

TEXTE 6/00

FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSVORHABEN DES UMWELTBUNDESAMTES

F+E-Vorhaben Nr. 29774006/ 1 und 2

Bodenbiologische Bodengüte - Klassen

KURZFASSUNG DES ABSCHLUSSBERICHTS

von

J. RÖMBKE¹ und P. DREHER²

unter Mitarbeit von

L. BECK³, W. HAMMEL², K. HUND², H. KNOCH², W. KÖRDEL², W. KRATZ⁴,
T. MOSER¹, S. PIEPER⁴, A. RUF⁵, J. SPELDA³, S. WOAS³

1. ECT Oekotoxikologie GmbH; Böttgerstr. 2-14; D-65439 Flörsheim am Main
2. Fraunhofer–Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie; Postfach 1260; D-57377 Schmallenberg
3. Staatliches Museum für Naturkunde; Erbprinzenstr. 13; D-76133 Karlsruhe
4. TerraProtecta GmbH; Himbeersteig 18; D-14129 Berlin
5. Universität Bremen, UFT, Abt. 10; Postfach 330440; D-28334 Bremen

**IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES**

Juni 2000

Zusammenfassung wichtiger Ergebnisse der Studie

„Bodenbiologische Bodengüteklassen“

1. Schlußfolgerung

Ziel der Studie war die Erarbeitung eines Konzeptes zur Bewertung der im BBodSchG vom 24.03.98 aufgeführten Bodenfunktion „Lebensgrundlage und Lebensraum für ... Bodenorganismen“. Der Begriff der „Bodenbiologischen Bodengüte“ wird im Sinne dieser Studie gleichgesetzt mit dem Begriff der Bodenqualität (engl. soil quality). Im Gegensatz zu anderen Konzepten, die auf dem Prinzip der ökotoxikologischen Testung der zu beurteilenden Böden mit Hilfe von Stellvertreterorganismen in Labortests beruhen, ist die zentrale Idee der hier vorgestellten BBSK (Bodenbiologische Standortklassifikation), daß die Beurteilung eines Standorts durch einen Vergleich von einer erwarteten mit einer real am Standort vorkommenden Biozönose erfolgt. Dabei wird davon ausgegangen, daß die jeweiligen Biozönosen massgeblich durch abiotische Faktoren (z.B. Bodeneigenschaften, Klima, Nutzung) determiniert werden. Hinsichtlich der zu verwendenden Meßparameter werden qualitative Parameter (z.B.: Familien-, Artenspektrum) bevorzugt, da quantitative Parameter (Abundanzen) häufig kurzfristigen Einflüssen wie z.B.: der Witterung unterliegen. Der Beurteilungsmaßstab ist somit die Biodiversität. Voraussetzung für eine spätere routinemäßige Anwendbarkeit eines derartigen Systems ist die kartographische Darstellung der erwarteten Biozönose in Abhängigkeit der bodenbiologisch relevanten abiotischen Faktoren. Auf der Grundlage dieser Faktoren kann eine Einteilung der Fläche der Bundesrepublik Deutschland in bodenbiologisch vergleichbare Umweltausschnitte (Standorttypen) erfolgen.

Das F+E-Vorhaben bestand aus mehreren Arbeitspaketen:

I. Definition von Standorttypen

Ziel: tabellarische und kartographische Einteilung der Fläche der Bundesrepublik Deutschland in Standorttypen und deren sekundäre Gliederung in Gruppen ähnlicher Standorttypen. Im einzelnen gehörten hierzu folgende Arbeitsschritte:

- Erarbeitung der Grundlagen von Abhängigkeiten zwischen Bodenparametern und verschiedenen Tiergruppen
- Festlegung der wichtigsten Bodenfaktoren und deren Werteklassen in Anlehnung an die Bodenkundliche Kartieranleitung (4. Auflage, AG BODEN 1994)

- Gliederung der Fläche der Bundesrepublik Deutschland in Standorttypen, Aggregierung der Standorttypen primär nach statistischen Methoden

II. Ableitung von Erwartungswerten für ausgewählte Gruppen der Bodenfauna

Diese Ableitung erfolgte anhand von Literaturdaten bzw. eigenen Untersuchungen mit Schwerpunkt an Standorten in Baden-Württemberg

III. Exemplarische Beprobung von 15 Standorten

Die Beprobung erfolgte an 10 Wäldern, 4 Grünlandstandorten sowie einem Acker. Erfasst wurden von den Bodentieren Nematoden (exemplarisch an drei Standorten), Regenwürmer, Enchytraeen, Moosmilben, Raubmilben, Asseln, Doppelfüßer und Hundertfüßer. Diese Tiergruppen hatten sich anhand verschiedener Kriterien im Rahmen der Literaturstudie „Bodenfauna und Umwelt“ (RÖMBKE et al., 1997) als geeignet erwiesen. Zusätzlich wurde mit dem Köderstreifentest ein Funktionsparameter in die Untersuchung einbezogen.

IV. Vergleich von Erwartungswerten mit Ist-Werten.

Auf der Grundlage der ermittelten Biozönosen (Arten, Familien) wurden mit tiergruppenspezifischen Auswertungsverfahren die Ist-Werte (z.B. Zeigerarten, Reife-, Diversitäts-, Artenidentitäts- und Dominanzidentitätsindizes) formuliert und mit den Erwartungswerten verglichen, soweit diese angegeben werden konnten.

Aus den erhaltenen Ergebnissen lassen sich im Hinblick auf eine Weiterentwicklung des BBSK-Konzeptes folgende Schlußfolgerungen ziehen:

1.1 Standorttypisierung

Ein zentrales Problem bei der Umsetzung des Standorttypensystems ist die Frage der Punktschärfe der hinter den Standorttypen stehenden Informationen. Die Standorttypen mit ihrer zugewiesenen räumlichen Verbreitung und Fläche stellen nach dem aktuellen Stand der Erarbeitung quasi virtuelle Einheiten dar. Sie dienen der Orientierung von Anwendern des BBSK beispielsweise bei der Auswahl von Untersuchungsstandorten und liefern Hinweise und Argumente für die Interpretation und Generalisierung von Untersuchungsdaten. Für eine verlässliche Charakterisierung von Einzelstandorten an beliebigen Punkten der Landschaft oder der Landkarte ist das System nicht geeignet. Der zweite kritische Punkt ist der Nutzungsbezug der Leitprofildaten. Leitböden und Leitbodendaten sind nur für die der jeweiligen Legendeneinheit in der BÜK 1000 unterstellte Nutzung repräsentativ und nicht für Böden mit anderer Nutzung.

Die genannten Schwachpunkte des Systems haben ihre wesentliche Ursache in der verwendeten Datengrundlage. Hinsichtlich der Punktschärfeproblematik wäre eine deutliche Verbesserung des Systems voraussichtlich dann zu erreichen, wenn in der künftigen Weiterentwicklung der digitalen BÜK durch die BGR neben den Leitbodenformen zusätzlich Begleitböden mit entsprechender Charakterisierung durch Profildaten berücksichtigt werden. Die Nutzbarkeit dieser Weiterentwicklung für die BBSK wird allerdings unter anderem davon abhängen, wie sich der Zusammenhang zwischen Leit- und Begleitböden hinsichtlich bodenkundlicher Kenndaten (Faktoren) darstellt. Sollte der Zusammenhang primär in der bodensystematischen Zuordnung ohne ausreichende Ähnlichkeit der Oberbodenkenndaten bestehen, könnte sich bei der Weiterentwicklung der BBSK das Problem eines stark erweiterten Bestandes an untergeordneten Legendeneinheiten in Form der Begleitböden und damit auch an Daten ergeben, die zu ordnen bzw. für die Klassifikation zu verwenden u.U. eine gegenüber der hier beschriebenen veränderte Herangehensweise erfordert.

Hinsichtlich der Problematik des Nutzungsbezuges würden sich Verbesserungsmöglichkeiten ergeben, wenn

- Daten mit einem klar definierten Nutzungsbezug zur Verfügung stünden und
- darauf aufbauend je nach Nutzung ein entsprechend angepaßter Satz an Standortfaktoren definiert werden könnte.

Daten mit einem stärkeren Nutzungsbezug werden mittelfristig von Seiten der BGR in Aussicht gestellt. Als erstes Karten- und Datenwerk wird derzeit eine sogenannte „Wald-BÜK“ in Zusammenarbeit von BfH (Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft) und BGR entwickelt. Als Grundlage hierfür dienen die Daten der BZE (Bodenzustandserhebung im Wald) in Kombination mit der digitalen BÜK. Nach den hierzu vorliegenden Informationen erscheint dieses Werk für die Erarbeitung eines waldspezifischen Standorttypensystems als geeignet. Eine Verwendung im Rahmen des BBSK-Konzepts ist damit künftig möglich.

Ein zentraler Vorteil dieser Grundlage wäre neben dem eindeutigen Nutzungsbezug die Berücksichtigung von Humusformen der Auflagen. Als konkrete Vorgehensweise ist zum Beispiel vorstellbar, 5 Humusformen (in Anlehnung an L. Beck und E. Belotti (unveröff.)) mit z.B. 3 Bestockungsarten (Nadel/

Laub/ Mischwald) zu kombinieren. Im weiteren wird dann die Übereinstimmung der so erhaltenen Standort- oder besser Standort-Humustypen in unterschiedlichen Regionen (Mittelgebirge, Hügelland, Flachland, verschiedene Substrate) hinsichtlich des zugehörigen Organismenbesatzes zu prüfen sein. Diese Vorgehensweise wird hier entweder in einer kartographischen und flächenhaften Auswertung resultieren, oder es können Musterstandorte bzw. Referenzstandorte (z.B. Rohhumus unter Fichte auf Mittelgebirgsstandort auf Granitgrus-Podsol) beschrieben und für die Zuordnung von Untersuchungsstandorten herangezogen werden. Die abschließende Beurteilung der sich aus der Verwendung der Wald-BÜK ergebenden Möglichkeiten setzt jedoch eine intensive Auseinandersetzung mit ihrer Struktur und Datengrundlage voraus.

Aus der Diskussion der Ergebnisse der Standorttypisierung und ihrer Anwendung auf die Untersuchungsstandorte im Rahmen der Studie wird deutlich, dass bei der praktischen Anwendung und Validierung der BBSK in jedem Fall eine Beurteilung des jeweiligen Standortes durch qualifiziertes Personal zu erfolgen hat. Bei der Standortbeurteilung ist kritisch zu hinterfragen, ob eine typische Situation vorliegt oder nicht. Die BBSK sollte nicht oder nur nach sorgfältiger Überprüfung der vorliegenden Verhältnisse angewendet werden, insbesondere wenn z.B.:

- der Boden sehr skelettreich ist,
- der Standort hinsichtlich Relief (z.B. Steilhang) oder Exposition extrem ist und wenn
- außergewöhnliche und intensive Beeinflussungen des jeweiligen Standorts durch einen Faktor, der durch die routinemässig erfassten fünf Faktoren nicht erfasst wird (z.B. regelmässige Überflutung, jüngere Kalkungs- oder Düngungsmaßnahmen, Windbruch) stattgefunden haben.

Als Eckpunkte für die Weiterentwicklung der BBSK lassen sich aus dem Blickwinkel der Standorttypisierung folgende zentrale Fragen formulieren, deren Beantwortung überwiegend die Untersuchung von repräsentativen Standorten voraussetzt:

- Entspricht der konkrete Standort tatsächlich dem ausgewiesenen Standorttyp?
- Ist die Situation (Faktoren, Standorttypen) zumindest für fachkundiges Personal eindeutig zuzuordnen?
- Wie sieht der Vergleich zwischen „expert judgement“ vor Ort und dem Ergebnis der Standorttypisierung für die betreffende Fläche oder Region aus?

- Läßt sich in Anbetracht der weitreichenden Ermessensspielräume eine Art Qualitätsmanagement-System entwickeln?
- Wie kann eine Schulung und „Standorteichung“ von künftigen Anwendern gestaltet werden?
- Wie lassen sich die für die Standorttypisierung relevanten Parameter in Routinemessprogramme (z.B. BDF) integrieren?

1.2 Biologische Charakterisierung

A. Organismenauswahl

Umfassend beprobt wurden Oribatiden, Gamasinen, Enchytraeen, Regenwürmer, Isopoden, Chilopoden und Diplopoden. An drei Standorten wurden zusätzlich Nematoden mit einbezogen. Für weitere Untersuchungen wird aufgrund ihrer Häufigkeit, des Lebensraums und der Lebensweise empfohlen, die Nematoden sowie die Collembolen mit einzubeziehen. Bei diesen Tiergruppen handelt es sich um Vertreter der Mikro- und Mesofauna. Eine Einbeziehung der bodenbiologisch wichtigen Mikroorganismen ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich, da die vorhandenen Methoden zur Erfassung der mikrobiellen Diversität für eine routinemässige Anwendung noch nicht ausgereift genug sind.

B. Charakterisierung der Bodenbiozöosen

Die Beprobung der Standorte führte zunächst zu umfassenden Organismen-, im Regelfall Artenlisten. Im Rahmen der Auswertung war es notwendig, diese Informationen zusammenzufassen bzw. Korrelationen zu Standortparametern zu ermitteln. Um die Bodenfauna der beprobten Standorte untereinander bzw. mit Erwartungswerten (d.h. einer „virtuellen“ standorttypischen Bodentiergemeinschaft mit ihren Arten und anderen Eigenschaften, z.B. Diversität) vergleichen zu können, wurden in Abhängigkeit von der Organismengruppe verschiedene Ansätze gewählt. Zum einen kamen zur Ermittlung von Zeigerwerten statistische Verfahren zum Tragen (Gamasinen). Eine weitere Möglichkeit beinhaltete die Berechnung von Reifeindizes (Nematoden, Gamasinen), die Klassifizierung gemäß r/K-Dreieck (Gamasinen), die Ermittlung von Arten- und Dominanzidentität (Oribatiden), Diversitätsindex (Gamasinen, Oribatiden) sowie der direkte Vergleich von ermittelten und erwarteten Arten (Enchytraeen, Regenwürmer). Darüberhinaus wurde versucht, das Auftreten von Zeigerarten (Gamasinen, Enchytraeen, Regenwürmer) sowie die

Abundanz der jeweiligen Tiergruppe im Vergleich zu aus der Literatur bekannten Durchschnittswerten für einen Erwartungs-/Ist-Wert-Vergleich zu nutzen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist noch nicht entscheidbar, welche Methode der Aufarbeitung für die jeweils beprobte Tiergruppe routinemässig empfohlen werden kann. Auf der Grundlage der Untersuchung von Bodenarthropoden-Gemeinschaften kommt VAN STRAALLEN (1998) zu dem Ergebnis, dass von neun in der Literatur diskutierten Ansätzen wahrscheinlich eine Kombination einer ökophysiologischen Klassifikation (z.B. anhand der pH-Präferenz) und multivariater Statistik für eine Klassifikation von Bodenorganismen am besten geeignet sind. Ähnlich wurde die Ableitung der Erwartungswerte für mehrere Tiergruppen vorgenommen. Die in einem zweiten Schritt auch in diesem Vorhaben angewandte Zusammenfassung der Information über eine Tiergruppe an einem bestimmten Standort zu einem Index ist mit Vorsicht anzuwenden. Während die Verwendung einfacher Indizes (z.B. Sörensen, Renkonen) für den Vergleich zweier Standorte (bzw. von Erwartungs- und Ist-Wert) sowie evtl. auch Ähnlichkeitsanalysen geeignet sind, sollten Diversitätsindizes (stellvertretend für eine kaum überschaubare Zahl: Shannon-Wiener-Index; MÜHLENBERG, 1993) allenfalls ergänzend im Rahmen des „expert knowledge“ eingesetzt werden, da durch die starke Informationsverdichtung die Beurteilung eher erschwert und zudem oft die Höhe des jeweiligen Indexwerts mit einer Bewertung gleichgesetzt wird. Im Rahmen künftiger Arbeiten sollte eine Vereinheitlichung der Auswertungsmethodik für die einzelnen Tiergruppen angestrebt werden.

C. Nutzungsspezifische Zusammenstellung einer Batterie von zu bestimmenden Tiergruppen

In der Studie wurden alle Tiergruppen an allen ausgewählten Standorten erfasst (Ausnahme: Nematoden). Dabei zeigte es sich, daß die Empfehlung der gleichen, starren Batterie von zu bestimmenden Tiergruppen für jeden Standort nicht sinnvoll erscheint. So wird das Vorkommen einzelner Organismengruppen stark durch die Nutzung bestimmt (z.B.: bei landwirtschaftlicher Nutzung kaum Vertreter der Oribatiden, in Wäldern dagegen eine der artenreichsten Tiergruppen). Primäres Kriterium bei der Organismenauswahl für die Beprobung eines Standortes sollte daher dessen Nutzung darstellen. Daraus ergibt sich in etwa eine Dreigliederung der Tiergruppenbatterien: Euedaphische Tiere (z. B. viele Enchytraeen, Regenwürmer, Collembolen) weisen eine hohe Korrelation zu den abiotischen Faktoren des Oberbodens auf, die unserer Standorttypisierung zu Grunde liegen. Sie sind daher zur Charakterisierung aller drei Hauptnutzungsformen Wald, Grünland und Acker geeignet. Hemiedaphische Tiere (z. B. viele Collembolen, die meisten Oribatiden und Gamasinen, viele Myriapoden) sind auf ein größeres Lückensystem angewiesen, als es der

Oberboden im Regelfalle bietet, d.h. ihr Lebensraum ist vor allem die Streuauflage. Sie eignen sich daher vor allem zur Charakterisierung von Wald- und – mit Einschränkung – Grünlandstandorten, zumindest die Oribatiden aber kaum für Äcker. Epedaphische Tiere (die meisten Carabiden, manche Myriapoden, generell viele Tiere der Makrofauna) sind grundsätzlich weniger an die abiotischen Faktoren des Oberbodens gebunden, sondern indizieren in ihrem Vorkommen viel mehr klimatische, vegetationsbedingte Faktoren und häufig auch biogeographische Bezüge.

Auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse kann die folgende vorläufige Empfehlung gegeben werden:

	Nutzung		
Organismengruppe	Wald	Grünland	Acker
Nematoden	+	+	+
Oribatiden	+	+	-
Gamasinen	+	+	(+)
Enchytraeen	+	+	+
Regenwürmer	+	+	+
Isopoden	+	(+)	-
Chilopoden	+	(+)	-
Diplopoden	+	(+)	-

+: geeignet; (+): bedingt geeignet; -: nicht geeignet

D. Bestimmungsebenen

Zur Erstellung von Klassifikationssystemen ist die Bestimmung der Tiergruppen zunächst, wie in diesem F+E-Vorhaben erfolgt, bis auf Art- bzw. Familienebene notwendig, um entsprechende Zusammenhänge zwischen Standortfaktoren und Biozönose mit ausreichender Genauigkeit zu ermitteln. Ziel des BBSK-Konzeptes ist es, künftig eine Anwendung durch eine große Anzahl von Einrichtungen zu ermöglichen und Ergebnisse in überschaubaren, praxisrelevanten Zeiträumen zu liefern.

Es bietet sich daher eine mehrstufige Vorgehensweise an. Zunächst sollte eine orientierende Analyse (aggregierte Information) erfolgen, wobei die Biozönose auf einer vergleichsweise hohen Ebene erfasst wird (z.B.: Abundanzen, Ernährungstypen). Dabei richtet sich die jeweilige Bestimmungsebene nach der Organismengruppe. Die dafür notwendigen Kenntnisse können vergleichsweise einfach erworben werden.

Werden auf dieser Stufe Auffälligkeiten festgestellt, sollte in einem zweiten Schritt eine detailliertere Untersuchung des Standortes erfolgen (Detailanalyse). Dabei ist die notwendige Tiefe wiederum abhängig von der jeweiligen Tiergruppe. Für diese Bestimmung sind umfassendere Kenntnisse notwendig, was ggfs. die Einbeziehung von Spezialisten erforderlich macht.

Ziel künftiger Arbeiten muß die Entwicklung entsprechender Stufensysteme in Abhängigkeit von der Tiergruppe darstellen. Darüberhinaus ist zu prüfen, ob durch Erstellen aktueller Bestimmungsschlüssel (möglichst in elektronischer Form) die Determination von Bodenorganismen (egal auf welcher Ebene) vereinfacht werden kann, da viele der verfügbaren Schlüssel veraltet und zudem nicht für die Verwendung im Rahmen eines bodenbiologischen Klassifikationskonzepts konzipiert sind (z.B. durch Beschränkung auf die Gattungs- oder Familienebene).

E. Funktionsparameter

In der Studie wurde neben der Erfassung der Biodiversität auf der Basis verschiedener Tiergruppen als Funktionsparameter der Köderstreifentest einbezogen. Vorteil ist die einfache Anwendbarkeit und der Erhalt von Informationen über die Aktivität der Organismen. Aufgrund der Witterungsabhängigkeit der Testergebnisse (Wanderung der Organismen bei ungünstigen Lebensbedingungen in tiefere Bodenschichten und damit die Veränderung von Fraßprofilen, Bildung von Ruhestadien) sollte dieser Test nur als Zusatzinformation zu den strukturellen Parametern herangezogen werden, indem die Wichtung von Auffälligkeiten im Hinblick auf eine Gesamtbeurteilung eines Standortes unterstützt wird. Ergeben sich Auffälligkeiten sowohl bei Tiergruppen als auch bei dem Funktionsparameter ist die Beeinträchtigung dieses Standortes höher zu bewerten als bei dem Auftreten von Auffälligkeiten bei nur einem Messparameter.

F. Verbreiterung der Datenbasis

Die Festlegung von validen biologischen Qualitätskriterien für Standorttypen setzt das Vorliegen einer umfassenden Datenbasis inklusive geeigneter Bodenparameter voraus. Hier kann die künftig vertiefte Zusammenarbeit mit Betreibern von BDFs, die sich in der Studie bereits als sehr positiv dargestellt hat, eine wesentliche Grundlage bilden. Dabei sollte in einem ersten Schritt zunächst dargelegt werden, welche Parameter, auch über die veröffentlichten hinaus, im Rahmen der BDF-Programme bereits in Bezug auf die Bodenfauna bzw. auf chemisch-physikalische Kenngrößen und das Klima erhoben werden. Darauf

aufbauend sollten in einem zweiten Schritt Empfehlungen gegeben werden, welche Zusatzparameter erfaßt werden sollten, um die bereits vorhandenen Daten auch für die Erstellung der BBSK zu nutzen.

Schwerpunktmäßig wurden alle in den Proben vorkommenden Tiere bestimmt, wobei für jede Fläche zwischen 6 und 9 Proben pro Tiefe untersucht wurden. Im Rahmen der Verbreiterung der Datenbasis ist auch zu überprüfen, ob die Verwendung von Misch- und Teilproben, wie es im Rahmen von mikrobiologischen Untersuchungen bereits etabliert ist, zumindest für die Vertreter der Mesofauna ohne Informationsverlust möglich ist. Dies würde zu einer erheblichen Reduktion des auszuwertenden Probenumfangs und damit der Kosten beitragen. Bevor eine derartige Vereinfachung standardmäßig empfohlen wird, ist jedoch die Streubreite der Ergebnisse pro Fläche, die sich aus der Untersuchung der Einzelproben ergebenden Mittelwerte sowie die Ergebnisse bei der Untersuchung nur einer Mischprobe zu ermitteln. Es ist sicherzustellen, daß die Unterscheidung einzelner Standorttypen bzw. -gruppen auch auf der vereinfachten Basis möglich ist. Des weiteren muß sichergestellt sein, daß keine biologische Unterscheidung von Standorttypen infolge einer in die Ergebnisse hineininterpretierten Schärfe erfolgt, indem die Streubreite der Ergebnisse, über die bei der Bearbeitung von Mischproben keine Informationen für den jeweiligen Standort erhalten wird, unberücksichtigt bleibt. In diesem Fall muß sie über Erfahrungswerte einbezogen werden.

Bei der Verbreiterung der Datenbasis ist ferner zu berücksichtigen, daß die Datenlage für die verschiedenen Nutzungsformen sowie regional sehr unterschiedlich ist. So wurden bislang schwerpunktmäßig Wälder beprobt, wohingegen die Erfassung der Bodenorganismen in Äckern und Grünland vergleichsweise selten durchgeführt wurde. Des weiteren liegen zahlreiche Untersuchungen für Süddeutschland vor, während in den neuen Bundesländern deutlich weniger Informationen ausgewertet wurden. In zukünftigen Untersuchungen sollte daher angestrebt werden, eine einheitlichere Datenlage zu gewinnen. Es muß auch zur Kenntnis genommen werden, daß mit einer einmaligen Probennahme die Datenbasis zur genaueren Festlegung von Erwartungswerten nur in den seltensten Fällen solide genug ist. Hierfür ist eine mehrmalige Beprobung unumgänglich.

G. Qualitätssicherung

Voraussetzung für die Anwendung des BBSK-Konzeptes durch eine Vielzahl von Bearbeitern, ist eine umfassende Qualitätssicherung. Es muß sichergestellt sein, daß alle erhobenen Daten eine vergleichbare

Validität aufweisen. Dies kann durch eine zentrale Schulung entsprechender Personen und die Aufstellung umfassender Arbeitsanweisungen erfolgen.

H. Belastungssituationen

Zunächst dient die „Bodenbiologische Standortklassifikation“ der Charakterisierung und Klassifizierung von Standorten anhand von Biozönosen. Sie ist Grundlage einer Datenbank, die abiotische und biotische Parameter vereint und nach und nach die flächenmäßig bedeutenderen Standorttypen in der Bandbreite ihrer Standortfaktoren, auch der Nutzungsformen, erfaßt, kennzeichnet und klassifiziert. Diese BBSK-Datenbank erfüllt insofern bereits Ansprüche von seiten der Praxis des Vollzugs der Bodenschutzverordnung, als sie hilft, Flächen bodenbiologisch zu beurteilen als Voraussetzung zur Bewertung im Rahmen von Flächennutzungsplänen, der Ausweisung von Naturschutzgebieten, der Festlegung von Ausgleichsmaßnahmen etc.

Die Klassifikation eines Standorts kann durch den Vergleich der daraus abzuleitenden Erwartungswerte mit den vorliegenden Ist-Werten zur Indikation von Abweichungen oder Beeinträchtigungen des Standorts dienen. Dabei wird zunächst beurteilungsneutral festgestellt, ob eine Auffälligkeit vorliegt. Im nächsten Schritt wird dann diese Auffälligkeit daraufhin geprüft, ob sie eine natürliche Standortausstattung kennzeichnet und die Erwartungswerte angepaßt werden müssen – ein Fall, der beim derzeitigen Stand des Wissens noch relativ häufig auftreten dürfte –, oder ob die Auffälligkeit eine Abweichung indiziert, sei sie natürlichen Ursprungs wie ein zurückliegendes Schadereignis (Starkregen, Windbruch, Brand) oder anthropogenen Ursprungs.

Dies setzt voraus, daß bekannt ist, ab wann eine Abweichung als signifikant bezeichnet werden kann. In zukünftigen Arbeiten sollte daher neben der Beprobung von unbelasteten Standorten zur Erweiterung der Datengrundlage und zur Ableitung bzw. Überprüfung von Erwartungswerten auch belastete Standorte untersucht werden. Für die Bearbeitung des Problemfeldes „Unterscheidung von belasteten und unbelasteten Standorten“ sind Standortpaare auszuwählen, die sich in allen bodenbiologisch relevanten Parametern gleichen und nur in der Belastungssituation unterscheiden.

2. Empfehlungen

2.1 Bodenkundliche und bodenbiologische Untersuchungen

Ziel der Studie war die Weiterentwicklung eines Konzeptes zur Bewertung der im BBodSchG vom 24.03.98 aufgeführten Bodenfunktion „Lebensgrundlage und Lebensraum für ... Bodenorganismen“. Dazu wurde das ursprünglich an Waldstandorten in Baden-Württemberg erarbeitete Konzept der Bodenbiologischen Standortklassifikation (BBSK) an 15, über die Bundesrepublik Deutschland verteilten Standorten überprüft. Schon im Rahmen der Antragstellung war Auftraggeber wie Auftragnehmern klar, dass die Erarbeitung der Datenbasis für einen solch umfassenden Ansatz (räumlich wie konzeptionell) einer erheblichen, die Möglichkeiten einer einzelnen Behörde übersteigenden Erweiterung bedarf. Daher lässt sich das Ziel des Vorhabens in – unter anderem - die folgenden Teilziele unterteilen:

- Nachweis der Anwendbarkeit des BBSK-Konzepts (z.B. in Hinsicht auf andere Nutzungsformen als Wald);
- Verbreiterung der Datenbasis bezüglich des Vorkommens von Bodenorganismen an bestimmten Standorten und demnach Standorttypen;
- Empfehlungen zur Methodik für bodenökologische Untersuchungen, um so mittelfristig die für belastbare Aussagen notwendigen, differenzierten Daten zu erhalten.

Im Folgenden sollen die an verschiedenen Stellen im Bericht genannten methodischen Empfehlungen zusammengefasst werden. Dabei werden abschliessend offene Fragen nochmals referiert.

A. Bodenkundliche Charakterisierung

Obwohl im Verlauf der Auswahl der zu untersuchenden Standorte nur solche in Betracht gezogen wurden, deren Status (z.B. als Dauerbeobachtungsfläche eines Bundeslands oder als EU-Level II Fläche) eine ausführliche bodenkundliche Charakterisierung erwarten liess, gab es mehrfach Schwierigkeiten bei der Beschaffung der für die bodenbiologische Standortklassifikation notwendigen Daten (z.B. fehlten an mehreren Waldstandorten Angaben zum C/N-Verhältnis im Oberboden). In Anbetracht der oftmals sehr grossen Zahl gemessener Parameter (z.B. zur Nährstoffsituation aufgrund forst- oder landwirtschaftlicher Vorgaben) sollte es kein Problem darstellen, die folgenden Empfehlungen für die bodenkundliche Charakterisierung von Dauerbeobachtungsflächen u.ä. aufzunehmen. Die jeweilige Methodik (speziell nach DIN und ISO) ist der Konzeption zur Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen (SAG (1993) zu entnehmen:

- Standortbeschreibung; d.h. obligatorische Feld- bzw. Schlagkarteidaten;
- Alle Daten sind schichtspezifisch differenziert anzugeben (Streu, Oberboden);

- pH-Wert (CaCl₂);
- Gehalt an organischen Kohlenstoff;
- Gesamtstickstoffgehalt;
- Von den beiden Stoffmessungen abgeleitet: C/N-Verhältnis;
- Korngrössenzusammensetzung (Bodenart);
- Zur Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Durchwurzelungsraums (Angaben können teilweise in Anlehnung an AG Boden (1994) abgeschätzt werden):
 - Horizontierung des Profils;
 - Lagerungsdichte;
 - Humosität;
 - jährlicher Niederschlag;
- Bei Waldstandorten: Humusform.

B. Biologische Charakterisierung:

Für eine bodenbiologische Standortklassifikation sind grundsätzlich die im Folgenden aufgeführten Tiergruppen (einschliesslich der zu ihrer Erfassung anzuwendenden Methoden) geeignet. Mit Ausnahme der Collembolen, deren Eignung aufgrund von Literaturangaben eingeschätzt wird, beruhen alle Empfehlungen auf Erfahrungen in diesem F+E-Vorhaben bzw. Vorläuferprojekten. Die jeweilige Auswahl der zu beprobenden Tiergruppen hängt stark von der Nutzungsform des zu beurteilenden Standorts sowie von seiner Lage (z.B. biogeographische Region) ab. Im Gegensatz zu den Empfehlungen der SAG (1993) kann eine Einbeziehung der Mikroorganismen aufgrund des Fehlens standardisierter qualitativer Methoden zur Erfassung der mikrobiellen Diversität zum jetzigen Zeitpunkt nicht unterstützt werden. Dies gilt analog für funktionale Methoden, obwohl sie für die Interpretation eventuell festgestellter Auffälligkeiten relevant sein können. Als Erfassungsebene wird für die Gruppen der Makro- und Mesofauna jeweils die Artebene und für die Nematoden zunächst noch die Familienebene empfohlen. Zudem ist für die letztgenannte Tiergruppe zu überprüfen, ob die Bestimmungsebene der trophischen Gruppe ausreichend ist.

Die für alle drei Nutzungsformen (zumindest in Mitteleuropa) verwendbaren Organismen sind die gleichen Gruppen, die laut SAG (1993) obligatorisch bzw. ergänzend für die bodenbiologische Untersuchung von Dauerbeobachtungsflächen empfohlen werden. Gruppen, die nur im Wald, teilweise auch im Grünland vorkommen, dienen der weitergehenden Charakterisierung.

Tiergruppe

Erfassungsmethodik

Alle Nutzungsformen:

Regenwürmer	Handauslese kombiniert mit Formalinaustreibung
Collembolen	Stechbohrerbeprobung mit nachfolgender Trockenextraktion
Nematoden	Stechbohrerbeprobung mit nachfolgender Abzentrifugation
Enchytraeen	Stechbohrerbeprobung mit nachfolgender Nassextraktion

Einzelne Nutzungsformen:

Moosmilben	Stechbohrerbeprobung mit nachfolgender Trockenextraktion
Raubmilben	Stechbohrerbeprobung mit nachfolgender Trockenextraktion
Asseln, Doppel-, Hundertfüssler	Handauslese mit manueller Absuchung von Sonderstandorten

Das Probendesign an dem zu beurteilenden Standort sollte wie folgt aussehen: In zwei sich kreuzförmig schneidenden Transekten von jeweils 20 m Länge werden insgesamt sechs Handauslese- (50 * 50 cm) und 9 Bodenstecherproben genommen und zur Weiterverarbeitung ins Labor transportiert (bei entsprechender Witterung kann die Handauslese auch „vor Ort“ im Freiland erfolgen). Die Bodenstecherproben sollten zweigeteilt werden: im Wald Streulage und Oberboden (0 – 5 cm); ansonsten 0 – 5 cm und 5 – 10 cm Tiefe des Oberbodens. Unter Einbeziehung der jeweiligen regionalen Bedingungen sollte die Probenahme zu einer Jahreszeit erfolgen, in der die Bodenorganismen aktiv sind: In Mitteleuropa sind dies Frühjahr (ca. März bis Mai) und Herbst (ca. September bis November). Aufgrund des recht grossen Flächenbedarfs sind die Probennahmen nicht im Kernbereich von Dauerbeobachtungsflächen durchzuführen.

2.2 Offene Fragen

Im Rahmen des vorliegenden F+E-Vorhabens konnten verschiedene, für die Weiterentwicklung des BBSK-Konzepts wichtige Fragen nicht abschliessend geklärt werden. Im Folgenden werden diese Punkte (einschliesslich von Anregungen zum weiteren Vorgehen) zusammengefasst.

A. Auswertung der bodenbiologischen Daten:

Die große Zahl der gegenwärtig bei den verschiedenen Tiergruppen angewandten Auswertungsmethoden (z.B. multivariate Statistik; Identifikation von Zeigerarten, Berechnung von Reife- bzw. Diversitätsindizes und direkte Vergleiche von Erwartungs- und Ist-Werten) erscheint verwirrend. Das Ziel der weitergehenden Auswertung vorhandenen Datenmaterials kann nicht die Vereinheitlichung dieser

verschiedenen Ansätze „um jeden Preis“ sein (jedes Verfahren hat seine Vor- und Nachteile), sondern sollte der Definition von Auswahlkriterien dienen.

B. Vorgehensweise bei der Analyse der Bodenbiozönose

Bisher war aufgrund der schlechten Datenlage nicht entscheidbar, welche Erfassungs- bzw. Bestimmungsebene bei der jeweiligen Tiergruppe für die bodenbiologische Standortklassifikation am effizientesten ist. Mittelfristig ist zu untersuchen, ob ein zweistufiges Vorgehen (erst Erfassung der Biozönose auf einer hohen Ebene (z.B. Abundanzen, Ernährungstypen); dann Detailanalyse auf Artebene) praktikabel ist. Durch Erstellung aktueller Bestimmungsschlüssel ist die Determination von Bodenorganismen zu vereinfachen, da viele der verfügbaren Schlüssel veraltet sind.

C. Verwendung von Mischproben

Es ist zu überprüfen, ob die Verwendung von Mischproben, wie im Rahmen von mikrobiologischen Untersuchungen etabliert, für die Vertreter der Mesofauna ohne Informationsverlust möglich ist. Dies würde zu einer erheblichen Reduktion des Probenumfanges und damit der Kosten beitragen.

D. Verbreiterung der Datenbasis (Regionen, Nutzungsformen)

Bislang wurden schwerpunktmäßig Wälder beprobt, so dass die Erfassung der Bodenorganismen in Äckern und Grünland deutlich zu verstärken ist (besonders in Nord- und Ostdeutschland). Für die Ermittlung der Erwartungswerte ist dabei eine mehrmalige Beprobung unumgänglich.

E. Qualitätssicherung

Voraussetzung für die Anwendung des BBSK-Konzeptes ist eine umfassende Qualitätssicherung bei Datenerhebung und -auswertung. Dies kann durch eine zentrale Schulung entsprechender Personen und die Aufstellung umfassender Arbeitsanweisungen erfolgen (z.B. in Analogie zu den von der AG Qualitätssicherung durchgeführten taxonomischen Trainingsworkshops im Rahmen des Bund/Länder-Messprogramms Nord- und Ostsee; vgl. UBA Jahresbericht 1998, S. 111), die dann durch Bodensachverständige bzw. Bodenbiologen/Bodenkundler umgesetzt werden.

3. Literatur

AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage

- DUNGER, W. & FIEDLER, H.J. (1997): Methoden der Bodenbiologie. Fischer Verl., Stuttgart. 539 S.
- MÜHLENBERG, M. (1993): Freilandökologie, 3. Auflage, Quelle & Meyer, Heidelberg: 512 S.
- RÖMBKE, J., BECK, L., FÖRSTER, B., FRÜND, C-H., HORAK, F., RUF, A., ROSCICZEWSKI, K., SCHEURIG, M. & WOAS, S. (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.
- SAG (1993): Konzeption zur Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. In: Handbuch des Bodenschutzes. ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., EINSELE, G. & HARRESS, H-M. (eds.) E. Schmidt Verlag, Berlin. 13. Lfg., VI/93, Teil 9401, S. 1-50.
- VAN STRAALLEN, N.M. (1998): Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology* 9: 429-437.