

Texte 20/02

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 299 74 294
UBA-FB 000268

Entwicklung von bodenbiologischen Bodengüteklassen für Acker- und Grünlandstandorte

von

**J. RÖMBKE¹, L. BECK³, P. DREHER², K. HUND-RINKE², S. JÄNSCH¹, W. KRATZ⁴, 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

KURZFASSUNG DES ABSCHLUSSBERICHTS

1. Ziele, Hintergrund und Konzeption des F+E-Vorhabens

Das Ziel des F+E-Vorhabens war die Weiterentwicklung eines Konzeptes zur Bewertung der im Bundes-Bodenschutzgesetz (1998) aufgeführten natürlichen Bodenfunktion „Lebensgrundlage und Lebensraum für ... Bodenorganismen“ (RÜCK, 1998). Das F+E-Vorhaben sollte dazu dienen, die Grundlagen für eine praktikable Umsetzung der gesetzlichen Anforderungen zur Bewertung der Bodenqualität, speziell hinsichtlich der Lebensraumfunktion für Bodenorganismen, zu schaffen. Der Schwerpunkt lag dabei auf einer Typisierung von Grünland- und Ackerstandorten, während in einem Vorläufervorhaben primär Waldstandorte untersucht wurden (RÖMBKE et al., 2000).

Langfristig soll das diesem Vorhaben zugrundeliegende Konzept der Bodenbiologischen Standortklassifikation (BBSK) Teil eines umfassenden Bewertungssystems für Böden werden, in dem auch rückstandsanalytische Untersuchungen prioritärer Schadstoffe wie auch Labortests zur Kausalitätsüberprüfung ihren Platz hätten (analog zum TRIAD-Ansatz für Sedimente; CHAPMAN et al., 1986). Die zentrale Idee des BBSK-Konzepts ist die Beurteilung eines Standorts durch einen Vergleich der vorhergesagten mit der real am Standort vorkommenden Biozönose, d.h. Maßstab ist die Biodiversität (Abbildung 1). Die theoretischen Überlegungen zum Einsatz bodenbiologischer Verfahren bei der Klassifikation von Standorten wurden schon im Vorläufervorhaben (UBA-Text 06/00; RÖMBKE et al., 2000) detailliert vorgestellt.

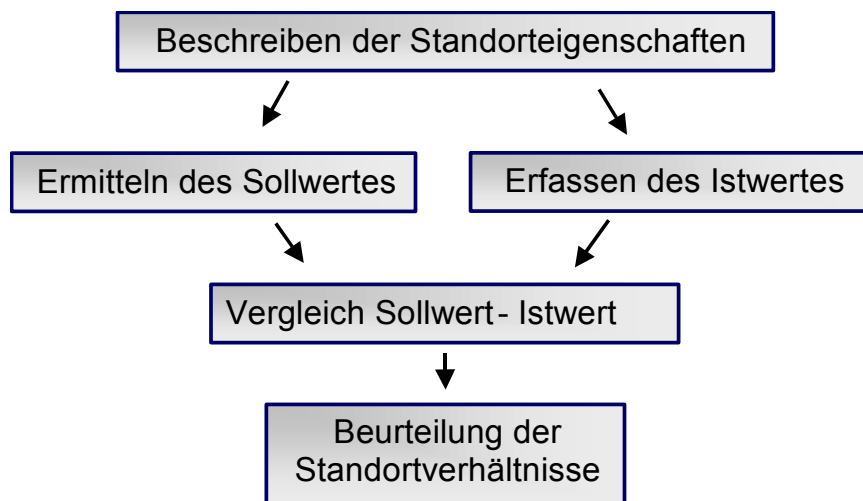


Abbildung 1: Schematische Darstellung des BBSK-Konzepts

2. Ergebnisse

2.1 Vorschlag für ein neues Konzept der Standorttypisierung

Da die Klassifizierung von Böden zu Standorttypen auf der Grundlage der BÜK (Bodenübersichtskarte) 1000 auch bei Ackerböden nicht zu einem schlüssigen Ergebnis führte, wurden erste Ansätze eines neuen Konzepts der Standorttypisierung erarbeitet (Tabelle 1). Dieses Konzept bezieht sowohl die Nutzung als auch Bodeneigenschaften (z.B. pH-Wert) ein.

Tabelle 1: Entwurf eines neuen Konzepts der Standorttypisierung

<u>1. Ebene:</u>	Nutzungsdifferenzierung (Wald, Grünland, Acker) unter Berücksichtigung von Ausschlusskriterien (z.B. für Hochgebirgsstandorte)
<u>2. Ebene:</u>	Regional-klimatische Differenzierung (Klimazonen in Deutschland oder Europa)
<u>3. Ebene:</u>	Differenzierung nach Substrattypen bzw. Bodenausgangsgesteinen
<u>4. Ebene:</u>	Feindifferenzierung nach Bodeneigenschaften (Corg, pH, usw.) analog System „BBSK I“ allerdings unterschiedlich je nach Nutzungstyp
<u>5. Ebene:</u>	Plausibilitätscheck: Überprüfung der Typisierung mit „Expert Knowledge“

Weil die Ausarbeitung, Anwendung und Überprüfung des neuen Konzepts nicht Gegenstand dieses Vorhabens war, konnten die 11 beprobten Standorte nur vorläufig klassifiziert werden (Tabelle. 2). Zuerst wurden die Standorte anhand der Nutzung (Ebene 1) differenziert. Auf den weiteren drei Ebenen wurden je nach Nutzungstyp unterschiedliche Bodeneigenschaften (Bodenart, pH-Wert, Bodenfeuchte) verwendet. Dabei wurde die Hierarchie dieser weiteren Bodeneigenschaften in Abhängigkeit vom Nutzungstyp angeordnet und spiegelt die jeweilige Priorität wider. Insgesamt konnten 28 Standorttypen unterschieden werden.

Tabelle 2: Hierarchische Ableitung von Standorttypen nach der Nutzung sowie einer Abfolge unterschiedlichen von Standorteigenschaften (Differenzierung nach pH-Wert, Feuchte und Bodenart)

Differenzierung	Standorttypen		
	Acker	Grünland	Wald
1. Ebene: Nutzung			
2. Ebene: Unterschiedlich	Bodenart: Sand --- Anders	Überflutung/Staunässe Ja --- Nein	pH- Wert: < 4,5 --- > 4,5
3. Ebene: Unterschiedlich	pH- Wert: < 5,0 --- > 5,0	pH- Wert: < 5,0 --- > 5,0	Bodenart Sand/Schluff/Lehm/Ton
4. Ebene (teils nicht ausformuliert)	?	Bodenart Sand --- Anders	Feuchte Nass ---- trocken
Anzahl Standorttypen:	4: A I – IV	8: G I – VIII	16: W I – XVI

2.2 Biologische Charakterisierung von Standorten

Auswahl der Standorte und Erfassung der Organismen

Sowohl die Auswahl der zu beprobenden Standorte als auch die Beprobung der Organismen erfolgte ohne Schwierigkeiten. Die verwendeten und im Vorläufervorhaben (RÖMBKE et al., 2000) beschriebenen Sammel- und Bestimmungsmethoden können uneingeschränkt empfohlen werden, sollten aber international standardisiert werden. Als Beispiel wurde die Erfassung von Regenwürmern bei der ISO (International Standardisation Organisation; SC 190 Technical Committee Soil) vom deutschen DIN (Deutsche Industrie-Norm) eingereicht.

Bearbeitung der Organismen

An allen Standorten wurden Nematoden, Oribatiden, Gamasinen, Enchytraeen, Regenwürmer, Isopoden, Chilopoden und Diplopoden umfassend beprobt und parallel dazu der Köderstreifen-Test durchgeführt. Erwartungsgemäß sind diese Gruppen je nach Nutzung einer Fläche unterschiedlich häufig und damit auch unterschiedlich bedeutend. Bei den Nematoden und Oribatiden wurde geprüft, ob bzw. wie stark die Verwendung von trophischen Gruppen oder höheren taxonomischen Einheiten („Großgruppen“, Familien) im Vergleich zur Artebene zu einem Informationsverlust führen würde.

Häufigkeit der Beprobung von Bodenbiozöosen

Eine für die Routineanwendung biologischer Konzepte wichtige Frage ist, wie häufig ein zu beurteilender Standort beprobt werden muss. Aus Gründen der Praktikabilität, der Kosten und einer zeitnahen Entscheidung ist die Menge an Proben in der Realität begrenzt, so dass ein Standort normalerweise nur zweimal (möglichst innerhalb eines Jahres) beprobt werden sollte. Wenn mehrere Tiergruppen beprobt werden und zudem der Standorttyp gut bekannt ist, kann eine Beurteilung auch auf der Basis einer Beprobung erfolgen. Bei Auffälligkeiten sollte zunächst eine zweite Probennahme durchgeführt werden, um den Befund abzusichern. Bei der Erarbeitung von Erwartungswerten für den jeweiligen Standorttyp sind Proben deutlich häufiger zu nehmen.

Einfluss der Nutzung auf die Bodenbiozönose

Durch Beprobung von unterschiedlich genutzten Flächen am selben Standort und daher – weitgehend – gleichen Ausgangsbedingungen konnte der Einfluss der jeweiligen Nutzungsform (Acker, Grünland, Wald) auf die Bodenbiozönose untersucht werden. Erwartungsgemäß werden endogäische Tiere (Nematoden, Enchytraeen, Regenwürmer) deutlich weniger von der Nutzungsform beeinflusst werden als Organismen der Streuschicht (z.B. Oribatiden, Makrofauna).

Generell ist eine Verarmung der Ackerfauna im Vergleich zu den beiden anderen Nutzungsformen festzustellen. Diese Ergebnisse rechtfertigen bzw. erfordern die Verwendung der Nutzungsform als wichtigstem Klassifikationskriterium bei der Definition von Standorttypen.

Identifikation einer Belastungssituation

Unter den 13 beprobten Standorten waren zwei Standorte, die anthropogen stark belastet waren (Industrieemissionen; Schwermetalle, Dioxine usw.). Für jede Tiergruppe wurde geprüft, ob sie die belasteten Standorte indizieren konnten. Als Vergleich diente ein Grünlandstandort mit ähnlichen Standorteigenschaften. Mit Ausnahme der Enchytraeen reagierten die Tiergruppen auf die beiden Belastungssituationen nur mäßig oder gar nicht negativ. Beide belasteten Flächen fallen aber bei einer statistischen Untersuchung aller beprobten Standorte häufiger als auffällig heraus als es die Ergebnisse der einzelnen Tiergruppen erwarten lassen. Dies spricht für die Verwendung einer „Batterie“ von Organismengruppen.

Auswertungsverfahren

Wie im Bericht des Vorläufervorhabens (RÖMBKE et al. 2000) ausführlich dargelegt, führte die Beprobung der Standorte zunächst zu umfassenden Organismenlisten. Im Rahmen der Auswertung war es notwendig, diese Informationen zusammenzufassen bzw. Korrelationen zu Standorttypen zu ermitteln. Um die Bodenfauna der beprobten Standorte untereinander bzw. mit Erwartungswerten (d.h. einer „virtuellen“ standorttypischen Bodentiergemeinschaft mit ihren Arten und ihrer Diversität) vergleichen zu können, wurden in Abhängigkeit von der Organismengruppe verschiedene Ansätze gewählt. Einerseits wurden tiergruppenspezifische Verfahren verwendet (z.B. der Reife- oder Maturity-Index (Nematoden, Gamasinen) bzw. die Berechnung der Dominanzidentitäten nach Renkonen (Oribatiden, Regenwürmer)). Diesen Methoden ist gemeinsam, dass ein unterschiedlich großer, aber oft erheblicher Anteil von „Expert Knowledge“ in die Beurteilung eingeht.

Darüberhinaus wurde zwei statistische Verfahren eingesetzt: zum Einen das aus entsprechenden aquatischen Konzepten wie dem englischen RIVPACS (River Invertebrate Prediction and Classification Scheme) bekannte TWINSPAN-Verfahren, zum Anderen die Korrespondenzanalyse. Sowohl TWINSPAN als auch die Korrespondenzanalyse führen zu nachvollziehbaren und plausiblen Ergebnissen. Bei einem relativ beschränkten Datensatz und damit vor allem bei der Identifikation von bodenbiologisch definierten Standorttypen ist die Korrespondenzanalyse für eine Klassifikation von Bodenorganismen am besten geeignet, während die Vorteile von TWINSPAN

primär darin liegen, neue Standorte vor dem Hintergrund existierender Standorttypen einzuordnen.

Funktionsparameter

Neben der Erfassung der verschiedenen Tiergruppen wurde ein Funktionsparameter, der Köderstreifentest, einbezogen. Dessen Vorteil ist die einfache Anwendbarkeit und der Erhalt von Informationen über die Aktivität bzw. Funktion der Organismen, unabhängig davon, welche dies im Einzelnen sind. Aufgrund der Witterungsabhängigkeit der Testergebnisse und der damit einhergehenden Unmöglichkeit, „absolute“ Erwartungswerte zu definieren, stellt dieser Test vor allem eine Zusatzinformation dar. Auffälligkeiten sowohl bei Tiergruppen als auch bei dem Funktionsparameter, d.h. eine potentielle Störung sowohl der Struktur wie auch der Funktion der Bodenbiozönose an diesem Standort, führen zu einer erheblich höheren Wertigkeit dieses Ergebnis, als wenn nur ein Parameter eine Auffälligkeit zeigen würde.

Vergleich von Erwartungs- und Ist-Werten („Auffälligkeit“)

Eine der Hauptaufgaben dieses Vorhabens war die Erarbeitung von Erwartungswerten. Parallel dazu sollte überprüft werden, ob die beprobten Standorte im Sinne des BBSK-Konzepts als auffällig einzuschätzen wären, d.h. ob es einen Unterschied zwischen Erwartungs- und Ist-Wert am jeweiligen Standort gibt. Offensichtlich unbelastete Standorte eines Standorttyps werden als repräsentativ für den jeweiligen Standorttyp angesehen. Die Erwartungswerte für einen Standorttyp sind (noch) nicht regionalspezifisch ausgerichtet, sondern decken generell Mitteleuropa ab. Bei Betrachtung aller in diesem Vorhaben und seinem Vorläufer (RÖMBKE et al., 2000) untersuchten Standorte (23) wurden sechs Standorte als auffällig eingestuft, wobei mindestens zwei Tiergruppen deutlich abweichen mussten. Neben zwei Wäldern, die z.B. durch Kalkung beeinflusst waren, zeigten alle vier norddeutschen Grünlandstandorte ungewöhnliche Ergebnisse, was sowohl durch die anthropogene Belastung als auch durch die mangelnde Datenlage im Hinblick auf die Charakterisierung der Standorte und damit Möglichkeiten der Ergebnisinterpretation erklärt werden kann. Keine Tiergruppe hatte für die Gesamtbeurteilung eine herausragende Bedeutung. Die differenzierte Reaktion der Organismen belegt, dass eine umfassende Beurteilung nur mit einem zöntischen Ansatz, d.h. unter Verwendung einer „Batterie“ von Tiergruppen möglich ist.

Bei Feststellung einer Auffälligkeit ist diese zuerst zu verifizieren ist, z.B. durch eine weitere Beprobung. Auch die Durchführung von Labortests zur Identifikation der Ursachen von Auffälligkeiten ist zu prüfen. Bei einer Bestätigung des ursprünglichen Befundes stellt sich die Frage nach den daraus resultierenden Maßnahmen. Dabei ist auch eine Kosten/Nutzen-Abwägung

zu treffen. Derartige Entscheidungen betreffen somit immer einen Einzelfall und sind, im Gegensatz zur Schadensdefinition, interdisziplinär zu fällen. Das Bodenschutzrecht gibt dazu bisher wenig Hilfestellungen. Im Fall einer anthropogene Ursache ist aber zumindest zu fordern, dass das Verschlechterungsverbot greift (z.B. kein weiterer Eintrag von Chemikalien usw.).

3. Fazit

Trotz eines immer noch sehr geringen Datensatzes liess sich in diesem F+E-Vorhaben zeigen, dass die Beurteilung der Lebensraumfunktion von Böden mit diesem Konzept bei vertretbarem Aufwand machbar ist. Weitere Verbesserungen betreffen vor allem die effiziente Bearbeitung des Tiermaterials, die Einbeziehung der Mikrobiologie sowie die Festlegung von Beurteilungskriterien.

4. Empfehlungen für das weitere Vorgehen

- A. Weiterentwicklung des neuen Ansatzes der Definition von Standorttypen auf der Grundlage einer regionalisierten Differenzierung anhand der Nutzung und Bodeneigenschaften.
- B. Neuentwicklung einer regional-klimatische Differenzierung in Abhängigkeit von der jeweils betrachteten Region auf der Grundlage vorhandener Konzepte zur Gliederung Deutschlands bzw. Europas (z.B. nach Temperatur, Niederschlag, Bodenparametern, aber auch biogeographischen Kriterien).
- C. Konkretisierung der Anforderungen an einen „Plausibilitätscheck“ (gilt sowohl bei der Ableitung von Standorttypen als auch bei deren Identifikation im Gelände). Durch die Definition von entsprechenden Kriterien ist das nie völlig zu ersetzende „Expert Knowledge“ zu strukturieren.
- D. Internationale Standardisierung der Sammelmethode von Bodenorganismen einschließlich von Angaben zur Qualitätssicherung (z.B. Anforderungen zur Dokumentation der Sammelumstände analog zu den Prinzipien der Guten-Labor-Praxis (GLP)).
- E. Erstellung von Richtlinien (z.B. analog zu Standardarbeitsanweisungen (SAAs)) einschließlich der Vorbereitung von Schulungen oder Trainingsworkshops.
- F. Auffüllung der faunistischen Daten (inkl. der Frassaktivität) zu den Standorttypen, die bisher nur einmal oder gar nicht vertreten sind. Dabei sollten Prioritäten nach Häufigkeit und Bedeutung der Standorttypen gesetzt werden.
- G. Gezielte Erhebung faunistischer Daten von einem Standorttyp aus verschiedenen geographischen und klimatischen Regionen um den Einfluss dieser Eigenschaften herauszuarbeiten und die Notwendigkeit einer weiteren Differenzierung der Standorttypen zu belegen bzw. zu verwerfen.

- H. Untersuchung des Einflusses anthropogener Belastung an Standorttypen, die biologisch gut charakterisiert sind.
- I. Parallele Durchführung zoologischer und mikrobiologischer Untersuchungen bei der bodenbiologischen Klassifikation bzw. Beurteilung von Standorten.
- J. Klärung der für jede Tiergruppe optimalen taxonomischen Ebene in Hinblick auf Arbeitsaufwand und Aussageschärfe sowie Erarbeitung von Expertensystemen zur Vereinfachung der Determination von Arten.
- K. Standardisierung von molekularbiologischen Methoden zur Erfassung der mikrobiellen Diversität im Boden und Erarbeitung von Kriterien zur Ergebnisinterpretation.
- L. Weiterführung bzw. Vertiefung der statistischen Auswertung (sowohl TWINSPAN als auch CANOCO (= Kanonische Korrespondenzanalyse), z.B. durch Erhöhung der mittels TWINSPAN zu verarbeitenden Artenzahlen, Überprüfung der Auswertung über unterschiedliche taxonomische Ebenen oder durch eine Verbesserung der visuellen Darstellung der CANOCO-Ergebnisse.
- M. Die bisherige Vorgehensweise ist dahingehend zu modifizieren (insbesondere hinsichtlich der Auswertung), dass sie mit der Anwendung auf lokaler Ebene (Stichwort: Bauleit- und Landschaftsplanung) kompatibel wird.
- N. Auf Grundlage einer verbreiterten Datenbasis Erstellung einer weitgehend automatisierten multivariaten Auswertung mit klaren und nachvollziehbaren Kriterien für Abweichungen bzw. Auffälligkeiten.
- O. Einbeziehung von stochastischen Verfahren (fuzzy logic) zur Einteilung von Standorttypen und der Definition von typischen faunistischen Kennwerten bzw. Zönosen.

4 Literatur

- CHAPMAN, P.M. (1986): Sediment quality criteria from the sediment quality TRIAD. *Envir. Toxicol. Chem.* 5: 957-964.
- RÖMBKE, J., DREHER, P., BECK, L., HAMMEL, W., HUND, K., KNOCHE, H., KÖRDEL, W., KRATZ, W., MOSER, T., PIEPER, S., RUF, A., SPELDA, J. & WOAS, S. (2000): Bodenbiologische Bodengüte-Klassen. UBA-Texte 6/00, 276 S.
- RÜCK, F. (1998): Fachliche Massstäbe zur Ableitung von Bodenqualitätsziele. In: *Das Schutzgut Boden in der Naturschutz- und Umweltplanung*. JESSEL, B. (ed.) Laufener Seminarbeiträge 5/98. Bayerischer Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL), S. 81-86.

Development of Soil Biological Quality Classes for Crop and Meadow Sites

SUMMARY OF THE FINAL REPORT

1. Aims, background and concept of the project

The project's aim was improving of the assessment of the habitat function as defined in the Federal Soil Protection Act (BBodSchG 1998): „soil as a basis for life and a habitat for ... soil organisms“ (RÜCK 1998). Using the results of this R+D-project it should be possible to fulfil the legal requirements for assessing the quality of soil, especially concerning its habitat function. The work focussed on the classification of crop and meadow sites, whereas in a former project primarily forest sites were investigated (RÖMBKE et al. 2000).

In the long run, the concept used in this project (named „Soil Biological Classification Concept“; abbreviated as BBSK) will be part of a general assessment system. In this system, residue analysis of known contaminants as well as laboratory tests for studying causal relationships will be used (in analogy to the TRIAD-concept used in sediment ecotoxicology; CHAPMAN et al. 1986). The main idea of the BBSK-concept is the assessment of a specific site by comparing the potential biocoenosis living at that site with the biocoenosis really found there. In other words: Biodiversity is the main criterion (Fig. 1). The theoretical considerations on the use of soil biological methods available for the classification have been published already in a previous project (UBA-Text 06/00; RÖMBKE et al., 2000).

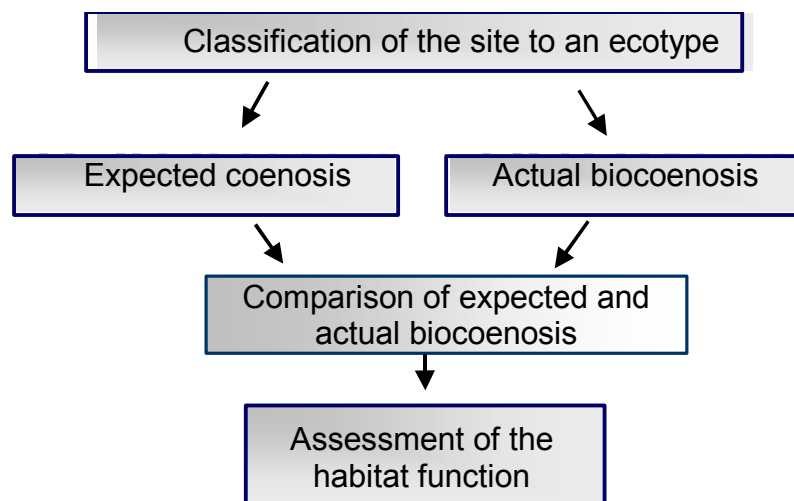


Fig. 1: Schematic overview of the BBSK-concept

2. Results

2.1 Proposal for a new concept for the classification of ecotypes

Since the use of the BÜK (soil survey map) 1000 as a basis for the classification of ecotypes was not successful to investigate crop sites, first ideas of a new concept were put together (see Tab. 1). This new one includes the land use of a site as well as its soil properties (e.g. the pH-value).

Tab. 1: Outline for a new concept for the classification of ecotypes

<u>1. Level:</u>	Differentiation according to land use (forests, meadows, crop sites) including the exclusion of extreme sites (mountainous areas)
<u>2. Level:</u>	Differentiation according to regional and climatic zones (Germany as well as Europe)
<u>3. Level:</u>	Differentiation according to substrate and parent material
<u>4. Level:</u>	Refined differentiation according to soil properties (Corg, pH, etc.) as defined in the previous BBSK project (RÖMBKE et al. 2000)
<u>5. Level:</u>	Check of plausibility: Examination of the classification by „expert knowledge“

Since the detailed elaboration and examination of the new concept was not aim of this project, only a preliminary classification of the thirteen sampled sites was possible (Tab. 2). Firstly, the sites were classified according to their land use (Level 1). Secondly, depending on the land use, different soil properties (soil texture, pH-value, soil moisture) were used for the next three levels. These other level were ordered hierarchically, thus mirroring their priority. In total, 28 ecotypes could be distinguished.

Tab. 2: Hierarchical classification of ecotypes according to land use and various soil properties (differentiation according to soil type, pH-value, soil moisture)

Differentiation	Ecotypes		
1. Level: Land use	Crop sites	Meadows	Forests
2. Level: Different	Soil texture Sand --- Other	Flooding/Backwater Yes --- No	pH- Wert: < 4,5 --- > 4,5
3. Level: Different	pH- value < 5,0 --- > 5,0	pH- value < 5,0 --- > 5,0	Soil texture Sand/Silt/Loam/Clay
4. Level (partly not finished yet)	?	Soil texture Sand --- Other	Moisture wet ---- dry
Number of ecotypes:	4: A I – IV	8: G I – VIII	16: W I – XVI

2.2 Biological characterisation of the sites

Selection of sites and sampling of organisms

The selection of the sites to be investigated as well as the sampling of the organisms was performed without problems. The sampling and determination methods, already described in the report of the previous project (RÖMBKE et al., 2000), can be recommended without limitation. However, since international standardisation is necessary, the German delegation (DIN = Deutsche Industrie-Norm) proposed the standardisation of field sampling methods for soil invertebrates (using earthworms as an example) as new activity within ISO (International Standardisation Organisation) SC 190 (Technical Committee Soil) in the autumn of 2001.

Determination of organisms

At all sites, nematods, oribatids, gamasids, enchytraeids, earthworms, isopods, chilopods and diplopods were sampled. Simultaneously, the bait-lamina test was performed. As expected, the abundance of these groups was different at the various sites, mainly depending on the respective land use. Accordingly, the importance of the animal groups was different at the different sites. In the case of nematods and oribatids it was examined, whether the use of trophic groups or higher taxonomic units (e.g. families) leads to a loss of information compared to the use of species.

Frequency of sampling dates

In case of routine application of the BBSK concept it is an important question, how often a specific site has to be sampled before an assessment is possible. Due to practical reasons (costs, and the necessity of quick decisions) in reality the number of sampling dates is rather limited. Therefore, two sampling dates should usually be performed. If several organism groups have been studied and if the specific ecotype is biologically well investigated, an assessment based on just one sampling date can be done. In case of conspicuous results, a second sampling is strongly recommended in order to confirm the assessment. When defining the „normal“ (i.e. expected) biocoenosis for a specific ecotype, of course much more samplings have to be done.

Effects of land use on the soil biocoenosis

Due to the sampling of differently used areas on the same site (having – probably – the same soil properties, climatic conditions etc.) it was possible to investigate the influence of land use on the respective biocoenosis. As expected, endogeic animals (nematods, enchytraeids, earthworms) were clearly less affected by the land use than organisms living primarily in the litter layer (e.g. oribatids

and the macrofauna). In general, the biocoenosis inhabiting crop sites can be considered as being impoverished in comparison to the biocoenosis of meadows and forests. These results confirm the necessity of using the land use as an important criterion for the classification of ecotypes.

Identification of contamination

Among the 13 sampled sites there were two sites, where the soil was anthropogenically contaminated (e.g. by industrial emissions, heavy metals, dioxins etc.). For each animal group it was examined, if they could be used as an indicator for contaminated land. For comparative purposes a meadow site with similar soil properties was used. Except of enchytraeds no animals were or at least not strongly affected on the contaminated sites. However, both contaminated sites were assessed as being „conspicuous“ when compared statistically with the overall number of sites, using the data of all animal groups. These results confirm the necessity of using a „battery“ of animal groups instead relying on one or few animal groups.

(Statistical) evaluation methods

As already laid down in the previous report (RÖMBKE et al. 2000), the first results of the sampling of the various sites were a number of comprehensive lists of organisms. This information had to be summarised in order to determine correlations between the occurrence of organisms and the soil properties. Several attempts were made to compare the soil biocoenosis at the sampled sites first among themselves and than compared to the expected values (i.e. a „virtual“ ecotype specific soil biocoenosis). Depending on the respective animal group very specific methods were used: e.g. the maturity-index for nematods and gamasids, or the dominance identities (e.g. the Renkonen-index) were calculated for oribatids and earthworms. All these assessment methods require a considerable but different amount of „expert knowledge“.

Additionally two statistical methods were used: firstly TWINSpan (a method often used in biological classification concepts for the aquatic environment; e.g. the English concept RIVPACS (= River Invertebrate Prediction and Classification Scheme)) and secondly, the CANOCO (= canonical correspondance analysis). Both methods provided reliable and comprehensible results. If only few data are available (especially when defining ecotypes biologically), the correspondance analysis is most suitable for a biological classification concept. When new sites have to be integrated into an existing system of ecotypes, TWINSpan is advantageous.

Functional tests

Besides sampling the various animal groups a functional test, using bait-lamina, was performed. This test is simple to carry out and has the advantage to deliver information about the activity of organisms in the soil (independently which animals are feeding on the baits). Due to the influence of climatic conditions the test results cannot be directly correlated with soil properties and, hence, the definition of „expected values“ is not possible for bait-lamina. Therefore, this test is mainly providing an additional information when evaluating a site which has been assessed as being „conspicuous“. The ecological valence of such a result is much higher if it is based on data of one or several animal groups and on data from a functional test as well, because in such case the structure and the function of the soil ecosystem at the assessed site might be affected.

Comparison of expected and actual values („conspicuousness“)

One of the main intention of this project was the definition of expected values. Besides of that, it should be examined whether the sampled sites have to be assessed according to criteria defined by the BBSK concept (i.e whether there is a difference between expected and actual value). Clearly uncontaminated and „unconspicuous“ sites are considered to be representative for the respective ecotype. The expected values for a certain ecotype are not regionally specified (yet), but cover more or less Central Europe. Summarising the results of all sites that were studied in this project and the previous one (RÖMBKE et al., 2000; in total 23) six sites were assessed as being „conspicuous“. To be classified as „conspicuous“, at least two animal groups must show differences between expected and actual values. Besides two forests, which were for example affected by the application of lime), all four Northern German meadow sites were assessed as „conspicuous“. This result can be explained by insufficient knowledge for these ecotypes and, at least partly, by their chemical contamination. No animal group was more suitable than any other for the assessment of soil quality. Therefore, a comprehensive assessment is only possible when using a „battery“ of organisms which can be used for this purpose.

When stating a conspicuousness at a certain site, firstly this result has to be confirmed – e.g. by performing another sampling. Additionally, laboratory tests might be suitable to identify the cause of a conspicuousness. After confirmation of the first result, further measures have to be proven, including a cost-benefit-analysis. Such examinations are always site-specific and can only be decided after co-operation of experts from various disciplines. The Federal Soil Protection Act does

not clarify this problem. If the conspicuousness is caused by anthropogenic actions, at least the „impairment command“ takes place (e.g. no further imission of chemicals).

3. Conclusion

Despite the fact that there are still very few data the results of this project show that the assessment of the habitat function of soils is possible with the BBSK concept (while still being practicable). Further improvements are necessary concerning the more efficient determination of animals, the inclusion of microbiological parameters as well as a better definition of assessment criteria.

4. Recommendations for further actions

- A. Improvement of the new approach for the definition of ecotypes based on a regional differentiation according to land use form and soil properties.
- B. Redevelopment of a regionalclimatic differentiation subject to the respective region by using concepts available for Germany or Europe (e.g. according to temperature, precipitation, soil properties, but also biogeographic criteria).
- C. Concretion of requirements used for the check of plausibility (this is true for the definition of ecotypes as well as for their identification in the field). By defining such criteria the use of „expert knowledge“ will be structured.
- D. International standardisation of sampling methods for soil organisms including the definition of quality assurance criteria following GLP requirements (e.g. when documenting the sampling conditions).
- E. Compilation of guidelines (e.g. according to Standard Operation Procedures (SOPs)) including preparation of training records or workshops.
- F. Enhancement of the quantity of biological data (i.e. for various animal groups as well as feeding rates) for those ecotypes, which have been sampled only rarely so far. These ecotypes should be selected according to their importance and their frequency of occurrence.
- G. Sampling of various animal groups at sites belonging to one ecotype but which are located in different geographic and climatic regions in order to determine the influence of these factors. Depending on the results, the necessity for further differentiation will be worked out.
- H. Investigation of the effects of anthropogenic stress factors on the composition of the soil biocoenosis (especially for ecotypes well-known biologically).
- I. Performance of zoological and microbiological investigations simultaneously at the same sites in order to integrate these two endpoints for the biological assessment of soils.

- J. Clarification of the optimum taxonomic level for each animal group with regard to its workload and accuracy including the preparation of expert systems. Final aim is the simplification of species determination.
- K. Standardisation of molecularbiological methods for the investigation of the microbial diversity in soils (including the development of methods for data interpretation).
- L. Continuation and further development of the statistical evaluation (TWINSPAN as well as CANOCO), for example by using an increasing number of species in TWINSPAN, reviewing the assessment while using different taxonomic levels or improving the visual presentation of the CANOCO-results.
- M. The previously proposed BBSK concept has to be modified in a way (especially concerning data evaluation), that it can be used by local authorities (e.g. landscape planning or construction planning). First efforts are made by a working group of the BVB (Bundesverband Boden), headed by Prof. Dr. Dr. Wilke).
- N. Based on a broader data basis, the statistical (e.g. multivariate) evaluation can be automated, using clear and comprehensible criteria for „conspicuousness“.
- O. Inclusion of statistical methods like fuzzy logic for the definition of ecotypes and the determination of the typical biocoenosis belonging to these ecotypes.

4 References

- CHAPMAN, P.M. (1986): Sediment quality criteria from the sediment quality TRIAD. *Envir. Toxicol. Chem.* 5: 957-964.
- RÖMBKE, J., DREHER, P., BECK, L., HAMMEL, W., HUND, K., KNOCHE, H., KÖRDEL, W., KRATZ, W., MOSER, T., PIEPER, S., RUF, A., SPELDA, J. & WOAS, S. (2000): Bodenbiologische Bodengüte-Klassen. UBA-Texte 6/00, 276 S.
- RÜCK, F. (1998): Fachliche Massstäbe zur Ableitung von Bodenqualitätsziele. In: *Das Schutzgut Boden in der Naturschutz- und Umweltplanung*. JESSEL, B. (ed.) Laufener Seminarbeiträge 5/98. Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL), S. 81-86.