1961). Alle Faktoren, die die Öffnung der Spaltöffnungen begünstigen, führen zu vermehrter Schadstoffaufnahme. Hierzu zählen ausreichende Belichtung und Wasserversorgung sowie hohe Luftfeuchte (Keller 1971). Die Tageszeit spielt ebenfalls eine Rolle. Luzerne ist nach Zahn (1963) am Vormittag empfindlicher gegenüber SO_2 als am Nachmittag. Pflanzen durchlaufen also verschiedene Empfindlichkeitsstufen gegenüber Luftverunreinigungen während ihrer Entwicklung.

Wirkungen von Fluorverbindungen auf Pflanzen (HF, H_2SiF_6 , SiF_4)

Fluor schadet der Vegetation schon in hundertfacher Verdünnung der für Pflanzen schädlichen SO_2 -Konzentration, allerdings treten Schäden meistens nur lokal begrenzt auf. Gasförmige Fluorverbindungen werden durch die Stomata aufgenommen. Fluorhaltige Stäube dringen aber auch nach Lösung in Wasser (Tau, Nebel) in geringer Menge durch die Oberhaut in das Blatt ein. Reichern sich in F-Immissionsgebieten im Boden Fluorverbindungen an, so ist hiermit eine weitere Quelle für die Aufnahme durch die Pflanzen gegeben.

Fluorschäden an Blättern äußern sich makroskopisch in Rand- und Spitzennekrosen und oft in einem Aufrollen der Blätter (Garber 1967), das von Keller (1971) als schiffchen- oder löffelförmige Wölbung der Blattspreite bezeichnet wird. Bei den Nadelbäumen verdorren die Nadelspitzen. Physiologische Prozesse in den Pflanzen (Atmung, Photosynthese) können schon gestört sein, auch wenn keine erkennbaren Blattschädigungen hervorgerufen wurden. Keller (1971) berichtete in diesem Zusammenhang, daß schon vor der Beeinflussung der Photosynthese der enzymatisch gelenkte Stoffwechsel gestört sein muß. Die Peroxidase übt ihren Einfluß bei der Verholzung (Lignifizierung) von Geweben aus. In alternden Geweben ist die Konzentration und damit die Aktivität der Peroxidase am stärksten. Durch Fluor hervorgerufene Verfärbungen und Blattfall sind Alterungsvorgänge. So konnte Keller (1971) in Douglasiennadeln nach 4monatiger Exposition mit abnehmender Entfernung von F-Emittenten eine Zunahme der Peroxidaseaktivität nachweisen. Dieser Nachweis gelang an Nadeln, welche äußerlich keine Schädmerkmale zeigten. Der Wasserhaushalt, die Nährstoffversorgung und auch der Einfluß des Tageslichtes sind bedeutende Faktoren für das Ausmaß der durch Fluorimmission verursachten Schäden an den Blättern (Oelschläger u. Moser 1969).

Wenn auch alle angeführten Umweltfaktoren in optimaler Höhe für die Pflanzen vorhanden sind, so ergibt sich trotzdem eine unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Pflanzen gegenüber der Fluoreinwirkung.

Tulpe, Gladiole, Krokus, Monbretie, Narzisse und Scilla sind nach Guderian u. a. (1969) für den Anbau in Gebieten mit HF-Immissionen nicht zu empfehlen.

Hafer, Saatwicke, Gelbe Süßlupine und Felderbse zeigen bei Konzentrationen über 4 mg HF/m³ Ertragsdepressionen, während forstliche Kulturen wie Fichte, Weymuthkiefer und Nordmannstanne schon zwischen 1,5 und 4 mg HF/m³ nach wenigen Tagen Einwirkungszeit gut sichtbare Nadelschädigungen erkennen lassen, die sicherlich Wuchsbehinderungen nach sich ziehen. Diese Konzentrationen treten allerdings in der freien Atmosphäre normalerweise nicht auf.

Bolay u. Bovay (1965) stellten als Ergebnis ihrer Untersuchungen über die Fluorempfindlichkeit eine vierstufige Empfindlichkeitsrangfolge von Pflanzen auf. Unter „sehr empfindlich“ führen sie u. a. *Gladiolus spec.*, *Lilium spec.*, *Berberis vulgaris* und *Vitis vinifera* auf. Diese „sehr empfindlichen“ Pflanzen sind Indikatoren für das Vorhandensein von Fluor in der Luft.

Als „empfindliche“ Pflanzen werden u. a. *Tulipa spec.*, *Pinus silvestris*, *Narcissus spec.* und *Acer campestre*, als „weniger empfindliche“ Pflanzenarten wie *Beta vulgaris*, *Viola tricolor*, *Forsythia viridissima* und *Solanum tuberosum* genannt. Als „ziemlich resistent“ stufen die Verfasser u. a. *Ribes nigrum* und *vulgare*, *Rubus spec.* und *Prunus avium* ein.

Kisser (1964) fand besonders Fichte, Rotkiefer und Roßkastanie „sehr empfindlich“ gegenüber Fluor-Immissionen. Aber auch innerhalb der einzelnen Pflanzenarten ist die Empfindlichkeit nicht gleich, wie Johnson u. Mitarb. (1950) durch Prüfung von Gladiolenvarietäten nachweisen konnten. 72 Varietäten wurden untersucht, wobei 13 „sehr empfindlich“ waren.

Ertragsausfälle und Ernterückgänge bei Acker- und Gartenkulturen werden in der Nähe von Fluoremittenten oft beobachtet, auch wenn, wie Hölte (1960) schrieb, keine makroskopisch sichtbaren Schäden am Blattgefüge von Kartoffeln auftraten. Mohamed (1968) kommt zu dem Ergebnis, daß Fluorwasserstoff sogar als mutagenes Agens einzustufen ist, das wahrscheinlich direkt oder indirekt die Nachbildung von DNS-Molekülen blockiert. Er begaste Tomatenpflanzen mit HF, die in den C₀-Generationen keine sichtbaren Schäden hatten. Bei der C₁-Generation traten z. T. Mißbildungen auf, die 1, 3 oder 4 Keimblätter, ungefiederte Sämlinge und Pflanzen mit mißgestalteten Keimblättern zeigten. Diese Phänotypen gleichen bekannten Mutationen. Die Reifungsteilung erwies sich als gestört. Mit der Zunahme der Behandlungsdauer der C₀-Generation zeigte sich eine Tendenz zu höheren Anteilen phänotypischer Abnormalitäten bei der C₁-Generation.

Über die Einwirkungen von Fluor auf Flechten liegen die neuesten Untersuchungen von Arzani (1974) vor. Nach Auswertung der sichtbaren Schädigungen fand der Autor *Farmelia turturacea* als sehr empfindlich, u. a. *Parmelia physodes* als empfindlich sowie *Farmelia saxatilis* und *Xanthoria parietina* als weniger empfindlich. Nach der Bewertung des Chlorophyllabbaus waren u. a. *Parmelia turturacea* und *Parmelia physodes* sehr empfindlich. Die Atmung wurde durch die HF-Einwirkung leicht angeregt. Die Photosynthese der Flechten zeigte die gleiche Empfindlichkeitsrangordnung, wie sie beim Einfluß auf den Chlorophyllgehalt auftrat (28tägiger Einfluß auf die Flechten). Arzani (1974) konnte nachweisen, daß die am empfindlichsten reagierenden Flechten die höchsten Fluoridanteile besaßen. Damit stehen Empfindlichkeit und Fluoridanreicherung im Zusammenhang.

An der Problematik HF-Einwirkung und Flechten arbeiteten auch Nash (1971), Gilbert (1971), Comeau u. Le Blanc (1972), Le Blanc, Rao u. Comeau (1971, 1972) und in der DDR Börtitz und Ranft (1972).

Börtitz und Ranft (1972) begasten verschiedene Flechtenarten 27 Stunden mit 0,3 bis 0,4 mg HF/m³. Nach der Schädigung der Photosynthese wurden z. B. *Cladonia gracilis* als sehr empfindlich, *Cetraria islandica*, aber auch *Parmelia physodes*, als empfindlich eingestuft. Allgemein kann festgestellt werden, daß der Chlorophyllgehalt durch Fluoreinwirkung abnimmt. Phäophytin entsteht aber bei der HF-Einwirkung im Gegensatz zur SO₂-Einwirkung nicht. Arzani (1974) schreibt, daß auch ein Ersatz des Mg-Atoms im Chlorophyllmolekül durch H⁺ bisher nicht bestätigt werden konnte. Daher meint er, daß vielleicht durch den HF-Einfluß auf Flechten MgF₂ entstehen würde und dabei ebenfalls entscheidend der Mg-Verlust des Chlorophyllmoleküls ist.

Wirkungen von Chlor und Salzsäure (Cl₂, HCl)

Beide Stoffe haben keine großflächige Auswirkung (Dässler 1969). HCl- und Cl-Schädigungen an Blättern zeigen das gleiche Aussehen. In physiologischer Hinsicht bewirken HCl-Immissionen die gleichen Schadbilder wie SO₂ (Garber 1967). Deutliche Schädigungen beginnen am Blattrand und ziehen sich danach später als Aufhellung oder Bleichung über die ganze Blattspreite. Flieder-, Holunder-, Buchsbaum-, Kirschlorbeerblätter erscheinen aufgehellt, während Azaleen, Eriken und Primeln stark gebleicht werden. Auch Gras wurde gebleicht und schlug bei trübem Wetter wieder grün aus. Darauffolgender Sonnenschein führte wieder zur Bleichung (Bohne 1969). Verbrennungen sind bei Eichen hellbraun, mittelbraun bei Birnen, Birken und Pfingstrosen und silberfarben bei Pappeln. Während Holunder, Flieder und Pappeln durch HCl- bzw. Cl-Immissionen stark beeinflusst werden, zeigen Gladiolen, Roßkastanien, Pflaumen und Aprikosen keinerlei Schäden. Umgekehrt verhalten sich die aufgeführten Pflanzen allerdings gegenüber F-Immissionen.

Über den Einfluß von HCl auf Flechten sind nur die Arbeiten von Brettschneider (1972), Steubing (1973) und Arzani (1974) bekannt. Brettschneider (1972) untersuchte die Flechtenflora in der Nähe einer Müllkippe. Die Emissionsbestandteile waren HCl und SO₂. Je weiter die Untersuchungen von der Schadgasquelle entfernt waren, um so besser gediehen die Flechten. *Parmelia physodes* war am wenigsten geschädigt, *Parmelia sulcata* am stärksten. Zwischen beide Arten schob sich *Cetraria chlorophylla* hinsichtlich der Absterberaten. Allerdings ist dabei nicht zu übersehen, daß auch SO₂ auf die Flechten eingewirkt hat, so daß hier eine Kombinationswirkung vorliegen könnte. Brettschneider (1972) führte auch Begasungsversuche mit HCl durch, indem *Umbilicaria spec.*, *Cetraria glauca*, *Parmelia furfuracea* und *Parmelia physodes* an 12 Tagen Konzentrationen von 0, 50, 100 und 200 ppm HCl ausgesetzt wurden. Nach der äußerlich sichtbaren Schädigung war *Parmelia physodes* am empfindlichsten, *Cetraria glauca* am widerstandsfähigsten. Berücksichtigte man den Chlorophyllgehalt, so war das Ergebnis umgekehrt.

Steubing (1973) exponierte die drei obengenannten Flechtenarten um die erwähnte Müllkippe, wobei in der Nähe der Deponie die stärksten Schädigungen auftraten.

Arzani (1974) fand, daß nach 6tägiger HCl-Einwirkung bei 6 von ihm untersuchten Flechtenarten keine klar erkennbaren äußeren Schadmerkmale hervorgerufen wurden. Das Chlorophyll wurde nur bei *Parmelia saxatilis* stärker abgebaut. Die Atmung wurde nach diesen Untersuchungen nicht deutlich beeinflusst. Bei dem Einfluß auf die apparente Photosynthese war wieder *Parmelia furfuracea* sehr empfindlich, *Parmelia physodes* u. a. weniger empfindlich.

Wirkungen von Stickoxidverbindungen (Nitrose-gase – NO, NO₂, N₂O₃)

Die Stickstoffoxidwirkungen spielen bei uns in der DDR im Hinblick auf Pflanzenschäden kaum eine Rolle. Waldschäden werden auf Grund der örtlich begrenzten Wirkung nicht ausgelöst. Die hervorgerufenen Blattschädigungen gleichen fast völlig in bezug auf Färbung und Schadmosaik den durch SO₂ erzeugten Symptomen. Nach van Haut u. Stratmann (1967) sind je nach Pflanzenart etwa 2- bis 4mal höhere NO₂-Konzentrationen als beim SO₂ zur Erzeugung gleicher Blattschädigungen notwendig.

Durch langanhaltende Einwirkungen niedriger NO₂-Konzentrationen entstehen fleckige Chlorosen, aber auch daneben oft ein Vergilben ganzer Blattspreiten. Durch akute Schädigungen registrierte Verfärbungen machen eine Unterscheidung zwischen NO₂- und SO₂-Schädigungen nicht möglich.

Van Haut u. Stratmann (1967) gelang in SO₂-beeinflussten Blättern noch längere Zeit der Nachweis von Carotin, in Extrakten von durch NO₂ abgetöteten Blättern fand sich kein Carotin. Das Resistenzverhalten der Pflanzen gegenüber NO₂ gleicht im wesentlichen dem Verhalten gegenüber SO₂. Allerdings vertragen die Koniferen etwa die gleichen NO₂-Konzentrationen wie Laubbäume.

Wirkungen von Stäuben

Die Wirkungen der Stäube auf die Vegetation sind geringer als der Einfluß der toxischen Luftverunreinigungs-komponenten. Stäube schädigen nach Garber (1967) als lichtentziehender Staubüberzug, durch ätzende Bestandteile und indirekt durch Bodenvergiftung. Auch die Dunstglocke über Großstädten führt durch Beeinträchtigung der Lichtverhältnisse zu einer Hemmung der Assimilationsrate, was auch durch Staubablagerungen auf Frühbeetfenstern und Gewächshäusern hervorgerufen wird. Zementstaub schädigt die Vegetation (Wolf 1956), besonders wenn diese Staubart größere Anteile von Branntkalk aufweist. Wachstumshemmungen, das Eingehen von Bäumen und mangelnde Fruchtbildung ergeben sich als Folge dieser Einwirkung.

Durch Zementstaub werden auch Biotopveränderungen infolge pH-Wert-Verschiebung des Bodens ausgelöst.

Oelschläger (1971) berichtet, daß die im Flugstaub enthaltenen F-Verbindungen nur einen minimalen schädigenden Einfluß auf die Vegetation ausüben.

Zinkhaltige Stäube und damit ein Anstieg des Zinkgehaltes des Bodens sollen nach Krüger (1951) zur Vergilbung der Blätter führen. Diese Erscheinungen wurden an Kirsch- und Quittenbäumen sowie an jungen Gerstenpflanzen registriert. Ertragsdepressionen wurden in diesem Zusammenhang nicht bekannt.

Garber (1967) konnte nachweisen, daß durch Bleistaub in allen Fällen bei Begaungsversuchen Ertragsminderungen eintraten, wobei Wachsbohnen am stärksten geschädigt wurden. In der Nähe vielbefahrener Straßen steigt der Bleigehalt in der Vegetation an, besonders Gräser zeigen oft eine hohe Bleikonzentration (Klocke u. Riebarsch 1964). Auf den Blättern und anderen Pflanzenteilen abgelagerter Bleistaub wird kaum von den Pflanzen absorbiert. Je höher der Bleigehalt eines Bodens wird, um so mehr Blei wird auch durch die Wurzel absorbiert, wobei allerdings der größte Teil in den Wurzeln verbleibt. Die Wirkung der Pb-Stäube hängt nach Garber (1967) von der Bodenart ab. Auf schweren Böden sind Wirkungen für die Pflanzenwelt nicht so nachteilig wie auf leichten Böden. Die Pb-Aufnahme mit Hauptnahrungsmitteln pflanzlicher Herkunft sollte 1 mg Pb je Tag nicht übersteigen. Tiere nehmen in Pb-beaufschlagten Landstrichen höhere Konzentrationen dieses Schwermetalls auf, da ja das Futter nicht gewaschen wird.

Garber (1967) nennt als Indikatorpflanze für Zink oder Blei im Boden die Zink- oder Hallerkresse (*Arabis Halleri* oder *Cardaminopsis Halleri*), die auf entsprechend verseuchten Böden eine weite Verbreitung finden kann.

Aber nicht nur höhere Pflanzen werden von staubförmigen Luftverunreinigungen beeinflusst, auch Zusammenhänge zwischen epiphytischem Flechtenwachstum und Staubbeaufschlagung von Großstädten sind bekannt geworden. So teilen Ruge u. Förster (1970) mit, daß in Hamburg Laubflechten die Gebiete nicht besiedeln, in denen im Jahresmittel mehr als $100 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{Tag}$ Staub fallen. Laubflechten können demnach auch als Staubzeiger angesehen werden, was auch von Kirschbaum u. a. (1971) bestätigt wird. Die Untersuchung des epixylen Flechtenwachstums in Magdeburg ergab, daß die alleinig hier noch wachsende Flechtenart, die Krustenflechte *Lecanora varia*, in dem Gebiet mit der höchsten Staubbelastung nicht mehr vorkommt (Schuschke, Mielke u. Schulze 1974).

Teil 2. Einsatzmöglichkeiten von Pflanzen zum Luftverunreinigungsnachweis durch Naturschutzhelfer

Wie aus den bisher beschriebenen Einwirkungen von Luftverunreinigungen auf die Vegetation hervorgeht, reagieren Pflanzen je nach ihrer systematischen Gruppierung völlig unterschiedlich auf die verschiedensten Immissionskomponenten. Damit besteht nach Schönbeck u. a. (1970) die Möglichkeit, diese Reaktionen nicht nur als Nachweis für Luftverunreinigungen überhaupt, sondern für das Vorliegen einzelner Komponenten auszunutzen. Die Bewertungskriterien beziehen sich allerdings nur auf makroskopisch sichtbare Schadmerkmale. Ein sicherer Rückschluß auf die aufgetretene Immissionsart ist oft nicht möglich, wobei aber durch die Pflanzenreaktion erste Signale für das Vorhandensein von Verunreinigungen überhaupt gegeben werden.

Pflanzliche Organismen erfassen auch den Einfluß und die Wirkung von Immissionskomplexen. Einzelkomponenten werden oft erst in ihrer Komplexität wirksam. Nachdem Pflanzen eine äußerlich sichtbare Reaktion gezeigt haben, können chemische Luftanalysen veranlaßt werden. Aber auch die chemische Bestimmung des Gehaltes des Pflanzenkörpers an Verunreinigungs-komponenten ergibt wertvolle Rückschlüsse. Schönbeck u. a. (1970) empfehlen folgende standardisierte Expositionsverfahren (Fangpflanzenverfahren):

1. Das Testpflanzenverfahren

Bei diesem Verfahren werden im Immissionsgebiet und seiner Umgebung Testpflanzen in standardisierten Bodenarten in Erdgefäßen unter vergleichbaren Parametern kultiviert.

Eine Variante des Testpflanzenverfahrens ist das Graskulturverfahren nach Scholl (1970). Zur Erkennung von Fluor-Immissionen und zum Nachweis tiergefährdender Fluoranreicherungen läßt sich eine Mischung von *Lolium multiflorum* und *Lolium perenne* verwenden, die nach der Exposition auf ihren Fluorgehalt untersucht werden.

2. Das Testkammerverfahren

Die Anwendung von Testpflanzen kann bis zur Unbenutzbarkeit erschwert werden durch wechselnde, differierende Umweltfaktoren (z. B. Klima) und auch durch fehlende Untersuchungsstationen. Dann kann man Indikatorpflanzen in Testkammern mit gefilterter und ungefilterter Luft einsetzen. Diese transportablen Testkammern bestehen nach Schönbeck u. a. (1970) aus: Plexiglashaube zur Testpflanzenaufnahme, Unterschränk für Luftfilter, Gebläse, automatisierter Bewässerungsanlage. In die Testkammer strömt die Außenluft ohne Beeinflussung ein; aber bevor die

Außenluft in die Vergleichskammer gelangt, entfernen Filtersysteme verschiedenster Art die Luftverunreinigungen. Als Fluorindikatoren werden Begonien, für den Nachweis der Fluoranreicherung Lieschgräser vorgeschlagen.

Diese Fangpflanzenverfahren sind auf Grund des hierfür notwendigen apparativen Aufwandes von Naturschutzbeauftragten bzw. -helfern kaum anwendbar. Die gleiche Aussage dürfte auf die von Steubing (1973) genannten Methoden zur Erstellung eines Immissionskatasters wie Luftbildaufnahmen mittels Falschfarbfilm, chemische Pflanzenanalysen, biochemische und physiologische Untersuchungen zutreffen.

Verwendbar erscheint uns jedoch neben der Erfassung des natürlichen Flechtenwachstums der Einsatz des Flechtenexpositionsverfahrens, dessen Eignung in der DDR von Schusche, Mielke u. Schulze (1974) im Stadtgebiet von Magdeburg geprüft worden ist.

Flechten gehören, wie schon ausgeführt, zu den empfindlichsten Lebewesen gegenüber Immissionen. Als Testorganismus wird die Laubflechte *Parmelia physodes* verwendet, die sehr weit verbreitet ist. Die Färbung dieser Flechte ist nicht konstant, farbliche Nuancen zwischen grünen und grauen Tönen treten auf. Wir beschafften *Parmelia ph.* von den Hohne-Klippen im Oberharz (900 m ü. d. M.), weil hier ein von Immissionen kaum beeinflusstes Gebiet vorliegt. Als Entnahmebäume standen nach Absprache mit dem dort zuständigen Forstwirtschaftsbetrieb und den Naturschutzorganen Fichten zur Verfügung. Eichen sollen allerdings besonders für die Entnahme geeignet sein, da Eichenrinde kaum abblättert. Die Flechten werden mit ihrer Rindenunterlage ausgestanzt. Für den Ausstemmungsvorgang benutzen wir eine kreisförmig gebogene, 4,0 cm hohe Stahlklinge mit einem Durchmesser von 3,8 cm. Diese Klinge wird so zusammengebogen, daß zwischen ihren beiden Enden ein Schlitz von 0,1 cm verbleibt. So kann man mit Hilfe einer Rundzange die unter Federdruck stehende Klinge etwas zusammendrücken und ohne Schwierigkeiten aus dem Klingenthaler entfernen. Der Klingenthaler aus Stahl ist 14 cm lang und 2,5 cm breit. Der runde Stahlschaft trägt an einem Ende einen hohlen Klingenthaler, in welchen die Stahlklinge eingesetzt wird. Diese wird mit Hilfe eines Hammers in die Borkenschicht hineingeschlagen. Die Verletzungen der Borkenschicht können zwecks Verhinderung parasitärer Infektionen mit Baumwachs zugeschmiert werden.

Die mit Flechten bewachsenen Borkenscheiben wurden jeweils in 10 entsprechende Vertiefungen mit Baumwachs in mit Bootslack konservierten Flechtenexpositionstafeln aus Holz eingesetzt (Holztafel 29,0 cm · 12,0 cm · 2,5 cm; Aussparungen: \varnothing 4,5 cm; Tiefe: 1,5 cm). Eine Kennzeichnung der Tafeln ist mit chinesischer Ausziehtusche möglich, die anschließend mit Etikettenlack überzogen werden sollte. Die Tafeln sind in ihrer Mittellinie mit zwei Löchern versehen, die eine Befestigung in senkrechter Lage an entsprechenden Meßpfählen oder Baumstämmen in 1,50 m Höhe mit Nordorientierung gestatten. Mit Hilfe von Steckschrauben und Flügelmuttern ist ein schnelles Anbringen und Entfernen der Tafeln an einem waagerechten schmalen Trägerbrett möglich.

Substratschädigungen an *Parmelia* dokumentieren sich in Farbänderungen der Flechten, die farbphotographisch registriert werden können. Die Zeitabstände zwischen den einzelnen Aufnahmen müssen den jeweiligen Absterbeverhältnissen angepaßt werden. Die Farbdiapositivaufnahmen wurden mit einer Kleinbildkamera unter Verwendung von ORWocolor- und ORWOchrom-Umkehrfilmen UT 16 und UT 18 (VEB Filmfabrik Wolfen) mit Einsatz des Blitzlichtgerätes „Minitron“ (VEB Elgawa Plauen) gemacht. Zur Auswertung des Diapositivmaterials setzten wir zwei Filius-IV-Projektoren (VEB Pentacon Dresden) ein, mit denen immer das aktuell zu beurteilende und das jeweils zuvor gemachte Bild gleichzeitig projiziert wurden. Bei der Auswertung

wurde der lebende und der abgestorbene Anteil der Flechten mit Hilfe eines über die projizierten Borkenkreisscheiben gehefteten kreisförmigen Quadratnetzes bestimmt.

Man kann aber auch ohne Farbphotographie auskommen, indem man nur den Zeitraum zwischen Ausbringetag der Flechten und vollständigem Absterben bestimmt. Ein Vergleich dieser Zeiträume von verschiedenen Meßpunkten kann schon erste wertvolle Anhaltspunkte über die Immissionsituation bringen.

Die ausgestanzten Borkenkreisscheiben können auch wieder in andere Baumstämme am Meßort eingesetzt werden, wie wir es am Rande eines Naturschutzgebietes praktizierten. Diese Anbringung ist nicht so auffällig wie die Anbringung an Pfählen, und daher braucht man sich nicht um abgeschlossene Grundstücke zu bemühen. Sollte man nicht die Möglichkeit haben, sich z. B. von einem Mechaniker einen der obigen Schilderung entsprechenden einfachen Stanzapparat anfertigen zu lassen, so besteht noch die Möglichkeit, mit einem stabilen, scharfen Messer genormte mit *Parmelia* bewachsene Rindenstücke (z. B. 2,0 cm · 2,0 cm) aus der Borke herauszuschneiden und dann auf dementsprechend vorbereiteten Holztafeln zu exponieren. Wo die ehrenamtlichen Mitarbeiter des Naturschutzes eine Beeinflussung der Vegetation oder auch der Tierwelt durch Immissionen vermuten, könnte eine Exposition von *Parmelia physodes* nach beschriebener Methodik mindestens zur Vorabklärung der betreffenden Situation führen. Unbeeinflusste *Parmeliathalli* würden jede chemisch-physikalische Messung der Immissionskomponenten SO₂ und Fluorverbindungen überflüssig machen. Bald eintretende Schäden an der Indikatorflechte könnten gezielte chemische Messungen notwendig machen, die von den Hygieneinstituten der Bezirke durchgeführt werden müßten, deren Meßkapazität allerdings begrenzt ist und sich auf medizinisch-hygieneische Fragestellungen konzentriert. Auch Stationen junger Naturforscher hätten bei Anwendung dieser Methode ein weiteres interessantes Betätigungsfeld, um gegebenenfalls in Kleinstädten oder Luftkurorten an verschiedenen Meßpunkten das Überleben oder Absterben der Testflechte *Parmelia physodes* zu registrieren.

Verfasser ist gern bereit, Interessenten praktisch zu beraten.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Wirkung der Luftverunreinigungs-komponenten SO₂, von Fluorverbindungen, von Chlor und Salzsäure, von nitrosen Gasen und von Stäuben verschiedenster Herkunft auf die Vegetation wird beschrieben unter Berücksichtigung der entsprechend ausgelösten Schadbilder und physiologischen Schäden. Als biologische Nachweisverfahren für das Vorhandensein von Luftverunreinigungen werden das Fangpflanzenverfahren und die Flechtenexpositionsmethode vorgestellt. Die Anwendungsmöglichkeit der Indikatorflechte *Parmelia physodes* im Bereich des Natur- und Landschaftsschutzes wird untersucht.

S c h r i f t t u m

- Arzani, G.: Ökophysiologische Untersuchungen über die SO₂-, HCl- und HF-Empfindlichkeit verschiedener Flechtenarten. Inaugural-Dissertation. Gießen 1974.
- Beschel, R.: Flechtenvereine der Städte, Stadtflechten und ihr Wachstum. Ber. naturw.-med. Ver. Innsbruck 52 (1958) 7–156.
- Bohne, H.: Zur Problematik des Nachweises der Einwirkungen gasförmiger chlorhaltiger Immissionen auf Pflanzen. Staub, Reinhalt. Luft 29 (1969) 379–381.
- Bolay, A., und E. Bovay: Observations sur la sensibilité aux gaz fluorés de quelques especes végétales du Valais. Phytopath. Z. 53 (1965) 289–298.
- Bortenschläger, S.: Luftverunreinigung und Flechtenverbreitung in Linz. Ber. naturw.-med. Ver. Innsbruck 53 (1963) 23–27.

- Bortenschläger, S.: Flechtenverbreitung und Luftverunreinigung in Wels. Naturkundl. Jb. Stadt Linz (1969) 207–212.
- Börlitz, S., und H. Ranft: Zur SO_2 - und HF-Empfindlichkeit von Flechten und Moosen. Biol. Zbl. **91** (1972) 613–623.
- Brettschneider, H.: Die Wirkung von Chlorwasserstoff auf verschiedene Flechtenarten. Staatsexamensarbeit. Gießen 1972.
- Brodo, I. M.: Transplant experiments with corticolous lichens using a new technique. Ecology **42** (1961) 838–841.
- Buck, M.: Die Bedeutung des Immissionsschutzes für die Vegetation. Staub, Reinhalt. Luft **30** (1970) 26–31.
- Comeau, G., und F. Le Blanc: Influence du fluor sur le *Funaria hygrometrica* et l'*Hypogymnia physodes*. Can. J. Bot. **50** (1972) 847–856.
- Dässler, H.-G.: Industrieimmissionen und Vegetationsschäden. Z. ges. Hyg. **15** (1969) 827–829.
- Dässler, H.-G., und H. Ranft: Das Verhalten von Flechten und Moosen unter dem Einfluß von Schwefeldioxidbegasung. Flora **158** (1969) 427–449.
- Domrös, M.: Luftverunreinigung und Stadtklima im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet und ihre Auswirkung auf den Flechtenbewuchs der Bäume. Arb. Rhein. Landeskunde **23** (1966) 5–132.
- Garber, K.: Luftverunreinigung und ihre Wirkungen. Berlin-Nikolassee: Gebrüder Bornträger 1967.
- Gilbert, O. L.: Lichens as indicators of air pollution in the Tyne Valley. Ecology and Industrial Society (1965) 35–47.
- Gilbert, O. L.: The effects of SO_2 on lichens and bryophytes around Newcastle upon Tyne. Air Pollution (Wageningen) (1969) 223–235.
- Gilbert, O. L.: The effect of air borne fluorides on lichens. Lichenologist **5** (1971) 26–32.
- Guderian, R., H. van Haut und H. Stratmann: Probleme der Erfassung und Beurteilung von Wirkungen gasförmiger Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz **67** (1960) 257–264.
- Guderian, R., und H. Stratmann: Freilandversuche zur Ermittlung von Schwefeldioxidwirkungen auf die Vegetation. I. Teil: Übersicht zur Versuchsmethodik und Versuchsauswertung. Forschungsber. NRW (Köln und Opladen) Nr. 1118 (1962).
- Guderian, R., H. van Haut und H. Stratmann: Experimentelle Untersuchungen über pflanzenschädigende Fluorwasserstoff-Konzentrationen. Forschungsber. NRW (Köln und Opladen) Nr. 2017 (1969).
- Guderian, R., und H. van Haut: Nachweis von Schwefeldioxid-Wirkungen an Pflanzen. Staub, Reinhalt. Luft **30** (1970) 17–26.
- Van Haut, H.: Die Analyse von Schwefeldioxid-Wirkungen auf Pflanzen im Laboratoriumsversuch. Staub, Reinhalt. Luft **21** (1961) 52–56.
- Van Haut, H., und H. Stratmann: Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Stickstoffdioxid auf Pflanzen. Schriftenreihe der Landesanst. f. Immissions- u. Bodennutzungsschutz d. Landes NRW **7** (1967) 50–70.
- Hölte, W.: Über Fluorschäden an landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Gewächsen durch Düngemittelfabriken. Ber. Landesanst. Bodennutzungsschutz NRW (1960) 43–62.
- Horn, K.-W.: Allgemeine und Kommunale Hygiene. Berlin: VEB Verlag Volk und Gesundheit 1964.
- Jäger, H.: in „Der Wald“. Leipzig-Jena-Berlin: Urania-Verlag 1973.
- Johnson, F., D. Allmendinger, V. Müller und C. Gould: Leaf scorch of gladiolus caused by atmospheric fluoric effluents. Phytopath. **40** (1950) 239–246.
- Keller, T.: Auswirkungen der Luftverunreinigungen auf die Vegetation. In: „Schutz unseres Lebensraumes“. Frauenfeld: Verlag Huber 1971, S. 160–170.

- Kirschbaum, U., R. Klee und L. Steubing: Flechten als Indikatoren für die Immissionsbelastung im Stadtgebiet von Frankfurt a. M. Staub, Reinhalt. Luft **31** (1971) 21–24.
- Kirschbaum, U.: Flechtenkartierungen in der Region Untermain zur Erfassung von Immissionsbelastungen. Tagungsber. Ges. f. Ökologie. Gießen 1972.
- Kisser, J.: Praktische und experimentelle Erfahrungen über die Fluor-Resistenz von Holzgewächsen. Vortrag Arbeitstagung „Fluor-Wirkung“. Düsseldorf 1964.
- Klee, R.: Die Wirkung von gas- und staubförmigen Immissionen auf Respiration und Inhaltsstoffe von *Parmelia physoides*. Dissertation. Gießen 1969.
- Klement, O.: Die Flechtenvegetation der Stadt Hannover. Beitr. Naturkde. Niedersachsen **11** (1958) 56–60.
- Klocke, A., und K. Riebartsh: Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen. Naturwiss. **55** (1964) 367–368.
- De Koning, H. W., und L. Jegier: Effects of sulfur dioxide and owne on *Eugenia gracilis*. Atm. Environment. **4** (1970) 357–361.
- Krüger, E.: Rauchschäden durch Zink. Freiburger Forschungsh. Ausg. B **6** (1951) 47–51.
- Le Blanc, F., G. Comeau und D. N. Rao: Fluoride injury symptoms in epiphytic lichens and mosses. Can. J. Bot. **49** (1971) 1991–1998.
- Le Blanc, F., D. N. Rao und G. Comeau: The epiphytic vegetation of populus balsamifera and its significance as an air pollution indicator in Sudbury, Ontario. Can. J. Bot. **50** (1972) 519–528.
- Mielke, U.: Das Wachstum rindenbewohnender Flechten in der Kleinstadt Osterburg/Altmark (DDR). Hercynia N. F. **7** (1970) 111–114.
- Mielke, U.: Epixyle Flechten in der Stadt Magdeburg. Hercynia N. F. **8** (1971) 172–177.
- Mohamed, Aly H.: Cytogenetic effects of hydrogen fluoride treatment in tomato plants. J. Air Pollution Control. Assoc. **18** (1968) 395–398.
- Nash, T. H.: Lichen sensivity to hydrogen fluoride. Bull. of the Torrey Bot. Club **98** (1971) 103–106.
- Natho, G.: Die Verbreitung der epixylen Flechten und Algen im Demokratischen Berlin. Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, Math.-nat. R. **13** (1964) 53–75.
- Oelschläger, W., und E. Moser: Das Ausmaß von Fluorschädigung bei Pflanzen durch gasförmiges Fluor in Abhängigkeit von Umweltfaktoren sowie durch staubförmiges Fluor und durch Düngung. Staub, Reinhalt. Luft **29** (1969) 377–379.
- Oelschläger, W.: Problematik der Immissionsmessungen von Fluor hinsichtlich der Wirkungen auf Pflanze und Tier. Staub, Reinhalt. Luft **31** (1971) 457–459.
- Rao, D. N., und F. Le Blanc: Effects of sulphur dioxide on the lichen alga, with special reference to chlorophyll. Bryol. **69** (1965) 69–75.
- Ruge, U., und D. Förster: Versuch zur Beurteilung des Stadtklimas von Hamburg auf Grund der Verbreitung epiphytischer Flechten. Städtehygiene **2** (1970) 30–32.
- Rydzak, J.: Verbreitung und Ökologie der Flechten der Stadt Lublin (Poln.). Annales Univers. Mariae Curie-Skladowska **8** (1953) 233–356 (Sect. C).
- Rydzak, J.: The influence of small towns on lichens vegetation. Part 1: Dolny Śląsk-Kluczbork, Wołczyn, Opole, Cieszyn. Annales Univers. Mariae Curie-Skladowska **10** (1957) 1–32 (Sect. C).
- Rydzak, J.: The influence of small towns on lichens vegetation. Part 2: Beskidy Zachodnie-Wisla, Ustrón, Muszyna, Iwonicz, Rymanów, Lesko. Annales Univers. Mariae Curie-Skladowska **10** (1957) 33–66 (Sect. C).
- Rydzak, J.: The influence of small towns on lichens vegetation. Part 3: Tatry-Zakopane. Annales Univers. Mariae Curie-Skladowoska **10** (1957) 157–175 (Sect. C).
- Rydzak, J.: The influence of small towns on lichens vegetation. Part 4: Lubelszczyzna, Kieleckie, Podlasie – Pulawy, Zamósć, Busko, Siedlce, Białowieża. Annales Univers. Mariae Curie-Skladowoska **10** (1957) 321–398 (Sect. C).

- Rydzak, J.: The influence of small towns on lichens vegetation. Part 5: Kotlina Klodzka-Klodzko, Kudowa, Duzniki, Polanica, Ladek, Stronie Slaskie. *Annales Univers. Mariae Curie-Skladowska* 11 (1959) 25–50 (Sect. C).
- Rydzak, J.: The influence of small towns on lichens vegetation. Part 6: Region Baltycki-Miedzyzdroje, Ustka, Leba. *Annales Univers. Mariae Curie-Skladowska* 11 (1959) 51 (Sect. C).
- Rydzak, J.: The influence of small towns on lichens vegetation. Part 7: Discussion and general conclusions. *Annales Univers. Mariae Curie-Skladowska* 13 (1958) 275–323 (Sect. C).
- Scholl, G.: zitiert b. Schönbeck, H., u. a. (1970).
- Schönbeck, H.: Einfluß von Luftverunreinigungen (SO₂) auf transplantierte Flechten. *Die Naturwissenschaften* 55 (1968) 451–452.
- Schönbeck, H.: Eine Methode zur Erfassung der biologischen Wirkung von Luftverunreinigungen durch transplantierte Flechten. *Staub, Reinhalt. Luft* 29 (1969) 14–18.
- Schönbeck, H., M. Buck, H. van Haut und G. Scholl: Biologische Meßverfahren für Luftverunreinigungen. VDI-Berichte Nr. 149 (1970) 225–236.
- Schubert, R., und W. Fritsche: Beitrag zur Einwirkung von Luftverunreinigungen auf xerische Flechten. *Arch. Natursch. Landsch.-forsch.* 5 (1965) 107–111.
- Schubert, R.: Lichens as bioindicators for SO₂ atmospheric-pollution in cities and industrial areas. Vortrag in Tokio (Japan) 1974.
- Schuschke, G., U. Mielke und H.-D. Schulze: Rindenbewohnende Flechten als lufthygienischer Bioindikator in Magdeburg. *Z. ges. Hyg.* 20 (1974) 415–421.
- Showman, R. E.: Effects of sulphur dioxide on net photosynthesis and chlorophyllcontent in lichen thalli and cultured lichen symbionts. Diss. Ohio State Univ., 1971.
- Steiner, M., und D. Schulze-Horn: Über die Verbreitung und Expositionsabhängigkeit der Rindenepiphyten im Stadtgebiet von Bonn. *Decheniana* 108 (1955) 1–16.
- Steubing, L.: Immissionskataster als Bestandteil des Landschaftskatasters. *Natur u. Landsch.* 48 (1973) 39–43.
- Villwock, J.: Ökologisch-physiologische Untersuchungen zur Frage von Großstadteinflüssen auf die Verbreitung epiphytischer Flechten. Diss. Hamburg, 1959.
- Villwock, J.: Der Stadteinfluß Hamburgs auf die Verbreitung epiphytischer Flechten. *Abh. u. Verh. Naturw. Ver. in Hamburg, N. F. VI* (1962) 147–166.
- Voigtländer, D.: Die epiphytische Flechtenvegetation der Stadt Halle a. S. und ihre Beeinflussung durch Luftverunreinigung und Stadtklima. Staatsexamensarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1969.
- Wentzel, K.-F.: Landschaftsschutz gegen Immissionen. Referat Nr. 10.329. *Staub, Reinhalt. Luft* 26 (1966) 554–555.
- Wentzel, K.-F.: Empfindlichkeit und Resistenzunterschiede der Pflanzen gegenüber Luftverunreinigung. *Forstarch.* 39 (1968) 189–194.
- Wolf, G.: Studien über Flugstaubschäden im Walde in der Nähe von Zementwerken. Diplomarb. Tharandt 1956.
- Zahn, R.: Über den Einfluß verschiedener Umweltfaktoren auf die Pflanzenempfindlichkeit gegenüber Schwefeldioxid. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz* 70 (1963) 81–95.

Dipl.-Biol. Dr. rer. nat. U. Mielke
 Medizinische Akademie Magdeburg
 DDR - 301 Magdeburg
 Leipziger Straße 44