

METHODEN ZUR ERSTELLUNG EINES WIRKUNGSKATASTERS FÜR LUFTVERUNREINIGUNGEN DURCH PFLANZLICHE INDIKATOREN

H. SCHÖNBECK & H. VAN HAUT

Der Einfluss von Luftverunreinigungen auf biologische Objekte und die dadurch induzierten Immissionsschutzmassnahmen können in Anlehnung an Betrachtungsweisen sowohl von WIENER (1966) wie auch von CUBE (1967), als ein nicht-automatisiertes, dynamisches, kybernetisches System gesehen werden. Störungen in Form anthropogen bedingter Immissionseinflüsse lassen sich hierbei mit Hilfe der Regelung verringern oder sogar ausschalten durch Verminderung oder Verhinderung der Massenstromdichte von Luftverunreinigungskomponenten. Unter Massenstromdichte wird hier die von STRATMANN (1973) gegebene Definition $[Masse(Fläche)^{-1}(Zeit)^{-1}]$ verstanden.

Voraussetzung für jeden Regelvorgang in einem derartigen kybernetischen System sind durch das Messglied gewonnene Unterlagen über Immissionswirkungen oder solche Grössen, aus denen sich Gefährdungen ableiten lassen. Die für die Regelung notwendigen Informationen können direkt ermittelt werden aus Wirkungsfeststellungen an biologischen Objekten und indirekt aus Emissions- sowie Immissionserhebungen. Zeigt sich dabei, dass ein für die Luftqualität vorgegebener Sollwert nicht eingehalten wird, so lässt sich der Istwert über sog. Stellglieder, die Arbeitsphasen im Sinne des Immissionsschutzes darstellen, regulieren. Stellglieder für die Durchführung von Immissionsschutzmassnahmen sind: Prophylaxe, Prävention und Korrektur.

Regelkreis Immissionsschutz

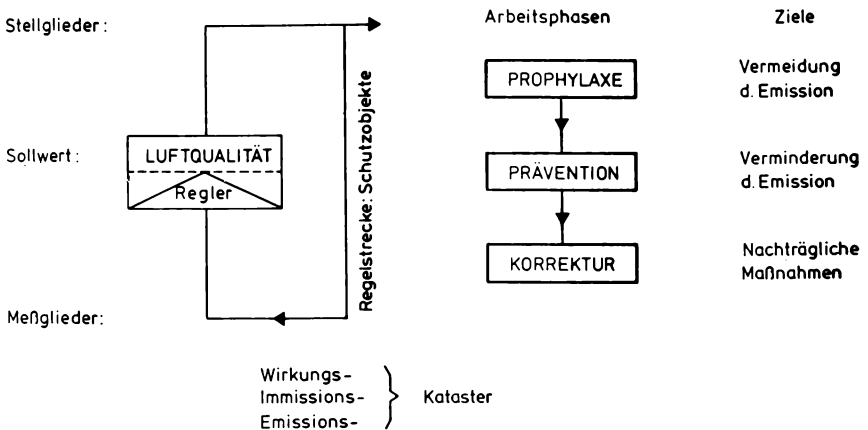


Abb. 1: Regelkreis-Immissionsschutz

Die Reihenfolge der disjunktiv verknüpften Massnahmen ist einseitig bedingt. Führt also eine Arbeitsphase nicht zum Erfolg oder ist sie aus der gegebenen Situation heraus nicht mehr durchführbar, so erfordert dies die Anwendung der nächsten. Diese Stellglieder stehen somit in einer hierarchischen Ordnung. Als Regelstrecke sind dabei die zu schützenden Objekte in ihrer Biosphäre anzusehen.

Durch Rückkoppelung wird schliesslich die Wirksamkeit der eingeleiteten Immissionschutzmassnahmen kontrolliert. Als Messglied dafür eignet sich auch hier besonders die Überwachung mittels eines Wirkungskatasters.

Erhebungssysteme als Messglieder

Informationen für Immissionschutzmassnahmen unter praktischen Bedingungen lassen sich durch die Erstellung von Wirkungs-, Immissions- oder Emissionskatastern erhalten. Dabei ist hier unter einem Kataster ein flächen- bzw. raummässig bezogenes Belastungsverzeichnis zu verstehen, das auf dem Gauss-Krüger-Koordinatensystem basiert. Entsprechend dem Massenstrom von Luftverunreinigungs-komponenten wird in der Reihenfolge: Emissions-, Immissions- und Wirkungskataster auf sie eingegangen.

Emissions- und Immissionskataster

Unter einem Emissionskataster ist die flächenbezogene Registrierung der Luftverunreinigungsquellen nach Art und Quantität über eine Datenbank zu verstehen sowie die Ableitung der Emissionsverhältnisse daraus unter Berücksichtigung der besonderen Standortbedingungen. Dabei sind die Quellengruppen Industrie, Verkehr sowie Hausbrand mit Kleingewerbe systemanalytisch abzugrenzen. Die Angaben zum Emissionskataster werden dabei überwiegend aus den Betriebsdaten der jeweiligen Emittenten abgeleitet (DREYHAUPT 1972, LINDACKERS *et al.* 1972).

Das Immissionskataster hat die Aufgabe, Massenströme luftverunreinigender Stoffe innerhalb von umgrenzenden Koordinierungsparametern, die aus 3 Raum- und einer Zeitkoordinate bestehen, über die Messung von Immissionskonzentrationen und entsprechenden Kopplungsparametern zu erfassen. Die langjährigen Messungen von Immissionskomponenten in Nordrhein-Westfalen können z.B. Grundlage eines solchen Immissionskatasters sein. SO₂ lässt sich dabei häufig als Indikator für bestimmte andere Luftverunreinigungs-komponenten auffassen (STRATMANN 1972).

Emissions- und Immissionsdaten ermöglichen unter Berücksichtigung von Luftqualitätskriterien Gefährdungsprognosen für bestimmte Objektgruppen. Wirkungsaussagen dagegen können nur am Objekt selbst ermittelt werden (VAN HAUT & STRATMANN 1960, SCHÖNBECK & VAN HAUT 1971). Die Einleitung der erwähnten Immissionsschutzmassnahmen als Stellglieder des Regelkreises und die spätere Erfolgskontrolle erfordern daher wirkungsbezogene flächenmässig umschriebene Erhebungen.

Wirkungskataster

Wirkungskataster sind geeignet, immissionsbedingte Beeinflussungen von Lebewesen

in Gebieten nachzuweisen und zu erfassen. Pflanzen eignen sich dabei besonders für quantitative Wirkungsermittlungen (HECK 1966, BRANDT 1972). Sie können als Reaktionsobjekte biologischer Messverfahren dienen. An diesen Organismen lassen sich auch Kenntnisse über Einflüsse mehrerer Verunreinigungs-komponenten gewinnen (SCHÖNBECK *et al.* 1970). Weiterhin vermögen sie durch phänomenologische Reaktionen auf das Vorhandensein bestimmter, vorher im Untersuchungsraum nicht bekannter Immissionskomponenten hinzuweisen. Beispiele dafür bieten der photochemische Smog, der sich sekundär aus verschiedenartigen Immissionskomponenten in unterschiedlichen Variationen bilden kann oder bestimmte organische Verbindungen mit Wuchsstoffcharakter (VAN HAUT 1972, SCHÖNBECK 1963). Blattschädigungen durch diese Luftverunreinigungs-komponenten sind in den Abbildungen 2 und 3 wiedergegeben.

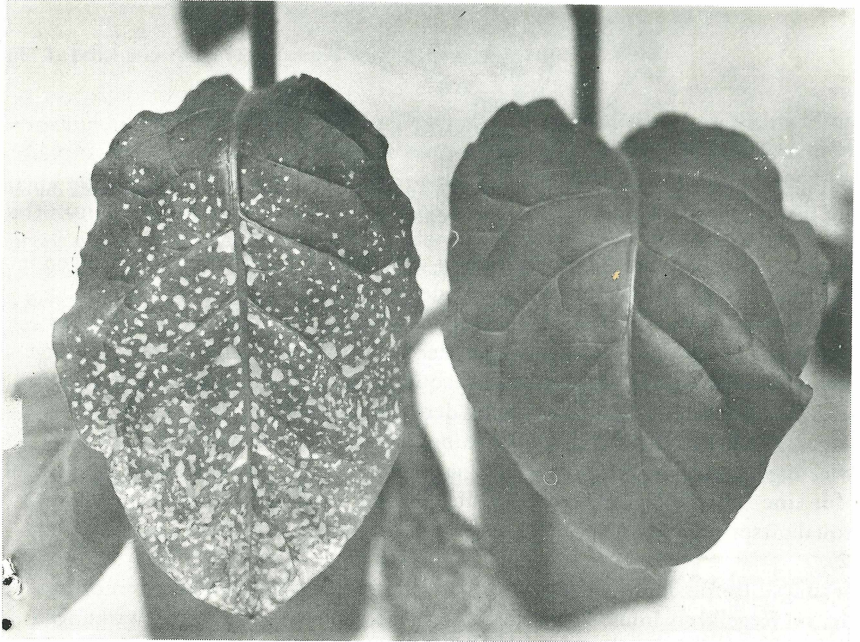


Abb. 2: Blattschädigungen an Tabak (BEL W 3). links: Oxidantien geschädigt; rechts: Kontrolle.

Ausserdem lassen sich durch die Anreicherung von bestimmten Elementen, wie S, F, Cl oder Schwermetallen in pflanzlichen Organen Rückschlüsse auf Massenströme luftfremder Substanzen ziehen. Anzuführen ist hier auch die immissionsbedingte Akkumulation polyzyklischer Aromate, insbesondere von dem hoch karzinogenen 3,4 Benzpyren (Benzo-(a)-Pyren) in der Wachsschicht von Blätterkohl (*Brassica oleracea acephala*) (HETTICHE 1971).

Immissionswirkungen an Lebewesen liegen dann vor, wenn diese auf den Reiz einwirkender Luftverunreinigungen nachweisbar reagieren. Die der Reizaufnahme folgende Reaktion ist bei zahlreichen Luftverunreinigungen in ihrer Intensität und dem Zeitpunkt ihres Auftretens von der Reizmenge, d.h. von Reizstärke und Ein-



Abb. 3: Wuchsdeformationen an Rote Beete (*Beta vulgaris* ssp. *esculenta*) hervorgerufen durch carrierhaltige Immissionen einer Färberei. (Monophylle Aszidienform und Epaszidie).

wirkungsdauer sowie dem Turnus abhängig. Auch die Schadstoffanreicherungen in Pflanzen unterliegen diesen Beziehungen, sie werden von der Immissionsrate bestimmt. Entsprechend der Definition von PRINZ & STRATMANN (1969) wird unter dieser die Übertrittsmenge luftfremder Substanzen in den pflanzlichen Organismus in der Zeiteinheit verstanden. Erhebungen für ein Wirkungskataster ermöglichen daher nur unter Berücksichtigung der Zeitkomponente repräsentative Aussagen. Somit werden durch ein Wirkungskataster sowohl Wirkungen als auch Einwirkungen an pflanzlichen Objekten erfasst. Derartige Feststellungen sind Grundlage für eine Luftreinhaltekonzeption, die auf dem biologisch allein vertretbaren Luftqualitätsprinzip beruht: "Die Luft so rein wie erforderlich" (STRATMANN 1972).

Wirkungs-, Immissions- und Emissionskataster sind als Erhebungssysteme Messglieder im Regelkreis Immissionsschutz. Der Nachweis von Immissionswirkungen ermöglicht entweder direkt aus Emissionsdaten oder indirekt über Immissionserhebungen Folgerungen für die Einleitung von Immissionsschutzmassnahmen. Umgekehrt können Emissionsdaten erst in Verbindung mit Wirkungserhebungen zu relevanten, über eine Gefährdung hinausgehenden Wirkungsaussagen führen (Abb. 4).

Erstellung eines Wirkungskatasters

Wirkungskataster können sowohl für kleinere regional eng umgrenzte Gebiete wie auch grossräumig erstellt werden. Zur Durchführung singulärer Präventiv- und Korrekturmassnahmen ist ein lokal verdichtetes Erhebungssystem von besonderer Bedeutung, bei dem auch spezielle Wirkungskriterien überprüft werden können. Die zahlreichen in der Literatur belegten Untersuchungen in der Umgebung von Emittenten sind Beispiele hierfür.

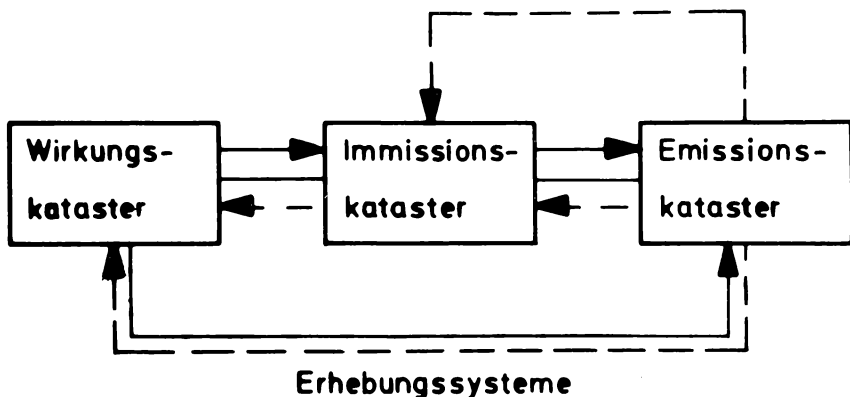


Abb. 4: Erhebungssystem als Messglieder im Regelkreis Immissionsschutz.

Grossräumig erstellte Wirkungskataster vermitteln einen Überblick der Einwirkungsverhältnisse in ausgedehnten Gebieten unterschiedlicher Industrie- und Besiedlungsdichte mit verschiedenartigen Quellgruppen. Differierende Folgerungen über die Beeinflussungen von Ökosystemen sind dabei möglich. Die folgende Darstellung vermittelt einen schematischen Überblick der Erhebungssysteme für ein biologisches Wirkungskataster. Dieses Modell ist in analoger Form auch für tierische Lebewesen anwendbar. Die ökologischen Vernetzungen lassen Rückschlüsse auf andere Organismen zu. Beispielsweise erlaubt die Akkumulation von gewissen Elementen in Pflanzen Aussagen über Tiergefährdungen. Veränderungen von bestimmten phänomenologischen Kriterien, wie verminderte pflanzliche Massenproduktion oder Schädigungen von Ziergehölzen erlauben begrenzte Rückschlüsse ökonomischer Art.

Modell: Erhebungssystem biologisches Wirkungskataster

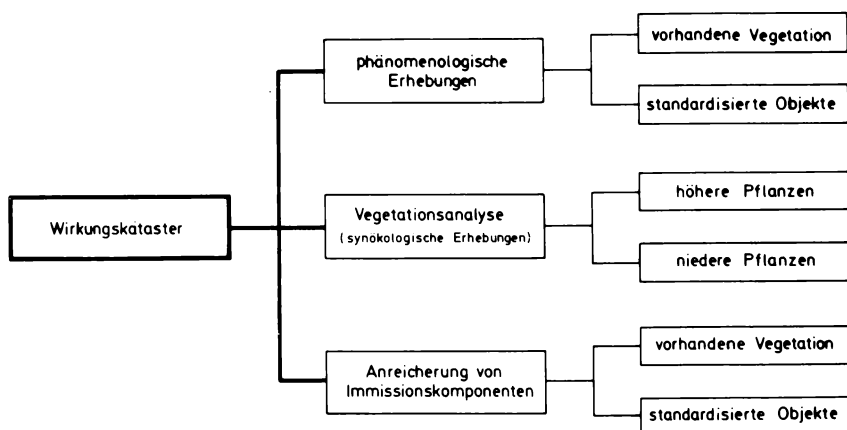


Abb. 5: Schematische Darstellung des Modells: Erhebungssystem biologisches Wirkungskataster

An dem Beispiel "Wirkungskataster westliches Ruhrgebiet" werden bestimmte Erstellungsmethoden erörtert. Die Wirkungserhebungen wurden an regelmässig über eine Gesamtfläche von ca 900 km² verteilten Standorten durchgeführt, die im allgemeinen jeweils ca 5 km voneinander entfernt lagen. Immissionseinflüsse liessen sich sowohl an niederen und höheren pflanzlichen Testorganismen erfassen, die nach standardisierten Verfahren exponiert waren, als auch an einer im Untersuchungsgebiet natürlich vorkommenden Pflanzenart.

Dem Wirkungskataster lagen zwei Bewertungskriterien zugrunde:

1. Phänomenologische Wirkungen von Immissionen an Pflanzen (Wirkungserhebungen).
2. Anreicherungsrate bestimmter Luftverunreinigungs-komponenten in Pflanzen (Anreicherungs-raten-Messungen).

Phänomenologische Wirkungen

Zur Ermittlung von Immissionswirkungen diente die Blattflechte *Parmelia physodes* (*Hypogymnia physodes*), die im Untersuchungsraum an den einzelnen Standorten zu je 10 Parallelen 11 Monate lang exponiert war. Ihre phänomenologischen Veränderungen, sichtbar durch das Absterben von Thallusteilen, konnten als quantifiziertes Wirkungskriterium durch farbfotographische Aufnahmen im Abstand von vier Wochen registriert werden (SCHÖNBECK 1969, 1972). Diese Flechte diente im Erhebungssystem, Wirkungskataster, als Ersatzobjekt für höhere Pflanzen. Durch sie lässt sich sowohl der Einfluss einzelner als auch in Kombinationen auftretender Immissionen erfassen (SCHÖNBECK & VAN HAUT 1972). *Parmelia physodes* kann dabei als ein universeller Indikator für Luftverunreinigungen angesehen werden. Vorangegangene Begasungs- und Freilandexperimente hatten gezeigt, dass diese Organismengemeinschaft von Pilz und Alge von verbreitenden gasförmigen Luftverunreinigungen sichtbar geschädigt wird, wobei zwischen Absterbequote und Schadstoffangebot quantitative Beziehungen bestehen. Die über die Blattflechte gewonnenen Aussagen sind auf höhere Pflanzen übertragbar. Nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen werden im allgemeinen höhere Pflanzen durch kurzzeitige hohe Konzentrationen schneller geschädigt als sie, während auf langanhaltende niedrige Konzentrationen *Parmelia physodes* eher reagiert.

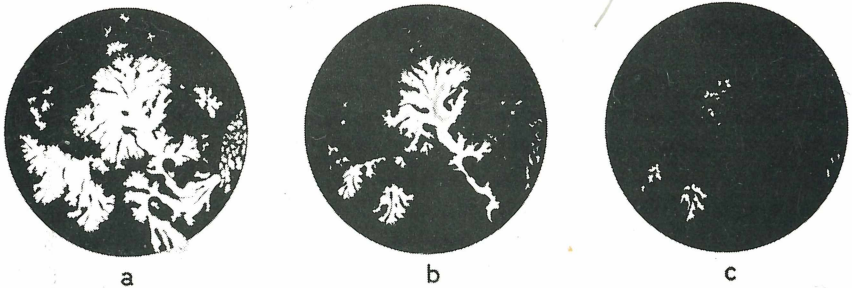


Abb. 6: Immissionsbedingter Absterbeverlauf von *Parmelia physodes* in schwarz- Weiss Projektion; lebende Thallusteile sind weiss dargestellt. Links: Flechte bei Expositionsbeginn. Die weiteren Darstellungen zeigen die Verminderung der lebenden Thallusfläche als Folge von anhaltenden Immissionseinflüssen.

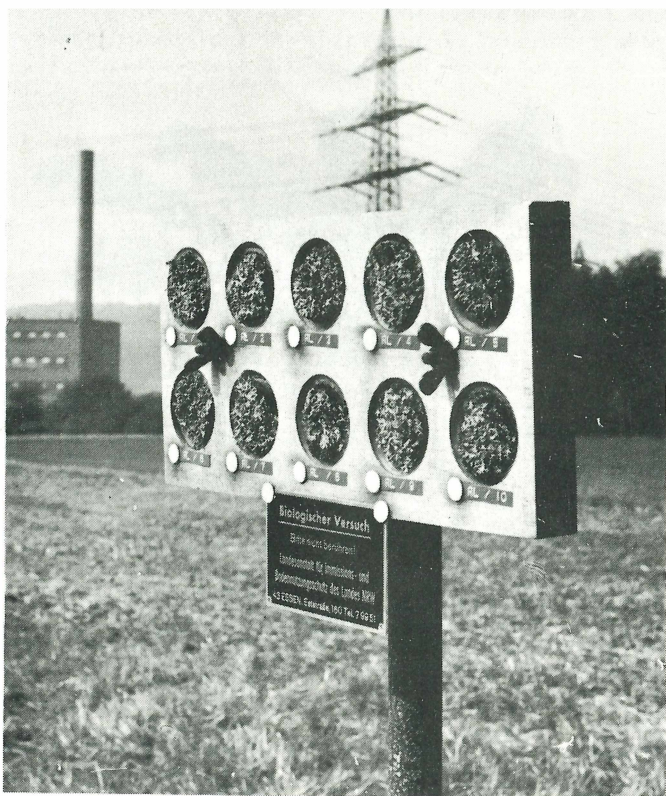


Abb. 7: Flechtenexpositionstafel

Anreicherungsdaten in Pflanzen

Für die Ermittlung von Anreicherungsdaten von F, S, Cl, Pb, Zn und Cd wurden 3 Methoden herangezogen: 1. Blätterkohlverfahren, 2. Graskulturverfahren und 3. Wildpflanzenverfahren. Die Akkumulation der genannten Elemente wird nach physikalisch-chemischen Methoden ermittelt (REUSMANN & WESTPHALEN 1969, 1973, WESTPHALEN & REUSMANN (im Druck)). Bei dem Blätterkohlverfahren wird *Brassica oleracea acephala* unter vergleichbaren Bedingungen angezogen und während der Vegetationszeit im Untersuchungsgebiet in Gefäßen mit selbständiger Bewässerung exponiert. Die Pflanzen reichern bestimmte Luftverunreinigungs-komponenten an und ermöglichen durch eine einmalige Analyse am Ende der Vegetationsperiode Rückschlüsse auf die vorliegenden Immissionsbelastungen während dieses Zeitraumes. Ausserdem können neben den erwähnten Elementen polyzyklische Aromate erfasst werden (VAN HAUT 1972).

Die Grasart *Lolium multiflorum ssp. italicum* wurde bei dem Graskulturverfahren unter vergleichbaren Bedingungen herangezogen und in dem Untersuchungsgebiet exponiert, der Zuwachs in definierten kurzen Zeiträumen, wie 14 Tage, abgeerntet



Abb. 8: Blätterkohlverfahren: Expositionsgefäß mit Indikatorpflanze.

und die genannten Elemente danach in der Trockensubstanz bestimmt. Für die Kultur lassen sich auch hier relativ wartungsfreie Vegetationsgefäße benutzen (SCHÖ 1972, SCHOLL *et al.* 1971).

Als Testpflanze für das Wildpflanzenverfahren diente *Sambucus nigra*. Holunder ist weit verbreitet und unterliegt normalerweise keinen Kulturmassnahmen. Im Altstand von 30 Tagen wurden Blattproben des Frühjahrstriebes entnommen und de

Gehalt der genannten Elemente in der Trockensubstanz bestimmt. Wildpflanzen sind von besonderer Bedeutung für Erhebungen, die kurzfristig und ohne grösseren Versuchsaufwand über Immissionswirkungen orientieren sollen.

Diskussion

Wirkungsfeststellungen an bestimmten Flechten einerseits und gleichzeitige Ermittlungen von kurzfristigen Aufnahmearten in Graskulturen andererseits sowie langfristige Anreicherungen in Blätterkohl und zeitlich differenzierte in Holunder lassen die Erstellung eines aussagefähigen Wirkungskatasters erwarten, wobei die Kausalität der Wirkungen durch Analogieschluss zu vollziehen ist. Schon die vorläufigen Ergebnisse aus den im westlichen Ruhrgebiet durchgeführten Erhebungen bestätigen diese Annahme.

In grossen Teilen des Untersuchungsraumes waren die Wirkungsobjekte differierend beeinflusst. An Flechten zeigten sich die stärksten Wirkungen an Messorten im Bereich der industriellen Ballungsgebiete im Süden, Nordwesten und Osten des Untersuchungsgebietes (Abb. 9). An ländlichen Standorten im mittleren und nördlichen Teil – in dem auch geringere Anreicherungen von Immissionskomponenten in höheren Wild- und standardisierten Pflanzen vorlagen – wurden dagegen signifikant niedrigere Absterbequoten ermittelt. Ausserdem war ein Anstieg der Absterbequoten in den Herbst- und Wintermonaten zu beobachten.

Die Anreicherungsraten in den Testpflanzen wiesen auch auf unterschiedlich starke Immissionsbelastungen im Erhebungsgebiet hin. Bei Holunder hatten 11 % aller Pflanzenproben einen erhöhten Cd-Gehalt. Die Zinkanreicherung überschritt bei

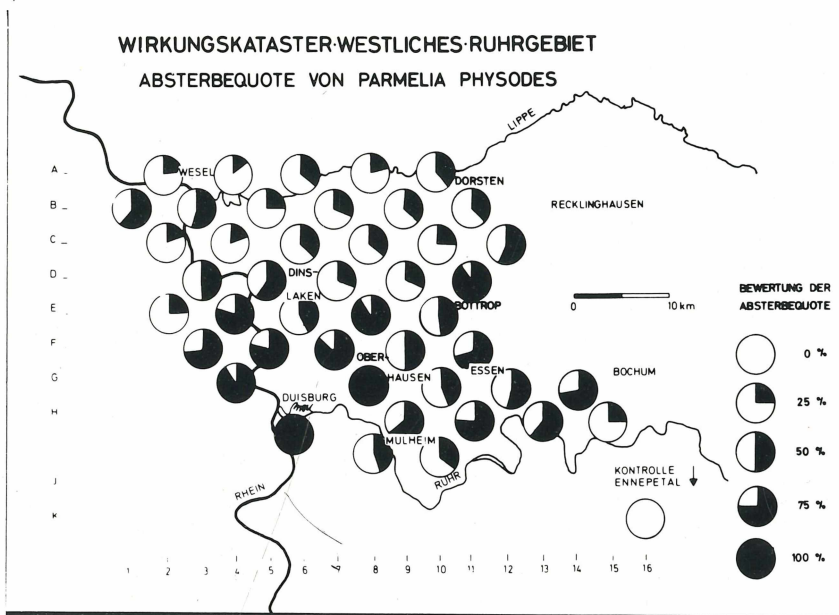


Abb. 9: Absterbequote von *Parmelia physodes* nach einer Expositionszeit von 311 Tagen.

58% und die von Blei bei 96% aller Proben den Normalwert. Von wesentlicher Bedeutung war schliesslich die Feststellung, dass neben Fluor, Schwefel und Chlor auch Schwermetalle als weit verbreitete Luftverunreinigungen vorliegen. Zusammenfassend ist festzustellen, dass es über die Erstellung eines Wirkungskatasters möglich ist, Informationen für Immissionschutzmassnahmen prophylaktischer, präventiver und korrigierender Art zu gewinnen. Ausserdem lassen sich damit Überwachungsfunktionen wahrnehmen, so dass ein Wirkungskataster als Messglied von wesentlicher Bedeutung ist in einem als Modell angenommenen kybernetischen Immissionschutzsystem.

LITERATUR

- BRANDT, St. (1972): Plants as indicators of air quality. Published in: Indicators of Environmental Quality, 101–109, New York and London.
- CUBE, F. v. (1967): Was ist Kybernetik. Bremen.
- DREYHAUPT, F.J. (1972): "Das Emissionskataster". Umwelt-Report, 212–216, Frankfurt/Main.
- GUDERIAN, R. & H. SCHÖNBECK (1971): Recent results for recognition and monitoring of air pollutants with the aid of plants. Proc. of the Sec., Clean Air Congr.: 266–273.
- HAUT, H. v. (1972): Nachweis mehrerer Luftverunreinigungs-komponenten mit Hilfe von Blätterkohl (*Brassica oleracea acephala*) als Indikatorpflanze. *Staub* 32: 109–111.
- HAUT, H. v. & STRATMANN, H. (1960): Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Schwefeldioxid auf die Vegetation, Forschungsberichte des Landes NW Nr. 884, Köln und Opladen.
- HAUT, H. v. (1972): Testkammerverfahren zum Nachweis phytotoxischer Immissionskomponenten. *Environ. Pollut.* 3: 123–132.
- HECK, W. (1966): The use of plants as indicators of air pollutions. *Int. J. Air and Wat. Pollut.*, 10: 99–111.
- HETTICHE, H.O. (1971): Pflanzenwachs als Sammler für polyzyklische Aromate in der Luft von Wohngebieten. *Staub* 31: 72–76.
- LINDACKERS, K.H., H. MAY, D. MEINHARDT & O.J. ZÜNDORF (1972): Erhebung und katastermässige Dokumentation der Emissionen luftfremder Stoffe in der Atmosphäre. Aufbau und Auswertung des Emissionskatasters. Schriftenreihe Umweltschutz d. Techn. Überwachungs-Vereins (TÜV) Rheinld. 2.
- PRINZ, B. & H. STRATMANN (1969): Vorschläge zu Begriffsbestimmungen auf dem Gebiet der Luftreinhaltung. *Staub* 29: 354–357.
- REUSMANN, G. & J. WESTPHALEN (1973): Automatische Bestimmung von Blei, Zink, Cadmium und Kupfer in Pflanzenmaterial durch Inversvoltametrie. *Z. Anal. Chem.* 264: 165–167.
- REUSMANN, G. & J. WESTPHALEN (1969): Ein elektrometrisches Verfahren zur Bestimmung des Fluorgehaltes in Pflanzenmaterial. *Staub* 19: 413–515.
- SCHÖNBECK, H. (1963): Untersuchungen über Vegetationsschäden in der Umgebung einer Stückfärberei. *Ber. aus d. Landesanstalt f. Bodennutzungsschutz d. Landes NW*, 4: 33–78.
- SCHÖNBECK, H. (1969): Eine Methode zur Erfassung der biologischen Wirkung von Luftverunreinigungen durch transplantierte Flechten. *Staub* 29: 14–18.
- SCHÖNBECK, H. (1972): Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen über Flechten als Indikatoren für Luftverunreinigungen. *Schriftenreihe d. LIB d. Landes NW* 26: 99–104.
- SCHÖNBECK, H., M. BUCK, H.v. HAUT & G. SCHOLL (1970): Biologische Messverfahren für Luftverunreinigungen, *VDI-Berichte* 149: 225–234.
- SCHÖNBECK, H. & H. v. HAUT (1971): Messung von Luftverunreinigungen mit Hilfe pflanzlicher Organismen, Bio-indicators of Landscape Deteriorations, 30–38 Praha.
- SCHÖNBECK, H. & H. v. HAUT (1972): Exposure of Lichens for the Recognition and the Evaluation of Air pollutants. Proc. of the Intern. Symp. on Identific. and Measurement of Environmental Pollutants, Ottawa, Canada 1971: 329–334.
- SCHÖLL, G. (1972): Ein biologisches Verfahren zum Nachweis von Fluorverbindungen in Immissionen. *Mitt. d. Forstl. Bd. – Versuchsanst. Wien*, 97: 255–269.

- SCHOLL, G., H. KAISER & H. RUDOLPH (1971): Technische Anleitung für das Verfahren der Weidelgraskultur zur Bestimmung der Immissionsrate von Fluor, LIB, Essen.
- STRATMANN, H. (1972): Zielsetzung im Bereich des Immissionsschutzes. In: *Arbeitsgemeinschaft für Rationalisierung des Landes NW*, Heft 133: 7–29.
- STRATMANN, H. (1973): Emissionsüberwachung und Immissionsschutz. Referat: IBM Seminar/März.
- WESTPHALEN, H. & G. REUSMANN (im Druck): Bestimmung von Schwefel und Chlor in Pflanzenmaterial mit dem Autoanalyser.
- WIENER, N. (1966): Mensch und Menschmaschine, Kybernetik und Gesellschaft Frankfurt/Main, 3. Aufl.

Anschrift der Verfasser:

Dr. H. SCHÖNBECK & Dr. H. VAN HAUT, Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1974

Band/Volume: [3_1974](#)

Autor(en)/Author(s): Schönbeck H., Haut H. van

Artikel/Article: [Methoden zur Erstellung eines Wirkungskatasters für Luftverunreinigungen durch pflanzliche Indikatoren 435-445](#)