

Diskussionsbeiträge

Erfassung und Bewertung stofflicher Bodenbelastungen

Konzeptionelle und methodische Fragen

Werner Kördel, Kerstin Hund, Werner Klein

Fraunhofer-Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie, D-57392 Schmallenberg

Korrespondenzautor: Dr. Werner Kördel

Zusammenfassung

Zum Schutz von Böden vor chemischen Belastungen sind einerseits die grundsätzlichen stoffbezogenen Aspekte zu beachten, andererseits die in Raum und Zeit sowie in den natürlichen Ausstattungen unterschiedlichen Charakteristika von Böden. Dies hat zur Folge, daß auch gemäß dem Entwurf des Bundes-Bodenschutzgesetzes zwischen diesen beiden Schwerpunkten zu differenzieren ist.

Für den stoffbezogenen Schwerpunkt ist standortunabhängig die Ermittlung und Festlegung von Vorsorge-, Prüf- und Gefahren-Werten einer spezifischen Substanz in Böden im Hinblick auf die Erhaltung allgemeiner natürlicher Bodenfunktionen erstes Ziel. In einer weiteren Differenzierung zur Spezifizierung von Gefahrenwerten für Standorttypen sind dann Boden-, Klima- und Nutzungs-bezogene Gegebenheiten einzubeziehen. Dieser Bewertungsschwerpunkt betrachtet den anthropogenen Eintrag einer bestimmten Chemikalie in repräsentative Böden und versucht methodisch die Übertragung von experimentell ermittelten chemischen und biologischen Befunden auf andere Szenarien.

Für den bodenbezogenen Schwerpunkt ist es das Ziel, Handlungsanweisungen und gegebenenfalls Nutzungseinschränkungen festzulegen. Hierfür hat eine standortspezifische Qualitätserfassung aufgrund des vorhandenen Kontaminationsausmaßes zu erfolgen. Ein wesentliches Problem hierbei liegt in der Notwendigkeit einer Aussage über schädliche Veränderungen von Bodenfunktionen zu treffen, ohne sichere Daten über die Qualität des Standortbodens ohne diese Belastung zu haben: der unbelastete Kontrollboden liegt nicht vor. Teilweise ist dieses Problem heute dennoch lösbar durch die Heranziehung von ökotoxikologischen Summenparametern und substanzspezifisch ermittelten chemischen Analysedaten, zusammen mit einer Abschätzung der Standortausstattung aufgrund Bodeneigenschaft (Bodentyp), Klima und Nutzung.

Schlagwörter: Böden; chemische Belastungen; Bundes-Bodenschutzgesetz; Qualitätserfassung, standortspezifische; Gefahrenwerte; Standorttypen

1 Einleitung

Zweck des Entwurfs des Bundes-Bodenschutzgesetzes ist es, den Boden vor schädlichen Veränderungen zu schützen sowie die Besorgnis nachteiliger Einwirkungen auf den Boden so weit wie möglich abzuwenden. Schutz bedeutet deshalb, nicht nur die Nutzungsfunktionen der Böden in ihrer Leistungsfähigkeit zu erhalten oder wiederherzustellen, sondern auch Bodenfunktionen vorsorgend zu schützen.

Der Bodenschutz beschränkt sich dabei auf anthropozentrische Ansätze, d.h. der Nutzung durch den Menschen. Deshalb ist es Hauptziel mit der Festlegung von „Maximal-Belastungswerten“ für Böden, die Exposition des Menschen auf direkten und indirekten Pfaden möglichst risikolos zu gestalten und die Nutzungsfunktionen der Böden zu erhalten (EIKMANN und KLOKE, 1993). In der Land- und Forstwirtschaft ist dies vornehmlich die Produktionsfunktion, so daß der Schutz natürlicher Bodenfunktionen mit Multifunktionalität untergeordnete Bedeutung hat. Betrachtet man Böden als eine limitierte, natürliche Ressource, und sieht man darüber hinaus die Tatsache, daß von einem belasteten Standort ein Transport der Belastung, z.B. in das Grundwasser, möglich ist, ergibt sich ein Zielkonflikt zwischen Flächenverbrauch für Gewerbeansiedlung und Wohnbebauung sowie intensiver ertragsbezogener Landwirtschaft gegen den Schutz dieser Ressource.

Die Ableitung von Richt- und Normwerten für Böden basiert zum einen auf der direkten Exposition des Menschen, z.B. Bodenaufnahme von Kleinkindern auf Spielplätzen, und der Schadstoffaufnahme über Nahrungsmittel sowie über Trinkwasser (MÜLLER-WEGENER, 1993).

Es besteht weitgehend Konsens, daß ein vorsorgender Bodenschutz auch Schutz der komplexen Bodenökosysteme bedeuten muß. Das Argument, daß ein anthropozentrisch ausgerichteter Bodenschutz auch in sich die natürlichen Bodenfunktionen mit einschließt, ist nur teilweise richtig, da er Wechselbeziehungen zwischen Flächen nicht berücksichtigt und langfristige Folgen der Nutzung zum Teil unbekannt sind.

Ein pragmatisches Untersuchungskonzept hat Fakten zur Quantifizierung der Kriterien in diesen Zielkonflikten zu liefern. Für den Teil, der sich auf anthropogene Belastungen bezieht, ist dabei eine unterschiedliche Untersuchungskonzeption für stoffbezogene und bodenbezogene Informationserarbeitung notwendig. Bei der stoffbezogenen Methodik werden die Konsequenzen des Stoffeintrags im Hinblick auf das Verhalten des Stoffes und seine Wirkungen auf das Ökosystem Boden untersucht. Bei der bodenbezogenen Informationserarbeitung ist festzustellen, inwieweit natürliche Bodenfunktionen eingeschränkt oder gar gestört

sind, wobei eine Vielzahl von Ursachen möglich sind. Die Ursachen sind dann bei der Erkenntnis schädlicher Auswirkungen zu identifizieren und eventuell Maßnahmen zu ergreifen.

Im folgenden soll ein Überblick über den Wissensstand und die Untersuchungskonzepte zur Erarbeitung stoffbezogener und bodenbezogener Informationen mit dem Ziel der zuverlässigen Bodenbewertung gegeben werden.

2 Stoffbezogene Konzepte für Informationserhebung und Bewertung

Für das stoffbezogene Vorgehen werden die Erfahrungen aus der stoffbezogenen Gesetzgebung wie z.B.

- dem Chemikaliengesetz
- dem Pflanzenschutzgesetz
- der Düngemittelverordnung
- dem Lebensmittel- und Futtermittelgesetz

genutzt. So wird z.B. für die Zulassung eines Pflanzenschutzmittels ein umfangreicher Datensatz gefordert, der neben toxikologischen Untersuchungen, einschließlich Metabolismus und Fragen zur Wirksamkeit des Mittels, auch Studien hinsichtlich des Umweltverhaltens umfaßt. Ziel der umweltorientierten Untersuchungen eines Wirkstoffes ist es zu vermeiden, daß bei der Anwendung schädliche Auswirkungen auf das Grundwasser oder sonstige erhebliche schädliche Auswirkungen insbesondere auf den Naturhaushalt auftreten (KLEIN et al., 1993).

Hierzu gehört die Bearbeitung folgender Teilaspekte:

- Abbauverhalten/Metabolismus im Boden, in aquatischen Systemen, Luft und Vegetation
- Anreicherung im Boden einschließlich Bildung von nicht extrahierbaren Rückständen
- Akkumulation in Pflanzen und Fischen
- Mobilität, Grundwasserschutz
- Wirkungen auf terrestrische Organismen (z.B. Mikroorganismen, Regenwürmer, Bienen, Pflanzen) und Systeme
- Wirkungen auf aquatische Organismen (z.B. Algen, Daphnien, Fische, Sedimentbewohner) und Systeme

Die stoffbezogene Informationsbearbeitung im Bodenschutz sollte sich an den Bereichen orientieren, welche sich für die vorliegende Stoffgesetzgebung ergeben, wobei der zu beachtende Kriteriensatz problemangepaßt auszuwählen ist.

In der stoffbezogenen Bodenbewertung dominiert bisher der Schutz des Menschen; stoffbezogene Bewertungskonzepte hinsichtlich der **menschlichen Gesundheit** liegen daher weitgehend vor. Wesentliche Punkte hierbei sind die direkte Aufnahme und die indirekte Aufnahme von Schadstoffen sowie der Grundwasserschutz im Hinblick auf die Trinkwassergewinnung. Bei der direkten Aufnahme spielt die Exposition über orale Bodenaufnahme insbesondere bei Kleinkindern die entscheidende Rolle (z.B. Szenarium Kleinkind – Kinderspielplatz). Weitere Expositionsrouten sind z.B. dermale Aufnahme über die Bodenoberfläche (Liegewiese) und inhalative Aufnahme über Bodenaufstaub (Winderosion, Spiel- und Bolzplätze, Bodenbearbeitung)

(EIKMANN und KLOKE, 1993). Für eine Belastung über Nahrungsmittel sind aus Bodenschutzgründen zunächst die Transferpfade Boden – Pflanze von Interesse. Hier hat sich bei der Auswertung der vorliegenden Daten zu der Pflanzenaufnahme von Schwermetallen gezeigt, daß der verfügbare, neutralsalzlösliche Anteil entscheidend ist (ZEIEN und BRÜMMER, 1989; KNOCHÉ et al., 1994). Für organische anthropogene Schadstoffe werden z.Zt. Extraktionsmethoden entwickelt, die die Elutionskraft des Porenwassers simulieren und somit den mobilen verfügbaren Anteil erfassen sollen (SÜßKRAUT et al., 1994). Grundwasser – zumindest der Anteil, der für Trinkwassergewinnung genutzt wird oder möglicherweise in Zukunft genutzt werden kann – sollte so geschützt werden, daß ohne großen technischen Reinigungsaufwand dieses als qualitativ hochwertiges Trinkwasser auch weiterhin zur Verfügung steht.

Unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Ressourcenschutzes und wissend, daß Grundwasserkontaminationen langfristig persistent sind, ist diese auf jetziger Planung basierende Strategie selbstverständlich unzureichend.

Bei Untersuchungen zu den **Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften** von Böden sind nach dem stoffbezogenen Konzept sowohl die Auswirkungen des Bodens auf den zu untersuchenden Stoff selbst hinsichtlich Festlegung und Abbau als auch die Auswirkungen des Stoffes auf die Bodenfunktionen zu betrachten. Wie **Tabelle 1** verdeutlicht, liegen zur Beurteilung der Filter- und Pufferfunktion des Bodens hinsichtlich Mobilität, Geoakkumulation und Säurepuffer ausreichende und erprobte Testmethoden vor. Gleiches gilt für die Erfassung der Stoffumwandlungsfunktion mit abiotischem Abbau, biotischem Abbau/Metabolismus und der Bildung von NER. Hinsichtlich des Grundwasserschutzes bedarf es einer integrativen Betrachtung von Stoffeigenschaften (Mobilität, Abbauverhalten), Bodeneigenschaften, Klima und Substanzkonzentrationen (Einträge) im Boden. Für eine Zusammenfassung der Einzelergebnisse haben sich mathematische Modelle als nützlich und effektiv erwiesen und können deshalb heute routinemäßig eingesetzt werden.

Für die Erfassung der **Lebensraumfunktion** (→ **Tabelle 2**) liegen z.T. standardisierte Testverfahren vor bzw. sind in der Entwicklung oder Standardisierung. Die Testabfolge setzt sich aus (Einzelspezies-)Labortests aus den Bereichen Mikroorganismen, Mesofauna, Makrofauna und Flora zusammen. In einem weiteren Schritt folgen Mikrokosmenuntersuchungen unter kontrollierten Bedingungen zur Erfassung der Wechselwirkung zwischen den trophischen Ebenen unter definierter Schadstoffbelastung. Diese Mikrokosmenuntersuchungen können durch Plot- und Feldversuche ergänzt bzw. ersetzt werden (EIJSAKERS, 1994).

Zur Erfassung des Substanzeinflusses auf die **Produktionsfunktion** des Bodens liegen aus der land- und forstwirtschaftlichen Forschung und Praxis Erfahrungen vor. Als standardisierter Labortest steht nur der Keimungs- und Wachstumstest mit höheren Pflanzen zur Verfügung. Dieser „Grundtest“ gibt jedoch keine Aussagen im Hinblick auf die Produktionsfunktion und muß durch weitere nutzungsbezogene „Pflanzentests“ sowohl unter kontrollierten Be-

Tabelle 1: Stoffbezogene Methodik für die Bearbeitung im Bodenschutz

Filter-, Puffer- und Stoffwandlungseigenschaften in Bezug auf den zu bewertenden Stoff		
Filter- und Pufferfunktion	Mobilität	Screening Tests Adsorption/Desorption Säulenversuche Lysimeterversuche
	Geoakkumulation Säurepuffer	Monitoring Verschiebung der Pufferbereiche
	Grundwasserschutz	integrative Betrachtung von Stoffeigenschaften, (Mobilität, Abbau), Bodeneigenschaften, Klima und Substanzkonzentration, Anwendung von Modellen
Stoffumwandlungsfunktion	abiotische Umwandlungen biotischer Abbau/ Metabolismus Bildung von NER	Photoabbau, Hydrolyse Labor-, kontrollierte Freiland- und Feldversuche Versuche mit ¹⁴ C-markierten Ausgangsverbindungen

Tabelle 2: Stoffbezogene Methodik für die Bearbeitung im Bodenschutz

Lebensraumfunktion in Bezug auf den zu bewertenden Stoff		
Mensch:	siehe Schutzziel Mensch	
(Einzelspezies-) Labortests:		
Mikroflora:	Bakterien/Pilze	z.B. Biomassebestimmung, Basalatumung/substratind. Atmung, Dehydrogenaseaktivität, N-Mineralisierung
Mesofauna:	Nematoden Collembolen	Mortalität
Makrofauna:	Kompostwurm	Mortalität/Lebenszyklus
Flora:	z.B.: Hafer, Rübe, Bohne	Keimungs- und Wachstumstests
Multispezietests/ Ökosystemausschnitt		
Mikrokosmen:	Wechselwirkungen der verschiedenen trophischen Ebenen unter Substanzbelastung; kontrollierte Bedingungen	
Plot- und Feldversuche:	Wechselwirkungen der verschiedenen trophischen Ebenen unter Substanzbelastung; natürliche Bedingungen; spezifischer Boden- und Klimabezug	

dingungen als auch in Plotversuchen im Freiland ergänzt werden. Neben dem Wachstum der Pflanzen (dem Ertrag) spielt auch die mögliche Aufnahme des zu untersuchenden Stoffes durch Futter- und Nahrungspflanzen eine Rolle, um

eine Belastung über die Nahrungsaufnahme auszuschließen. Bei mikrobiellen Bodenuntersuchungen wird der Kohlenstoff- und Stickstoffkreislauf als Indikator für die Bodenfruchtbarkeit untersucht. Auch Methoden zur Erfassung der mikrobiellen Enzymaktivität werden eingesetzt. Zur Erfassung der integrierten Abbauleistung von Organismengemeinschaften werden z.B. in Böden Streubeutelversuche eingesetzt.

Ein wesentliches Ziel der stoffbezogenen Bearbeitung ist es, **tolerierbare Einträge** festzulegen. Bei Schwermetallen wird dabei das Konzept verfolgt, daß ein maximales Auffüllen des Bodengehaltes auf den Prüfwert innerhalb der nächsten 100 Jahre tolerierbar ist (VDI 3956, 1994). Die gleiche Vorgehensweise ist für persistente, nicht mobile anthropogene organische Schadstoffe denkbar, wenn ein völliges Verbot des Eintrags aus technischen und ökonomischen Gesichtspunkten nicht möglich oder nicht vertretbar ist. Für abbaubare organische Schadstoffe gilt es für verschiedene Bodennutzungen Mobilität und Abbau zu betrachten, um so zu Angaben über die zu erwartende Bodenkonzentration in Abhängigkeit des Eintrags zu kommen. Der luftgetragene Eintrag von Säuren ist für landwirtschaftliche Kulturböden von untergeordneter Bedeutung, da die Flächen routinemäßig gekalkt werden. Für Waldböden und naturnahe Ökosysteme ist z.B. ein Säureeintrag generell unerwünscht, da er früher oder später zur Erschöpfung der Pufferfunktion des Bodens führen wird. Eine Beschränkung auf technisch und ökonomisch vertretbare Minimalimmissionen ist daher nötig.

3 Bodenbezogene Konzepte für Informationserhebung und Bewertung

Stoffbezogene Wirkungsuntersuchungen basieren grundsätzlich auf dem Vergleich eines definiert belasteten „Testsystems“ mit einer Kontrolle. Eine bodenbezogene Bewertung stellt die Anforderung, ohne übliches Kontrollsystem auszukommen. Aufgabe der angewandten Forschung einschließlich der ergebnisorientierten Ökosystemforschung wird es sein, die wesentlichen Bodenfunktionen durch geeignete Testmethoden zu erfassen sowie typische Wertebereiche für die Befunde bei unbelasteten Böden vorzuschlagen. Grundlage einer Strategie bildet das Aufstellen von repräsentativen Szenarien. Diese Szenarien basieren auf typischen Bodentypen, Bodennutzungen und Standorten einschließlich des dort vorherrschenden Klimas sowie standortgegebene geogene Grundbelastungen und zusätzliche anthropogene Belastungen. Ein typisches Szenarium beinhaltet somit einen ausgewählten Boden einschließlich der dazugehörigen Standortfaktoren und der spezifischen Nutzung (z.B. Ackerboden). Je nach Bodennutzung, Standort und Belastung müssen die Bodenfunktionen jeweils spezifisch innerhalb eines definierten Szenariums hinsichtlich ihrer Bedeutung eingeordnet werden, so daß gegebenenfalls Tests entfallen können (DEBUS et al., 1994).

Solange dieses Basiswissen nicht vorliegt, muß auf dem derzeitigen Kenntnisstand eine pragmatische Vorgehensweise mit Nutzung der bestmöglichen Informationen vorgeschla-

gen werden, um den jeweiligen Bodenzustand – wenn auch mit geringerer Aussageschärfe – bestimmen zu können.

Für die Erfassung der Qualität eines Standortbodens wird vorgeschlagen, zulässige Schwankungsbreiten für die Ausstattung (Ausstattungsbereiche) in bodenchemischer und bodenbiologischer Sicht für Standorttypen zu definieren, und durch Vergleich der tatsächlichen Ausstattung zu erfahren, ob die Qualität dem Standorttyp entspricht. Auch unter dem bodenbezogenen Konzept ist für die Ermittlung der Ursachen einer Bodenqualitätsminderung eine chemische und ökotoxikologische Analytik notwendig.

1. Bestimmung der Gesamtgehalte der im Boden erwarteten Kontaminanten über (standardisierte) chemische Analysen, um einen Bezug zu der stoffbezogenen Konzeption zu haben.
2. Bestimmung der mobilen, bioverfügbaren Anteile an Kontaminanten, die Hinweise auf den Status von Bodenfunktionen gibt (→ *Tabelle 3*).
3. (Öko)toxikologische Untersuchungen mit terrestrischen Organismen, die als biologische Summenparameter schädliche Auswirkungen der Kontamination indizieren sollen, d.h. Beeinträchtigung von Lebensraumfunktionen aufzeigen sollen.

Die Untersuchungsstrategie zur Erfassung der Stoffbelastung auf die Bodenqualität beginnt in der Regel mit der Bestimmung der „Gesamtgehalte“ von Chemikalien, die im Boden erwartet werden und die größtenteils bereits toxikologisch untersucht und bewertet wurden. Die Analyse ist Grundlage für die Abschätzung einer Gefährdung des Menschen, die von dem betrachteten Standortboden ausgehen kann. Da der Gesamtpool an belastenden Stoffen bzw. Schadstoffen einschließlich der aus Einträgen entstandenen Metaboliten/Abbauprodukte chemisch-analytisch grundsätzlich nicht erfassbar ist, muß als Hilfsparameter das gesamte Wirkpotential eingeführt werden, welches über „ökotoxikologische Analytik“ (Einzelspezies-tests und eventuell Biomarker) erfaßt wird.

Zusätzlich zu den sogenannten Gesamtgehalten sollten die mobilen, verfügbaren Anteile getrennt erfaßt werden. Für Schwermetalle hat sich die Neutralsalzextraktion z.B. mit NH_4NO_3 bewährt, für organische Industriechemikalien muß die Methodik noch optimiert werden. Gelingt es, mit geeigneten Extraktionsmethoden den mobilen, verfügbaren Anteil im Boden zu erfassen, so werden für die vorgesehene Bewertung bodenunabhängige Befunde erhalten, da z.B. standortbodenspezifische Sorptionseigenschaften bereits bei der Befunderhebung erfaßt sind. Das Verhältnis Gesamtgehalte zu mobilen Anteilen erlaubt Rückschlüsse auf die Mobilität der Schadstoffe und somit auch auf ein Grundwassergefährdungspotential. Gleichzeitig dient es als Grundlage für Modelle für die bodenspezifische Abschätzung von Transferfaktoren und somit einer Anreicherung in Pflanzen.

Die chemischen Analysen sollten durch schnell und einfach durchzuführende ökotoxikologische Analysen mit standardisierten Ökotox-Tests (z.B. Alge, Daphnien, Mikroorganismen) ergänzt und abgesichert werden. Diese ökotoxikologische Analytik zeigt als Summenmethode ein vorhande-

nes Toxizitätspotential im Bodenextrakt an, das bei der chemischen Analyse übersehen werden kann, da nur auf ein begrenztes Substanzspektrum untersucht wird (HUND und TRAUNSPURGER, 1994).

Das vorgestellte Konzept der Bestimmung der Gesamtgehalte, der mobilen, verfügbaren Anteile sowie der Ergänzung und Absicherung der chemischen Analytik durch eine ökotoxikologische Analytik ist nach Etablierung routinemäßig durchführbar und geht im Aufwand in einem vertretbaren Rahmen über den z.Zt. praktizierten Stand hinaus, bietet jedoch den großen Vorteil einer umfassenderen, abgesicherteren Bewertungsgrundlage.

Zur Ermittlung der standortbezogenen Qualität der **Filter- und Pufferfunktion** können z.B. die in *Tabelle 3* aufgeführten Fragen bearbeitet werden. pH-Absenkungen durch Säureeinträge bzw. Nutzungsänderungen können zur verstärkten Mobilisierung und Freisetzung von Schwermetallen führen.

Tabelle 3: Bodenbezogene Methodik für die Bearbeitung im Bodenschutz

Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften in Bezug auf den zu bewertenden Boden	
Filter- und Pufferfunktion	<ul style="list-style-type: none"> – Humusgehalt im erwarteten Bereich – Pufferbereich des Bodens der Nutzung und des Standorts entsprechend – Freisetzung von Schadstoffen (anorg. und org.) bei Bodenveränderungen – Porensystem und Bodenstruktur der Bodenart und der Nutzung entsprechend
Stoffumwandlungsfunktion	<ul style="list-style-type: none"> – Humusgehalt und C/N-Verhältnis im erwarteten Bereich (Abbau- und Nährstoffkreisläufe) – Abbaukapazität des Bodens für anthropogene organische Stoffe z.B. Akkumulation abbaubarer biogener und anthropogener Stoffe oder Messung der Abbauleistung mit Referenzsubstanzen – DOC-Gehalt im Sickerwasser/Porenwasser des Bodens

Ein verstärkter Humusabbau durch geänderte Nutzung oder Bewirtschaftung kann entsprechend zur Freisetzung von organischen Schadstoffen führen, die zuvor im Boden akkumuliert wurden.

Zur Untersuchung ob Stoffumwandlungseigenschaften gestört sind, kann z.B. auf die Prüfung des Kohlenstoff- und Stickstoffkreislaufs zurückgegriffen werden. Ein intakter Kohlenstoffkreislauf bedingt auch eine gewisse Konzentration an gelöstem Kohlenstoff in Bodenlösungen bzw. im Sickerwasser. Desweiteren deutet eine Konzentrationserhöhung abbaubarer biogener (und anthropogener) Stoffe im Boden auf eine Schädigung hin. Weitergehende Untersuchungen sind möglich, indem ausgewählte „Referenzchemikalien“ in den zu untersuchenden Boden appliziert wer-

den und deren Abbaugeschwindigkeit verfolgt wird. In diesem Zusammenhang sei auf die enge Verknüpfung der Untersuchung des Abbaupotentials von Böden und der Lebensraumfunktion des Bodens, insbesondere für Mikroorganismen, hingewiesen, so daß die hier aufgeführten Tests weitestgehend Aussagen zu Stoffumwandlungseigenschaften des Standortbodens und gleichzeitig zu dem Lebensraum für Mikroorganismen geben.

Neben der Erhebung der Ausstattung am Standort kann zur Überprüfung der **Lebensraumfunktion** bei der bodenbezogenen Bewertung zum einen in Anlehnung an die standardisierten terrestrischen Testsysteme gearbeitet werden, die auch in der stoffbezogenen Bewertung vornehmlich angewandt werden. Die standardisierten Testsysteme beruhen größtenteils darauf, daß die zu untersuchende Substanz in verschiedenen Konzentrationen in einen vorgeschriebenen Testboden eingemischt und die Testorganismen eingesetzt werden. Um einen stärkeren Standortbezug zu erhalten als dies mit einer derartigen Vorgehensweise möglich ist, ist es erstrebenswert, direkt im Boden vorliegende Organismen bzw. deren Leistungen zu erfassen. Bei der Auswahl und Zusammenstellung der Testorganismen sollten folgende Kriterien berücksichtigt werden (DUNGER, 1982; SAMSOE-PETERSEN UND PEDERSEN, 1994):

- Repräsentanten verschiedener trophischer Ebenen
- Berücksichtigung der unterschiedlichen Expositionspfade (Wasser, Luft, direkter Kontakt, Nahrung)
- Repräsentanten unterschiedlicher Reproduktionsstrategien
- eindeutige Erfassbarkeit der aktiven Stadien
- gute Erfassbarkeit infolge hoher Individuendichte
- Ortstreue der Organismen
- Erfassung einer breiten Palette von Chemikalien aufgrund unterschiedlicher Sensitivitäten der Organismen

Wie bereits ausgeführt, ist es Aufgabe der Ökosystemforschung, Untersuchungsparameter festzustellen, die eine Aussage ohne das Vorliegen eines unkontaminierten Kontrollbodens ermöglichen bzw. Wertebereiche z.B. für Abundanz und Aktivität in Abhängigkeit von Bodentyp, -art, Nutzung und Klima (hier als Standorttyp bezeichnet) anzugeben. Wird die vorliegende Mikroorganismenpopulation durch den Summenparameter Biomasse beschrieben, so liegen für Ackerböden z.B. Erfahrungswerte vor. Bei aktiven unbelasteten Böden bewegen sich die auch jahreszeitabhängigen Werte häufig zwischen 10 und 60 mg C/100 g Boden (z.B. BEYER et al., 1992; HINTZE et al., 1994).

Es besteht weitgehend Konsens, daß für die in Bodenporen lebenden Organismen die wesentliche Exposition über die Bodenlösung erfolgt (SAMSOE-PETERSEN und PEDERSEN, 1994). Es wäre somit denkbar, daß die in einem Bodenextrakt durchgeführten Ökotox-Tests weitergehende Aussagen als nur die Feststellung eines allgemeinen Toxizitätspotentials erlauben. Inwieweit auch Aussagen hinsichtlich der Lebensraumfunktion eines Bodens möglich sind, ist zur Zeit Gegenstand von Forschungsvorhaben.

Einfacher gestaltet sich die Überprüfung der **Produktionsfunktion** von Böden. In der seit vielen Jahren betriebenen landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Forschung

zur Ertragssteigerung liegen ausreichende Erfahrungen vor. Aus diesen Forschungsergebnissen und langjährigen Überprüfungen in der Praxis können heute zu erwartende Erträge in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung, der Bodenbonitur und des jeweiligen Klimas angegeben werden.

4 Schlußfolgerungen

Die beiden folgenden Tabellen fassen die vorgestellten Ausführungen zusammen und sollen durch die direkte Gegenüberstellung der Ziele, der Vorgehensweise und des Kenntnisstandes die prinzipiellen Unterschiede bei einer stoffbezogenen und einer bodenbezogenen Befunderhebung und Bewertung der zu beurteilenden Böden aufzeigen und verdeutlichen. Diese Unterscheidung erscheint bei den Diskussionen zur Bodenschutzgesetzgebung nötig, um Mißverständnissen und Fehlinterpretationen vorzubeugen.

Die **stoffbezogene Bewertung** (→ *Tabelle 4*) hat ihre Tradition in der stoffbezogenen Gesetzgebung (z.B. Pflanzenschutzmittelgesetz, Chemikaliengesetz), wo es gilt, anhand von standardisierten physikalisch-chemischen und biologischen (ökotoxikologischen) Tests Stoffeigenschaften zu bestimmen und Stoffe (Chemikalien) untereinander vergleichen zu können („ranking“). Bei der stoffbezogenen Bodenbewertung sind die boden-, nutzungs- und klimabezogenen Einflüsse zusätzlich zu berücksichtigen, um Aussagen hinsichtlich einer möglichen Beeinträchtigung der Bodenfunktionen ableiten zu können. Gemäß dem Entwurf des Bundesbodenschutzgesetzes liegt der Schwerpunkt der Untersuchung auf dem Erhalt dieser Bodenfunktionen. Beeinflussung von z.B. Bodeneigenschaften und Organismenzusammensetzungen werden nur insoweit berücksichtigt, als sie Einfluß auf Bodenfunktionen haben.

Tabelle 4: Stoffbezogene Bewertung

Ziel	Ermittlung der Auswirkungen eines Stoffes auf Bodenfunktionen
Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> – Ableitung humantoxikologisch begründeter Grenzwerte – Ableitung von Vorsorge-, Prüf- und Gefahrenwerten – Festlegung von tolerierbaren Einträgen (critical loads) – Festlegung von Handlungsweisungen (z.B. Nutzungsbeschränkungen, Sicherungen, Sanierungen)
Nachteile:	<ul style="list-style-type: none"> – Nur Einzelsubstanzbetrachtung – Verallgemeinerung der Ergebnisse auf verschiedene Böden, Klimata und Nutzungen schwierig, nicht standortspezifisch exakt möglich – Kombinationswirkungen mit anderen Stoffen werden nicht bzw. unzureichend berücksichtigt

Der Entwurf des Bundesbodenschutzgesetzes sieht vor, daß die Beurteilung schädlicher Bodenveränderungen

- nutzungsbezogen
- schutzgutbezogen und
- wirkungspfadbezogen (Expositionsmuster)

zu erfolgen hat. Nach jetzigem fachlichen Kenntnisstand ist daher zunächst davon auszugehen, daß für einen zu bewertenden Stoff je ein Prüfwert oder ein Maßnahmenwert für eine Nutzung bzw. ein Schutzgut festgelegt werden muß. Bei der PSM-Untersuchung (Ackerböden, Versprühen des Mittels) wird versucht, die Variabilität der Böden durch die Einbeziehung verschiedener Böden in die Untersuchungen zu erfassen. Ökotoxikologische Tests in Böden erfolgen jedoch in der Regel mit künstlichen Bodensubstraten oder nur in einem Boden. Hier muß abgeklärt werden, inwieweit eine ausreichende Beschreibung (Modellierung) der Expositionsrouten einschließlich der für die betreffende Nutzung und für die zu untersuchenden Organismen vorliegende Konzentration an bioverfügbaren Anteilen abgeschätzt werden können. Zwischenzeitlich muß – wie in der aquatischen Ökotoxikologie üblich – mit Unsicherheitsfaktoren gearbeitet werden, um den Untersuchungsrahmen in Grenzen zu halten.

In dem Dokument „Risk Assessment of Existing Substances – Technical Guidance Document“ der EU wird vorgeschlagen, daß in den Fällen, wo keine ökotoxikologischen Daten vorliegen, Testdaten von aquatischen Organismen für eine Beurteilung herangezogen werden. Es wird davon ausgegangen, daß der gelöste Anteil der Schadstoffe in der Bodenlösung die wirksame Konzentration darstellt. In dem Papier wird dies als konservative Methode dargestellt. Die Nutzung der Testdaten von aquatischen Organismen für die Ableitung von Bodenprüfwerten kann derzeit nur als Hilfsgröße angesehen werden, da die Expositionsrouten für terrestrische Organismen sehr unterschiedlich sind und nur für einen Teil die Exposition primär über die Bodenlösung erfolgt (DEBUS und HERRCHEN, 1993).

Da bei der stoffbezogenen Bearbeitung definierte Stoffe untersucht werden, können Konzentrationsreihen einschließlich Kontrollen getestet werden. Eine Extrapolation auf Vorsorgewerte, bei denen die betrachteten Bodenfunktionen nicht beeinträchtigt werden sollten, ist daher möglich.

Vorgehensweise zur Ermittlung von Effekten auf Bodenfunktionen:

- Bestimmung des Stoffverhaltens in Böden (z.B. Abbau, Akkumulation, Transferfaktoren)
- Bestimmung der Störung der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften von Böden
- Testdurchführung mit standardisierten Tests unter Verwendung von Kontrollen und Konzentrationsreihen zur Ermittlung von Wirkungen auf Bodenorganismen
- Extrapolation auf Vorsorgewerte, Benutzung von Sicherheitsfaktoren
- Beschreibung von Expositionsrouten (bioverfügbare Anteile) für einzelne Organismengruppen

In der **bodenbezogenen Bewertung** (→ *Tabelle 5*) – so wie sie hier verstanden wird – gilt es, einen Boden, dessen Belastung zunächst nicht bekannt ist, einzustufen.

Zur Zeit muß noch eine Anleihe bei der stoffspezifischen Bewertung erfolgen; d.h. über die Bestimmung der Gehalte an prioritären (erwarteten) Kontaminanten kann eine erste Eingruppierung vorgenommen werden. Grundlage hierfür ist natürlich, daß für die Stoffe bereits nutzungs-, schutz-

Tabelle 5: Bodenbezogene Bewertung

Ziel	Ermittlung der Bodenqualität eines (Standort) Bodens (Bodensubstrat) – Beeinträchtigung der natürlichen Bodenfunktionen
Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> – Ableitung von generellen Prüf- und Gefahrenwerten – Kontrolle behandelter Böden – Bodenzustandserhebung/Bodeninformationssystem – Festlegung von Handlungsweisungen – Nutzungsbeschränkungen
Nachteile	Für die Ableitung von Prüf- und Gefahrenwerten geeignet. Für die Ermittlung einer geringen bis mäßigen Störung der natürlichen Bodenfunktionen reicht das standardmäßig erhobene Wissen einschließlich der Testmethoden nicht aus.
Vorgehensweise	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bestimmung der Gesamtgehalte an prioritären (erwarteten) Schadstoffen <ul style="list-style-type: none"> – Gesamtschadstoffpotential – Beurteilung aus humantoxikologischer Sicht – Beurteilung der Störung von Bodenfunktionen über Kenntnisse aus der stoffbezogenen Bodenbewertung 2. Bestimmung der mobilen, verfügbaren Schadstoffanteile <ul style="list-style-type: none"> – chemische Analyse zur Beurteilung der Filter- und Pufferfunktion, Hinweise auf erwartetes biologisch wirksames Schädigungspotential – Ökotoxikologische Analytik zur Erfassung des vorhandenen Toxizitätspotentials – Hinweis auf Schädigung von Bodenfunktionen 3. Ökotoxikologische Tests in dem zu untersuchenden Boden zur Überprüfung der Bodenfunktionen.

gut- und wirkungsbezogene Prüf- oder Maßnahmenwerte vorliegen.

Da der Boden jedoch mit weiteren Schadstoffen belastet sein kann, gilt es, mit geeigneten Testsystemen die Bodenfunktionen zu überprüfen. Eine Abschätzung mobiler, verfügbarer Schadstoffanteile über Modellierung ist bei Unkenntnis der Stoffe nicht möglich. Daher muß über geeignete Extraktionsmethoden dieser Anteil aus dem zu untersuchenden Boden isoliert werden. Aquatische Ökotoxizitätstests sind geeignet, als „Summenmethode“ das Toxizitätspotential anzuzeigen. Der Vergleich mit der chemischen Analyse der Extrakte kann dazu führen, daß die Toxizität anhand von Schadstoffkonzentrationen mit bekanntem Wirkungsmuster erklärt werden kann, oder aber die Tests anzeigen, daß weitere toxische Stoffe im Boden vorhanden sind, die die Bodenfunktionen negativ beeinflussen können.

Von biologischer Seite kann die Qualität des zu untersuchenden Standorts durch ökotoxikologische Prüfungen mit Bodenorganismen weiter abgeklärt werden. Da in diesen Tests jedoch keine Nullkontrolle und Konzentrationsreihen einbezogen werden können, können „nur“ signifikante Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen erfaßt werden. Daher ist die bodenbezogene Bodenbewertung zur Zeit nur in der Lage, Aussagen hinsichtlich Prüf-, Maßnahmen- und Gefahrenwerte zu treffen. Ihr bevorzugter Einsatz wird da-

her bei der Beurteilung diffus belasteter Böden und der Kontrolle der Wiederverwendung gereinigter Böden (Eignung für geplante Nutzung) sein. Mit der vorgeschlagenen Definition von Standorttypen und ihren Funktionsbereichen wird es möglich sein, Standortböden in ihrer erhobenen Ausstattung wesentlich besser hinsichtlich ihrer Qualität bzw. Qualitätsveränderungen einzuordnen.

5 Literatur

- BEYER, L.; C. WACHENDORF; F.M. BALZER; U.R. BALZER-GRAF (1992): The use of biological methods to determine the microbiological activity of soils under cultivation. *Biol. Fertil. Soils* 13, 242–247
- Bundes-Bodenschutzgesetz – Entwurf (1994)
- DEBUS, R.; M. HERRCHEN (1993): Ökotoxikologische Wirkungsschwellen für umweltrelevante Stoffe zur Gefahrenbeurteilung bei Altfläsen – Bestimmung von bodenbiologischen Orientierungswerten und aquatischen Ableitungswerten. UBA-Bericht Nr. 103 40 110
- DEBUS, R.; P. LEPPER; M. HERRCHEN (1994): Konzept zur Ableitung „Bodenbiologischer Orientierungswerte“. In: D. Rosenkranz, G. Bachmann, G. Einsele, H.-M. Horreß (Hrsg.): *Handbuch Bodenschutz*, Band 1, 16. Lfg. VI/94 Kapitel 1270, 1–11, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- DUNGER, W. (1982): Die Tiere des Bodens als Leitfaden für anthropogene Umweltveränderungen, *Decheniana Beiheft* 26, 151–157
- EIJSSACKERS, H. (1994): Ecotoxicology of soil organisms: Seeking the way in a pitch dark labyrinth. In: M. Donker, H. Eijssackers, F. Heimbach (eds.): *Ecotoxicology of soil organisms*. SETAC Special Publication Series, 3–32, Lewis Publishers, Chelsea, USA
- EIKMANN, TH.; A. KLOKE (1993): Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-) Stoffe in Böden – Eikmann-Kloke-Werte –. In: D. Rosenkranz, G. Bachmann, G. Einsele, H.-M. Horreß (Hrsg.): *Handbuch Bodenschutz*, Band 1, 14. Lfg. X/93 Kapitel 3590, 1–26, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- HINTZE, TH.; P. GEHLEN; D. SCHRÖDER (1994): Are microbial biomass estimations equally valid with arable soils and forest soils? *Soil Biol. Biochem.* 26, 1207–1211
- HUND, K.; W. TRAUNSPURGER (1994): Ecotox-evaluation strategy for soil bioremediation exemplified for a PAH-contaminated site. *Chemosphere* 29, 371–390
- KLEIN, A.W.; J. GOEDICKE; W. KLEIN; M. HERRCHEN; W. KÖRDEL (1993): Environmental assessment of pesticides under directive 91/414/EEC. *Chemosphere* 26, 979–1001
- KNOCH, H.; M. KLEIN; W. KÖRDEL; W. KLEIN (1994): Auswertung von Länderdaten zu anorganischen Umweltchemikalien. UBA-Bericht Nr. 107 03 007/14
- MÜLLER-WEGENER, U. (1993): Methodische Fragen bei der Ableitung toxikologischer Bewertungsmaßstäbe für Bodenbelastungen. Symposium mit osteuropäischen Staaten: Untersuchungsmethoden, Bewertungsmaßstäbe und staatliche Regelungen für den Bodenschutz. Schmallingenberg 01.-04. Dezember 1993
- SAMSOE-PETERSEN, L.; F. PEDERSEN (1994): Discussion paper regarding guidance for terrestrial effects assessment, Water Quality Institute, Horsholm (Denmark) (draft final report August 1994)
- SÜBKRAUT, G.; M. ROHRICHT; B. PFEIFER; J. STEKETEE (1994): Literaturstudie – Elutionsverfahren für schwer lösliche organische Schadstoffe in Boden- und Abfallproben. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.)
- VDI 3956 Blatt 1 – Entwurf (1994): Zielsetzung, Bedeutung und Grundlagen von Richtlinien zum Schutze der Böden – Ermittlung von Maximalen Immissions-Werten. August 1994
- ZEIEN, H.; G.W. BRÜMMER (1989): Chemische Extraktion zur Bestimmung von Schwermetallbindungsformen in Böden. *Mitteilg. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 59/1, 505–510

Vorschau: Beiträge zur Bodenbelastung

UWSF 8 (3) 1996

Jörg RÖMBKE, Christa BAUER, Annette MARSCHNER

Entwicklung einer Teststrategie zur Bewertung des Umweltgefährlichkeitspotentials von Chemikalien im Boden

Zusammenfassung

Im Rahmen eines Stufenkonzepts werden Abbau-, Adsorptions- und Versickerungstests sowie verschiedene Wirkungstests (Pflanzen, Mikroorganismen, Tiere) für die Testung von Umweltchemikalien empfohlen. Liegt nach Durchführung der Teststufen 1 und 2 das Ergebnis eines Monospezies-Wirkungstests unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors im Bereich der voraussichtlichen Expositionen, sollte das ökotoxikologische Gefährdungspotentials in einem terrestrischen Modellökosystem-Test überprüft werden. Die verschiedenen Tests wurden teils aufgrund praktischer Erfahrungen bei der Laborprüfung von Umweltchemikalien, teils aufgrund einer umfangreichen Literaturrecherche ausgewählt.

UWSF 8 (3) 1996

Silke KLINNERT, Wolfgang BECHMANN

Adsorption von Phenolderivaten an Substrate unterschiedlich anthropogen überprägter Böden

Zusammenfassung

Die organische Bodensubstanz (OBS) ist Adsorbens für viele in die Böden eingebrachte Schadstoffe. Am Beispiel der Adsorptionenthalpien von Phenolderivaten wird gezeigt, daß die Bindung von Organika an die OBS bei Rieselfeldböden und Nichtrieselfeldböden vergleichbar ist.

Bezogen auf den OBS-Gehalt stellt der Rieselfeldboden das schlechtere Adsorbens dar. Die Gründe sind in der Blockierung von Adsorptionsstellen durch andere Moleküle zu suchen, aber auch darin, daß nicht die gesamte OBS eines Rieselfeldbodens als Adsorbens fungiert.

Demnächst erscheinen:

K. Theo von der TRENC

Prüfwerte und Konzepte für verunreinigte Böden – Ein kritischer Überblick

Zusammenfassung

Orientierungswerte für Bodenmaterial im Hinblick auf den Gehalt an Inhaltsstoffen sind notwendige Entscheidungskriterien im Zusammenhang mit kontaminierten Böden. In der Reihenfolge steigender Belastung unterscheidet man Referenzwerte, Prüfwerte und Maßnahmenschwellenwerte. Unter bestimmten Umständen können diese Werte auch als Sanierungsziele dienen. Orientierungswerte können entweder vom Schadeffekt der betreffenden Stoffe (wirkungsbezogen) oder von einer definierten Umweltbeschaffenheit (zustandsbezogen) abgeleitet werden.

Rainer NIEMANN, Reinhard DEBUS

Nematodentest zur Abschätzung der chronischen Toxizität von Bodenkontaminationen

Zusammenfassung

Zur Beurteilung kontaminierter und sanierter Böden und Substrate sowie zur Abschätzung der chronischen Toxizität von Bodenkontaminationen wurde ein ökotoxikologischer Test mit der terrestrischen Nematodenart *Panagrellus redivivus* entwickelt. Als Bewertungsgrundlage diente die Populationsdynamik der Nematoden, ausgedrückt als Vermehrungsfaktor (VF), der nach sieben Tagen Aussagen zur Bodenqualität erlaubt. Aufgrund der kurzen Generationszeit von < 5 Tagen für *Panagrellus* wird eine Testdauer von sieben Tagen als ausreichend erachtet. Überprüfungen zur Eignung des längerfristigen Nematodentests erfolgten an gezielt mit den Schadstoffen Lindan, Pentachlorphenol und einem polychlorierten Biphenyl (PCB 52) belasteten Böden.