Fachinformationsdienst Biodiversitätsforschung

UB Universitätsbibliothek Frankfurt am Main

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

FID Biodiversitätsforschung

Bioindikatoren

Ergebnisse des Symposiums: Tiere als Indikatoren für Umweltbelastungen
8. bis 11. März 1981 in Köln

Höhere Pflanzen als Indikatoren für Immissionsbelastungen im terrestrischen Bereich

Guderian, Robert

1982

Digitalisiert durch die *Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main* im Rahmen des DFG-geförderten Projekts *FID Biodiversitätsforschung (BIOfid)*

Weitere Informationen
Nähere Informationen zu diesem Werk finden Sie im:
Suchportal der Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main.

Bitte benutzen Sie beim Zitieren des vorliegenden Digitalisats den folgenden persistenten Identifikator:

urn:nbn:de:hebis:30:4-172750

Visual Library

Decheniana – Beihefte (Bonn) 26, 6–22 (1982)

Höhere Pflanzen als Indikatoren für Immissionsbelastungen im terrestrischen Bereich

Robert Guderian und Konrad Reidl

Kurzfassung

Die Bereitstellung geeigneter Daten für Maßnahmen sowohl im prophylaktischen als auch im nachträglichen Immissionsschutz ist unter den derzeitig vorherrschenden Immissionsbedingungen, gekennzeichnet durch lang anhaltende Einwirkungen niedriger Konzentrationen und weitverbreitetes Auftreten komplexer Luftverunreinigungstypen, sehr erschwert. Hieraus resultieren verstärkte Bemühungen, vorliegende Belastungen und Gefährdungen terrestrischer Ökosysteme über Wirkungsfeststellungen an Lebewesen zu ermitteln.

Nach einer kurzen Beschreibung der verschiedenartigen Reaktionen pflanzlicher Organismen auf Luftverunreinigungen wird dargelegt, wie sich über höhere Pflanzen als biologische Indikatoren immissionsbedingte Wirkungen nach Art, Ausprägung, räumlicher Ausdehnung und Ursache erfassen lassen.

Als Wirkungskriterien kommen neben morphologisch-anatomischen sowie physiologischen und biochemischen Veränderungen die Schadstoffakkumulation, Wuchsdepressionen und Änderungen in Aufbau und Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften in Betracht. Bei der Auswahl von Indikatorpflanzen für Immissionsbelastungen haben neben besonders empfindlichen auch weitgehend resistente Arten Bedeutung erlangt. Besitzen erstere einen hohen Zeigerwert, so gestatten letztere den Nachweis immissionsbedingter Schadstoffanreicherungen und damit auch die Erfassung mittelbarer Gefährdungen über die Nahrungskette.

Aufgrund der Abhängigkeit der pflanzlichen Reaktion von den genetischen Voraussetzungen sowie unterschiedlichen biotischen und abiotischen Umweltfaktoren lassen sich optimale Ergebnisse mit Pflanzen als Immissionsindikatoren nur erzielen, wenn neben der Pflanzenanzucht die Expositionsmethode standardisiert ist. Der Exposition standardisierter Objekte in Gefäßen oder Parzellen in freier Atmosphäre einerseits und in Systemen mit gefilterter und ungefilterter Luft andererseits kommt daher eine große Bedeutung zu.

Vergleichende Betrachtungen zur Eignung biologischer und chemisch-physikalischer Verfahren zeigen die Notwendigkeit für den Einsatz beider Erhebungssysteme. Der Stellenwert biologischer Indikatoren ergibt sich insbesondere daraus, daß sie Wirkungsaussagen ermöglichen, auf das Vorliegen phytotoxisch wirksamer Komponenten im Ökosystem aufmerksam machen, die Gesamtbelastung zu beurteilen gestatten und Prognosen für die Gefährdung anderer Glieder im Ökosystem erlauben.

Abschließend werden vordringlich zu bearbeitende Forschungsthemen zur Eignung höherer Pflanzen als Indikatoren für Immissionsbelastungen in terrestrischen Ökosystemen formuliert.

Abstract

The prevailing air pollution situation, characterized by long-term action of low concentrations and widespread occurrence of complex types of air pollution, complicates the supply of suitable data for measures for prevention or later corrections of air pollution effects. Therefore efforts are necessary to determine present air pollution stress and risks to terrestrial ecosystems through use of effects on living things.

After a short description of different responses of plants to air pollution, the suitability of higher plants as biological indicators for measuring the type, expression, spatial extension and cause of effects of pollutants is demonstrated.

Effects-criteria can be morphological, anatomical, physiological and biochemical changes as well as accumulation of pollutants, growth-depressions and changes in structure and function of plant communities. Indicator plants may be particularly sensitive as well as resistant species. While sensitive species have a high significance for showing air pollution effects, resistant species may be used for accumulation of pollutants and help in the determination of indirect risks through food-chains.

As the reactions of plants are dependant on genetic characteristics as well as on biotic and abiotic environmental factors, optimal results using plants as indicators can be obtained only with standardized methods for cultivating and exposure of indicator plants. Hence, the exposition of standardized objects in free atmosphere and in systems with filtered and nonfiltered air is of great importance.

Comparative studies of the suitability of biological and physico-chemical methods show the necessity for the use of both methods. The importance of biological indicators results from the capability for assessing effects, for pointing out the existence of phytotoxic components in the ecosystem and for yielding information on the general stress as well as on risks to other parts of the ecosystem.

Finally, important areas of research on the suitability of higher plants as indicators for air pollutants in terrestrial ecosystems are presented.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

1. Einleitung

Unter den derzeitig vorherrschenden Immissionsbedingungen, gekennzeichnet durch lang anhaltende Einwirkungen niedriger Konzentrationen und weitverbreitetes Auftreten komplexer Luftverunreinigungstypen, ist die Bereitstellung geeigneter Daten für Maßnahmen sowohl im prophylaktischen als auch im nachträglichen Immissionsschutz sehr erschwert. Chemisch-physikalische Emissions- und Immissionsmessungen erweisen sich hier als alleinige Methoden in zunehmendem Maße als unzureichend bei der Erkennung von Grad und Ursachen immissionsbedingter Gefahren. Hieraus resultieren verstärkte Bemühungen, vorliegende Belastungen und Gefährdungen terrestrischer Ökosysteme über Wirkungsfeststellungen an Lebewesen zu ermitteln. Mit der vorliegenden Ausarbeitung wird versucht, anhand einer Analyse der Literatur und von Erfahrungen aus der Praxis die Möglichkeiten und auch die Grenzen bei der Verwendung höherer Pflanzen als Immissionsindikatoren aufzuzeigen.

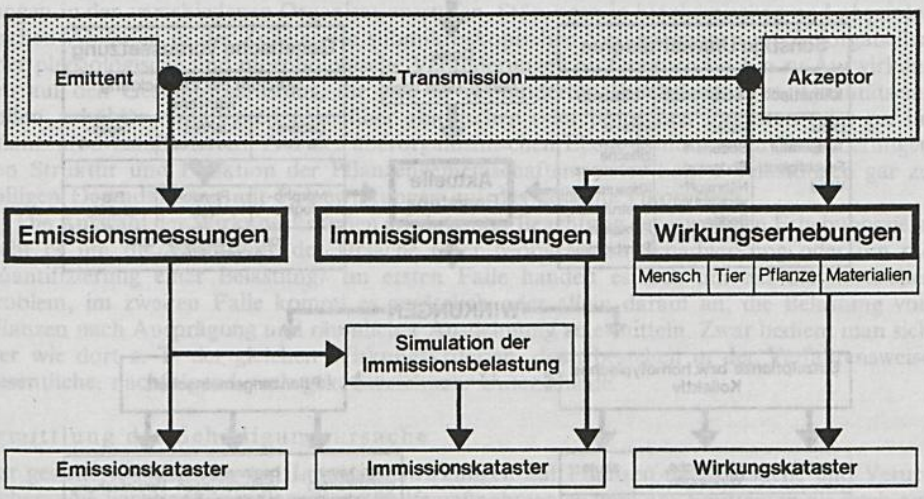

Abbildung 1. Methoden zur Erkennung und Erfassung von Luftverunreinigungen und deren Wirkungen.

2. Eignung höherer Pflanzen als Immissionsindikatoren

2.1. Allgemeine Voraussetzungen

Zur Erkennung, quantitativen Erfassung und Bewertung von Luftverunreinigungen kommen chemisch-physikalische und biologische Methoden in Betracht (Abb. 1).

Mit chemisch-physikalischen Verfahren lassen sich die Emissionen am Ort des Überganges aus der Quelle in die Atmosphäre und die dort während der Transmission ablaufenden Vorgänge ebenso messen wie die Immissionen in bodennahen Luftschichten. Die Emissionsdaten bilden zusammen mit den Angaben über die Austritts- und Ausbreitungsbedingungen die Grundlage für die Simulation von Immissionsbelastungen mit Hilfe von Ausbreitungsrechnungen. Die genannten Methoden ermöglichen es, die Belastung der Luft mit bestimmten Verunreinigungskomponenten hinsichtlich des Konzentration-Zeit-Musters zu quantifizieren. Damit ist zugleich – unter der Voraussetzung, daß die Dosis-Wirkungsbeziehungen für die betreffende Komponente bekannt sind – die Möglichkeit für Gefährdungsprognosen in einzelnen Teilräumen gegeben.

Konkrete Aussagen hinsichtlich zu erwartender Schadwirkungen an den Pflanzen sind indessen, außer bei sehr hohen Belastungen, nicht möglich; denn ob es im Einzelfalle zu einer bestimmten Wirkung kommt, hängt nicht nur vom Schadstoffangebot, sondern auch von der genetisch und umweltbedingten Resistenz der betreffenden biologischen Objekte ab (Abb. 2). Zuverlässige Aussagen über die tatsächliche Reaktion sind mithin nur über Wirkungsfeststel-

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg Frankfurt am Main

lungen möglich. Darauf beruhen Eignung und Vorteil von Lebewesen zur Erkennung, Erfassung und Bewertung von Luftverunreinigungen. Pflanzen eignen sich besonders als Immissionsindikatoren. Sie reagieren auf verschiedene, zugleich weitverbreitete Luftverunreinigungen nicht nur sehr empfindlich, sondern z. T. auch spezifisch. Hinzu kommt, daß Pflanzen vergleichbaren Erhebungen leichter zugänglich sind als Mensch und Tier, denn sie sind standortgebunden, meist in hohen Individuenzahlen vorhanden und weitgehend erfaßbaren Umweltbedingungen ausgesetzt.

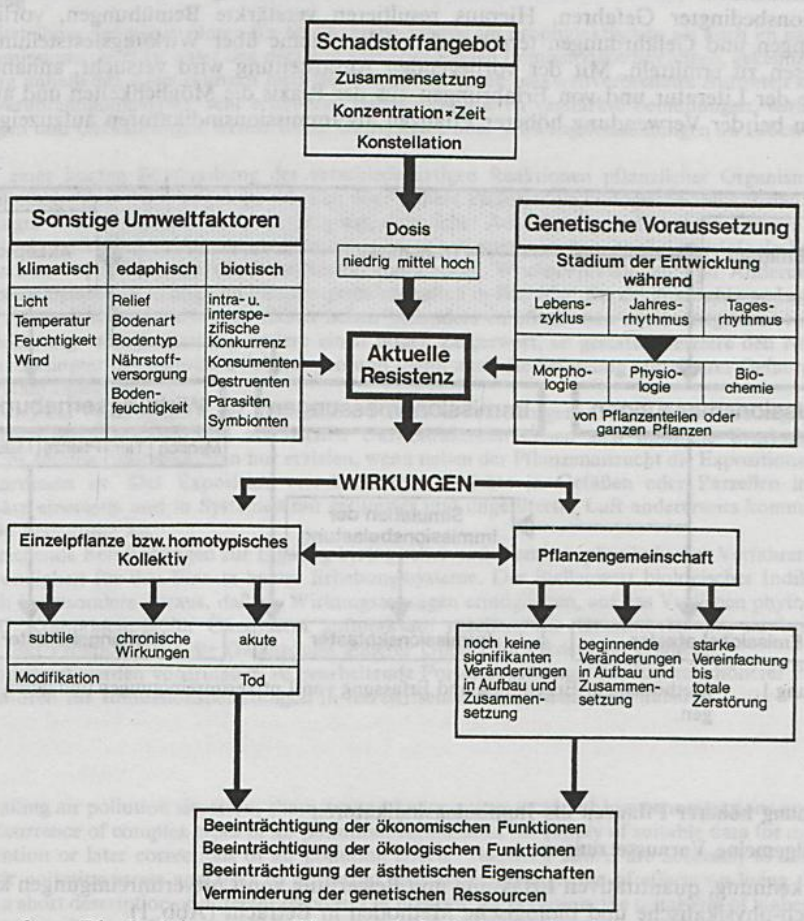

Abbildung 2. Die Reaktionen von Pflanzen als Individuum, Population und Gemeinschaft auf Luftverunreinigungen in Abhängigkeit von verschiedenen wirkungsbestimmenden Faktoren.

Die Reaktion einer Pflanze auf eine Luftverunreinigung wird primär bestimmt durch ihre genetische Ausstattung und ihre Entwicklung zum Zeitpunkt der Einwirkung, sekundär durch den die Wirkung modifizierenden Einfluß der verschiedenen äußeren Faktoren. In Abhängigkeit von Höhe und Konstellation des Schadstoffangebotes, dem Entwicklungsstadium der Pflanze und der durch Boden, Klima und biotische Interferenzen gegebenen Umwelt kommt es an der Einzelpflanze zu akuten, chronischen oder subtilen Schädigungen, an Pflanzengemeinschaften zu unterschiedlich starken Veränderungen ihrer Zusammensetzung und ihres Aufbaues bis hin zur totalen Zerstörung. Beeinträchtigungen der ökonomischen und ökologischen Leistungen der betreffenden Pflanzen können die Folge sein, weiterhin Minderungen ihrer ästhetischen Eigenschaften und schließlich gar Generosionen durch Aussterben von Arten.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

Das — hier grob skizzierte — Beziehungsgefüge zwischen Immission und Wirkung bestimmt die Leistung von Pflanzen als Immissionsindikatoren und dient folglich als Grundlage für die Auswahl geeigneter Indikationsobjekte, spezieller Wirkungskriterien und der Verfahren zur Wirkungserfassung.

2.2. Auswahl von Wirkungskriterien

Pflanzen stimmen mit anderen Lebewesen darin überein, daß sie auf äußere Reize wie Luftverunreinigungen in vielfältiger Weise reagieren. Der sich aus dieser Irritabilität ergebende Reizerfolg stellt das für Indikationszwecke geeignete Kriterium dar. Die Unterschiede in der Wirksamkeit der Luftverunreinigungen äußern sich in verschiedenartigen und im allgemeinen quantitativ erfaßbaren Pflanzenreaktionen. Somit können Pflanzen als Indikatoren für biologisch wirksame Immissionen dienen; sie erlauben Aussagen über deren Wirkungen, wobei hier unter Wirkungen alle erfaßbaren Veränderungen verstanden werden sollen.

Die Reaktionen von Pflanzen auf Luftverunreinigungen reichen von Schadstoffanreicherungen in den verschiedenen Organisationsstufen, Störungen in biochemischen und physiologischen Abläufen in der Zelle sowie submikroskopischen Veränderungen an Zellorganellen über physiologische und morphologische Veränderungen an Organen bis hin zu Auswirkungen auf den Gesamtorganismus, die sich in verminderten Wuchsleistungen, Qualitätseinbußen, erhöhter Anfälligkeit gegenüber abiotischen oder biotischen Faktoren oder gar im Pflanzentod manifestieren. Auf der überorganismischen Ebene kommt es zu Veränderungen von Struktur und Funktion der Pflanzengemeinschaften, unter hohen Belastungen gar zu völligen Degradationen mit Folgewirkungen auf das gesamte Ökosystem.

Die Auswahl der Wirkungskriterien erfolgt unter Beachtung des jeweiligen Erhebungsziels. Geht es um die Ermittlung der Ursache einer beobachteten Schadwirkung oder um die Quantifizierung einer Belastung? Im ersten Falle handelt es sich um ein diagnostisches Problem, im zweiten Falle kommt es zusätzlich oder allein darauf an, die Belastung von Pflanzen nach Ausprägung und räumlicher Ausdehnung zu ermitteln. Zwar bedient man sich hier wie dort z. T. der gleichen Wirkungskriterien, doch bestehen in der Verfahrensweise wesentliche, nachfolgend grob gekennzeichnete Unterschiede.

Ermittlung der Schädigungsursache

Der gesicherte Nachweis von Immissionswirkungen auf Pflanzen nach Ursache und Verursacher, eine wichtige Grundlage für Abhilfemaßnahmen sowohl am Emittenten als auch am Ort der Wirkung, setzt sich aus zwei Phasen zusammen: Dem Ausschluß möglicher anderer Ursachen abiotischer oder biotischer Art und dem direkten Nachweis der Immissionswirkungen (Guderian & van Haut 1970, Guderian & Vogels 1980).

Der direkte Nachweis erfolgt im allgemeinen im Wege der Differentialdiagnose. Die einzelnen durch Luftverunreinigungen ausgelösten Reaktionen sind nämlich durchweg nicht so spezifisch, daß sie für sich alleine eine sichere Identifizierung der schadauslösenden Komponente zulassen würden. In einer vielfach auf Indizien aufzubauenden Beweisführung kann erst über mehrere, in ihrer Aussage übereinstimmende Kriterien eine zuverlässige Diagnose gestellt werden. Im einzelnen pflegt sich der Nachweis zu stützen auf Untersuchungen zum unterschiedlichen Resistenzverhalten von Pflanzen in homo- und heterotypischen Kollektiven, Analysen äußerer Schädigungsmerkmale sowie chemische und physiologische Pflanzenanalysen an der Standortvegetation, Boden- und Luftanalysen und schließlich auf die Exposition von Indikatorpflanzen. Die größte praktische Bedeutung haben die phänomenologischen Untersuchungen und der Nachweis immissionsbedingter Schadstoffanreicherungen in der Pflanzensubstanz erlangt. Über geeignete Kombinationen derartiger Methoden lassen sich heute im allgemeinen, außer in Belastungsgebieten mit ausgesprochen komplexen Immissionstypen, die Ursachen immissionsbedingter Wirkungen gesichert nachweisen.

Ermittlung des Belastungsgrades

Kommt es in der Diagnose insbesondere auf möglichst komponentenspezifische Reaktionen an, so benötigt man zur Ermittlung des Belastungsgrades Kriterien, mit denen sich immissionsbedingte Wirkungen quantifizieren, d. h. nach Ausprägung und räumlicher Ausdehnung ermitteln lassen. Neben den auch in der Diagnostik verwendeten Kriterien, wie Nekrosen an Blättern oder Schadstoffanreicherungen in Pflanzenorganen, gelangen hier auch gänzlich unspezifische Wirkungen zur Anwendung. Eine besondere Bedeutung kommt den verschiede-

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

nen Formen der Zuwachsfeststellungen zu, wie Gesamtproduktion an Biomasse, Höhen- und Dickenzuwachs bei Forstkulturen oder Ertragshöhe bei landwirtschaftlichen Pflanzenarten. Wenig geeignet zur Ermittlung des Belastungsgrades sind leicht reversible Reaktionen, denn sie spiegeln naturgemäß nur eine bestimmte Momentansituation wider mit allen sich hieraus ergebenden Unsicherheiten in der Aussage. Die mehrfach erfolglosen Versuche, über die Ermittlung der Photosyntheseleistungen Immissionswirkungen zu erkennen und zu graduieren, seien hier als Beispiel für verfehlte Methodenwahl genannt.

2.3. Auswahl der Indikatorpflanzen

Die Eignung höherer Pflanzen als Immissionsindikatoren hängt primär von einer Reihe genetisch bedingter Voraussetzungen ab, wie ihrem Resistenzgrad, der Art ihrer Reaktion auf eine bestimmte Verunreinigungskomponente, ihrer Lebensdauer, ihrem jährlichen Wachstums- und Entwicklungszyklus und ihrer Robustheit gegenüber biotischen oder sonstigen abiotischen Streßfaktoren. Daneben sind noch verschiedene andere Faktoren maßgebend, wie Häufigkeit und Verbreitung im Immissionsgebiet oder die besondere Eignung zur Anzucht und Exposition in speziellen Systemen. Auf die Bedeutung des Resistenzverhaltens und die Art von Pflanzenreaktionen als den wichtigsten Kriterien für die Auswahl von Indikatorpflanzen soll nachfolgend kurz eingegangen werden.

Die einzelnen Pflanzenarten, ihre Varietäten und Herkünfte sowie schließlich die Individuen einer Art reagieren unterschiedlich stark auf eine gegebene Luftverunreinigung. Anders als bei bestimmten phytopathogenen Organismen (GÄUMANN 1951, GROSSMANN 1970) gibt es gegenüber Immissionen keine absolute Resistenz. Grundlage der relativen Resistenz einer Pflanze gegenüber Luftverunreinigungen ist die im Laufe der Phylogenie erworbene genetische Ausstattung (DOCHINGER, SELISCAR & BENDER 1965, ROHMEDER & VON SCHÖNBORN 1965), die die Rekationsnorm einer Pflanze jeweils determiniert. In Abhängigkeit von der Höhe des Immissionsstresses und der die Resistenz beeinflussenden inneren und äußeren Wachstumsfaktoren manifestiert sich die individuelle Reaktion in Indifferenz, Modifikation oder Tod der betroffenen Pflanze.

Die erheblichen artspezifischen Resistenzunterschiede bilden die Voraussetzung für die Aufstellung von „Resistenzreihen" bzw. von „Resistenzgruppen", wobei sich für praktische Maßnahmen des Immissionsschutzes die Unterscheidung in „sehr empfindliche", „empfindliche" und „weniger empfindliche" Pflanzenarten als zweckmäßig erwiesen hat. Als Indikatoren für Luftverunreinigungen haben naturgemäß die Arten besonders hoher bzw. niedriger Anfälligkeit Bedeutung erlangt: Die „sehr empfindlichen" Pflanzenarten besitzen aufgrund der bei ihnen frühzeitig auftretenden äußeren Schädigungsmerkmale oder auffälligen Wuchsbehinderungen einen hohen „Zeigerwert", die „weniger empfindlichen Pflanzenarten" bleiben auch unter hohen Belastungen häufig noch funktionstüchtig und eignen sich daher vor allem als „Akkumulationsindikatoren" zum Nachweis immissionsbedingter Schadstoffanreicherungen.

Generell ist den Wirkungskriterien bei der Beurteilung der Resistenz im Hinblick auf ihre Indikationseignung eine besondere Beachtung zu schenken. Geht es um den Nachweis von Immissionswirkungen an einzelnen Pflanzenarten, so greift man von vornherein auf Resistenzeinstufungen nach der Blattempfindlichkeit zurück (VAN HAUT & STRATMANN 1970, JACOBSON & HILL 1970). Dagegen sind zur Beurteilung der Anbaueignung von Pflanzen in der Land- und Forstwirtschaft oder zur Ermittlung von Schäden und Gefährdungen in Ökosystemen Kriterien auszuwählen, mit denen sich die Auswirkungen auf die Funktion der infragestehenden Pflanzenart erfassen und bewerten lassen. Dabei kommt es heute stärker als bisher darauf an, die mittelbaren Wirkungen auf andere Bestandteile im Ökosystem wie Konsumenten und Destruenten über die Nahrungskette zu erfassen. Der Nachweis immissionsbedingter Schadstoffanreicherungen in Pflanzenorganen mit Hilfe der chemischen Pflanzenanalyse hat damit eine besondere Bedeutung erlangt. Ihr Aussagewert hängt primär von der Höhe der aufgenommenen Schadstoffmenge im Vergleich zur Streubreite im natürlichen Gehalt der Pflanzen an eben diesen Elementen ab (GUDERIAN 1977). Ist die Schadstoffakkumulation im Vergleich zur Schwankungsbreite im natürlichen Gehalt gering, so kann die chemische Pflanzenanalyse nur als „Relativmethode" eingesetzt werden; d. h. von unterschiedlich belasteten Standorten sind von gleichen Pflanzenarten Proben zu entnehmen und miteinander zu vergleichen. Bei vergleichsweise hohen immissionsbedingten Schadstoffanreicherungen dagegen ist es möglich,

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

die chemische Pflanzenanalyse als „Absolutmethode" einzusetzen, d. h. die Überschreitung bestimmter Schadstoffgehalte in der pflanzlichen Trockensubstanz kann durchweg als immissionsbedingt angesehen werden.

Immissionsbedingte Schwermetallanreicherungen, z. B. von Zink oder Cadmium, wirken häufig weitaus weniger phytotoxisch als vergleichbare Gehalte bei Aufnahme aus dem Boden über die Wurzel (KRAUSE 1974, TURNER 1973). Die Pflanze hat hier ihre Indikatorfunktion zur Erkennung Mensch und Tier gefährdender Kontaminationen weitgehend verloren. Systematische Kontrollen mit Hilfe der chemischen Pflanzenanalyse sind deshalb unerläßlich, wie unter anderem ein kürzlich im Umgebungsbereich von Zementfabriken in Lengerich/NRW festgestelltes Auftreten von Thallium im Ökosystem mit Schadwirkungen an Pflanzen und Tieren belegt (MAGS & MELF 1980).

3. Verfahren für Wirkungsfeststellungen

Bei den Verfahren zur Feststellung immissionsbedingter Wirkungen haben wir zwischen Erhebungen an Kultur- und Wildpflanzen am natürlichen Wuchsort einerseits und an standardisierten, nach speziellen Methoden exponierten Indikatorpflanzen andererseits zu unterscheiden. Im ersten Falle sind – abgesehen von der seit kurzem möglichen Verwendung von Expositionssystemen mit gefilterter und ungefilterter Luft – alle Parameter, angefangen beim Indikationsobjekt bis hin zu den verschiedenen, die Schadwirkung bestimmenden inneren und äußeren Wachstumsfaktoren als gegeben hinzunehmen, im zweiten Falle teilweise regulierbar. Hieraus ergeben sich naturgemäß unterschiedliche Aussage- und Anwendungsmöglichkeiten.

3.1. Wirkungserhebungen an Kultur- und Wildpflanzen am natürlichen Wuchsort

3.1.1. Autökologische Erhebungen

Unter den Wirkungserhebungen an Kultur- und Wildpflanzen am natürlichen Wuchsort beanspruchen die autökologischen Feststellungen die größte Bedeutung bei der Erkennung immissionsbedingter Schäden, der Ermittlung ihrer Ursachen und der Feststellung der Schadenshöhe. Schadwirkungen an Pflanzen haben seit dem Beginn systematischer Untersuchungen über Immissionswirkungen vor etwa 130 Jahren mehrfach zuerst auf Immissionsbelastungen aufmerksam gemacht. Die in der Folge durchgeführten Untersuchungen an Einzelpflanzen oder an Populationen einzelner Arten führten z. B. zur Erkennung von Schwefeldioxid (STÖCKHARDT 1871), photochemischem Smog (MIDDLETON, KENDRICK & SCHWALM 1950) und Thallium als phytotoxische Luftverunreinigungen (MAGS & MELF 1980). Das dabei anzuwendende Instrumentarium ist bereits unter 2.2. kurz erwähnt worden; hier sei nur nachgetragen, daß in der Diagnostik dem Resistenzverhalten der Pflanzen eine große Bedeutung zukommt. Werden z. B. relativ SO_2-resistente Arten, wie Gladiolen, Tulpen oder Flieder vor den SO_2-empfindlichen Fichten-, Tannen- oder Kiefernarten geschädigt, so kommen weniger Schwefeldioxid- als Fluorwasserstoffimmissionen als Schädigungsursache in Betracht (GUDERIAN & VAN HAUT 1970).

Außer bei der Erkennung immissionsbedingter Schäden und der Ermittlung ihrer Ursachen spielen die autökologischen Erhebungen auch bei der Ermittlung der Schadenshöhe eine große Rolle. So wird beispielsweise der Benadelungsgrad an Fichten zur Kennzeichnung von Immissionsbelastungen (KNABE 1981) herangezogen. Über Untersuchungen zum Höhen- und Dickenzuwachs von Gehölzen lassen sich die Zuwachsminderungen in der Forstwirtschaft recht verläßlich erfassen (POLLANSCHÜTZ 1975). Jahrringchronologische Untersuchungen erlauben gar Rückschlüsse auf die Belastungen in früheren Jahren oder Jahrzehnten (WENTZEL 1962).

Mit der Entwicklung der Open-top-chamber sowie des Zonal-Air-Pollution-Systems bietet sich zusätzlich die Möglichkeit, Erhebungen unter naturnahen Bedingungen in Systemen mit und ohne Luftfilterung durchzuführen (vgl. hierzu 3.2.2.2.).

Die Ausführungen zum vorliegenden Abschnitt wurden bewußt knapp gehalten, da zu dieser Thematik bereits ein umfangreiches Schrifttum vorliegt (HECK & BRANDT 1977).

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

3.1.2. Synökologische Erhebungen

Die bisherigen Untersuchungen über Immissionswirkungen auf Pflanzen konzentrierten sich auf Individuen und homotypische Kollektive insbesondere wirtschaftlich wichtiger Pflanzenarten. Wie Vergesellschaftungen höherer Pflanzen auf Luftverunreinigungen reagieren, ist erst vergleichsweise wenig geprüft (GUDERIAN & KÜPPERS 1980). Nachfolgend sollen wesentliche hierzu vorliegende Faktoren kurz wiedergegeben werden mit dem Ziel, die erwiesene bzw. potentielle Eignung von Phytocoenosen als Immissionsindikatoren zu verdeutlichen.

Für die Beschreibung des Zusammenhanges zwischen Luftverunreinigungen und Pflanzengemeinschaften erscheint in Anlehnung an SMITH (1974) eine Unterteilung in hohe, mittlere und niedrige Belastungsstufen zweckmäßig (vgl. hierzu Abb. 2).

Charakteristisch für die Wirkungen hoher Immissionen auf Pflanzengemeinschaften ist ein mehr oder weniger deutlich ins Auge fallender Zusammenbruch des Gefüges. In Wäldern beispielsweise wird durch direkte akute und chronische Schädigung zunächst an empfindlichen Arten die Baumschicht zerstört. Ohne Schutz gegenüber den nun frei eintretenden Luftverunreinigungen werden nacheinander Strauch-, Kraut- und Moosschicht geschädigt bis hin zur Ausbildung vegetationsfreier Zonen (VAN HAUT & STRATMANN 1970).

Sofern die Belastungen nicht zu hoch sind, führt die mit beginnender Veränderung der ursprünglichen Vegetation einsetzende sekundäre Sukzession – unter gleichbleibenden Belastungen – im Verlaufe der Zeit zur Herausbildung neuer stabiler Strukturen geringerer Komplexität, von WOLAK (1971) als Industrioklimax-Gemeinschaften bezeichnet. Wie an Grenzstandorten schlechthin, treten hier in Übereinstimmung mit dem zweiten biocoenotischen Grundprinzip wenige Arten in hoher Abundanz auf.

Mittlere Belastungen erhalten ihre entscheidende ökonomische und ökologische Bedeutung dadurch, daß über vornehmlich chronische oder subtile Wirkungen auf die einzelnen Bestandespartner die Weichen für signifikante Veränderungen in Zusammensetzung und Aufbau von Pflanzengemeinschaften gestellt werden. Sind unter hohen Immissionen nahezu allein die unmittelbaren, direkten Schadwirkungen, die sog. Primärschädigungen maßgebend, so kommt unter mittleren Belastungen den „Sekundärwirkungen" eine wesentliche Bedeutung zu. Wir verstehen darunter immissionsbedingte Vitalitätsänderungen, die sich u. a. in erhöhten Anfälligkeiten gegenüber abiotischem und biotischem Streß (WENTZEL 1965, HUTTUNEN 1980, LAURENCE 1978) äußern.

Beispielsweise gradieren in den immissionsbelasteten Kiefernbeständen Sachsens und Thüringens trieb- und knospenminierende Schädlinge permanent, während die rindenbrütenden Insekten trotz des hier besonders hohen Angebotes an geeignetem Brutmaterial geringere Populationsdichten aufweisen als in den immissionsfreien Vergleichsgebieten (TEMPLIN 1962). In Bezug auf das Wirts-Pathogen-Verhältnis ist verallgemeinernd festzustellen, daß Luftverunreinigungen die Pathogenität von Erregern verändern können durch Beeinflussung ihrer Virulenz oder Vermehrung, durch Änderungen in der Anfälligkeit von Wirtspflanzen und durch Änderungen in der Phyllo- bzw. Rhizosphäre. Auch symbiotische Lebensformen können betroffen sein, wie die verminderte oder gar unterbliebene Knöllchenbildung durch Rhizobien an Leguminosen unter Ozoneinfluß belegt (MANNING, FEDER, PAPIA & PERKINS 1971, LETCHWORTH & BLUM 1977).

Die Wirkungen niedriger Belastungen auf die Vegetation liegen im Grenzbereich zwischen den Schwankungsbreiten der normalen, d. h. unbeeinflußten Vegetation einerseits und den signifikanten Schadwirkungen andererseits. In Abhängigkeit von der jeweiligen Immissionskomponente, ihrer Konzentrationshöhe und Einwirkungsdauer sowie den betroffenen Objekten unter den gegebenen Standortbedingungen können diese Wirkungen von Stimulationseffekten bis hin zu Minderungen in der Wuchsleistung, der Reproduktionsfähigkeit (ABRAHAMSON, HORNTVEDT & TVEITE 1977) oder der Qualität von Pflanzen reichen. Bei langanhaltendem Einfluß pflegen sich derartige subtile Einzelwirkungen zu signifikanten Gesamtwirkungen zu summieren bzw. die Schadstoffe in einem nicht mehr kompensierbaren Maße zu akkumulieren, so daß auch niedrige Belastungen Pflanzengemeinschaften verändern können. Die Vegetation kann, ohne zunächst äußere Schädigungsmerkmale oder Wachstumsdepressionen zu zeigen, größere Mengen an Luftverunreinigungen aus der Atmosphäre ausfiltern (ULRICH, MAYER, KHANNA & PRENZEL 1978, BORMANN & LIKENS 1979). Komponenten wie NO_x, NH_3 oder Schwefelverbindungen können über Eutrophierung (COWLING & LOCKYER 1976) das Gleichgewicht besonders empfindlicher Ökosysteme, wie z. B. Hochmoore stören,

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

saure Niederschläge insbesondere Struktur und Funktion naturnaher Nadelwälder beeinträchtigen (HUTTUNEN 1980, OVERREIN 1980). Akkumulierende Substanzen, wie Schwermetalle, gefährden über die Nahrungskette nicht nur Konsumenten, sondern vermindern auch Zahl und Aktivität von Saprovoren und Reduzenten, wodurch die Remineralisierung als Voraussetzung für ungestörte biogeochemische Stoffkreisläufe beeinträchtigt wird (TAYLOR 1975, GRESZTA, BRANIEWSKI, MARCZYNSKA-GALKOWSKA & NOSEK 1979).

Fassen wir zusammen: Unter dem Einfluß von Luftverunreinigungen werden in Pflanzengemeinschaften zwei gegenläufige Prozesse in Gang gesetzt. Über direkte und indirekte Wirkungen kommt es zu Veränderungen von Struktur und Funktion der Gemeinschaften bis hin zu ihrer totalen Zerstörung. Parallel zu dieser Degradation verläuft ein spontaner oder vom Menschen unterstützter Prozeß, bei dem sowohl ursprünglich bzw. adaptiv resistente Mitglieder der bestehenden Gemeinschaft als auch Neuankömmlinge einer sekundären Sukzession unterliegen (GUDERIAN & KÜPPERS 1980).

Für die Eignung von Pflanzengemeinschaften als Immissionsindikatoren ist vor allem maßgebend, wie und mit welchem Aufwand sich immissionsbedingte Änderungen an Pflanzengemeinschaften erfassen lassen und welche Empfindlichkeit Pflanzengemeinschaften im Vergleich zu den sie bildenden einzelnen Pflanzenarten zeigen.

Brauchbare Indikationsmerkmale für Wirkungen auf Phytocoenosen sind Änderungen in ihrer Zusammensetzung und ihrem Aufbau. So lassen sich über pflanzensoziologische Kartierungen Zonen unterschiedlicher Belastung ermitteln. Abhängig von Art und Höhe der Belastungen treten bestimmte Arten gehäuft auf, andere gleichverteilt und wiederum andere fehlen gänzlich (NIKLFELD 1967, TRAUTMANN, KRAUSE & WOLFF-STRAUB 1971, WEDECK 1980). HAJDUCK (1961) spricht in diesem Zusammenhang von „positiven" bzw. „negativen" Phytoindikatoren, während ANDERSON (1966 zit. in TRESHOW 1968) dafür die Begriffe „increaser" und „decreaser" benutzt.

BRANDT & RHOADES (1973) konnten über die Ermittlung von Verschiebungen im Arteninventar der Sämlings- und Schößlingsschicht den Trend der zukünftigen Sukzession beurteilen. Einen weiteren Schritt in Richtung auf eine Nutzung der gesamten Vegetation zur Beurteilung von Veränderungen in Pflanzengemeinschaften vollzog McCLENAHEN (1978), indem er in die Untersuchung alle Vegetationsschichten eines Laubwaldökosystems einbezog. Artenreichtum, Gleichverteilung und Diversität nahmen im Bereich der höchsten Belastung innerhalb aller Stockwerke der Gemeinschaft ab. In der Bestandesdichte waren gegenläufige Tendenzen in einzelnen Stockwerken zu beobachten. Einer Abnahme der Baum- und Krautschicht stand als Folge verbesserter Lichtverhältnisse eine Zunahme des Unterbaues und der Strauchschicht gegenüber.

Immissionsbedingte Verschiebungen in der Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften lassen sich vor allem unter nicht zu hohen Belastungen nicht allein mit der unmittelbaren Schadwirkung auf die unterschiedlich anfälligen Arten einer Gemeinschaft erklären (GUDERIAN 1966). Unter SO_2-Einfluß kann es zu Verschiebungen in den interspezifischen Konkurrenzbedingungen kommen. Dadurch wird die primäre Wirkung auf die anfälligeren Bestandespartner so verstärkt, daß sie im Wettbewerb um wachstumsbestimmende Faktoren, wie Nährstoffe, Wasser, Strahlung und Standraum unterliegen und schließlich jede Bedeutung für die Gesellschaftsbildung verlieren. Änderungen in den zwischenartlichen Konkurrenzbedingungen sind offenbar bereits unter solch niedrigen Konzentrationen möglich, die die einzelnen Arten der Gemeinschaft noch nicht schädigen, da Stimulationseffekte an bestimmten Pflanzenarten zu Wettbewerbsvorteilen für diese führen (GUDERIAN 1978). Hiernach sollten bestimmte Vergesellschaftungen höherer Pflanzen empfindlichere Indikatoren für pflanzenschädliche Luftverunreinigungen darstellen als die sie bildenden einzelnen Arten.

Die Bedeutung von Pflanzengemeinschaften als Immissionsindikatoren wird schließlich davon abhängen, inwieweit es gelingt, für Expositionszwecke bestimmte Modellpflanzengemeinschaften zu entwickeln und zur Erfassung von Langzeitwirkungen unter naturnahen Bedingungen Dauerprobeflächen, wie sie ELLENBERG, FRÄNZLE & MÜLLER (1978) ganz allgemein für die Ökosystemforschung fordern, anzulegen.

3.2. Exposition standardisierter Indikatorpflanzen

Erhebungen an Wild- und Kulturpflanzen in ihrem Biotop dienen, wie unter 3.1. näher dargelegt, vor allem der Erkennung von Ursachen immissionsbedingter Pflanzenschäden

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

sowie zur Ermittlung ihres Ausmaßes. Für die Quantifizierung von Immissionsbelastungen und damit für Überwachungszwecke eignen sich diese Verfahren jedoch weniger. Zu heterogen ist vielfach das Pflanzenmaterial selbst und zu wechselnd sind die Bedingungen von Boden und Klima her, um vergleichbare Ergebnisse zu liefern. Diesen Schwierigkeiten versucht man auf zweierlei Wegen zu begegnen: Über eine Standardisierung der Pflanzenanzucht und über die Exposition der standardisierten Objekte nach speziellen Methoden.

3.2.1. Standardisierung der Pflanzenkultur

Die Qualität biologischer Meßverfahren hängt, ebenso wie die chemisch-physikalischer Methoden, sehr stark vom Grad der Reproduzierbarkeit der Meßwerte ab. Infolgedessen kommt es darauf an, die durch endogene und exogene Faktoren bedingte Streuung in der Pflanzenreaktion unter einer gegebenen Immissionsbelastung auf ein Minimum zu beschränken.

Die Standardisierung der Pflanzenkultur führt zur Einengung des Spektrums wirksam werdender Faktoren und damit zur Verringerung der Verfahrensstreuung; zugleich lassen sich auf diese Weise wesentliche, die Schadstoffaufnahme und Schadstoffwirkung beeinflussende Randbedingungen kontrollierbar und reproduzierbar gestalten. Methodische Hilfsmittel für die Pflanzenanzucht unter gleichen Randbedingungen sind die Verwendung von hochwertigem Saatgut, die Standardisierung der Aussaat und Anzuchttechnik sowie die Standardisierung der übrigen Wachstumsfaktoren, wie Boden-, Wasser- und Nährstoffversorgung.

Als Musterbeispiel für eine standardisierte Pflanzenanzucht sei das von Scholl (1971) entwickelte, in der VDI-Richtlinie 3792 Bl. 1 (VDI 1978) in den Einzelheiten normierte Graskulturverfahren genannt. Die Exposition der nach dem genannten Verfahren herangezogenen Graskultur im zu beurteilenden Gebiet erfolgt auf einem in den Boden getriebenen Ständer in 1,5 m Höhe, und zwar entweder als „Wechsel-" oder „Dauerkultur". Im ersten Falle wird jeweils am Ende eines Meßzeitintervalls von 14 Tagen eine neue Kultur ausgebracht, im zweiten Falle zu wiederholten Malen Probegut von ein und demselben Bestand gewonnen. Die Methodik der Entnahme von Proben und ihrer Verarbeitung ist eingehend in der VDI-Richtlinie 3792 Bl. 2 (VDI 1979) beschrieben.

3.2.2. Expositionssysteme

Bei der Ermittlung von Art und Höhe vorliegender Belastungen und der Gefährdungen von Mensch und Tier durch Kontamination von Pflanzen mit toxikologisch relevanten Verunreinigungskomponenten lassen sich optimale Ergebnisse mit Pflanzen als Immissionsindikatoren nur erzielen, wenn neben der Pflanzenanzucht die Expositionsmethode standardisiert ist. Hierbei haben wir zwischen der Exposition in Gefäßen oder Parzellen in freier Atmosphäre ohne Luftfilterung einerseits und der Exposition in Systemen mit gefilterter und ungefilterter Luft andererseits zu unterscheiden.

3.2.2.1. Exposition in Gefäßen oder Parzellen ohne Luftfilterung

Unter den Methoden zum Anbau von Indikatorpflanzen in der freien Atmosphäre auf Parzellen – ohne Luftfilterung – hat sich das von Schönbeck (1963a) entwickelte „Testpflanzenverfahren", eine Modifikation des Fangpflanzenbaues von Sorauer, bewährt. Über vergleichende Untersuchungen an Pflanzen, die innerhalb und außerhalb des Schadgebietes in unbeeinflußter bzw. kontaminierter Erde kultiviert werden, lassen sich die direkten Wirkungen gasförmiger Luftverunreinigungen über die oberirdischen Pflanzenteile von den indirekten Wirkungen staubförmiger Komponenten über den Boden trennen. In diesem Zusammenhang sind auch die von Spierings (1967) in verschiedenen Gebieten Hollands angelegten Prüffelder mit der besonders fluorempfindlichen Gladiolensorte „Snow Princess" zu erwähnen.

Eine ungleich größere Bedeutung als dem Anbau von Pflanzen in das anstehende Erdreich kommt den Gefäßkulturen bei der Erfassung und Beurteilung vorliegender Immissionsbelastungen zu. Dabei richtet sich die Wahl der Pflanzenarten und die Form ihrer Kultur und Exposition nach dem Erhebungsziel, wie die folgenden Beispiele verdeutlichen. Relativ widerstandsfähige Arten werden zum komponentenspezifischen Nachweis immissionsbedingter Schadstoffanreicherungen in der Pflanzensubstanz benutzt, bei empfindlichen Arten dienen äußere Schädigungsmerkmale als Kriterium für vorliegende Immissionen.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

Zur Erfassung von Belastungen mit akkumulierbaren Substanzen wird sowohl lokal im Umgebungsbereich einzelner Emittenten als auch regional in Wirkungskatastern mit konzeptionell integriertem Raumbezug das Graskulturverfahren (VDI 1978) eingesetzt (vgl. hierzu 3.2.1.). Im Rahmen der Wirkungskataster, im Lande Nordrhein-Westfalen seit 1972 auf einer Fläche von etwa 3000 km² zur Ergänzung des Emissions- und Immissionskatasters durchgeführt (PRINZ & SCHOLL 1978), wird das während der Vegetationsperiode in 14tägigem Abstand gewonnene pflanzliche Probegut auf den Gehalt an Schwefel, Fluor, Blei, Zink und Cadmium untersucht. Die im Weidelgras angereicherten Schadstoffmengen erlauben Rückschlüsse auf die Ursachen immissionsbedingter Pflanzenschäden, die Gefährdung anderer Pflanzenarten sowie die Gefährdung von Mensch und Tier über die Nahrungskette. So wird beispielsweise zum Schutz der Vegetation und von Rindern bei Weidegang gegenüber fluorhaltigen Immissionen folgende Begrenzung der Fluoridanreicherung in der Graskultur als Mittelwert aus 13 Meßzeitintervallen von je 14 ± 1 Tagen in der Zeit von Mai bis Oktober vorgeschlagen (SCHOLL 1975) (Tab. 1).

Zu schützende Objekte	Fluoridgehalt der TS von Weidelgras in ppm
Sehr empfindliche Pflanzenarten, z. B. Knollen- und Zwiebelgewächse	30
Empfindliche Pflanzenarten, z. B. Koniferen	60
Weniger empfindliche Pflanzenarten	80
Rinder als Weidetiere	80

Tabelle 1. Grenzwerte für den Fluoridgehalt in der standardisierten Graskultur zum Schutz von Pflanzen und Tieren.

Bei anderen Komponenten, wie z. B. sauerstoffhaltigen Schwefelverbindungen, bestehen häufig nur sehr schwache Beziehungen zwischen der Höhe der S-Anreicherung und dem Umfang der Pflanzenschädigung (GUDERIAN 1970). Folglich ermöglichen Grenzwerte für den Schwefelgehalt in der Graskultur (PRINZ & SCHOLL 1978) verläßliche Folgerungen auf den Gefährdungsgrad anderer Pflanzenarten nur in Gebieten mit langanhaltenden Belastungen durch niedrige, weniger akut schädigende SO_2-Konzentrationen.

Aus der Vielzahl der als Akkumulations-Indikatoren verwendeten Pflanzenarten seien hier noch die gegenüber den meisten Luftverunreinigungen relativ widerstandsfähigen Kohlarten genannt. So ist z. B. Blätterkohl *(Brassica oleracea acephala)* außer zur Beurteilung von Belastungen durch fluorid- und bleihaltige Luftverunreinigungen (VAN HAUT 1972a) auch zur Erfassung des kanzerogenen Benzpyrens mit Erfolg eingesetzt worden (HETTCHE 1971). Die in Feinstäuben enthaltenen polycyklischen Aromaten werden von der Wachsschicht auf den Blattoberflächen absorbiert und damit gegen Oxidationen durch UV-Licht geschützt.

Bei der Verwendung äußerer Schädigungsmerkmale als Wirkungskriterium kommt es im Gegensatz zu den Akkumulations-Indikatoren darauf an, gegenüber den betreffenden Luftverunreinigungen möglichst empfindliche Pflanzenarten auszuwählen und anzuwenden. Zur Überwachung von Gebieten mit fluorhaltigen Luftverunreinigungen werden empfindliche Knollen- und Zwiebelgewächse, insbesondere Gladiolen und Tulpen, eingesetzt (LINZON 1971, POSTHUMUS 1976). Der Umfang der Blattnekrosen ist ein Maß für die Belastungshöhe. Sehr empfindliche Sorten können übrigens bereits bei Fluorwasserstoff-Konzentrationen ab 0,1 ppb Blattschädigungen zeigen (COMPTON & REMMERT 1960). Zur Erfassung und Bewertung des Ozons als der wichtigsten phytotoxischen Komponente im photochemischen Smog werden weltweit Tabakpflanzen, voran die besonders empfindliche Tabakvarietät Bel W3 verwendet (KNABE, BRANDT, VAN HAUT & BRANDT 1973, JACOBSON & FEDER 1974, JACOBSON 1977). Die Schädigungen äußern sich in recht charakteristischen punktartigen Blattnekrosen. Mit Hilfe ozonempfindlicher Indikatorpflanzen konnte der Nachweis geführt werden, daß diese sekundäre Luftverunreinigungskomponente überregional in allen Erdteilen in pflanzenschädlichen

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

Konzentrationen auftritt. Zum Nachweis von Belastungen durch PAN (Peroxyacetylnitrat), nach Ozon die zweitwichtigste phytotoxische Substanz im photochemischen Smog, eignet sich vor allem die einjährige Rispe *(Poa annua),* die mit Schädigungen in Form von Bänderungen an den Blättern reagiert (BOBROV 1955). Eine andere häufig als Indikator für organische Peroxide eingesetzte Pflanzenart ist die Kleine Brennessel *(Urtica urens)* (POSTHUMUS 1977). Als quantitatives Maß für Äthyleneinwirkungen sind Veränderungen an den Blüten exponierter Petunien mit Erfolg verwendet worden (POSTHUMUS 1976).

Neben der Schadstoffanreicherung in der Pflanzensubstanz und den äußeren Schädigungsmerkmalen werden besonders in den letzten Jahren biochemisch-physiologische Veränderungen in Pflanzen hinsichtlich ihrer Indikationseignung diskutiert. Veränderte Enzymaktivitäten, Minderungen im Pigmentgehalt, erhöhte Äthylenproduktion im pflanzlichen Gewebe (KELLER 1977), verminderte ATP-Bildung (FLÜCKIGER, FLÜCKIGER-KELLER & OERTLI 1978), verminderte Photosyntheseleistungen und Störungen im Wasserhaushalt der Pflanzen gelten als Frühindikationen für Luftverunreinigungsstreß. Als empfindlicher Indikator für Immissionsbelastungen allgemeiner Art erwies sich beispielsweise die Peroxidaseaktivität. Unter dem Einfluß verschiedener Luftverunreinigungskomponenten konnte an zahlreichen Pflanzenarten ein Anstieg in der Aktivität dieses Enzyms als Ausdruck vorzeitiger Blattalterung festgestellt werden (KELLER 1974, RABE & KREEB 1979). Erhöhte Äthylengehalte in Blättern sind vornehmlich in ozonbelasteten Gebieten festgestellt worden (TINGEY 1977). Auch Pollenkeimung und Pollenschlauchwachstum leiden offenbar besonders stark unter Ozon-Immissionen (FEDER 1968). Über derartige Untersuchungen läßt sich schon frühzeitig, im allgemeinen vor dem Auftreten äußerlicher Schädigungsmerkmale, immissionsbedingter Streß erkennen, insbesondere bei Dauerkulturen, bei denen geringfügige Änderungen im Stoffwechsel der Pflanzen im Verlaufe der Jahre zu signifikanten Leistungsminderungen (HUTTUNEN 1980) führen. Eingeschränkt wird der Aussagewert dieser biochemisch-physiologischen Veränderungen dadurch, daß sie überwiegend unspezifisch sind und häufig als reversible Indikationen nur Momentansituationen widerspiegeln.

3.2.2.2. Exposition in Systemen mit gefilterter und ungefilterter Luft

Besonders in den großräumigen Belastungsgebieten – im Sinne der Definition in § 44 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) – ergeben sich erhebliche Schwierigkeiten, Immissionswirkungen nach Ursache, Intensität und räumlicher Ausdehnung gesichert nachzuweisen. Die Ermittlung der Schädigungsursache, d. h. der entscheidenden schadauslösenden Komponenten ist vor allem dadurch erschwert, daß hier die Aussagekraft sowohl der äußeren Schädigungsmerkmale als auch die der chemischen Pflanzenanalyse als diagnostische Hilfsmittel stark vermindert ist. Das Ausmaß der Schäden in Form von Wuchs-, Qualitäts- und Diversitätsminderungen wiederum läßt sich in den großräumigen Belastungsgebieten nur schwer feststellen, weil die hier durch Luftverunreinigungen verursachten Schadwirkungen häufig relativ gering sind im Vergleich zu den durch Boden und Klima bedingten Streuungen im Pflanzenwachstum. Vergleichende Studien am selben Ort mit Indikatorpflanzen in Systemen mit gefilterter und ungefilterter Luft informieren in derartigen Fällen über den Umfang der durch Luftverunreinigungen verursachten Pflanzenschäden.

Die von VAN HAUT (1972b) entwickelten transportablen „Testkammern" bestehen aus einer Plexiglashaube mit einem Fassungsvermögen von etwa 0,5 m^3 zur Aufnahme der Pflanzen und einem Unterschrank für Luftfilter, Gebläse und Bewässerungsanlage. Während in die Testkammer die Außenluft unverändert einströmt, entfernen geeignete Filter vor dem Eintreten in die Kontrollkammer die pflanzenschädlichen Komponenten. Über die Verwendung spezieller Filtersysteme und spezifisch empfindlicher Indikatorpflanzen lassen sich so auch bei Vorliegen komplexer Immissionstypen die entscheidenden, wirksamen Komponenten erkennen und deren Gefährdungspotential abschätzen.

Die von MANDL, WEINSTEIN, MCCUNE & KEVENY (1973) und HEAGLE, BODY & HECK (1973) entwickelten open-top-chambers stellen 2,4–3 m hohe, oben offene Zylinder mit Durchmessern zwischen 2–3,5 m dar, die entweder über die im anstehenden Boden wachsenden Pflanzenbestände gesetzt oder aber mit Gefäßkulturen beschickt werden. Mit Hilfe von Ventilatoren wird gefilterte bzw. ungefilterte Außenluft über Perforationen im unteren Teil der Innenwand in die Zylinder gedrückt. Auf diese Weise wird ein Lufteintritt von oben her weitgehend verhindert, so daß nebeneinander Untersuchungen in Kammern mit gefilterter und

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

ungefilterter Luft unter sonst gleichen Bedingungen möglich werden. Dieses Expositionssystem mit seinen den natürlichen Verhältnissen angenäherten Randbedingungen eignet sich vor allem zur Ermittlung der Schadenshöhe.

Gleichfalls in den USA ist das Zonal-Air-Pollution-System (ZAPS) entwickelt worden (LEE, PRESTON & LEWIS 1978). Über Parzellen mit Pflanzenbeständen werden dicht über den Erdboden durchlöcherte Kunststoffrohre verlegt, durch die einmal gefilterte, zum anderen ungefilterte Außenluft gepreßt wird. Aus Vergleichen der Leistungen auf den Parzellen mit gefilterter Luft („Kontrolle") und ungefilterter Luft ergibt sich die Wirkung der vorliegenden Immissionen. Beide Systeme können auch für Begasungsexperimente eingesetzt werden.

3.2.3. Pflanzen als Testorganismen im Laboratorium

Neben den oben genannten Verfahren können zur Identifizierung von Immissionskomponenten und zur Beurteilung ihrer phytotoxischen Eigenschaften auch Laborteste herangezogen werden. Bewährt hat sich für bestimmte Immissionen der Kressetest (GARBER 1974). Hierbei werden Samen der Kresse (*Lepidium sativum* L.) auf Bodenproben aus dem Immissionsgebiet oder auch auf ein anderes Substrat aufgebracht und die Keimungsrate oder Keimungsgeschwindigkeit, mitunter auch das Wachstum der Wurzeln oder von Sproßteilen als Wirkungskriterien gewählt. Die Wirkung aufgefangener Niederschläge kann an keimenden Samenkörnern in Sandkulturen getestet werden (PALUCH 1968). Schließlich lassen sich in Immissionsgebieten beobachtete Schädigungsmerkmale mitunter auch dadurch reproduzieren, daß die entnommenen Luftproben über die Testpflanzen geleitet werden (SCHÖNBECK 1963b)

4. Vergleichende Betrachtung zur Eignung biologischer und chemisch-physikalischer Verfahren

Legt man als Maßstab für die Bewertung einer Meßmethode Verfahrenskenngrößen wie Empfindlichkeit, Spezifität und insbesondere Reproduzierbarkeit zugrunde, so fällt der Vergleich insgesamt zugunsten chemisch-physikalischer Verfahren aus: sie sind im allgemeinen empfindlicher, spezifischer und reproduzierbarer als die biologischen Methoden. Hinzu kommt, daß sie das genaue Konzentration-Zeit-Muster zu erfassen gestatten. Unter diesen Voraussetzungen und angesichts der großen Fortschritte in der chemisch-physikalischen Luftanalytik in letzter Zeit (PERRY & YOUNG 1977), erscheint es nur schwer verständlich, daß biologische Verfahren im Immissionsschutz in wachsendem Maße eingesetzt werden (JACOBSON 1976, FLOOR & POSTHUMUS 1977, PRINZ & SCHOLL 1978, ARNDT, NOBEL & VON BÜNAU 1980).

Eine Klärung dieses scheinbaren Widerspruches ist von einem Vergleich der auf chemisch-physikalischem bzw. auf biologischem Wege gewonnenen Ergebnisse zu erwarten, wenn von dem spezifischen Bedarf an Informationen für einzelne Maßnahmen des Immissionsschutzes ausgegangen wird (Tab. 2). In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß quantitative Erhebungen mittels biologischer Objekte nicht im Sinne einer klassischen physikalischen Messung aufzufassen sind (SCHÖNBECK & VAN HAUT 1971). Eine unbedingte Kausalität, wonach gleiche Ursachen stets gleiche Wirkungen haben, ist hier nicht nachweisbar. Das an ihrer Stelle vorliegende, durch Wahrscheinlichkeitsgesetze geregelte statistische Geschehen ermöglicht gleichwohl die Verwendung von Pflanzen als Indikatoren für biologisch wirksame Immissionen.

Primäres Ziel des Immissionsschutzes ist es nicht, Emissionen oder Immissionen zu vermeiden, sondern „Menschen sowie Tiere, Pflanzen und andere Sachen vor schädlichen Umwelteinwirkungen ... zu schützen ..." (BImSchG 1974). Das heißt aber keineswegs, daß Wirkungsfeststellungen allein hierfür eine ausreichende oder gar optimale Informationsbasis darstellen. Sollen bestimmte Wirkungen ausgeschlossen werden, so gilt es letztlich, die Emissionen auf ein vorgegebenes Maß zu begrenzen durch Festlegung von Emissionsgrenzwerten, die naturgemäß mit chemisch-physikalischen Methoden zu überwachen sind. Das gleiche gilt für Immissionsgrenzwerte. Während mit den Immissionsgrenzwerten die Möglichkeit für einen präventiven Immissionsschutz gegeben ist (PRINZ & SCHOLL 1978), eine insbesondere für den Schutz des Menschen unerläßliche Voraussetzung, lassen sich mit Wirkungsfeststellungen nur Belastungen im bereits wirksamen Bereich kontrollieren.

Vermögen Wirkungsfeststellungen die Emissions- und Immissionsmeßwerte nicht zu ersetzen, so gilt das auch umgekehrt. Über den in Tab. 2 vorgenommenen Vergleich wird

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

versucht, die spezifische Leistungsfähigkeit chemisch-physikalischer Verfahren und biologischer Indikatoren zu verdeutlichen. Dabei ist zu beachten, daß bei einer derartig differenzierten Materie grobe Vereinfachungen zwingend sind.

Der Stellenwert biologischer Indikatoren ergibt sich daraus, daß sie Wirkungsaussagen ermöglichen, auf das Vorliegen phytotoxischer Komponenten im Ökosystem aufmerksam machen, die Gesamtbelastung zu beurteilen gestatten, nur auf den wirksamen Anteil einer Luftverunreinigung reagieren und schließlich verläßliche Prognosen erlauben für die Gefährdung anderer Kompartimente im Ökosystem.

Chemisch-physikalische Methoden	Biologische Methoden
Quantitative Messung einzelner Immissionskomponenten	Keine Messung in physikalisch-chemischem Sinne; Abschätzung der Immissionsbelastung durch vielfach unspezifische Reaktionen
Überwachung der Emissions- und Immissionsgrenzwerte der TA-Luft	Wirkungsgrenzwerte besitzen eine hohe Relevanz, da BImSchG auf Verminderung bestimmter Wirkungen abzielt
Keine Wirkungsbestimmung, lediglich Gefährdungsbeurteilungen	Erhebung tatsächlich auftretender Wirkungen in Form von Schädigungen sowie Schadstoffanreicherungen auf unterschiedlichen Organisationsstufen, Zeigerfunktion für Störungen im Ökosystem
Gefährdungsprognosen sind nur für einzelne Immissionskomponenten möglich	Beurteilung von Gesamtbelastungen, Möglichkeit zur Erfassung koergistischer Wirkungen
Der wirksame Anteil einer Verunreinigungskomponente ist häufig nur annäherungsweise zu bestimmen	Wirkung spiegelt den wirksamen Anteil einer Immissionsbelastung wider
Aussagen über die Emissions- bzw. Immissionssituation zu bestimmten Zeitpunkten (Kennzeichnung des Konzentration-Zeit-Musters)	Aussagen über das Wirkungsgeschehen während eines bestimmten Zeitraumes, Gefährdungsprognosen für Glieder von Nahrungsketten, Erfassung weiterer Langzeitwirkungen

Tabelle 2. Möglichkeiten und Grenzen chemisch-physikalischer und biologischer Methoden zur Erfassung und Bewertung von Immissionsbelastungen.

Berücksichtigt man schließlich, daß sich diese Informationen häufig mit vergleichsweise geringem Aufwand gewinnen lassen (Claussen 1980), so wird die steigende Verwendung biologischer Objekte als Immissionsindikatoren verständlich. Je nach Fragestellung werden im Einzelfalle verstärkt chemisch-physikalische ober biologische Methoden eingesetzt werden. Insgesamt gesehen schafft erst eine sinnvolle Verknüpfung beider Erhebungssysteme eine optimale Informationsbasis zur frühzeitigen Erkennung immissionsbedingter Gefahren und zu ihrer Kontrolle.

5. Folgerungen

Die unter langanhaltenden Belastungen mit komplexen Immissionen wachsenden Schwierigkeiten, geeignete Informationen für praktische Maßnahmen des Immissionsschutzes zu gewinnen, zwingen zum verstärkten Einsatz von Lebewesen bei der Erkennung und Bewertung von Grad und Ursachen immissionsbedingter Gefahren. Zur weiteren Ermittlung der Eignung höherer Pflanzen als Immissionsindikatoren bedarf es nach unserer Einschätzung insbesondere der Beachtung folgender Gesichtspunkte.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg Frankfurt am Main

(1) Bei der Auswahl der Indikatororganismen ist künftig stärker als bisher von den ökologischen Leistungen der Vegetation und ihrer Bedeutung als Genreservoir auszugehen.
(2) Die Auswahl von Immissionsindikatoren hat unter besonderer Beachtung langanhaltender Einwirkungen niedriger Konzentrationen komplexer Immissionstypen zu erfolgen.
(3) Über einen verstärkten Einsatz homo- und heterotypischer Kollektive in Systemen mit und ohne Luftfilterung sollte versucht werden, Art, Intensität und räumliche Ausdehnung der Langzeitwirkungen niedriger Immissionsbelastungen zu erfassen.
(4) Über vergleichende Untersuchungen an homo- und heterotypischen Kollektiven ist zu klären, ob und in welchem Maße Pflanzengemeinschaften empfindlicher reagieren als die sie bildenden einzelnen Arten.
(5) Die Untersuchungen zur Ermittlung immissionsbedingter Gefährdungen von Pflanzengemeinschaften sind zu forcieren durch:

- Entwicklung von experimentellen Methoden und Intensivierung von epidemiologischen Untersuchungen zur Erfassung von Wirkungen auch an hoch strukturierten Systemen,
- Einrichtung von Dauerprobeflächen zur Sukzessionskontrolle,
- Untersuchungen zur Eignung von Modell-Pflanzengemeinschaften oder Ökosystemausschnitten als Indikatoren bei ökotoxikologischen Prüfungen und
- Analysen des Zustandes von Ökosystemen vor und nach Inbetriebnahme von emittierenden Anlagen.

(6) Die Arbeiten zur Standardisierung biologischer Verfahren sind zu intensivieren mit dem Ziel, für verschiedene Immissionstypen geeignete Indikatoren verfügbar zu haben.
(7) Über vergleichende Versuche ist zu klären, inwieweit bestimmte Reaktionen an Immissionsindikatoren Folgerungen zulassen auf die Gefährdung anderer Pflanzen, anderer Kompartimente im Ökosystem oder gar des Menschen.
(8) Mit Nachdruck und Systematik ist darauf hinzuwirken, daß in die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft für bestimmte Verunreinigungskomponenten neben Grenzwerten für Emissionen und Immissionen auch solche für Wirkungen aufgenommen werden.

Literatur

ABRAHAMSON, G., HORNTVEDT, R. & TVEITE, B. (1977): Impact of acid precipitation on coniferous forest ecosystems. – Water Air Soil Pollution **8**, 57–73.

ANDERSON, F. K. (1966): Air pollution damage to vegetation in Georgetown Canyon. – Idaho, M. S. Thesis Univ. Utah, 102 p. zitiert in: TRESHOW, M., 1968.

ARNDT, U., NOBEL, W. & BÜNAU, H. VON (1980): Konzept für ein Wirkungskataster Baden-Württemberg. – Studie im Auftrag des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt, Stuttgart.

BOBROV, R. A. (1955): The leaf structure of *Poa annua* with observations on its smog sensitivity in Los Angeles County. – Amer. J. Botany **42**, 467–474.

BORMANN, F. H. & LIKENS, G. E. (1979): Pattern and process in a forested ecosystem. – New York (Springer).

BRANDT, C. J. & RHOADES, R. W. (1973): Effects of limestone dust accumulation on lateral growth of forest trees. – Environ. Poll. **4**, 207–213.

CLAUSSEN, T. (1980): Die Bedeutung biologischer Indikatoren für die Luftqualitätsüberwachung. – Umwelt **6**, 601–606.

COMPTON, O. C. & REMMERT, C. F. (1960): Effect of air-borne fluorine on injury and fluorine content of gladiolus leaves. – Proc. Am. Soc. Hort. Sci. **75**, 663–675.

COWLING, D. W. & LOCKYER, D. R. (1976): Growth of perennial ryegrass *(Lolium perenne* L.*)* exposed to a low concentration of sulphur dioxide. – J. exp. Bot. **27**, 411.

DOCHINGER, L. S., SELISCAR, C. E. & BENDER, F. W. (1965): Etiology of chlorotic dwarf of eastern white pine. – Phytopath. **55**, 1055.

ELLENBERG, H., FRÄNZLE, O. & MÜLLER, P. (1978): Ökosystemforschung im Hinblick auf Umweltpolitik und Entwicklungsplanung. – Kiel.

FEDER, W. A. (1968): Reduction in tobacco pollen germination and tube elongation, induced by low levels of ozone. – Science **160**, 268.

FLOOR, M. & POSTHUMUS, A. C. (1977): Biologische Erfassung von Ozon- und PAN-Immissionen in den Niederlanden 1973, 1974, 1975. – VDI-Berichte **270**, 183–190.

FLÜCKIGER, W., FLÜCKIGER-KELLER, M. & OERTLI, J. J. (1978): Der Einfluß verkehrsbedingter Luftverunreinigungen auf die Peroxidaseaktivität, das ATP-Bildungsvermögen isolierter Chloroplasten und das Längenwachstum von Mais. – Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz **85** (1), 41–47.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

GÄUMANN, E. (1951): Pflanzliche Infektionslehre. – Basel (Birkhäuser-Verlag).
GARBER, K. (1974): Schwermetalle als Luftverunreinigung — Blei-Zink-Cadmium-Beeinflussung der Vegetation. – Staub-Reinhaltung der Luft **34**, Nr. 1, 1—7.
GRESZTA, J. BRANIEWSKI, S., MARCZYNSKA-GALKOWSKA, K. & NOSEK, A. (1979): The effect of dust emitted by nonferrous metal smelters on the soil, soil microflora and selected tree species. – Ekol. pol. **27**, 397–426.
GROSSMANN, F. (1970): Einfluß der Ernährung der Pflanzen auf den Befall durch Krankheitserreger und Schädlinge. – Landwirtsch. Forsch. **18** (25), 79—91.
GUDERIAN, R. (1966): Reaktionen von Pflanzengemeinschaften des Feldfutterbaues auf Schwefeldioxideinwirkungen. – Schriftenr. Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz d. Landes NRW **4**, 80–100. – Essen (Girardet-Verlag).
– (1970): Untersuchungen über quantitative Beziehungen zwischen dem Schwefelgehalt von Pflanzen und dem Schwefeldioxidgehalt der Luft. – Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz **77**, III. Teil: 387–399.
– (1977): Air Pollution, Phytotoxicity of acidic gases and its significance in air pollution control. – Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
– (1978): Wirkungen sauerstoffhaltiger Schwefelverbindungen, Einführung. – VDI-Berichte **314**, 207–217.
– & HAUT, H. VAN (1970): Nachweis von SO_2-Wirkungen an Pflanzen. – Staub-Reinhaltung der Luft **30**, 17–26.
– & KÜPPERS, K. (1980): Responses of plant communities to air pollution. – Proceedings of symposium on effects on air pollutants on mediterranean and temperate forest ecosystems. June 22–27, 1980 Riverside, California, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station Berkeley California 94701, General Technical Report PSW-43.
– & VOGELS, K. (1980): Recognition of air pollution effects on plants. – Presented at the 5th international clean air congress IUAPPA October 20–25, 1980 Buenos Aires, Argentina.
HAJDUK, J. (1961): Quantitative and qualitative Änderungen der Phytozönosen verursacht durch Exhalationsprodukte von Fabriken. – Biologia, Bratisl. **16** (6), 404–419.
HAUT, H. VAN (1972a): Nachweis mehrerer Verunreinigungskomponenten mit Hilfe von Blätterkohl (Brassica oleracea acephala) als Indikatorpflanze. – Staub-Reinhaltung der Luft **32**, 109–111.
– (1972b): Testkammerverfahren zum Nachweis phytotoxischer Immissionskomponenten. – Environ. Pollut. **3**, 123–132.
– & STRATMANN, H. (1970): Farbtafelatlas über SO_2-Wirkungen von Pflanzen. – Essen (Girardet-Verlag).
HEAGLE, A. S., BODY, D. E. & HECK, W. W. (1973): An open top chamber to assess the impact of air pollution on plants. – J. Environ. Qual. **2** (3), 365–368.
HECK, W. W. & BRANDT, C. S. (1977): Effects on vegetation: native, crops, forest. – Air Pollution 2, Vol. II, Chapter 4, 157–229, in: STERN, A. C. (ed.) Air Pollution, New York (Academic Press).
HETTCHE, O. (1971): Pflanzenwachse als Sammler für polyzyklische Aromaten in der Luft von Wohngebieten. – Staub-Reinhaltung der Luft **31** (2), 72–76.
HUTTUNEN, S. (1980): The integrative effects of air-borne pollutants on boreal forest ecosystems. – Symposium on the effects of air-borne pollution on vegetation, August 20–24, Warsaw (Poland), 111—131.
JACOBSON, J. S. (1977): Plants as indicators of photochemical oxidants in the USA. – VDI-Berichte **270**, 191–196.
– & FEDER, W. A. (1974): A regional network for environmental monitoring: Atmospheric oxidant concentrations and foliar injury to tobacco indicator plants in the eastern United States. – Research Bulletin Nr. **604**, 31 S.
– & HILL, A. C. (1970): Recognition of air pollution injury to vegetation: A pictorial atlas. – Air Pollut. Cont. Assoc., Pittsburgh, Pa.
KELLER, Th. (1974): The use of peroxidase activity for monitoring and mapping air pollution areas. – Europ. J. Forest Pathol. **4**, 11–19.
– (1977): The effect of long during, low SO_2 concentrations upon photosynthesis of conifers, in: KASUGA, S., SUZUKI, N., YAMADA, T., KIMURA, G., INAGAKI, K. & ONOE, K., Proc. IVth Int. Clean Air Congr., 16–25 May, Tokyo. The Jap. Union of Air Pollut. Prev. Ass. 81–83.
KNABE, W. (1981): Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Schadstoffgehalten und Benadelung herrschender Fichten in Nordrhein-Westfalen. – Mitt. der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Heft 137/II, 1981.
– BRANDT, C. S., VAN HAUT, H. & BRANDT, C. J. (1973): Nachweis photochemischer Luftverunreinigungen durch biologische Indikatoren in der Bundesrepublik Deutschland. – Proc. 3 Internat. Clean Air Congr. Düsseldorf, A 110 – A 114.
KRAUSE, G. H. M. (1974): Zur Aufnahme von Zink und Cadmium durch oberirdische Pflanzenorgane. – Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
LAURENCE, J. A. (1978): Effects of air pollutants on plantpathogen interactions. – 71st Ann. Meeting of APCA, June, Houston.
LEE, J. J., PRESTON, E. M. & LEWIS, R. A. (1978): A system for the experimental evaluation of the ecological effects of sulfur dioxide. – Proceedings of the 4th joint conference on sensing of environmen-

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

tal pollutants, American Chemical Society, 49–53.

LETCHWORTH, M. B. & BLUM, U. (1977): Effects of acute ozone exposure on growth, nodulation and nitrogen content of Ladino clover. – Environ. Pollut. **14**, 303–311.

LINZON, S. N. (1971): Fluoride effects on vegetation in Ontario. – Proceedings of the second international clean air congress. Academic Press, New York, London, 277–289.

MAGS (Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen) & MELF (Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (1980): Umweltbelastung durch Thallium. Untersuchungen in der Umgebung der Dyckerhoff-Zementwerke AG in Lengerich sowie anderer Thalliumemittenten im Lande NW. – Düsseldorf.

MANDL, R. H., WEINSTEIN, L. H., MCCUNE, D. C. & KEVENY, M. (1973): A cylindrical open-top chamber for the exposure of plants to air pollutants in the field. – J. Environ. Qual. **2**, 371–376.

MANNING, J. W., FEDER, W. A. PAPIA, P. M. & PERKINS, J. (1971): Influence of foliar ozone injury on root development and root surface fungi of pinto bean plants. – Environ. Pollut. **1**, 305–312.

MCCLENAHEN, J. R. (1978): Community changes in a deciduous forest exposed to air pollution. – Can. J. For. Res. **8** (4), 432–438.

MIDDLETON, J. T., KENDRICK, Jr. J. B. & SCHWALM, H. W. (1950): Injury to herbaceous plants by smog or air pollution. – Plant Disease Reporter **34**, 245–252.

NIKLFELD, H. (1967): Beobachtungen im Rauchschadensgebiet eines Aluminiumwerkes. – Cbl. ges. Forstwesen **84** (2–6), 318–329.

OVERREIN, L. N. (1980): Acid precipitation impact on terrestrial and aquatic systems in Norway. – Proceedings of symposium on effects of air pollutants on mediterranean and temperate forest ecosystems. June 22–27, 1980, Riverside, California, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station Berkeley California 94701, General Technical Report PSW-43.

PALUCH, J. (1968): Die Möglichkeit der Anwendung von Pflanzentesten zur Beurteilung des Luftverunreinigungsgrades. – Referate der VI. Internationalen Arbeitstagung Forstlicher Rauchschadenssachverständiger, Katowice.

PERRY, R. & YOUNG, R. J. (Hrsg.) (1977): Handbook of air pollution analyses. – London (Chapmann and Hall).

POLLANSCHÜTZ, J. (1975): Zuwachsuntersuchungen als Hilfsmittel der Diagnose und Beweissicherung bei Forstschäden durch Luftverunreinigung. – Allg. Forstzeitung **6**, 187–192.

POSTHUMUS, A. C. (1976): The use of higher plans as indicators for air pollution in the Netherlands, in: KARENLAMPI, L. (Hrsg.): Proceedings of the Kuopio meeting on plant damages caused by air pollution, 115–120.

– (1977): Experimentelle Untersuchungen der Wirkung von Ozon und Peroxyacetylnitrat (PAN) auf Pflanzen. – VDI-Berichte **270**, 153–161.

PRINZ, B. & SCHOLL, G. (1978): Erhebungen über die Aufnahme und Wirkung gas- und partikelförmiger Luftverunreinigungen im Rahmen eines Wirkungskatasters (II. Mitt., Erhebungszeitraum Jan. 75 bis Dez. 76). – Schriftenr. der Landesanstalt f. Immissionsschutz des Landes NW **46**, 25–59.

RABE, R. & KREEB, K. H. (1979): Enzyme activities and chlorophyll and protein content in plants as indicators of air pollution. – Environ. Pollut. **19**, 119–137.

ROHMEDER, E. & SCHÖNBORN, A. VON (1965): Der Einfluß von Umwelt und Erbgut auf die Widerstandsfähigkeit der Waldbäume gegenüber Luftverunreinigungen durch Industrieabgase. – Forstw. Cbl. **84**, 1–68.

SCHÖNBECK, H. (1963a): Beispiel für Untersuchungen von Raucheinwirkungen im Freiland durch Anwendung einer Modifikation eines Fangpflanzenverfahrens. Raucheinwirkungen im Gartenbau. – Forschung und Beratung, Reihe C 5, 47–54, Hiltrup (Landw. Verlag).

– (1963b): Untersuchungen über Vegetationsschäden in der Umgebung einer Stückfärberei. – Berichte aus der Landesanstalt für Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Heft **4**, 33–78.

– & HAUT, H. VAN (1971): Messungen von Luftverunreinigungen mit Hilfe pflanzlicher Indikatoren. – Bioindicators of landscape deteriation. Praha.

SCHOLL, G. (1971): Ein biologisches Verfahren zur Bestimmung der Herkunft und Verbreitung von Fluorverbindungen in der Luft. – Landw. Forsch. **26**, 1. Sonderheft, 29–35.

– (1975): Vorschläge für die Begrenzung der Aufnahmerate von Fluorid in standardisierter Graskultur zum Schutz von Pflanzen und Weidetieren. – Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NW, Heft **37**, 129–132.

SMITH, W. H. (1974): Air pollution effects on the structure and function of the temperate forest ecosystem. – Environ. Pollut. **6**, 111–129.

SPIERINGS, F. H. F. G. (1967): Chronic discoloration of leaf tips of gladiolus and its relation to the hydrogen fluoride content of the air and the fluorine content of the leaves. – Neth. J. Pl. Path. **73**, 25–28.

STÖCKHARDT, J. A. (1871): Untersuchungen über die schädlichen Einwirkungen des Hütten- und Steinkohlenrauches auf das Wachstum der Pflanzen, insbesondere der Fichte und Tanne. – Tharandt. Forstl. Jb. **21**, 218ff.

TAYLOR, O. C. (1975): Air pollution injury to plant processes. – Hort. Sci. **10**, 501.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

TEMPLIN, E. (1962): Zur Populationsdynamik einiger Kiefernschadinsekten in rauchgeschädigten Beständen. – Wiss. Z. TU Dresden **11**, 631–637.

TINGEY, D. T. (1977): Ozone induced alteration in plant growth and metabolism. – Proc. intern. conf. on photochemical oxidant pollution and its control. Dimitriades, B. **2**, 601–609.

TRAUTMANN, W., KRAUSE, A. & WOLFF-STRAUB, R. (1971): Veränderungen der Bodenvegetation in Kiefernforsten als Folge industrieller Luftverunreinigungen im Raum Mannheim, Ludwigshafen. — Schriftenreihe Vegetationskunde **5**, 193–207.

TRESHOW, M. (1968): The impact of air pollutants on plant populations. – Phytopath. **58**, 1108–1113.

TURNER, M. A. (1973): Effects of cadmium treatment on cadmium and zinc uptake by selected vegetable species. – J. Environ. Quality **2**, 118–119.

ULRICH, B., MAYER, R., KHANNA, P. K. & PRENZEL, J. (1978): Ausfilterung von Schwefelverbindungen aus der Luft durch einen Buchenbestand. – Z. Pflanzenernährung Bodenkunde **141**, 329–335.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (1978): Messen der Wirkdosis. Verfahren der standardisierten Graskultur. – VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, VDI-Richtlinie 3792, Blatt 1, VDI-Verlag, Düsseldorf.

– (1979): Messen der Wirkdosis. Messen der Wirkdosis von gas- und staubförmigem Fluorid in Pflanzen mit dem Verfahren der standardisierten Graskultur. – VDI-Richtlinie 3792, Blatt 2, VDI-Verlag, Düsseldorf.

WEDECK, H. (1980): Über Änderungen in der Artenzusammensetzung der Ackerunkrautvegetation durch Flugasche-Immissionen im Raum Weisweiler bei Düren. – Decheniana (Bonn) **133**, 180–196.

WENTZEL, K. F. (1962): Konkrete Schadwirkungen der Luftverunreinigung in der Ruhrgebietslandschaft. – Natur und Landschaft **37**, 118–124.

– (1965): Die Winterfrost-Schäden 1962/63 in Koniferen-Kulturen des Ruhrgebietes und ihre vermutlichen Ursachen. – Forstarchiv **36**, 49–59.

WOLAK, J. (1971): Studies on the industrioklimax in Poland, Methods for the identification and evaluation of air pollutants injurious to forests. – Proc. **15** IUFRO Congr., Wien.

Anschriften der Verfasser: Prof. Dr. R. Guderian, Dipl.-Ing. K. Reidl, Universität Essen, GHS, Angewandte Biologie, insbesondere Angewandte Botanik, Universitätsstraße 5, D-4300 Essen 1.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Decheniana

Jahr/Year: 1982

Band/Volume: BH_26

Autor(en)/Author(s): Guderian Robert, Reidl Konrad

Artikel/Article: Höhere Pflanzen als Indikatoren für Immissionsbelastungen im terrestrischen Bereich 6-22