

und Erholung sowie durch Rohstoffgewinnung, städtisch-industrielle Nutzungen, Wasserwirtschaft und Straßenbau. Insbesondere bei Straßenbaumaßnahmen ist nicht nur der Eingriff selbst, sondern verstärkt die Bildung von Insellagen bei hoher Straßendichte entscheidend, da Tier- und Pflanzenpopulationen in ständig engere Lebensräume durch die abiotische Barriere gedrängt werden.

In der Region Main-Rhön treffen auf 1 km<sup>2</sup> Fläche bereits über 2 laufende km Straßen und Wege.

#### Literatur

BAYER. STAATSREGIERUNG:

5. Raumordnungsbericht 1977/78. Hrsg. Bayer. Staatsmin. f. Landesentwicklung und Umweltfragen 1980.

ERZ, W.:

Naturschutz - Grundlagen, Probleme und Praxis. In: Handbuch für Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt. Hrsg. Buchwald/Engelhardt. 1979. München.

HÄUPLER, H.:

Die verschollenen und gefährdeten Gefäßpflanzen Niedersachsens, Ursachen ihres Rückgangs und zeitliche Fluktuation der Flora. Schr.R.f. Vegetationskunde. H. 10, 1976. Bonn-Bad Godesberg.

KAULE, G., SCHALLER, J. und SCHÖBER, H.-M.:

Schutzwürdige Biotope in Bayern. Auswertung der Kartierung - Allgemeiner Teil. Hrsg. Bay. Landesamt f. Umweltschutz. 1979. München.

KÜNNE, H.:

Rote Liste bedrohter Farn- und Blütenpflanzen in Bayern. Schriftreihe Naturschutz und Landschaftspflege. München. Heft 4, 1974.

MADER, H.-J.:

Die Isolationswirkung von Verkehrsstraßen auf Tierpopulationen untersucht am Beispiel von Arthropoden und Kleinsäugern der Waldbiozönose. Schr.R.f. Landschaftspflege und Naturschutz. H. 19, 1979. Bonn-Bad Godesberg.

SCHLENKER, G.:

Organisatorische, technische und fachliche Voraussetzungen zur Erhaltung von Arten in Freiland-Museen. Tagungsbericht 4, 1979: Freiland-Museen - Chance für die Erhaltung gefährdeter Arten. Hrsg. Akademie f. Naturschutz und Landschaftspflege. Laufen.

SUKOPP, H.:

Arten- und Biotopschutz in Agrarlandschaften. Daten und Dokumente zum Umweltschutz, Nr. 30. Ökologische Probleme in Agrarlandschaften. 1980. Hohenheim.

SUKOPP, H., TRAUTMANN, W. und KORNECK, D.:

Auswertung der Roten Liste gefährdeter Farn- und Blütenpflanzen in der Bundesrepublik Deutschland für den Arten- und Biotopschutz. Schr.R.f. Vegetationskunde. H. 12, 1978. Bonn-Bad Godesberg.

## Biologische Indikatoren für Umweltbelastungen

W. Pohl

In Pressemedien und Tagesgesprächen wird z.Z. mit Besorgnis über die schweren Schäden in unseren Nadelwäldern, vor allem das sogenannte Tannensterben diskutiert. Im Bayerischen Wald, Allgäu, Schwarzwald, Jura, Frankenwald, Thüringer Wald und Fichtelgebirge berichten die Forstleute, daß sich im Nadelwald die Nadeln verfärben, die Äste verkümmern und ihre Nadeln abwerfen, sich die Kronen bedrohlich lichten, dann oft Schädlinge einfallen und letztlich die Bäume sterben. Was sind die Ursachen? Sind es Standortbedingungen, klimatische Einflüsse oder Immissionen von umweltschädlichen chemischen Verbindungen, sogenannten Umweltchemikalien?

Das Bayer. Landesamt für Umweltschutz nimmt sich im Rahmen seiner Aufgaben des Problems der Umweltchemikalien und ihrer in aller Regel negativen Wirkungen auf Pflanze, Tier und Mensch, ganz allgemein auf Ökosysteme, in besonderer Weise an und untersucht sehr intensiv die dadurch hervorgerufenen Umweltbelastungen.

### 1. Umweltbelastungen

Schadstoffbelastungen, die im wesentlichen anthropogen bedingt sind, treten in zweierlei Hinsicht auf:

#### 1.1 Atmosphärenbürtige Umweltbelastungen

Unter diesen versteht man ganz allgemein alle Schadstoffe, die über unseren Luftraum verbreitet werden. In diese Gruppe fallen Schadstoffe der verschiedensten chemischen Stoffklassen, z.B. die hauptsächlich aus Industrie und Hausbrand abgegebenen Schadgase SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>, die von Kraftfahrzeugen emittierten Kohlenwasserstoffe und das Schwermetall Blei, aus sonstigen Verbrennungsvorgängen stammende Schadstoffe wie kanzerogene polycyclische Kohlenwasserstoffe sowie zahlreiche durch den Luftraum verbreitete Pestizide oder andere aus dem Bereich der Nahrungsmittelproduktion

stammenden Schadstoffe. Auch die von verschiedenen Industriezweigen ausgehenden spezifischen Luftverunreinigungen zählen hierzu.

Mit Niederschlägen werden solche luftverunreinigenden Schadstoffe in den Boden verfrachtet, wo sie, z.B. wegen des höheren Säuregehaltes, Veränderungen in Boden, Vegetation und Fauna bewirken können.

#### 1.2 Sonstige Umweltbelastungen

Neben den atmosphärenbürtigen Immissionen gibt es auch Schadstoffe, bei denen die Luft nicht oder nur mittelbar als Transportmedium anzusehen ist.

Als Beispiel sei die Verfrachtung etwa von Düngemitteln und Pestiziden durch das Wasser bzw. durch Erosion genannt, die zu Gewässerbelastungen (Eutrophierung!) führen kann; auch die zur Schwarzräumung während der winterlichen Streuperiode auf die Verkehrswege ausgebrachten Auftausalze können in den Straßenrandbereichen Schäden an Vegetation und Boden verursachen.

Neben dieser Einstufung sind Umweltschadstoffe auch nach ihren Wirkungen zu beurteilen.

### 2. Schädwirkungen

Unterschiedliche Schadstoffe bewirken häufig recht ähnliche Schädbilder; es ist zweckmäßig, sie nach Stoffklassen zu gliedern. Neben akuten Schädigungen, wie sie z.B. durch Spitzenkonzentrationen von SO<sub>2</sub> und SO<sub>3</sub> hervorgerufen werden, können insbesondere chronische Schädigungen durch dauernde oder wiederholte längere Einwirkungen niedriger Schadstoffkonzentrationen auftreten.

#### 2.1 Säurebildende Schadgase

Zu ihnen gehören Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Fluorwasserstoff

(HF), Chlorwasserstoff (HCl) und Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>). Unter den pflanzenschädigenden Immissionen herrscht SO<sub>2</sub> mengenmäßig vor. Es vermindert die Wuchleistung der Pflanzen.

An Koniferen äußern sich akute Schädigungen durch ätzend wirkende Schadgase wie SO<sub>2</sub> und HF in gelbbraunen, fuchsroten oder rotbraunen Verfärbungen der Nadeln. Diese beginnen an der Spitze und erstrecken sich bis zur Basis. Die nektrotisierten Nadeln fallen bald nach der Verfärbung ab. Bei stärkerer Dauerbelastung kommt es zu chronischen Schäden, d.h. zu einem vorzeitigen Abfall der älteren Nadeljahrgänge, ohne daß bräunliche bis gelblich-weiße Verfärbungen auftreten. In diesem Fall sind meist nur noch die 1-jährigen Nadeln vorhanden, deren hellgrüne Farbe auffallend ist.

Den Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>) kommen unter den säurebildenden Schadgasen die geringsten phytotoxischen Wirkungen zu. Die augenfälligsten Effekte sind Schadsymptome an Blättern, die in verkehrsbelasteten Bereichen in unmittelbarer Fahrbahnnahe auftreten. Eine Diagnose von NO<sub>x</sub>-Schäden an Pflanzen ist schwierig und erfolgt in der Regel durch Analyse der Blattfarbstoffe. Neben der Veränderung der Blattpigmente wird meist durch eine Beeinflussung des Stoffwechsels die Photosynthese gehemmt.

Von wesentlich größerer Bedeutung ist bei NO<sub>x</sub> die indirekte Wirkung durch Bildung photochemischer Sekundärprodukte. Durch Sonnenlicht gehen Stickstoffoxide und reaktive Kohlenwasserstoffe photochemische Reaktionen ein, wodurch es zur Bildung des »photochemical smog« mit seinen phytotoxischen Eigenschaften kommt. Hierbei ist die Bildung von Ozon, der Leitsubstanz der Photooxidantien, in der unteren Atmosphäre (nach der Gleichung  $\text{NO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{NO} + \text{O}_3$ ) von besonderer Bedeutung. Ozonschädigungen werden z.B. vom LfU<sup>1)</sup> mit Hilfe von Tabakpflanzen der Sorte Bel W 3 in sog. Plantainergefäßen nachgewiesen. Die Schäden treten erst an den Blattspitzen auf, erfassen jedoch mit zunehmendem Blattalter auch basale Teile der Blattfläche.

## 2.2 Verkehrsabgase und Folgeprodukte sowie verkehrsbedingte Schadstoffe

Neben den geschilderten Schadwirkungen hat sich unter den Primärimmissionen des Kfz-Verkehrs in der Stadtluft nur das Äthylen in stärkerem Maße als phytotoxisch erwiesen. Äthylen bewirkt – ähnlich wie NO<sub>x</sub> – bei Pflanzen Epinastie, d.h. geringeres Wachstum, verringerte Blühfähigkeit und vorzeitigen Blattabwurf oder frühzeitiges Altern. Als physiologische Wirkung ist eine Erhöhung der Peroxidaseaktivität zu nennen.

Pflanzen in Straßennähe sind darüber hinaus Kfz-bedingten Belastungen durch Staub, Reifenabrieb, Asphaltabrieb, Bleiablagerungen u. dgl. ausgesetzt. Diese Belastungen können zu verringertem Stärkegehalt der Blätter, verringerter Photosynthese und phytotoxischen Wirkungen führen. Entsprechende Untersuchungen in München zeigen dabei die Abhängigkeit des Ca-, Si- und Pb-Gehaltes bei Tabakblättern und Fichtennadeln von der Nähe der Expositionsstellen zum Fahrbahnrand.

Eine weitere Schadwirkung auf die straßennahen Vegetationsbereiche geht von dem während der winterlichen Streuperiode ausgebrachten Auftausalz aus. Dieses überwiegend aus Natriumchlorid bestehende Streumittel gelangt durch die Verkehrsgischt und abfließendes Oberflächenwasser auf die straßennahe Vegetation und in das Erdreich.

Hier kommt es entweder direkt oder indirekt über die Nährstoffaufnahme zu nicht unerheblichen Pflanzenschäden. Die Bäume – insbesondere Koniferen – zeigen eine Braunfärbung, die zu frühzeitigem Abwurf der Assimilationsorgane führen

kann. Mehrjährige Einwirkung kann durch Störungen der Assimilationsleistung, des Wasserhaushaltes und verminderte Abwehrkraft sogar zum Absterben der Bäume führen.

Chloridkonzentrationen in den Nadeln sind auf der straßenzugewandten Seite bis zum Vierfachen der auf der straßenabgewandten Seite festgestellt worden.

## 2.3 Schwermetalle

Auf das vom Kfz-Verkehr emittierte Schwermetall Blei wurde bereits hingewiesen. Daneben sind noch andere toxische Schwermetalle zu erwähnen, insbesondere Cadmium, Quecksilber und Zink. Dabei dürfte die für die biologische Wirkung von Quecksilber entscheidend verantwortliche Alkylierung zum äußerst mobilen hochtoxischen Methylquecksilber bei Cadmium wegen der geringeren Stabilität der Cd-Alkyle von untergeordneter Bedeutung sein. In sämtlichen untersuchten höheren Lebewesen zeigt sich, daß Cd in den Nieren sich meist in höheren Konzentrationen anreichert als im übrigen Gewebe.

Quecksilber ist mit Sicherheit als das in der gesamten Biosphäre mobilste Element anzusehen. Hg-Anreicherungen sind häufig in Wasservegeiern, Federn, im Lebergewebe von Saattressern und deren Beutegreifern festgestellt worden.

Schwermetalle belasten in der Regel tierische Organismen, an Pflanzen sind akute Schäden – mit Ausnahmen – bisher nicht bekannt geworden.

## 2.4 Pestizide

Von den in der Landwirtschaft verwendeten Pflanzenschutzmitteln haben insbesondere die persistenteren Chlorkohlenwasserstoffe gewisse Bedeutung gewonnen. Sie reichern sich in der Nahrungskette an. Zu dieser chemischen Stoffgruppe sind auch andere vom Menschen verwendete Hilfsstoffe, wie z.B. polychlorierte Biphenyle zu rechnen.

Diese Schadstoffe können eine Reihe von negativen Wirkungen an Endgliedern der Nahrungsketten zur Folge haben. Als Beispiele seien der Rückgang von Greifvögeln mit der statistisch gesicherten Eischalenverdünnung bei einer Reihe dieser Vogelarten und die Anreicherung in lipophilen Substraten wie der Muttermilch zu nennen.

Viele dieser Pestizide, wie beispielsweise DDT und seine Metaboliten,  $\alpha$ - und  $\gamma$ -HCH, HCB und PCB, finden sich, obwohl einige seit geraumer Zeit nicht mehr verwendet werden dürfen oder ihre Verwendung eingeschränkt wurde, in nahezu allen Umweltproben, auch fern jeder Zivilisation.

## 3. Möglichkeiten der Bioindikation

Gegenmaßnahmen gegen solche Umweltbelastungen setzen genaue Kenntnisse über Verteilung und Konzentration voraus.

Ein Weg hierzu ist die Bioindikation. Hierunter ist der Nachweis von Umweltschadstoffen in biologischem Material, meist Tierkörper oder Teile derselben oder Pflanzen, zu verstehen. Das LfU führt seit Jahren Untersuchungen über die Wirkungen von luftverunreinigenden Schadstoffen an Bioindikatoren durch. Die Untersuchungen ergänzen kontinuierliche oder diskontinuierliche physikalische und chemische Messungen zur Ermittlung von gas- oder staubförmigen Immissionen. Als günstigstes Objekt zur Bioindikation bieten sich Pflanzen an, da sie standortsgebunden und somit von ihrer Umwelt besonders abhängig sind. Darüber hinaus sind meist viele Individuen vorhanden, so daß vergleichende Untersuchungen möglich sind.

Daneben wird versucht, auch im Bereich der Tierwelt geeignete Bioindikatoren zu finden. Hier treten allerdings

1) Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Schwierigkeiten auf, da viele Tiere nicht ortsgebunden leben. Solche Tiere, z.B. Zugvögel, kommen für die räumliche Überwachung des Schadstoffgehaltes nicht in Betracht, da in der Regel kein Bezug zur Herkunft des inkorporierten Stoffes hergestellt werden kann.

Auch die Untersuchung von Böden als belebtes oder abiotisches Substrat ist eine derartige Überwachungsmöglichkeit. Als Beispiel sei die Langzeituntersuchung der Auswirkungen von Auftausalz genannt.

### 3.1 Pflanzen

Bei Pflanzen ist zu unterscheiden zwischen Akkumulationsindikatoren und sensitiven Indikatoren. Umweltbelastungen beeinflussen Stoffwechselvorgänge, wobei stärkere Immissionskonzentrationen schließlich zu äußeren Schäden oder sogar zum Absterben der Pflanzen führen (sensitive Wirkung). Daneben können Schadstoffe in den Pflanzen gespeichert werden (akkumulative Wirkung). Daraus können zwei Möglichkeiten der Wirkungsfeststellung abgeleitet werden:

Während die quantitative Feststellung der Schadstoffanreicherung (Akkumulationsindikatoren) komponentenspezifisch ist, ist bei der Erfassung einer biologischen Wirkung, gar bei Erfassung der Gesamtwirkung mehrerer Schadstoffkomponenten, nur eine allgemeine Beurteilung, jedoch keine Ursachenanalyse möglich. Als Beispiel sei die Kartierung von Flechten zur Wirkungsfeststellung von Luftverunreinigungen in Ballungsräumen erwähnt. Neben diesen unspezifisch-sensitiven Indikatoren setzt das LfU auch andere pflanzliche Bioindikatoren ein.

#### Städtische Meßnetze

In städtischen Ballungsräumen werden in Plantainern verschieden spezifisch-sensitive Indikatorpflanzen im Verbund mit Akkumulationsindikatoren, so Tabak (Sorte Bel W 3), amerikanische Esche, Fichte, Gräser und Petunien ausgebracht und in gewissen Zeitabständen bonitiert oder auf Schadstoffe, insbesondere Schwefelanreicherungen, untersucht.

In München wurden dabei Schwefelgehalte in den Fichtennadeln von 1550–2575 µg/g TS gemessen.

Die Befunde stimmen übrigens mit der erwähnten Flechtenkartierung gut überein.

Auf die weiteren Untersuchungsergebnisse aus dem Stadtbereich München, z.B. die Pb-, Ca-, Si- und F-Gehalte in Tabak und Fichtenblättern in Abhängigkeit von der Straßenentfernung sowie der Blütenabfall von Petunien, der Chlorophyll- und Stärkegehalt, die Peroxidaseaktivität und dgl. weise ich nur hin, sie wurden in Heft 9 der Schriftenreihe »NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE« des LfU beschrieben.

Wegen der besonderen orographischen und meteorologischen Verhältnisse Würzburgs wurde auch dort ein Indikatornetz mit Fichten aufgebaut, das Aufschluß über die Schadstoffbelastung des Würzburger Talkessels, die lufthygienische Situation längs des Mains und die Schadstoffverteilung in unterschiedlichen Höhenbereichen über die Talsohle gibt.

#### Bioindikatornetze in Ballungsräumen

Auf Grund der Verordnung vom 29.04.1976 sind in Bayern verschiedene Belastungsgebiete festgelegt. In diesen Belastungsgebieten sowie im Raum Schwandorf-Weiden bzw. in 5 Vergleichsgebieten wurden Bioindikatormeßnetze eingerichtet, wobei in Gitterabständen von 3.0 km in der W-O-Richtung und 2.0 km in der N-S-Richtung Fichten oder Kiefern

als Indikatorbäume ausgewählt wurden, die für eine Fläche von 12 km<sup>2</sup> repräsentativ sind.

Von diesen Koniferen werden – wie in München und Würzburg – im Herbst Nadelproben genommen und auf ihren Gehalt an Schwefel und Fluor untersucht. Die Bereiche gleicher Schwefel-, bzw. Fluorbelastung werden, ähnlich den städtischen Bereichen, mit Isoplethen kartenmäßig dargestellt.

Die Verteilung läßt sich nicht immer eindeutig mit den in diesem Raum vorhandenen Emittenten (Erdölraffinerien, Kraftwerke, Petrochemie, Papierfabrik, Ziegeleien u. dgl.) und den orographischen wie meteorologischen Verhältnissen in Zusammenhang bringen. Die Schwefelgehaltskurven korrelieren jedoch gut mit den SO<sub>2</sub>-Ausbreitungsrechnungen, die im Rahmen des Luftüberwachungssystems Bayern erfolgen.

#### Flächendeckendes Bioindikatormeßnetz

Über diese engmaschigen Meßnetze hinaus wurde 1977 in ganz Bayern ein flächendeckendes Bioindikatornetz mit einem Gitterabstand von 16 km eingerichtet, welches über die außerhalb der Belastungsgebiete herrschende lufthygienische Situation Aussagen liefert.

Hierbei fällt die starke Schwefelbelastung im NO-bayerischen Raum ins Auge, die darauf schließen läßt, daß sie durch Emittenten östlich und nordöstlich der Landesgrenze verursacht wird (z.B. auch der Katzendreckgestank). Aus diesem Grund hat das LfU das flächendeckende Bioindikatormeßnetz im Fichtelgebirge und Frankenwald verdichtet.

### 3.2 Tiere

Neben pflanzlichen Bioindikatoren, die vom LfU seit Jahren eingesetzt werden, sollten in den Jahren 1976/77 auch Tiere auf ihre Verwendbarkeit als Bioindikatoren überprüft werden.

Mehrere Untersuchungen haben sich mit dem Gehalt an Chemikalien in Vogeleiern – insbesondere Greifvogeleiern – befaßt und über die Belastung mit Chlorkohlenwasserstoffen und polychlorierte Biphenylen berichtet.

In einem vom LfU durchgeführten Untersuchungsprogramm »Vogeleier« wurden weitergehende Überlegungen angestellt: Für die Untersuchungen sollte eine relativ standortstreuere Vogelart mit ubiquitärem Vorkommen in genügend hoher Populationsdichte und endnaher Stellung in der Nahrungskette ausgewählt werden. Diese Bedingungen erfüllten am besten die Amsel und mit gewissen Einschränkungen der Fasan. Außerdem sollten fachlich-analytische und organisatorische Erfahrungen gesammelt werden, ob sich deren Eier für eine flächige Überwachung der Schadstoffbelastung durch Chlorkohlenwasserstoffe und Schwermetalle eignen.

In folgenden Untersuchungsbereichen wurden Amseleier gesammelt:

Ballungsraum – Stadtgebiet München	= Bereich I
Landwirtschaftlicher Bereich mit überwiegend ackerbaulicher Nutzung	= Bereich II
Landwirtschaftlicher Bereich mit überwiegender Grünlandnutzung	= Bereich III
Naturnaher Bereich	= Bereich IV

Aus ähnlich strukturierten Bereichen wurden auch Fasaneneier beschafft.

Die Amsel- bzw. Fasaneneier wurden in Zusammenarbeit mit der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau auf ihren Gehalt an umweltbedeutsamen Chlorkohlenwasserstoffen (HCB, PCB  $\alpha$ - und  $\gamma$ -HCH, DDT und DDE sowie Dieldrin) und Schwermetallen (Pb, Zn, Cd und Hg) untersucht.

Besondere Beachtung verdienen die Ergebnisse über die

HCb-Belastung im Bereich I und II sowie über die PCB-Belastung im Bereich I.

Vereinfacht ausgedrückt zeigen die Ergebnisse, daß hinsichtlich der Chlorkohlenwasserstoffe PCB offenbar eine Zeigerfunktion für die Siedlungsdichte zukommt. Mit Einschränkungen kann dies auch für  $\gamma$ -HCH, DDE und HCB gelten. Außerdem besteht eine Korrelation zwischen der HCB-Konzentration der Eier und dem Ausmaß der landwirtschaftlichen Nutzung in den Probenahmegebieten.

Über die Schwermetallgehalte in den Amseleiern wurde festgestellt, daß zwischen den Parkgebieten Münchens und den übrigen untersuchten Bereichen keine nennenswerten Unterschiede bestanden, während in den Gelegen aus verkehrsbelasteten Bereichen Münchens deutlich höhere Pb-, Cd- und Hg-Werte auftraten.

Die erhöhten Pb- und Cd-Werte im verkehrsbelasteten Stadtbereich sind plausibel, wogegen für die erhöhten Hg-Werte eine Erklärung noch fehlt.

#### 4. Boden

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß auch der Boden für viele Schadstoffe eine Speicherfunktion erfüllt, die ihn durchaus als Indikator für Umweltbelastungen geeignet erscheinen läßt.

Es sei nur an die Belastung des Bodens durch Schwermetalle aus landwirtschaftlich verwerteten Siedlungsabfällen (z.B. Klärschlamm) erinnert.

Als Indikator kommt der Boden auch für den Nachweis von Auftausalz in Frage, dessen Chlorid- bzw. Natrium-Ionen im Boden unterschiedlich rasch vordringen. Während das Cl-Ion relativ leicht beweglich ist und in Abhängigkeit von den Jahresniederschlägen mehr oder minder schnell ausgewaschen wird, wird das Na<sup>+</sup>-Ion im Boden länger festgehalten und kann dabei gegen Ca<sup>++</sup>- und Mg<sup>++</sup>-Ionen austauschen. Das führt zu einer Verschlechterung des Bodenhaushaltes, die sich wiederum negativ auf das Wachstum der Vegetation auswirkt. Dies veranlaßte das LfU, an einem ausgewählten Straßenzug von Nord- nach Südbayern Untersuchungen über den Gehalt an Auftausalz im Boden in verschiedenen Entfernungen von der Straße zu beginnen, um langfristige Veränderungen erkennen zu können.

#### 5. Schlußbetrachtungen

Zum Schluß sei erwähnt, daß derzeit zwei Forschungsvorhaben zu den Themenkreisen laufen, nämlich »Über die räumliche und zeitliche Verteilung von einigen atmosphärenbürtigen Umweltgiften in Bayern«, wobei die Eignung von Moosen für Bioindikatorzwecke untersucht werden soll, und über die »Optimierung eines Verfahrens zur Anwendung von Bioindikatoren für Wirkfeststellungen durch Luftverunreinigungen«.

Beide Forschungsvorhaben sind aber noch nicht abgeschlossen.

Darüber hinaus sollte in diesem Jahr ein Vorhaben über die »Entwicklung eines Routineverfahrens zur flächenbezogenen Überwachung persistenter Chlorkohlenwasserstoffe und Schwermetalle durch tierische Bioindikatoren« in Angriff genommen werden; diese Absicht konnte wegen fehlender Haushaltsmittel noch nicht verwirklicht werden.

Alle diese Erkenntnisse dienen dazu, anthropogene Schadenseinflüsse festzustellen, nach Möglichkeit zu quantifizieren, mögliche Wirkungen auf Pflanze, Mensch und Tier abzuschätzen und letztlich durch geeignete Gegenmaßnahmen die Belastungen mit umweltwirksamen Schadstoffen langfristig zu verringern.

Zusammenfassend ist festzuhalten:

- Die Bioindikation liefert Erkenntnisse über das Ausmaß an Umweltbelastungen durch Umweltchemikalien in Pflanzen und Tieren.
- Sie kann die physikalischen und chemischen Untersuchungen und Messungen von Emissionen und Immissionen nicht ersetzen, sondern nur ergänzen.
- Sie erlaubt in den meisten, aber nicht allen Fällen Aussagen über die überwiegend schadenverursachende Umweltchemikalie und nur in besonderen Fällen Rückschlüsse auf den unmittelbaren Verursacher.
- Beim Wirken auch anderer Einflüsse (z.B. Standortbedingungen, Klimabesonderheiten) kann die Bioindikation keine zweifelsfreie Aussage über die überwiegende Schadensursache machen.

Dies sei am Eingangsbeispiel erläutert:

Am Absterben von Nadelgehölzen in Bayern können schuld sein:

- die Ungunst des Klimas, dem die Wälder in den hohen Lagen unserer Mittelgebirge ausgesetzt sind;
- Standortverschlechterungen, wie die Versauerung des Bodens;
- die Trockenjahre der letzten Zeit, insbesondere 1976;
- der extreme Temperatursturz zur Jahreswende 1978/79 um bis zu 30° C;
- die Immissionen an Umweltschadstoffen;
- und als Sekundärfolge der Befall durch Schadinsekten.

Forstleute wie Naturwissenschaftler nehmen an, daß es die synergistische Wirkung mehrerer dieser Schadenseinflüsse ist, die z.Z. so weitverbreitete Schäden verursacht. Umfangreiche Untersuchungen der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayer. Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt zusammen mit der Staatsforstverwaltung sind angelaufen. Hierbei kann die Bioindikation des Landesamtes für Umweltschutz einen fruchtbaren Beitrag leisten.

#### Zusammenfassung

Umweltschädigende Stoffe, die über die Atmosphäre oder auf sonstige Weise, z.B. als Pflanzenschutzmittel, von Pflanzen, Tieren und letztlich Menschen aufgenommen werden, können im Ökosystem zu Umweltbelastungen, Schäden, u.U. sogar Umweltveränderungen führen. Mit Hilfe der Bioindikationsmethode werden die Konzentrationen an Umweltchemikalien in biologischem Material ermittelt und die in der Regel negativen Auswirkungen untersucht, die mit Ursache von Schäden im Ökosystem sein können.

Solche Schadstoffe sind z.B. säurebildende Schadgase, photochemische Sekundärprodukte, Verkehrsabgase, Schwermetalle, Auftausalze, Pestizide u. dgl.

Als Bioindikatoren sind sowohl bestimmte Pflanzen als auch Tiere geeignet. Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz hat vor einigen Jahren damit begonnen, Bioindikatorpflanzen auf ihren Gehalt an Schadstoffen zu untersuchen, und dabei sowohl akute als auch chronische Schäden zu beobachten. Hierfür wurden feste Meßnetze eingerichtet, und zwar in städtischen Bereichen mit sogenannten Plantainern, d.h. Pflanztrögen mit bestimmten Bioindikatorpflanzen, ferner in den laut Verordnung festgelegten Belastungsgebieten in Bayern, wo Fichten und Kiefern mit ihren Nadeln als Indikatoren dienen, und schließlich, ebenfalls mit Koniferen, das flächendeckende Bioindikatorenmeßnetz über ganz Bayern mit einem Gitterabstand von 16 km, das in NO-Bayern sogar

noch verdichtet wurde. Vor allem in besonders belasteten Gebieten und im NO-bayerischen Raum sind dabei erhöhte Schwefelgehalte in den Nadeln von Koniferen (bis etwa 3000 µgS/gTS) festgestellt worden.

Ebenso hat das LfU bestimmte Tierkörper oder Teile von ihnen als tierische Bioindikatoren untersucht. Hierbei wurde eine Unterteilung in Ballungsräume, landwirtschaftliche Bereiche mit ackerbaulicher Nutzung und solche mit Grünlandnutzung sowie naturnahe Bereiche vorgenommen. Als hauptsächliche Indikatoren dienten hierfür die Eier von Amseln und Fasanen, in denen in Zusammenarbeit mit der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau erhöhte Gehalte an bestimmten Chlorkohlenwasserstoffen und an Schwermetallen beobachtet wurden.

Schließlich kann in gewisser Weise auch der Boden als geeigneter Bioindikator bezeichnet werden. Das LfU hat hier das Phänomen der Schäden durch Auftausalze untersucht. Als Ergebnis ist festzuhalten, daß

- Bioindikatoren geeignet sind, das Ausmaß der Umweltbelastungen durch Umweltchemikalien wiederzugeben;
  - Bioindikatoren nur in besonderen Fällen Rückschlüsse auf den unmittelbaren Verursacher der Umweltbelastungen erlauben;
- Wirkungen, wie sie durch Bioindikatoren festgestellt werden, nicht allein durch Umweltchemikalien sondern im Zusammenwirken mehrerer Einflüsse, also synergistisch, verursacht sein können.

## Anhang

### Kurzgefaßte Ergebnisse aus dem Bayerischen Landesamt für Umweltschutz

#### Bioindikatornetze - ein Instrumentarium für wirkungsbezogene Untersuchungen in Belastungsgebieten

Untersuchungen dieser Art werden vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz seit 1974 im Bereich amtlich ausgewiesener Belastungsgebiete durchgeführt und dienen vornehmlich der Wirkungskontrolle schwefel- und fluorhaltiger Immissionen.

Als Teil der Überwachungsaufgaben im Bereich Luftreinhaltung ergänzen diese wirkungsbezogenen Untersuchungen, die auf der Grundlage eines Meßstellennetzes durchgeführt werden, kontinuierliche und diskontinuierliche Schadgasmessungen.

Die den einzelnen Meßstellen zugeordneten Indikatorbäume sind unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten so ausgewählt, daß das jährlich zu entnehmende Probenmaterial entsprechend der 4. Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum BImSchG eine möglichst repräsentative Aussage über das dem jeweiligen Indikatorbaum zugeordnete Meßgebiet - es beträgt für Belastungsgebiete 12 km<sup>2</sup> - erlaubt.

Fernerhin besteht in Bayern seit 1977 ein flächendeckendes Bioindikatornetz mit Gitterabständen von 16 x 16 km, welches über die außerhalb der Belastungsgebiete gegebene luft-hygienische Situation Aussagen liefern soll.

Infolge der weiten Entfernung der Meßstellen können allerdings nur sehr grobe Informationen über die Flächenbelastung erzielt werden. Diesem Umstand wird auch durch die schematische Darstellungsweise Rechnung getragen.

Bioindikatornetze aus Nadelbäumen am natürlichen Standort haben sich in Bayern als geeignetes Instrument zur langfristigen lufthygienischen Überwachung von Belastungsgebieten erwiesen. Ein Untersuchungszeitraum von drei Jahren

wird zur Beurteilung der Immissionsstruktur eines Überwachungsraumes als ausreichend angesehen. Hierbei erscheint vor allem die Erkennung und Ausdehnung stark belasteter Zonen innerhalb eines Überwachungsraumes als besonders wichtig, also jener Zonen, in denen eine akute Gefahr für Waldschäden besteht und in denen somit vorrangig Maßnahmen zur Verminderung der Luftverunreinigungen einzuleiten sind. Die Lage solcher Zonen ist - soweit überprüft - in guter Übereinstimmung mit rechnerischer Abschätzung und Transmissionsmessungen. Starke Anreicherungen S-haltiger Immissionen sind nicht nur in Tal- oder Beckenräumen (z.B. Maintal zwischen Würzburg und Ochsenfurt, Schwandorfer Becken) als bevorzugte Standorte für Emittenten, sondern können auch in Höhenlagen weitab von größeren Emittenten auftreten. Dies zeigt sich vor allem im Belastungsgebiet von Aschaffenburg, wo die im Bereich des Mains angesiedelten Großemittenten auch den Osten der Region stärker mit S-haltigen Immissionen belasten.

#### Erfassung von Immissionswirkungen in bayerischen Großstädten

Von den in der Stadtluft vorhandenen Schadstoffen können in Pflanzen nur wenige direkt analytisch durch sog. Akkumulationsindikatoren erfaßt werden.

Die Wirkgröße vieler als pflanzenschädlich bekannt gewordener Verunreinigungen ist jedoch nicht mit rückstandsanalytischen Methoden quantifizierbar. Die Summenwirkung all dieser Schadstoffe kann nur mittelbar aufgrund äußerer Schadsymptome bzw. ihrer Wirkung auf den Stoffwechsel oder das Wachstum erfaßt werden. Man bedient sich dabei sogenannter spezifisch-sensibler Indikatorpflanzen.

In Großstädten durchgeführte Untersuchungen an solchen spezifisch-sensiblen Indikatorpflanzen zeigen z.B., daß eine klare räumliche Trennung von Gebieten mit maximalen Wirkungen von Primärimmissionen des KFZ-Verkehrs (Kohlenwasserstoffe, Stickoxide) und Photooxidantien, die aus den Primärprodukten entstehen, besteht.

Das im wesentlichen von Kohlenwasserstoffen beeinflusste Blühverhalten von Petunien läßt verstärkte Wirkungen im Stadtzentrum gegenüber den Außenbezirken erkennen. In gleicher Weise hat die im Stadtzentrum höhere Stickoxidkonzentration einen erhöhten Stickstoffgehalt im Blatt zur Folge. Umgekehrt sind die an der Tabaksorte Bel W 3 ermittelten Oxidantienwirkungen nicht im Stadtzentrum, sondern in den mehrere Kilometer entfernten äußeren Stadtbereichen am höchsten.

In gleicher Weise ist die Oxidantienwirkung bei Bel W 3 in unmittelbarer Fahrbahnnähe, wo die höchsten Konzentrationen an Primärimmissionen auftreten, beträchtlich geringer als an den straßenfernen Expositionsstellen.

Tabak (Sorte Bel W 3) und Petunie werden beim Bayerischen Landesamt für Umweltschutz als spezifisch-sensible Indikatorpflanzen für Ozon (Photooxidantien)- und Äthylenwirkungen (Primärkomponente in Kfz-Abgasen) verwendet.

#### Rückstandsuntersuchungen in Vogeleiern

Zur Wirkfeststellung umweltbedeutsamer Chemikalien kommen neben pflanzlichen Bioindikatoren auch Vogeleier in Betracht. Hier treten jedoch im Gegensatz zum Pflanzenreich Schwierigkeiten auf, da Vögel nicht ortsgebunden sind. So kann z.B. bei den Eiern von Zugvögeln i.d.R. kein Bezug zur jeweiligen Herkunft des inkorporierten Schadstoffes hergestellt werden.

Vögel mit geringer Ortsbeweglichkeit können jedoch derartige Aufschlüsse liefern, wenn folgende Kriterien weitestgehend erfüllt sind:

- Möglichst hohe Standorttreue
- Ubiquitäres Vorkommen in genügend hoher Populationsdichte
- Definierte, möglichst endnahe Stellung in der Nahrungskette

Diese Kriterien erfüllt am besten die Amsel und mit gewissen Einschränkungen der Fasan.

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz hat daher in Jahren 1976 und 1977 in Amsel- und Fasaneneiern folgender Biotope den Gehalt ausgewählter Chlorkohlenwasserstoffe und Schwermetalle untersucht.

- |   |               |
|---|---------------|
| Stadtgebiet München (Ballungsraum) mit Unterscheidungen nach straßennahen Bereichen und Grünbereichen | = Bereich I   |
| Landwirtschaftliche Bereiche mit überwiegend ackerbaulicher Nutzung                                   | = Bereich II  |
| Landwirtschaftliche Bereiche mit überwiegend Grünlandnutzung  | = Bereich III |
| Naturnahe Bereiche  | = Bereich IV  |

Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen könnte insbesondere den PCB und mit gewissen Einschränkungen dem DDE und  $\gamma$ -HCH eine Zeigerfunktion für die Siedlungsdichte zukommen, während eine tendenzielle Korrelation zwischen dem HCB-Gehalt der untersuchten Eier und dem Ausmaß der landwirtschaftlichen Nutzung der Probenahmegebiete abgeleitet werden kann.

Allgemein kann gesagt werden, daß in den Gelegen aller Untersuchungsgebiete – auch im naturnahen Bereich – PCB, der DDT-Metabolit DDE, HCH und HCB nachweisbar waren.

Bei den Schwermetalluntersuchungen erscheint neben den erhöhten Pb- und Cd-Gehalten der Amseleier in den straßennahen Bereichen des Stadtgebiets München insbesondere der relativ hohe Hg-Gehalt der in diesen Bereichen gesammelten Eier bemerkenswert.

## Eigenschaften und Verhalten von Schadstoffen in der Umwelt

F. Korte

Wenn man von Schadstoffen oder von Umweltchemikalien spricht, sind die Begriffsinhalte immer noch ein Problem. Ich möchte deshalb betonen, daß ich mich auf global oder überregional vorkommende Umweltchemikalien konzentrieren werde. Diese scheinbare Einschränkung erfolgt aus einem ganz besonderen Grund: Die lokalen Umweltchemikalien kann man wissenschaftlich recht gut beschreiben und schließlich bei Einsatz der erforderlichen Mittel auch fast beliebig intensiv kontrollieren. Dies erfolgte seit Jahren in solchen Fällen, wo Umweltchemikalien zu Schadstoffen geworden waren. Nur bei den Problemen des globalen Vorkommens scheint mir die Situation selbst auf der Forschungsseite noch unsicherer zu sein.

Wir müssen uns die globalen Limitierungen vergegenwärtigen: Unser »immer kleiner werdender Planet« besteht zu 29% aus Festland und zu 71% aus Ozeanen. Wir haben also genügend Wasser. Während wir aber Technologien haben, um Wasser von jedem beliebigen Verschmutzungszustand bis zu jeder beliebigen Reinheit aufzureinigen und wir heute ebenfalls Technologien haben, um Luft zu reinigen, gibt es keine Methodologien, um eventuell verunreinigtes Festland (Boden) chemisch zu handhaben oder zu reinigen. Das ist deshalb sehr merkwürdig, weil es Gesetzgebungen gibt für die Reinhaltung von Wasser und Luft, für den Boden aber, das limitierteste Umweltmedium, von dem ca. 14% für die Landwirtschaft genutzt wird, gibt es keine Reinhaltungsgesetze. Wir tun so, als ob es für dieses Medium »festen Boden« Grenzen gar nicht gäbe.

Die synthetisch durch Menschen hergestellten Chemikalien haben das Umweltbewußtsein im Laufe der letzten 20 Jahre in Gang gebracht.

Für organische Chemikalien ist der Unterschied zwischen natürlich vorkommenden und synthetischen Chemikalien viel leichter zu behandeln als bei anorganischen Substanzen, für die wir generell nicht wissen, welches die natürliche Konzentration auf der Erdoberfläche ist.

**Abbildung 1:** Entwicklung der Produktion organischer Chemikalien

	1950	1970	1985	Release in Env. 1970
grand total 10 <sup>6</sup> t	7	63	250	20
<u>Organic Chemicals – World Production</u>				
manufactured 10 <sup>6</sup> t	natural sources 10 <sup>6</sup> t			
solvents 10	methane 1600			
detergents 1,5	terpene type			
pesticides 1	hydrocarbons 170			
gaseous base chemicals 1	lubricating and industrial oils 2-5			
miscellaneous 7				

1950 wurden 7 Mill. t organische Chemikalien produziert, 1970 waren es bereits 63 Mill. t und 1985 werden es voraussichtlich 250 Mill. t sein. Wenn man die Menge synthetisch hergestellter mit den natürlich emittierten Stoffen (z.B. aus Wäldern) vergleicht, haben beide ungefähr die gleiche Größenordnung. Die jährliche Nettoproduktion organischer Chemikalien durch Flora und Fauna ist allerdings um Größenordnungen höher. Die Frage, was wir denn eigentlich produzieren, können wir aber nur teilweise beantworten. Pestizide sind einigermaßen gut bekannt, weil ihre Anwendung schon seit langer Zeit gesetzlich geregelt ist. Man weiß aber nur wenig oder fast nichts über Detergenzien, Lösungsmittel und gasförmige Grundchemikalien und, selbstverständlich, haben wir keine Ahnung über die vielen »sonstigen«. Vor einiger Zeit wurde in Tokyo mitgeteilt, daß die Plastikproduktion zur Zeit weltweit bei 40 Mill. t liegt und daß in den Plastikmaterialien Additive in der Größenordnung von 1-6% enthalten sind – immerhin noch eine stattliche Menge von

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [9\\_1980](#)

Autor(en)/Author(s): Pohl W.

Artikel/Article: [Biologische Indikatoren für Umweltbelastungen 16-21](#)