

WILHELM WENDLING

Bioindikation in der räumlichen Planung

Kurzfassung

Der Einsatz von Bioindikatoren soll dazu dienen, anthropogen verursachte Umweltschäden mittels bestimmter Pflanzen- und Tierarten nachzuweisen. Mit Hilfe von nach anwendungsorientierten Gesichtspunkten zu unterscheidenden Monitororganismen, Testorganismen und Artenindikatoren könnten Bioindikatoren zur Bewertung der Umweltqualität auch in der räumlichen Planung eingesetzt werden. Es mangelt jedoch an einem anwendungsorientierten Konzept. Räumliche Planung und Naturschutz haben hierzu noch einige kritische Schwellen der Zusammenarbeit zu überwinden. Am Beispiel des Bioindikators "Flechte" wird versucht, die planungspraktische Bedeutung für die Beurteilung der Lebens- und Wohnqualität unserer Städte nachzuweisen. Tierische Organismen sind allerdings besser geeignet, Umweltqualität und Umweltschäden anzuzeigen, da sie Schadstoffe sowohl akkumulieren bzw. auch auf sie reagieren.

1. Einleitung

In den letzten Jahren sind die Erkenntnisse über die negativen Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf die Umwelt und über die daraus resultierenden, auf komplexen ökologischen Zusammenhängen beruhenden Rückkoppelungseffekte, d.h. über die Entstehung weiterer, teilweise sogar neuer Schadkreisläufe ständig gewachsen. Um solche Schadauswirkungen festzustellen, wurden in den letzten Jahren seitens der Naturwissenschaften, und hier insbesondere von der Biologie, vermehrt sog. Bioindikatoren eingesetzt. Die Bioindikatorenforschung ist ein relativ junger Wissenschaftszweig der Ökologie, der das Ziel verfolgt, anthropogen verursachte Umweltbelastungen, Umweltveränderungen oder Umweltschäden mit Hilfe bestimmter Organismenarten oder -gemeinschaften aufzuspüren, zu regionalisieren oder zu lokalisieren. Hierbei wird davon ausgegangen, daß jeder Organismus nur innerhalb einer bestimmten Bandbreite von Lebensbedingungen existieren kann. Die biologisch-ökologische Grundlagenforschung macht sich diese Tatsache dahingehend zunutze, daß sie im Um-

kehrschluß aus dem Vorkommen oder Fehlen von bestimmten Organismen Aussagen über die Umweltqualität ableitet. Schon lange werden beispielsweise in der Pflanzensoziologie niedere und höhere Pflanzen als Zeiger (Bioindikator) für bestimmte Standortverhältnisse und Umweltbelastungen herangezogen.

2. Begriff und Begriffsinhalt von "Bioindikator"

Die Bioindikatorenforschung befaßte sich bisher schwerpunktmäßig mit negativen Umweltauswirkungen. Bezogen auf eine überwiegend schadens- und belastungsorientierte Bioindikatorenforschung, die versucht, Schadstoffe und Schadwirkungen nachzuweisen, läßt sich der Begriff "Bioindikator" inhaltlich etwa folgendermaßen wiedergeben:

Unter Bioindikator sind lebende Organismen (Pflanzen, Tiere, Bakterien) zu verstehen, die natürlich oder anthropogen verursachte ökologische Veränderungen in terrestrischen oder aquatischen Ökosystemen direkt oder indirekt anzuzeigen vermögen.

Diese Definition bezieht sich inhaltlich auf eine bisher überwiegend schadens- und belastungsorientierte Bioindikatorenforschung, die versucht, Schadstoffe und Schadwirkungen nachzuweisen, wobei vielfach aber der anwendungsorientierte Schritt zur Verfolgung der Reaktionskomponenten des örtlichen Ökosystems fehlt. So unterscheidet Bick (1) Bioindikatoren "im weiteren Sinne", die der Erkennung oder mengenmäßigen Erfassung von Umweltfaktoren "oder Faktorenkombinationen dienen ..." und Bioindikatoren "im engeren Sinne des Umweltschutzes", womit die in der anfänglichen Definition anthropogen verursachten Veränderungen und Faktoren gemeint sind.

Für eine Bewertung und Erfassung des Zustands natürlicher oder naturnaher Ökosysteme mittels geeigneter Bioindikatoren mangelt es jedoch an einer intensiveren Verfolgung entsprechender Forschungen. Weiterhin fällt es schwer, die Erfassung von Schadstoffen und die Feststellung von Schadwirkungen mit Hilfe von Bioindikatoren in ein flächenspezifisches Ordnungssystem zu bringen. Hierbei geht es der Raumordnung nicht allein darum, Belastungsstufen festzustellen, sondern auch Belastungszonen kartografisch auszuweisen. Nach dem Stand der bisherigen Forschungsergebnisse ist dies zwar für einzelne Schadstoffe und bestimmte

Schadwirkungen möglich, doch mangelt es bei Versuchen einer Anwendung des Bioindikatorenpotentials für die Zwecke der räumlichen Planung an einem anwendungsorientierten Konzept. Der Beirat für Raumordnung (2) hat zwar einen Satz "Indikatoren der Umweltqualität" aufgestellt, doch reichen diese keineswegs für eine Operationalisierung aus.

Neben der Feststellung von Belastungsstufen und Ausweisung von Belastungszonen gilt es aber auch, solche Gebiete abzugrenzen, die der Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen dienen. Das Anliegen der räumlichen Planung ist damit durch die Verfolgung der bisherigen Ziele der Bioindikatorenforschung nicht gedeckt. Zur Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen geht es ihr besonders um Ausweisung von Gebieten mit besonderen ökologischen Ausgleichsfunktionen, Sicherungs- und Vorranggebieten, Schongebieten oder Renaturierungsflächen.

Aus der Sicht der räumlichen Planung fehlen überwiegend solche Bioindikatoren, die einen "positiven" Zeigerwert haben und mit deren Hilfe sich bestimmte Flächenkategorien ableiten lassen. Einzelvorkommen seltener Pflanzen und Tiere oder das Vorkommen von Arten der Roten Liste dürften für flächenhafte Ausweisungen von ökologischen Vorranggebieten, Schongebieten usw. kaum ausreichen, da viele pflanzliche und tierische Indikatorarten und -gesellschaften ganz spezielle Lebensansprüche stellen und damit auch bestimmte ökologische Gegebenheiten anzeigen. Stenöke (standortabhängige) Arten werden sich daher weniger als positiver Indikator im Sinne von einigermaßen intakten Lebensräumen einsetzen und verwenden lassen. Gleichwohl ist davon auszugehen, daß solche Ökotope mit Vorkommen von Pflanzen und Tierarten der Roten Liste über die Biotopkartierungsprogramme erfaßt oder bereits nach den Kategorien des Bundesnaturschutzgesetzes bzw. der Landes- und Landschaftspflegegesetze als Naturschutzgebiete, Nationalparke, Landschaftsschutzgebiete oder Naturparke ausgewiesen sind. Ein absoluter Schutz vor Eingriffen anderer Fachplanungen besteht jedoch z.Z. immer noch nicht.

Der Begriffsumfang von "Bioindikator" reicht wegen seiner Ausrichtung auf negative Umweltauswirkungen für die Zwecke der räumlichen Planung nicht aus. Aus ihrer Sicht mangelt es noch weitgehend an geeigneten Indikatoren, d.h. an mit vertretbarem Kosten- und Zeitaufwand standardmäßig erfaßbaren und kartografisch gut darstellbaren Parametern, mit deren Hilfe sowohl Umweltqualität als auch Belastungsfaktoren in ihrer Entwicklung dargestellt werden und die auch dem Nichtökologen als Planungsgrundlage dienen können. Die Entwicklung derartiger Indikatoren muß daher als vordringliche Aufgabe sowohl der angewandten, raumplanerischen als auch der naturwissenschaftlichen Forschung angesehen werden. Hierbei geht es besonders um die Ausweisung von Gebieten mit besonderen ökologischen Ausgleichsfunktionen, Vorrangfunktionen, Sicherungs- und Vorranggebieten, Schongebieten oder Renaturierungsflächen.

Kritisch am bisherigen Begriffsinhalt von "Bioindikator" ist ebenfalls anzumerken, daß eine Differenzierung zwischen natürlichen und anthropogen verursachten Milieuveränderungen nicht vorgenommen wird. Natürliche Milieuveränderungen wären beispielsweise labile Landschaften wie Meeresküsten, Ästuare, vulkanisch oder tektonisch bewegte Böden, Erosions- und Sedimentationsgebiete. Flächenmäßig dürften solche Gebiete zwar keine große Rolle spielen, doch könnten sie dann von Bedeutung sein, wenn es um die Definition solcher Bioindikatoren geht, die sich für Aussagen relativ intakter Ökosysteme eignen und zu Vergleichs- oder Versuchszwecken herangezogen werden könnten.

Wesentlichen Milieuveränderungen unterliegen auch Kulturlächen, die – anthropogen verursacht – nicht mehr bearbeitet werden, brachfallen und einer natürlichen Sukzession überlassen bleiben. Bei der pflanzlichen und tierischen Wiederbesiedlung und der Ent-

stehung neuer Biotope und Biozönosen würden sich während einer relativ langen Regenerationsphase ebenfalls zahlreiche Möglichkeiten bieten, Bioindikatoren bzw. pflanzliche und tierische Indikatorarten und -gesellschaften zu finden, die durch Vorliegen umfassenden Vergleichsmaterials eine exakte Wertung und Einstufung milieugeschädigter Gebiete erlauben. Aus der Sukzessionsforschung liegen zwar zahlreiche Ergebnisse vor, bieten jedoch für die Raumordnung kaum verwertbare Erkenntnisse, die eine regionale oder lokale Diagnose, Bewertung, Typisierung und vielleicht auch Prognose der Umweltqualität ermöglichen.

Aus der Sicht der räumlichen Planung bestehen Defizite im Begriffsumfang "Bioindikator" auch hinsichtlich der Verwendung von "weichen" oder "sekundären" Bioindikatoren. Hierunter ist nicht die abiotische und biotische materielle Ausstattung eines Raumes, sondern vielmehr die biozönotische Reaktion auf positive bzw. negative Umwelteinflüsse zu verstehen. So kann beispielsweise ein Rückgang der Artenvielfalt und Artenmannigfaltigkeit von Pflanzen und Tieren oder die einseitige Zunahme der Individuenzahl einer oder mehrerer Arten als negativ angesehen werden. Dabei kann es sich um Verdrängungsprozesse handeln, wobei die widerstandsfähigeren euryöken (weitverbreiteten, nicht standortabhängigen) Arten sich auf Kosten der wettbewerbschwächeren Arten ausdehnen, oder die stenöken, empfindlicheren Arten unterliegen bereits den Schadstoffwirkungen und machen so den euryöken Arten Platz, weil das ökologische Gleichgewicht nicht mehr gegeben ist.

Die Aussagefähigkeit solcher "weicher" Bioindikatoren könnte für die räumliche Planung ebenfalls wertvolle Hinweise auf die Umweltqualität liefern.

3. Das Bioindikatorensystem

Im Grunde genommen sind alle pflanzlichen und tierischen Organismen Indikatoren der auf sie einwirkenden abiotischen und biotischen Faktoren. Bestimmte Pflanzen- und Tierarten (-gemeinschaften) zeichnen sich dabei durch besondere Eigenschaften aus, die die Bioindikatorenforschung durch gezielten Spezialeinsatz, Langzeitbeobachtungen, aber auch im Labor experimentell nutzt. Die Vorteile der Bioindikation liegen darin, daß Reaktionen auf lebende Organismen beschrieben und erfaßt werden können, während physikalische und chemische Meßverfahren lediglich quantitative Werte liefern. Da die Bioindikatorenforschung sich vorwiegend mit der Wirkung von Umwelttoxinen (Schadstoffen mit pathogener Wirkung) auf lebende Organismen befaßt, ergibt sich aus den Eigenschaften, wie diese auf Schadstoffe reagieren, eine gewisse Systematik.

So wird zunächst ganz allgemein zwischen Akkumulationsindikatoren und Wirkungsindikatoren unterschieden. Akkumulationsindikatoren nehmen je nach chemischer Zusammensetzung der Noxen und der physiologischen Fähigkeit des Organismus zunächst einmal die Schadstoffe auf. Sie können dann sowohl im Körper verarbeitet, umgewandelt und ausgeschieden werden als auch – bei mangelnden Ausscheidungsfähigkeiten – zeitweise oder sogar lebenslanglich angereichert und gespeichert werden. Nur in besonderen Stresssituationen können die akkumulativen Schadstoffe wieder in den Körperkreislauf gelangen und dann Schadenssymptome hervorrufen. Auf das hiermit in Zusammenhang stehende Problem der Biomagnifikation (Schadstoffanreicherung in der Nahrungskette) soll später bei der Behandlung der akkumulativen Indikatoren eingegangen werden. Bei den Wirkungsindikatoren dagegen ist eine unmittelbare Beobachtung und Feststellung der Schadwirkungen durch empfindliche Reaktionen der Organismen möglich. Sie werden in der Bioindikatorenforschung am häufigsten angewendet, da sie eine genaue Analyse ermöglichen. Schu-

bert (3) nennt diese Wirkungsindikatoren deshalb auch "sensitive Bioindikatoren" im Gegensatz zu den "akkumulativen Bioindikatoren".

Nach anwendungsorientierten Gesichtspunkten unterscheidet Bick (4) in Übereinstimmung mit dem "Umweltgutachten 1978" (5):

- 1) Monitororganismen,
- 2) Testorganismen,
- 3) Artenindikatoren.

1) Monitororganismen

Die *Monitororganismen* gestatten Aussagen sowohl zur qualitativen als auch quantitativen Erfassung von Schadstoffen. Bei der akkumulativen Bioindikation wird die Fähigkeit verschiedener Organismen genutzt, Schwermetalle, aber auch Schadstoffe (Pestizide) aufzunehmen und in bestimmten Organen zu deponieren. Schadstoffe werden damit gleichzeitig auch nachweisbar. Darunter sind auch Arten zu finden, die trotz Aufnahme der Schadstoffe keine pathogene Reaktion zeigen. Andere Monitororganismen zeigen dagegen schadstofftypische Reaktionen. Ein Beispiel hierfür sind die sog. Blattnekrosen, die auf die Einwirkung von Schwefeldioxid (saurer Regen – Waldsterben) hinweisen.

Im Anwendungsfall lassen sich die Monitororganismen wiederum in "active-monitoring" und "passive-monitoring" (6) unterteilen. Beim "active-monitoring" werden bestimmte Spezies dem Ökotyp entnommen und auf Schädigungen und Schadstoffe hin untersucht. Bei "passive-monitoring" kommen standardisierte Verfahren zur Anwendung, wobei Probeexemplare für eine bestimmte Zeit ausgebracht werden. Die anschließende Analyse ermöglicht sodann Aussagen über Art und Maß einer möglichen Schädigung.

2) Testorganismen

Testorganismen werden vorwiegend für kausalanalytische Untersuchungen zur Prüfung von Schadstoffwirkungen auf tierische und pflanzliche Organismen eingesetzt und dienen überwiegend Versuchszwecken im Labor. Bei ihnen ist teilweise schon eine spezifische Reaktion auf Schadstoffe bekannt. Sie werden daher in toxiologischen Tests eingesetzt (z.B. Bienenverträglichkeitsprüfung im Zulassungsverfahren für Pestizide). Auch hier kommen bereits standardisierte Verfahren (z.B. Saprobiensystem) zur Anwendung. Die Bioindikation kann biochemische und physiologische Reaktionen auf Umwelttoxinen auswerten und anatomische, morphologische und biorhythmische Abweichungen bei den Testorganismen feststellen.

Testorganismen spielen eine wichtige Rolle zur Beurteilung und Abschätzung toxischer Gesamtbelastungen, wobei es insbesondere auf die Abschätzung von synergistischen Wirkungen beim Zusammentreffen mehrerer Schadstoffe im gleichen Organismus ankommt. Dadurch können auch die möglichen Umweltgefahren durch Schadstoffe erforscht und analysiert werden. Theoretisch könnten nämlich auch bei bereits zugelassenen und im Handel erhältlichen Pestiziden toxisch bedeutsame Ab- und Umbauprodukte entstehen und Nebenwirkungen erzeugt werden (= Synergismus).

3) Artenindikatoren

Artenindikatoren (im engeren Sinne) sind Organismen mit bestimmten Lebensansprüchen. Da sie an die Erfüllung besonderer ökologischer Bedingungen gebunden sind, kann ihr Vorkommen oder Fehlen Hinweise auf qualitative Merkmale des Ökosystems geben. Bick (7) unterscheidet hier stenopotent und eurypotente Arten. Die stenopotenten Arten reagieren äußerst empfindlich auf Milieuveränderungen. Sowohl ihr Vorkommen als auch ihr Fehlen – sofern die gegebenen ökologischen Faktoren ein Vorkommen erwarten lassen – können eine Bewertung der realen Umweltsituation gestatten. Die eurypotenten Arten sind nur bedingt aussagefähig, da sie gegenüber den stenopotenten Arten eine breitere Reaktionsmarge haben und auf Veränderungen oder Störungen des Ökosystems kaum oder erst zu einem viel späteren Zeitpunkt reagieren. Eine Bestandsvermehrung eurypotenter Arten kann jedoch auf Veränderungen der Umweltbedingungen schließen lassen, wobei die direkte Wirkung ökoschädlicher Faktoren nicht immer gegeben sein muß. Indirekt kann sich nämlich das Verschwinden von Konkurrenten durch eine Bestandsvermehrung widerstandsfähiger Arten bemerkbar machen, so daß sich nur die artenmäßige Zusammensetzung einer Biozönose ändert.

4) Die potentielle Bedeutung der Bioindikation in der räumlichen Planung

Bisher gibt es nur wenige Beispiele, bei denen Ergebnisse der Bioindikatorenforschung in Raumordnung und Planung Eingang, Berücksichtigung oder Verwendung gefunden haben (8). Gemeint sind hierbei nur die Bioindikatoren des terrestrischen Ökosystems, wohingegen die Bioindikation aquatischer Ökosysteme schon eine lange Tradition hat, und zwar nicht nur auf dem Gebiet der Grundlagenforschung, sondern auch in der Praxis der Wasser- und Gewässerforschung und -überwachung (Saprobiensystem). Die Gründe für diese Vernachlässigungen dürften teilweise darin zu suchen sein, daß räumliche Planung andere Ansprüche an ein terrestrisches Bioindikatorensystem stellen muß, während die Naturwissenschaften vielfach nur an einem reinen Forschungsergebnis interessiert sind, ohne Rücksicht darauf, ob es planerisch verwertbar ist oder nicht. Es sind insbesondere die einzelnen Fachplanungen, die eine Hilfestellung seitens der Ökologie erwarten. Dabei wird zunächst einmal nicht bedacht – bevor der Einsatz und die Berücksichtigung von Bioindikatoren überhaupt einen Sinn haben –, um welche Art von Eingriffen in Natur und Landschaft es sich handelt. Bereits im Vorfeld müßten einige Fragen stehen, z.B. ob es sich um ausgleichbare oder nicht ausgleichbare Eingriffe handelt, die planerisch unterschiedlich zu behandeln sind. Mit anderen Worten: Es kommt sowohl auf die Planungsmaßnahme als auch auf das jeweilige Ökotyp an, um diese Frage beantworten zu können. Weiterhin ergeben sich Probleme der Belastung und der Belastbarkeit des zu beplanenden Raumes vor dem Hintergrund der Nutzungsziele. Von dem Grad der Belastung kann es beispielsweise abhängen, welche Nutzungsempfehlungen für die Planung ausgesprochen werden können. Hier kann die Bioindikatorenforschung aber bereits deutliche Hinweise geben, indem bestimmte Bioindikatoren eingesetzt bzw. Forschungsergebnisse berücksichtigt werden.

Obwohl die Bioindikatorenforschung eine Fülle von planerisch interessanten Forschungsergebnissen vorzuweisen hat, mangelt es doch – von einigen Ausnahmen abgesehen – bisher an einer Umsetzung, Anwendung und Verwertung in der räumlichen Planung. In der Literatur sind die Kommunikationsdefizite zwischen Natur-

wissenschaften und Planung schon öfter beklagt worden (9). Die gegenseitigen Vorbehalte kann man vielleicht so zusammenfassen, daß einerseits vor allem die technischen Fachplanungen nichts oder nicht viel von Ökologie und der Funktion von Ökosystemen verstehen und fertige, einsetzbare Daten und Rezepte verlangen, andererseits die Ökologen und Naturwissenschaftler nichts oder nicht viel vom Planungsinstrumentarium und von Planungssystematik verstehen, nicht planungsbezogen arbeiten und für die Umsetzungen der eigenen Forschungsergebnisse Konzepte, Orientierungshilfen und Kriterienkataloge seitens der Planer erwarten. Damit ergibt sich sowohl für die räumliche Planung als auch für die Naturwissenschaften eine unglückliche Konstellation, weil für die Aufbereitung ökologischer Daten vom Planer wiederum ökologische Kenntnisse vorausgesetzt werden, während die Fachwissenschaften ihre Forschungsergebnisse nicht in den Planungs- und Entscheidungsvorgängen weiter verfolgen und betreuen.

Aus der Sicht der Naturwissenschaften wird gegenüber der Planung folgende Kritik vorgebracht:

- Planerische Maßnahmen ex ante werden nicht auf ökologische Systemverträglichkeit hinreichend überprüft (Umweltverträglichkeitsprüfung, Umweltverträglichkeitsstudie, Landespflegerischer Begleitplan).
- Auswirkungen planerischer Eingriffe in ein Ökosystem und die daraus resultierenden Rückkoppelungseffekte und deren Dynamik werden nicht oder nicht genügend berücksichtigt.
- Die Planer verlangen von den Ökologen fertige Konzepte oder universell einsetzbare Bewertungskataloge und Beziehungsmatrizes, die aber von den Naturwissenschaftlern in dem verlangten Maße nicht zur Verfügung gestellt werden können, da die Unterschiedlichkeit der Standorte ein solches Verfahren nicht zuläßt.
- Warnungen und Prognosen der Ökologen und Naturwissenschaftler über die zu erwartenden, uhrwerkmäßig ineinandergreifenden Schadauswirkungen und die Entstehung neuer, weiterer Schadkreisläufe werden überhört oder vernachlässigt.

Seitens der Planung bezieht sich die Kritik darauf, daß

- die Bioindikatorenforschung sich auf zu viele Teilgebiete oder Einzelaspekte "planlos" verstreut, so daß die Experten vielfach nur über diese Spezialgebiete Auskunft geben können, während die Darstellung, wie sich die Ereignisse im Gesamtsystem einer Planung ökosystematisch verstärken (Synergismus), außerhalb der Kompetenzen gesehen wird,
- vielfach nur das reine Forschungsergebnis zählt, so daß komplexe Beziehungsgefüge nicht erkennbar und planbar gemacht werden können,
- mehrheitlich die Ergebnisse der Bioindikatorenforschung abgelaufene Prozesse darstellen und somit Raumordnung und Planung vor vollendete Tatsachen stellen, so daß es häufig zu spät ist, die Störfaktoren zu beseitigen,
- bei bekannten Belastungsfaktoren (Schwefeldioxid, Stickoxide) die synergistischen Effekte oder Wechselbeziehungen und deren kausale Wirkungsgefüge unzureichend dargestellt werden,
- Experten für die Auslegung von ökologischen Systemzusammenhängen für die Planung fehlen,
- die Bioindikatorenforschung sich bisher vorwiegend mit der Erfassung von Schadstoffen und -wirkungen beschäftigt hat,

während Bioindikatoren für die Ausweisung von Gebieten mit besonderen ökologischen Ausgleichsfunktionen, Schongebieten, Sicherungs- und Vorranggebieten größtenteils fehlen,

- nachvollziehbare Bewertungssysteme und Beziehungsmatrizes, anhand derer Umweltqualität und Belastungsfaktoren in ihrer Entwicklung dargestellt oder bei Eingriffen in Naturhaushalt und Landschaft auch von einem Nichtökologen angewandt werden können, nicht in dem gewünschten Maße zur Verfügung stehen.

5) Die planungspraktische Bedeutung einiger Bioindikatoren

Als ein in der räumlichen Planung durchaus verwendbarer und einsetzbarer Bioindikator haben sich die Flechten erwiesen (10). Die Begründung ihrer besonderen Eignung ist darin zu sehen, daß Flechten keine Einzelindividuen sind, sondern einen Doppelorganismus darstellen, in welchem Alge und Pilz eine Art Lebensgemeinschaft bilden. Dieser Doppelorganismus nimmt eine Gestalt an, die weder Alge noch Pilz allgemein aufweist. Auf dieses "Doppelleben" ist wahrscheinlich auch die hohe Empfindlichkeit gegenüber Schadstoffen zurückzuführen, sind Alge und Pilz doch im Zusammenwirken in der Lage, Stoffe herzustellen, zu deren Synthese der Einzelorganismus nicht fähig wäre (11).

Flechten sind denn auch im biologischen Meßverfahren schon sehr früh als empfindliche Indikatoren für Luftverunreinigungen eingesetzt worden. Dies gilt sowohl für einzelne Flechtenarten als auch für natürlich vorkommende Flechtengesellschaften. Diese zeigen – insbesondere bei Schwefeldioxid – die Belastung sehr genau an (12).

So wurde mit Hilfe einer Blattoflechte als organischem Bioindikator von der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz (LIB) Nordrhein-Westfalen für das westliche Ruhrgebiet ein sog. "Wirkungskataster" erstellt (13). Dabei ergab sich aus der Absterbequote auf der knapp 1 000 km² großen Probestfläche mit 43 Meßpunkten folgendes Bild: Im Bereich der industriellen Verdichtungsräume war die Belastung am höchsten. Die Absterbequote lag bei durchschnittlich 80 %, teilweise wurden sogar beinahe 100 % an einigen Meßpunkten registriert. In den ländlichen Gebieten war die Quote deutlich geringer und lag beim Kontrollpunkt Ennepetal bei Null. Andere bei diesen Messungen eingesetzte semiorganische und anorganische Indikatoren zeigen, daß auch die Immissionsraten sowohl von Zink, Blei und Cadmium als auch von Fluor, Schwefel und Chlor in den Verdichtungsräumen um ein Mehrfaches höher liegen als in den ländlichen Gebieten.

Ob die für das Ruhrgebiet erzielten Untersuchungs- und Meßergebnisse auch in der Regionalplanung oder in einzelnen Fachplanungen Berücksichtigung oder Verwendung gefunden haben, konnte aus dem Schrifttum nicht ermittelt werden. Doch dürften solche "Wirkungskataster" für die Planung (Regionalplanung) von einiger Bedeutung sein, denn es lassen sich mit ihrer Hilfe

- Belastungszonen unterschiedlicher Intensität ausweisen,
- Ökosystems Schäden feststellen und bewerten,
- Belastungsgrenzen festlegen,
- Immissionsschutzmaßnahmen einleiten,
- Überwachungsfunktionen wahrnehmen,
- Nutzungsempfehlungen für die Planung ableiten,
- Gefährdungs- und Schädigungsprognosen für andere Objektgruppen erstellen,
- Risiken durch Intoxikation innerhalb der Nahrungskette abschätzen (Schwermetalle).

Der für das westliche Ruhrgebiet aufgestellte "Wirkungskataster" zeigt, daß es durchaus Möglichkeiten gibt, mit Hilfe von Bioindikatoren statistisch auswertbare Umweltdaten zu gewinnen und planerisch zu verwerten.

In Großstädten wie Hamburg (14), München (15), Frankfurt (16) sind die gleichen Beobachtungen zu machen. Am Beispiel des südwestlichen rheinisch-westfälischen Industriegebiets verglich Domrös (17) unter Berücksichtigung stadtklimatischer Faktoren die Immissionsbelastungszonen mit dem Bewuchs rindenepiphytischer Flechten und kommt zu dem Ergebnis, "daß die Flechtenzonen und die Immissionsbelastungszonen voneinander abhängig sind, und zwar in der Weise, daß mit Höhe der Immission das Wachstum der Rindenflechten zunehmend beeinflußt, d.h. geschädigt wird" (18). In vielen Städten läßt sich somit – und das ist für die Stadtplanung von großer Bedeutung – eine Übereinstimmung der wohnklimatisch "sehr schlechten" Gebiete mit Bereichen ohne oder mit nur geringem Flechtenbewuchs feststellen.

Überschaut man die Anzahl naturwissenschaftlicher Veröffentlichungen zum Themenkomplex "pflanzliche Bioindikatoren", so nehmen theoretische, methodische, experimentelle und praktische Fragen der Flechtenforschung gegenüber anderen höheren Pflanzen eine führende Stelle ein. Dies allein ist schon als Hinweis darauf zu werten, daß sich Flechten zur Erfassung und Überwachung der Umweltsituation, beispielsweise der Immissionssituation in den Städten, besonders gut eignen, da sie mit ihren Reaktionen wohl am besten synergistische Wirkungen anzuzeigen vermögen, d.h. auf ein sonst nicht meßbares Zusammenwirken (in additiver oder potenzierender Weise) aller biotischen und abiotischen Einflüsse und Faktoren hinweisen.

Die Planungsrelevanz von Flechten als Bioindikatoren der Immissionsbelastung kann nach den bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen kaum bestritten werden. Einsatz und Verwendungsmöglichkeiten zeichnen sich vor allem in der Planung der urbanen, insbesondere aber der urban-industriell geprägten Räume ab.

Flechten können somit als universeller Indikator für die Beurteilung der Lebens- und Wohnqualität unserer Städte eingesetzt werden.

Mit Hilfe des Einsatzes von Flechten als Bioindikatoren wäre es somit für die Stadtplanung möglich, in laufende oder bevorstehende Planungsvorhaben einzugreifen. Dabei könnten sich bei einer allgemeinen Einteilung in Flechtenwüste, Kampfzone und Normalzone unterschiedliche Planungsansätze ergeben (19).

Tierische Organismen als Bioindikatoren haben in der praktischen Anwendung schon eine recht lange Tradition (20). So wurden beispielsweise bei den bereits im 19. Jahrhundert aufkommenen Untersuchungen von Brunnenwasser Bakterien als indikatorische Leitorganismen erkannt und verwendet (21). Anfang dieses Jahrhunderts entstand das sog. Saprobien-system zur Gewässergütebeurteilung, das seither laufend fortentwickelt und verbessert wurde. Saprobien stellen ein System von Zeigerarten dar, die den Grad der Gewässerbelastung mit abbaubaren Substanzen anzeigen sollen (22).

Mit zunehmendem Umweltinteresse und Umweltbewußtsein stieg auch der Bedarf an ökologischen Bewertungskriterien, welche die Naturwissenschaften in Form von Bioindikatoren zur Kennzeichnung der Umweltqualität lieferten. Der Vorteil, Tiere als Bioindikatoren einzusetzen, ergibt sich daraus, daß sie gezielt zur Untersuchung des Funktionszustands eines Ökosystems oder Biotops herangezogen werden können. So ist beispielsweise heute die Belastung des Bodens oder der Gewässer (23) mit Schwermetallen

(Blei, Cadmium, Zink) mit Hilfe von tierischen Monitor- oder Testorganismen ohne weiteres möglich. So werden zur Feststellung einer akuten Toxizität aquatischer Ökosysteme Bakterien, Wasserflöhe, Bachflohkrebs (24) und Fische (25) als Testorganismen eingesetzt. Eine chronische Toxizität zeigen Wasserflöhe, Steinfliegenlarven (26), Schnecken und Fische an. Sofern Indikatorgesellschaften bekannt sind, ist auch die Erfassung des Artenfehlbetrags eine Möglichkeit, die Toxizität zu messen und zu werten.

Im Vergleich zu den Landlebensräumen, wo die biotischen und abiotischen Elemente sehr viel komplizierter und damit auch schwieriger zu erfassen sind, ist die Bioindikatorenforschung der aquatischen Ökosysteme sehr weit fortgeschritten. Tiere als Bioindikatoren der Landlebensräume sind allerdings nicht so universell einsetzbar wie die standortstabilen Pflanzenindikatoren. Zur Beurteilung der Umweltqualität mittels tierischer Indikatoren müssen schon gewisse Kriterien, etwa

- Verbreitung über das gesamte zu untersuchende Gebiet,
- hohe Standorttreue,
- geringe Bestandsschwankungen,
- möglichst ganzjähriger Verbleib,
- mittlere Stellung in der Nahrungskette erfüllt sein.

Als höhere Organismen sind Tierarten allerdings besser geeignet, Umweltqualität und Umweltschäden anzuzeigen, da sie in der Lage sind,

- Schadstoffe zu akkumulieren und damit auch zu indizieren und eine Analyse zu ermöglichen,
- auf Umwelttoxinen zu reagieren,
- Belastungsräume zu meiden oder zu verlassen (Artenverarmung),
- die Biomagnifikation beobachtbar und Schadkreisläufe beschreibbar und lokalisierbar zu machen,
- die Giftstoffe einer Identifikation und Analyse zugänglich zu machen.

So werden Tiere in der Bioindikatorenforschung überwiegend als Monitor- oder Testorganismen eingesetzt, etwa zu Beurteilung

- der Schwermetallbelastung im Meer,
- des Gewässerzustands,
- der Bodenbelastung,
- der Bodenfeuchtigkeit und damit des Wasserhaushalts des Waldes (27),
- der Toxizität von Pestiziden, Radionukliden,
- allgemeiner anthropogener Umweltveränderungen (28),
- der ökologischen Wertigkeit.

Aus dieser beliebig erweiterbaren Aufstellung dürfte hervorgehen, daß es für die räumliche Planung eine Fülle von Möglichkeiten gibt, tierische Organismen als Bioindikatoren für die Bewertung von Umweltveränderungen, Umweltbelastungen, für die Identifikation einzelner Schadstoffe, die Umweltüberwachung und Natur-

pflege einzusetzen bzw. die hierzu erforderlichen Forschungen und Maßnahmen voranzutreiben.

Es wird daher angeregt, den Fragenkomplex weiter zu untersuchen und insbesondere mit Blick auf die Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse in der räumlichen Planung auszuweiten.

Anmerkungen

- (1)
Bick, H.: Bioindikatoren und Umweltschutz. In: *Decheniana Beih.* 26, Bonn 1982, S. 2–5
- (2)
Beirat für Raumordnung: Entwurf einer Empfehlung der Arbeitsgruppe 5 des Beirats für Raumordnung zur Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen vom 24.5.1976
- (3)
Schubert, R.: Ausgewählte pflanzliche Bioindikatoren zur Erfassung ökologischer Veränderungen in terrestrischen Ökosystemen durch anthropogene Beeinflussung unter bes. Berücksichtigung industrieller Ballungsgebiete. In: *Hercynia N.F.* 14 (1977), 4, S. 399–412
- (4)
Bick, H., a.a.O., S. 3
- (5)
Umweltgutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen. Dt. Bundestag, 8. Wahlperiode, Drucks. 8/193
- (6)
Umweltgutachten, a.a.O., S. 35
- (7)
Bick, H., a.a.O., S. 3
- (8)
Siehe den Beitrag von *H.-J. Lühmann* u.a. in diesem Heft
- (9)
Kaule, G.: Indikatoren der Umweltqualität, eine Möglichkeit zur Aufbereitung ökologischer Daten im Planungssystem. In: *Verh. Ges. f. Ökologie*, Bd. VII, 1978, S. 55–61
- Schneider, C.F.*: Ökologische Grundlagen für die Planung. In: *Verh. Ges. f. Ökologie*, Bd. VII, 1978, S. 9–10
- Neumann, D.*: Schwachstellen beim Einsatz von Bioindikatoren und weitere Forschungsziele. In: *Decheniana Beih.* 26 (1982), S. 193–196
- Neef, E.*: Ökologie, eine Grundform wissenschaftlichen Denkens. In: *Ges. f. Ökologie*, Bd. VII, 1978, S. 11–15
- (10)
Feige, B.: Niedere Pflanzen – speziell Flechten – als Bioindikatoren. In: *Decheniana Beih.* 26 (1982), S. 23–30
- (11)
Macher, M.: Schlechte Luft – kranke Flechten. In: *Nationalpark*, S. 8–10
- (12)
Sloover, J.; Leblanc, F.: Relation between the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. In: *Canadian Journal of Botany* 48 (1970), S. 1485–1496
- (13)
Scholl, G.; Schönbeck, H.: Erhebungen über Immissionsarten und Wirkungen von Luftverunreinigungen im Rahmen eines Wirkungskatasters. In: *Schriften des Landesamtes für Immissions- und Bodennutzungsschutz*, 33. H. (1973), S. 73–79
- (14)
Ericksen, C.F.E.: Beiträge zur Flechtenflora der Umgebung von Hamburg und Holstein. In: *Verhandlungen Naturwiss. Verein Hamburg* 13 (1905), S. 44–104
- (15)
Arnold, F.: Zur Lichenenflora von München. In: *Bay. Bot. Ges.* I (1881), S. 1–147; II (1892), S. 1–76; V (1897), S. 1–45; VI (1899), S. 1–82; VII, 2 (1900); VIII, 1 (1902)
- (16)
Kirschbaum, U.: Flechtenkartierungen in der Region Unterrhein zur Erfassung von Immissionsbelastungen. In: *Belastung u. Belastbarkeit von Ökosystemen. Tagungsberichte d. Ges. f. Ökologie Gießen* 1972, S. 133–140
- (17)
Domrös, M.: Luftverunreinigung und Stadtklima im Rhein.-Westf. Industriegebiet und ihre Auswirkungen auf den Flechtenbewuchs der Bäume. *Arbeiten zur Rhein. Landeskunde*, H. 23. – Bonn 1966
- (18)
Domrös, M., a.a.O., S. 102
- (19)
Sernander, R.: *Stockholm natur.* – Uppsala, Stockholm 1926
- (20)
Sladeczek, V.: Kenntnisstand und aktuelle Probleme bei der Beurteilung der Wassergüte mittels Bioindikatoren. In: *Decheniana Beih.* 26 (1982), S. 99–104
- (21)
Mez, C.: *Mikroskopische Wasseranalyse.* – Berlin 1898
- (22)
Kolkwitz, R.; Marsson, M.: Ökologie der tierischen Saprobien. In: *International Revue für die gesamte Hydrobiol. u. Hydrogr.* 2 (1909), S. 505–519
- (23)
Schulz-Baldes, M.: Tiere als Monitororganismen für Schwermetalle im Meer. Ein Überblick. In: *Decheniana Beih.* 26 (1982), S. 43–54
- Besch, W.K.*: Kritische Bewertung der Rolle von toxikologischen Tests bei der Gewässerüberwachung. In: *Decheniana Beih.* 26 (1982), S. 67–77
- (24)
Meertinus, P.; Meijer, D.; Pieper, H.G.: Die Indikatorbedeutung der Gattung *Gammarus* in Fließgewässern. In: *Decheniana Beih.* 26 (1982), S. 111–113
- (25)
Peters, N.: Fischkrankheiten und Gewässerbelastung im Küstenbereich. In: *Decheniana Beih.* 26 (1982), S. 120–127
- (26)
Caspers, N.: Steinfliegen, Eintagsfliegen und Zweiflügler als Indikatoren der Gewässergüte. In: *Decheniana Beih.* 26 (1982), S. 114–119
- (27)
Pospischil, R.: Käfer als Indikatoren für den Wasserhaushalt des Waldes. In: *Decheniana Beih.* 26 (1982), S. 158–170
- (28)
Weitzel, M.: Eignen sich Schmetterlinge als Indikatoren für langfristige Umweltveränderungen? in: *Decheniana Beih.* 26 (1982), S. 178–185

WissOR Dr. Wilhelm Wendling
Bundesforschungsanstalt für
Landeskunde und Raumordnung
Am Michaelshof 8
5300 Bonn 2