

## Zur Erfassung des Einflusses anthropogener Belastungen auf die Vegetation der Dübener Heide durch Bioindikatoren

ERNST-GERHARD MAHN

In den meisten Landschaften Mitteleuropas vollziehen sich gegenwärtig Wandlungen, die weit über den Umfang an Veränderungen hinausgehen, durch die in den zurückliegenden Jahrhunderten das Landschaftsbild geprägt wurde. Entscheidende Voraussetzung für die Beschleunigung dieses Vorganges war die rasche Entwicklung der Technik, mit deren Hilfe vor allem seit der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts umfangreiche Eingriffe in den Landschaftshaushalt ermöglicht wurden.

Diesen Eingriffen liegt als gemeinsame volkswirtschaftliche Zielstellung das Bemühen um die Intensivierung der jeweils wirtschaftszweigspezifischen Wachstums- und Entwicklungsprozesse zugrunde. Die hiervon ausgehenden Wirkungen erfassen — gezielt wie unbeabsichtigt — den unmittelbaren Lebensraum des Menschen, d. h. seinen Arbeits- und Wohnbereich, wie dessen weitere Umgebung mit ihrer spezifischen pflanzlichen und tierischen Organismenwelt, die Biozönosen (vgl. z. B. BLUME und SUKOPP 1976).

Die Entwicklung der meisten Volkswirtschaftszweige weist — in Abhängigkeit von der Nutzung entsprechender Naturressourcen — territoriale Schwerpunkte auf, wie z. B. die Konzentration chemischer Großbetriebe im Bitterfelder Raum. Hieraus ergeben sich zugleich spezifische Umweltbelastungen (vgl. PEKLO und ENDERS 1976), die es aus der Sicht des Umweltschutzes zu erfassen gilt. Als vorrangige Aufgabenstellungen sind dabei zu nennen:

- Erfassung von Art und Umfang der für den Menschen in den Ballungsräumen selbst sowie darüber hinaus für die angrenzenden Landschaften und ihre Organismenwelt bestehenden Umweltbelastungen
- Aufbau eines entsprechenden Umweltkontroll- und Überwachungssystems (Umweltmonitoring), mit dessen Hilfe sich sowohl Zustandsanalysen wie prognostische Aussagen über die Veränderung der bestehenden Situation gewinnen lassen

Die Erfassung von Umweltbelastungen ist generell auf zweierlei Weise möglich, durch

- Einsatz von Meßgeräten zur Analyse physikalischer und chemischer Umweltgrößen (z. B. Luftverunreinigungen)
- Einsatz von Bioindikatoren d. h. von lebenden Organismen, zur Beurteilung des Einflusses bestimmter abiotischer Umweltparameter.

Mit Hilfe von Meß- und Analysengeräten lassen sich exakte quantitative Aussagen über Vorhandensein bzw. Belastung der Umwelt durch bestimmte Schadstoffe (z. B.  $\text{SO}_2$ ) gewinnen. Dem steht als Nachteil gegen-

über, daß Geräte nur punktuelle Meßwerte liefern, die entsprechende Interpolationen notwendig machen, wenn eine territoriale Aussage angestrebt wird. Ein weiterer Nachteil ist, daß die gemessenen Werte der Umweltbelastung keine direkte Aussage darüber ermöglichen, inwieweit hierdurch Schäden bei Mensch, Tier oder Pflanzen verursacht werden.

Demgegenüber zeichnen sich Bioindikatoren dadurch aus, daß sie als lebende Organismen unmittelbar oder mittelbar auf bestimmte Umweltbelastungen reagieren und diese in Form von bestimmten Schäden anzeigen. Um über Bioindikatoren quantifizierte Aussagen zu erhalten, bedarf es des Vergleiches mit einer Reihe entsprechender Meßwerte. Durch eine solche „Eichung“ lassen sich somit Aussagen darüber gewinnen, wie Organismen auf unterschiedlich hohe Belastungen reagieren. Ein Vorteil zahlreicher Bioindikatoren ist ihre meist relativ leichte und damit billige Verfügbarkeit und bei entsprechender Verbreitung im Territorium eine zuverlässigere als bei einzelnen Meßdaten abzuleitende flächendeckende Aussage. Der kombinierte Einsatz technischer und biologischer Meßverfahren wird daher in den kommenden Jahren zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Im folgenden sollen einige Methoden und Ergebnisse der Bioindikation vorgestellt werden (vgl. auch STEUBING 1976), die von Mitarbeitern des Wissenschaftsbereiches Geobotanik der Sektion Biowissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle—Wittenberg in den vergangenen Jahren im Raum Bitterfeld — Dübener Heide zur Erfassung von direkten wie indirekten Wirkungen von Luftverunreinigungen (besonders  $\text{SO}_2$ ) auf die pflanzliche Umwelt mit Erfolg getestet wurden. Ihr gezielter Einsatz ist speziell im Rahmen eines aufzubauenden Umweltmonitorings als erfolgversprechend anzusehen.

Je nach Intensität und Dauer einer Umweltbelastung lassen sich entsprechende Schädwirkungen auf unterschiedlichen Ebenen des organismischen Lebens nachweisen (vgl. hierzu SCHUBERT 1977).

Sie erstrecken sich von

- Störungen des Stoffwechsels ohne sichtbare äußere Schäden über — Organschäden (z. B. Absterbeerscheinungen) bis zu
- Biozönoseveränderungen ( $\pm$  weitreichenden Veränderungen in der Bestandszusammensetzung von Organismengemeinschaften und ihrer wechselseitigen Beziehung).

Wir werden im folgenden an einigen Beispielen zeigen, wie sich Umweltbelastungen bei Pflanzen auf den genannten Organisationsebenen nachweisen lassen bzw. auswirken (vgl. auch GLUCH 1980).

Die Wälder der Dübener Heide zeigen bereits seit längerem erhebliche Immissionsschäden. Rund 6000 ha beträgt allein der Flächenanteil der stark bis sehr stark geschädigten Kiefernforste (vgl. BILLWITZ et al. 1976). Seitens der Forstwirtschaft werden daher seit längerem Untersuchungen zur Erfassung der durch Luftverunreinigungen im Gebiet der Dübener Heide entstandenen Schäden durchgeführt (vgl. z. B. LUX 1965).

Danach lassen sich entsprechend den vorhandenen Zuwachs- bzw. Ertragsverlusten mehrere Zonen unterschiedlicher Schädigung ausweisen (vgl. Abb. 1). Dabei ist eindeutig zu erkennen, wie vor allem die im Lee, d. h. in der Hauptwindrichtung des Bitterfelder Industriegebietes gelegenen

Wälder, wie zu erwarten, die stärksten Schäden aufweisen, während mit entsprechender Entfernung nach Osten die Schäden abnehmen. Auf der Grundlage dieser Schadzoneneinteilung erfolgte die Testung der von uns ausgewählten Bioindikatoren.

Das Vorhandensein gasförmiger Luftverunreinigung (vor allem  $\text{SO}_2$ ) führt bereits nach relativ kurzer Zeit zu Schädigungen des für den Photosyntheseprozess der autotrophen Pflanzen notwendigen Chlorophylls. Auf dieser Tatsache basierend wurden einige Methoden geprüft (u. a. mit ein-

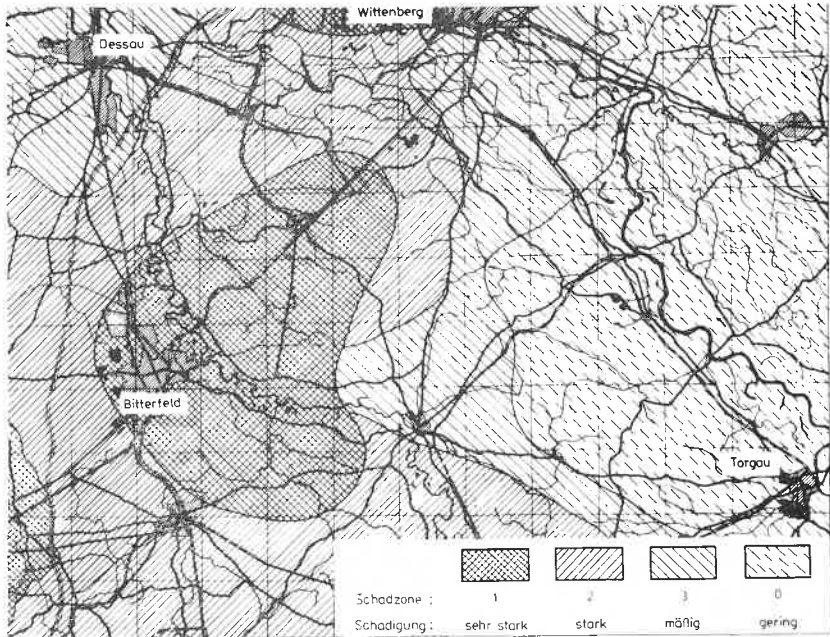


Abb. 1: Rauchschadzonen der Wälder im Raum Bitterfeld-Dübener Heide (nach LUX 1975)

zelligen Algen), von denen sich die Flechtenexplantat-Methode als eine für die genannte Aufgabenstellung geeignete Methode erwiesen hat (vgl. im einzelnen HEINS 1981).

Hierbei werden zunächst Flechtenstücke der baumbewohnenden Rindenflechte *Hypogymnia physodes* (L.) NYL. in einer Gegend mit geringer Luftverunreinigung gesammelt. Gleichgroße Stücke des Flechtenmaterials werden auf einem Holzbrett angeheftet und auf einer entsprechenden Unterlage (Baumstamm) in Hauptwindrichtung exponiert befestigt (vgl. Abb. 2). Je nach entsprechender Versuchsdauer (1—8 Wochen) werden die Flechtafeln wieder eingesammelt und im Labor der Chlorophyllgehalt der Flechten bestimmt. Abb. 3 zeigt, daß die Höhe des Chlorophyllgehaltes

eine deutliche Beziehung zur Immissionsbelastung der Schadzone aufweist, in der die Flechten ausgesetzt wurden. D. h., die stärkste Schädigung tritt in Schadzone 1 auf. Dabei gestattet die Empfindlichkeit der Methode auch den Nachweis entsprechender Schwankungen der Luftbelastung, wie sie vor allem in Abhängigkeit von der Jahreszeit für die einzelnen Zonen bestehen.

Ein zentrales Anliegen der von unserem Wissenschaftsbereich durchgeführten Untersuchungen bildete die Erarbeitung von Methoden zur quantifizierten Erfassung äußerlich sichtbaren Schäden an Pflanzen. Besondere Bedeutung kommt dabei solchen Methoden zu, die es ermöglichen, wirtschaftlich wichtige Arten selbst, im Falle der Wälder also die Bäume, als Bioindikatoren heranzuziehen. Wie mehrjährige Untersuchungen von

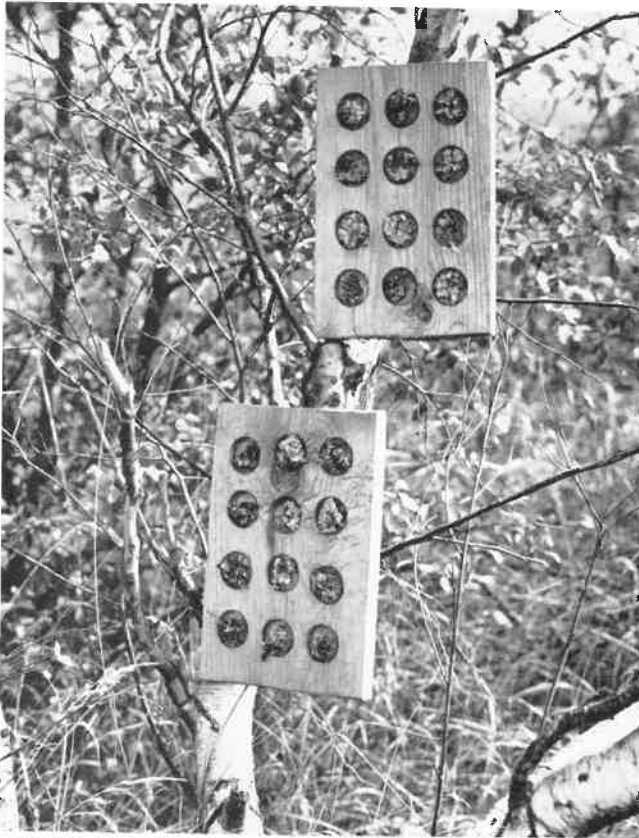


Abb. 2: Tafeln mit Flechtenexplantaten (*Hypogymnia physodes*) im Gelände (Foto: HEINS)

JÄGER (vgl. F/E-Bericht des Wissenschaftsbereiches Geobotanik 1980) gezeigt haben, eignet sich die Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.) selbst als ein solcher Bioindikator. Auf der Grundlage von morphometrischen Messungen, d. h. der Erfassung von Organveränderungen, konnte eine Reihe von Parametern erarbeitet werden, die es gestatten, die Schädwirkungen von Luftverunreinigungen auf das Wachstum der Kiefer quantifiziert zu erfassen.

Die Entnahme des Probenmaterials erfolgte aus vegetationskundlich als einheitlich anzusehenden Beständen. Hierzu wurde aus dem mittleren Kronbereich von 25 Kiefern vergleichbaren Alters je ein horizontal wachsender Zweig von 50 cm Länge abgeschnitten (Stangenschere). Dabei erwiesen sich folgende geprüften Parameter für Zwecke einer Bioindikation als aussagekräftig:

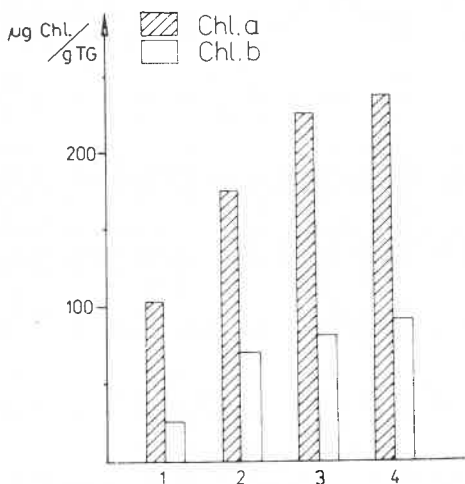


Abb. 3:

Einfluß von Luftverunreinigungen auf den Chlorophyllgehalt der Flechte *Hypogymnia physodes* (Angaben in µg/g Trockengewicht) in verschiedenen Schadzonen. Meßpunkte: 1 Grep-pin, 2 Ochsenkopf, 3 Reinharz, 4 Bad Schmiedeberg (Entwurf: HEINS)

- Längenwachstum des Sprosses während der 3 letzten Jahre
- Lebensdauer der Nadeln
- Nadelschäden (Nekrosen)

Die jährlichen Zuwachsraten des Sproß-Längenwachstums stehen in deutlicher Beziehung zur Schädigung durch Luftverunreinigungen (vgl. Abb. 4 links). Ein ähnliches Bild ergibt sich, wenn man die Lebensdauer der Kiefernadeln betrachtet (vgl. Abb. 5). Wie die 7 aufgestellten Lebensdauerklassen erkennen lassen, erreichen im Gebiet der Dübener Heide die Nadeln unter günstigen Bedingungen ein Alter bis zu 4 (einzelne Nadeln maximal bis zu 6) Jahren. Umgekehrt sterben im Extremfall (Klasse 1) die Nadeln bereits in bzw. nach der ersten Vegetationsperiode ab. Dazwischen finden sich alle Übergänge. Wie aus Abb. 4 (Mitte) ersichtlich, bestehen zwischen der Lebensdauer der Kiefernadeln und den ausgewiesenen Schadzonen deutliche, statistisch oft hoch signifikante Unterschiede.

Als ähnlich geeignet erwiesen sich die Nekrosen an Kiefernadeln. Schäden durch Luftverunreinigungen äußern sich bei den Nadeln zunächst

als gelbliche Verfärbungen der Nadelspitzen und oberen Nadelhälften. Mit Fortschreiten der Schädigung färben sich die Nadeln braun-schwarz und vertrocknen teilweise bis ganz. Zur Bewertung der Nekrosen wurden 6 Nekroseklassen gebildet, bei denen die Schädigungen der jeweils 3 letzten Triebjahrgänge berücksichtigt wurden (vgl. Abb. 6).

Die für die 3 genannten Parameter vorliegenden Daten ergeben im Bereich von 0—150  $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$  Luft eine recht gute Korrelation zwischen Höhe der  $\text{SO}_2$ -Konzentration und Grad der Schädigung. Für die Dübener Heide und klimageographisch verwandte altpleistozäne Waldgebiete lassen sich nach JÄGER die in Tab. 1 mitgeteilten Bewertungen vornehmen.

Tabelle 1

Einfluß der  $\text{SO}_2$ -Belastung der Luft auf morphometrische Parameter bei *Pinus sylvestris*

$\text{SO}_2$ -Konzentr. in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nadel- Nekroseklasse	Kurztrieb (Nadel)- Lebensdauerklasse	Sproßlängen- zuwachs (4jähr. Mittel)
>100	keine Entwicklung erwachsener Kiefern möglich		
80—100	6—10	1 —3	0— 6 cm
60— 80	5— 8	2,5—4	5— 7 cm
40— 60	4— 7	3 —4,5	6— 8 cm
0— 40	3— 6	3,5—5	7— 9 cm
	2— 5	4 —5,5	8—12 cm

Neben einer stichprobenartigen Untersuchung der Schädigung eines größeren Gebietes ist in vielen Fällen eine detaillierte Erfassung der Belastungssituation des Gesamtgebietes, vor allem als Grundlage für die Einleitung entsprechender Sanierungsmaßnahmen, von Bedeutung. Auf der Grundlage der eingangs dargestellten Erfassungsmethode werden hierzu für bestimmte Grundraster ( $2 \times 2$  km oder größer) die entsprechenden Werte für jede Rasterfläche erarbeitet und kartographisch dargestellt. Die sich aufgrund der Nekrose-Klassen-Erfassung von Kiefernadeln für die Dübener Heide ergebende Situation ist aus Abb. 7 zu entnehmen. Sie zeigt, daß besonders östlich des Bitterfelder Industriegebietes, im geringeren Maße auch östlich von Dessau und Coswig-Wittenberg, höhere Schädigungen vorliegen. Die geringsten Schäden weisen die Wälder im Ostteil der Dübener Heide auf.

Mit der dargestellten Methode lassen sich bei der Waldkiefer sowohl quantitative Aussagen zur aktuellen Immissionsbelastung wie zur Beurteilung der Immissionsituation in den zurückliegenden 3—5 Jahren, d. h. möglicher Veränderungen in dieser Zeit, gewinnen. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang, daß vor einer Verallgemeinerung der hier vorgestellten Ergebnisse folgendes zu beachten ist:

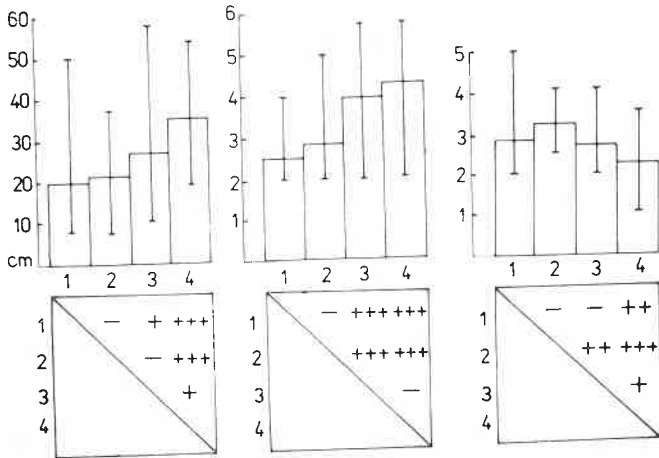
Durch entsprechende Faktorenzahlen sind die jahreszeitlich bedingten Unterschiede in der Wachstumsrhythmik zu berücksichtigen. Auch der unterschiedliche Klimaverlauf der einzelnen Jahre (z. B. trockener oder feuchter Sommer) hat Einfluß auf die Ausbildung der untersuchten Parameter. Werden diese über mehrere (zumindest 3) Jahre erfaßt, so läßt sich die letztgenannte Störgröße weitestgehend einschränken. Wichtig

# Pinus sylvestris

Sproßzuwachs von  
4 Jahren (1973 - 76)  
n = 25

Nadel-Lebensdauer -  
klassen  
n = 25

Nadel - Nekroseklassen  
n = 25



Signifikanz der Unterschiede

(t-Test)    -: > 5%;    + < 5%;    ++ < 1%;    +++ < 0,1%;

Ort	Schadzone
1 = Delitzsch-Benndorf	I
2 = Gutspark Möhlau	I
3 = südöstlich von Dessau	II(III)
4 = östlich von Söllichau	III

Abb. 4: Sproßzuwachs, Nadel-Lebensdauerklassen und Nadel-Nekroseklassen von *Pinus sylvestris* (Waldkiefer) in verschiedenen Schadzonen der Dübener Heide und Signifikanztest dazu (Entwurf: JÄGER)

ist ferner, daß die Untersuchungsflächen einheitliche Standortbedingungen aufweisen, da z. B. der Sproßzuwachs stark durch die Höhe des Mineralstoffangebotes des Bodens beeinflusst wird. Der mögliche Einfluß der genannten Störgrößen auf die Ergebnisse der morphometrischen Analyse macht daher die Einbeziehung einer ausreichend großen Zahl von Stichproben erforderlich.

Mit der Waldkiefer steht für Aufgaben der Bioindikation von Luftverunreinigungen ein forstlich gesehen wichtiger Nadelbaum zur Verfügung, dessen relativ häufiges Vorkommen in weiten Teilen des Flach- und Hü-

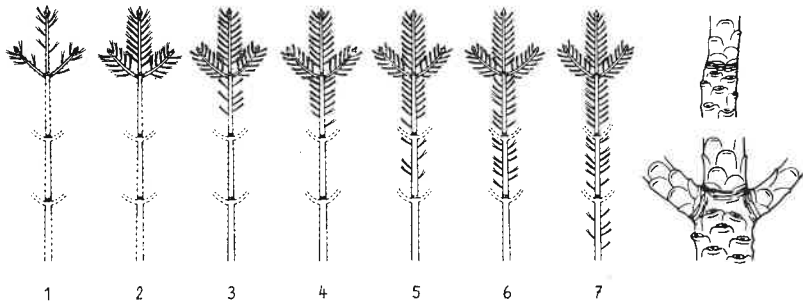


Abb. 5: Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Lebensdauer der Nadeln von *Pinus sylvestris* (Lebensdauerklassen) (Entwurf: JÄGER)

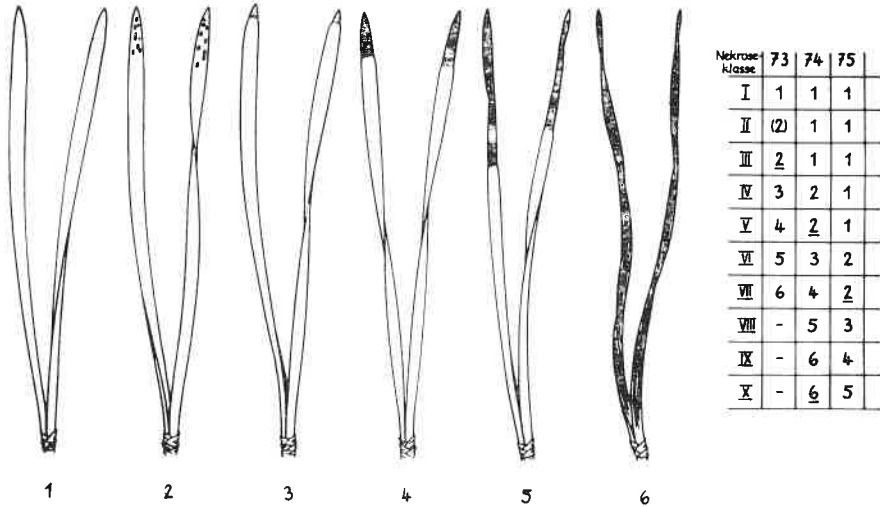


Abb. 6: Absterbeerscheinungen bei Nadeln von *Pinus sylvestris* (und davon abgeleitete Nekroseklassen) in Abhängigkeit vom Grad der Luftverunreinigung (Entwurf: JÄGER)

gellandes der DDR gute Voraussetzungen für flächendeckende Aussagen bietet.

Zunehmendes Interesse hinsichtlich der Beurteilung der Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Gehölze kommt der Frage zu, inwieweit die in Parks und Gärten angepflanzten selteneren und meist wertvollen Gehölzarten hiervon betroffen sind (vgl. SCHUBERT et al. 1978). Hierzu seien einige Untersuchungsergebnisse an *Picea pungens* ENGELM., der Blaufichte, vorgestellt (vgl. im einzelnen EBEL und MÖRCHEN in F/E-Bericht des Wissenschaftsbereiches Geobotanik 1980).



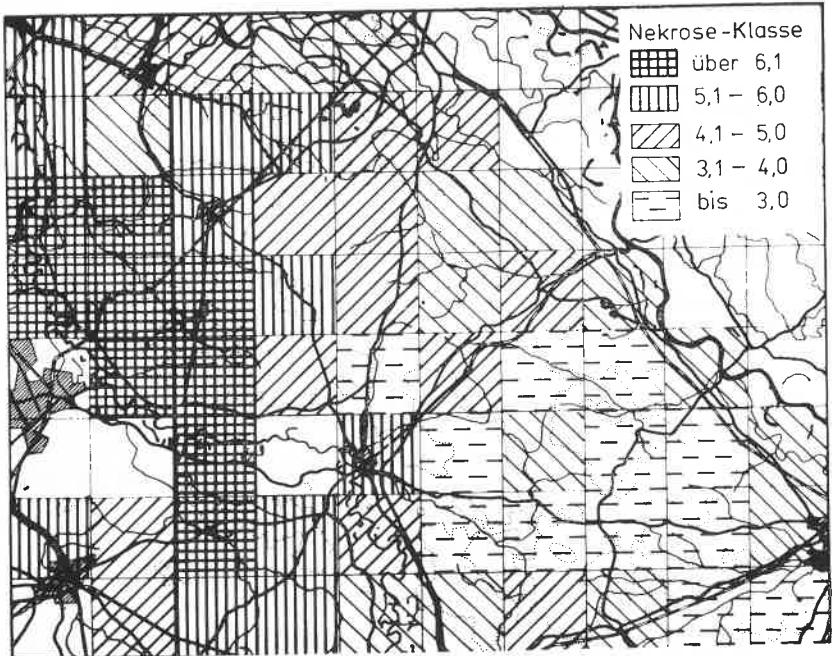


Abb. 7: Darstellung der mittleren Nadel-Nekroseklassen von *Pinus sylvestris* im Gebiet der Dübener Heide als Rasterkarte (Grundraster  $5 \times 5$  km) (Entwurf: JÄGER). Weiße Rasterquadrate: keine Vorkommen der Waldkiefer

Bei *Picea pungens* hat sich für die Beurteilung der Schadwirkungen von Luftverunreinigungen die Messung der Lebensdauer der Nadeln als geeigneter Parameter erwiesen. Von mehreren Bäumen (zumindest 5) werden insgesamt 10 Seitentriebe entnommen und die Lebensdauer ihrer Nadeln ermittelt. Dies geschieht durch Schätzung des Grades der Benadelung an den noch Nadeln tragenden Jahreszuwachs-Abschnitten älterer Seitenzweige. Der Benadelungsgrad wird in Prozenten (bezogen auf die Dichte bei voller Benadelung) ausgedrückt.

Wie Abb. 8 für verschiedene Orte in der Dübener Heide und ihrer Umgebung zeigt, erfolgt an Orten hoher Belastung wie Wolfen und Raguhn (Schadzone 1 bzw. 2) bereits frühzeitiger Nadelfall. Während in Wolfen 2 Jahre alte Triebe bereits über 50 % ihrer Nadeln verloren hatten, lag der Benadelungsgrad in Orten wie Bad Schmiedeberg, Dommitzsch und Trebitz noch bei 82–96 %. D. h., die Bäume leiden in den stärker belasteten Zonen unter einem sehr frühzeitigen Nadelfall, der sich wiederum in verringerter Stoffproduktion und in geringerem Wachstum ausdrückt. Ähnliche Beobachtungen bei im einzelnen jedoch unterschiedlicher Schädigung liegen auch für eine Reihe weiterer Gehölze (auch Laubholzarten) vor (vgl. z. B. JÄGER in F/E-Bericht des WB Geobotanik 1980).

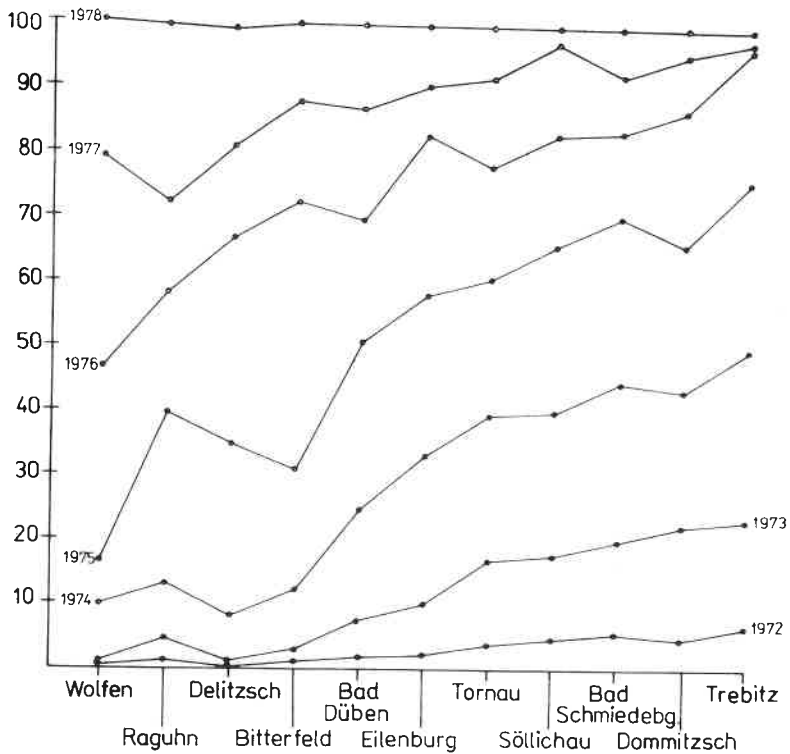


Abb. 8: Lebensdauer der Nadeln aufeinanderfolgender Jahrgänge der Blaufichte (*Picea pungens*) im Gebiet der Dübener Heide in Abhängigkeit vom Grad der Luftverunreinigung (Entwurf: EBEL u. MÖRCHEN)

Die bisher behandelten Beispiele stellten Methoden der Bioindikation dar, die Aussagen auf der Grundlage von Veränderungen bestimmter biochemisch/physiologischer oder morphometrischer Parameter ermöglichen. Im folgenden sei an einem Beispiel gezeigt, wie sich auf Populations-ebene, d. h. mit populationspezifischen Parametern, wie der Individuendichte, Auswirkungen von Luftverunreinigungen erfassen lassen.

Als ein solcher Bioindikator hat sich die relativ rauchharte Rindenflechte *Lecanora conizaeoides* NYL. bewährt (vgl. SCHUBERT 1977 und im F/E-Bericht des WB Geobotanik 1980). Kartiert wird hierbei der Deckungsgrad der Flechte auf der Wetterseite von Bäumen in 30–150 cm Stammhöhe. Dabei werden vor allem Bäume mit rissiger, rauher Borke untersucht. Die Schätzung des Deckungsgrades erfolgt in % mit den Intervallen 1 %, 2 %, 3 %, 5 % und dann weiter in 5-%-Abständen. Um territorial zu einer flächendeckenden Aussage bezüglich der Schädigung von *Lecanora conizaeoides* zu kommen, werden pro Untersuchungsrastrer-Einheit 10 min-

dest 20jährige freistehende Bäume ausgesucht. Die Kartierung kann auf der Grundlage von Rastern von  $2,5 \times 2,5$  oder  $5 \times 5$  km erfolgen. Aus den 10 Einzelwerten pro Raster wird ein mittlerer Bedeckungsgrad gebildet. Die genannte Flechte besitzt dabei gegenüber anderen Flechten als Bioindikator den Vorteil, daß sie selbst in stärker luftverunreinigten Gebieten noch auftritt und so für entsprechend hohe Belastungsstufen noch Aussagen liefert.

Die in Abb. 9 auf  $2,5 \times 2,5$  km Rasterbasis dargestellte Verbreitung von *Lecanora* läßt deutlich die starke Belastung des Bitterfelder Raumes erkennen. Ähnlich, wenn auch schwächer und weniger ausgedehnt, hebt sich der durch das Wittenberg-Piesteritzer Industriegebiet belastete Raum am Nordrand der Dübener Heide heraus.

Neben der Wirkung von Luftverunreinigungen auf den Einzelorganismus bzw. die Populationsentwicklung gewinnt darüber hinaus die Frage zunehmendes Interesse, inwieweit Belastungen durch Luftverunreinigungen zu Änderungen der Struktur komplexer ökologischer Systeme, wie sie z. B. Pflanzengemeinschaften darstellen, führen (vgl. STÖCKER 1974). Aufschlußreiche Beispiele hierfür liefern die von GROLL (1979) erzielten Untersuchungsergebnisse zum Einfluß der Immissionen auf die Bodenvegetation der Kiefernwälder im Bereich der Dübener Heide. Dabei zeigt sich, daß die Luftverunreinigungen unterschiedliche Wirkungen hervorrufen.

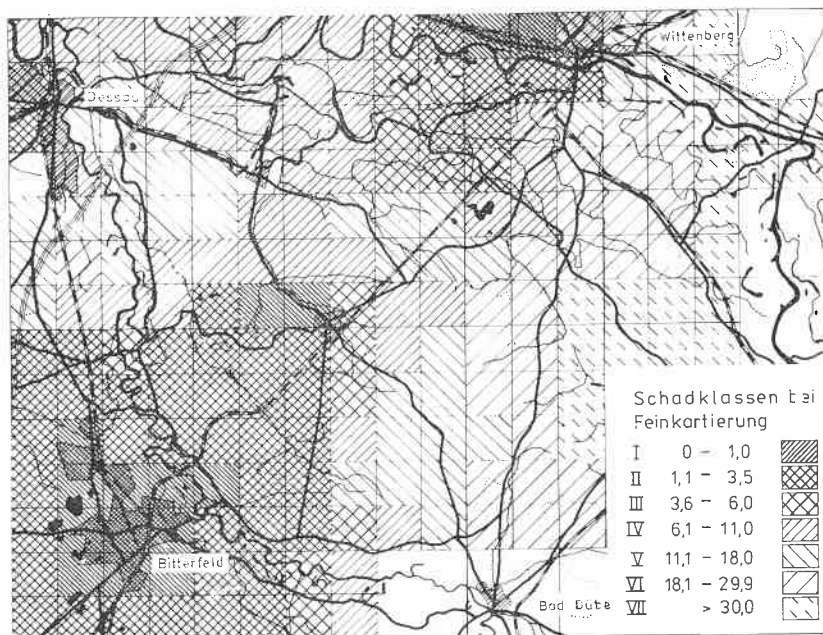


Abb. 9: Verbreitung der Flechte *Lecanora conizaeoides* im Gebiet der Dübener Heide. Rasterkarte der Schadklassen (Feinkartierung mit Grundraster von  $2,5 \times 2,5$  km) (Entwurf: SCHUBERT)

Wie wir in den vorangegangenen Ausführungen deutlich gemacht haben, steht der Schädigungsgrad der Kiefern im engen Zusammenhang zur Höhe des  $\text{SO}_2$ -Gehaltes der Luft, weist also einen unmittelbaren Bezug zur Stärke der vorhandenen Luftverunreinigungen auf. Dagegen lassen sich die in der Bodenvegetation der Kiefernforste zu beobachtenden Veränderungen in weitaus stärkerem Maße auf indirekte Wirkungen der Luftverunreinigungen zurückführen. Sie sind vor allem das Ergebnis von Veränderungen des Bodensubstrates durch Ablagerung von kalkhaltigen Stäuben (Flugasche). Mitbeteiligt an diesen Veränderungen ist stellenweise auch die Ausbringung von Dünger seitens der Forstwirtschaft zur Minderung der Rauchschäden an den Gehölzen.

Die in den Stäuben (wie Dünger) enthaltenen Elemente (vor allem das Calcium) führten in den zurückliegenden Jahren zu einer Veränderung der Bodenazidität in Richtung auf eine Neutralisierung der ursprünglich stark bis mäßig sauren Böden. Zum anderen wurde das Angebot an pflanzenverfügbaren Nährstoffen (z. B. Ca, Mg, N) stark erhöht. Diese Veränderungen ermöglichten einerseits Arten mit höheren Nährstoffansprüchen ein Vorkommen in Gebieten bzw. Pflanzengemeinschaften, in denen sie früher fehlten oder doch nur sehr geringe Bedeutung besaßen. Dies gilt besonders für den stark belasteten Westteil der Dübener Heide. Andererseits kam es infolge der genannten Veränderungen zu einem Rückgang von Arten, die sich diesen Bedingungen — vor allem dem Konkurrenzdruck wüchsigerer Arten — als nicht gewachsen erwiesen.

Dieser in seinen generellen Auswirkungen als Eutrophierung zu bezeichnende Prozeß ist also durch z. T. sehr weitgehende Wandlungen der Struktur von Pflanzengemeinschaften gekennzeichnet. Sie interessieren nicht nur den Botaniker bei der Verfolgung des sich gegenwärtig vollziehenden Floren- und Vegetationswandels, sondern auch den Praktiker.

So werden z. B. durch das verstärkte Auftreten hochwüchsiger Arten, das zugleich einen höheren Grad der Bodenbedeckung verursacht, die Aufforstung von Gehölzen erschwert. Daher bedarf es zusätzlicher Maßnahmen (Einsatz von Herbiziden), um erfolgreich mit den üppig wachsenden Kräutern und Gräsern konkurrieren zu können.

An zwei Beispielen (Abb. 10 und 11) wird der genannte Zusammenhang zwischen der Veränderung des Bodensubstrates (Erhöhung des pH-Wertes) und der Bodenvegetation (Zunahme der Gesamtartenzahl bzw. der Bedeutung einzelner Arten) verdeutlicht.

Durch Anlage entsprechend ausgewählter Dauerbeobachtungsflächen und deren quantitative Auswertung mit strukturanalytischen Methoden lassen sich so über längere Zeiträume vorsichgehende Veränderungen der Phytozönosestruktur exakt erfassen (vgl. z. B. HELMECKE 1975, MAHN u. TIETZE 1979). Sie geben zugleich Aufschluß über mögliche Veränderungen gegenüber vorangegangenen Zuständen bzw. einem gewählten Vergleichsstandard und damit auch über die Effektivität eingeleiteter Maßnahmen zur Minderung von Schadwirkungen durch Luftverunreinigungen. Betroffen vor allem von den indirekten Wirkungen der Luftverunreinigungen sind jedoch auch andere Organismengemeinschaften. Dies gilt z. B.

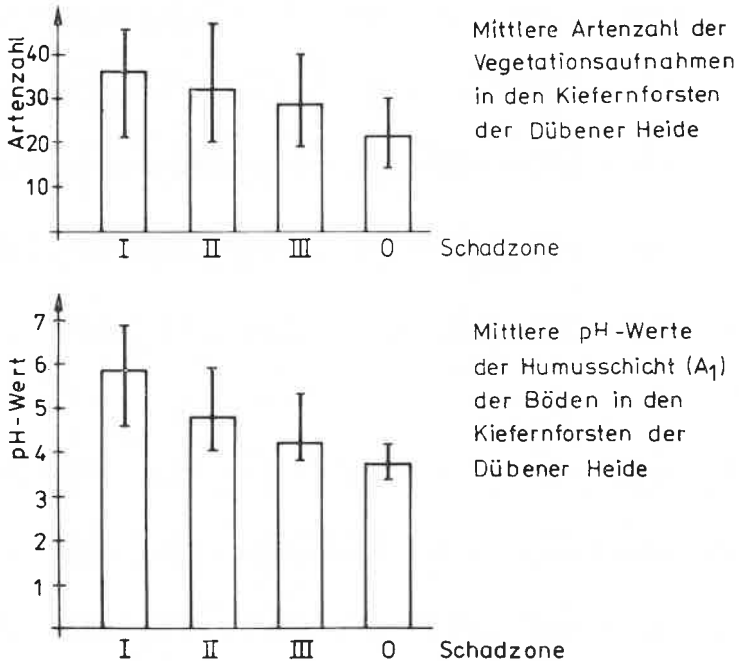


Abb. 10: Beziehung zwischen mittlerem pH-Wert des Bodens und mittlerer Artenzahl der Krautschicht in den verschiedenen Schadzonen der Kiefernforste der Dübener Heide (Entwurf: GROLL)

in sehr starkem Maße für die am Abbau der toten organischen Substanzen beteiligten Pilze bzw. ihre Vergesellschaftungen. Abb. 12 zeigt am Beispiel der in den Kiefernforsten der Dübener Heide vorkommenden Mykorrhizapilze, wie deren Zusammensetzung sich durch die Beeinflussung des Bodensubstrates verändert hat (vgl. im einzelnen DÖRFELT in F/E-Bericht des WB Geobotanik 1980). Ursache hierfür sind, wie bereits zuvor dargestellt, vor allem die durch Flugaschen und Düngung hervorgerufenen Veränderungen bodenchemischer Faktoren (vgl. z. B. RITTER u. TÖLLE 1978). Dadurch kommt es zum völligen Ausfall einer größeren Zahl empfindlicher Arten in Schadzone 1 bzw. weitgehendem Rückgang in Schadzone 2 (man vergleiche z. B. das heutige Vorkommen des Steinpilzes, *Boletus edulis*, in den einzelnen Schadzonen). Nur relativ unempfindliche Arten können sich in den stark durch Luftverunreinigungen bzw. die Einleitung entsprechender bodenmeliorativer Maßnahmen beeinflussten Zonen noch halten.

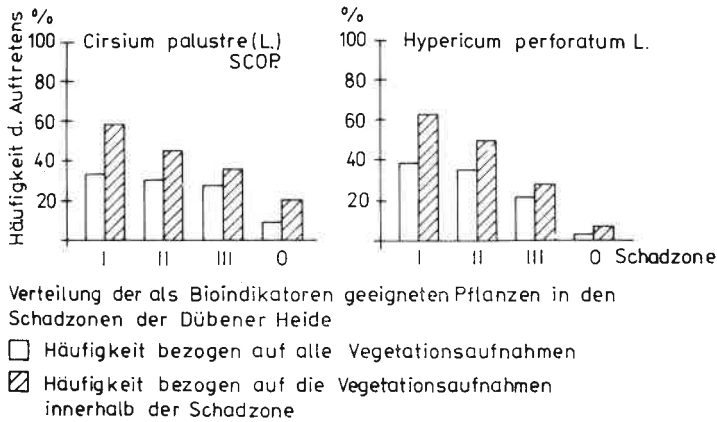


Abb. 11: Veränderungen in der Häufigkeit des Vorkommens von 2 Arten der Krautschicht in den Kiefernforsten der Dübener Heide (Zunahme durch Eutrophierung des Bodens) (Entwurf: GROLL)

### Zusammenfassung

An einer Reihe ausgewählter Beispiele wurde gezeigt, wie sich im Gebiet der Dübener Heide Luftverunreinigungen auf pflanzliche Organismen auswirken. Pflanzen vermitteln dabei als Bioindikatoren spezifische Informationen über die Umweltbelastung durch Luftverunreinigungen.

Aus einem Vergleich spezifischer Meßdaten von abiotischen Umweltparametern mit dem festgestellten Schädigungsgrad der Pflanzen lassen sich über die Pflanze selbst quantitative Aussagen bezüglich der bei bestimmten Umweltbedingungen zu erwartenden Belastungen und der durch sie hervorgerufenen Schädigungen einzelner Organismen bzw. komplexer Ökosysteme, wie der Pflanzengemeinschaften, gewinnen. Ein entsprechender Einsatz von Pflanzen als Bioindikatoren beim Aufbau nationaler wie internationaler Überwachungssysteme zur Erfassung von Luftverunreinigungen — wie auch anderer Schädwirkungen — ist daher als erfolgversprechend anzusehen.

Bei der Erarbeitung von Grundlagen zur Lösung derartiger Aufgaben auf territorialer Basis ergeben sich daher auch für Arbeitsgruppen, die im Rahmen regionaler Museen oder des Kulturbundes tätig sind, vielfältige Möglichkeiten zur Mitarbeit.

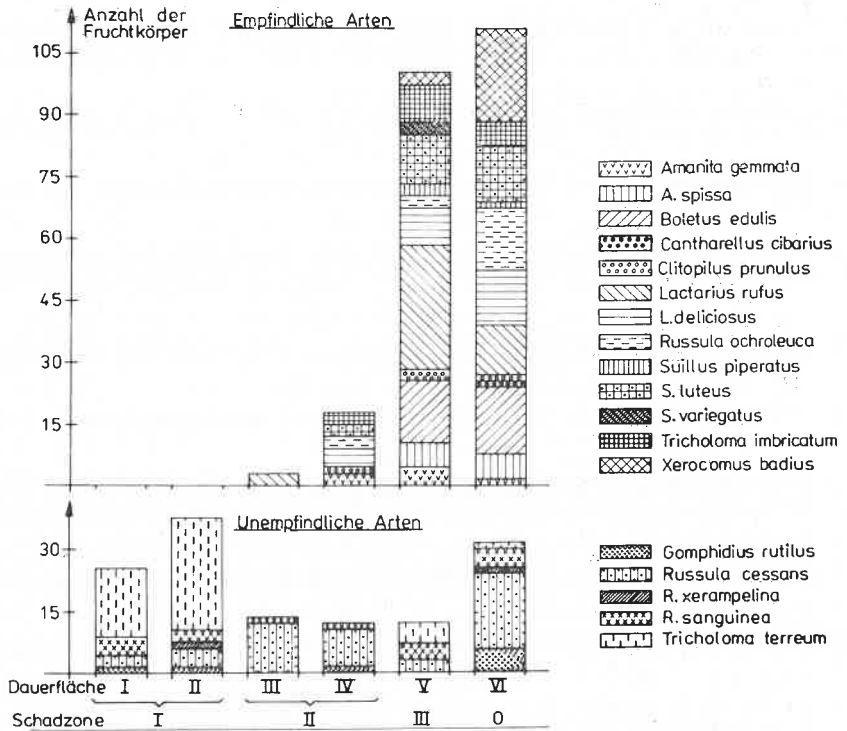


Abb. 12: Veränderungen (Rückgang) in der Fruchtkörperentwicklung von Mykorrhizapilzen in den Kiefernforsten der Dübener Heide als Folge von Änderungen des Bodensubstrates. (Entwurf: DÖRFELT)

## Literatur

- BLUME, H.-P., u. SUKOPP, H. (1976): Ökologische Bedeutung anthropogener Bodenveränderungen. Schriftenreihe Vegetationskunde 10, S. 75–89
- BILLWITZ, K., HIRSCH, E., KRUMBIEGEL, G., HENTSCHEL, P., u. HILDMANN, E. (1976): Probleme der landeskulturellen Entwicklung im Raum Bitterfeld, Dübener Heide und Dessau-Wörlitz. Hercynia N. F. 13, S. 265–292
- DÄSSLER, H. G. (ed.) (1976): Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Jena, VEB Gustav-Fischer-Verlag, 189 S.
- DÖRFELT, H. (1980): In: Bericht zur Forschungs- und Entwicklungsleistung des WB Geobotanik der MLU Halle-Wittenberg. Mskr. Halle, S. 115–118
- EBEL, F., u. MÖRCHEN, G. (1980): In: Bericht zur Forschungs- und Entwicklungsleistung des WB Geobotanik der MLU Halle-Wittenberg. Mskr. Halle, S. 65–70
- GLUCH, W. (1980): Bioindikation mit produktionsbiologischen und morphometrischen Verfahren. Arch. Natursch. u. Landschaftsforsch. 20, S. 99–116

- GROLL, U. (1979): Untersuchungen über den Einfluß von industriellen SO<sub>2</sub>- und Flugascheimmissionen auf die Bodenvegetation in Kiefernforsten der Dübener Heide. Diplomarbeit, Mskr. Halle, 59 S.
- HEINS, S. (1981): Einfluß von SO<sub>2</sub> auf *Hypogymnia physodes* (L.) NYL. Untersuchungen zur Eignung verschiedener biologischer Parameter für eine Bioindikation. Diss. Mskr. Halle
- HELMECKE, K. (1975): Auswertung von Dauerflächenbeobachtungen in Phytozönosen. I. Mathematisch-statistische Verfahren zur Darstellung des Stabilitätsverhaltens von Phytozönosen. Arch. Naturforsch. u. Landschaftsforsch. 15, S. 133–155
- JÄGER, E. (1980): In: Bericht zur Forschungs- und Entwicklungsleistung des WB Geobotanik der MLU Halle-Wittenberg. Mskr. Halle, S. 56–64
- LUX, H. (1965): Die großräumige Abgrenzung von Rauchschadenszonen im Einflußbereich des Industriegebietes um Bitterfeld. Wiss. Z. TU Dresden 14, S. 433–442
- LUX, H. (1975): In: F/E-Bericht des Bereiches Pflanzenchemie der Forstwirtschaftlichen Fakultät der TU Dresden, Mskr.
- MAHN, E. G., u. TIETZE, F. (1979): Beiträge zur Erfassung anthropogener Einwirkungen auf die Struktur von terrestrischen Ökosystemen. Wiss. Z. Univ. Halle XXVIII 79 M, S. 103–124
- PEKLO, P., u. ENDERS, K. (1976): Analyse der Verunreinigung der Luft im Raum Bitterfeld/Wolfen – Istzustand, Auswirkungen, Sanierungsmaßnahmen. Diss. Mskr. Freiberg
- RITTER, G., u. TÖLLE, H. (1978): Stickstoffdüngung in Kiefernbeständen und ihre Wirkung auf Mykorrhizabildung und Fruktifikation der Symbiosepilze. Beitr. Forstwirtschaft 4, S. 162–166
- SCHUBERT, R. (1977): Ausgewählte pflanzliche Bioindikatoren zur Erfassung ökologischer Veränderungen in terrestrischen Ökosystemen durch anthropogene Beeinflussung unter besonderer Berücksichtigung industrieller Ballungsgebiete. Hercynia N. F. 14, S. 399–412
- SCHUBERT, R. (1980): In: Bericht zur Forschungs- und Entwicklungsleistung des WB Geobotanik der MLU Halle-Wittenberg. Mskr. Halle, S. 105–111
- SCHUBERT, R., EBEL, F., HEINS, S., u. MISHRA, G. P. (1978): Nadelgehölze der Botanischen Gärten als Bioindikatoren für SO<sub>2</sub>-Luftverschmutzung. Wiss. Z. Univ. Halle XXVIII 78 M, S. 81–92
- STEBUNG, L. (1976): Niedere und höhere Pflanzen als Indikatoren für Immissionsbelastungen. Daten Dokumente Umweltschutz Hohenheim 19, S. 13–27
- STÖCKER, G. (1974): Zur Stabilität und Belastbarkeit von Ökosystemen. Arch. Naturforsch. u. Landschaftsforsch. 14, S. 237–261

Anschrift des Verfassers:  
 Doz. Dr. Ernst-Gerhard Mahn  
 Martin-Luther-Universität Halle-  
 Wittenberg, Sektion Biowissen-  
 schaften, WB Geobotanik  
 DDR — 4020 Halle/S.  
 Neuwerk 21