

## **TEXTE 36/00**

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT  
- Bodenschutz -

Forschungsvorhaben 297 74 037

### **Einschätzung der Bodenqualität mit Hilfe pflanzlicher und tierischer Bioindikatoren**

Dr. Ulrike Meyer, Dr. Eduard Belotti

UMWELTKONZEPT DR. MEYER, Berlin und  
IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH, Hamburg

#### **ZUSAMMENFASSUNG / SUMMARY**

Pflanzen und Bodentiere, die auf anorganische und organische Schadstoffe in Böden reagieren, bieten über die Ermittlung von Schadstoffgehalten hinaus eine Möglichkeit, die Wirkung von schädlichen Bodenveränderungen zu erfassen.

Ziel des vorliegenden F+E-Vorhabens war, Wissensstand und Kenntnisse über die Einschätzung anorganischer und organischer Schadstoffe in Böden mit Hilfe von pflanzlichen und tierischen Bioindikatoren aus der Literatur zu recherchieren, darzustellen und zu bewerten. Da zur Bioindikation von Schadstoffen in Böden keine erprobten Methoden und Verfahren vorhanden sind, sollten Untersuchungsergebnisse zusammengestellt werden, aus denen die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Pflanzen und Bodentieren als Bioindikatoren abgeleitet werden können.

Dieser Aufgabenstellung entsprechend werden einleitend Begriffe der Bioindikation erläutert und Anforderungen an Bioindikationsmethoden formuliert. Im Hinblick auf mögliche Schadstoffwirkungen auf Pflanzen und Bodentiere wird die Bedeutung der prioritären anorganischen und organischen Schadstoffe in Böden beschrieben und die Beeinflussung ihrer Bioverfügbarkeit durch abiotische und biotische Faktoren aufgezeigt (Kapitel 1). Daran anschließend werden die recherchierten Untersuchungsergebnisse zur Aufnahme und Wirkung von Schadstoffen sowie zu deren Reaktionen, getrennt für pflanzliche und tierische Bioindikatoren, dargestellt und bewertet. Dabei wird die Eignung von Pflanzen - Wildkräuter und -gräser, Kulturpflanzen,

Bäume, Pilze - sowie von Bodentieren - Regenwürmer, Asseln, Tausendfüßer, Milben, Springschwänze, Spinnen, Fadenwürmer, Enchyträen, Schnecken - als mögliche Bioindikatoren herausgearbeitet (Kapitel 2 und 3). Schlußfolgernd aus den beiden Kapiteln werden Pflanzen- und Bodentierarten mit nachgewiesenem und möglichem bioindikativem Potential hervorgehoben und Faktoren genannt, die den Einsatz von Bioindikatoren begrenzen. Kenntnislücken zur Dosis-Wirkung-Beziehung zwischen Schadstoffen und Pflanzen bzw. Bodentieren sowie weiterer Forschungsbedarf zur Entwicklung geeigneter Bioindikationsverfahren werden aufgezeigt (Kapitel 4).

Die Ergebnisse werden wie folgt zusammengefaßt:

**Wildkräuter und -gräser** eignen sich potentiell als Akkumulations- und Reaktionsindikatoren schwermetallreicher Standorte, wie natürliche Erzböden oder anthropogen bedingte Erzhaldeböden. Metallophyten, wie *Armeria maritima ssp. halleri*, *Viola calaminaria*, *Thlaspi alpestre ssp. calaminare* und *Minuartia verna* (außerhalb der alpinen Zone), die ausschließlich schwermetallreiche Standorte besiedeln, können durch ihr Vorkommen Hinweise auf Schwermetallbelastungen in Böden geben. Da diese Arten hohe Schwermetallgehalte in den Sproß und in die Blätter akkumulieren sind sie als Akkumulationsindikatoren geeignet, jedoch besteht dazu weiterer Forschungsbedarf. Anhand von Pflanzenzonationen, die von schwermetallresistenten über -toleranten zu -empfindlichen Arten ausgebildet werden, können Schwermetalle entlang von Schwermetallgradienten mit Hilfe von Vegetationskartierungen bioindikativ erfaßt werden.

Nur bestimmte Genotypen einer (Wild-)Pflanzenart reagieren tolerant bzw. resistent gegenüber Schwermetallen. Da sich davon schwermetallempfindliche Genotypen derselben Art äußerlich nicht unterscheiden, ist die Akkumulationsindikation nur im aktiven Monitoring mit bekanntem genetischen Material möglich. Weiterer Forschungsbedarf dazu wird aufgezeigt.

Für bestimmte **Kulturpflanzen**, insbesondere Gemüsearten, kann anhand von Transferfaktoren  $> 1$  ein bioindikatives Potential bezüglich Cadmium, Zink, Nickel und Kupfer abgeleitet werden. Weiterer Forschungsbedarf für ihre Eignung in Bioindikationsverfahren wird aufgezeigt.

Nur wenige **Baumarten** eignen sich potentiell zur Bioindikation von Schwermetallen in Böden, wobei der Anwendungsbereich auf schwermetallreiche Böden beschränkt ist: *Salix caprea* (Salweide) und *Betula pendula* (Hängebirke) akkumulieren Blei in den Feinwurzeln, bei *Betula pendula* ist der Blei-, Kupfer und Zink-Gehalt der Blätter positiv korreliert mit den EDTA-extrahierbaren Gehalten in Böden.

Das Akkumulationsverhalten von 45 **Pilzarten** wurde bezüglich Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, As und Ni dargestellt. Ein bioindikatives Potential besitzen die Arten *Lepista nebularis*, *Lepista nuda*, *Lycoperdon perlatum* und *Mycena pura*, *Amanita umbrinolutes* und Arten der Gattung *Agaricus* wahrscheinlich nur für Kupfer und Cadmium. Obwohl Pilze eine Reihe von Anforderungen an Bioindikatoren erfüllen, stellt das größte Problem für ihre bioindikative Verwendung die geringe Korrelation zwischen Schwermetallgehalt im Pilz und dem im Böden dar.

Da die Schwermetalle **Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn** potentiell **über die Blätter** aufgenommen werden können, bedeutet dies für die Bioindikation von Schwermetallen

in Böden, daß aktuelle Schwermetalleinträge über die Luft ausgeschlossen sein müssen.

Für **organische Schadstoffe** (PAK, PCB, HCB, HCH, PCCD/PCDF) können keine Pflanzenarten mit bioindikativem Potential angegeben werden. Aufgrund geringer Transferfaktoren und vor allem aufgrund der Aufnahme von luftbürtigen organischen Schadstoffen über die Blätter ist die Bioindikation von organischen Schadstoffen in Böden im Sinn einer Dosis-Wirkung-Beziehung schwierig.

Im Teil „**Tierische Indikatoren**“ werden Daten zur Akkumulation und Toxizität für die folgenden Stoffe und Stoffgruppen mitgeteilt und diskutiert: Cadmium, Blei, Nickel, Chrom, Quecksilber, Arsen, Kupfer, Zink sowie Chlorierte Kohlenwasserstoffe, Carbamate, Polychlorierte Biphenyle, Chlorphenole und Chloranisole, Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe, Benzimidazole und Thiophanate sowie TCDD.

Kriterien für die Eignung von Bodentier-Arten für die Bioindikation von Schadstoffen in Böden werden genannt. Wichtige Eigenschaften sind Exponiertheit und Aufnahmevermögen für die Schadstoffe sowie Empfindlichkeit, außerdem einfache Erhebbarkeit und Bestimmbarkeit.

Die Körper-Gehalte der essentiellen Metalle Kupfer und Zink in Bodentieren sind in geringerem Maße von den Gehalten in den Böden abhängig als die Gehalte der nicht essentiellen Metalle. Bei organischen Stoffen ist auch die Biotransformation in den Organismen zu berücksichtigen.

Die Relevanz der Schadstoffgehalte in Bodentieren wird in jüngster Zeit zunehmend in Frage gestellt. Bedeutung erlangen sie allenfalls durch den Vergleich mit kritischen Körpergehalten. Als in der Reaktionsindikation einsetzbare Bodentier-Arten kommen die Regenwürmer *Lumbricus rubellus* und *Aporrectodea caliginosa* in Betracht.

Bei der Reaktionsindikation zeichnet sich als Verfahren, das schon nahe an der Anwendbarkeit ist, die Indikation von Kupfer mit empfindlichen Regenwurm-Arten der Gattungen *Aporrectodea* und *Allolobophora* ab. Einige weitere Arten und Gruppen mit möglichen bioindikativem Potential für Schwermetalle, Carbamate sowie Benzimidazole und Thiophanate werden genannt.

Als mögliche Wirkungsparameter werden auch die Dominanzstruktur von Tiergruppen sowie der Aufbau des Humusprofils als Produkt der Aktivität von Bodentieren diskutiert.

Der Forschungsbedarf und Vorschläge für die Richtung der zukünftigen Arbeiten werden skizziert.

## Summary

Plants and soil animals which react to inorganic and organic pollutants in soils offer a possibility to record the effects of harmful changes of soils above the determination of pollutant contents.

The aim of the present F+E-projekt was to investigate the knowledge of assessment of inorganic and organic pollutants in soils by plant and soil animals as bioindicators from the national and international literature. As there are no proven methods and procedures for bioindication of pollutants in soil, results of these investigations should be compiled to derive possibilities and limits of the use of plants and soil animals as bioindicators.

Corresponding to this task introductory definitions of bioindications are explained and demands to bioindicative methods are formulated. With regard to possible effects of pollutants to plants and soil animals the significance of prior inorganic and organic pollutants in soils are described and the influence of abiotic and biotic factors on bioavailability of pollutants is shown. (Chapter 1). Subsequently to this the investigated results to the uptake of pollutants by plants and soil animals as well as to their effects and reactions, shown separately for plants and soil animals as bioindicators, are described and valued. By that the suitability of plants – wild herbs and grasses, cultivated plants, trees and fungi – as well as of soil animals - earthworms, wood-lice, millepedes, mites, springtails, enchytraids, spiders, slugs and snails, nematods and collembols - is worked out (Chapter 2 and 3). As a conclusion from both chapters plant species and soil animal species with a proven and a possible bioindicative potential are pointed out and factors are mentioned which limit the use of bioindicators. The gaps in knowledge of the dose-effect-relation between pollutants and plants respectively soil animals and requirements for further investigations to develop suitable bioindication procedures are shown (Chapter 4).

The results can be comprised as follows:

**Wildherbs and -grasses** are suited potentially as indicators of accumulation and reaction of sites enriched with heavy metals, such as naturell ore sites and anthropogenic ore dumps. The occurrence of metallophytes, as *Armeria maritima* ssp. *halleri*, *Viola calaminaria*, *Thlaspi alpestre* ssp. *calaminare* und *Minuartia verna* (out of the alpine zone), which colonize exclusively heavy metal enriched soils, can give hints at heavy metal pollution in soils. As these plants accumulate high contents of heavy metals in shoots and leaves, they are suited as indicators of accumulation, but for this purpose further investigations are required.

By means of zonation of plants from metal-resistant to metal-tolerant to metal-sensitive plant species heavy metals can be detected bioindicatively along heavy metals gradients with help of vegetation mapping.

Only certain genotypes of a (wild-) plant species react tolerant respective resistant to heavy metals. As metal-sensitive genotypes of the same species don't differ in appearance from those, the indication of accumulation is only possible by active monitoring with well known genetical material.

For certain **cultivated plants**, vegetables, a bioindicative potential can be derived by transfer factors > 1 relating to cadmium, zinc, nickel and copper. Further investigations to their suitability in bioindicative procedures are shown.

Only few **tree species** are suited potentially for bioindication of heavy metals in soils, at which the range of utilization is limited to soils enriched by heavy metals: *Salix caprea* (sallow) and *Betula pendula* (birch) accumulate lead in fine roots; for *Betula pendula* the content of lead, copper and zinc in the leaves is positively correlated to the EDTA-extractable content in soils.

The habit of accumulation of 45 species of **fungi** is described in relation to mercury, cadmium, lead, zinc, copper, arsenic and nickel. The species *Lepista nebularis*, *Lepista nuda*, *Lycoperdon perlatum*, *Mycena pura*, *Amanita umbrinolutes* and species of the family *Agaricus* possess a bioindicative potential relating probably only to copper and cadmium. Although fungi meet several demands for bioindicators, the greatest problem for their bioindicative use is the little correlation between the content of heavy metal in fungi and that in soils.

As the heavy metals **Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn** can also be taken up potentially via the **leaves of plants**, the utilization of bioindication of heavy metals in soils is only suited if actual pollutants of the air are definitely excluded.

There can not be given any plant species with bioindicative potential for **organic pollutants** in soils (PAK, PCB, HCB, HCH, PCCD/PCDF). Because of the low transfer factors and especially the uptake of airborne organic pollutants via the leaves, bioindication of organic pollutants in soils is difficult within the meaning of dose-effect relation.

For **soil animals**, accumulation and toxicity of the following chemicals and chemical classes are considered: cadmium, lead, nickel, chromium, mercury, arsenic, copper, zinc, polychlorinated hydrocarbons, polychlorinated biphenyls, chlorophenols and chloroanisols, polycyclic aromatic hydrocarbons, benzimidazoles and thiophanates and TCDD.

Criteria for the suitability of soil animal species for bioindication of contaminants in soils are presented. Essential properties are exposure to and reception of contaminants, sensitivity as well as easy capture and determination.

Body concentrations of essential metals as copper and zinc depend to a lesser degree on soil concentrations of these metals than body concentrations of non-essential metals. For organic compounds biotransformation in the organisms has to be considered.

Relevance of body concentrations has been questioned recently. Their use is considered to be appropriate only in comparison with critical body concentrations. Suitable species for this purpose are the earthworm species *Lumbricus rubellus* and *Aporrectodea caliginosa*.

A procedure already at the verge of applicability is the indication of copper with earthworm species of the genera *Aporrectodea* and *Allolobophora* susceptible to copper. Additional animal species and groups which possibly are suitable for the indication of heavy metals, carbamates, benzimidazoles and thiophanates are proposed. Their suitability has to be verified in further research.

Community structure of soil animal groups and composition of humus profiles are discussed as parameters with potential for use in bioindication.

Finally, need for additional work and suggestions for the directions of future research are presented.