

Aspekte der Untersuchung und Bewertung bodenbiologischer Zustandsparameter

Jörg RÖMBKE, Ludwig BECK, Bernhard FÖRSTER & Andrea RUF

1. Einführung

Das hier vorgestellte Konzept ist ein Instrument zur Beurteilung der biologischen Bodenqualität. Die rechtliche Vorgabe dazu ist das "Gesetz zum Schutz des Bodens" vom 17. März 1998. Ein Schutzziel dieses Gesetzes ist es, die Funktion des Bodens als Lebensraum für Tiere, Mikroorganismen und Pflanzen zu erhalten. Allerdings ist bisher nicht geklärt, welche Methoden dazu geeignet sind, eine Beeinträchtigung des Schutzziels "Lebensraum für Bodenorganismen" an einem konkreten Standort anzuzeigen. Auch ist unklar, welche Kriterien zu verwenden sind, um eine festgestellte Beeinträchtigung zu bewerten.

Bevor das Konzept zur biologischen Beurteilung der Bodenqualität vorgestellt werden kann, sind zunächst einige zentrale Begriffe zu definieren:

Boden: Unbelastete oder potentiell belastete natürliche oder biologisch gereinigte Freilandböden oder Substrate.

Bodenbelastung: Allgemein jeder anthropogene Einfluß (z.B. Verdichtung, Versauerung usw.). Hier: Speziell stoffliche Belastungen, d.h. Chemikalien (z.B. Schwermetalle, Pflanzenschutzmittel, Umweltchemikalien).

Bodenqualität: Allgemein: Die Fähigkeit eines Bodens zu "funktionieren" (Definition nach KARLEN ET AL. 1997). Hier: Als - eine unter mehreren - Funktion als Lebensraum für Bodenorganismen.

Eine weitere Klarstellung betrifft das Verhältnis zwischen der Prüfung einzelner Chemikalien und der hier interessierenden Beurteilung der Bodenqualität, da diese beiden Problemkreise in der gegenwärtigen Diskussion zum Bodenschutz oft miteinander vermischt werden.

Die Prüfung einzelner Chemikalien ist im allgemeinen gekennzeichnet durch folgende Aspekte:

Sie ist oft Teil eines *prospektiven* Registrierungs- bzw. Notifizierungsprozesses.

Dabei finden international standardisierte Tests (primär mit einzelnen Arten) als Teil einer mehrstufigen Untersuchungsstrategie (Labor, Halbfreiland, Freiland) Verwendung.

Die rechtliche Basis ist das Chemikalien- bzw. Pflanzenschutzgesetz sowie zunehmend verschiedene Richtlinien der Europäischen Union (z.B. EU 1996).

- Insgesamt erfolgt demnach eine *negative* Definition des Untersuchungsziels (d.h. zu vermeiden ist eine Konzentration von mehr als x mg/kg, um Schädigungen an Bodenorganismen auszuschließen).

Dagegen ist für die Beurteilung der Bodenqualität charakteristisch:

- Meist handelt es sich um die *retrospektive* Untersuchung von Standorten mit unbekanntem Belastungsgrad. Dabei erfolgt eine Beprobung von verschiedenen Organismengruppen im Freiland als Teil einer abgestuften Qualitätsbeurteilung. Labortests werden nur in speziellen Fällen, insbesondere im Rahmen einer Ursachenuntersuchung, verwendet. Diese ähneln mit drei Ausnahmen (Verwendung von natürlichen Böden statt Standardboden, oft Fehlen einer Kontrolle sowie ausstehender internationaler Validierung) stark denen der Chemikalienprüfung. Die rechtliche Basis ist gegenwärtig das Bundesbodenschutzgesetz (bzw. die, meist noch als Entwurf vorliegenden, Bodenschutzgesetze der Länder). Zusammenfassend handelt es sich damit um eine *positive* Definition des Schutzziels (d.h. die standorttypische Bodenbiozönose ist der Sollwert, an dem Differenzen gemessen werden)

Im Rahmen dieses Beitrags wird nur auf den Aspekt der Beurteilung der Bodenqualität eingegangen. In jedem Fall sind Aussagen über mögliche Beeinträchtigungen eines *biologischen Schutzziels* nur durch *biologische Methoden* möglich. Dabei sind Angaben aus anderen Wissenschaftsdisziplinen (im Falle stofflicher Bodenbelastungen primär die chemische Rückstandsanalytik) hilfreich.

2. Konzepte zur Beurteilung der Bodenqualität

2.1 Historischer Überblick

Konzepte zur biologischen Klassifizierung und Beurteilung von Standorten werden seit vielen Jahren in der Vegetations- oder Pflanzensoziologie genutzt (z.B. BRAUN-BLANQUET 1964; ELLENBERG 1979). Für die aquatische Ökotoxikologie bzw. Limnologie wurden solche Ansätze ebenfalls entwickelt (z.B. WRIGHT ET AL. 1994; REYNOLDS-SON ET AL. 1996), wobei im Gesetzesvollzug weit verbreitete Verfahren wie der Saprobienindex (BAYE-

Standortfaktor	Klasseneinteilung
Salinität	Salzig, Brackig, Süß
Bodentextur	Sand, Andere
Bodenfeuchte - Verfügbarkeit	Naß, Feucht, Trocken
Acidität / Nährstoffversorgung	Sauer, Schwach sauer, Basisch
Vegetationsstruktur	Wald/Gebüsch, Wiesen u.ä., Pioniervegetation
Verschiedene Störungen	Störung, Pflügen, Sanddrift
Streuabbaubarkeit / Humus	Leicht, Mittel, Schlecht abbaubar

Tabelle 1

Ausprägung von Standortfaktoren nach SINNIGE ET AL. (1992):

RISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1996) oder die "Sedimenttriade" (CHAPMAN 1989) als Teile bzw. Vorläufer eines solchen Beurteilungskonzepts angesehen werden können.

Auch in der Bodenbiologie sind entsprechende Ideen - teils schon früh - mehrfach geäußert worden (z.B. GHILAROV 1965; DUNGER 1968; GHABBOUR 1991; BELOTTI 1993). Schwer einschätzbar ist dabei die Situation in der Bodenmikrobiologie: Obwohl seit kurzem vergleichbare Gedanken zur konzeptionellen Nutzung qualitativer Parameter diskutiert werden (ZAK ET AL. 1994; HUND & KÖRDEL 1998), ist gegenwärtig eine konkrete Umsetzung aufgrund der hohen Variabilität des Vorkommens dieser Organismen und noch fehlender Standardisierung der verschiedenen Untersuchungsmethoden nicht absehbar.

Beispielhaft für mögliche biologische Konzepte zur Beurteilung der Bodenqualität sollen im folgenden kurz vier Ansätze umrissen werden:

I. Pedozoologische Standortslehre (VOLZ 1962)

- Charakterisierung von Waldstandorten mittels einer gravimetrischen Gruppenanalyse der Makrofauna (Regenwürmer, Schalenschnecken, Nacktschnecken, Käfer- und Dipterenlarven, Myriapoden, Asseln).
- Beispiel für eine Standortklassifizierung:
 - I. Areale mit teilweise semiterrestrischem Charakter
 - II. Feuchte, dunkelfarbige humusreiche Lokkerböden
 - III. Gesellschaften frischer Auwaldböden
 - IV. Moderhumusgesellschaften in Wäldern
 - V. Montane Waldböden

Analoge Einteilung der untersuchten Standorte aufgrund der Artenkombination der dort vorkommenden Regenwürmer.
- Probleme des Ansatzes: Der Arbeitsaufwand für die Gruppenerfassung ist hoch; außerdem wird dabei die Mesofauna unterschätzt.

II. Ecotopes/Ecological species group (SINNIGE ET AL. 1992)

Definition von Standorttypen (= ecotopes) und Identifikation ihrer "Soil Fauna Communities" analog zu vegetationskundlicher Klassifikation.

- Die Ausprägung eines Standortfaktors wird in wenige (im Falle quantifizierbarer Meßwerte meist drei) Klassen unterteilt (vgl. Tab. 1).
- Betrachtete Tiergruppen: Diplopoden, Chilopoden, Ameisen, Enchytraeen, Collembolen und Regenwürmer.
- Zuordnung erfolgt qualitativ (z.B. Artenspektrum), nicht quantitativ (z.B. Abundanz/m²).
- Unterscheidung von 136 Standorttypen (bezogen auf die Niederlande).

III. Zersetzergesellschaften (GRAEFE 1993)

- Klassifikation von "Zersetzergesellschaften" (= typische, von Umweltbedingungen abhängige Artenkombination streuzersetzender Mikroorganismen und Tiere) nach dem Besatz an Regenwürmern und Enchytraeen.
Anlehnung in Gliederung und Benennung an die Pflanzensoziologie.
Einstufung der Arten relativ zu ihrem Vorkommen in Bezug zu:
Bodenfeuchte, pH-Wert und Kalkgehalt, Horizontbindung, Ernährung, Fortpflanzungsstrategie,
Charakterarten auf verschiedenen Klassifizierungsebenen, Konstanz am Standort.
Definition von Werteklassen auf einer Skala (z.B. 1 - 9) für jeden Standortfaktor.

IV. Soil Invertebrate Prediction and Classification Scheme (SPURGEON ET AL. 1996)

In jüngster Vergangenheit wurde, unabhängig von unserer Arbeitsgruppe, ein vergleichbares Konzept in England erarbeitet: das "Soil Invertebrate Prediction and Classification Scheme" (SIVPACS; SPURGEON ET AL. 1996). Im Zuge einer ersten Validierungsstudie an einem schwermetallbelasteten Standort in West-England erfolgte eine Umbenennung in "Soil Prediction and Classification Scheme" (SOILPACS; WEEKS ET AL. 1997), wodurch die Ähnlichkeit mit schon bestehenden Ansätzen aus der Limnologie (RIVPACS) betont wird. Diese Überlegungen ähneln sehr stark dem im folgenden vorgestellten Ansatz.

Tabelle 2

Zusammenhänge zwischen einzelnen bodenkundlichen Parametern von Waldstandorten und dem Vorkommen wichtiger Organismengruppen (verändert nach EIJACKERS 1992).

Rohhumus	Moder	Mullhafter Moder	Mull
pH (sauer) ←		→ pH (neutral)	
pH 3,5 - 5,0 CEC 80 - 120 [me%] Basensättigung 20 - 40% C:N > 20			pH 5,0 - 7,0 CEC 20 - 40 [me%] Basensättigung 40 - 100% C:N < 15
Milben (400.000) Collembolen (80.000) Enchytraeen (50.000) Insektenlarven (80) Myriapoden (250) Regenwürmer (20) Isopoden (20)	Milben, Collembolen und Insektenlarven Myriapoden Regenwürmer und Isopoden	Myriapoden und Isopoden Insektenlarven und Regenwürmer Milben und Collembolen	Regenwürmer (200) Isopoden (50) Myriapoden (1.000) Insektenlarven (50) Milben (200.000) Collembolen (100.000) Enchytraeen (20.000)
Zunahme der Pilze	← Bildung von Ton-Humus-Komplexen →		Zunahme der Bakterien
Abnahme			Zunahme

2.2 Einführung in das "BBSK-Konzept"

Das Konzept der regional differenzierten *Bodenbiologischen Standort-Klassifikation* (BBSK) (Soil Biological Site Classification) orientiert sich an international akzeptierten Ideen des "Environmental Risk Assessment". Es basiert auf Analogieschlüssen zu Ansätzen aus der Pflanzensoziologie bzw. der vegetationskundlichen Standortansprache, auf Erfahrungen aus der Literatur (Boden, Sediment) und speziell auf der Studie "Bodenfauna und Umwelt" (RÖMBKE ET AL. 1997), die im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU), Karlsruhe (Projektkoordination: Dr. V. Schweikle) erstellt wurde. Aufgrund der rechtlichen Vorgaben, speziell dem Entwurf des Bundesbodenschutzgesetzes, muß es die folgenden Kriterien erfüllen:

- einfach anzuwenden sein;
- ein schnelles "Screening" potentiell belasteter Böden erlauben;
- als Basis für die Bewertung der Bodenqualität dienen können.

Die zentrale Idee des BBSK-Konzepts ist, daß die Beurteilung eines Standorts durch einen Vergleich der vorhergesagten mit der real am Standort vorkommenden Biozönose ermöglicht wird. Voraussetzung ist dabei, daß das Vorkommen der jeweiligen Biozönose durch abiotisch/biotische Faktoren determiniert wird (vgl. Tab. 2). Hinsichtlich der zu verwendenden Meßparameter werden *qualitative* Parameter bevorzugt, denn *quantitative* Parameter ergeben meist variabelere Ergebnisse (räumlich wie zeitlich); z.B. aufgrund klimatischer Einflüsse. Die Beurteilung eines Standorts erfolgt auf der Grundlage des Vorkommens oder Fehlens gleicher oder ökologisch vergleichbarer Arten innerhalb der entsprechenden Zönosen; d.h. Maßstab ist letztlich die

Biodiversität. Ein genereller Bezug wie in Tabelle 2 zwischen bestimmten Bodeneigenschaften oder Standortfaktoren und dem (quantitativen) Vorkommen ganzer Organismengruppen läßt sich im Rahmen des Konzepts ebenfalls erarbeiten, ist aber nicht ausreichend differenziert genug.

In diesem Zusammenhang ist es von entscheidender Wichtigkeit, daß das Ziel aller Bemühungen sein muß, die natürliche standortspezifische Struktur und Funktion der Bodenbiozönose (Mikroorganismen, Pflanzen, Tiere und alle Interaktionen zwischen ihnen) zu erhalten. Ein struktureller Parameter ist dabei z.B. die Artenzusammensetzung, während der Abbau organischen Materials oder die Fraßrate von Organismen Beispiele für funktionelle Parameter darstellen. Über das Verhältnis dieser beiden Aspekte jedes Ökosystems wird seit langem heftig diskutiert, denn je nach Priorität ist eine andere Strategie bei der Beurteilung der Bodenqualität notwendig. Generell gilt aber, daß bei einem Schutz der Struktur die Funktion der Zönose sozusagen "automatisch" ebenso geschützt wird. Umgekehrt gilt dieser Zusammenhang aber keineswegs: Bei einem Schutz der Funktion besteht nicht zwingend ein Schutz der Struktur, denn aufgrund der funktionellen Redundanz in vielen Ökosystemen ist auch eine stark belastete Zönose oftmals noch fähig, wichtige Funktionen wahrzunehmen. Jeder zusätzliche, natürliche wie anthropogene Stressfaktor kann dann aber das gesamte System zum Zusammenbruch bringen.

Ein Beispiel aus der Literatur deutet an, wie man sich vielfältige Wirkungen auf ökosystemare Funktionen nach struktureller Beeinflussung der Bodenbiozönose vorstellen kann: Nach Applikation eines Fungizids (Benomyl) in Apfelplantagen kam es zu einem Rückgang von Regenwürmern (speziell der

Schlüsselart (= "ecosystem engineer") *Lumbricus terrestris*), was wiederum eine Verzögerung des Streuabbaus nach sich zog. Dies führte dann zu einem Anstieg von Pilzkrankheiten, da sich auf den durch die Regenwürmer nicht gefressenen Blättern Sporen, z.B. des Apfelschorfs, gut entwickeln konnten (KENNEL & NIKLAS 1980).

2.3 Detaillierte Beschreibung des BBSK-Konzepts

Das BBSK-Konzept läßt sich in vier Schritte unterteilen, die bei der Beurteilung eines Standorts ganz oder teilweise zu durchlaufen sind. Wie erwähnt, beruht dieser Ansatz auf der Voraussetzung, daß das Vorkommen (und damit mittelbar auch die Funktion) von Bodenorganismen durch eine Reihe von -meßbaren - Standortfaktoren determiniert wird. Jeder Standort, und damit auch die dort vorkommende Biozönose, wird demnach durch eine Kombination dieser Faktoren in bestimmten Eigenschaften charakterisiert. Das Problem besteht darin, aus der Vielzahl von Faktorenkombinationen eine überschaubare Anzahl von Standorttypen "herauszudestillieren" Diese Zahl sollte einerseits handhabbar (d.h. nicht zu groß) sein, andererseits muß sie differenziert genug sein, um überhaupt Abweichungen zwischen vorhergesagtem und real vorkommendem Zustand erkennen zu können.

Im einzelnen sind daher die folgenden Schritte zu durchlaufen (der Schritt 0 dient als Grundlage der Anwendung der Schritte I - IV an konkreten Standorten):

0. Definition von "Standards"

- Beschreibung regional differenzierter und repräsentativer Standorttypen.
Vorhandensein von handhabbaren Bestimmungsschlüsseln für die wichtigsten Organismengruppen (evtl. auf CD-ROM).
- Identifizierung der "normalen" Biozönose an unbelasteten Standorten; basierend auf Literaturdaten und zusätzlichen Untersuchungen.
Harmonisierung bzw. Standardisierung von Beprobungsmethoden.

I. Charakterisierung eines konkreten Standorts.

- Bestimmung von Standortfaktoren: Hierbei kann es sich um natürliche Faktoren (z.B. Klima, Bodentyp, Humusform, Boden-pH, Vegetation) oder um anthropogene Faktoren (z.B. Schwermetalle, Pestizide, Bodenverdichtung) handeln.
Zuordnung des Standorts zu einem geeigneten Standorttyp.

IIa. Vorhersage der Biozönose.

- Je nach Standorttyp und spezieller Problemstellung Auswahl geeigneter Organismengruppen, z.B. Araneae, Enchytraeidae, Lumbricidae, Oribatida, Gamasina, Chilopoda, Diplopoda, Isopoda, Carabidae, Collembola (vgl. Abb. 1-3).

Schwierig zu verwendende Organismengruppen: Mikroorganismen, Formicidae, Diptera etc.
Eventuell: Verwendung funktioneller Methoden.

IIb. Erfassung der realen Biozönose

- Beprobung der ausgewählten Organismengruppen mittels standardisierter Methoden: z.B. Handauslese, Barberfallen, Nass/Trocken-Extraktionsverfahren.
Eventuell: Beprobung funktioneller Endpunkte: z.B. Mini-Container, Köderstreifen.

III. Standortbeurteilung

- Vergleich der vorhergesagten mit der real vorgefundenen Biozönose am jeweiligen Standort.
Beurteilung der Ergebnisse in standardisierter Form:
Keine Differenz zwischen Vorhersage und Realität:
-> Ende des Beurteilungsprozesses.
Klare Differenz zwischen Vorhersage und Realität:
-> Differenziertere Beurteilung; evtl. durch Verwendung weiterer Methoden und/oder Organismengruppen bzw. Modifizierung der Ergebnisse durch "Expertenwissen" (Plausibilitätsprüfung).
->Untersuchung möglicher Ursachen, z.B. mittels Durchführung von Labortests nach standardisierten Richtlinien.

IV. Standortmanagement

Im Fall von Unterschieden zwischen vorhergesagter und real vorkommender Biozönose:

- Eventuell: Ergreifung von Maßnahmen.

Es ist darauf hinzuweisen, daß das Standortmanagement über die naturwissenschaftliche, in diesem Fall bodenbiologische Beurteilung eines Standorts hinausgeht, da hierbei z.B. sozio-ökonomische oder ethische Kriterien zur Anwendung kommen (= Bewertung).

2.4 Überprüfung des BBSK-Konzepts

Im Rahmen eines von der LfU Karlsruhe geförderten Projekts wurde das BBSK-Konzept an 15 Waldstandorten (11 aus dem Dauerbeobachtungsprogramm Baden-Württembergs sowie vier aus Baden bzw. Hessen) überprüft. Die zugehörigen abiotischen Daten entstammten primär den Jahresberichten der LfU Karlsruhe und eigenen Erhebungen (z.B. BECK ET AL. 1988). Als Standortfaktoren wurden sowohl natürliche Faktoren (z.B. Klima, Bodentyp, Bodenfeuchte, Bodentemperatur, pH-Wert, C- und N-Gehalt, Kationenaustauschkapazität, Vegetation) als auch anthropogene Faktoren (z.B. Schwermetalle, Pestizide, Umweltchemikalien, Bodenverdichtung) erfaßt. Die Angaben zu den einzelnen Faktoren wurden jeweils in eine von drei Klassen eingeordnet und kodiert. Aus der Vielzahl der Bodenorganismen wurden die Enchytraeidae, Lumbricidae, Oribatida, Gamasina, Chilopoda, Diplopoda, Isopo-

Abbildung 1

Wichtige Tiergruppen mitteleuropäischer Böden: Enchytraeen (*Mesenchytraeus glandulosus*) und Collembolen (Gattung *Onchiurus* sp.) auf einem algenüberzogenen Rindenstück.



Abbildung 2

Wichtige Tiergruppen mitteleuropäischer Böden: Raubmilbe (Gamasina) der Art *Veigaia nemorosus*.



Abbildung 3

Wichtige Tiergruppen mitteleuropäischer Böden: Assel (Isopoda) der Art *Oniscus asellus* (alle Aufnahmen: Prof. Dr. L. BECK).



da und Carabidae verwendet, während für die Mikroflora und Formicidae nicht genügend Daten vorhanden waren. Alle Flächen wurden mindestens viermal beprobt, wobei etablierte bodenbiologische Methoden verwendet wurden (vgl. DUNGER & FIEDLER 1997).

Konkret wurde z.B. für die häufigsten Oligochaetenarten eine Matrix erarbeitet, in der jeder Spezies ihre speziellen ökologischen Standortansprüche (z.B. pH-Wert, Feuchte usw.) in Form eines Kodes zugeordnet waren. Anschließend wurden die Regenwürmer durch Elektrofang und die Enchytraeen mittels Naßextraktion erfasst und jeweils bis zur Art

bestimmt. Die Beurteilung der Standorte erfolgte durch den Vergleich derjenigen Arten, die an den einzelnen Standorten aufgrund ihrer Standortfaktoren zu erwarten gewesen wären, mit den Arten, die real gefunden wurden (Soll/Ist-Wert-Vergleich).

In Tabelle 3 ist das Ergebnis der Standortklassifizierung anhand der Oligochaeten im LfU-Projekt aufgeführt. Angegeben ist jeweils die Abweichung des Ist-Werts vom Sollwert in Prozent der Gesamtzahl aller erwarteten plus gefangenen Arten sowie die daraus abgeleitete Beurteilung (+ = 30%; - = 30%; +/- = unklare Fälle). Der Wert von 30% wurde in Analogie zur Beurteilung der Nebenwirkungen von

Tabelle 3

Vergleich von vorhergesagter und gefundener Besiedlung mit Oligochaeten an 15 Waldstandorten Südwest-Deutschlands (Erläuterung im Text).

Nummer	Standort	Enchytraeen		Lumbriciden	
		%	Beurteilung	%	Beurteilung
130	Bad Urach	13	+	14	+
140	Zwiefalten	4	+	75	(-) +
290	Eppingen	8	+	20	+
310	Crailsheim	13	+	14	+
350	Schriesheim	38		43	
380	Ottenhöfen	40	(-) +	50	(-) +
400	Donaueschingen	33	(-) +/-	50	(-) +
410	Schönau	16	+	43	(-) +/-
450	Breisach	71	(-) +/-	50	(-) +
470	Offenburg	18	+	14	+
520	Mannheim	33		100	
1000	Schluttenbach	20	+	14	+
1010	Auwald	37		18	+
1040	Bruchsal	37		75	(-) +/-
1050	Bad Vilbel	14	+	7	+

"+" = Entspricht der Erwartung; "+/-" = Unklar; "-" = Entspricht nicht der Erwartung.

Pflanzenschutzmitteln auf Nutzarthropoden ausgewählt (HASSAN 1992). Wenn diese Beurteilung durch weitere Informationen (z.B. zur ökologischen Rolle der einzelnen Arten) modifiziert wurde (Expertenwissen), so ist das ursprüngliche Symbol in Klammern aufgeführt. Drei der in Tabelle 3 aufgrund ihrer Lumbricidenbesiedlung als auffällig eingeschätzten Standorte (Zwiefalten, Ottenhöfen und Donaueschingen) wurden inzwischen nachbeprobt. In allen Fällen konnte nachgewiesen werden, daß die in Tabelle 3 ursprünglich aufgeführte Differenz von 50 - 75% aufgrund methodischer Probleme vorgetäuscht wurde.

In vergleichbarer Weise wurden die oben genannten Standorte auch anhand ihrer Besiedlung mit Oribatiden, Gamasinen, Carabiden, Chilopoden, Diplopoden und Isopoden beurteilt. Insgesamt ergab sich damit die in Tabelle 4 dargestellte Übersicht der Ergebnisse der Standortklassifizierung (4 Standorte wurden wegen unvollständiger Daten nicht aufgeführt). Einzelheiten dieses Vergleichs, z.B. zum Stand der jeweiligen Literaturoswertung bzw. der verwendeten Methoden, sind der schon erwähnten LfU-Studie zu entnehmen (RÖMBKE ET AL. 1997).

An den meisten Standorten war die Abweichung vom Soll-Wert gering. Klare Differenzen zwischen Soll- und Ist-Wert gibt es vor allem am Standort Nr. 520 (einer Fläche am Stadtrand von Mannheim) sowie Nr. 350 (ein Wald auf der windseitigen Lage des Industriegebiets Ludwigshafen/Mannheim). Schwer einschätzbar ist der Standort Nr. 470, bei dem es keine eindeutigen Hinweise auf Belastungen gibt, so daß weitere Untersuchungen zu empfehlen sind. Aus diesen Ergebnissen ist der Schluß zu

ziehen, daß mit dem hier vorgestellten Konzept eine differenzierte Beurteilung von Standorten möglich ist.

Abschließend ist anzumerken, daß auch das englische SOILPACS-Konzept einer ersten Machbarkeitsstudie unterzogen wurde (WEEKS ET AL. 1997). Dabei wurde eine schwermetallbelaste Fläche in West England von der University of Reading bzw. dem "Institute of Terrestrial Ecology" untersucht. Geeignete Organismengruppen waren Lumbricidae, Isopoda und Araneae sowie die Collembola.

3. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

1. Im Rahmen der LfU-Literaturstudie wurde versucht, die Beziehung zwischen abiotischen bzw. biotischen Standortfaktoren und der Besiedlung der jeweiligen Standorte mit Bodenorganismen herauszuarbeiten. Dabei wurden nur relativ wenige Daten gefunden, die den Qualitätsanforderungen für eine Nutzung im Rahmen der BBSK genügen. De facto reicht eine Literaturoswertung allein nur für wenige Tiergruppen (z.B. Lumbricidae, Carabidae) aus.
2. Bisherige Erfahrungen aus Baden-Württemberg und Holland legen nahe, daß in einer bestimmten Region die Anzahl der Standorttypen mit typischer Bodenbiozönose endlich ist. Notwendig ist daher die Anfertigung von Karten und/oder Datenbanken zur Identifizierung dieser Standorttypen. Im Zusammenhang mit Punkt 1 sollten also Dauerbeobachtungsstudien an "unbelasteten" Standorten zur Definition typischer

Tabelle 4

Vergleich von vorhergesagter und gefundener Besiedlung mit verschiedenen Invertebratengruppen an 11 Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg (Erläuterung im Text).

Standortkürzel (vgl. auch Tab. 3):											
Tiergruppe	130	140	290	310	350	380	400	410	450	470	520
Enchytraeen	+	+	+	+		+/-	+	+	+/-	+	
Lumbricidae	+	+	+	+		+	+	+/-	+	+	
Oribatida	+	+	+	+		+/-	+	+	+	+	
Gamasina		+				+/-	+	+	+		
Chilopoda		+		+	+	+	+	+	+		
Diplopoda		+		+	+	+		+	+	+/-	
Isopoda		+		+	+	+	+	+	+	+/-	
Carabidae	+	+	+	+		+	+	+	+	+	

"+" = Entspricht der Erwartung; "+/-" = Unklar; "-" = Entspricht nicht der Erwartung.

Bodenbiozönosen inklusive der jeweiligen Standortfaktoren durchgeführt werden. In anderen Worten: Möglichst viele verschiedene Gruppen von Bodenorganismen sind regional differenziert zu erfassen.

3. Für ein handhabbares Konzept sind verschiedene Organismengruppen bzw. Meßparameter nötig, da bei der Vielzahl möglicher Standorttypen keine einzelne Gruppe alle Standorte gleichmäßig abdecken kann. Die Artenzusammensetzung ist der am besten geeignete Endpunkt für eine bodenbiologische Standortklassifikation, doch ist eine Einbeziehung quantitativer Angaben ohne gleichzeitige Erhöhung des Aufwands (z.B. durch Langzeit-Beprobungen, um jahreszeitliche Schwankungen auszugleichen) anzustreben. Zudem ist die Verwendung funktionaler Parameter noch nicht geklärt und bedarf weiterer Bearbeitung. Primär sind aber die beiden folgenden Schritte notwendig:

Beprobungsprotokolle nach klaren Qualitätsstandards (z.B. der "Guten Laborpraxis GLP") unter Einbeziehung der relevanten Literatur (z.B. DUNGER & FIEDLER 1997) sind zu erarbeiten

Geeignete Bestimmungsschlüssel für die wichtigsten Boden-Invertebratengruppen, z.B. mit PC-gestützten Expertensystemen, sind zu entwickeln.

4. Erste Überprüfungsstudien zeigen, daß Konzepte wie das BBSK für die Beurteilung der Bodenqualität sinnvoll sind. So konnten in Baden-Württemberg belastete Standorte mit Hilfe einer "Batterie" von verschiedenen Organismengruppen eindeutig identifiziert werden. Dennoch bleiben erhebliche Fragen offen. Zum Beispiel gibt es noch keine generell akzeptierten Beurteilungskriterien: Ab wann ist zum Beispiel ein festgestellter quantitativer Unterschied als "Wirkung" zu definieren? Zudem ist z.B. die Einbeziehung der ökologischen Wertigkeit einzelner

Arten noch weitgehend ungeklärt. Eine Einigung über quantitative bzw. qualitative Maßstäbe bei der Beurteilung von Beeinträchtigungen der Bodenbiozönose ist daher dringend erforderlich.

Literatur

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1996):

Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna.- Informationsber. des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft 4/96: 1-543.

BECK, L.; K. DUMPERT, U. FRANKE, H. MITTMANN, J. RÖMBKE & W. SCHÖNBORN, W. (1988): Vergleichende ökologische Untersuchungen in einem Buchenwald nach Einwirkung von Umweltchemikalien.- Jül. Spez. 439: 548-701.

BELOTTI, E. (1993):

Ein generalisiertes Konzept der Lebensformtypen wirbelloser Bodentiere als Hilfsmittel für den Bodenschutz.- Mittl. Deut. Bodenkundl. Ges. 72: 491-494.

BRAUN-BLANQUET, J. (1964):

Pflanzensoziologie.- Springer, Wien, New York.

CHAPMAN, P.M. (1989):

Current approaches to developing sediment quality criteria.- *Envir. Toxicol. Chem.* 8: 589-599.

DUNGER, W. (1968):

Die Entwicklung der Bodenfauna auf rekultivierten Kippen und Halden des Braunkohletagebaues. Ein Beitrag zur pedozoologischen Standortdiagnose.- *Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz* 43: 1-256.

DUNGER, W. & H.-J. FIEDLER (1997):

Methoden der Bodenbiologie.- G. Fischer, Jena. 539 S.

EIJSACKERS, H. (1992):

Recent developments in soil ecotoxicology and the terrestrial field.- In: EERO 5th Advanced Course Ecotoxicology. Texel, Nederland.

- ELLENBERG, H. (1979):
Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas.- Scripta Geobotanica IX.
- EU (EUROPEAN UNION) (1996):
Technical Guidance Documents in Support of The Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances and the Commission Regulation (EC) 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances.- EU, Brussels.
- GHABBOUR, S.I. (1991):
Towards a zoosociology of soil fauna.- Rev. Ecol. Biol. Sol. 28: 77-90.
- GHILAROV, M. (1965):
Zoologische Methoden der Bodendiagnostik.- Nauka, Moskau.
- GRAEFE, U. (1993):
Veränderungen der Zersetzergesellschaften im Immissionsbereich eines Zementwerks.- Mittl. Deut. Bodenkundl. Ges. 72: 531-534.
- HASSAN, S.A. (1992):
Guidelines for testing the effects of pesticides on beneficial organisms: Description of test methods.- Bull. IOBC/WPRS Bull. 15: 1-186.
- HUND, K. & W. KÖRDEL (1998):
Möglichkeiten zur Ableitung von "Regelungswerten" im Bundesbodenschutzgesetz auf Grundlage mikrobiologischer Untersuchungen (Stoffumwandlungsfunktion).- Manuskript, eingereicht bei Chemosphere (i. Druck).
- KARLEN, D.L.; M.J. MAUSBACH, J.W. DORAN, R.G. CLINE, J.F. HARRIS, & G.E. SCHUMAN (1997):
Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. -Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 4-10.
- KENNEL, W. & J. NIKLAS (1980):
Vorkommen und Bedeutung von Regenwürmern in Obstanlagen.- Erwerbsobstbau 22: 217-221.
- REYNOLDSON, T.B.; R.C. RAILEY, K.E. DAY, & R.H. NORRIS (1995):
Biological guidelines for freshwater sediment based on Benthic Assessment of Sediment (the BEAST) using a multivariate approach for predicting biological state.- Austral. J. Ecol. 20: 198-219.
- RÖMBKE, J.; L. BECK, B. FÖRSTER, C.-H. FRÜND, F. HORAK, A. RUF, K. ROSCICZEWSKI, M. SCHEURIG & S. WOAS (1997):
Boden als Lebensraum für Bodenorganismen und die bodenbiologische Standortklassifikation: Eine Literaturstudie.- Texte und Berichte zum Bodenschutz 4/97. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Karlsruhe). 390 S.
- SINNIGE, N.; W. TAMIS & F. KLIJN (1992):
Indeling van Bodemfauna in ecologische Soortgroepen.- Centrum voor Milieukunde, Rijksuniversiteit Leiden Report No. 80.
- SPURGEON, D.J.; R.D. SANDIFER & S.P. HOPKIN (1996):
The use of macro-invertebrates for population and community monitoring of metal contamination indicator taxa, effect parameters and the need for a soil invertebrate prediction and classification scheme (SIVPACS).- In: Bioindicator Systems for Soil Pollution. VAN STRAALLEN, N.M. & D.A. KRIVOLUTSKY (eds.). Kluwer Academic Publ., Dordrecht: 95-109.
- VOLZ, H. (1962):
Beiträge zu einer pedozoologischen Standortslehre.- Pedobiologia 1: 242-290.
- WEEKS, J.M.; S.P. HOPKIN, J.F. WRIGHT, H. BLACK, B.C. EVERSHAM, D. ROY, D. & C. SVENDSEN (1997):
A Demonstration of the Feasibility of SOILPACS.- Final Report HMIP/CPR2/41/1/247. 180 pp.
- WRIGHT, J.F.; M.T. FURSE & P.D. ARMITAGE (1994):
Use of macroinvertebrate communities to detect environmental stress in running waters. In: SUTCLIFFE, D.W. (ed.): Water Quality and Stress Indicators in marine and freshwater Ecosystems: Linking levels of organisation. FBA: 15-34.
- ZAK, J.C.; M.R. WILLIG, D.L. MOORHEAD & H.G. WILDMAN (1994):
Functional diversity of microbial communities: A quantitative approach.- Soil Biol. Biochem. 26: 1101-1108.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Jörg Römbke & Bernhard Förster
ECT Ökotoxikologie GmbH
Böttgerstraße 2-14
D-65439 Flörsheim/Main

Prof. Dr. Ludwig Beck
Staatliches Museum für Naturkunde
Postfach 6209
D-76042 Karlsruhe

Andrea Ruf
Universität Bremen
Postfach 33 04 40
D-28334 Bremen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1998

Band/Volume: [5_1998](#)

Autor(en)/Author(s): Beck Ludwig, Römbke Jörg, Förster Bernhard, Ruf Andrea

Artikel/Article: [Aspekte der Untersuchung und Bewertung bodenbiologischer Zustandsparameter 63-70](#)