Ökol. Vögel (Ecol. Birds) 3, 1981, Sonderheft: 83–99

Was ist ein Bioindikator? – Sind Greifvögel Bioindikatoren?

Von **Hermann Ellenberg**

Summary

The nature of bioindicators. – Are birds of prey bioindicators?

Bioindication seems to be a word of some relevance in biological sciences as well as in politics. But it is impossible to use "bioindicators" in analogy to chemical indicators in titrations, as it is now going to be done by law (Environmental Chemicals) – unless one is willing to neglect ecological relations between living organisms. – In the article I ask four questions: What do we understand by "bioindicator"? What do we use bioindicators for? Can we use birds as bioindicators? Do we accept bioindication as a useful concept for the wellbeing of our society? – After giving definitions and examples I go somewhat into details by dealing with the third question using raptors as a vehicle. I give some criteria for a raptor as an "ideal" accumulation-indicator for heavy metals and pesticides, and I state the urgent need for a bioindication-laboratory in Western Germany. To answer the fourth question: there are some sectors and events where society has already learnt to accept bioindicators as a useful tool – for instance as test-organisms in medicine. But biologists and ecologists are still far away from being allowed to bring in their specific knowledge into decisionmaking on a society level. On the other hand adaptation and evolution of organisms and populations cause problems on a scientific level, for different populations of the same species do not always react in the same way to environmental stressors. – We ecologists have to teach our neighbors and the decisionsmakers in society to become sensible enough to recognize ecological impacts of their actions by means of organisms as bioindicators that react to environmental stressors by changing population structures, by necrosis, or even by die-offs. Teach them that they are mishandling the future of their own lives!

1. Einführung

Bioindikation wird heute vom Gesetzgeber gefordert im Zusammenhang mit dem Chemikaliengesetz. Es fordert standardisierte Tests zur Rechtssicherheit für den Einzelnen (Unternehmer) und zur Klarheit auch im internationalen Vergleich. Man verwendet vor allem drei Tests:

- den Goldorfen-Test (Dauer: Minuten bis Stunden)
- den Daphnien-Test (Dauer: 24 Stunden) und
- den Protozoen-Test (Dauer: zweimal zwei Stunden).

Gedanklich soll hier Bioindikation funktionieren wie eine Titration in der Chemie:

- Testsubstanz ist die (neue) Chemikalie,

Anschrift des Verfassers:
Dr. Hermann E l l e n b e r g, Fachbereich 6.5 Geographie, Lehrstuhl für Biogeographie, Universität des Saarlandes, 6600 Saarbrücken

- Indikator ist die Tierpopulation im Reagenzglas,
- Umschlagspunkt ist Bewegungsunfähigkeit oder Tod von mehr als fünfzig Prozent der Individuen.

Solche Tests *sind* standardisierbar und reproduzierbar – aber kaum aussagekräftig bezüglich der realen Umweltsituation. „Natur" wäre ein besseres Testobjekt, ist aber weder reproduzierbar noch standardisierbar. So ergibt sich ein Optimierungsproblem: reproduzierbar ↔ umweltrelevant.

Umweltgesetze sind emissionsbezogen, also auf den Verursacher. Immissionsbezogenheit: auf die Umwelt – findet sich im Gesetzestext nur am Rande. Vor dem Gesetz muß jeder gleich behandelt werden, auch das Individuum „Umweltverschmutzer". Deshalb *müssen* Tests so sein, wie sie sind: anwendbar, unabhängig von der Art der zu testenden Chemikalie „für sich" (sowieso nicht in Kombination mit anderen Chemikalien) und unabhängig von den unterschiedlichen Bedingungen vor Ort.

Bei schlechterer Wirtschaftslage in unserer Bundesrepublik im Sommer 1980 – zum Zeitpunkt als das Chemikaliengesetz beschlossen wurde – wäre wahrscheinlich nicht einmal *diese* Art Bioindikation ins Gesetz gekommen. Bioindikation, wie im Chemikaliengesetz gefordert, kann ökologisch denkende Naturbeobachter nicht zufriedenstellen. Ich sehe mich darum veranlaßt, darauf hinzuweisen, daß wir bei all diesen Unsicherheiten auf dem „Testniveau" nicht darum herumkommen, dafür zu sorgen, daß es in einer aufgeklärten Gesellschaft mehr Freiland-Ökologen gibt. Sie müssen als sensible Arten- und Zönosekenner mit hohem theoretischem Niveau die Veränderungen von Populationen und Ökosystemen *draußen* beobachten und analysieren. Sie müssen Material sammeln für flächenhafte Vergleiche. Und sie müssen Alarm schlagen, wenn sie Veränderungen draußen nicht mehr mit herkömmlichem Wissen erklären können.

Das Aussterben einer (Tier- oder Planzen-) Art ebensowenig wie das Einwandern einer (Tier- oder Planzen-) Art beschäftigt Politiker herkömmlicher „Strickart". Beide Erscheinungen interessieren nur persönlich motivierte (Arten-) Schützer, unter ihnen mag sich durchaus auch mal ein Politiker befinden, quasi per Zufall. Sofern es genug Schützer gibt, sind sie zwar vorübergehend zu Wahlterminen durchaus auch politisch von Interesse. – Aufregend für die Öffentlichkeit und damit für uns Alle wird die Sache aber erst, wenn es um unsere eigenen Lebensgrundlagen geht: um saubere Luft, reines Wasser, gesunde Nahrung, körperliches und seelisches Wohlbefinden. – Die persönlichen Ansprüche werden allerdings in dieser Reihenfolge individuell heterogener.

Ich möchte versuchen anzudeuten, was ich unter Bioindikation verstehe; und zu skizzieren, wie diesem Verständnis zu breiterer Relevanz verholfen werden könnte, sofern es Zustimmung findet. Dabei gebe ich mich keinen großen

Hoffnungen hin. REMMERT hat die Situation kürzlich in einem Leitartikel zur Zeitschrift „Nationalpark" (Nr. 29, Heft 4, 1980) unter der provozierenden Überschrift „Stoppt endlich die biologische Forschung!" treffend skizziert. Aber ich bin auch nicht hoffnungslos, denn selbst Sand im Getriebe, der laufende Bewegung bremst, verzögert, schafft Organismen mehr Zeit. Zeit sich anzupassen. Denn *dies* ist die Stelle, an der Organismen – auch wir selbst – am stärksten gefordert sind.

Letztlich aber – darüber müssen wir uns klar sein – geht es um Wertung. Was halten wir für richtig und gut oder für noch tolerabel? Und: können wir die herrschenden, bewegenden Kräfte – in Ökologie und/oder Ökonomie in unserem Sinne beeinflussen?

Wenn man sieht, unter welch verschiedenen Bedingungen Menschen leben und sich wohlfühlen können, wird dieses Bewertungsproblem zu einer der schwierigsten Aufgaben. Bioindikation ist damit tatsächlich ein Politikum.

Ohne Zweifel hat Bioindikation mit lebenden Organismen zu tun und mit deren Reaktion auf ihre jeweilige konkrete Umwelt. Nicht wenige Ausprägungen von Leben sind heute vielfältig und neuartig bedroht, durch zu rasche Veränderung von Lebensräumen, durch Schadstoffe in der Umwelt, durch Übernutzung und Überbeanspruchung. Die Erkenntnis, daß diese Bedrohung auch unser eigenes, menschliches Leben betrifft, wird langsam zu geistigem Allgemeingut – denn Leben existiert nie für sich allein. Leben müssen wir als Ineinandergreifen von Systemen unterschiedlichsten Komplexitätsgrades verstehen. „Höheres" ist auf das sichere Funktionieren „grundlegender" Strukturen angewiesen: Pflanzen auf die Anwesenheit von Licht, Wasser, Kohlendioxid, löslichen Nährsalzen und auf bestimmte Temperaturen; Tiere auf Nahrung, Wasser Sauerstoff, Unterschlupf; Menschen auf Pflanzen, Tiere, Wasser, Luft und eine Menge mehr; Parasiten in der Regel auf ganz bestimmte Wirtsorganismen. Im Grad der Ausnutzung grundlegender Strukturen lassen sich Spezialisten und Generalisten unterscheiden – mit sehr konkreten, „eindeutigen" Beziehungen zur Basis bzw. mit der Möglichkeit, je nach Bedarf und Angebot sehr unterschiedliche Quellen zu nutzen. – Umgekehrt können die meisten Pflanzen aber ganz gut *ohne* höhere Tiere auskommen. Viele Tiere und Pflanzen leben besser in Abwesenheit des Menschen. Auch auf Parasiten würden die meisten Organismen gern verzichten.

Wir Menschen müssen darauf achten, bei aller geistigen und technischen Emanzipation von der Natur, unsere natürlichen Lebensgrundlagen nicht zu zerstören. Sie betreffen, wie gesagt, reine Luft, sauberes Wasser, gesunde Nahrung, geistiges und körperliches Wohlbefinden. Mit technischen Meßgeräten lassen sich diese Qualitäten aber nur ungenügend erfassen. Trotzdem schwört unsere Gesellschaft in ihrer breiten Entfremdung von der Natur überwiegend auf solche technischen

Überwachungssysteme. Sie ist träge geworden im sensiblen Erkennen von Zusammenhängen im Bereich des Lebendigen.

Bioindikation bedeutet, den Informationsgehalt lebender Systeme für unsere Ziele „aufzuschließen". Um diese Möglichkeiten zu nutzen, benötigen wir griffige Definitionen und reproduzierbare Methoden – und eine aufgeschlossene Öffentlichkeit.

2. Was ist ein Bioindikator?

2.1 Ein Beispiel

Zum Erkennen von Zusammenhängen sind in der Regel breite Erfahrungen und nicht selten gezielte Forschungen nötig, um das Wesentliche vom Unwesentlichen zu trennen. Die Interpretation von Zusammenhängen ist selten nur auf eine einzige Weise möglich. Nicht immer sind die Zusammenhänge so offensichtlich wie im folgenden Beispiel: „Muskelkater".

Muskelkater entsteht aufgrund normaler physiologischer Prozesse bei Muskelarbeit dann, wenn pro Zeiteinheit mehr Milchsäure freigesetzt wird als mit dem im Blutstrom transportierten Sauerstoff im Moment umgesetzt werden kann. Die Folgen kennen wir alle zu Genüge, eben Muskelkater. Mit entsprechenden Unannehmlichkeiten in den Gliedern pflegen wir dann z. B. eine Zeitlang der Ruhe, oder wir lassen uns massieren, oder wir beleben mit Salben und anderen Mitteln die Zirkulation. Das heißt: unsere persönlichen Reaktionen sind unterschiedlich, aber sie haben dasselbe Ziel, nämlich die überschüssige Milchsäure wieder abzubauen, welche Glieder auch betroffen sein mögen. Der unmittelbare Anlaß für solchen Muskelkater kann sehr verschiedene Gründe haben, ich brauche hier keine weiteren Beispiele aufzuzählen.

Auch unsere Konsequenz geht – je nach der betroffenen Persönlichkeit – verschiedene Wege: entweder in Zukunft Situationen zu vermeiden, die solche Unannehmlichkeiten verursachten – oder, nun gerade! den ungeübten Körper zu trainieren. Weitere, äußere Umstände mögen Einfluß auf diese Entscheidung nehmen. Somit wird auch unsere physische „Belastbarkeit" sehr unterschiedlich, und es erhebt sich die schwierige Frage nach der Definition von „Gesundheit".

Wie alle Beispiele ist auch dieses sträflich vereinfacht. Denn mit unserem Muskelkater sind wir Verursacher, Beobachter und Handelnder in ein- und derselben Person. Wir empfinden z. B. selbst Schmerzen. – Eine dem Muskelkater entsprechende Erscheinung im Sinne von Bioindikation für die „Überlastung" von Ökosystemen läßt sich dagegen nur mit einigem Aufwand beobachten. Wir mögen zwar Verursacher und auch Betroffene sein, doch fehlen uns offensichtlich noch die geeigneten Sinnesorgane, um die Zusammehänge zu erkennen. Die

sensiblen Beobachter von Veränderungen in lebenden Systemen scheinen in unsere Gesellschaft noch nicht hinreichend integriert zu sein. „Schmerzen" verursachen sie zwar hier und da, aber eine angemessene Reaktion muß unsere Gesellschaft erst noch lernen.

2.2 Definitionen

Eine recht allgemeine Definition wurde anläßlich eines Expertentreffens der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Mai 1975 diskutiert und angenommen: „Ein Bioindikator ist eine Sippe oder Gemeinschaft von Lebewesen, deren Vorkommen oder leicht erkennbares Verhalten sich mit bestimmten Umweltverhältnissen so eng korrelieren läßt, daß man sie als Zeiger oder quantitativen Test verwenden kann". Diese Definition dürfte vor allem einen sensiblen Beobachter befriedigen. Sie fordert aber die Absicherung beobachtbarer Tatsachen durch Messung und Experiment.

REMMERT (1978) bringt zwei weitere Forderungen in die Diskussion, wenn er schreibt (S. 232): „Die biochemischen Grundvorgänge sind in (vielen) Organismen gleich. Es liegt daher nahe, Organismen als Bioindikatoren zu verwenden, die schneller als der Mensch auf Umweltgifte reagieren, und die daher Anzeiger für vom Menschen induzierte Umweltveränderungen sein können, die für den Menschen selbst gefährlich werden können." Wenn man den Begriff „Umweltgifte" nicht zu eng faßt, scheint mir die Definition brauchbar, namentlich in Hinblick auf unser engeres Thema, Greifvögel und Pestizide. Viele Zusammenhänge werden durch Remmerts Definition im Gegensatz zur ersten jedoch nicht erfaßt.

Dies wird noch deutlicher, wenn wir uns mit STÖCKERS (1979) Definitionsversuch beschäftigen. Er spricht von einer „. . . zeitabhängigen Anzeige anthropogener und anthropogen modifizierter Umwelteinflüsse durch veränderte Größen von Meßwerten oder beobachtbarer Merkmale unter Bezug auf definierte Vergleichsbedingungen". – Die Einschränkung des Begriffs Bioindikation auf vom Menschen gesetzte Störgrößen halte ich, ehrlich gesagt, für zwar in mancher Hinsicht praktikabel (Stichwort: Umweltchemikalien), aber doch insgesamt für zu eng. Auch wird es in zunehmendem Maße schwierig, die Vergleichsbedingungen in unseren Kulturlandschaften zu definieren. Sie stehen ihrerseits seit Jahrhunderten unter dem verändernden Einfluß des Menschen.

Stöckers und möglicherweise auch REMMERTS Definition engen den Bergriff Bioindikation in einem anschaulichen Beispiel darauf ein, daß nur solche Obstbäume, die innerorts, oder vor einer angestrahlten Hauswand, oder in einem durch Straßen- oder Eisenbahndamm aufgestauten Kaltluftsee relativ zum „nicht" veränderten Mikroklima der Umgebung früher oder später blühen, wirklich als Bioindikatoren verwendet werden dürfen. Auf die Phänologie ande-

rer Obstbäume zur flächendeckenden Charakterisierung des Wuchsklimas würde somit verzichtet. Meines Erachtens werden mit solchen Definitionen Möglichkeiten verschenkt.

2.3 Der Zusammenhang „Umwelt" – „Indikator"

Wesentlich bei allen Definitionsversuchen für Bioindikation ist der Beleg eines klaren Zusammenhanges zwischen der zu untersuchenden Umwelteigenschaft und der Reaktion des untersuchten Organismus einerseits, und die vergleichsweise einfache Erkennbarkeit des Organismus bzw. seiner Veränderung andererseits. Wesentlich für den Erfolg der Indikation selbst ist die klare und differenzierte Formulierung des konkreten Arbeitsziels. „Umweltgüte" zum Beispiel, ein Begriff der sich aus vielen Einzelwertungen zusammensetzt, ist ein zu diffuses Ziel für wissenschaftliche Bioindikation. Die hier notwendigen vielfältigen subjektiven Wertungen *müssen* aus dem politischen Bereich, auch dem von Einzelpersönlichkeiten oder des Forschers selbst, kommen.

Wenn Bioindikation aber nur möglich ist auf der Basis langwieriger und aufwendiger Untersuchungen, ist sie wenig gefragt. Solche Untersuchungen erfordern neben viel Zeit und Geduld vor allem viel Engagement und auch etwas Geld. All dies haben eine nennenswerte Zahl von Naturforschern oft aus eigener Kraft aufgebracht. Ihre Kenntnisse und Erfahrungen scheinen mir in noch mancher Hinsicht viel zu wenig genutzt.

Ich bin sicher, daß anstelle von aufwendigen Forschungsprogrammen mit teuren Meßeinrichtungen viele Ziele der Umweltbewertung und Umweltüberwachung „rationeller" zu erreichen wären in folgenden zwei Schritten:

1. Ermöglichen von Experten-Gesprächen mit der Aufgabe, klare Fragestellungen zu erarbeiten;
2. Umfrage bei und Einsatz von einschlägig erfahrenen Leuten. Sie sind oft in der Lage, Zusammenhänge, Ursachen oder Folgen auf breiterer – auch räumlich gesehen – Basis zu erkennen und aufzuzeigen, als dies mit apparativen Programmen je möglich wäre. Wenige Messungen können dann genügen, um Aussagen solcher Experten an kritischen Punkten abzusichern, oder um sie insgesamt auf eine absolute Bezugsbasis zu stellen.

Man darf sich durch die scheinbare Objektivität wirtschaftlicher oder politischer „Vorgaben" nicht verunsichern lassen bei der Darstellung ökologischer Gesichtspunkte. Ökologische Kriterien sind nicht selten „härter" als die „weichen" aber als Sachzwänge herausgestellten Konventionen der „Gegenseite". Planungsvorgaben sind z. B. durchaus willkürlich: der Höchstabstand zentraler Orte zur nächsten Autobahnauffahrt, die Ausbaugeschwindigkeit von Schnellstraßen und damit ihre Kurvenradien. Auch der zur Sicherung unseres „Wohlbefindens" heute als notwendig hingestellte Energieverschleiß ist sicher nicht natur-

gesetzlich begründet – sondern politisches Schlagwort und Kürzel für eine weltweit verfahrene Konkurrenzsituation. Vor zwanzig Jahren fühlten wir uns auch nicht unwohl, und niemand ging es „schlecht", als wir pro Kopf der Bevölkerung nur halbsoviel Energie „benötigten" wie heute. – Der konkrete Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Organismen im Sinne von Bioindikation bedarf allerdings tatsächlich noch einigen Forschungsaufwands!

2.4 Qualitative und quantiative Bioindikation

Man kann qualitative und quantitative Bioindikatoren unterscheiden. Zumindest die qualitativen sind für manche Anwendungsbereiche seit langem erprobt. Hierbei handelt es sich um einfache „ja-nein-Entscheidungen" über Anwesenheit oder Abwesenheit bestimmter Arten oder Artenkombinationen oder Eigenschaften, die auf die fraglichen Umweltfaktoren deutlich reagieren. In diese Kategorie fallen z. B. die „Zeigerpflanzen" nach HEINZ ELLENBERG (1974, 1979). Je nach der betrachteten Spezies haben die Pflanzen charakteristische Ansprüche an u. a. Lichtintensität, Temperatur, Kontinentalitätsgrad des Klimas, Feuchtigkeit und pH-Wert des Bodens, Stickstoffverfügbarkeit, Salz- oder Schwermetallgehalt des Bodens, usw. Es ist nützlich, solche Zeigerpflanzen nicht isoliert zu verwenden, da einerseits das Vorkommen aller Organismen nicht nur von einem einzigen Umweltfaktor bestimmt wird, und da andererseits mehrere ähnlich reagierende Arten das Bild abzurunden und zu differenzieren gestatten. Auf diese Weise ist bereits der Schritt zum quantitativen Bioindikator vollzogen. Quantitative Bioindikation erfordert wesentlich mehr Arbeitsaufwand als qualitative – unabhängig vom zur Interpretation der Zusammenhänge nötigen Forschungsaufwand, der vorausgegangen sein muß. Im obigen Beispiel sind zumindest die vorkommenden Pflanzen an einem Standort *alle* sicher anzusprechen, um die zutreffende Zeigerwert-Kombination zu finden. Für qualitative Indikation hätte die Kenntnis weniger charakteristischer Pflanzenarten gereicht. Bei quantitativer Bioindikation hat man in irgendeiner Weise zu messen. Dafür ist nennenswerter Organisationsaufwand zu betreiben. Zur Sicherung der Vergleichbarkeit erhobener Daten müssen z. B. dieselben Eigenschaften an Vertretern derselben Art in demselben physiologischen Allgemeinzustand zur selben Zeit – aber an unterschiedlichen Orten beobachtet werden. Quantitative Bioindikation muß deshalb methodisch besonders „griffig" durchgearbeitet werden, oder aber die Bedeutung des zu lösenden Problems rechtfertigt den besonderen Aufwand.
Bioindikation hat stets vergleichsweise einfach, ja elegant zu sein, sonst ist sie in unserer technisch geprägten Gesellschaft wenig gefragt.

3. Wozu brauchen wir Bioindikatoren?

Ich will hier nur wenige Beispiele bringen, in denen sich Bioindikation offensichtlich bewährt.

Altbewährte Bioindikatoren für ausreichende Luftverhältnisse waren die Kanarienvögel der „alten" Bergleute unter Tage. Solange sie sangen war alles in Ordnung. – In zentralen Trinkwasser-Versorgungseinrichtungen dokumentiert die „Lebendigkeit" empfindlicher Fische in einem abgezweigten Wasserstrom die Qualität dieses Wassers, namentlich ausreichend geringen Chlorgehalt.

Zeigerpflanzen spielen eine große Rolle bei der Beurteilung waldbaulicher Möglichkeiten oder in der Grünlandwirtschaft, früher auch im Ackerbau. Heute hat man hier bei intensiver Agrarwirtschaft die „Unkräuter" fast ausgeschaltet. In ähnlicher Weise sind verschiedene Flechtenarten, die z. B. auf Schwefeldioxid in der Luft empfindlich reagieren, seit Jahrzehnten als Indikatoren der Luftverschmutzung bekannt.

Viele Pflanzen gestatten durch ihre charakteristischen Nekrosen (Absterbeerscheinungen) das Wirken weiterer luftverschmutzender Substanzen zu erkennen und zu kartieren. Die unterschiedliche Empfindlichkeit der Arten ermöglicht eine Abstufung von Wirkungsintensität und -trend. Außer für Schwefeldioxid läßt sich auf diese Weise u. a. der Einfluß von Fluorwasserstoff (mit Gladiolen oder Tulpen), nitrosen Gasen (Tabak), Photo-Smog, usw. beurteilen.

Ebenfalls seit Jahrzehnten wird die Qualität des Oberflächenwassers nach Saprobiegraden klassifiziert. Die Einteilung geschieht mit Hilfe von im Wasser lebenden Organismen, deren ökologische Ansprüche bekannt sind. Mit ihnen läßt sich ähnlich arbeiten wie mit Zeigerpflanzen.

Langlebige Pflanzen sind Ausdruck und Integratoren langfristiger Klimaverhältnisse. Sie gestatten, die Risiken für landwirtschaftliche Nutzungsarten abzuwägen. So spricht man ganz selbstverständlich z. B. vom Ölbaum- oder vom Weinklima. – An Zweigen mancher Baumarten lassen sich Spätfrostereignisse oft noch nach Jahren erkennen, u. a. bei Walnuß oder Esche.

Die Phänologie der Pflanzen, ihr charakteristischer Blüh- oder Blattausschlagtermin, läßt sich nutzen zur Erstellung von sehr differenzierten Karten des Geländeklimas. Die relative Abstufung braucht nur durch wenige Messungen (Klimastationen) abgesichert zu werden. Auf diese Weise werden auch absolute Skalen im Nachhinein zugänglich.

Winterliches Streusalz schädigt u. a. Alleebäume. Jedem Passanten sind die braunrot vertrockneten Blatträndер der Roßkastanien bereits im sommerlichen Straßenbild unserer Städte seit Jahren ein vertrauter Anblick.

Im Naturschutz sind uns Bioindikatoren zur Anzeige schützenswerter Biotope wichtig. Nach ihrem Seltenheitsgrad und dem Grad ihrer Gefährdung durch menschliche Aktivitäten in der Landschaft hat man im Laufe des letzten Jahrzehnts Listen von „wertvollen" Arten aufgestellt, sogenannte „Rote Listen". Es

gibt sie heute für alle leicht feststell- und bestimmbaren Organismengruppen. Auf die manchmal fragwürdigen Kriterien und auf die diskutierbare Einordnung vieler Arten in bestimmte Gefährdungskategorien will ich hier nicht eingehen.

Seit gut zwei Jahrzehnten steigt schließlich die Bedeutung von Organismen als „Schadstoffakkumulatoren". Auch in diesem Zusammenhang spielen Pflanzen wegen ihrer Standorttreue, ihrer leichten Feststellbarkeit und Manipulierbarkeit – z. B. für Schwermetall-Expositionstests – wie auch bei den meisten bisher aufgeführten Beispielen eine wesentliche Rolle. Durch das Phänomen der „Akkumulation" von persistenten, d. h. im Organismus schwer abbaubaren Umweltchemikalien im Zuge von Nahrungsketten – wie immer es auch zustandekommen möge – betrifft dies Problem uns Menschen in besonderem Maße. Am stärksten gefährdet scheinen Säuglinge durch die Muttermilch. – Glücklicherweise sind wir als „Allesfresser" jedoch nicht in so starkem Maße betroffen wie manche spezialisierte Räuber am Ende langer Nahrungsketten: Raubfische, Fischfresser unter Vögeln und Säugetieren, sowie ausgesprochene Vogeljäger. Das Schicksal von z. B. Sperber und Wanderfalke ist bekannt (NEWTON 1979, RATCLIFFE 1980). Es sollte uns alle, wie ich meine, zumindest nachdenklich stimmen.

Die obige Aufstellung ist unvollständig. Sie gibt aber einen Eindruck von der Palette der Einsatzmöglichkeiten von Bioindikatoren. Ich will mich nun der Frage zuwenden, inwieweit Vögel die Forderungen, die wir an Bioindikatoren stellen müssen, erfüllen und beantworte die Frage am Beispiel der Greifvögel.

4. Sind Greifvögel Bioindikatoren?

4.1 Qualitative Aspekte

Bei ausreichender Kenntnis ihrer Lebensansprüche sind Greifvögel ohne Zweifel als *qualitative* Bioindikatoren nutzbar. Beispielsweise „warten" Turmfalken und Bussarde ganz überwiegend an besonders mäusereichen Stellen in unserer Kulturlandschaft – auf die man so durch bloßes Beobachten dieser Beutegreifer quasi im Vorbeifahren und auf große Distanz aufmerksam gemacht wird. Durch Beobachtung des Bruterfolgs – über Jahre – z. B. der Schleiereule erhält man vergleichsweise problemlos Aufschluß über die Schwankungen der Greifbarkeit ihrer Beute: eines breiten Spektrums an Kleinsäugern der offenen Landschaften. In unserer einheimischen Fauna ist die Schleiereule der einzige Beutegreifer, der auch Spitzmäuse in nennenswerter Zahl nicht nur fängt sondern auch frißt. Kenntnisse über die großräumige Verbreitung von Kleinsäugerarten, vor allem auch der selteneren, stützen sich deshalb in starkem Maße auf die Analyse von Schleiereulengewöllen (z. B. LE LOUARN & SAINT-GIRONS 1977). – Schleiereulen und ihre Gewölle eignen sich aus diesen Gründen, um die Nahrungsbasis der großen Mehrzahl unserer einheimischen Beutegreifer nach Artzusammensetzung

und Häufigkeitsschwankungen auch räumlich differenziert und im Nachhinein zu beurteilen. Viele Schwankungen der Populationsstruktur dieser schwieriger zu bearbeitenden Beutegreifer werden somit erklärbar.

Greifvögel bieten ein überschaubares Artenspektrum. Viele Greifvögel sind auffällige und für Kenner gut bestimmbare Erscheinungen. REICHHOLF (1974) hat deshalb die Diversität der Greifvögel zur Charakterisierung der relativen Intaktheit südamerikanischer Landschaften verwendet.

Diese Beispiele sollten nur andeuten, daß sich Greifvögel auch außerhalb der Pestizidproblematik für unterschiedliche Fragestellungen als Indikatoren eignen.

4.2 Greifvögel als Akkumulationsindikatoren

Im Zusammenhang mit der zunehmenden chemischen Belastung unserer Umwelt mit „Schadstoffen" wurden Greifvögel im Verlauf der vergangenen etwa 30 Jahre zum klassischen Bioindikator im Sinne von komplex zu interpretierenden „Umweltgütezeigern", aber auch in zunehmendem Maße als auf ganz bestimmte, persistente, bioakkumulierende Chemikalien empfindlich und spezifisch reagierende Organismen.

Greifvogelökologie ist ohne Zweifel ein nicht gerade einfach zu bearbeitendes Feld. Greifvögel üben aber auf viele Beobachter einen besonderen, ja faszinierenden Reiz aus. Nur so ist das gewaltige Engagement tausender von Wissenschaftlern und Laien in vielen Ländern zu verstehen, das letztlich durch Beobachtung und Experiment den Zusammenhang zwischen zunächst unerklärlichem Rückgang z. B. des Wanderfalken oder des Sperbers und dem Einsatz chlorierter Kohlenwasserstoffe als Pestizid herstellte. Durch den Rückgang dieser Arten wurden wir Menschen vor der Gefährlichkeit der neu eingesetzten Stoffe gewarnt. Somit sind die in der Definition genannten wesentlichen Forderungen an Bioindikatoren weitgehend erfüllt. Wenn Wanderfalken wieder flächendeckend vorkommen können, brauchen wir uns nicht mehr durch DDT und ähnliche Pestizide bedroht zu fühlen. Es können aber durchaus auch andere Faktoren die Rückkehr des Wanderfalken verhindern. Analysen der Gehalte von Greifvogeleiern, -federn, -lebern und anderer Gewebe auf Rückstände an chlorierten Kohlenwasserstoffen, Schwermetallen, Radionukliden, usw. gestatten die großräumige Überwachung restriktiver Gesetze. Sie tragen auch zu weiteren Einschränkungen bei der Anwendung umweltgefährdender Stoffe bei. Solche Rückstandsanalysen wären aber als Routine nur Stückwerk. Nur die Überwachung der tatsächlichen Populationsdynamik der untersuchten Arten bietet die Informationsbasis für die Beurteilung der Wirkung von Noxen und für die Möglichkeit, rechtzeitig auf *neue* umweltgefährdende Stoffe aufmerksam zu werden (vgl. ELLENBERG 1981).

4.3 Forderung nach einem Bioindikations-Institut

Als verantwortungsbewußte Wissenschaftler, engagierte Naturbeobachter und diskussionsbereite Mitbürger müssen wir an dieser Stelle mit Nachdruck die Einrichtung eines überregionalen Bioindikations-Instituts fordern. Es hätte u. a. die Aufgabe, durch Populationsüberwachung an ausgewählten (nicht nur Greifvogel-) Arten und durch Analysen der Rückstände in definierten Geweben dieser Arten positive und negative Entwicklungen in der Umweltbelastung zu überwachen. Die wesentliche zweite Aufgabe wäre, Entscheidungsträgern raum- und zeitbezogen gesicherte Entscheidungsgrundlagen zu vermitteln.

4.4 Kriterien für einen idealen Akkumulstionsindikator

Nicht jeder Beutegreifer eignet sich ohne weiteres als Indikator für bioakkumulierende Chemikalien. Ich will deshalb an dieser Stelle einige Kriterien aufzählen, die ich für wichtig halte. Ein idealer Akkumulationsindikator sollte möglichst viele dieser Kriterien erfüllen und für die Bearbeitung problematischer Eigenschaften keine wesentlichen Schwierigkeiten verursachen. Die Kriterien folgen hier ohne Gewichtung in der Reihenfolge und mit je einem kurzen Kommentar zu ihrer Begründung.

- Standorttreue: wozu? Nur sie ermöglicht unkomplizierten räumlichen Bezug.
- Flächendeckendes Vorkommen: wozu? Um eine Probenahme am jeweils zu untersuchenden Ort zu gewährleisten.
- Ausreichende Häufigkeit: wozu? Die notwendige Probenahme soll die untersuchte Population nicht schädigen. Tierschützer sollten für die „gute Sache" ein Auge zudrücken können.
- Weite Verbreitung: wozu? Großräumige Vergleiche mit anderen Populationen sind nötig.
- Geringe Populationsschwankungen: wozu? Damit die Kontinuität der Überwachung nicht abreißt.
- Leichte Nachweisbarkeit: wozu? Ich halte dieses Kriterium für selbstverständlich.
- „Vernüftige" Bezugsgrößen in Raum und Zeit: wozu? Vor allem aus arbeitsökonomischen Gründen. Eine Integration über Monate bis Jahre und über größenordnungsmäßig Quadratkilometer bis 100 km² scheint angemessen zur Beurteilung von Muster und Trend der Belastung durch Umweltchemikalien auf Kreis- oder Landesebene.
- Standorttreue Nahrungstiere: wozu? Sonst nützt uns der standorttreue Beutegreifer wenig.
- Unkomplizierte Nahrungsanalyse: wozu? Beutetiere weisen artspezifische Kontaminations- und Akkumulationsraten auf. Im Idealfall soll das individuelle Beutespektrum belegbar sein.

- Die Kontamination der tatsächlichen Beute muß mit einer unabhängig gewonnenen Stichprobe aus der Beutepopulation vergleichbar sein: wozu? Es ist zu beurteilen, ob der Beutegreifer höher kontaminierte und dadurch unter Umständen bereits „auffällige" Beutetiere aktiv selektiert.
- Manipulierbarkeit: wozu? Züchtbarkeit in Gehege oder Voliere und Bestandslenkung oder Ansiedelbarkeit im Gelände sind für notwendige Experimente von besonderer Bedeutung. Auch sollte der Fang ausgewachsener Individuen keine großen Schwierigkeiten verursachen.
- Standardisierbarkeit der Probeziehung: wozu? Jahreszyklische Schwankungen oder auf Alter, Geschlecht, Ernährungszustand, usw. zurückzuführende Unregelmäßigkeit sind möglichst auszuschalten.
- Euryökie: wozu? Es sind sehr unterschiedliche Biotope nach möglichst vergleichbaren Kriterien zu beurteilen.
- Mittlere Akkumulationsraten: wozu? Der Indikatororganismus soll zwar ausreichend empfindlich – aber trotz Belastung auch ausreichend lange „greifbar" sein.
- Aktionsraum und Aktivität: wozu? Zum exakten Beleg von Bezugsraum und -zeit müssen zumindest Beispiele, besser Mittelwerte und Extreme bekannt sein.
- Vergleichbarkeit mit anderen Arten: wozu? Sie sind durch dieselben Einflüsse potentiell gefährdet. Hier liegt ja das Ziel der Untersuchung. Vor allem die Übertragbarkeit der Ergebnisse bleibt ein grundsätzliches Problem.

Wenn wir unsere europäischen Beutegreifer, auch Säugetiere, durch das Sieb dieser Kriterien schütteln, bleibt keine einzige Art übrig, die alle unsere Ansprüche in idealer Weise erfüllte. Vergleichsweise optimal geeignet scheinen uns jedoch nach sorgfältiger Abwägung vieler Eigenschaften der Waldkauz (*Strix aluco*) und der Habicht (*Accipiter gentilis*). Ihnen gelten Pilotprojekte in unserer Saarbrücker Arbeitsgruppe, die die Verwendbarkeit beider Arten im Gelände und im Experiment zu belegen versuchen (Ellenberg 1980, Hahn 1980, Dietrich 1980, Ellenberg 1981).

5. Akzeptieren wir Bioindikation?

5.1 Prüfungen auf „Umweltverträglichkeit"

Seit noch nicht allzu langer Zeit sind in der Bundesrepublik Deutschland bei Planungen, die für umweltrelevant gehalten werden, vom Gesetzgeber gutachterliche Stellungnahmen zur „Umweltverträglichkeit" vorgeschrieben. Mit den so geschaffenen neuen Finanzströmen entstehen neue Probleme: Wen soll man fragen? Wer hat die nötigen Kenntnisse? Wer ist objektiv? Wie objektiv kann man überhaupt sein? Allzurasch stößt man an die Grenzen synökologischen Wissens.

Es werden Stellungnahmen gefordert, ohne die vorher notwendige Forschung hinreichend zu fördern. – Ich will an dieser Stelle nicht tiefer eindringen.

Der Gesetzgeber ist aber gewißlich auf dem richtigen Wege. Zumindest im autökologischen und populationsökologischen Bereich hat sich der gedankliche Ansatz bereits als fruchtbar erwiesen: in den vielfältigen Prüfungen, denen neu entwickelte Umweltchemikalien unterworfen werden müssen, bis sie durch die Biologische Bundesanstalt zur Anwendung freigegeben werden können, spielen auch Tests an Wirbeltieren eine wesentliche Rolle. Man prüft auf akute und chronische Toxizität, auf Mutagenität, Teratogenität und Kanzerogenität, d. h. auf die Eigenschaft der neuen Substanz „am Warmblüter" Vergiftungserscheinungen, Chromosomenveränderungen, organische Beeinträchtigungen in der Entwicklung oder krebsartige Wucherungen hervorzurufen. Aus naheliegenden Gründen verwendet man für diese Tests leicht zu haltende und in Mengen zu produzierende Arten, z. B. Wachteln als „Universalvögel" und Mäuse bzw. Ratten als „Universalsäugetiere". Viele Zusammenhänge lassen sich tatsächlich an diesen Arten prüfen. – Was sind diese „Versuchskaninchen" anderes als akzeptierte Bioindikatoren?

Auch die Untersuchung der Wirkung neuer Stoffe auf Fortplanzungsfähigkeit und -erfolg der betrachteten Arten gehört spätestens seit der Contergan-Affäre zur Routine. Der Verbleib neu entwickelter Stoffe „im Ökosystem" wird erst in allerneuester Zeit experimentell angegangen. Aber auch die ausgeklügeltsten Ökosystem-Modelle „in vitro" – d. h. im überschaubaren, wenigglieder rigen, künstlich gefügten Labor-Ökosystem „Pflanze-Pflanzenfresser-Fleischfresser-Zersetzer" müssen angesichts der Komplexität der Beziehung in natürlichen Ökosystemen Stückwert bleiben. Ein Restrisiko bei der Zulassung neuer Substanzen fürs tägliche Leben ist somit unvermeidlich.

Eine notwendige Konsequenz aus dieser Situation wäre deshalb, bereits beim begründeten Verdacht schädlicher Wirkung in Ökosystemen solche Stoffe nicht mehr anwenden zu dürfen, und ihre Produktion zu drosseln. Schon aus theoretischen Gründen ist es unzulässig, den Beweis der „Bedenklichkeit" dem Ökologen aufzubürden. Naturschützer sind in dieser Problematik normalerweise ohnehin überfordert.

5.2 Veränderungen von Machtstrukturen?

Ich bin mir klar, daß an dieser Stelle wirtschaftliche Machtstrukturen angesprochen sind. Sie werden sich eine Änderung seit Jahren gebräuchlicher Praktiken nicht ohne weiteres gefallen lassen. – In der Pharmakologie, der Produktion und Anwendung von Arzneimitteln, beginnen sich akzeptable Vorstellungen allerdings durchzusetzen. Aber: wie schwierig gestaltet sich andererseits die Einführung phosphatfreier Waschmittel, mit deren Hilfe die Eutrophierung der Gewäs-

ser zumindest ein bißchen gebremst werden könnte! Ersatzprodukte sind zwar vorhanden. Sie werden aber nicht von der Breite der Bevölkerung akzeptiert – aus welchen Gründen auch immer.

Die Forderung, in die Entscheidungsgremien für die Beurteilung von Umweltchemikalien und in alle anderen mit Planungen befaßten Gruppierungen auch wissenschaftlich arbeitende Ökologen oder sogar Naturschützer mit einzubeziehen, stößt auf merkliche Widerstände bei Industrievertretern und Politikern. Das trifft ebenso zu für Landnutzungs- und Entwicklungsvorhaben wie für konkrete Streitfälle. Hier zeichnen sich allerdings bereits zukunftsweisende Ansätze ab.

Es ist in höchstem Maße bedauerlich, aber andererseits wohl auch selbstverständlich, daß bestehende Machtstrukturen neue gedankliche Ansätze nur ausnahmsweise integrieren sondern meist unterdrücken. Damit werden aber Leute, die nur ausnahmsweise ihren Eigennutz sondern meistens das Gemeinwohl im Sinne haben, gezwungen, selbst Machtstrukturen aufzubauen und gegen bestehende zu setzen. Dabei geht viel wertvolle und sinnvoller nutzbare Kraft und Zeit bei allen Beteiligten verloren. – Bei der exponentiell zunehmenden Zahl von Entscheidungszwängen unserer Tage können wir alle uns solchen Kraft- und Zeitverschleiß eigentlich nicht mehr leisten.

5.3 Anpassung und Evolution – Probleme für Bioindikation

Bioindikation ist aber auch „in sich", wie wir wissen, nicht problemlos. Kulturlandschaften stellen an Pflanzen und Tiere ungeheure Anforderungen, sich anzupassen. Sie können positiv als Stimulans für Traditionsbildung und Evolution betrachtet werden, zumindest solange Nutzungsänderungen zeitlich nicht zu rasch aufeinander folgen, und solange räumlich viele unterschiedliche Nutzungen in engem Mosaik ineinandergreifen. Solche Verhältnisse bietet z. B. der „Biotop Stadtrand" vielerorts und seit vielen Jahrzehnten. Er beherbergt damit in mitteleuropäischen Landschaften die meisten Arten pro Flächeneinheit.

Die angedeutete Anpassungsdynamik macht aber auch den Wert von Bioindikatoren *dann* fragwürdig, wenn man sich nicht klar werden kann über die genetische Struktur der untersuchten Populationen. Professor ERNST aus Amsterdam führte z. B. bei der Bioindikationstagung in Halle im August 1979 das Beispiel des Weißen Straußgrases (*Agrostis stolonifera*) vor. Es wuchs auf einer Ruderalfläche und verschwand hier vollständig, als die Fläche zur Ablagerung kupferhaltiger Schlämme benutzt wurde. Im Laufe von nur sieben Jahren wurde die Deponie jedoch von einem offensichtlich gegen hohe Kupferkonzentrationen im Boden resistenten Agrostis-„Stamm" rekolonisiert. Diese Pflanzen waren aber äußerlich von den vorher dort wachsenden nicht zu unterscheiden!

In ähnlicher Weise gibt es z. B. Brachvögel nicht nur auf Mooren, sondern auch auf Streuwiesen, bewirtschafteten Flachmooren, Wässerwiesen, Heiden, Brachland, Truppenübungsplätzen, und neuerdings im Elsaß auch auf trockenen Kartoffeläckern – übrigens im selben Biotop wie den Triel, der bis vor kurzem als im westlichen Mitteleuropa ausgestorben galt. – Auerhühner finden sich nicht nur in urwaldähnlichen Bergmischwäldern sondern auch in streugenutzten, seit Jahrhunderten verarmten Kiefernwäldern, in intensiv forstlich genutzten Plenter- und Keilschirmschlagwäldern im Schwarzwald, usw.

Alle diese Populationen sind als „Bioindikatoren" in keiner Weise „gleich" zu beurteilen!

Kleinsäuger sind in Kulturlandschaften ungeheuer „erfolgreich". Sie sind u. a. Nahrungsbasis für fast alle uns noch verbliebenen Beutegreifer. Es ist fraglich, ob dies so wäre, wenn Umweltchemikalien *nicht* an Laborkleinsäugern ausprobiert würden; wenn nicht in Laborexperimenten sichergestellt würde, daß „Schadstoffe", die zur Bekämpfung von z. B. Unkräutern und Insekten, Pilzen und Mikroorganismen entwickelt wurden, den „Mäusen" nicht schaden. Und je größer der Mäuseanteil am Ernährungsspektrum eines Beutegreifers, desto geringer ist im allgemeinen dessen Belastung mit persistenten chlorierten Kohlenwasserstoffen . . .

Tatsache ist auch, daß DDT-Konzentrationen, die bei vielen Greifvögeln schon zu meßbar dünneren Eischalen führen, Hühnern noch kaum etwas ausmachen – weil Laborwachteln auch „Hühner" sind?!

5.4 Sensible Artenkenner – Sensoren der Gesellschaft

Akzeptieren wir also Bioindikation?
Die Denkweise scheint sich in den letzten Jahrzehnten mehr und mehr durchzusetzen. Man erhielt zumindest bis in den Herbst 1980 hinein mit relativ geringem Argumentationsaufwand Forschungsgelder, wenn man als Forschungsziel „Bioindikationsmöglichkeiten" herausstellte. In dieser Entwicklung liegt aber auch eine Gefahr, nämlich daß das Konzept „Bioindikation" wegen mangelhafter Selbstkritik der Bearbeiter unglaubwürdig wird. Es kann keine sinnvolle Forschungsaufgabe sein, alle erdenklichen Organismen oder Systeme auf Möglichkeiten durchzuprüfen, ob mit ihnen irgendwelche Zusammenhänge im Sinne von Bioindikation aufzuzeigen seien. Von Ausnahmen abgesehen führt dieser Einsatz an Forschungspotential nur zu Zufallserfolgen.

Wesentlich scheint mir dagegen die möglichst umfassende Erarbeitung der Ökologie wichtiger Arten: Welches sind die kritischen Parameter ihrer Einpassung in die bestehende Umwelt? Worin liegen die empfindlichen Reaktionen auf Umweltveränderungen begründet? Welche Populationsparameter lassen sich leicht und flächendeckend erfassen und dokumentieren? Sind Reaktionen von

Populationen auf sich ändernde Umweltparameter voraussagbar? Wie sind Reaktionen „empfindlicher" Arten auf subtile Umweltveränderungen aus der Sicht der Menschen zu *bewerten*?

Für den Kenner einer Art sind viele ihrer Lebensäußerungen ohne weiteres auf Vorhandensein oder Fehlen, bzw. den Wirkungsgrad bestimmter Umweltfaktoren zurückzuführen. Viele solche Umweltfaktoren lassen sich aber auch ohne Bioindikatoren leicht erfassen. Um alte Eichen zu finden, suche ich z. B. nicht in erster Nährung nach Mittelspechten. – Andererseits sagt mir die Rasterkartierung der Brutvögel Frankreichs von YEATMAN (1976), daß die Loire noch ein auf nennenswerte Strecken kaum regulierter Fluß sein muß, in dem sich jedes Jahr neue Kiesbänke bilden, „weil" dort noch Fluß- und sogar Zwergseeschwalben im Binnenland brüten.

Vor wenigen Jahrzehnten waren Zwergseeschwalben auch an vielen größeren Flüssen Mitteleuropas eine vertraute Erscheinung. Heute sind sie hier völlig verschwunden. Die Loire scheint das einzige größere Fließgewässer Mittel- und Westeuropas zu sein, das heute noch weitgehend unreguliert strömt – zumindest bis zur Fertigstellung der dort im Bau befindlichen Atomkraftwerke.

Ich hätte den Hinweis auf die Loire aber auch aus mancher anderen Wissensquelle schöpfen können, wenn ich dort ebenso „sensibel' gewesen wäre wie bei den Zwergseeschwalben, die ich von meiner Studienzeit in Kiel her liebe.

Dies scheint mir das wesentliche Stichwort zu sein: sensibel. Bioindikation hat so viel Wert, wie sie gestattet, Zusammenhänge auf vergleichsweise „elegante" Art zu erfassen und darzustellen. Die Öffentlichkeit, oder doch zumindest maßgebende Entscheidungsträger, müssen aber erst noch sensibilisiert werden, Umweltveränderungen, die unsere Gesellschaft selbst in Gang setzt und unterhält, an lebenden Organismen abzulesen und in ihrer Bedeutung zutreffend zu bewerten.

Hierzu ist natürlich nicht Jedermann in der Lage. Aber es gibt glücklicherweise sensible Artenkenner. Sie haben sich das Gespür für Veränderungen in der Natur in oft jahrelangem Einsatz erarbeitet. Bei vernünftiger Integration solcher Personen und ihres Wissens in die Gesellschaft könnten sie die „Sinnesorgane" werden, die dem „Körper" Gefahren melden oder Überbeanspruchung anzeigen – ebenso wie ein gesunder Muskelkater uns mahnt, unseren Körper nicht allzuschnell allzuhoch oder zu lange zu trimmen.

Ob und wie der „Körper Gesellschaft" auf die Meldungen seiner Sensoren reagiert, hängt wesentlich von den Begleitumständen ab. Ich habe den Eindruck, daß es heute noch vielerorts an geeigneten „Vermittlern" fehlt, die die Sinneseindrücke der Beobachter draußen auf der Basis naturwissenschaftlich-ökologischen

Wissens filtern und bündeln und an die „Nervenzentren" der Gesellschaft in verständlicher Weise weiterzugeben in der Lage wären.

Hier sind Persönlichkeiten gefordert – nicht Geschäftemacher.

Die Bewertung der Dynamik ökosystemarer Veränderungen ist wegen vieldimensionaler Verknüpfungen von Ursachen und Wirkungen eine der schwierigsten Aufgaben der Gegenwart und für die Zukunft. Hier liegt eine Bewährungsprobe vor uns, nicht nur für das Konzept der Bioindikation. Entscheidungen, die heute getroffen oder versäumt werden, haben wir alle für Jahrzehnte, wenn nicht für Jahrhunderte zusammen zu tragen. Es ist schwer, sich die Zukunft ohne Katastrophe vorzustellen. Aber wir alle können uns nicht aus der Verantwortung stehlen.

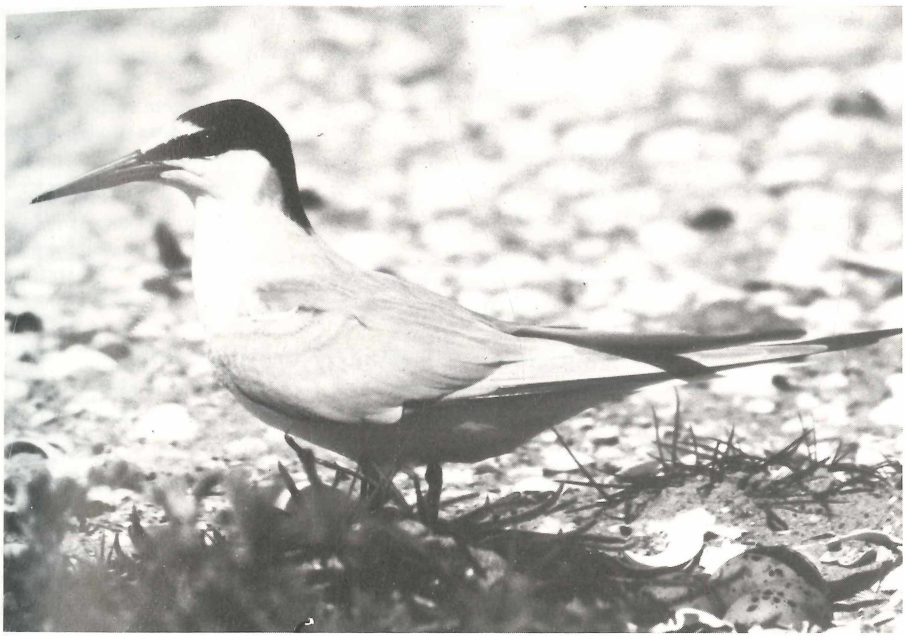

Abb. 1 Zum Stichwort „sensibel" – vergleiche Text. Foto: H. Ellenberg.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Ökologie der Vögel. Verhalten Konstitution Umwelt

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: Supp_3

Autor(en)/Author(s): Ellenberg Hermann

Artikel/Article: Was ist ein Bioindikator? - Sind Greifvögel Bioindikatoren? 83-99