

Ausweisung von Zonen unterschiedlicher Immissionsbelastung mittels Bioindikatoren

Lore Steubing

The mapping of the occurrence of epiphytic lichens in the Frankfurt area represents the immission load with acid gases but not with dust and photochemical smog. The impact by photo-smog during the summer time and autumn could be demonstrated by the evaluation of tobacco Bel W-3. Other immission components could be analysed by grass culture of *Lolium multiflorum* and by cabbage (*Brassica oleracea*) which is available also in winter time. Tree bark can be utilized during the whole year. It is an integrator of a lot of pollutants whose accumulation depends to a high degree of the roughness of the respective bark. It seems to be, that particles can be washed out to a minor degree than gaseous pollutants. Living plants are better suited for bioindication than dead bark.

Air pollution, bioindication, Frankfurt area, lichen mapping.

1. Einführung

Mittels physikalisch-chemischer Instrumente kann man exakt die Konzentration von Schadstoffen in der Luft messen. Pflanzen haben eine artspezifische Sensibilität gegenüber Immissionen, auch die Fähigkeit zum Abfangen von Schadstoffen ist artspezifisch. Für beide spielen Entwicklungszustand und Alter eine wichtige Rolle. Insgesamt läßt sich daraus folgern, daß nur ein lockerer Zusammenhang zwischen der Konzentration luftverunreinigender Stoffe und derjenigen, die in und auf Pflanzen gefunden wird, besteht. Die von diesen adsorbierten und absorbierten Immissionen üben Wirkungen auf die Organismen aus und vermögen damit auch deren Funktion in den Ökosystemen zu beeinträchtigen.

Schon eine flüchtige Durchsicht der entsprechenden Literatur zeigt, daß die Zahl der für eine Bioindikation geeigneten Organismen ständig steigt. Hierbei werden zahlreiche Pflanzen- und Tierarten genannt, die sich in Laboratoriumsversuchen als Bioindikatoren erwiesen haben. Als Bioindikatoren versteht man bekanntlich Organismen, deren Stoffwechsel unter einer anthropogen bedingten Schadstoffbelastung eine charakteristische Änderung aufweist. Diese kann äußerlich sichtbar werden, z.B. durch Chlorosen und Nekrosen auf Blättern, aber auch nur physiologisch-biochemisch nachweisbar sein, z.B. durch Änderung von Enzymaktivitäten, der Photosyntheseintensität sowie Akkumulation der Schadstoffe (STEUBING 1978). Geht man davon aus, daß Reizbarkeit generell zu den Kriterien alles Lebendigen gehört, daß demnach alle Organismen - sofern eine bestimmte Reizschwelle überschritten ist - bei entsprechender Dosierung schließlich auch eine Reaktion zeigen, so verwundert es nicht, daß eine ganze Anzahl in der Literatur aufgeführter Bioindikatoren versagen, wenn sie im Freiland eingesetzt werden. Deshalb sollte man m.E. als Bioindikatoren nur solche Organismen bezeichnen, deren Reaktionsvermögen auf eine im Freiland übliche Schadstoffzufuhr hoch genug ist, um sie als Monitoren zur Überwachung von Ökosystemen einzusetzen. Hierfür kommen sowohl sehr empfindliche Arten in Frage, die frühzeitig äußerlich sichtbare Schädigungen aufweisen, als auch solche, die weitaus resistenter sind und meist eine hohe Schadstoffakkumulation zeigen. Alle Bioindikatoren erfassen Immissionswirkungen, nicht Immissionskonzentrationen.

Unsere Untersuchungen konzentrierten sich darauf, zu prüfen, in welchem Umfange Bewertungskriterien für verschiedene Bioindikatoren in ihren Ergebnissen übereinstimmen und sich zu vergleichenden Aussagen über die Belastungssituation einer Region eignen. Die Arbeiten wurden im Rahmen des MAB-Projektes 11 durchgeführt.

2. Untersuchungsgebiet und Probestellen

Die Region Untermain ist nach dem Rhein-Ruhrgebiet der zweitgrößte Ballungsraum im Bundesgebiet. Er umfaßt eine Fläche von etwa 4000 km², auf der über 2 Millionen Menschen wohnen. Geographisch ist das Gebiet durch seine Tallage gekennzeichnet, die von den Mittelgebirgen des im NW gelegenen Taunus, dem Vogelsberg im NE, dem Spessart im SE und dem Odenwald im S umgrenzt wird. Durch die besonderen topographischen Bedingungen gilt der Frankfurter Raum als besonders inversionsgefährdet. Nach WIEGAND, ZINKE (1961) überschreiten dort 10% der Inversionen einen Zeitraum von mehr als 10 Tagen, und 30% halten zwischen 5 und 10 Tagen an.

Aus dem im Untermain-Gebiet vorhandenen Immissionskomplex versuchten wir durch Einsatz eines breiteren Bioindikatorenspektrums Informationen über eine allgemeine

Belastung sowie über die Immissionswirkung von SO₂, HF, HCl, Photooxidantien, polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und der schwermetallhaltigen Stäube von Pb, Cd und Zn zu erhalten. Bei den Probestellen, an denen Pflanzen exponiert oder am Wuchsort gesammelt wurden, mußten Platzverfügbarkeit, Zugänglichkeit und Entfernungen berücksichtigt werden. Daher variiert die Zahl und Dichte der Meßstellen je nach Fragestellung und dem aufzuarbeitenden Pflanzenmaterial. Generell fanden Untersuchungen von Proben statt, die aus dem Hauptverdichtungszentrum inmitten Frankfurts stammten (Bereich Eschenheimer Tor) und mit solchen von Randbezirken (Bereich Tiroler Hütte im Süden) verglichen werden konnten. Eine Reihe von Probestellen lag auf Diagonalen, die den Ballungsraum Frankfurt von Süd-West nach Nord-Ost und Süd-Ost nach Nord-West durchschnitten. Sie waren mit Testpflanzen besetzt worden. Schließlich kam ein weiteres Probestellennetz zustande, indem Borke von den im ganzen Untersuchungsgebiet vorhandenen Apfelbäumen zur Bioindikation diente.

3. Pflanzenmaterial und Methodik

Als Bioindikatoren wurden eingesetzt:

Flechtenexplantate von *Hypogymnia physodes* zum Nachweis einer allgemeinen Belastung; *Pinus mugo* und *Rhododendron catawbiense* dienten ebenfalls zur Information über die Stärke der Einwirkung des in der Region vorhandenen Gesamt-Immissionskomplexes, ebenso aber auch zur Erfassung der artspezifischen Fangeigenschaften für Staub und der Akkumulation von Schwefel. Die zu den SO₂-empfindlichen Leguminosen zählende *Medicago sativa* wurde ebenfalls auf SO₂-Einwirkung hin untersucht. Die Graskultur mit *Lolium multiflorum* (SCHOLL, SCHÖNBECK 1975) ließ sich sowohl für Analysen über eingedrungene Schadgase (SO₂, HF, HCl) als auch für aufgefangene Schwermetallstäube (Pb, Cd, Zn) verwenden, desgleichen die Borke von Apfelbäumen. An *Brassica oleracea* wurden die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe untersucht. Schließlich ließen sich Vorkommen und Einwirkung von Photooxidantien mittels des Bioindikators *Nicotiana tabacum* Bel W-3 bewerten.

Die Analysen wurden nach folgenden Verfahren durchgeführt:

- Schwefelgehalt photometrisch (SCHWAGER, KELLER 1976)
- Fluorgehalt potentiometrisch (RABER et al. 1976)
- polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe gaschromatographisch (GRIMMER et al. 1975)
- Blei, Cadmium, Zink atom-absorptionsspektroskopisch
- Gewinnung und Bewertung von Flechtenexplantaten (nach SCHÖNBECK 1969).

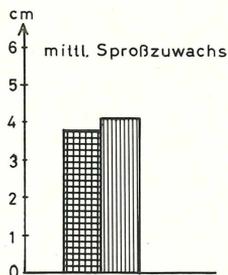
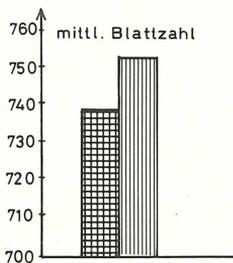
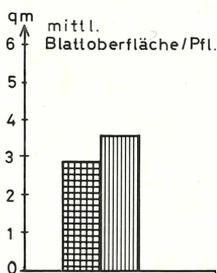
Die als Bioindikatoren eingesetzten Testpflanzen wurden - ebenso wie die Graskultur - in standardisiertem Boden angezogen. Die Wasserversorgung erfolgte halbautomatisch über ein mit dem Bodengefäß verbundenes Wasserreservoir.

4. Versuchsergebnisse

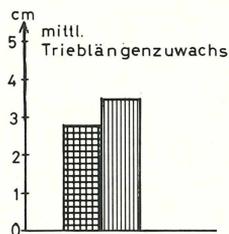
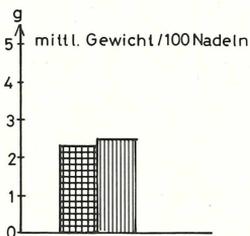
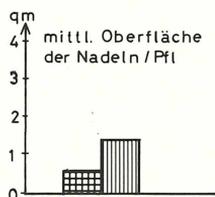
Sieht man von dem photooxidantienempfindlichen Tabak ab, so waren auffällige Veränderungen an den Testpflanzen wenig bemerkbar. Demnach konnte bei unseren im Untersuchungsgebiet exponierten Pflanzen nur mit chronischen Schädigungen gerechnet werden. Durch Messungen ließ sich bei einigen Arten belegen, daß Unterschiede in der Wüchsigkeit bestanden, die eine enge Beziehung zur Immissionsbelastung aufwiesen. So zeigten *Pinus mugo* und *Rhododendron catawbiense* im Zentrum Frankfurts gleichermaßen eine Verringerung der assimilatorischen Fläche und des Zuwachses pro Zeiteinheit verglichen mit denselben Arten am Stadtrand (Abb. 1). Diese morphologischen Unterschiede der Testpflanzen an den Vergleichsstandorten waren bei der immissionsempfindlicheren *Pinus* größer als bei dem resistenteren *Rhododendron*. Bestimmungen des im Pflanzenmaterial enthaltenen Schwefels und des Staubbelags zeigten, daß am gleichen Standort *Pinus* mehr als 10 mal soviel Schwefel inkorporiert und - an einem stark belasteten Standort - über doppelt soviel Staub wie *Rhododendron* abgefangen hatte. In Fichtennadeln immissionsfreier Lagen wird mit Werten um 1550 µg S/g Trockengewicht gerechnet. 2000 µg gelten als Grenzwert für Schädigungen. So kann damit gerechnet werden, daß auch bei *Pinus*, deren Nadeln nach 10-monatiger Expositionszeit im Frankfurter Raum analysiert wurden, bei weiterem Verbleib im Stadtzentrum eine stärkere Schädigung zu erwarten ist.

Beschränkte sich diese Untersuchung von Immissionswirkungen auf nur zwei unterschiedlich belastete Probestellen, so ergaben die Auszählungen von Trieben und Blättern der an 16 Stationen des Untermain-Gebietes exponierten Luzerne ein ähnliches Bild: bessere Wüchsigkeit unter lufthygienisch günstigeren Bedingungen (Abb. 2). CORNELIUS (1980) führte mit diesen 8-12 Wochen im Gelände exponierten Pflanzen Photosynthesemessungen durch, wobei sich zeigte, daß unter dem Immissionsseinfluß eine deutliche Senkung der Photosynthese eingetreten war, die auch noch 24 Std. nach Einholung des Testmaterials und Untersuchung unter konstanten Bedingungen in der Klimakammer nachweisbar war. Die von uns gleichzeitig durchgeführten Kohlenhydratbestimmungen brachten keine streng nachweisbaren Beziehungen zwischen dem Grad der Luftverunreinigung und dem Stärkegehalt, dagegen bestanden solche zur Konzentration an löslichen Kohlenhydraten (Abb. 2).

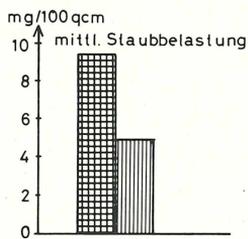
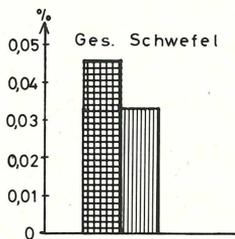
RHODODENDRON



PINUS



RHODODENDRON



PINUS

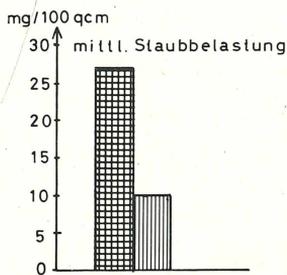
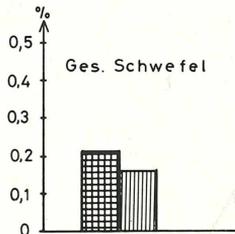


Abb. 1: Wachstum und Oberflächenentwicklung bei *Pinus mugo* und *Rhododendron catawbiense* im Zentrum Frankfurts und am Stadtrand.

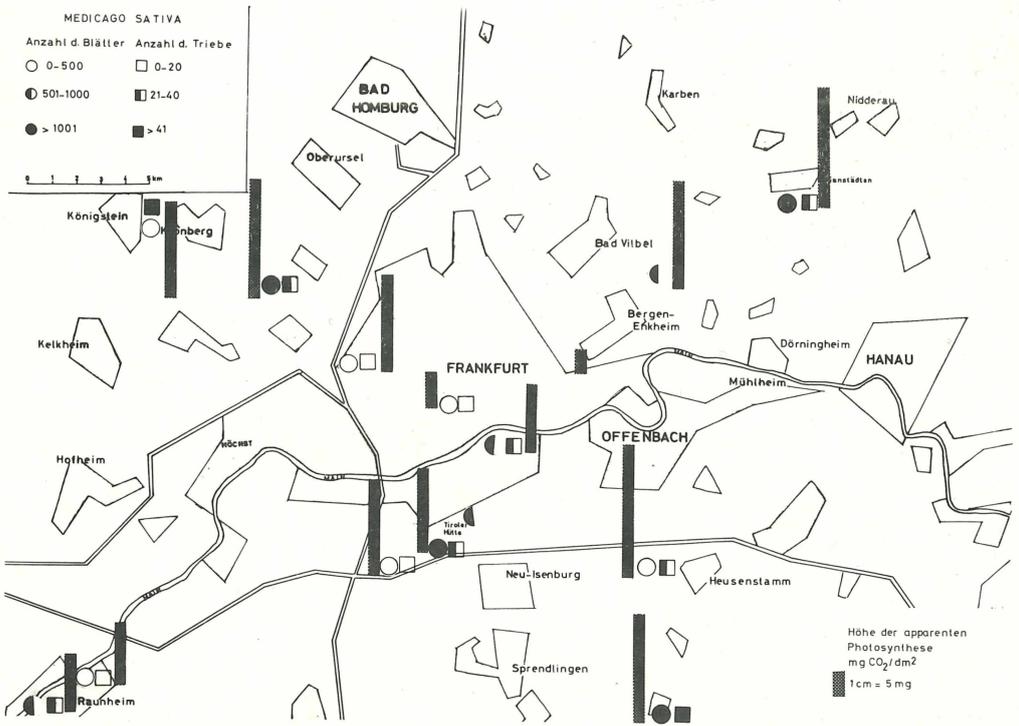


Abb. 2: Mittlere Zahl der Blätter und Triebe sowie Photosyntheseintensität von *Medicago sativa* an verschiedenen Standorten der Region Untermain.

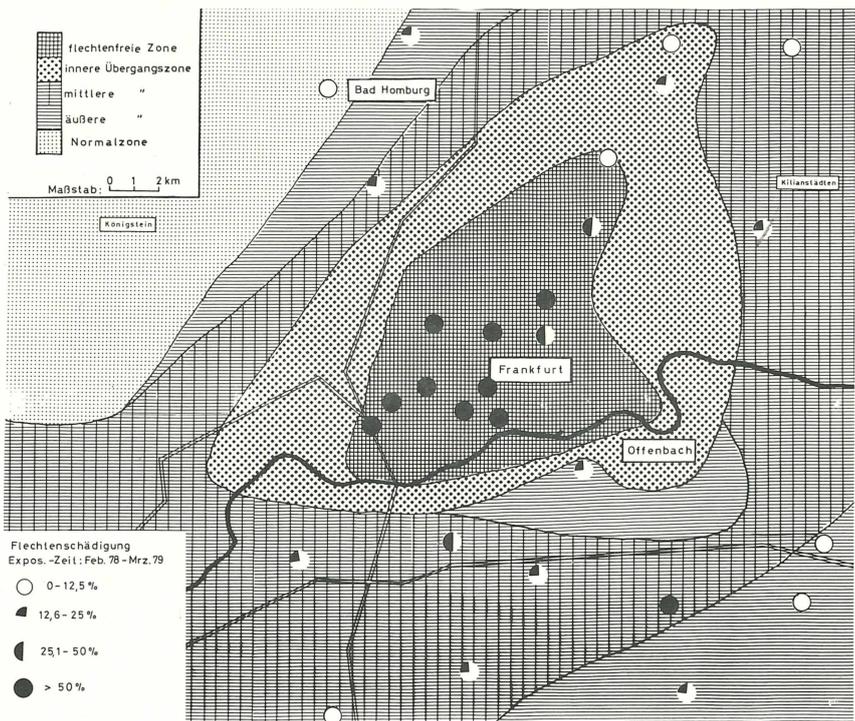


Abb. 3: Schädigungsbonitierung von Flechtenexplantaten innerhalb verschiedener Zonen, die auf der Kartierung epiphytischer Flechten beruhen.

Bei der Exposition unserer Bioindikatoren in lufthygienisch günstigem oder ungünstigen Bereich hatten wir uns zunächst nur nach der von KIRSCHBAUM (1972) erstellten Flechtenkarte gerichtet. In dieser wird die den Verdichtungsraum kennzeichnende, fast flechtenreine Zone von Zonen mit besserer Wüchsigkeit und zunehmender Artenvielfalt der Epiphyten bis hin zur Normalzone mit Arten höherer Ansprüche an Luftreinhalte (und Feuchtigkeit) abgelöst (Abb. 3). Wenn diese flächendeckende und damit zugleich generalisierende Karte als Ausdruck einer langzeitig auf die Flechten einwirkenden Schadstoffkontamination anzusehen ist, so ergibt die Schädigungsbonitierung von Flechtenexplantaten Hinweise über den Belastungsgrad in einem kürzeren Zeitraum. Entsprechende Untersuchungen, die mit *Hypogymnia physodes* durchgeführt worden waren, ergaben eine weitgehende Bestätigung der Flechtenzonierung: Die höchsten Explantatschädigungen wurden inmitten der von natürlichem Flechtenwuchs freien Zone, die geringsten in der Normal- und Übergangszone verzeichnet. Abweichungen konnten durch lokale Emittenten hervorgerufen werden, die auch in einer sonst als günstig zu bezeichnenden Flechtenzone den Schädigungsgrad der Exponate erhöhten. Umgekehrt vermochten besonders Parkanlagen, bei denen offenbar die Filterwirkung der Gehölze zu einer Verbesserung der Wachstumsbedingungen für die Flechten geführt hatte, selbst in einem industriell-urbanen Ballungszentrum den Schädigungsgrad erheblich zu erniedrigen. Die Korrelation zu den Flechtenzonen war bei Explantaten, die 1 Jahr exponiert worden waren, besser als bei solchen, die sich kürzere Zeit im Freien befanden.

Unter den zivilisatorisch bedingten Luftverunreinigungen ist vor allem SO_2 zu nennen. Deshalb wird ihm bei der Beurteilung des Verschmutzungsgrades der Luft als Leitgas eine Indikatorfunktion zugesprochen. Von KIRSCHBAUM et al. (1971) sowie KÖHM, LÖTSCHERT (1972) ist bereits über die Verteilung dieses phytotoxischen Gases innerhalb Frankfurts an Hand von Bioindikator-Ergebnissen berichtet worden. Wir versuchten nun, Wirkungserhebungen für diesen Immissionstyp im gesamten Raum Untermain zu gewinnen und wählten hierzu Borkenproben von Apfelbäumen. (KIRSCHBAUM hatte sich bei der Kartierung des natürlichen Flechtenvorkommens auf diese Baumart beschränkt.) Diese haben den Vorteil, daß der Probenahme nicht erst eine aufwendige Pflanzenanzucht und deren anschließende Exposition und Betreuung vorangehen muß. Außerdem entfällt eine termingebundene Überwachung, die in einem so großräumigen Gebiet nicht durchführbar gewesen wäre. Um nicht nur mit totem Fangmaterial zu arbeiten, wurde an einer Reihe von Standorten die Graskultur eingesetzt. Nach den vorliegenden Ergebnissen wurden erwartungsgemäß hohe Schwefelgehalte im Bereich der Stadt Frankfurt gefunden, jedoch auch außerhalb (bis in den Taunus hinein) ließ sich lokal eine höhere Belastung feststellen (Abb. 4). Während der Schwefelgehalt der Borkenproben als Nachweis einer langfristigen Belastung mit SO_2 zu betrachten ist, konnten durch *Lolium* lediglich die während einer insgesamt dreimonatigen Exposition vorhandenen Immissionen erfaßt werden. Auswaschungen von Schadstoffen durch Niederschläge dürften bei dem abgestorbenen Borkenmaterial zweifellos eine sehr viel größere Rolle spielen als beim Welschen Weidelgras. Unsere Schwefelanalysen zeigten aber, daß die Gehalte in *Lolium* und Borke in ihrer Größenordnung einander entsprachen trotz der sehr unterschiedlichen Expositionszeit. In Graskulturen rechnet man damit, daß eine Schwefelanreicherung über 360 mg/100 g Trockensubstanz immissionsbedingt ist und mit Schädigungen ab etwa 550 mg zu rechnen ist. Dies sind Werte, die an zahlreichen Stellen des Untersuchungsraumes erreicht wurden. Der Grad der S-Akkumulation bei *Lolium* wies eine enge Beziehung zur Flechtenzonierung auf (Abb. 5). Nach dem im Bericht der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain (RPU 1974) vorliegenden Immissionskataster sind die Unterschiede des Fluorgehaltes in der Luft im Untersuchungsgebiet relativ gering. Höhere Anreicherungen in der Baumborke wurden vorwiegend im westlichen Teil des Stadtgebietes von Frankfurt verzeichnet.

Die Belastung der Untermain-Region mit Schwermetallen wurde sowohl mit Borkenproben als auch durch die Graskultur geprüft. Hierbei zeigte sich, daß die im Vergleich zum Welschen Weidelgras rauhe Borkenoberfläche für partikuläre Substanzen eine sehr viel bessere Haftung aufweist als das Gras. Infolgedessen liegen die Borkenprobenwerte weit über denen der Graskultur. Weitgehend unberechenbar bleibt jedoch, in welchem Umfange die innerhalb des Überwachungsgebietes unterschiedliche Niederschlagsmenge und -verteilung zu Staubabwaschungen geführt hat. So lassen sich zwar die erhaltenen Schwermetallwerte mit speziellen Emittenten (Industrie, Verkehr) oder der Bebauungsdichte in Verbindung bringen, jedoch liefert die Graskultur eindeutiger Resultate. Erwartungsgemäß war die Bleikontamination in allen befahrenen Regionen besonders hoch, sei es nun im Zentrum Frankfurts, im Bereich der Autobahnen oder Zufahrtsstraßen zu Industriebetrieben (Industriegebiet Rüsselsheim) oder aber auch im Taunus, wo sich während der Vegetationsperiode der Ausflugsverkehr durch höhere Bleibelastung unserer Testpflanzen durchaus bemerkbar machte. [Die Verteilung von Zink und Cadmium im Untersuchungsraum erwies sich als weitgehend abhängig von dem Vorkommen spezieller industrieller Emittenten.] Niedrig blieben demgegenüber die Bleigehalte sowie die Gehalte an Zink und Cadmium bei Kilianstädten, einem kaum befahrenen Umlandstandort im NO.

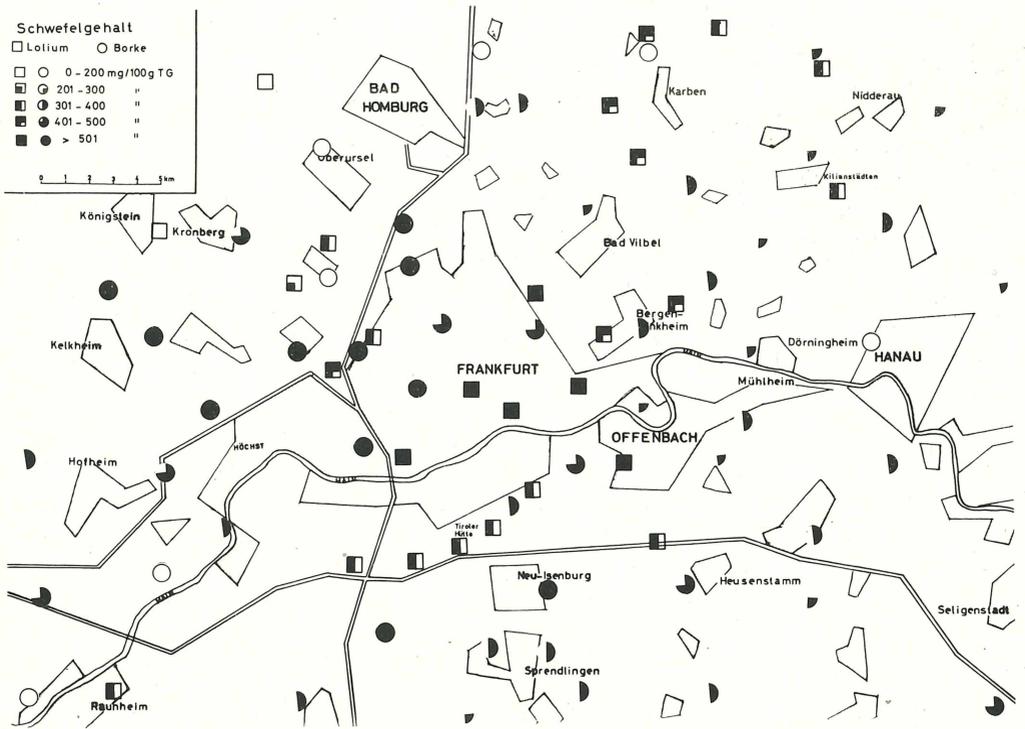


Abb. 4: S-Gehalt von Borkenproben und *Lolium*-Kulturen.

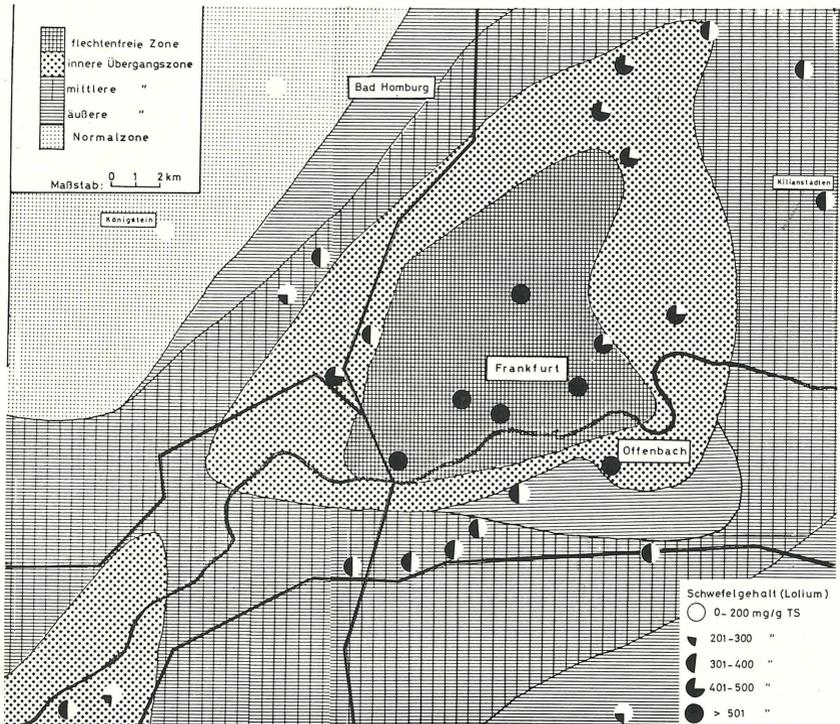


Abb. 5: S-Gehalt von *Lolium* und Flechtenzonierung.

Bei den Untersuchungen machte sich jeweils sehr bemerkbar, ob die Meßstelle für Luftströmungen frei zugänglich oder aber durch Hecken bzw. durch Gebäude abgeschirmt war. So konnte an der B 49 bei *Lolium* hinter einer aus Rosen, Mahonien und Brombeeren bestehenden Hecke stets eine geringere Bleistaubkontamination ermittelt werden als bei den Kontrollpflanzen, die in gleicher Entfernung von der Bundesstraße ohne Heckenschutz standen. Die Graskultur war in 1.5 m Höhe aufgestellt worden; es ist damit zu rechnen, daß bei am Boden befindlichen Pflanzen eine stärkere Verringerung des Bleigehaltes als bei Exposition in größerer Höhe über dem Boden stattfindet (Abb. 6).

Bei der unvollständigen Verbrennung organischen Materials, wie bei den Feuerungen von Hausbrand und Industrie, ebenso aber auch bei den unvollständig verbrannten Verkehrsabgasen treten als Emissionen eine Reihe polycyclischer Kohlenwasser-

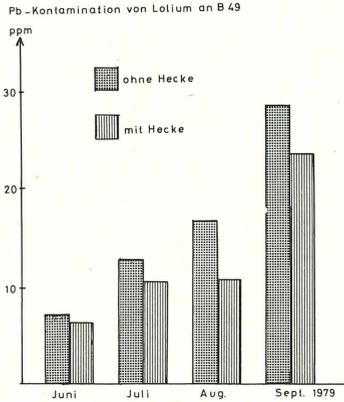


Abb. 6: Bleistaub-filternde Wirkung einer Hecke.

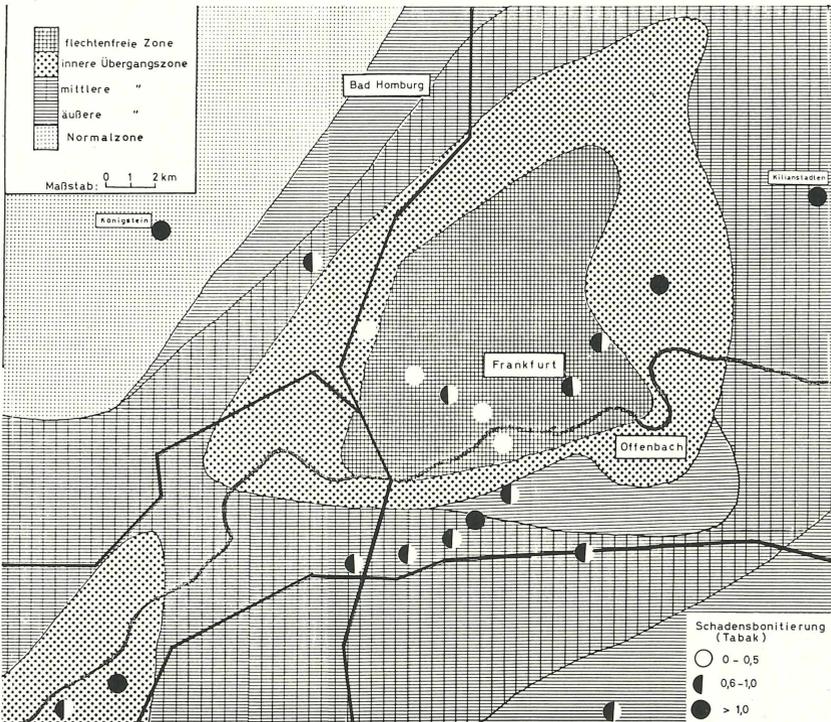


Abb. 7: Schädigungsbonitierung von Tabak Bel W-3 zur Erfassung der Belastung mit Photooxidantien.

stoffe auf, unter denen eine ganze Reihe kanzerogene Wirkung haben. Schon früher wurde in einigen Städten die Bestimmung des Benzo(a)pyrens vorgenommen als Leitsubstanz für diese Gruppe der polycyclischen Aromate. Inzwischen ist bekannt, daß nicht nur Benzo(a)pyren, sondern eine ganze Reihe weiterer Stoffe kanzerogene Wirkung haben. Diese Stoffe sind vielfach an Ruß gebunden und setzen sich daher auf rauhen Oberflächen besonders gut fest. So konnten wir beispielsweise feststellen, daß Benzo(a)pyren auf den behaarten Blättern des Schneeballs stärker akkumuliert war als auf den glatten von *Rhododendron*. Inzwischen ist der Grünkohl als Standardpflanze zur Erfassung dieser polycyclischen Aromate anerkannt. Grünkohl ist gekennzeichnet durch wachsartige Überzüge der Blätter, die in der Lage sind, diese Stoffe sehr gut zu adsorbieren. Bei den von POOS (Diss. in Vorb.) durchgeführten Untersuchungen wurde deutlich, daß im Frankfurter Raum etwa 3-4fach höhere Konzentrationen dieser polycyclischen, kanzerogenen Aromate vorliegen als in industrie- und verkehrsärmeren Regionen.

Generalisierend läßt sich sagen, daß die bisher geschilderten Luftverunreinigungs-komponenten in ihrer Verteilung insoweit dem Immissionsstyp des SO₂ folgen, als sie sich in urban-industriellen Verdichtungsbereichen konzentrieren. Ein völlig anderes Bild lieferte dagegen die Schädigungsbonitierung des oxidantienempfindlichen Tabaks: Starke Nekrotisierung der Blätter wurde nämlich im Taunus verzeichnet, weitaus geringere im Bereich der Stadt Frankfurt. Das Untermain-Gebiet weist - vor allem im Spätsommer und Herbst - häufiger Photosmog auf. Dieser Immissionsstyp geht primär auf Verkehrsabgase und Feuerungsanlagen zurück, bei denen u.a. Kohlenwasserstoffe und Stickoxide entweichen. Diese Primär-Immissionen gehen bei klarem Wetter unter dem Einfluß der EV-Strahlung eine photochemische Reaktion ein. Erst die daraus resultierenden Sekundär-Immissionen wie Ozon und Peroxyacetylnitrat (PAN) werden phytotoxisch wirksam. Dies bedeutet zugleich, daß dieser sog. Los Angeles-Smogtyp im Gegensatz zu dem vorwiegend durch SO₂ bedingten "London-Smog" seine stärkste Wirkung weniger im Bereich der die chemischen Vorläufer liefernden Emittenten entfaltet, sondern erst in weiterer Entfernung durch die Sekundär-Immissionen zum Tragen kommt. Offenbar werden hiervon die ansteigenden Randgebiete der Untermain-Region besonders betroffen (Abb. 7).

Literatur

- CORNELIUS R., 1980: Nettophotosynthese von Gehölzen in einem Immissionsgebiet. Beitr. Biol. Pfl. 55: 33-47.
- GRIMMER G.A., HILDEBRANDT, BÖHNKE H., 1975: Profilanalyse der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe in proteinreichen Nahrungsmitteln, Ölen und Fetten (gaschromatographische Bestimmungsmethode). Dt. Lebensmittelrundschaу 71: 93-100.
- KIRSCHBAUM U., KLEE R., STEUBING L., 1971: Flechten als Indikatoren für die Immissionsbelastung im Stadtgebiet von Frankfurt/M. Staub, Reinh. Luft 31: 21-42.
- KIRSCHBAUM U., 1972: Flechtenkartierungen in der Region Untermain zur Erfassung von Immissionsbelastungen. Tagungsber. Ges. f. Ökol. Gießen: 133-140.
- KÖHM H.J., LÖTSCHERT W., 1972: pH-Wert und S-Gehalt der Baumborke als Indikatoren der Luftverunreinigung im urban-industriellen Ökosystem um Frankfurt. Tagungsber. Ges. f. Ökologie: 147-152.
- RABER H., HUBER H., LIKUSSAR W., GRILL D., 1976: Eine spektralphotometrische Schnellmethode zur Bestimmung von Fluorid im Pflanzenmaterial als Nachweis von Fluorimmissionen. Angew. Bot. 50: 135-140.
- RPU, 1972: Lufthygienische Modelluntersuchungen in der Region Untermain. Frankfurt (Reg. Planungsgem. Untermain).
- SCHOLL G., SCHÖNBECK H., 1975: Erhebungen über Immissionsraten und Wirkungen von Luftverunreinigungen im Rahmen eines Wirkungskatasters. Schrift. Landesanst. Immissions- Bodennutz. NRW 33: 73-80.
- SCHÖNBECK H., 1969: Eine Methode zur Erfassung der biologischen Wirkung von Luftverunreinigungen durch transplantierte Flechten. Staub, Reinh. Luft 29: 14-18.
- SCHWAGER H., KELLER T., 1976: Zur Mikrobestimmung des Gesamtschwefels im Pflanzengewebe. Int. J. Environm. Anal. Chem. 4: 275-284.
- STEUBING L., 1978: Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Pflanzen; Pflanzen als Bioindikatoren. In: (Ed. BUCHWALD, ENGELHARDT) Handbuch für Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt 2: 165-175. [München/Bern/Wien (BLV)].
- WIEGAND A., ZINKE W., 1961: Reinhaltung der Luft und Abwehr von Betriebslärm in Frankfurt am Main. Arbeitsber. Gewerbe- u. Ordnungsamt. Stadt Frankfurt.

Adresse Prof. Dr. Lore Steubing
Heinrich-Buff-Ring 38
D-6300 Gießen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [9_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Steubing Lore

Artikel/Article: [Ausweisung von Zonen unterschiedlicher Immissionsbelastung mittels Bioindikatoren 233-240](#)