

Studien und Tagungsberichte
Band 24

Brandenburgisches Symposium zur bodenschutzbezogenen Forschung

Tagungsbericht vom 22. Juni 2000



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG



**Studien und Tagungsberichte, Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg
ISSN 0948-0838**

Herausgeber:
Landesumweltamt Brandenburg (LUA)
Berliner Straße 21-25
14467 Potsdam
Tel.: 0331-23 23 259 Fax.: 0331-29 21 08
e-mail: infoline@lua.brandenburg.de

**Band 24 - Tagungsbericht vom 22. Juni 2000
Brandenburgisches Symposium zur bodenschutzbezogenen Forschung**

Redaktion:
Referat Öffentlichkeitsarbeit in Abstimmung mit
Abt. Abfallwirtschaft, Altlasten und Bodenschutz und Abt. Ökologie und Umweltanalytik

Gesamtherstellung: Digital & Druck, Inh. Matthias Greschow, Welzow
gedruckt auf Recycling-Papier aus 100% Altpapier

Schutzgebühr: 15,- DM



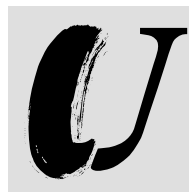
Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Studien und Tagungsberichte
Band 24

Brandenburgisches Symposium zur bodenschutzbezogenen Forschung

Tagungsbericht vom 22. Juni 2000



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG



Inhalt

Die Einladung/Die Presseinformation vom 22. Juni 2000/Die Ausstellung	3, 4
Einführung Präsident des Landesumweltamtes, Prof. Dr. Matthias Freude	8
Grußwort Umweltstaatssekretär Friedhelm Schmitz-Jersch	9
Das Gesetz zum Schutz des Bodens und zur Sanierung von Altlasten – Entwicklung, Umsetzung und Forschungsbedarf Günther Bachmann – Umweltbundesamt Berlin	10
I. Bodenzustand und Altlastensituation in Brandenburg	15
Stoffliche Belastungen brandenburgischer Böden – ein Überblick Sabine Hahn, A. Poot, R. Schultz-Sternberg, D. Wedde – Landesumweltamt Brandenburg	15
Problematik der Stoffbelastung von Überschwemmungsböden Wolfgang Dinkelberg, J. Ritschel, R. Schultz-Sternberg – Landesumweltamt Brandenburg	26
Die Schadstoffverlagerung aus Böden ehemals militärisch genutzter Areale in ein angrenzendes Niedermoorgebiet Oswald Blumenstein – Universität Potsdam	31
Bodenmonitoringprogramm der Landwirtschaft zur Kontrolle der guten fachlichen Praxis beim Düngen Wilfried v. Gagern, S. Kohlmüller, M. Roschke – Landesanstalt für Landwirtschaft/Landesamt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten	36
II. Sanierung, Sicherung und Schutz von Boden bei schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten	45
Verwendung von Geschiebemergel-Aushub zur Sicherung schwermetallbelasteter, großflächiger Altlastenstandorte Christian Hoffmann, H. Böken, R. Metz, M. Renger – Technische und Humboldt-Universität Berlin, Umweltbundesamt	45
Möglichkeiten und Grenzen der biologischen Bodensanierung Berndt-Michael Wilke – Technische Universität Berlin	51
Vorschlag für eine Methode zur Ableitung von Sanierungszielwerten für das Land Brandenburg Thomas Mathews, St. Exner - ECOS Umwelt GmbH Aachen; S. Hahn, H.-J. Fiebig – Landesumweltamt Brandenburg	58
III. Umweltmedienübergreifende Aspekte	65
Arzneimittelwirkstoffe in der Umwelt Werner Kratz, B. Abbas, I. Linke – Landesumweltamt Brandenburg	65
Erhebung von Arzneimittelwirkstoffen im Land Brandenburg Bettina Abbas, I. Linke, W. Kratz – Landesumweltamt Brandenburg	72
Vorläufige Ergebnisse zu Auswirkungen von Antibiotika und endokrinen Umweltchemikalien auf bodenbiologische Eigenschaften Christoph Emmerling, Ch. Pfeiffer – Universität Trier	79

Die Einladung

Landesumweltamt Brandenburg, Präsident Prof. Dr. Mattias Freude:

Der Umgang mit unseren Böden wurde durch das Gesetz zum Schutz des Bodens und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz BBodSchG) nunmehr wie Luft und Wasser gesetzlich geregelt und ist dadurch verstärkt in das öffentliche Interesse gerückt. Einheitliche Bewertungskriterien und Verfahrensweisen für den Umgang mit schadstoffbelasteten Böden liegen mit der im vergangenen Jahr verabschiedeten Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vor.

Durch das neue Bodenschutzrecht werden die Defizite für einen umfassenden, nachhaltigen Bodenschutz und die Sanierung von Altlasten zwar vermindert, es bestehen aber zurzeit noch eine Vielzahl von Umsetzungsproblemen im Vollzug. In vielen Bereichen müssen hierfür noch fachliche Grundlagen geschaffen werden, die auch zukünftig einen erhöhten Forschungsbedarf erforderlich machen.

Das brandenburgische Symposium zur bodenschutzbezogenen Forschung will ein ressortübergreifendes, interdisziplinäres Informations- und Diskussionsforum für betroffene Bereiche der Wissenschaft, Behörden, Verbände und Sachverständige bieten. Inhaltlich stehen neben praxisrelevanten Aspekten der Beschreibung des Ist-Zustands der Böden in Brandenburg mögliche Strategien zum vor- und nachsorgenden Bodenschutz und zu medienübergreifenden Aspekten von Umweltchemikalien im Vordergrund.

Die Veranstaltung soll Gelegenheit bieten, zukünftige Aufgaben und Strategien zu erörtern, die nur gemeinsam mit der Wissenschaft entwickelt bzw. gelöst werden können.

Die Presseinformation vom 22. Juni 2000

Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, Umweltstaatssekretär Friedhelm Schmitz-Jersch:

„Brandenburger Böden im guten Zustand“

- LUA-Tagung zu Bodenschutz
- „Versiegelung vermeiden, ohne wirtschaftliche Entwicklung einzuschränken“
- Ökologischer Landbau: „Praktizierter Boden- und Grundwasserschutz“

Potsdam: Brandenburgs Böden sind weitgehend in einem „guten Zustand und haben nur geringe stoffliche Belastungen“. Dies versicherte heute Umweltstaatssekretär Friedhelm Schmitz-Jersch (SPD) auf der Tagung des Landesumweltamtes in Potsdam zum Bodenschutz. Lediglich auf einzelnen früheren Industrie- und Militärfeldern gebe es „punktuell starke Belastungen“. Auch die Rieselfelder in der Umgebung Berlins und Überschwemmungsflächen von Flüssen seien teilweise belastet.

Die in weiten Teilen Brandenburgs gute und sehr gute Bodenqualität müsse für nachkommende Generationen erhalten werden. Schmitz-Jersch: „Dort, wo Belastungen aufgetreten sind, müssen sie nachhaltig vermindert, beseitigt oder gesichert werden.“

Durch die „vorausschauende und auch den Bodenschutz berücksichtigende brandenburgische Landesplanung“ sei es gelungen, viele Freiflächen auch im Berliner Umland zu erhalten und „unnötige Versiegelungen zu vermeiden, ohne die wirtschaftliche Entwicklung ein zu schränken“.

Neben dem notwendigen Umgang mit bestehenden Belastungen sei das Hauptaugenmerk verstärkt auf die Vorsorge zu richten. Altlasten dürften zukünftig nicht mehr entstehen, zumal die Kosten der Nachsorge nachfolgenden Generationen nicht aufgebürdet werden könnten.

Schmitz-Jersch: „Vorbeugen statt nachsorgen und Boden gebrauchen statt verbrauchen“. Gute Bodenqualität schlage sich direkt in gesunden und unbelasteten Nahrungsmitteln nieder. Somit hänge der Verbraucherschutz eng mit dem Bodenschutz zusammen.

Der Ökologische Landbau sei „praktizierter Boden- und Grundwasserschutz“, da er – „noch stärker als die konventionelle Landwirtschaft“ – auf diese Lebensgrundlagen besondere Rücksicht nehme. Mit einem Anteil von 5,5 % an der landwirtschaftlichen Nutzfläche sei der ökologische Landbau in Brandenburg nach Mecklenburg-Vorpommern „bundesweit führend“. Der Bundesdurchschnitt liegt erst bei rund 2%.

Schadstoffverteilung in den Oberböden im Land Brandenburg

Einleitung

Wirksame Maßnahmen für den Bodenschutz erfordern grundlegende Kenntnisse über die flächenhafte Verteilung von Schadstoffen im Boden. Nur auf dieser Basis lassen sich Gebiete mit auftretenden oder zu erwartenden schädlichen Bodenveränderungen sinnvoll ausweisen, wie es das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) den Ländern empfiehlt. Im Bodenzustandskataster des Landesumweltamtes liegen für das Land Brandenburg punktbezogene Daten zu Bodenzustand, Bodenbelastung und Bodennutzung vor. Aus diesen sind reproduzierbare flächenhafte Aussagen über Gebiete mit schädlichen Bodenveränderungen abzuleiten.

Die Fachhochschule Eberswalde entwickelte dazu im Rahmen eines vom Landesumweltamt Brandenburg geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens auf der Basis des geostatistischen Verfahrens KRIGING eine reproduzierbare Methodik der Regionalisierung von Bodenschutzdaten im Landesmaßstab.

Bodenzustandskataster

Das Landesumweltamt ist nach § 39 Brandenburgisches Abfallgesetz gesetzlich verpflichtet, das Fachinformationssystem Bodenschutz zu führen. Hierin sollen die chemischen, physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften, ferner Bodenbelastungen und Bodengefährdungen, die Bodennutzung, Bodenschutzmaßnahmen sowie Gebietsausweisungen erfasst werden.

Das Fachinformationssystem Bodenschutz (FISBOS) gliedert sich in ein Bodenzustandskataster, ein Planungs- und Maßnahmenkataster, die Boden-Dauerbeobachtung und die Bodenprobenbank. Im Bodenzustandskataster werden Bodenzustand, Bodenfunktionen und Bodennutzungen an Einzelprofile erfasst.

Grundlage des Bodenzustandskatasters bildet ein 8 x 8 km-Raster mit 460 Rasterpunkten im Land Brandenburg. Dieses Raster wird laufend durch Daten aus Eigenuntersuchungen, aus Forschungsvorhaben und Gutachten sowie aus Untersuchungen des Vollzuges verdichtet.

In Abbildung 1 ist die Lage der Ausgangsdatenpunkte des Bodenzustandskatasters dargestellt.

Methodik der Flächeninterpolation

KRIGING ist eine Bezeichnung für geostatistische Verfahren zur räumlichen Interpolation mit gewichteten, gleitenden Mittelwerten auf empirischer Basis. Es gibt zahlreiche KRIGING-Verfahren, die sich hinsichtlich ihrer Voraussetzungen, Arbeitsweisen und Anwendungsmöglichkeiten unterscheiden. KRIGING-Verfahren streben eine Minimierung der Schätzvarianz an, liefern aber keine analytischen Funktionen sondern immer nur Einzelschätzungen.

In der hier dargestellten Untersuchung wurden folgende Verfahrensschritte angewandt:

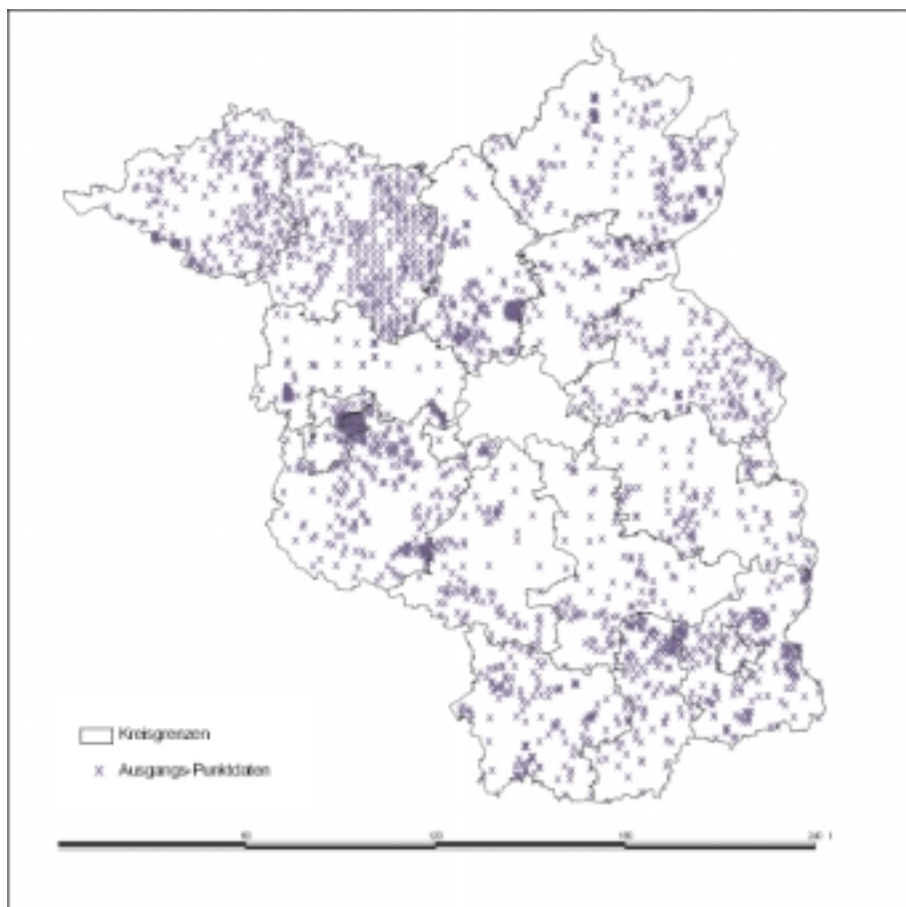


Abb. 1: Lage der Ausgangs-(Punkt)-Daten



Bodenprobenahme

Datenvereinheitlichung

Zunächst wurden die Daten einheitlich aufgearbeitet und in eine ACCESS-Datenbank überführt. Es wurden ausschließlich Oberbodengehalte berücksichtigt. Extrem hohe lokale Belastungen wurden von der Auswertung ausgeschlossen.

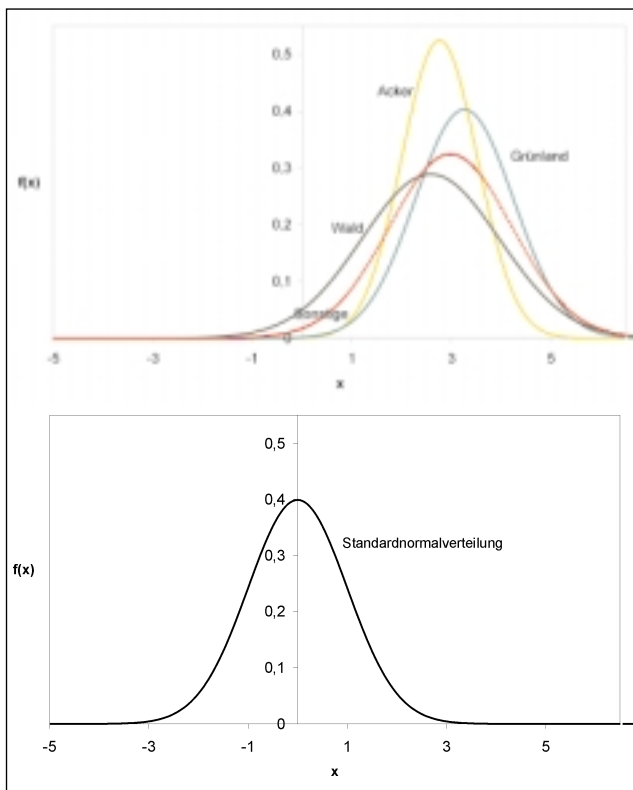


Abb. 2: Umwandlung der Verteilungen in Standardnormalverteilung

Datentransformation

Die Daten wurden für die geostatistischen Analysen aufbereitet. Sie wurden logarithmiert und, um Trends, die auf den Einfluss wesentlicher Nutzungsarten (Acker, Grünland, Forst und sonstige Nutzung) zurück zu führen sind, zu eliminieren, normalisiert (Abb. 2).

Regionalisierung

Anschließend erfolgte die Berechnung der flächenbezogenen Gehalte. Dieser Verfahrensschritt umfasste

- die Erstellung von experimentellen Semivariogrammen und Anpassung einer Semivariogrammfunktion zur Formalisierung eines räumlichen Zusammenhangs in Abbildung 3 beispielhaft für das Element Zink,
- die gewichtete Interpolation nicht beprobter Punkte auf der Basis der durch das Semivariogramm ermittelten, räumlich bedingten Abhängigkeiten,
- die Ermittlung der KRIGING- oder Interpolationsvarianz als einer Maßzahl für die Unsicherheit der Interpolation an jedem weiteren Punkt.

Bewertung der Ergebnisdarstellung

Die Ergebnisse der logarithmierten und normalisierten Daten wurden in Schätzwertklassen eingeteilt, die sich aus den in Tabelle 1 genannten Perzentilbereichen der Grundgesamtheit ergeben.

Die der Berechnung der zugeordneten Schätzfehler und des resultierenden Untersuchungsbedarfs zugrunde liegenden Kriterien sind in Tabelle 1 und 2 aufgelistet.

Tab. 1: Bewertungskriterien für die Schätzwerte Z^* und absoluten Schätzfehler F_K

Tab. 1: Bewertungskriterien für die Schätzwerte Z^* und absoluten Schätzfehler F_K (Pz = Perzentil des Gesamt-Datenbestandes)

Bewertung	Z^*	$Z^* \pm F_K$
1	< 10 % Pz	0 Pz-Bereiche
2	10 % bis 25 % Pz	1 Pz-Bereich
3	25 % bis 50 % Pz	2 Pz-Bereiche
4	50 % bis 75 % Pz	3 Pz-Bereiche
5	75 % bis 90 % Pz	4 Pz-Bereiche
6	> 90 % Pz	5 Pz-Bereiche

Pz = Perzentil des Gesamt-Datenbestandes



Überflutete Elbtalaue, Foto: NEUSCHÜTZ, Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe Brandenburg

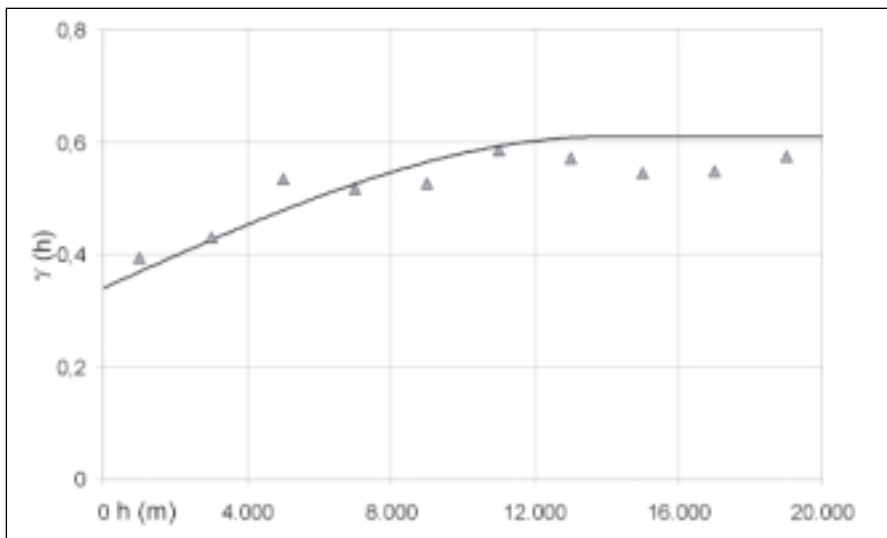


Abb. 3: Semivariogramm der logarithmierten Zink-Gehalte

Tab. 2: Bewertungskriterien für den Untersuchungsbedarf

		Schätzfehler-Bewertung					
		1	2	3	4	5	6
Schätzwert-Bewertung	1	1	1	2	2	3	3
	2	1	2	2	3	3	4
	3	2	2	3	3	4	4
	4	2	3	3	4	4	5
	5	3	3	4	4	5	5
	6	3	4	4	5	5	6

1 - geringer Untersuchungsbedarf bis 6 - hoher Untersuchungsbedarf

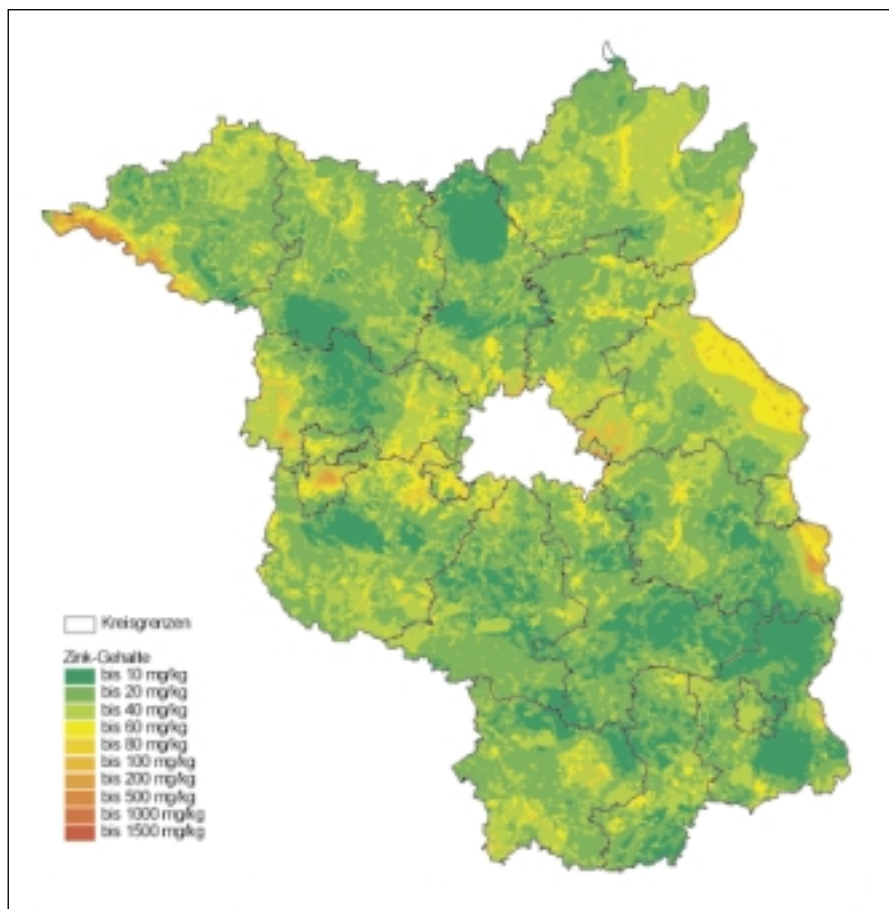


Abb. 4: Schätzwerte der Zinkgehalte im Oberboden

Schlussfolgerungen für die Methodenanwendung

Die vorgestellte Methode liefert aus punktbezogenen Daten

- flächenhafte Informationen zur Stoffverteilung in den Oberböden,
- flächenhafte Informationen zur Verlässlichkeit der Schätzungen und
- flächenhafte Informationen für den weiteren Untersuchungsbedarf zur Verringerung des Schätzfehlers.

Die Flächenaussagen sind methodisch festgeschrieben und daher reproduzierbar.

Hieraus kann ein erster Verdacht auf regional erhöhte Gehalte abgeleitet werden. Ist der Schätzfehler für die zu betrachtende Region zu hoch, so lässt sich über die Karte des Untersuchungsbedarfs eine effektive Beprobung zur Informationsverdichtung planen. Durch iterative Anwendung von Beprobung und Auswertung lässt sich die Verringerung des Schätzfehlers optimieren.

Die Methode ist prinzipiell maßstabsunabhängig. Eine Auswertung auf Landesebene ist ebenso möglich wie eine Auswertung im großmaßstäbigen Bereich, was im Rahmen eines Vorläufervorhabens gezeigt werden konnte (F+E-Vorhaben: „Regionalisierung von Bodenschutzdaten auf Auenstandorten des Landes Brandenburg“ der FH Eberswalde im Auftrag des Landesumweltamtes).

Daten zur Geologie bzw. zu Bodenarten wurden zwar in die vorliegenden Arbeit nicht mit einbezogen, lassen sich aber ebenfalls berücksichtigen.

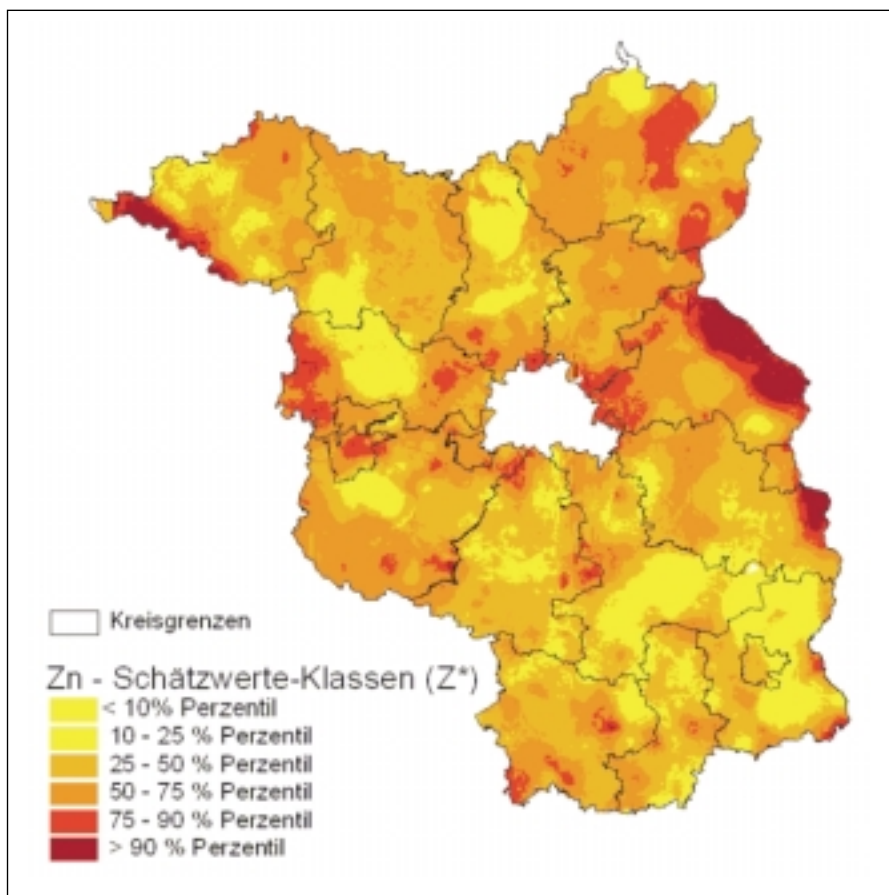


Abb. 5: Schätzwertklassen der Zinkgehalte im Oberboden

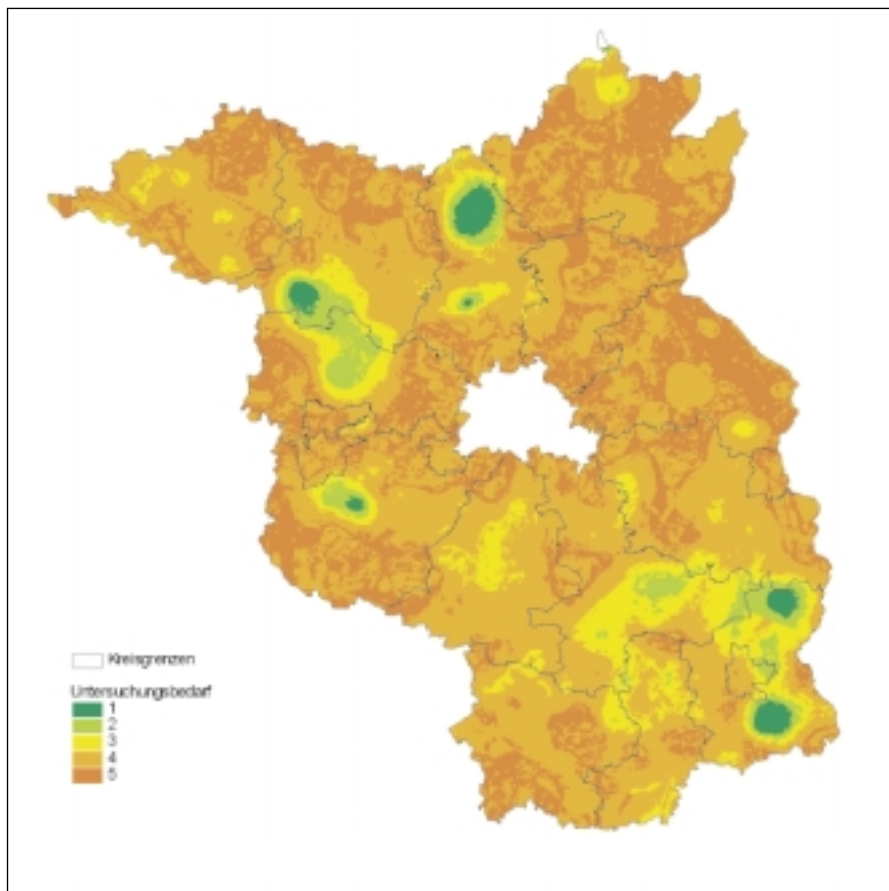


Abb. 6: Untersuchungsbedarf für Zink im Oberboden

Ergebnisse zur flächenhaften Belastungssituation

Die Auswertungen erfolgten für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer und Zink. Die Ergebnisse werden beispielhaft für das Schwermetall Zink dargestellt. Ausgangsdaten liegen für Profile des Bodenzustandskatasters vor (Abb. 4). Als Ergebnis lassen sich Flächen mit gleichen Schätzwerten für die Zinkgehalte im Oberboden darstellen (nicht normalisierte Daten, Abb. 5).

Die großflächige Hintergrundbelastung ist erkennbar gering. Auf der weit überwiegenden Landesfläche werden Zinkgehalte ausgewiesen, die unterhalb oder im Bereich der Vorsorgewerte nach der Bundes-Bodenschutzverordnung angesiedelt sind.

Regional erhöhte Zinkgehalte ergeben sich

- in Verdichtungsräumen wie dem engeren Verflechtungsraum Berlins,
- in kleinräumigen Strukturen, die dem Einfluss von Siedlungen bzw. Industriestandorten zu zuordnen sind und
- in den Auenbereichen von Elbe, Havel und Oder.

In der durch die Normalisierung der Daten resultierende Karte der Schätzwertklassen (Abb. 5) sind die Belastungstrends durch die jeweilige Nutzung eliminiert, so dass sich Bodenbelastungen durch regionale Stoffeinträge durchprägen. Auch hier wird die erhöhte Bodenbelastung in den Auenbereichen deutlich.

Aus den berechneten Schätzfehlern, die einen Hinweis auf die Verlässlichkeit der berechneten Werte geben, leitet sich die Karte des Erhebungsbedarfs (Abb. 6) ab. Letztere bietet eine wertvolle Unterstützung, wenn es darum geht, bei Verdacht erhöhter Schadstoffgehalte im Boden die Datengrundlage nötigenfalls zu verdichten.

*Dipl.-Chem. Michael Monse,
Fachhochschule Eberswalde
Dr. Rüdiger Schultz-Sternberg,
Landesumweltamt Brandenburg*

Einführung

Präsident Landesumweltamt Brandenburg, Prof. Dr. Matthias Freude

Seit zwei Jahren haben wir deutschlandweit ein Bodenschutzgesetz, seit einem Jahr die Bodenschutzverordnung, der Vollzug nach Bodenschutzrecht läuft in Brandenburg seit September 1999. Untere Bodenschutzbehörden bei den Landkreisen und kreisfreien Städten sind installiert.

Nun liegen erste Vollzugserfahrungen und damit auch Vollzugsdefizite vor. Defizite, für deren Bereinigung Lösungen bereitzustellen sind.

Hier ist das Landesumweltamt als obere Fachbehörde gefragt, sind die Landkreise im Vollzug gefragt, die begutachtenden Ingenieurbüros und – natürlich – die Wissenschaft. Also genau der Kreis von Interessierten, der sich hier zusammengefunden hat. Und das ist auch der Grund für unsere Tagung, ein guter Grund wie ich meine, und es braucht gute Gründe, wenn man 200 Fachleute von ihrer täglichen Arbeit abhält, die dann ja zwangsläufig liegen bleibt.

Im Bodenschutz ist es wie in anderen Fachbereichen auch. Immer komplexere Fragestellungen erfordern immer mehr Spezialisten, mehr Spezialisten kosten mehr Geld, Geld ist knapp. Folge: die komplexe Aufgabe Bodenschutz wird nicht oder nur unzureichend bearbeitet, wissenschaftliche Grundlagen fehlen, Vollzugsvorgaben können nicht erstellt werden. Vollzugsdefizite sind vorprogrammiert. Zum Schaden der Umwelt, zum Schaden von uns allen.

Realistisch betrachtet sind zusätzliche Geldmittel oder gar feste Stellen nicht zu erwarten, es sei denn, einschlägige Skandale oder gar Katastrophen ereilen uns. Das aber wünscht hier sicher keiner.

Als Ausweg erscheint mir die Zeit und Geld sparende arbeitsteilig fachübergreifende Zusammenarbeit aller Beteiligten. Die sich auf Wesentlichstes konzentrieren muss, wenn es auch bei der Vielzahl der anstehenden Probleme schwer fällt.

Im Landesumweltamt praktizieren wir diese medienübergreifende Arbeit beim vorsorgenden Schutz unserer Böden und der Sanierung ökologischer Altlasten seit unserer Gründung. Ohne die Mitarbeit der Fachleute aus dem Wasserbereich, der Umweltanalytik, dem Immissionsschutz, dem Naturschutz und natürlich auch unserer Auftragnehmer in wissenschaftlichen Einrichtungen und Ingenieurbüros hätte die Hand voll hauptamtlicher Bodenspezialisten meines Amtes keine Chance, ihrer Aufgabe als Vermittler zwischen Wissenschaft, Gesetzgeber und Vollzug gerecht zu werden.

Die brandenburgische Altlastenmethodik ist so entwickelt worden, das Altlastenhandbuch, die Materialienbände und die eigenen Untersuchungen zum Bodenschutz. Nicht zu vergessen die Zuarbeiten und Grundlagen für Gesetzesentwürfe. Auch jährlich mehr als 400 einschlägige Fachstellungnahmen, einige davon im Arbeitsumfang von mehreren „Mann-Jahren“. Das alles geht zwangsläufig nur fachübergreifend und institutionenübergreifend.

Auch die Erfassung der Bodenzustandsdaten an landesweit ca. 3.000 Punkten, d.h. durchschnittlich ein Beprobungspunkt

auf 10 km², und die Einrichtung von mittlerweile 30 Dauerbeobachtungsflächen wäre anders gar nicht denkbar.

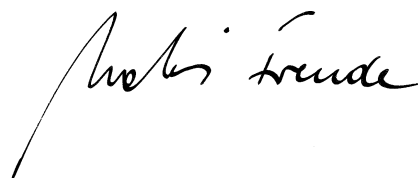
Wie dringend die Ergebnisse gebraucht werden, zeigen nicht nur die zahlreichen Anfragen aus der Praxis des Vollzuges, auch die Kollegen von der Raumordnung fragen etwa bei Bauleitplanungen und Eingriffsregelungen ständig nach. Kein Wunder bei über 800 Altlastenflächen allein im Bereich größerer Investitionsvorhaben. Für die Wasserwirtschaft sind die 2.086 Altlastverdachtsflächen im Einzugsgebiet von Trinkwasserschutzgebieten besonders interessant, die Landwirtschaft ist an Sofortaussagen zur alten, aber immer neuen Klärschlammproblematik interessiert ... Die Reihe ließe sich beliebig fortsetzen.

Gerade die Kollegen aus dem Vollzug werden nicht immer mit den wissenschaftlichen Grundlagen, Fachstellungnahmen und Regelungsvorgaben zufrieden sein. Wir sind es auch nicht.

Kein Wunder, gibt es doch für eine Vielzahl von Stoffgruppen keine Regelung, keine Vorsorgewerte, keine Maßnahmenwerte. Selbst beim Dioxin – im öffentlichen Bewusstsein besonders präsent – behelfen wir uns beim Nahrungspfad noch immer mit bloßen Richtwerten. Nicht besser sieht es bei den Arzneimitteln aus. Für mich der klassische Fall für nicht geregelte Stoffe im Bodenschutz. Wir beginnen ja gerade erst zu begreifen, was diese Substanzen – die endokrin wirksamen allzumal – in unserer Umwelt bewirken. Wahrscheinlich ist der jährliche Gesamtverbrauch an Arzneimitteln in Deutschland mittlerweile höher als der aller Pflanzenschutzmittel. 1.250 Arzneimitteldosen pro Bundesbürger und Jahr. Hochgerechnet auf Sie, geschätzte Anwesende, macht das rund 680 Arzneimitteldosen allein für den heutigen Tag. Heute Nachmittag erfahren wir Näheres.

Meine Damen und Herren, Sie sehen, vorsorgender Bodenschutz, auch und gerade im Vollzug, steht erst am Anfang. Kann erst am Anfang stehen. Weitere Vorsorgewerte sind zu erarbeiten, Verfahren zu validieren (denken Sie nur an die Sickerwasserprognose), nicht vollzugstaugliche Regelungen zu konkretisieren.

Hier müssen die richtigen Fragen formuliert werden, die Wissenschaft muss sich der dringendsten Fragestellungen annehmen, Forschungsergebnisse müssen sich im Vollzug validieren lassen und sich bewähren. Wissenschaft – Entscheidungsträger – Vollzugspraxis: Von einem reibungslosen Funktionieren dieser Kette hängt in den heutigen Zeiten knapper Kassen viel ab. Dazu muss man Wünsche und Probleme des jeweils anderen kennen. Unser heutiges Symposium dient diesem Anliegen. Ich wünsche allen Teilnehmern neue Erkenntnisse und Einsichten und der Veranstaltung einen ergebnisorientierten Verlauf.



Landesumweltamt Brandenburg

Grußwort

Umweltstaatssekretär Friedhelm Schmitz-Jersch

Ich begrüße Sie herzlich anlässlich des brandenburgischen Symposiums zur bodenschutzbezogenen Forschung hier auf Hermannswerder.

Boden, eine unserer wesentlichen Lebensgrundlagen, ist weltweit von Degradation, Versalzung, Bodenverbrauch und stofflichen Belastungen betroffen. In der südlichen Hemisphäre ist Wüstenbildung, Versteppung und Erosion das Problem Nr. 1. So sind heute mehr als 25 % der Erdoberfläche von Wüstenbildung geprägt. Im Gegensatz dazu haben die Industrienationen vor allem mit der ständigen Zunahme des Flächenverbrauchs und stofflichen Belastungen zu tun. Zwischen 1992 und 1997 hat z.B. allein die überbaute Fläche im Berliner Umland um 4.000 ha oder knapp 10 % zu genommen.

Brandenburgische Böden sind, was die stofflichen Belastungen betrifft, in weiten Bereichen noch unversehrt. Mit Ausnahme einiger großflächiger Belastungen und der ökologischen Altlasten sind sie – auch im bundesweiten Vergleich nur gering belastet. Mit großflächigen Bodenbelastungen müssen wir z.B. im Bereich der Rieselfelder und von Überschwemmungsflächen umgehen. Unser Ziel ist es, diese gute Qualität auch für nachkommende Generationen zu erhalten. Dort, wo Belastungen aufgetreten sind, müssen diese nachhaltig vermindert, beseitigt oder gesichert werden. Dies gilt auch für die Vielzahl ökologischer Altlasten, die im Land Brandenburg aufgrund seiner industriellen Vergangenheit und seiner Geschichte (vgl. militärische und Rüstungsaltlasten) existieren.

Neben dem notwendigen Umgang mit bestehenden Belastungen ist das Hauptaugenmerk verstärkt auf die Vorsorge zu richten. Altlasten dürfen zukünftig nicht mehr entstehen, zumal die Kosten der Nachsorge nachfolgenden Generationen nicht aufgebürdet werden können. „Vorbeugen statt nachsorgen“, „Boden gebrauchen statt verbrauchen“ – Leitideen, die der wissenschaftliche Beirat Bodenschutz beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit nennt, möchten wir ohne Abstriche aufgreifen. Diese Leitideen tragen wir in vollem Umfang mit – dies betrifft nicht nur das bereits angesprochene geringe Schadstoffinventar unserer Böden – auch in Brandenburgs extensiver Bodennutzung steckt ein Potential für den Bodenschutz: beispielsweise liegt der Tierbesatz mit weniger als 0,5 Großvieheinheiten weit unterhalb des bundesdeutschen Querschnitts. Erwähnt seien in diesem Zusammenhang auch die Großschutzgebiete mit ihren extensiven Nutzungsformen. Diese Gebiete nehmen inzwischen gut 30 % der brandenburgischen Landesfläche ein. Um die Chancen, das vom wissenschaftliche Beirat vorgeschlagene Leitbild „keine Verschlechterung der natürlichen Bodenfunktionen“ in Brandenburg durch zu setzen, steht es also nicht schlecht. Wir müssen diese Chancen gemeinsam ergreifen.

In der Umsetzung der Bodenschutzvorsorge bestehen jedoch noch Defizite. Dies betrifft einerseits fachliche Grundlagen, die uns die Wissenschaft liefern muss. Auf der anderen Seite ist das, was die Bodenschutzgesetzgebung heute bereits an Instrumenten bietet, konsequent zu realisieren. Hier sind Ministerium, Fachbehörden und Vollzug gleichermaßen gefordert.

Das Land Brandenburg hat in einem ersten Schritt im vergangenen Sommer die Zuständigkeiten nach Bodenschutzgesetz in einer Verordnung geregelt (Abfall- und Bodenschutz-Zuständigkeitsverordnung). Damit wurde die Voraussetzung für den Vollzug des Gesetzes, der im Wesentlichen bei den Landkreisen und kreisfreien Städte liegt, geschaffen. In einem weiteren Schritt plant das Umweltministerium auf der Ermächtigungsgrundlage des BBodSchG ein Landes-Bodenschutzgesetz. Erste Arbeitsentwürfe sind in unserem Hause in der Abstimmung.

Meine Damen und Herren, die ersten Erfahrungen mit den brandenburgischen Regelungen zum Bodenschutz im Land Brandenburg möchten wir zum Anlass nehmen, eine erste Bestandsaufnahme vorzunehmen.

Das Symposium soll die Gelegenheit bieten, den Dialog zwischen Wissenschaft und Forschung auf der einen Seite und Fachbehörden und Vollzug auf der anderen fort zu setzen. Das Hauptaugenmerk soll dabei auf die Fragen gerichtet werden, die wir gemeinsam mit der Wissenschaft beantworten müssen. Weiterentwicklung und Konkretisierung der fachlichen Inhalte und Regelungen zum Bodenschutz sind wesentliche Voraussetzung, dass dem Schutz des Bodens und seiner vielfältigen Funktionen im Naturhaushalt die ihm gebührende Rolle zugesichert wird.

Bodenschutz in Brandenburg wird als eine Querschnittsaufgabe aufgefasst. Nicht allein wegen der engen Verzahnung der bodenschutzrechtlichen Regelungen mit denen des Immissions-, Gewässer- und Naturschutzes oder auch der Abfallwirtschaft: Boden als zentraler Teil des Naturhaushalts lässt eben nicht ohne Berücksichtigung der anderen Umweltgüter betrachten. Wo Boden belastet ist, sind oft auch Fragen des Gewässerschutzes oder der Landwirtschaft betroffen. Der Betrieb einer immissionsschutzrechtlichen Anlage berührt immer auch Aspekte der Bodenvorsorge. Und schließlich führt auch das zurzeit viel diskutierte Thema der ökologischen Auswirkungen von Arzneimitteln – das einer der Schwerpunkte der Veranstaltung ist – zum Boden.

Das Landesumweltamt trägt diesem Aspekt bereits seit einigen Jahren Rechnung, indem querschnittsbezogenen Fragen ein hoher Stellenwert eingeräumt wird. Dies macht auch einen konsequenten Dialog mit Fachleuten aus angrenzenden Bereichen erforderlich. Das Symposium soll auch in diesem Sinne wirken.

Ich wünsche dem Symposium einen erfolgreichen Verlauf und hoffe, dass es sowohl zur Klärung wichtiger Fragen beiträgt als auch neue Fragen für weitere Diskussionen aufwirft.



Das Gesetz zum Schutz des Bodens und zur Sanierung von Altlasten – Entwicklung, Umsetzung und Forschungsbedarf

Günther Bachmann, Umweltbundesamt Berlin

Sehr geehrter Herr Staatssekretär, Herr Präsident, meine Damen und Herren,

Sie haben – wenn ich das so sagen darf – mit dieser Veranstaltung das Thema Bodenforschung zu einem richtigen Zeitpunkt und völlig zu Recht auf die Tagesordnung gesetzt. Nachdem es einige Zeit lang ruhig um die Bodenforschung war, ist jetzt – wie ich am Ende meiner Ausführungen zeigen kann – ein geeigneter Zeitpunkt, um das Thema Forschung und Bodenschutz erneut in aktueller Betrachtung zu thematisieren.

Sie haben mich gebeten, über das Thema „Das Gesetz zum Schutz des Bodens und zur Sanierung von Altlasten – Entwicklung, Umsetzung und Forschungsbedarf“ zu sprechen. Der Bundes-Gesetzgeber hat das Bodenschutzfachrecht geschaffen und hierzu ein Gesetz verabschiedet und Verordnungen erlassen.

Das Bundes-Bodenschutzgesetz und die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung sind seit einem Jahr in Kraft. Sie werden durch Regelungen von Ländern und Kommunen konkretisiert. Der Erlass von Gesetz und Verordnung hat die Aufgaben des Bodenschutzes aber nicht bereits erledigt. Das Bundes-Bodenschutzgesetz reguliert die Gefahrenabwehr und versucht, größte Schäden abzuwenden. Das sind wichtige Ziele. Die Umweltpolitik hat hier jedoch (nur) einen Auftakt gesetzt. Die Politik zum Schutz des Bodens muss darüber hinaus in viele andere fachrechtliche Bereiche und Fachseilschaften hineingetragen werden. Stichworte sind das Baurecht und der Flächenverbrauch, das Düngemittelrecht und die landwirtschaftlichen Fachaufgaben, die Abfallwirtschaft und viele andere mehr.

Die Facharbeit zur Ausgestaltung der Ansätze des Bundes-Bodenschutzgesetzes geht ebenfalls voran. Beispielhaft sei hier folgendes genannt: Wir sind zurzeit dabei, gemeinsam mit den Ländern, Vollzugshilfen für die Umsetzung des Bundes-Bodenschutzgesetzes und vor allem der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung zu erstellen. Hierbei geht es auch um die Harmonisierung der Werteregulungen zum Schutz des Bodens, zu der die Umweltministerkonferenz einen Bericht in Auftrag gegeben hat, der Vorschläge zur Harmonisierung der Werteregulungen z.B. bei der Verwertung mineralischer Abfälle, des Immissionsschutzes, der Klärschlammverordnung – jeweils soweit der Boden betroffen ist – enthält. Ferner geht es u.a. um die Frage der Aufbringung von Bodenmaterial, der §12 der Verordnung muss interpretiert werden; es geht auch um die Fortentwicklung der Prüfwerte hinsichtlich weiterer Stoffe.

Kürzlich hat das BMU den wissenschaftlichen Fachbeirat „Bodenschutz“ einberufen, ein Fachbeirat, der in Anhang 1 der Verordnung angekündigt ist und der die Aufgabe hat, den jeweils fortschrittlichen Stand der Untersuchungsmethoden zum Bodenschutz darzustellen. Wir haben bei der Erstellung der Verordnung das Problem gehabt, dass der Verordnungsgeber nur starr auf bestimmte Normen, Verfahren, Analytik, Probenahme verweisen kann, nicht aber dynamisch ist. Insofern hat die Bodenschutzverordnung fast schon 'Verwerfliches'

getan – sich vom wissenschaftlichen Kenntnisstand abzukoppeln. Das ist aber aus Rechtssicherheitsgründen so erforderlich. Keine Rechtsverordnung kann dynamisch auf dem jeweilig aktuellen Stand der Erkenntnis hin zitieren, sondern nur auf einen zeitlich bestimmten.

Um dieses Defizit auszubalancieren, hat man diesen Fachbeirat gebildet, der jetzt seine Arbeit aufnehmen wird und kontinuierlich den Stand des Wissens und der Technik im Hinblick auf die Bodenuntersuchung und -analytik beschreiben wird.

Der Vollzug des Bundes-Bodenschutzgesetzes liegt bei den Ländern und den Kommunen sowie bei den im BBodSchG direkt angesprochenen Pflichtigen. Insofern sieht man den einzelnen landesspezifischen Gesetzesregelungen mit hohem Interesse entgegen. Hier nur einige Stichworte: Wie wird das Sachverständigenwesen geregelt; Aufgaben der Behörden; Duldung und Mitwirkungspflichten von Grundeigentümern etc. Dies alles – hier nur auszugs- und beispielsweise – gehört zum Vollzug der Regelungen des BBodSchG. Daneben ist aber auch von Interesse, dass in den Ländern und im Vollzug z.B. darüber nachgedacht wird, „wie geht der Boden in die räumliche Planung (Bauleit-, Landschafts- Wasserwirtschaftliche Planung etc., Regionalplanung etc.) ein“.

Mit der Umsetzung des Bodenschutzrechtes sind auch die Vorsorge und die Ausstrahlung des Bodens in andere Regelungsbereiche angesprochen. Der Wissenschaftliche Beirat Bodenschutz des BMU hat im Februar 2000 ein umfassendes Gutachten zur Bodenvorsorge vorgelegt und er hatte vor drei Wochen die Gelegenheit, dieses Gutachten dem Umweltausschuss des Deutschen Bundestages vorzustellen. In diesem Gutachten ist eine Agenda der Vorsorge im Bodenschutz aufgemacht. Daraus wird deutlich, dass es noch einen großen Handlungsbedarf, nicht nur für die Bundesverwaltung, sondern auch für die Länder, für die Grundeigentümer, für die Landwirte, für alle diejenigen, die vom Bodenschutz angesprochen werden, gibt.

Der neu eingerichtete Wissenschaftliche Beirat Bodenschutz unter seinem Vorsitzenden, Prof. Dr. Thoenes, hat also in der kurzen Zeit seines Bestehens bereits ein umfassendes Gutachten zum vorsorgenden Bodenschutz vorgelegt. Der Wissenschaftliche Beirat Bodenschutz hat als Kernpunkt seiner Überlegungen darauf hingewiesen, dass wir eine Reihe neuer Leitbilder zum vorsorgenden Bodenschutz brauchen, die auf den Boden als gemeinschaftliches Gut abstellen, auf seine Bedeutung als wertvolles Gut und als Naturkörper hinweisen und die Vorstellung propagieren, Boden zu gebrauchen statt zu verbrauchen. Das Gutachten spricht noch eine Reihe anderer Punkte an wie die Erarbeitung von Methoden zur Bewertung der Lebensraumfunktion, von Maßnahmen zum Schutz gegen Erosion und Bodenschadverdichtungen. Von besonderer Bedeutung sind derzeit die Bewertung der Wirkung von Tierarzneimitteln, deren Rückständen und Metaboliten sowie der Wirkung gentechnisch veränderter Organismen und ihrer Ernterückstände auf den Boden. Auch muss der These des Boden-Beirates nachgegangen werden, dass BSE-Erreger (Prionen) in Böden persistent sein können.

Der Wissenschaftliche Beirat Bodenschutz unterstreicht dabei, dass wir uns im Bodenschutz nicht auf vermeintlichen Lorbeeren „ausruhen“ dürfen. „Alte“ Probleme wie die Cadmium-Belastung der Böden sind noch immer aktuell – man denke nur an Einträge via Luft, Klärschlamm und Kompost. Sie sind zwar allesamt in den letzten zehn Jahren durch Emissionsminderung zurückgegangen. Aber die Böden sind auf hohem Niveau vorbelastet, so dass auch geringere Einträge immer noch das insgesamt unerwünschte bis gefährlich hohe Belastungsniveau erhöhen. Der WBB erinnert aber auch daran, dass „neuen“ Problemen und Gefahren etwa durch den Eintrag von Schadstoffen, aber auch biologischen Materialien nachgegangen werden muss. Und schließlich sind die umweltpolitischen Erfolge im Bemühen, den Bodenverbrauch einzudämmen und wertvollen Boden für anspruchsvolle Nutzungen zu erhalten, bisher sehr begrenzt – um nur das Mindeste zu sagen.

Meine Damen und Herren, ich gebe Ihnen jetzt einen kurzen unvollständigen Abriss über den Forschungsbedarf, der sich aus der Umsetzung der Verordnung ergibt. Ich gehe dabei nicht auf alle weiteren Themen des Bodenschutzes ein, sondern werde kurz bilanzieren, welche Forschungsergebnisse die Verordnung enthält und was sich an Forschungsbedarf hieraus für die nähere Zukunft ergibt. Dazu stelle ich die folgende Übersicht vor:

Es geht mir zuerst um das Verhältnis zwischen dem Vollzug, den Regelungen der Verordnung und den Forschungsergebnissen aus den jahrelangen umfangreichen und richtig geldträchtigen Bemühungen des Bundesforschungsministeriums (BMBF). Und ich habe mit Absicht die Jahre 1985 bis 1992 gewählt, denn ab 1992 war eine Abnahme der Forschungsbemühungen zu beobachten und, es gab kein großes Bodenschutzforschungsprogramm mehr, sondern lediglich einige einzelne Projekte.

Im Bundesforschungsministerium gibt es in jüngster Zeit wieder erwähnenswerte Forschungsprogramme z.B. zur Altlastensanierung mit Hilfe von reaktiven Wänden, zur Fragestellung „Wie kann letztendlich durch Eisenverbindungen Grundwasser saniert werden?“. Das Forschungsprojekt „Natural Attenuation – die natürliche Selbstreinigung von Grundwasser und von Böden“ und kürzlich auch die Ausschreibung zu der Sickerwasserprognose (Fragen der Passage von Stoffen

vom Boden in das Grundwasser) zeigen, welchen großen Stellenwert das BMBF diesen speziellen bodenschutzbezogenen Themen einräumt. Die Projekte sind noch nicht angelaufen, aber sie sind schon bewertet.

Meine Damen und Herren, jetzt zu den Analyseverfahren und zur Betrachtungsweise, die die Verordnung für die Untersuchung von Böden nahe legt; hierzu das folgende Bild:

Die BBodSchV enthält ein Mix verschiedener Extraktionsverfahren zur Bestimmung der Schadstoffgehalte im Boden. Die Verordnung redet über Gesamtgehalte von Stoffen in Böden, aber auch über die wasserlöslichen Gehalte und über das, was für die Pflanze verfügbar ist. Dieser Methodenmix enthält „alte“, d.h. bereits eingeführte und „neue“, d.h. erstmals durch die Verordnung rechtlich verbindliche Untersuchungsnormen. Erstmals wurde die Neutralsalzextraktion etabliert.



Abb. 2: Untersuchungsmethoden für Stoffe in Böden

Es zeigte sich aber auch, dass der heutige Wissensstand zu den Methoden für bestimmte Untersuchungen noch nicht für eine rechtsverbindliche Regelung taugt. Dazu gehören die Untersuchungs- und Messmethoden, die aus Bodenuntersuchungen die Konzentration von Schadstoffen im Sickerwasser des Bodens prognostizieren, sowie die Methoden zur Ermittlung der für den Menschen relevanten, sogenannten resorptionsverfügbaren Anteile am Gesamtgehalt eines Stoffes im Boden.

In Zukunft wird man verstärkt über die Mobilität von Stoffen nachdenken – weil nur die mobilen Stoffe für das Grundwasser, für die Pflanze und letztendlich für den Menschen auch das Gefährliche sind. Es sind somit Fragen der Mobilität bis hin zur Frage des Humanbiomonitoring (HBM) angesprochen. Bei der Beurteilung des Wirkungspfades Boden – Mensch wird es in Zukunft darum gehen, von der Betrachtung der Gesamtgehalte wegzukommen, um verstärkt die wirkungsbezogenen Gehalte zu betrachten. Hierfür liegt die Verfahrensnorm „Extraktion/Resorption verfügbarer Gehalte von Schadstoffen im Boden“ im Entwurf vor.

Das Umweltbundesamt führt derzeit ergänzend zu dieser Methodenentwicklung einen Tierversuch durch, in dem an Mini-Schweinen geprüft wird, ob die Extraktion der nur für den Menschen relevanten Schadstoffanteile aus dem Boden zuverlässig ist und ob der richtige Teil eines Schadstoffes im Boden damit erfasst wird.

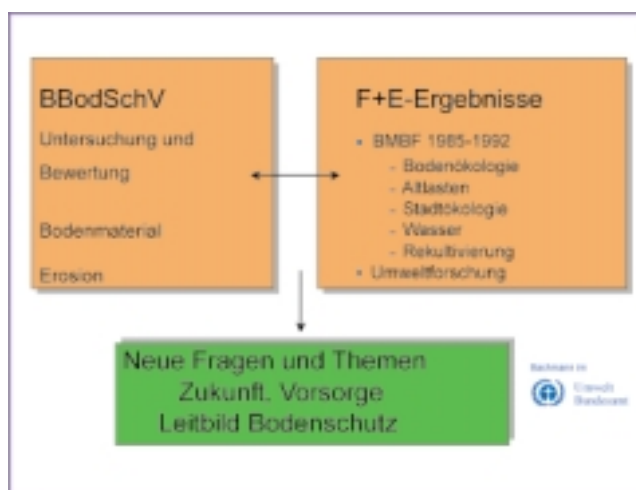


Abb. 1: BBodSchV und Forschungsbedarf

Die Verordnung enthält einige Prüfwerte zu Stoffen für den Pfad Boden – Pflanze. Derzeit läuft ein Vorhaben im Umweltbundesamt zu weiteren organischen Stoffen, die wir für diesen Pfad betrachten und regeln sollten.

Ich berichtete schon über ein umfangreiches Forschungsprogramm des Forschungsministers zu den Methoden, die Quellstärke von Kontaminationen im Boden zu bestimmen und ihren Transport durch die ungesättigte Zone zu prognostizieren. Diese umfassenden Forschungsaktivitäten reichen jedoch noch nicht aus, um alle wesentlichen Fragestellungen zur Bewertung von Stoffen im Wirkungspfad Boden – Grundwasser abzudecken. Ich verweise darauf, dass es aus Forschungssicht noch Erhebliches zu tun gibt, da wir z.B. die spezifischen Organismen, die im Grundwasserleiter leben, noch gar nicht hinreichend kennen; taxonomisch vielleicht annähernd, aber nicht im Hinblick auf die Wirkungen, die Schadstoffe auf sie haben.

Die jetzt oftmals auch für die Beurteilung von Grundwasser herangezogenen aquatotoxikologischen Untersuchungsmethoden verwenden als Testorganismen solche Organismen, die in Oberflächengewässern leben, nicht jedoch im Grundwasser. Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Beurteilung der Grundwasserqualität steht meines Erachtens noch aus. Und insofern muss das Schutzgut Grundwasser oder Bodensickerwasser auch im Bezug auf die Organismen und die Wirkung von Stoffen auf diese Organismen untersucht werden. Um dieses Themenfeld kümmert sich bisher noch keiner. Möglicherweise deswegen, weil es als ein zu großes Themenfeld erscheint. Aber es ist ein wichtiges Forschungsziel.

Ebenso stehen Untersuchungen und valide Daten aus, die es erlauben würden, der Anforderung der BBodSchV gerecht zu werden, die natürliche Beschaffenheit des flurnahen Grundwassers bei der Altlastenbeurteilung zu berücksichtigen; bislang lässt sich nur die Beschaffenheit tieferliegender Grundwasservorkommen im Sinne von repräsentativen geogenen Hintergrundwerten beschreiben.

Ein weiteres Defizit ist, dass es in der Bodenschutzverordnung noch keine Vorgabe gibt für den Schutz der Bodenorganismen.

Die Ableitung von Bodenwerten für den Pfad Boden – Bodenorganismen war im Rahmen des Verordnungsgebungsverfahrens derzeit noch nicht möglich, weil hierfür noch keine belast-

bare wissenschaftliche Grundlage für etwaige Prüfwerte und Bewertungsvorschriften für die Bodenorganismen vorlagen. Jetzt gibt es Bemühungen, entsprechende Biotests zu erstellen und die Frage zu beantworten, „was ist eigentlich 'normal' in Böden im Hinblick auf den bodenbiologischen Besatz, worauf hin müssen wir unsere Schutzgutvorstellungen eigentlich justieren“? Nicht jeder Boden braucht 300 Regenwürmer pro Kubikmeter, nicht jeder hat natürlicherweise einen solcherart hohen bodenbiologischen Besatz. Die Frage „was erwarten wir an bodenbiologischem Besatz bei bestimmten Bodentypen, bei bestimmten Nutzungsformen“? – ist ebenfalls ein Thema von großem Forschungsinteresse.

Schließlich geht es auch um „neue“ Stoffe und um die Frage, wie verhält man sich gegenüber besorgniserregenden Einträgen von Schadstoffen, für die man im Moment überhaupt noch gar keine Maßstäbe hat? Es sind nicht immer klassische Schadstoffe, von denen Bodenbelastungen ausgehen, obwohl natürlich z.B. die Cadmiumbelastung der Böden immer noch zu hoch ist. Für die Forschung können aber auch Wirkungen genetisch veränderter Organismen oder Genprodukte oder Reste von DNA, die über gentechnische Freisetzungen in Böden gelangen, wichtig sein. Es können auch – sagt uns der Wissenschaftliche Beirat Bodenschutz beim BMU – infektiöse Biomoleküle sein, von denen Bodenbelastungen ausgehen. Das alte Thema Bodenhygiene bekommt damit neue Facetten. Der Wissenschaftliche Beirat hat die Hypothese gewagt, es sei noch nicht klar, ob Erreger von BSE oder TSE im Boden persistent, d.h. überdauernd sind; jedenfalls eine gewisse Zeit lang. Dieses muss geklärt werden. Denn, wenn sie es denn wären, ist die Besorgnis, es könnte sich eine Infektionskette über die Ausscheidung des Tieres in den Boden zur Wiederaufnahme durch Anhaftung im Grünut geben, sehr groß.

Es gibt eine Reihe von sinnvollen Fortentwicklungsansätzen zum Thema „wie messen wir eigentlich Schadstoffe, die aus der Luft auf den Boden kommen“? Dass man Blei und Cadmium und auch Benzo(a)pyren messen kann, das ist nicht mehr der forschungsintensive Teil der Arbeit. Vielmehr gibt es eine große Anzahl von organischen Stoffen, die über die Luft in die Böden eingetragen werden, über die wir im Moment nicht reden, weil wir auch teilweise technisch nicht über die Mittel verfügen, diese nachzuweisen. Hier bieten sich neue automatisierte moderne Methoden der Nachweisttechnik an, die man anwenden und fortentwickeln muss.

Auch die Korrelation von Extraktionsverfahren sei kurz angesprochen. Wir haben, wie ich anfangs erwähnte, mehrere Extraktionsverfahren in der Verordnung etabliert: Wasser, Neutralsalz, Königswasser. Die Frage ist „wie verhalten sich die Extraktionen zueinander“?, das ist auch eine – zunächst alt erscheinende – Frage, die aber völlig in neuem Lichte erscheint, wenn sie in der Praxis versuchen, etwa S4-Extrakte mit Neutralsalzeextrakten zu vergleichen. Hier besteht in der Tat noch erheblicher Bedarf an weiteren Untersuchungen.

Der Eintrag von Tierarzneimittelresten in Boden und Grundwasser ist ein weiteres wichtiges Thema für die Zukunft. Wir haben in einer Studie die Tierarzneimittel, die in der Region Weser-Ems für die Geflügel- und Schweinehaltung eingesetzt werden, mengenmäßig bilanziert. Das Ergebnis ist erstaunlich. Aus ersten Tests wissen wir, dass die Tetracycline in der Gülle persistent sind, dass sie auch auf Boden aufgebracht werden und offenbar kein wesentlicher Abbau in der Gülle stattfindet. Welcher Reaktion diese Stoffe dann im Boden un-

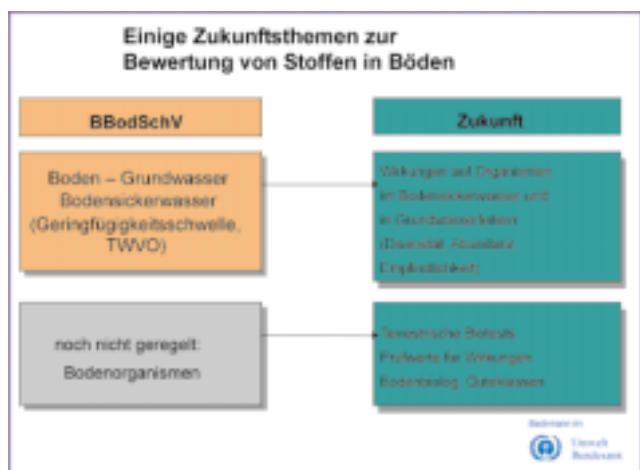


Abb. 3: Einige Zukunftsthemen zur Bewertung von Stoffen in Böden..

terliegen, ist uns noch nicht gesichert bekannt. Deswegen wollen wir in einer weiteren Phase einen geeigneten Wirkungstest für diese Stoffe finden.

Einen Hinweis noch auf ein bisher wenig gesehenes Thema: Die Bodenschutzverordnung gibt im Vollzug dem Sachverständigen oder dem Ingenieurbüro auf, er möge „sicher beurteilen“, ob eine Konzentration eines Schadstoffes im Boden einen Maßnahme- oder Vorsorgewert unterschreitet oder nicht.

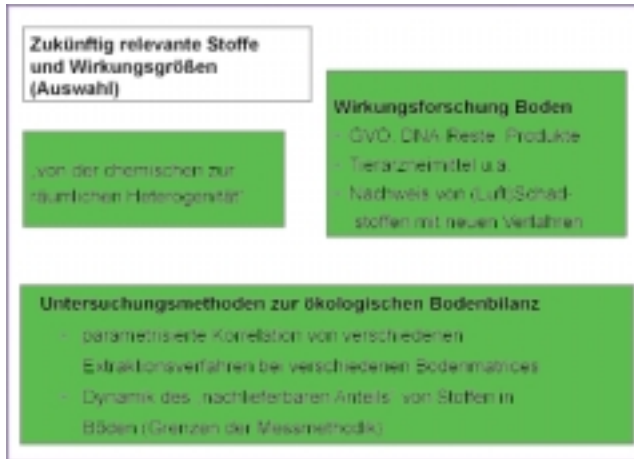


Abb. 4: Auswahl zukünftig relevanter Stoffe und Wirkungsgrößen

Das ist in vielen praktischen Fällen sicherlich aufgrund von Erfahrungswissen möglich; den Sachverständigen wird mit dieser Anforderung eine große Verantwortung zugeschrieben. Für die Beurteilung komplizierter Fälle und zur Sicherung von Wissen und Erfahrungen aus Einzelfällen muss hingegen noch weitere Forschung betrieben werden, sowohl was die räumliche Heterogenität von Böden angeht als auch was die chemische Heterogenität betrifft. Bei der chemischen Heterogenität sind wir relativ weit, bei der Frage zur räumlichen Heterogenität „wie komme ich vom Punkt einer angenommenen oder gemessenen Konzentration zu einer Aussage auf die Fläche“? ist noch umfangreiche Forschungsarbeit zu leisten.

Das Bundesforschungsministerium hat im vorigen Dezember in einer konzeptionellen Erörterung unter Einbeziehung der Bodenwissenschaften, der Wissenschaftlichen Beratungseinrichtungen und der Projektträgerschaften das weitere

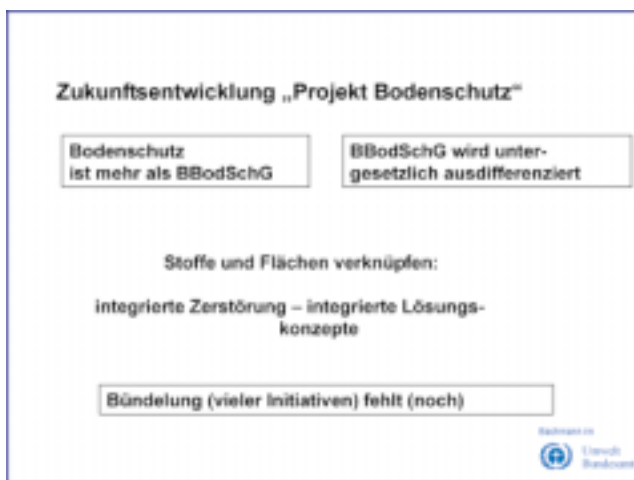


Abb. 5: Zukunftsentwicklung des „Projektes Bodenschutz“

Procedere der Bodenforschung erörtert. Im Ergebnis hat der Forschungsminister die Ansätze zu einer weiteren Initiative zur Bodenforschung aufgenommen.

Es soll ein komplexes Forschungsprojekt zur Bodenforschung und zum Flächenmanagement als Verbundprogramm geben. Dieses Verbundprogramm wird die schon in Gang gesetzten Forschungsprogramme zur Sickerwasserprognose und Natural Attenuation ergänzen.

Dieses Forschungsprogramm wird darauf aufsetzen, dass das Bundes-Bodenschutzgesetz untergesetzlich und durch die Länder ausdifferenziert wird. Man wird auf den Zusammenhang zwischen Schadstoffen und Flächennutzungskonkurrenzen eingehen.

Wir wollen die Böden schützen und insbesondere auch schützen im Hinblick auf den möglicherweise zu hohen Stoffeintrag. Diese Problematik ist verstärkt aufzugreifen, man muss integrierte Lösungskonzepte für solche Flächen, solche Böden entwickeln, die sowohl den stofflichen als auch den flächenbezogenen Aspekt berücksichtigen. Dabei halte ich es für wichtig, dass möglichst viele Initiativen gebündelt werden.

Und um eine Initiative am Ende anzusprechen, die überhaupt nichts mit Forschung zu tun hat, aber viel mit Initiative, habe ich Ihnen diese Folie gemacht: „Der Boden lebt“. Meine Damen und Herren, es handelt sich hier um die 5. Sonderbriefmarke „Der Boden lebt“.

Meine Bitte ist: Schreiben Sie nicht so viele E-mails, schreiben Sie normale Briefe und kleben Sie diese Briefmarke darauf. Denn die 50 Pfennig, die Sie extra bezahlen, gehen in Umweltbildungsprojekte zugunsten des Bodenbewusstseins, ein Teil davon geht in Projekte der 3. Welt, ein Teil davon geht in nationale Projekte. Noch bis zum 30. Juni 2000 kann man sich übrigens für Projekte beim BMU bewerben und deswegen der Hinweis: Bodenschutzforschung ist wichtig, ist sehr wichtig - aber zugleich ist natürlich auch die Umsetzung von solchem Wissen wichtig. Und deswegen, meine ich, gehört diese Briefmarke immer auf die Briefe, die Forschungsprojekte enthalten, aufgeklebt.

Dir. Prof. Dr. Günther Bachmann
Umweltbundesamt Berlin, FG II.5.1
Bismarckplatz 1, 14193 Berlin
Telefon: (030) 8903 2854

„Der Boden lebt“



Abb. 6: Briefmarke „Der Boden lebt“

I. Bodenzustand und Altlastensituation in Brandenburg

Stoffliche Belastungen brandenburgischer Böden – ein Überblick

Sabine Hahn, Annette Poot, Rüdiger Schultz-Sternberg, Dieter Wedde, Landesumweltamt Brandenburg

Einleitung

Vorsorgender Bodenschutz sowie die Sanierung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen erfordern umfassende Kenntnis über den Zustand und die stoffliche Belastung der Böden, der altlastverdächtigen Flächen und der Altlasten.

Aufgabe des Landesumweltamt Brandenburg ist es, schädlichen Stoffeinträgen in die Böden präventiv entgegenzuwirken sowie bestehende Gefahren, die sich aus ökologischen Altlasten im Land Brandenburg ergeben, zu beseitigen.

Mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) vom 17.03.1999 und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999 sind zwar rechtliche Voraussetzungen zur Lösung der genannten Problematik, insbesondere für den Vollzug durch die dafür zuständigen Behörden geschaffen worden, dennoch bleiben noch viele Fragen unbeantwortet.

Deshalb erarbeitet das Landesumweltamt Brandenburg wissenschaftlich-technische Grundlagen, Strategien und Konzepte sowie Arbeitshilfen zum vorsorgenden Bodenschutz und zur Gefahrenabwehr bei schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten.

Dies erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Vollzugsbehörden und den betroffenen Fachbehörden des Landes Brandenburg und anderer Länder sowie mit Universitäten, Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen.

Durch die Einbeziehung von Informationen der Landkreise/kreisfreien Städte und verschiedener anderer Datenquellen wurde ein zur Beurteilung der Fragen des Bodenschutzes und der Altlasten notwendiger Datenfundus aufgebaut, der nur mit moderner rechnergestützter Informationstechnik verwaltet werden kann. Hierzu stehen zwei Fachinformationssysteme zur Verfügung:

- Das Fachinformationssystem Bodenschutz (FISBOS) zur Ermittlung, Dokumentation und Bewertung von Bodenzustand, Bodenfunktion und Bodennutzung.
- Das Fachinformationssystem Altlasten (FISAL) zur Ermittlung, Dokumentation und Bewertung von altlastenverdächtigen Flächen/Altlasten und zukünftig auch von Verdachtsflächen und schädlichen Bodenveränderungen gemäß § 2 BBodSchG.

Fachinformationssystem Bodenschutz (FISBOS)

Im FISBOS werden die chemischen, physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften, ferner Bodenbelastungen und Bodengefährdungen, die Bodennutzung, Bodenschutzmaßnahmen sowie ggf. zukünftige Gebietsausweisungen erfasst und bewertet. Dieses Fachinformationssystem bildet damit ein Instrument zur Unterstützung des Vollzugs des Bundesbodenschutzgesetzes. Das FISBOS, das Schnittstellen

zu anderen Fachinformationssystemen in der Landesverwaltung besitzt, ist gemäß § 39 BbgAbfG vom Landesumweltamt zu führen. Es besteht aus den Informationsbereichen:

1. Bodenzustandskataster:
In ihm werden punktuell anhand von Einzelprofilen Daten über Zustand, Funktionen und Nutzungen der Böden erfasst, dargestellt und bewertet.
2. Planungs- und Maßnahmenkataster:
In ihm werden die flächenhafte Verteilung von Bodenzustand, Bodenfunktionen und Bodennutzung sowie zukünftig Gebietsausweisungen und Flächen mit Bodenschutzmaßnahmen erfasst. Die Darstellung erfolgt raumbezogen mittels eines Geographischen Informationssystems.
3. Boden-Dauerbeobachtung und Bodenprobenbank:
Die Boden-Dauerbeobachtung ist ein Instrument zur langfristigen Überwachung der Veränderung von Bodenzuständen und Bodenfunktionen. Über die Bodenprobenbank erfolgt die Probenarchivierung für spätere Beweissicherungen.

Bodenzustandskataster

Die Daten des Bodenzustandskatasters bilden u.a. die Hintergrundgehalte der Böden ab, wie sie gemäß § 2 Nr. 9 der Bundesbodenschutzverordnung definiert sind: Der **Hintergrundgehalt** ist der Stoffgehalt eines Bodens, der sich aus dem geogenen (natürlichen) Grundgehalt eines Bodens und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge zusammensetzt.

Mit Hilfe statistischer Verfahren lassen sich aus den Hintergrundgehalten die **Hintergrundwerte** ermitteln. Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) charakterisierte 1998 Hintergrundwerte als repräsentative Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffes oder einer Stoffgruppe in Böden. Punktueller Belastungsschwerpunkte gehen in die Hintergrundwert-Ermittlung nicht ein.

Die in Brandenburg aus den Hintergrundgehalten ermittelten Hintergrundwerte für Oberböden berücksichtigen das Bodenausgangsgestein (Sande, Lehme, Niedermoortorfe) sowie die Bodennutzung (Acker, Grünland, Wald). Nach siedlungsstrukturellen Gebietstypen, wie von der LABO empfohlen, wurde nicht differenziert, da diese in Brandenburg die unterschiedliche Hintergrundbelastung nur unzureichend widerspiegeln. Es ist aber beabsichtigt, die unterschiedliche Gebietskulisse der Hintergrundbelastung anhand möglicher Belastungsmuster auszuweisen. Zur Charakterisierung von Hintergrundwerten und deren Verteilung werden das 50. und 90. Perzentil angegeben.

Von großer Praxisrelevanz ist das Verhältnis der Hintergrundwerte zu den Vorsorgewerten. Gemäß § 8 Abs. 2 Nr. 1

BBodSchG sind Vorsorgewerte „Bodenwerte, bei deren Überschreitung unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht.“

Die ermittelten brandenburgischen Hintergrundwerte für Ackernutzung auf Sandstandorten sind in Tabelle 1 dargestellt. Sandstandorte machen etwa 60 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche Brandenburgs aus. Die Hintergrundwerte sind den in der BBodSchV genannten Vorsorgewerten gegenüber-

gestellt. Es wird ersichtlich, dass bei Sandstandorten für alle aufgeführten Stoffe die brandenburgischen Hintergrundwerte deutlich unter den bundeseinheitlichen Vorsorgewerten liegen. Diese Feststellung trifft auch für Lehm- und Schluffstandorte in Brandenburg zu, nicht aber für Auenböden, die gesondert beurteilt werden müssen. Im übrigen liegen die brandenburgischen Hintergrundwerte überwiegend auch unter den von der LABO 1998 ausgewiesenen länderübergreifenden Hintergrundwerten für anorganische Stoffe. Hintergrundwerte wurden in Brandenburg außerdem für weitere elf organische Schadstoffe abgeleitet (RITSCHEL, 2000).

Tab. 1: Hintergrundwerte brandenburgischer Böden im Vergleich zu den Vorsorgewerten am Beispiel der Ackernutzung auf Sandstandorten (Humusgehalt < 8 %)

Stoffe Angaben in mg/kg	Hintergrundwert 50. Perzentil	Hintergrundwert 90. Perzentil	Vorsorgewert
Schwermetalle			
Cadmium (Cd)	0,1	0,2	0,4
Chrom (Cr)	4	7	30
Kupfer (Cu)	4	9	20
Quecksilber (Hg)	< 0,05	0,06	0,1
Nickel (Ni)	2	5	15
Blei (Pb)	12	21	40
Zink (Zn)	15	25	60
Organika			
PCB ₆	0,003	0,003	0,05
Benzo(a)pyren	0,01	0,05	0,3
PAK ₁₅	0,16	0,5	3

Tab. 2: Hintergrundwerte brandenburgischer Böden im Vergleich zu den Vorsorgewerten für das Schwermetall Cadmium

	Acker Ap	Hintergrundwerte Grünland Ah	Wald Ah	Vorsorgewert laut BBodSchV
Sande				
Anzahl n	1.130	97	11	
50. Perz.	0,1	0,1	0,2	0,4
90. Perz.	0,2	0,3	0,3	
Lehme				
Anzahl n	272	28		
50. Perz.	0,1	0,1	k. A.	1,0
90. Perz.	0,3	0,4		
Torfe				
Anzahl n	36	61		
50. Perz.	0,1	0,1	k. A.	k. A.
90. Perz.	0,2	0,4		

k. A. keine Angabe

In Tabelle 2 sind für Cadmium die Hintergrundwerte brandenburgischer Sand-, Lehm- und Torfböden (Niedermoor- Standorte) unter Acker, Grünland und Wald aufgeführt. Deutlich wird auch hier, dass alle Hintergrundwerte erheblich unter den bundesweiten Vorsorgewerten für Cadmium liegen.

Abbildung 1 gibt einen räumlichen Überblick über das Verhältnis der Cadmiumgehalte zu den Vorsorgewerten für Cadmium. Zur Verfügung standen Messwerte von 3.045 Standorten. Beprobte und dokumentierte wurde nach einem Grundraster von 8 x 8 km mit 460 Punkten, von denen 240 Punkte im Bereich landwirtschaftlicher Nutzung liegen. Die übrigen Punkte werden im Rahmen des forstlichen Umweltmonitoring im Untersuchungsprogramm BZE durch die Landesanstalt für Forsten Eberswalde beprobt. Spezielle Untersuchungen z.B. aus F+E-Vorhaben verdichteten das Grundraster (vgl. auch SCHMIDT ET AL., 1997).

Die Übersicht berücksichtigt nicht die Bodenart am konkreten Probenahmepunkt, dennoch ist die Darstellung instruktiv. Es

überwiegen bei weitem die blau dargestellten Probenahmepunkte, deren Cadmiumgehalte unterhalb des niedrigsten Vorsorgewertes (0,4 mg Cd/kg, Vorsorgewert Sand) liegen. Die wenigen grün dargestellten Probenahmepunkte dokumentieren Cadmiumwerte, die zwar größer als die Vorsorgewerte für Sand, jedoch immer noch kleiner sind, als die Vorsorgewerte für Lehm (< 1 mg/kg). Die nur vereinzelt gelb dargestellten Probenahmepunkte repräsentieren Cadmiumwerte, die zwar über den Vorsorgewerten für Sand und Lehm liegen, jedoch niedriger sind, als die Vorsorgewerte für Ton (< 1,5 mg/kg).

Eine Überschreitung aller Vorsorgewerte findet sich an den orangen und roten Probenahmepunkten, an letzteren sogar eine Überschreitung des doppelten Vorsorgewertes für Ton (= 3,0 mg Cd/kg).

Vergleichbare Darstellungen für Blei (3.030 Standorte), für Kupfer (2.587 Standorte) und für Zink (2.721 Standorte) finden sich in Abbildungen 2 bis 4. Sie ergeben ein ähnliches Bild. Die Überschreitungen der Vorsorgewerte sind auffällig,

aber lokal sehr begrenzt und treten insbesondere in den Überschwemmungsgebieten von Elbe, Havel und Oder auf, aber auch in Siedlungsbereichen und in Straßennähe (Autobahn).

Aus den Punktdaten des Bodenzustandskatasters wurde mittels des geostatistischen Verfahrens KRIGING eine flächenbezogene Aussage zur Verteilung der Zinkgehalte im Oberboden abgeleitet und dargestellt (MONSE UND SCHULTZ-STERNBERG, 2000). Auch hierbei wird die großflächig geringe Hintergrundbelastung deutlich (Abb. 5). Regional erhöhte Zinkgehalte weisen Verdichtungsräume, z.B. der engere Verflechtungsraum Berlins, vor allem aber die Auengebiete von Elbe, Havel und Oder auf. Erhöhte Gehalte treten auch im Bereich von Siedlungen und Industriestandorten auf.

Abb. 1: Cadmiumgehalte in den Oberböden der Profile aus dem Bodenzustandskataster des Landes Brandenburg

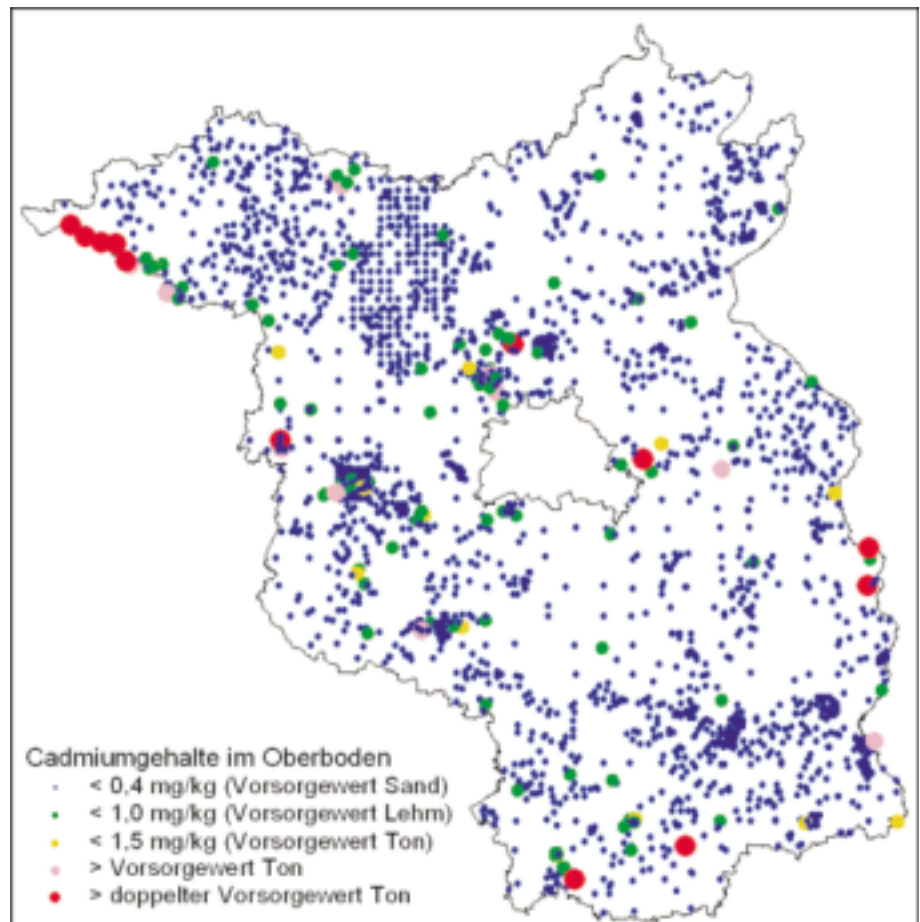
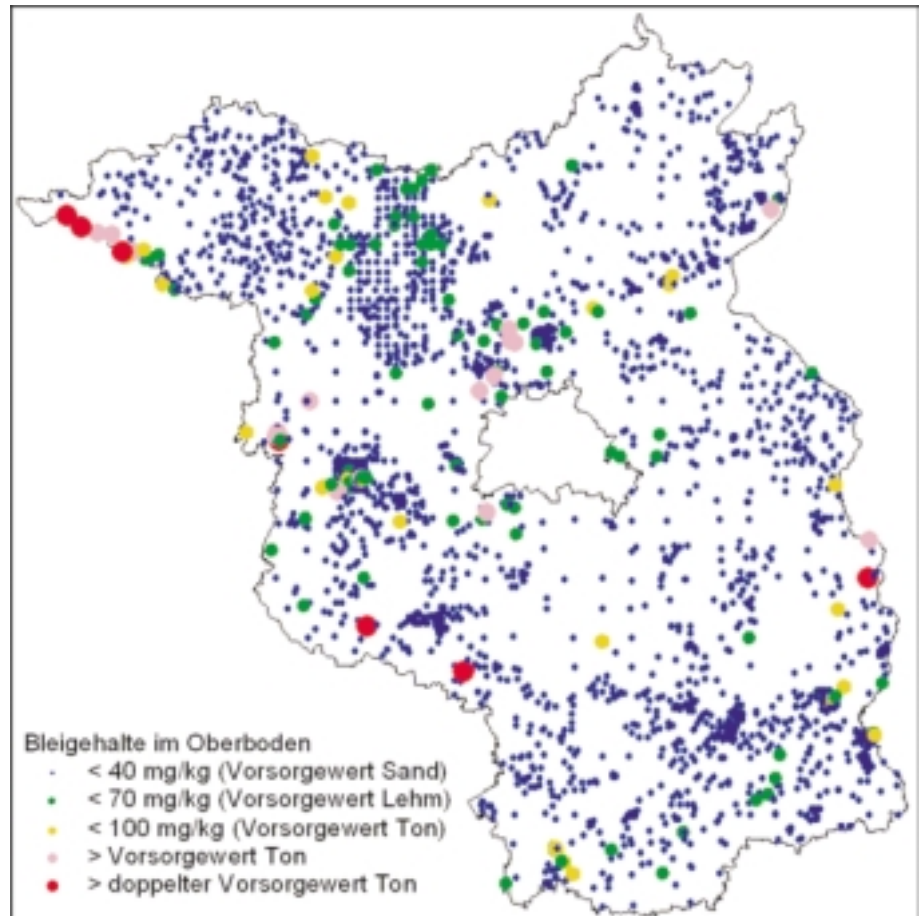


Abb. 2: Bleigehalte in den Oberböden der Profile aus dem Bodenzustandskataster des Landes Brandenburg



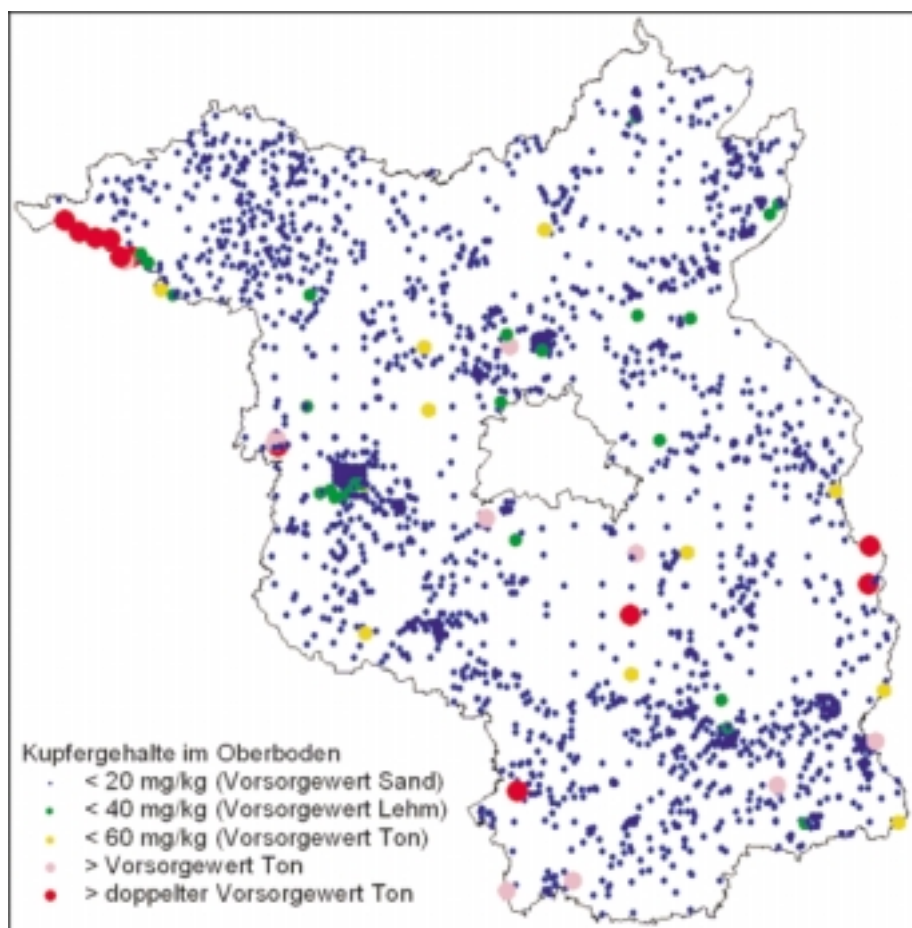


Abb. 3: Kupfergehalte in den Oberböden der Profile aus dem Bodenzustandskataster des Landes Brandenburg

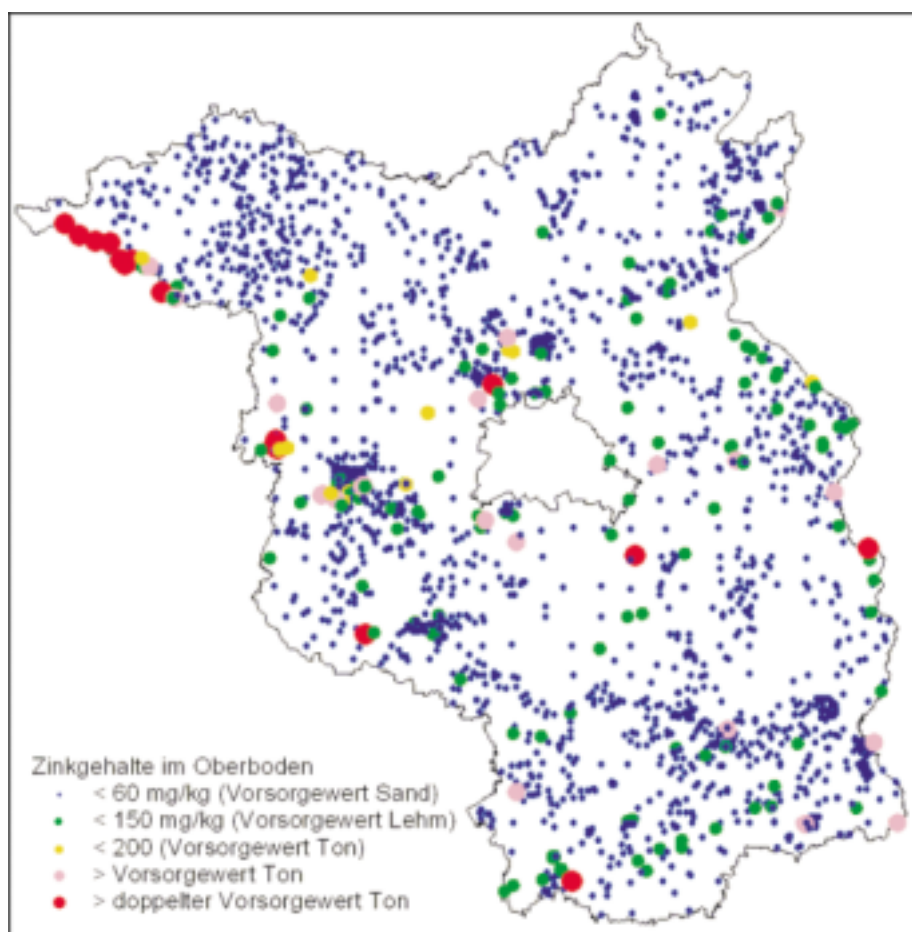


Abb. 4: Zinkgehalte in den Oberböden der Profile aus dem Bodenzustandskataster des Landes Brandenburg

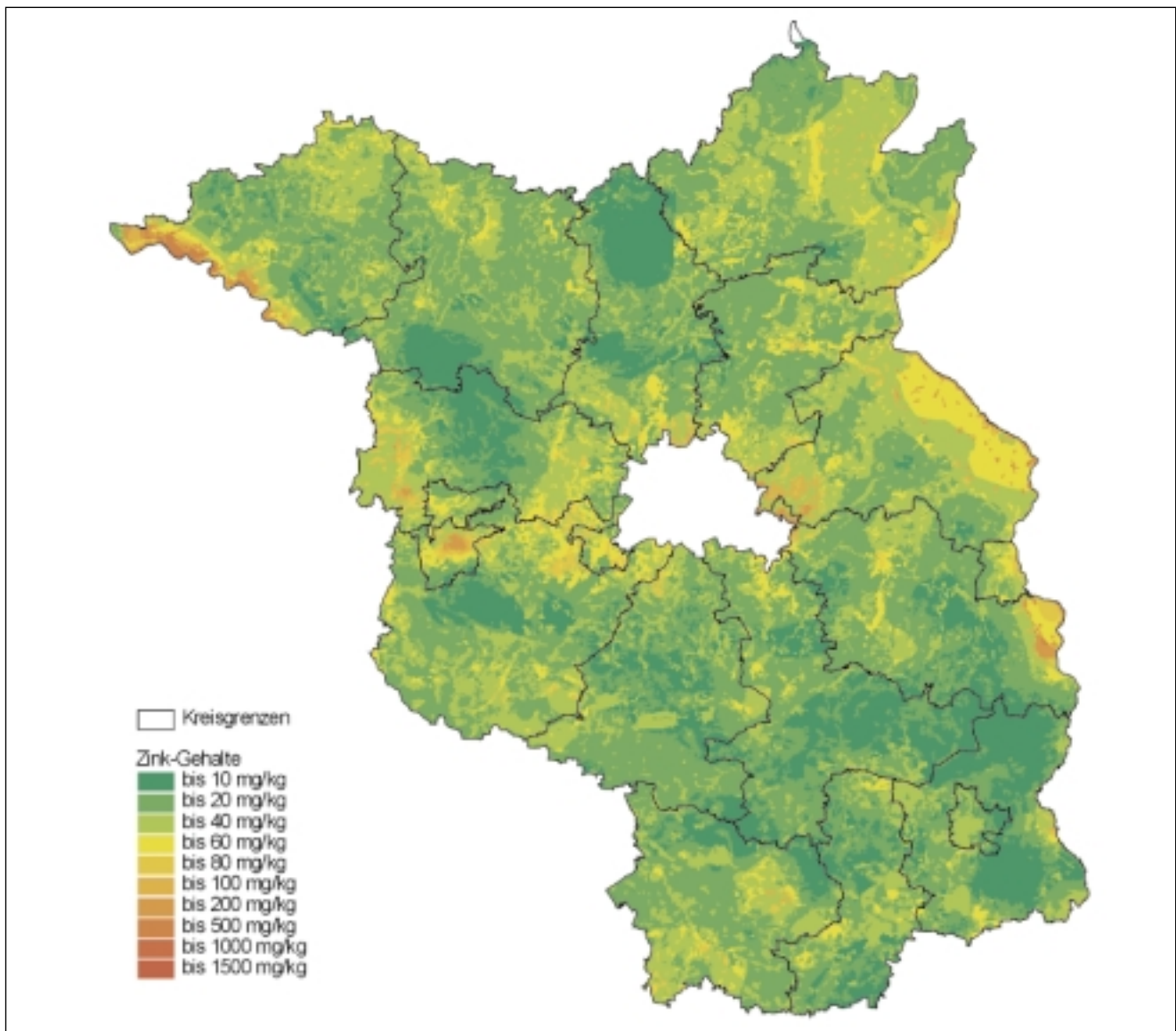


Abb. 5: Verteilung der Zinkgehalte in den Oberböden nach Berechnung mittels KRIGING-Verfahren

Planungs- und Maßnahmenkataster

Wird durch die Hintergrundwerte das „normale Niveau“ von Schadstoffgehalten in Böden beschrieben, so lassen sich durch verschiedene Belastungstypen spezifische großräumige Bodenbelastungen kennzeichnen. Trotz geringer Siedlungsdichte und wenig Industrie existieren auch in Brandenburg einige mehr oder weniger großräumige Belastungsstandorte. In Abhängigkeit von der Schadstoffeinwirkung (z.B. durch Emissionen) oder der Art der Nutzung lassen sich verschiedene Bodenbelastungstypen (z.B. Schießplätze) mit i.d.R. charakteristischen Bodenbelastungsmustern (z.B. PAK-, Bleibelastungen) unterscheiden und kennzeichnen. Neben stofflichen Einwirkungen führt die Nutzung oft auch zu Bodenverdichtungen und Degradierungen, z.B. auf Militärfeldern.

Typische Belastungsmuster großräumiger Bodenbelastungen sind:

- die Einflussbereiche von (ehemaligen) Großemittenten der Industrie, in denen von erhöhten Schadstoffgehalten in den Böden auszugehen ist und

- Flächen mit nutzungsbedingten Bodenbelastungen, u.a. Überschwemmungsgebiete, Güllehochlastflächen.

Verdachtsflächen großräumiger Bodenbelastungen im Einflussbereich von (ehemaligen) Großemittenten der Industrie lassen sich anhand vorliegender Altdaten zu Luftimmissionen modellieren. Abbildung 6 zeigt ein Bodenbelastungsmuster durch Immissionen. Am Beispiel der Böden in der Stadt Brandenburg wird die Cadmiumbelastung, von der im Nahbereich des ehemaligen Stahl- und Walzwerkes Brandenburg ausgegangen werden kann, dargestellt.

Durch Modellierung der Immissionsbelastung aus früheren Emissionen und entsprechende Rückrechnung können Bereiche gekennzeichnet werden, die zeigen, dass die Vorsorgegrenze für Cadmium überschritten werden. Es handelt sich hierbei nicht um Belastungsausweisungen anhand vorliegender Bodenuntersuchungen, sondern um Annahmen, also um den Verdacht flächenhafter Belastungen.

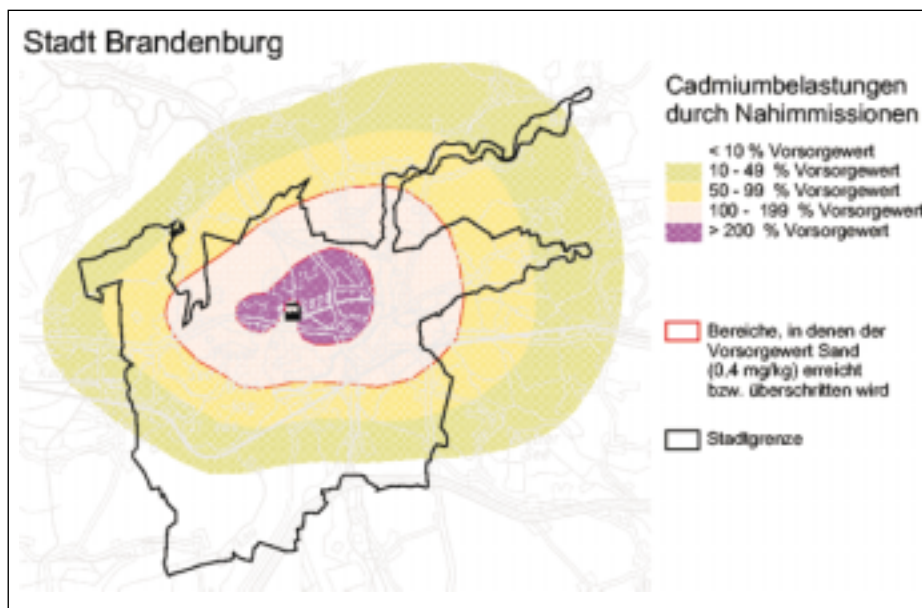


Abb. 6: Belastungsmuster durch Immissionen

Überschwemmungsgebiete, Gülleverbringungsflächen sowie Flug- und Landeplätze als mögliche Belastungsmuster sind ebenfalls für die Stadt Brandenburg in Abbildung 7 dargestellt. Auch hier bildet der Belastungsverdacht die Grundlage der Darstellung.

Relevante stoffliche Belastungen können sein:

- Schwermetalle, Dioxine, PCB in den Überschwemmungsgebieten.
- Leicht löslicher Stickstoff, Phosphor, z.T. auch Kupfer auf Gülleverbringungsflächen.
- MKW und Schwermetalle auf einem ehemaligen Militärflugplatz.

Boden-Dauerbeobachtung

Um landesweit die zeitlichen Veränderungen der Böden erfassen und bewerten zu können, wird in Brandenburg ein Messnetz von Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) betrieben (vgl. Abb. 8). Anhand der regelmäßigen Erfassung von Bodenzustand, Bodennutzung und Bodenfunktion auf diesen Flächen sollen unter Zuhilfenahme von Bewertungsmodellen frühzeitig Aussagen über Grad und Richtung von Bodenveränderungen gegeben werden.

Die drei wesentlichen Ziele der Boden-Dauerbeobachtung sind:

- langfristige Überwachung von Veränderungen des Bodenzustandes,
- Prognose des Bodenzustandes und Früherkennung schädlicher Einwirkungen auf Böden,
- Dokumentation des aktuellen Zustandes der Böden als Referenz, z.B. bei Störfällen.

In Abhängigkeit von der Intensität des Bodenmonitorings lassen sich nach LABO (2000) grundsätzlich zwei Typen von Bodendauerbeobachtungsflächen unterscheiden:

- Basis-BDF zur Merkmalsdokumentation
- Intensiv-BDF zur Merkmals- und Prozessdokumentation.

Die Merkmalsdokumentation auf der Basis-BDF erfolgt in der Regel periodisch (alle 7-10 Jahre) und ohne dauerhafte Installation von Messgeräten im Bodenkörper. Im Unterschied zur Basis-BDF werden auf Intensiv-BDF zusätzlich Stoffflüsse und Prozesse direkt in Böden erfasst. Hierzu ist eine Instrumentierung der Intensiv-BDF erforderlich, deren technische Ausgestaltung und Messintensität aus den zu betrachtenden Prozessen resultiert.

Im Land Brandenburg werden 30 Basis-BDF auf landwirtschaftlich genutzten Standorten durch das Landesumweltamt und sechs Dauerbeobachtungsflächen auf forstlich genutzten Standorten durch die Landesanstalt für Forsten Eberswalde betrieben.

Die landwirtschaftlich genutzten Standorte wurden nach drei Kategorien ausgewählt (GRIMM ET AL., 1996):

- Kategorie I: Bodendauerbeobachtungsflächen mit repräsentativen Boden-, Landschafts- und Nutzungsmerkmalen (20 BDF)
- Kategorie II: Bodendauerbeobachtungsflächen mit Bodenbelastung (6 BDF)
(Problembereiche Erosion, ehemalige Gülleverregnung, regelmäßige Überflutung sowie Schadstoffbelastungen aus industriellen Immissionen)
- Kategorie III: Bodendauerbeobachtungsflächen mit sensiblen Bodentypen (4 BDF)
(sensitive Böden wie Moore und Kolluvien; weiterhin wurde ein Standort unter ökologischer Landnutzung aufgenommen, der sich in der Art der Bodennutzung unterscheidet)

Die forstlichen Dauerbeobachtungsflächen werden im Rahmen des bundesweiten Level II-Programms als Teil des forstlichen Umweltmonitoring in Europa betrieben. Grundlagen sind die Ratsverordnung Nr. 3528 (1986) der Europäischen Union sowie die Genfer Luftreinhaltekonvention (1979). Die Dauerbeobachtungsflächen stellen die zweite Stufe der Untersuchungsintensität dar, mit der wertvolle Erkenntnisse über die

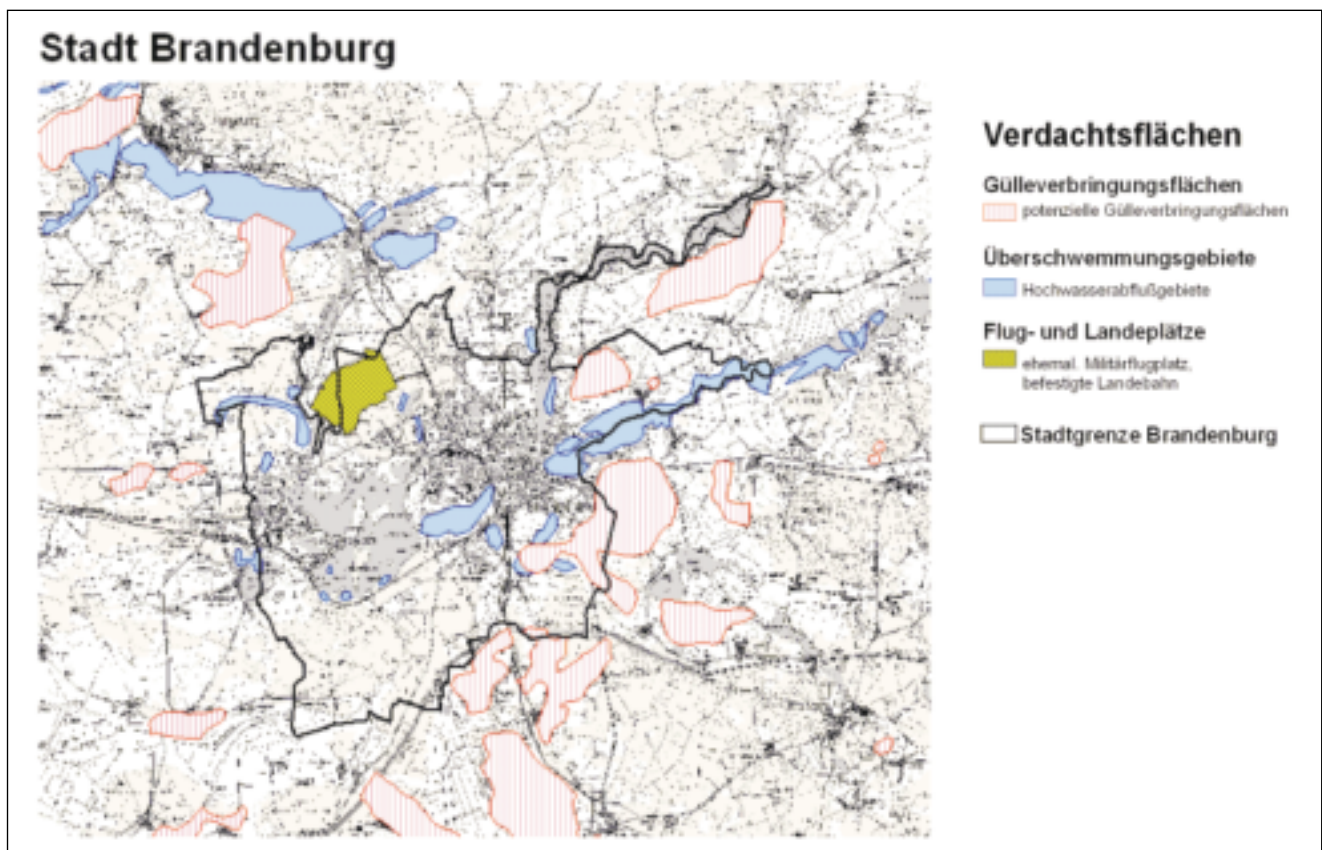


Abb. 7: Belastungsmuster durch Flächennutzung

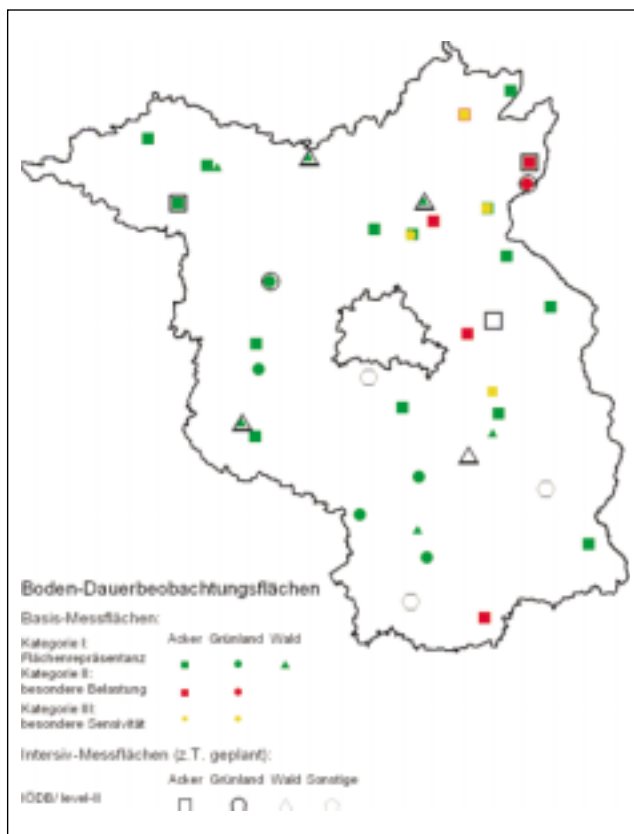


Abb. 8: Boden-Dauerbeobachtungsflächen im Land Brandenburg

Entwicklung und Bedrohung weit verbreiteter Waldökosysteme erwartet werden.

Intensiv-Messflächen werden zur Zeit im Rahmen der Integrierenden Ökologischen Dauerbeobachtung (IÖDB) eingerichtet und betrieben (OELZE UND SCHULTZ-STERNBERG, 1999). Die IÖDB wird federführend durch das Landesumweltamt betrieben; ein Koordinierungsbeirat, in dem alle Messnetzbetreiber sektoraler Messnetze aus den Umwelt- und Landwirtschaftsbereichen vertreten sind, begleitet die fachliche Steuerung.

Für das Land Brandenburg sind 12 Intensivmessflächen aus spezifischen, für Brandenburg typischen Problemfeldern vorgesehen. Ergebnisse aus den Intensivmessflächen sollen diese Problemfelder dokumentieren und Gefährdungspotenziale u.a. für den Boden aufzeigen. Die Intensiv-Messflächen haben somit Frühwarnfunktion und dienen als Kontroll- und Entscheidungsinstrument für notwendige umweltpolitische Maßnahmen.

Die erste Erhebung der 30 Basis-BDF auf landwirtschaftlich genutzten Standorten wurde 1996 abgeschlossen. Zur Zeit wird die erste Wiederholungsmessung durchgeführt, so dass noch keine Zeitreihen dargestellt werden können.

Messprogramm zur Umweltradioaktivität

Im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung (MLUR) wird die Umweltradioaktivität in Brandenburg in einem Messprogramm auf Grundlage des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) laufend überwacht (MLUR, 2000).

Die im Boden enthaltene Radioaktivität stammt überwiegend aus natürlichen Quellen. Neben Kalium-40 sind auch Radionuklide aus der Uran-Radium-Zerfallsreihe (z.B. Blei-214) sowie aus der Thorium-Zerfallsreihe (z.B. Blei-212) im Boden nachweisbar.

„Künstliche Radioaktivität“ wurde in die Böden im Wesentlichen aus zwei Quellen eingetragen:

- Fallout der oberirdischen Kernwaffenversuche: über mehrere Jahre andauernd; Höhepunkt Anfang der 60er Jahre.
- Tschernobylunfall Mai 1986: Innerhalb weniger Tage.

Die Aktivität des Kernwaffenfallout ist heute noch in Form der langlebigen Nuklide Sr-90 und Cs-137 (je etwa 30 Jahre Halbwertszeit) nachweisbar. Ihre flächenhafte Verteilung hängt vor allem von der mittleren Niederschlagsmenge ab und kann für das Brandenburger Gebiet deshalb als annähernd gleichmäßig angenommen werden.

Dies ist beim Eintrag aus Tschernobyl nicht der Fall. Die Aktivitätsverteilung über die Fläche ist hier durchaus inhomogen. Das ist durch die lokal unterschiedliche Wettersituation während des Durchzuges der radioaktiven Wolken begründet, bei der Regen zu erhöhten Ablagerungen führte.

Altlastensituation in Brandenburg

Die Altlastensituation ist bei weitem nicht so positiv einzuschätzen, wie der Zustand der brandenburgischen Böden. Das Land Brandenburg kann jedoch auf einen hervorragenden Stand der Altlastenerfassung verweisen. Gründe dafür sind vor allem die landesweite Erfassung von Altablagerungen und Altstandorten in den Jahren 1991 – 1993 als ABM-Projekt mit einer Förderung durch das Umweltministerium und die Erfassung von militärischen altlastverdächtigen Flächen und Rüstungsverdachtsstandorten in den neuen Bundesländern im Auftrag des Bundes (sog. IABG-Projekt). Die Daten wurden 1995 bzw. 1997 nach intensiver Bearbeitung durch das Landesumweltamt in das Fachinformationssystem Altlasten übernommen.

Die erhobenen Daten werden im Altlastenkataster abgelegt und im Fachinformationssystem Altlasten verwaltet.

Fachinformationssystem Altlasten (FISAL)

Das Fachinformationssystem Altlasten (Abb. 9) setzt sich zusammen aus:

- Dem ISAL-Erfassungsbogen (Erfassung in den unteren Bodenschutz-/Abfallwirtschaftsbehörden).
- Dem DV-Programm: WINISAL (Informationssystem Altlasten als WINDOWS-Applikation).
- Einer ISAL (ARC)VIEW-Applikation zur Visualisierung der altlastverdächtigen Flächen/ Altlasten (wichtige Grundlage bei Bauleitplanungen, Raumordnungsverfahren sowie bei TÖB – Stellungnahmen und fachtechnischen Stellungnahmen zu Genehmigungsverfahren).
- Einem noch in der Entwicklung befindlichen vergleichenden und einzelfallbezogenen Bewertungsverfahren.

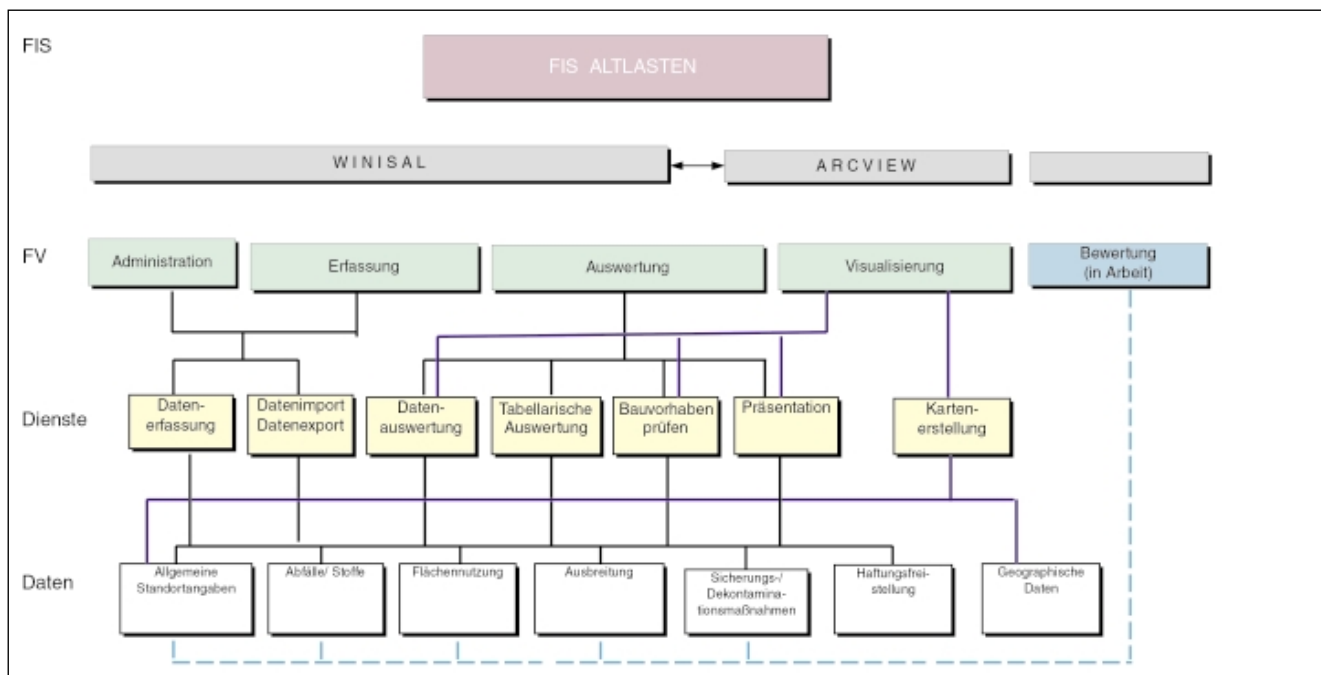


Abb. 9: Struktur des Fachinformationssystems Altlasten des Landes Brandenburg

Weitere Hinweise können dem *Merkblatt zur Altlastenerfassung im Land Brandenburg* (LUA, 1997) entnommen werden, das die Erfassung, Dokumentation und Darstellung der altlastverdächtigen Flächen (ALVF) und Altlasten (AL) dokumentiert.

Abbildung 10 zeigt den Stand der Erfassung der altlastverdächtigen Flächen, Altlasten und sanierten Flächen im Land Brandenburg zum I. Quartal 2000:



Abb. 10: Stand der Erfassung von altlastverdächtigen Flächen, Altlasten und sanierten Flächen im Land Brandenburg (I/2000)

Alle Angaben beruhen auf der Auswertung des Fachinformationssystems Altlasten des LUA. Die darin enthaltenen Daten werden quartalsweise von den unteren Bodenschutzbehörden (vorher untere Abfallwirtschaftsbehörden) an das LUA übermittelt.

In der Übersicht sind zivile und militärische ALVF/AL sowie die Rüstungsverdachtsstandorte bzw. Rüstungsaltlasten (ehemalige Produktionsstätten der Explosiv- und Kampfstoffproduktion) enthalten.

Grundlage der Erfassung war die Altlastendefinition des Landesabfallvorschriftgesetzes bzw. des Brandenburgischen Abfallgesetzes. Aufgrund der annähernd deckungsgleichen Begriffsbestimmung zum BBodSchG ist eine flächendeckende Nacherfassung für Brandenburg nicht erforderlich.

Derzeit sind **961** Altlasten, d.h. Flächen, von denen nachweislich eine Gefahr ausgeht, durch die hierfür zuständigen Behörden festgestellt worden. Bei deren Sanierung sind jedoch aufgrund von eng begrenzten finanziellen Mitteln sowie der Nach-/Weiternutzung Prioritäten zu setzen.

Immerhin wurden **810** Altlasten bereits saniert (dekontaminiert oder gesichert).

Zählt man alle ca. **25.000** Flächen zusammen, ergibt sich eine Gesamtfläche von **83 km²**. Bei 2.704 Flächen erfolgte durch die unteren Behörden bisher keine Zuordnung zu den Kategorien ALVF/AL/Sanierte Altlast.

Hervorzuheben ist, dass Brandenburg besonders durch seine intensive militärische Vornutzung gekennzeichnet ist. Bei diesen Flächen, die fast 8 % der Landesfläche ausmachen, besteht für **9.743** ein Altlastverdacht. Das Land Brandenburg hat zudem mit seinen **270** Rüstungsaltlastverdachtsstandorten einen der höchsten Anteile der gesamten Bundesrepublik (ca. 10 %).

Schadstoffbelastungen durch Altlasten

Bezogen auf Schadstoffbelastungen wurden die Daten für zivile Altstandorte und Altablagerungen des Informationssys-

tems Altlasten ausgewertet. Danach ergibt sich, dass durch Untersuchungen auf **2.043 Flächen Belastungen mit Schadstoffen** festgestellt wurden (vgl. Abb. 11). Da die einzelnen ALVF/AL aufgrund der brandenburgischen Methodik zur Altlastenbearbeitung (vgl. *Handbuch* (MUNR 1998) und *Materialien zur Altlastenbearbeitung* (LUA 1997/2000)), die auch dem Inhalt des Bundes-Bodenschutzgesetzes entspricht, in vorgeschriebenen Arbeitsstufen untersucht werden (orientierende Untersuchung, Detailuntersuchung, Sanierungsuntersuchung) und verschiedene der genannten Schadstoffe auf einer Fläche vorkommen können (Mehrfachnennung) entspricht die Zahl der festgestellten 2.043 belasteten Flächen nicht den dafür erstellten Gutachten. Für die zivilen Flächen sind bisher weit über 3.000 Gutachten erstellt worden.

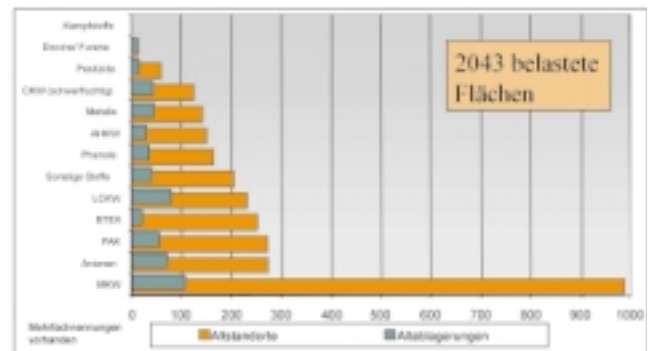


Abb. 11: Zivile Altablagerungen/Altstandorte mit festgestellten Schadstoffbelastungen

Für die militärischen Flächen konnte die Auswertung nach Schadstoffen nicht erfolgen, da hierzu keine entsprechenden Angaben vorliegen. Dennoch sind die o.g. Ergebnisse auch für diese Flächen als repräsentativ ansehen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Schadstoffgruppe Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) überwiegt. In diesem Jahr wird nicht zuletzt aus diesem Grund im Referat Altlasten eine Arbeitshilfe zur Bearbeitung von MKW-Schadensfällen bearbeitet.

Darüber hinaus stellen sich insbesondere die BTEX-, CKW-, LCKW-, PAK- und Phenolbelastungen immer wieder als ein schwieriges Problem heraus. Vor allem dann, wenn auch der Pfad Boden-Grundwasser betroffen ist, stehen Untere Bodenschutz-/Abfallbehörde und Landesumweltamt vor komplizierten Einzelfällen.

Wichtig für die Bearbeitung von Altlasten ist aber vor allem auch die Bewertung der

- **abgelagerten Abfälle** bei Altablagerungen und
- **branchentypischen Nutzung** bei Altstandorten.

Die Abbildungen 12 und 13 verdeutlichen die entsprechenden Rechercheergebnisse.

Man kann deutlich erkennen, dass die Branche Landwirtschaft in der Vergangenheit als Verursacher von **Altstandorten** besonders dominierte. Hier findet man u.a. solche Nutzungen wie Tankstellen und Reparaturstützpunkte mit deutlicher Altlastenrelevanz. Sie wird von der Verursacherguppe Sonstiges Gewerbe gefolgt.

Die Branchen der Chemischen Industrie, der Mineralölindustrie/-gewerbe und der Metallerzeugung/-bearbeitung folgen mit deutlichen Abstand. Bedeutende Altlastfälle, wie z.B. das

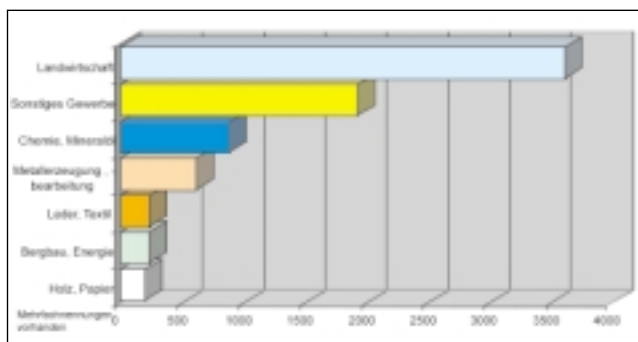


Abb. 12: Anzahl ziviler Altablagerungen infolge unterschiedliche Abfallablagerungen

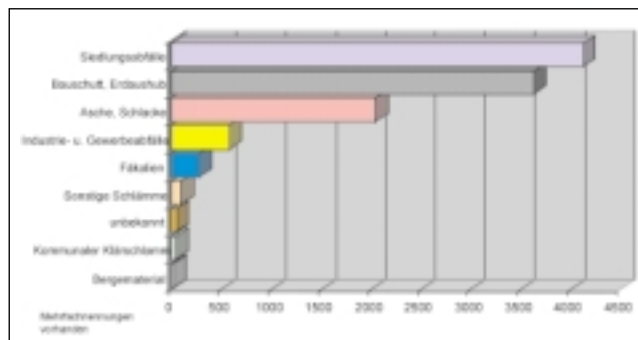


Abb. 13: Anzahl ziviler Altstandorte infolge verschiedener branchentypischer Nutzungen

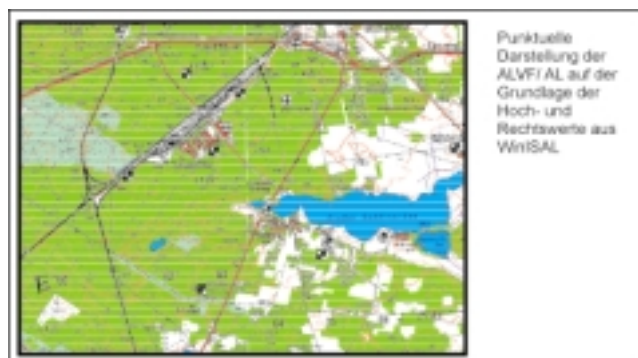


Abb. 14: Kartographische Darstellung von altlastverdächtigen Flächen/Altlasten mit ISALView

Synthesewerk Schwarzheide (heute BASF), das Petrol-Chemische Kombinat Schwedt (heute PCK-AG), das Teerwerk Erkner, das Stahl- und Walzwerk Brandenburg sowie die Flughäfen Niedergörsdorf, Eberswalde Finow und Brandenburg Briest sind dazu aktuelle Beispiele. Auch hier sind Mehrfachnennungen zu beachten.

Für die **Altstandorte** ist die vorhergehende branchentypische Nutzung ein wichtiges Indiz für die zu vermutenden Belastungen. Für die **Altablagerungen** sind die abgelagerten Abfälle für das Schadstoffinventar maßgeblich. Abbildung 13 zeigt die Verteilung der abgelagerten Abfälle auf Altablagerungen, stillgelegten Deponien/Abfallbeseitigungsanlagen bzw. illegalen Müllkippen. Wie deutlich zu erkennen ist, sind die Abfallarten Siedlungsabfälle, Bauschutt, Erdaushub, Asche und Schlacken besonders häufig auf Altablagerungen anzutreffen. Doch vor allem hinter den 500 Nennungen bei Ablagerungen von Industrie- und Gewerbeabfällen verbirgt sich oft ein hohes Gefährdungspotenzial, dass nur mit höherwertigen Sa-

nierungsmaßnahmen eine wirksame Gefahrenabwehr ermöglicht, hier sind Beispiele, wie der Giftberg Herzberg und die Altablagerung Groß-Ziethen zu nennen (vgl. DITTMANN, 1999).

Visualisierung von altlastverdächtigen Flächen/Altlasten

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen einen kleinen, aber auch gleichzeitig sehr wichtigen Bereich der Auswerte- und Recherchemöglichkeiten des Fachinformationssystems Altlasten.

Die topografische Einordnung der ALV/AL in Verschnaidung mit anderen wichtigen Sachdaten ist darüber hinaus ein nicht mehr weg zu denkender Service des Fachinformationssystems Altlasten.

Seit 1997 können die ALV/AL durch das geographische Informationssystem ArcView kartographisch dargestellt werden (vgl. Abb.14).

Eine speziell dafür entwickelte ArcView-Applikation (**ISALView**) stellt dabei die Verbindung zwischen dem Programm WINISAL (alle altlastrelevanten Daten) und dem geographischen Informationssystem (alle Sachdaten, wie z.B. Topografie, TWSZ, Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Infrastruktur, ehemalige Militärfelder, Rieselfelder etc.) her. Dazu werden die ALV/AL als Punkte mit entsprechenden Symbolen dargestellt (vgl. LUA, 1997).

Die Möglichkeit themenbezogener Auswertungen durch Verschnaidung verschiedener Sachdaten und Einordnung der vorhandenen ALV/AL kann gleichsam in den unteren Behörden und im Landesumweltamt genutzt werden. Damit stellt die Visualisierung eine wesentliche Hilfe sowohl in der Ebene der Landkreise/kreisfreien Städte als auch im LUA dar, z.B.:

- Bei der Erarbeitung von Stellungnahmen im Rahmen der Bauleitplanung (Flächennutzungs- Bebauungsplanung) zu Genehmigungs- und Zulassungsverfahren (z.B. BImSch-Anlagen), aber auch bei der Bearbeitung zur Neuordnung oder Festsetzung von Trinkwasserschutzonen.
- Bei der Entscheidungsfindung in Katastrophen-/Havariefällen (z.B. Hochwasser an der Oder 1997).

Ausblick

Zur weiteren Umsetzung der genannten Ziele des Bodenschutzes in Brandenburg sind folgende Anforderungen zu realisieren:

- Die Hintergrundbelastung brandenburgischer Böden ist flächenmäßig auf dem bisher geringen Niveau zu halten. Hierfür sind Stoffeinträge, z.B. durch die Aufbringung von Abfällen oder durch Emissionen aus Anlagen, weiter zu minimieren.
- Einer möglichen Anhebung der Hintergrundbelastung durch „Auffüllung“ bis zu den bundesweit festgeschriebenen Vorsorgewerten ist durch entsprechende Minderungsmaßnahmen an den Stoffquellen entgegenzuwirken. Hierfür sollte eine bundesrechtliche Regelung angestrebt werden, die eine regionale Herabsetzung der Vorsorgewerte für sehr gering belastete Gebiete und wenig bindige Böden zulässt. Für brandenburgische Böden mit ihrer geringen Hintergrundbelastung sind die bisherigen Vorsorgewerte der BBodSchV größtenteils deutlich zu hoch.

- Weitere Vorsorgewerte, so z.B. auch für organische Boden-substrate, sollten erstellt und in die BBodSchV aufgenommen werden.
- Gebiete, in denen aufgrund ihrer Nutzung oder Immissionssituation mit erhöhten Hintergrundbelastungen zu rechnen ist, sollten anhand von Belastungsmustern abgegrenzt und gekennzeichnet werden. Für diese Gebiete sind regionale Hintergrundwerte abzuleiten und ggf. Gebietsausweisungen nach BBodSchG zu erwägen.
- Die Datengrundlage zur Kennzeichnung des stofflichen Bodenzustandes ist vor allem auf regionaler Ebene (mittel- und großmaßstäbiger Bereich) sukzessive zu erweitern und zur Unterstützung des Bodenschutzvollzugs landesweit im FISBOS bereitzuhalten. Die Bodendauerbeobachtung ist weiterhin als Instrument der Erkennung von Zustandsänderungen des Bodens nach bundeseinheitlichen Vorgaben zu betreiben.
- Die Umsetzung, Qualifizierung und Ergänzung des insbesondere mit dem untergesetzlichen Regelwerk (BBodSchV, Bundesanzeiger) vorgegebenen fachlichen Instrumentariums zur Untersuchung und Bewertung von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten.
- Die weitere Sanierung der Altlasten, da erst 810 Altstandorte und Altablagerungen, vor allem im Rahmen der Gefahrenabwehr bei der sog. „Haftungsfreistellung“ und im Zusammenhang mit zahlreichen Abdeckungsmaßnahmen von Altablagerungen saniert (dekontaminiert bzw. gesichert) wurden.
- Die laufende Aktualisierung und Verdichtung der Daten im FIS Altlasten, um aussagefähige Berichterstattungen und Stellungnahmen fertigen zu können, die vor allem für Rechtssicherheit der Antragsteller sorgen.
- Die Erweiterung und Entwicklung des FIS Altlasten um Verdachtsflächen und schädliche Bodenveränderungen im Sinne des BBodSchG.

Im Bereich der Altlastenbearbeitung geht es zukünftig insbesondere um folgende Schwerpunkte:

- Die weitere Untersuchung und Bewertung der altlastverdächtigen Flächen (von den ca. 25.000 Flächen sind erst ca. 9 % untersucht).

Zur Umsetzung dieser Zielstellungen und Aufgaben wird die Zusammenarbeit mit Behörden, wissenschaftlichen Einrichtungen, Firmen und sonstigen Institutionen fortgesetzt.

Literatur

- BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ, LABO (1998): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. In: ROSENKRANZ, BACHMANN, KÖNIG, EINSELE (Hrsg.): Bodenschutz – Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. 9006. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- DITTMANN, H. (2000) : Sanierung der Altablagerung „Giftberg Herzberg“. In: Berichte aus der Arbeit 1999, S. 170–175, (Hrsg.): Landesumweltamt Brandenburg
- FIEBIG, H.-J.; K. HIRSCH (1998): Stand der Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg unter besonderer Berücksichtigung der historisch-deskriptiven Recherchen von Rüstungsaltlast-Verdachtsstandorten. In: Berichte aus der Arbeit 1997, S. 79-85, (Hrsg.): Landesumweltamt Brandenburg
- GRIMM, J.; MONSE, M.; HIEROLD, W., SCHMIDT, R. (1996): Bodendauerbeobachtung zur Bodenzustandsbeschreibung und -überwachung im Land Brandenburg. F&E-Vorhaben A8-2/93, Landesumweltamt Brandenburg
- HAHN, S. (1999): Schwerpunkte der Altlastenbearbeitung 1998. In: Berichte aus der Arbeit 1998, S. 130–132, (Hrsg.): Landesumweltamt Brandenburg
- LABO (2000): Boden-Dauerbeobachtung – Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. Bericht der Ad-hoc-AG Boden-Dauerbeobachtung, Ausschuss Bodeninformationssysteme der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, LABO. Im Druck
- LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG (Hrsg.) (1997, 1998, 1999, 2000): Materialien zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg. Loseblattsammlung Band 1–10
- LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG (Hrsg.) (1997): Merkblatt: Altlastenerfassung im Land Brandenburg
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND RAUMORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG (Hrsg.) (1998): Handbuch zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG (2000): Strahlenschutz – Umweltdaten – Böden – Messdaten. In: <http://www.brandenburg.de/land/mlur/s/boeden.htm>
- MONSE, M.; SCHULTZ-STERNBERG, R. (2000): Oberböden des Landes Brandenburg. Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten mittels Kriging. Workshop der LABO „Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden“ vom 28.–30. März 2000, Berlin. Im Druck
- OELZE, M.; SCHULTZ-STERNBERG, R. (1999): Der Aufbau der Integrierenden Ökologischen Dauerbeobachtung in Brandenburg (IÖDB) – Ein Konzept für eine ökosystemare Umweltbeobachtung. Berichte aus der Arbeit 1998, S. 122–125, (Hrsg.): Landesumweltamt Brandenburg
- RITSCHEL, J. (2000): Hintergrundwerte organischer Schadstoffe in Böden Brandenburgs. Berichte aus der Arbeit 1999, S. 181–187, (Hrsg.): Landesumweltamt Brandenburg
- SCHMIDT R.; BALLA, H.; SCHMIED, F.; SCHOLZ, B. (1997): Schwermetallgehalte brandenburgischer Böden. In: Fachbeiträge des Landesumweltamtes. Titelreihe Heft-Nr. 19, (Hrsg.): Landesumweltamt Brandenburg

Dr. Sabine Hahn, Annette Poot, Dr. Rüdiger Schultz-Sternberg, Dr. Dieter Wedde (Abteilungsleiter)
 Landesumweltamt Brandenburg
 Abteilung Abfallwirtschaft, Altlasten und Bodenschutz
 Telefon: (0331) 2776 144, e-mail: sabine.hahn@lua.brandenburg.de

Problematik der Stoffbelastung von Überschwemmungsböden

Wolfgang Dinkelberg, Jürgen Ritschel, Rüdiger Schultz-Sternberg, Landesumweltamt Brandenburg

Einführung

Regelmäßige Hochwasserereignisse mit Überschwemmungen können aufgrund mitgeführter belasteter Schwebstoffe und Flusssedimente aus industriereichen Einzugsgebieten zu Schadstoffakkumulationen in Auenböden im Ufer- bzw. Überschwemmungsbereich von Flüssen führen. Für das Land Brandenburg liegen solche Erkenntnisse u.a. aus den Auen- bzw. Polderbereichen der Elbe, Oder und Havel vor (PECHER, 1992; HÖHN ET AL., 1998; MONSE ET AL., 1998; LUA, 1998; ANDERS UND DINKELBERG, 1998; BETHWELL, 1999; LUA/LfL, 1999; LUA/LfL,

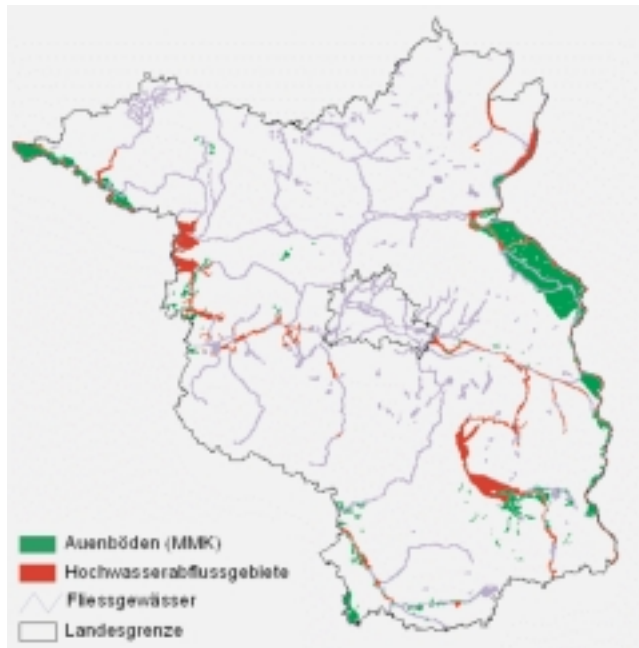


Abb. 1: Auenböden und Überschwemmungsbereiche im Land Brandenburg

2000). Folge können neben Bodenverunreinigungen Belastungen von Nahrungs- und Futtermitteln sowie auf diesen Standorten erzeugten tierischen Produkten und letztlich eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit sein. Aus diesem Grunde können Überschwemmungsstandorte als Verdachtsflächen schädlicher Bodenveränderungen gemäß § 2 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) eingestuft werden; auf die Flächen ist aus Sicht des Bodenschutzes besonderes Augenmerk zu richten.

In Brandenburg als gewässerreichstem Bundesland in Deutschland sind ca. 60.000 ha als Überschwemmungsgebiete festgelegt. Die Festlegung der Gebiete erfolgt auf Grundlage des § 32 des Wasserhaushaltsgesetzes durch die Länder, die auch entsprechende Vorschriften zum Schutz vor Hochwassergefahren erlassen. Die in Abbildung 1 dargestellten Überschwemmungsgebiete wurden dem Landschaftsprogramm Brandenburg entnommen, Grundlage ist eine Kartierung der Abteilung Wasserwirtschaft des Landesumweltamtes. Überschwemmungsflächen finden sich vor allem an Oder (ca. 14.500 ha) und Elbe (ca. 3.500 ha incl. nicht regelmäßig überfluteter Rückstaugebiete). Basierend auf der Mittelmaßstäbigen

Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) zeigt die Karte außerdem Auenböden, die vor den Eindeichungen der Flüsse durch frühere Flussverläufe und -arme, aber auch durch regelmäßige Überschwemmungen beeinflusst waren. Größte zusammenhängende Auen befinden sich im Oderbruch, im Spreewald und in der Elbtalau.

Überschwemmungsgebiete bedürfen aufgrund ihrer Schadstoffproblematik einerseits, ihrer naturschutzfachlichen Bedeutung für den Arten- und Biotopschutz, ihrer wasserwirtschaftlichen Funktion als Hochwasserabflussgebiete sowie bestehender landwirtschaftlicher Nutzungsinteressen einer integrierten Betrachtung. Ziel einer integrativen Vorgehensweise sollte eine weitgehende Lösung von Nutzungskonflikten bei der Durchführung erforderlicher Maßnahmen sein.

Schadstoffeinträge in Überschwemmungsböden – Einflussgrößen

Schadstoffbelastungen in Überschwemmungsböden zeigen in der Regel sehr heterogene Belastungsmuster, bedingt durch eine Vielzahl von Einflussgrößen:

- (frühere) Einleiter
- punktuelle / diffuse Quellen
- (frühere) Gewässerbelastungen, Sedimentbelastungen
- Überschwemmungsregime:
 - Vorländer/ Vordeich (Entfernung vom Ufer zum Deich)
 - Polder (Entfernung vom Einlassbauwerk zum Binnendeich)
 - Überflutungshäufigkeit und -dauer, Strömungsgeschwindigkeit
- Geländemorphologie (Höhen, Senken)
- Bodeneigenschaften (Tongehalt, C_{org} , Austauschkapazität)
- Bodenhorizont/-tiefe
- Bodennutzungen

Der Schadstoffeintrag erfolgt durch Überschwemmungswasser, das durch Einleitung häuslicher, gewerblicher und industrieller Abwässer belastet ist, oder durch Ablagerung belasteter Gewässersedimente auf dem Boden. Luftbürtige Einträge sind in Überschwemmungsböden i.d.R. von untergeordneter Bedeutung.

Ein Großteil der heute zu findenden Belastung stammt aus ehemaligen, jetzt stillgelegten Schadstoffquellen. Ergebnisse von Messreihen der Arbeitsgemeinschaft ARGE Elbe zwischen 1984 und 1997 an der Messstelle Schnackenburg, Niedersachsen, zeigen kontinuierliche Qualitätsverbesserungen des Wasserkörpers, zwischenzeitliche Belastungsspitzen deuten auf punktuelle Einleitungen hin; insbesondere die Arsenbelastung (As) nahm in diesem Zeitraum von ca. 8 µg/l auf 3 µg/l ab (Abb. 2).

Trotz der Verbesserung der Wasserqualität können weiterhin belastete Gewässersedimente verlagert und in die Über-

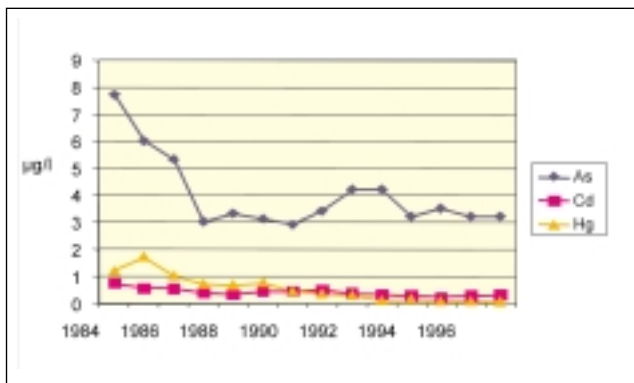


Abb. 2: Schadstoffe im Wasserkörper der Elbe bei Schnackenburg (Medianwerte, ARGE ELBE 1997)

schwemmungsböden eingetragen werden. Messungen der Elementkonzentrationen schwebstoffbürtiger Gewässersedimente der Elbe zeigen zwar ebenfalls eine rückläufige Tendenz, jedoch zeitversetzt zur Wasserqualität (Abb. 3). Höchste Arsenwerte wurden noch im Jahr 1994 gemessen. Im Vergleich zu Hintergrundwerten für Gewässersedimente bleiben die Gehalte der Gewässersedimente der Elbe stark erhöht, was in Anbetracht von Sedimenttransport und Einträgen auch bei weiterer Verbesserung der Wasserqualität zu berücksichtigen ist (vgl. auch SCHWARTZ ET AL., 1999).



Abb. 3: Elementkonzentrationen schwebstoffbürtiger Gewässersedimente der Elbe (< 20 µm) bei Schnackenburg (Medianwerte, ARGE ELBE 1997)

Neben den unterschiedlichen punktförmigen Einleitungen, den diffusen Quellen und den Gewässer- und Sedimentbelastungen führt vornehmlich das Überschwemmungsregime zu den heterogenen Bodenbelastungen der Überschwemmungsböden. Je nach Überschwemmungsregime erfolgen regelmäßige bzw. unregelmäßige Überschwemmungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten und von unterschiedlicher Dauer. Vorländer bzw. Vordeichflächen werden regelmäßig durch jährliche Winterhochwasser und durch weniger häufige Sommerhochwasser überflutet. Nasspolder mit Sommerdeichen werden z.T. regelmäßig – wie im Falle des Nationalparks Unteres Odertal – mittels Einlass-/Auslassbauwerken überschwemmt, die Nasspolder der Elbe werden hingegen nicht regelmäßig überflutet. Trockenpolder mit Winterdeichen bleiben ohne Überflutung.

Häufigkeit und Dauer der Überschwemmungen, Strömungsgeschwindigkeiten, Entfernung der Flächen vom Ufer bzw. Einlassbauwerk lassen bereits gewisse Rückschlüsse auf das räum-

liche Muster der Belastungen zu. Auf Polderflächen nehmen die Belastungen i.d.R. vom Einlassbauwerk in die Polderfläche ab, bei den Vorländern ergeben sich tendenziell höhere Belastungen in Bereichen mit geringeren Strömungsgeschwindigkeiten.

Weiter beeinflussen Geländemorphologie (Höhen, Senken), Bodeneigenschaften sowie die Bodennutzung die Stoffverteilung in Überschwemmungsböden. Höhere Akkumulationsraten treten in Senkenarealen aufgrund länger anhaltender Hochwasserstände auf. Auch bei höheren Gehalten an C_{org} und Ton sowie höherer Kationenaustauschkapazität akkumulieren Schadstoffe i.d.R. wegen ihrer bevorzugten Bindung an Huminstoffe und Ton-Humus-Komplexe. Diese Zusammenhänge konnten auch in den vom Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V. auf Polderflächen des Nationalparks Unteres Odertal durchgeführten Untersuchungen bestätigt werden (HÖHN ET AL., 1998). Erhöhte Schadstoffgehalte finden sich vor allem in Oberböden (Tiefenstufe 0–10 cm), darunter sind die Belastungen meist rückläufig. Es kann jedoch auch, i.d.R. durch ältere Sedimentationsereignisse, zu Anreicherungen in tiefer gelegenen Bodenhorizonten gekommen sein. Intensive Bodennutzung (Ackernutzung, Trittbelastung bei Beweidung) mit der Folge von Abschwemmungen und Sedimentumlagerungen können zu Schadstofffreisetzungen führen.

Schadstoffbelastungen brandenburgischer Überschwemmungsböden

Die dargestellten Forschungsergebnisse zu Schadstoffgehalten in Auenböden der Elbe und Oder basieren im Wesentlichen auf den durch das Landesumweltamt geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Regionalisierung von Bodenschutzdaten auf Auenstandorten“ der Fachhochschule Eberswalde (MONSE ET AL., 1998), „Regionale Kennzeichnung und Bewertung der Schadstoffbelastung von Überschwemmungsgebieten zur Landnutzungsplanung am Beispiel des Nationalparks 'Unteres Odertal'“ des ZALF (HÖHN ET AL., 1998) sowie weiterführenden Untersuchungen des Landesumweltamtes (BETHWELL, 1999). Die Daten, die im Fachinformationssystem Bodenschutz des Landesumweltamtes Brandenburg dokumentiert werden, wurden im Rahmen aktueller Arbeiten des LUA einer Neubewertung nach den Vorgaben des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) unterzogen.

Am Beispiel Kupfer (Cu) soll die Stoffbelastung brandenburgischer Auen und ihrer Überschwemmungsbereiche dargestellt werden (Abb. 4). Die Daten wurden dem Vorsorgewert Ton sowie dem Maßnahmenwert Grünland (Schafnutzung) gemäß BBodSchV gegenübergestellt. Die Karte zeigt, dass der Vorsorgewert für Cu von 60 mg/kg in weiten Bereichen der brandenburgischen Auen unterschritten wird, so z.B. im Bereich des Spreevalds und des Oderbruchs. Überschreitungen des Cu-Vorsorgewertes Ton finden sich in der Elbtalaue, dem Odertal sowie an der Schwarzen Elster. Überschreitungen der Vorsorgewerte nach BBodSchV zeigen die Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen an, weitere Einträge sind daher weitestgehend zu vermeiden bzw. zu minimieren. Einige Messpunkte im Vordeichbereich der Elbtalaue weisen auf Überschreitungen des Maßnahmenwerts für Cu (Grünland, Schafnutzung) nach BBodSchV hin. Hier werden Gefahrenabwehrmaßnahmen erforderlich.

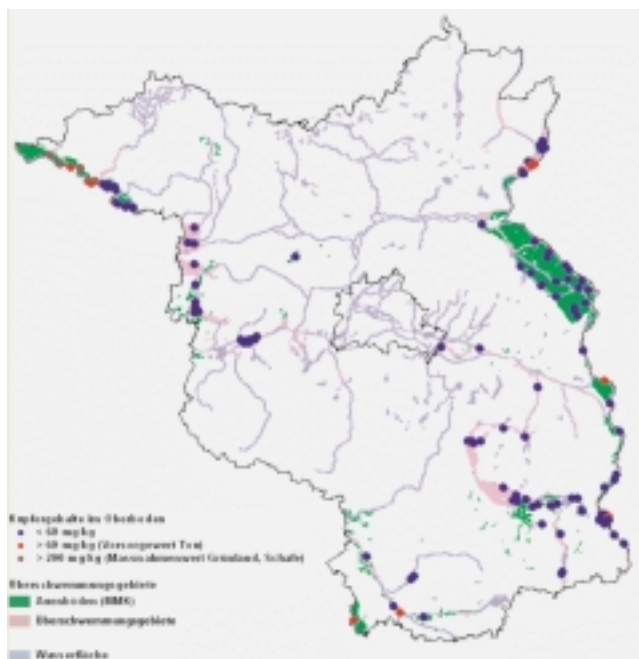


Abb. 4: Auen mit Überschwemmungsbereichen – Kupfergehalte in den Oberböden

Dieser Überblick lässt sich durch Einzeldarstellungen weiter konkretisieren.

Ergebnisse der Untersuchungen des ZALF (HÖHN ET AL., 1998) im Nationalpark Unteres Odertal weisen an Einzelproben für Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Cu, Blei (Pb) und Zink (Zn) Überschreitungen der Vorsorgewerte für die Bodenart Ton aus (Tab. 1, maximale Gehalte).

Die in der BBodSchV für Arsen (As), Cd, Cu, Nickel (Ni) und Pb festgelegten Maßnahmenwerte für Grünlandnutzung werden in keinem Fall überschritten, sodass grundsätzlich Beschränkungen der landwirtschaftlichen Nutzung zur Gefahrenabwehr nicht erforderlich sind (vgl. auch LUA/LfL 1999). Auch ROHRBACHER UND WEIGMANN (1999) sowie WEIGMANN UND SCHUMANN (1999) weisen aufgrund eigener Untersuchungen auf die Pro-

blematik erhöhter Gehalte in Überschwemmungsböden des Nationalparks Unteres Odertal hin. Die dort gefundenen Gehalte überschreiten die Maßnahmenwerte jedoch ebenfalls nicht, so dass von einer Unzulässigkeit landwirtschaftlicher Nutzung nicht ausgegangen werden kann.

Die Gehalte der im Rahmen des ZALF-Projekts untersuchten Polyaromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK, B(a)P) und Polychlorierten Biphenyle (PCB_s) zeigen ein analoges Bild: im Maximum werden Vorsorgewerte nach BBodSchV (für Böden < 8% Humus) überschritten (Tab. 2). Die an 6 Standorten exemplarisch gemessenen Dioxingehalte überschreiten den von der Bund/Länder-AG Dioxine (1993) empfohlenen Richtwert für uneingeschränkte landwirtschaftliche Nutzung (5 ng I-Teq/kg), ein Wert überschreitet den Dioxin-Richtwert II (40 ng I-Teq/kg). In diesem Falle sollten laut Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Dioxine die bodengebundene Nutztierhaltung unterlassen und nur Pflanzen mit nachweislich geringem Dioxintransfer angebaut werden.

Das Belastungsniveau der Böden im Bereich der untersuchten Elbtalaue bei Wittenberge liegt allgemein wesentlich höher als an der Oder. An ausgewählten Untersuchungsergebnissen lässt sich die Schadstoffanreicherung, die den Einfluss langjährig wiederkehrender Überschwemmungen und der (früheren) Belastungen von Wasserkörper und Gewässersedimenten zeigt, vor allem im Vordeichbereich der Elbe dokumentieren. Abbildung 5 zeigt die Cd-, Hg (Quecksilber)- und PAK-Belastung von Auenböden im Vor- bzw. Hinterdeichbereich der Elbe bei Wittenberge (MONSE ET AL., 1998). Im Vergleich zu den im Diagramm eingezeichneten brandenburgischen Hintergrundwerten für Grünland (LABO, 1998) sind die Werte der Böden im Hinterdeichbereich nur z.T. leicht erhöht, das Niveau der Vorsorgewerte der Bodenart Ton für Cd und Hg wird nicht erreicht. Die Gehalte im Vordeichbereich dagegen zeigen hohe Anreicherungen, bei Hg wird sogar der Maßnahmenwert Grünland nach BBodSchV um das 3fache (Wittenberge Nord) bzw. das 5fache (Wittenberge Süd) überschritten. Weitere Untersuchungen des Landesumweltamtes bestätigen dieses Ergebnis für Quecksilber und Arsen. Außerdem überschreiten einige Dioxingehalte die von der Bund/Länder-AG Dioxine (1993) empfohlenen Richtwerte für eine uneingeschränkte landwirtschaftliche Nutzung (LUA/LfL, 2000). Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.

Tab. 1: Arsen- und Schwermetallgehalte in Böden von Überschwemmungspoldern des Nationalparks Unteres Odertal
* Schafe

Angaben in mg/kg	Arsen	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Blei	Zink
Minimum	3	n.n.	3	2	2	6	24
Maximum	48	5,7	130	161	53	285	879
Median	22	0,9	65	40	32	77	232
Vorsorgewert Ton	k.A.	1,5	100	60	70	100	200
Maßnahmenwert Grünland	50	20	k.A.	1.300/200*	1.900	1.200	k.A.

Tab. 2: Organische Schadstoffe in Böden von Überschwemmungspoldern des Nationalparks Unteres Odertal

	PAK	B(a)P	PCB _s	PCDD/F
Minimum (mg/kg)	0,1	0,007	n.n.	13
Maximum (mg/kg)	10,2	0,6	0,02	61
Median (mg/kg)	1	0,06	0,002	k.A.
Vorsorgewert für < 8 % Humus (mg/kg)	3	0,3	0,05	k.A.
Maßnahmenwert Grünland (mg/kg)	k.A.	k.A.	0,2	k.A.
Richtwert B/L-AG Dioxine (ng I-TE/kg)	5/40			

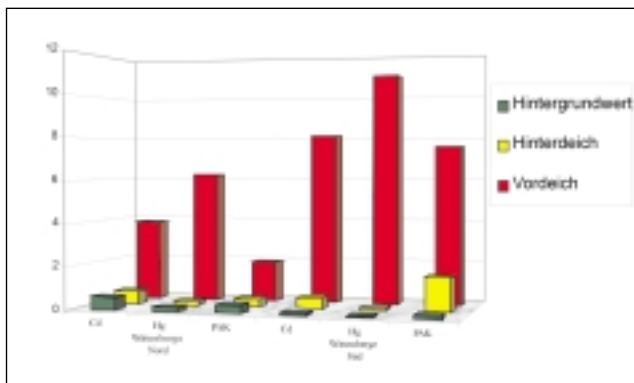


Abb. 5: Cadmium-, Quecksilber- und PAK-Gehalte in Böden der brandenburgischen Elbtalaue (Angaben in mg/kg)

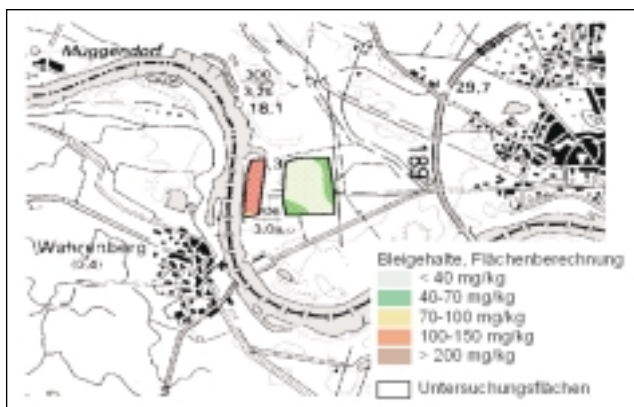


Abb. 6: Bleigehalte in den Oberböden in der Elbtalaue bei Wittenberge

Eine wesentliche Frage bei der Flächenausgrenzung der Bodenbelastungen ist die Übertragbarkeit gemessener Punktdaten in die zu bewertende Fläche. Anforderungen hinsichtlich der Repräsentativität von Punktdaten sind bereits bei der Festlegung der Probenahmeplanung zu beachten. Hierfür werden in Anhang 1 der BBodSchV Regeln aufgestellt. Für großräumige Betrachtungen eignen sich auch geostatistische Verfahren, wie z.B. das KRIGING, um von Punktinformationen zu flächenhaften Aussagen zu kommen. Diese Methode wurde im Rahmen des Vorhabens „Regionalisierung von Bodenschutzdaten auf Auenstandorten“ (MONSE ET AL., 1998) angewandt. Die Flächenberechnung für Bleigehalte auf Standorten bei Wittenberge und deren Bewertung sind in Abbildung 6 dargestellt. Hier ist das unterschiedliche Belastungsniveau zwischen Hinterdeich- und Vordeichbereich erkennbar.

Weitere Prüfungen und Maßnahmen, mögliche Konsequenzen für die Landnutzung

Vorgestellte Ergebnisse geben vor allem in regelmäßig überfluteten Vordeichbereichen, insbesondere an der Elbe, Anhaltspunkte für das Vorliegen schädlicher Bodenveränderungen im Sinne des BBodSchG.

Grundsätzlicher Handlungsbedarf besteht daher in der weiteren Erfassung aller Verdachtsflächen mit entsprechenden Recherchen zu Nutzungen und zur Einleitorsituation sowie ggf. erforderli-

chen orientierenden Bodenuntersuchungen. Bestätigen sich Verdachtsmomente, sind auf den betroffenen Überschwemmungsflächen Detailuntersuchungen, insbesondere Untersuchungen von Grünland- bzw. Futteraufwuchs und tierischen Produkten (Milch, Innereien) durchzuführen. Unabhängig hiervon sind aus Vorsorgegründen Maßnahmen zur weiteren Reduzierung zukünftiger Schadstoffeinträge in Gewässer und angrenzende Überschwemmungsböden anzustreben.

Wird aufgrund der Schadstoffbelastung von Böden, Aufwuchs bzw. tierischen Produkten auf Überschwemmungsflächen eine Gefahr gemäß BBodSchG festgestellt, sind durch den Pflichtigen nach § 4 BBodSchG Maßnahmen zur Gefahrenabwehr durchzuführen. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen kommen vor allem Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen durch Anpassungen der Nutzung und der Bewirtschaftung der Böden sowie Veränderungen der Bodenbeschaffenheit in Betracht (§ 5 Abs. 5 BBodSchV). Im Falle der meist als Wiesen bzw. Weide genutzten Überschwemmungsflächen können solche Maßnahmen vor allem

- eine an die Überschwemmungsereignisse zeitlich angepasste Beweidung,
- kurze Beweidungszeiten mittels häufigem Viehumtrieb,
- Mahd- statt Weidenutzung (somit keine bodengebundene Nutztierhaltung),
- die kleinräumige Ausgrenzung belasteter Areale oder
- die Eigenverwertung des Aufwuchses nur im Erzeugerbetrieb sein.

Im Falle hoch belasteter Flächen ist eine vollständige Herausnahme der Flächen aus der landwirtschaftlichen Nutzung und Umnutzung, z.B. für die Umsetzung von Fachplanungen des Naturschutzes zu prüfen.

In vielen Fällen können naturschutzfachliche Ziele und Planungen (z.B. Pflege- und Entwicklungspläne) Hand in Hand mit den Erfordernissen der Gefahrenabwehr gehen. Im Rahmen der Planung und Durchführung ggf. erforderlicher Gefahrenabwehrmaßnahmen ist es daher dringlich geboten, neben den Flächeneigentümern bzw. -nutzern (i.d.R. Landwirte) auch betroffene Naturschutzbehörden und -verwaltungen einzubeziehen. Im Falle der im Bereich des Biosphärenreservats Brandenburgische Elbtalaue liegenden schadstoffbelasteten Vorländer sind hierbei Managementmaßnahmen und Prozessschutz zu berücksichtigen, insbesondere Extensivierungsmaßnahmen im Rahmen des Vertragsnaturschutzes, die Überführung von Flächen in freie Sukzession, die Entwicklung von Weichholzauen sowie die Ausweisung von Kernzonen (Totalreservaten), u.a. bei der Schaffung von Retentionsräumen durch Rückdeichung. Auf bereits vorliegende Erfahrungen in der Umsetzung von Vorhaben im Management und Prozessschutz (vgl. auch NEUSCHULZ, 2000) sollte hierbei zurückgegriffen werden.

Im Rahmen der wasserbaulichen Maßnahmenplanung sollten vorhandene Boden- und Sedimentbelastungen berücksichtigt werden. Dies trifft vor allem zu bei Maßnahmen wie Deichrückbau und Deichrückverlegung sowie Gewässerausbau- und Unterhaltungsmaßnahmen (Verwertung/ Beseitigung des anfallenden Baggerguts).

Ausblick

Die im Rahmen der o.g. Projekte ermittelten Untersuchungsergebnisse im Bereich von Überschwemmungsgebieten erfor-

den weitere Erhebungen und einzelfallbezogene Untersuchungen. Das Landesumweltamt plant in Abstimmung mit der obersten Bodenschutzbehörde, dem Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, anderen betroffenen Fachbehörden sowie den zuständigen unteren Bodenschutzbehörden die Durchführung weiterer Untersuchungen zur Validierung und Ergänzung der bisherigen Ergebnisse. Zum Umgang mit Bodenbelastungen in Überschwemmungsgebieten sind außerdem Handlungshilfen, die den Vollzug unterstützen, erforderlich. Die Zusammenarbeit und der fachliche Austausch mit benachbarten Bundesländern, die dieselben Fragestellungen zu bewältigen haben, soll intensiviert werden. Bei der Planung und Durchführung von Maßnahmen sollen die betroffenen Flächennutzer und Schutzgebietsverwaltungen

noch stärker als bisher einbezogen werden, um möglichst einvernehmliche Lösungen sowohl im Sinne des Boden- und Naturschutzes als auch der Landwirtschaft zu finden.

Die Auswertung der dargestellten Untersuchungsergebnisse aus brandenburgischen Überschwemmungsgebieten hat schließlich deutlich gemacht, dass die nunmehr geltenden Vorschriften des Bodenschutzrechts für die dort geregelten Stoffe eine geeignete Bewertungsgrundlage bieten. Es gibt jedoch noch Defizite, z.B. hinsichtlich noch nicht geregelter Stoffe, die den Vollzug erschweren. Hier sind Ergänzungen, wie sie auch durch den Bundesrat im Rahmen des Verfahrens zur BBodSchV formuliert worden sind, dringend erforderlich.

Literatur

- ANDERS, L.; DINKELBERG, W. (1998): Auswirkungen des Sommerhochwassers der Oder auf Stoffgehalte überschwemmter Böden. *Boden & Wasser*, 50/10, S.22-25 (1998). Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin
- ARGE ELBE (1984 – 1992): Wassergütedaten der Elbe von Schnackenburg bis zur See. Zahlentafeln. Hamburg. Zitiert nach SCHWARTZ ET AL., 1999
- ARGE ELBE (1993 – 1997): Wassergütedaten der Elbe von Schmilka bis zur See. Zahlentafeln. Hamburg. Zitiert nach SCHWARTZ ET AL., 1999
- BETHWELL, C. (1999): Schadstoffbelastung von Böden im Nationalpark „Unteres Odertal“ vor und nach dem Oderhochwasser 1997. Studien und Tagungsberichte, Band 22. Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg, (Hrsg.): Landesumweltamt Brandenburg
- Bund-/Länder-AG Bodenschutz, LABO (1998): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. In: ROSENKRANZ, D.; BACHMANN, G.; KÖNIG, W.; EINSELE, G. (Hrsg.) Bodenschutz, Nr. 9006. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Bund/Länder-AG DIOXINE (1993): 2. Bericht der Bund/Länder-AG Dioxine. In: Umweltpolitik, BMU
- HÖHN, A.; HIEROLD, W.; SCHALITZ, G. (1998): Regionale Kennzeichnung und Bewertung der Schadstoffbelastung von Überschwemmungsgebieten zur Landnutzungsplanung am Beispiel des Nationalparks „Unteres Odertal“. Gutachten des Zentrums für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung ZALF e.V., Müncheberg, im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg
- Landesumweltamt Brandenburg (LUA) (1998): Das Sommerhochwasser an der Oder 1997. Fachbeiträge anlässlich der Brandenburger Ökologietage II. Studien und Tagungsberichte, Band 16, S.70–78. Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg
- LUA/LfL (1999): Schadstoffbelastung von Böden und Aufwuchs in Überschwemmungsgebieten des Unteren Odertals. Bericht von Landesumweltamt (LUA) und Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, 13. Dezember 1999 (unveröffentlicht)
- LUA/LfL (2000): Schadstoffbelastung von Böden, Aufwuchs und tierischen Produkten aus Vordeichbereichen der Elbe. Bericht von Landesumweltamt (LUA) und Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, 18. April 2000 (unveröffentlicht)
- MONSE, M.; ALBERT, J.; SCHOLZ, B.; SCHMIDT, R. (1998): Regionalisierung von Bodenschutzdaten auf Auenstandorten. Forschungsvorhaben der Fachhochschule Eberswalde, Fachbereich Landschaftsnutzung und Naturschutz im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg
- NEUSCHULZ, F. (2000): Management und Prozessschutz. Erfahrungen aus dem Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe (Brandenburg). *Naturschutz und Landschaftsplanung* 32, (2-3), S.71–74, 2000
- PECHER, A. (1992): Ermittlung des Schwermetallgehaltes landwirtschaftlich genutzter Böden des Landes Brandenburg ausgehend von Untersuchungsergebnissen der LUFA Potsdam. Diplomarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin
- ROHRBACHER, R.; WEIGMANN, G. (1999): Pilotstudie zur Schwermetallbelastung der Naßpolder im Nationalpark „Unteres Odertal“, Institut für Biologie, AG Bodenzöologie und Ökologie, Freie Universität Berlin. Im Auftrag der Nationalparkstiftung Unteres Odertal



- SCHWARTZ, R.; NEBELSIEK, A.; GRÖNHÖFT, A. (1999): Das Nähr- und Schadstoffdargebot der Elbe im Wasserkörper sowie in den frischen schwebstoffbürtingen Sedimenten am Meßort Schnackenburg in den Jahren 1984 – 1997. *Hamburger Bodenkundliche Arbeiten* 44 (1999), 65-83
- WEIGMANN, G.; SCHUMANN, M. (1999): Bodentypen und Schwermetallbelastung von Böden, Pflanzen und Bodentieren in Überschwemmungsgebieten des Unteren Odertals. In: DOHLE, W., BORNKAMM, R. & WEIGMANN, G.: *Das Untere Odertal*. Limnologie aktuell, Bd. 9. Schweitzerbart, S. 23–38, Stuttgart 1999

Dr. Wolfgang Dinkelberg, Dipl.-Ing. Jürgen Ritschel, Dr. Rüdiger Schultz-Sternberg
Landesumweltamt Brandenburg
Abteilung Abfallwirtschaft, Altlasten und Bodenschutz
Referat Bodenschutz
Telefon: (0331) 2776 453
e-mail: Wolfgang.Dinkelberg@lua.brandenburg.de

Die Schadstoffverlagerung aus Böden ehemals militärisch genutzter Areale in ein angrenzendes Niedermoorgebiet

Oswald Blumenstein, Universität Potsdam

Das Problem

Mit einer Reihe von gesetzlichen Regelwerken und Handlungsempfehlungen wurden in den letzten Jahrzehnten der Exekutive, der Wirtschaft und dem privaten Sektor einfach handhabbare Instrumentarien zur Verfügung gestellt, anthropogene Umweltbelastungen sicherer beurteilen zu können. Die dort ausgewiesenen Algorithmen bieten bei der Realisierung notwendiger Eingriffe inhaltliche und juristische Sicherheit. Im Rahmen ihrer Erarbeitung wurde jedoch bekanntermaßen der raum-zeitlichen Mobilität von Last- und Schadstoffen wenig Raum gegeben. So kam es zum Teil zu erheblichen Simplifizierungen bei der Beurteilung komplizierter und komplexer geodynamischer Prozesse und ihrer Wirkung auf die Schutzgüter.

Gerade die jungpleistozänen Areale Brandenburgs weisen eine starke räumliche Heterogenität auf. Unter geoökologischer Sicht lässt die unmittelbare Nachbarschaft von Substraten verschiedener Retardationseigenschaften die Ausbildung intensiver Quellen-Senken-Beziehungen zu. In Verbindung mit den geochemischen Eigenschaften der Elemente und Verbindungen, die als Last- und Schadstoffe wirksam werden können, ergeben sich somit vielfältige Varianten der Mobilität und resultierender Schadstoffmuster.

Praxisrelevantes Ergebnis ist eine räumliche Entkopplung von Aktion und Reaktion. Dieses Prinzip konnte man bisher anhand von Beispielen aus dem Nahrungsnetz belegen. Der Grundgedanke besteht darin, dass nicht dort, wo der unmittelbare Eintrag erfolgte, die relevanten Wirkungsfelder zu finden sind, die durch die Schadstoffe ausgelöst werden. Daraus erwachsen Konsequenzen für aktuelle und künftige Bewirtschaftungsstrategien. Im Zusammenhang mit einem potentiellen Großprojekt, welches allerdings nicht realisiert werden konnte, wurde im Rahmen einer Fallstudie dieses Problem im Kontext mit militärischen Altlasten untersucht.

Die Prämissen und die Hypothese

Im Gegensatz zu anderen großen Truppenübungsplätzen Brandenburgs befand sich das Übungsgelände der Döberitzer Heide auf einem Grundmoränenareal, das von marginalen Niederungsgebieten umgeben wird. Die Genese dieser Morpho-

strukturen ist auf die starke Gliederung des präkänozoischen Untergrunds, der diskordant von einer känozoischen Decke überlagert wird, zurückzuführen (vgl. KÖLBEL 1962). An Störungen wurden Teile des präpleistozänen Stockwerkes gehoben, wodurch das Grundmuster der späteren Platten entstand. Im Bereich der heutigen Niederungen dominierten Absenkungsvorgänge. Die Störungen besitzen eine herausragende Bedeutung für die Dynamik des unterirdischen Wassers (WEISSE 1989).

Die rezente Prägung der Lagerungs- und Reliefbedingungen im Raum ist das Resultat der Dynamik im Brandenburger Stadium des Weichselglazials. Die rheinisch (NNE-SSW) streichenden Niederungen sind häufig von dem Eis als Vorstoßbahnen benutzt worden. In der Abtauphase kam es zunächst zu Erosionsprozessen durch das Schmelzwasser, später zur Akkumulation von glazifluvialen und -limnischen Sedimenten. Vielfach sind diese Glazialformen durch holozäne Vorgänge, wie Vermoorung oder Auenbildung, überprägt worden.

Herzynisch (NW-SE) streichende Breitenken umschließen die Plattenschollen auf den Nord- und Südseiten. Während der Vorstoßphase stellten sie Akkumulationsbereiche für die Vorschüttungs- und in der Abtauphase sind sie vielfach durch Geschiebemergeldecken verhüllt worden.

Die Platten ragen wenige Meter bis Dekameter über die Niederungsstrukturen hinaus. Sie bestehen aus Grundmoränen-, Endmoränen-, und Sanderarealen. Die spezifische Dynamik des Inlandeises schuf somit unterschiedliche Strukturtypen, die sich in ihren Relief-, Struktur- und Substratmerkmalen unterscheiden (WEISSE 1989).

Unter periglaziären Bedingungen wurden die Heterogenität und Diversität verstärkt. Es bildete sich eine typische Decksandschicht heraus, an den Plattenrändern fand eine intensive Zertalungsdynamik statt.

Da der Decksand der Plattenstandorte nur im geringem Umfang eine stoffliche Fixierung zulässt, wird die Richtung und Intensität mobiler Stoffkomponenten durch die Raumanordnung der Geschiebemergelschichten bestimmt, die auch

die Dynamik des unterirdischen Wassers regeln; die Spezifika ihres Streichens und Fallens verändern die Geschwindigkeit und Richtung der Wasserbewegung. Infolge einer fehlenden söligen Ausbildung sind jedoch auch diffuse Einträge in die unterlagernden Aquiferbereiche und randlichen Niederungsgebiete möglich. Deshalb können die Platten als potentielle Schadstoffquellen, die Niedermoore und Gleye der Niederungen, infolge der Komplexierungs- und Adsorptionsmechanismen der hier akkumulierten organischen Substanz, als bodenchemisch wirksame Senken aufgefasst werden.

Die Belege

Die Ergebnisse der durchgeführten geophysikalischen Messungen bestätigen die angenommenen Besonderheiten der geostrukturellen Bedingungen (siehe Abb. 1). Parallel zur Platte befindet sich in geringer Tiefe eine sandig lehmige Struktur, die den oberen Grundwasserstauer bildet. Rechtwinklig hierzu, entlang einer Transsekte von der Platte zur Niederung, zeigt sich der gleiche Stauer, auf dem sich ein Niedermoor in Form einer ca. 1,80 m mächtigen organischen Deckschicht entwickelt hat. Infolge absinkender Wasserstände treten häufig bis zu 30 cm dicke trockene Torflagen auf.

Zwischen Platte und Niederung ist wegen dieser strukturellen Besonderheiten ein direkter hydraulischer Kontakt gegeben, welcher diffuse Stofftranslokationen bis hin zu dem ersten Stauer nicht auszuschließen lässt.

- geringe Gehalte an organischer Bodensubstanz und
- ein saures pedochemisches Milieu

gekennzeichnet ist. Demzufolge können durch eine militärische Nutzung eingetragene Schadstoffe nur unbedeutend fixiert werden. Es treten deshalb nur geringe, über geogene Gehalte hinausgehende Schwermetallakkumulationen auf.

Hingegen sind im Bereich der Niederung erhebliche Schadstoffakkumulationen zu verzeichnen. Die höchsten Gehalte zeigen sich einige Dezimeter unter Flur. Neben den Schwermetallen scheinen auch organische Schadstoffe Bedeutung zu besitzen. Aus finanziellen Gründen konnten allerdings nur die MKW untersucht werden. Sie waren an allen Standorten des Kiefbruchs nachzuweisen (siehe Tab. 3). Ihre gaschromatographische Analyse ließ den Schluss zu, dass im Randbereich der Niederung im wesentlichen Altöle dominierten, im Zentrum hingegen nur Dieselöl.

Diese Schadstoffakkumulation bewirkt eine deutliche Änderung der ökophysiologischen Struktur der Mikrobionta. Wie zu erwarten war, nimmt die Gesamtkeimzahl mit dem Gehalt an organischer Bodensubstanz von Plattenstandorten in Richtung Niederung um eine Zehnerpotenz zu, in der Vertikalen entsprechend dem Gehalt an organischer Substanz (siehe Tab. 4). Ebenso deutlich steigen aber auch sowohl die absolute Anzahl als auch der Anteil der MKW-Abbauer an. Andere Species werden verdrängt.

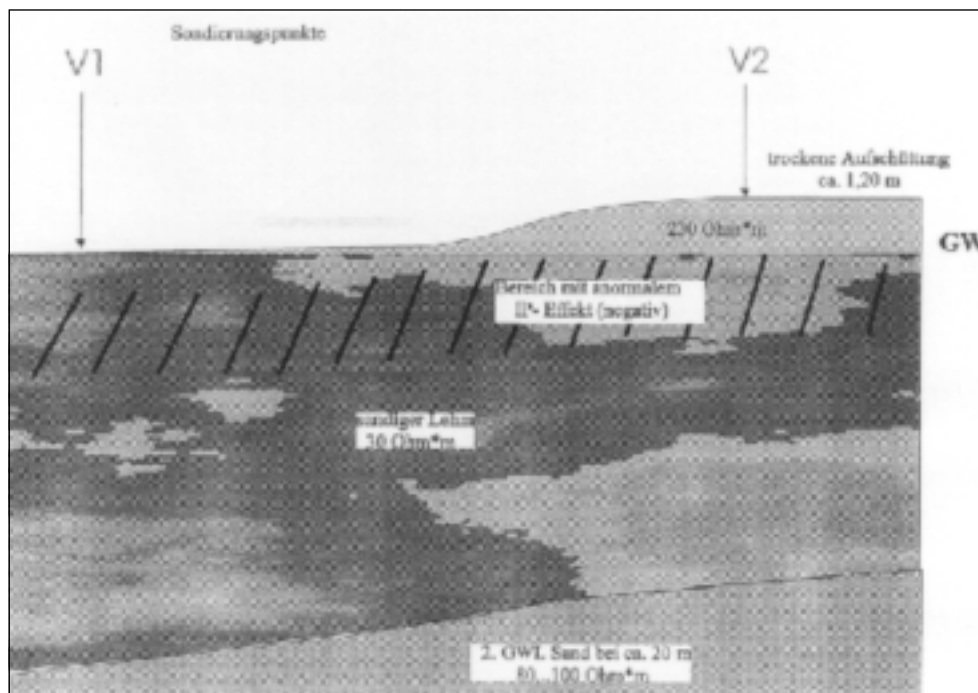


Abb. 1: Ergebnisse der geophysikalischen Strukturauflösung

Zur Untersuchung des Bodens und der Vegetation wurden, entsprechend der oben erläuterten räumlichen Orientierung, entlang von zwei Transsekten 8 Beprobungspunkte angelegt (vgl. Abb. 2). Einen Überblick über deren typische Merkmale des Reliefs und der Vegetation gibt Tabelle 1.

In Tabelle 2 sind die typischen Bodeneigenschaften aufgeführt. Die Darstellung zeigt, dass das Substrat der Plattenstandorte durch

Um die Prozessdynamik der Substrate erfassen zu können, sind in unmittelbarer Nähe der Standorte mittels einer eigens dafür entwickelten Technologie weitgehend ungestörte Bodenkörper entnommen und in Lysimeter eingebaut worden. Die Sickerwasserbildung erfolgte zunächst über den Niederschlag. Später musste für den Monolithen aus dem Niedermoorbereich zur Vermeidung von Kurzschlussströmungen infolge stattfindender Schrumpfungsprozesse und Rissbildungen eine Zusatzbeaufschlagung mit Brunnenwasser vorgenommen werden.

Tab. 1: Merkmale des Reliefs und der Vegetation

Standort	Reliefeigenschaften	Vegetationsmerkmale, Bemerkungen
1	Oberhang einer Platte	Mager- und Trockenrasenpflanzen
2	Niederung	dichter Bewuchs mit Schilf und Brennnesseln
3	Niederung	Schilf und Brennnesselbewuchs, nach Aushub des Bodenmaterials Wasserzutritt, keine Probenahme möglich
4	Niederung	Bewuchs mit Schilf und Hahnenfuß
5	Niederung	dichter Schilfbewuchs, Brennnesseln
6	Niederung	dichter Brennnesselbewuchs
7	Niederung	dichter Brennnesselbewuchs
8	Ebene Platte	Mager- und Trockenrasenpflanzen, ehemalige Schießbahn

Tab. 2: Typische Zustandsgrößen von Böden der Döberitzer Heide (arithmetisches Mittel $\bar{x}$ mehrerer Standorte)
u. F. = unter Flur

Probe / Tiefe unter Flur [cm]	OBS [%]	pH	Cd [mg·kg ⁻¹]	Cu [mg·kg ⁻¹]	Cr [mg·kg ⁻¹]	Pb [mg·kg ⁻¹]	Zn [mg·kg ⁻¹]	MKW [mg·kg ⁻¹]
Platte / 0 - 15 cm u. F.	1,7	3,9	0,9	12,2	2	4,6	12	62
Platte / 65 - 80 cm u. F.	0,4	4,1	1,2	9,9	1	4,8	7	30
Niederung / 0 - 20 cm u. F.	32,5	5,2	1,6	162	36	251	926	7188
Niederung / 35 - 50 cm u. F.	38,7	6,8	6,0	240	37	318	2.071	45.238

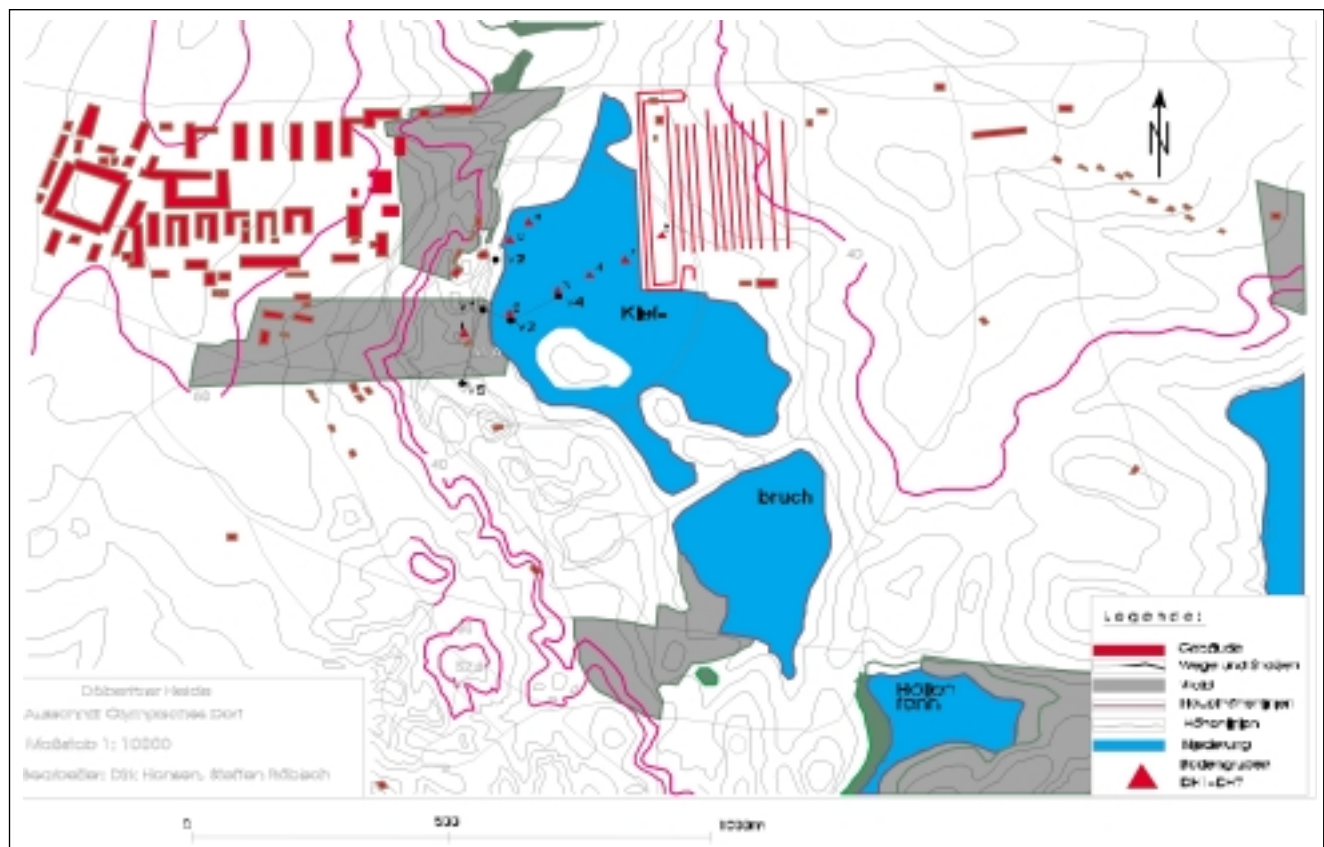


Abb. 2: Untersuchungsraum und Beprobungspunkte

Tab. 3: MKW-Gehalte der Bodensubstrate

Standort / Tiefe unter Flur [cm]	MKW-Gehalt [mg · kg ⁻¹]
1 / 0 – 20	215,5
1 / 50 – 60	141,5
2 / 0 – 20	6613,
2 / 40 – 50	930,0
4 / 50 – 60	899,7
5 / 0 – 15	11.635,3
5 / 50 – 60	859,9
6 / 0 – 15	1.519,7
6 / 50 – 60	450,5

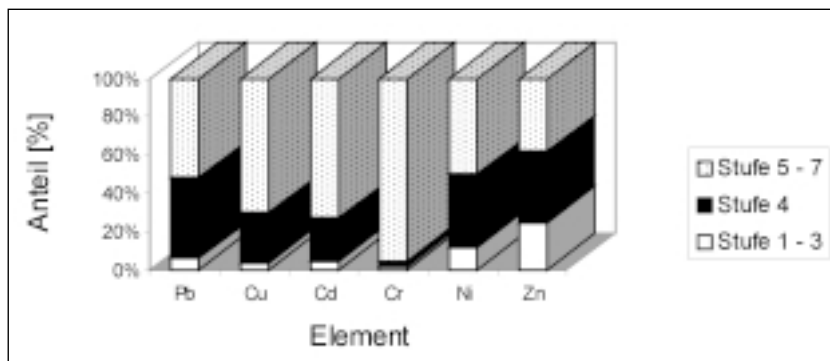


Abb. 3: Bindungsformen der Schwermetalle im Niedermoorsubstrat

Tab. 4: Gehalte an organischer Bodensubstanz, Bodenreaktion und mikrobielle Keimzahlen an ausgesuchten Untersuchungsstandorten

Probe / Tiefe unter Flur [cm]	OBS-Gehalt [% GV]	MKW-Gehalt [mg/kg ⁻¹]	Gesamtkeimzahl [Anzahl mg ⁻¹ TS]	Keimzahl MKW-Abbauer [Anzahl mg ⁻¹ TS]
1 / 10 – 20	6,1	215	$9,8 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^4$
1 / 50 – 60	0,3	141	$1,9 \cdot 10^5$	$7,8 \cdot 10^3$
2 / 50 – 60	63,8	930	$5,5 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^5$
4 / 50 – 60	83,0	899	$3,6 \cdot 10^5$	$3,9 \cdot 10^5$
5 / 10 – 20	33,2	11.635	$5,2 \cdot 10^5$	$4,6 \cdot 10^4$
5 / 50 – 60	61,0	860	$3,4 \cdot 10^5$	$8,5 \cdot 10^4$

Die Beprobung der einzelnen Schichten, hier Ebenen genannt, begann nach einem halben Jahr. Aus eingebauten Sickerwasserabläufen an der Untergrenze jeder Ebene wurden Proben entnommen und analysiert. Die Messung der Redoxspannung erfolgte elektrometrisch. Leider sind die Experimente infolge fehlender Finanzmittel vorzeitig abgebrochen worden. Die hier dargestellten Beispiele können jedoch erste Argumente zur Stützung der eingangs gestellten Hypothesen liefern (siehe Tab. 5 und 6).

Tabelle 5 zeigt die Veränderungen an dem Bodenmonolithen des Plattenstandortes. Steigt die Gesamtheit der Redoxpotentiale im Bodenbereich an, ist eine Absenkung des pH-Wertes zu verzeichnen. Die Konzentrationen geogener sowie anthropogener Metallspezies nehmen in den Bodenlösungen deutlich zu. Solche Situationen sind durch eine Rasterung her-

vorgehoben worden. Nur Chrom, für das leider wenige Werte vorliegen, reagiert bei Zunahme der Versauerung weniger intensiv.

In Verbindung mit den in Tabelle 2 ausgewiesenen Gehalten in der Bodenmatrix kann den Plattenstandorten eine Funktion als aktuell wirksame Schadstoffquelle zukommen, besonders dann, wenn die Bodenreaktion den Wert von pH 4,2 unterschreitet. Somit wird die These erhärtet, dass neben den abwasserbedingten Schadstoffinput in das Kiefland, der zweifelsohne erhebliche Frachten umfasste, auch ein relevanter Anteil über diffuse Transportpfade eingetragen werden konnte.

Die Resultate für den Bodenmonolithen aus dem Niedermoor dokumentieren eindrucksvoll die Situation, welche sich aus einer möglichen Austrocknung von Substratschichten ergeben. Bei geringer Porenwasserfüllung steigt die Gesamtheit der Redoxpotentiale stark an, verbunden mit einer extremen Absenkung des pH-Wertes. Der Oxidationsprozess der Eisen-, Mangan- und Schwefelverbindungen ist als Elektronenabgabe zu verstehen und geht mit einer Zunahme der Protonenanzahl einher (vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989; ROSS 1989). Analog stellt sich das Problem auch bei dem Zersetz der organischen Substanz, der im ersten Schritt zu intensiven Veränderungen der Bodenreaktion führt (ROSS 1989). Nur so ist die extreme Versauerung, die vor allem in den oberen Schichten entsteht, zu verstehen. Sie führt zu einer erheblichen Zunahme der Konzentration geogener sowie anthropogener Metallspezies in den Bodenlösungen. Eine positive Rückkopplung erfährt der Versauerungsprozess zudem durch die MKW-Mineralisierung.

Man beachte, dass in der Tabelle 6 bei Zink und Aluminium die Maßeinheit um 10^3 verändert wurde, um zu große Zahlenwerte zu vermeiden. Die enorme Menge freigesetzter Kationen lässt sich mit einem Blick auf die Bindungsformen (Abb. 3) erklären. Neben sulfidisch fixierten Spezies ist in dem Niedermoorsubstrat, mit Ausnahme von Chrom, vor allem die organisch gebundene Fraktion von Bedeutung. In der Darstellung wurde sie deshalb durch eine Schwarzfärbung hervorgehoben.

Der intensive Zersatz der Organika macht eine Indikation durch die in-situ Vegetation möglich. Die Zunahme der Nettomineralisierung setzte im Niedermoorbereich einen erheblichen Nährstoffpool frei, der durch stickstoffanzeigende Arten genutzt wurde.

Das Fazit

Infolge der jahrzehntelangen Nutzungsspezifika der Döberitzer Heide, ohne nennenswerte behördliche Beauftragung und Kontrolle, haben sich intensive Quelle-Senken-Beziehungen zwischen den benachbarten Raumkompartimenten entwickelt. Es kann eine erhebliche Translokation von Schadstoffen stattfinden. Aussagen über Frachten und die Übertragbarkeit auf die Situation in anderen Gebieten der Döberitzer Heide bzw. auf

Tab. 5: Dynamik von Zustandsgrößen eines Bodenmonolithen aus einem Plattenstandort
Ebene 1 = 15 cm ; Ebene 2 = 50 cm ; Ebene 3 = 80 cm ; Bodenablauf = 140 cm
n.b. = nicht bestimmt

Ebene 2, Probenwasserentnahme 50 cm unter der Oberfläche

Datum	Zustandsgröße								
	Acidität (CaCl ₂)	Redox [mV]	Cu [µg l ⁻¹]	Zn [µg l ⁻¹]	Pb [µg l ⁻¹]	Ni [µg l ⁻¹]	Cd [µg l ⁻¹]	Cr [µg l ⁻¹]	Al [µg l ⁻¹]
7/1994	4,3	446	18,5	803,0	1,08	32,7	0,9	0,7	2.136
8/1994	4,0	534	21,1	1.030,0	2,30	32,8	1,6	0,6	3.992
9/1994	4,5	488	16,0	875,0	0,17	24,3	1,2	0,5	2.295
1/1995	4,6	499	10,6	659,3	11,80	3,5	0,8	n.b.	1.058
5/1995	4,2	487	6,8	818,3	7,30	8,6	2,7	n.b.	3.833

Ebene 3, Probenwasserentnahme 80 cm unter der Oberfläche

Datum	Zustandsgröße								
	Acidität (CaCl ₂)	Redox [mV]	Cu [µg l ⁻¹]	Zn [µg l ⁻¹]	Pb [µg l ⁻¹]	Ni [µg l ⁻¹]	Cd [µg l ⁻¹]	Cr [µg l ⁻¹]	Al [µg l ⁻¹]
7/1994	4,3	523	4,4	659,0	1,0	21,3	1,3	0,1	843
9/1994	4,1	528	35,7	1.483,0	35,8	29,4	4,9	n.b.	2.544
1/1995	4,6	506	5,3	557,2	n.b.	15,4	2,4	n.b.	949
5/1995	4,5	512	9,6	227,0	n.b.	6,3	n.b.	n.b.	288

Tab. 6: Veränderung von Zustandsgrößen eines Bodenmonolithen aus einem Niedermoorstandort
Ebene 1 = 15 cm ; Ebene 2 = 50 cm ; Ebene 3 = 80 cm ; Bodenablauf 140 cm

Ebene 2, Probenwasserentnahme 50 cm unter Oberfläche

Datum	Zustandsgröße								
	Acidität (CaCl ₂)	Redox [mV]	Cu [µg l ⁻¹]	Zn [mg l ⁻¹]	Pb [µg l ⁻¹]	Ni [µg l ⁻¹]	Cd [µg l ⁻¹]	Cr [µg l ⁻¹]	Al [mg l ⁻¹]
6/1994	2,8	691	5.377	150,7	923,6	2.120	499,0	180,2	137
7/1994	2,8	680	4.060	188,0	1.110	2.180	764,1	190,0	136
8/1994	2,8	474	3.084	218,5	1.119	3.230	523,9	1.749,0	107
8/1995	3,0	648	2.041	157,0	747,5	5.470	485,6	5.620,0	173

Ebene 3, Probenwasserentnahme 80 cm unter Oberfläche

Datum	Zustandsgröße								
	Acidität (CaCl ₂)	Redox [mV]	Cu [µg l ⁻¹]	Zn [µg l ⁻¹]	Pb [µg l ⁻¹]	Ni [µg l ⁻¹]	Cd [µg l ⁻¹]	Cr [µg l ⁻¹]	Al [µg l ⁻¹]
5/1994	7,2	426	0,3	476,0	1,3	28,2	0,2	0,3	855
6/1994	7,1	428	0,4	236,0	0,8	7,8	0,1	0,4	720
7/1994	7,0	453	0,0	322,0	0,6	22,5	0,0	0,0	963
5/1995	7,7	435	10	390,8	0,5	12,6	0,0	10,0	718

die Dynamik in geologisch andersartig strukturierten militärischen Übungsräumen lassen sich infolge des geringen Probenumfanges nicht ableiten.

Es ist durch Austrocknung der Substrate eine Remobilisierung des im Niedermoorbereich fixierten Schadstoffpools und durch hydraulische Verbindungen eine Dissipation von migrierenden Schadstoffgruppen in die Einzugsgebiete der Oberflächengewässer möglich. Im vorliegenden Fall wäre das Havelssystem betroffen.

Die Relevanz der dargestellten Prozessdynamik kommt dahingehend zum Ausdruck, dass durch die Einstellung der militärischen Nutzung bedeutsame Wassereinträge in das Kiefland ausgeblieben sind, darüber hinaus witterungs- und klima-

bedingte Einflüsse die Austrocknung von Niedermoorgebieten begünstigen können, ebenso flussregulierende Maßnahmen.

Jede wohlmeinende, auf ökologisch verträgliche Raumnutzung ausgerichtete Nutzungsstrategie muss deshalb dahingehend hinterfragt werden.

Dieser Artikel entstand auf der Basis von Untersuchungen der Arbeitsgruppe "Stoffdynamik in Geosystemen". Ich möchte mich bei Herrn Prof. Bechmann, Herrn Dr. Bukowsky, Herrn Prof. Schneider und Herrn Dr. Schubert (alle Universität Potsdam), Herrn Dr. Tessmann (Landesumweltamt Brandenburg) und Herrn Dipl.-Geogr. J. Dautz (TERRA URBANA Zossen) für die Mitarbeit herzlich bedanken.

Literatur

- KÖLBEL, F. (1962): Das Prätertiär in Südbrandenburg. – Z. Geologie 11 (2): 1113– 1132
WEISSE, R. (1989): Die Grundmorärentypen westlich von Potsdam. – Der Bezirk Potsdam, Geographische Exkursionen. – Gotha: 63–70
SCHEFFER, F & SCHACHTSCHABEL, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. – Stuttgart: 491 S.
ROSS, S. (1989): Soil Processes. – London, New York: 444 S.

HD Dr. habil. O. Blumenstein
Universität Potsdam
Institut für Geoökologie
Pf.: 601553
14415 Potsdam

Bodenmonitoring Programm der Landwirtschaft zur Kontrolle der guten fachlichen Praxis beim Düngen

Wilfried von Gager, Stephan Kohlmüller, Manfred Roschke
Landesanstalt für Landwirtschaft/Landesamt für Ernährung und Landwirtschaft

Die Landwirte des Landes Brandenburg haben von jeher die Herausforderung zu meistern, den leichten bis mittleren Bodenqualitäten, gepaart mit wenig Niederschlägen soviel Erfolg abzurufen, dass sie von dessen Verkauf existieren können. 70 % des derzeit bewirtschafteten Ackerlandes wurde mit einer Ackerzahl < 35 bewertet. Nur 7,3% der Ackerflächen weisen eine Bodengüte von > 45 Bodenpunkten auf.

Tab. 1: *Bodenqualitäten der Ackerflächen (AF) in Brandenburg*

Ackerzahl	Anteil AF in %
< 23	6,7
23 - 28	27,1
29 - 35	36,4
36 - 45	22,2
> 45	7,3

Die jährliche Menge an Niederschlägen und deren Verteilung im Jahr (siehe Abb. 1) beeinflusst die Ertragsfähigkeit und -sicherheit besonders stark. Die ungünstige Niederschlagsituation im I. Halbjahr 2000 kann jeder an den Störungen der Vegetation insgesamt und besonders der Nutzpflanzenbestände beobachten.

Zu diesen natürlichen Zwängen verschärfen die Regelungen der AGENDA 2000 die Restriktionen für Brandenburger Landwirte. Am Beispiel von Winterroggen (Anbauumfang ~ 230 T ha) und Winterraps (Anbauumfang ~ 95,8 T ha) werden in Abbildung 2 die gravierenden finanziellen Ertragsverluste aufgezeigt.

Bei der Betrachtung der Kostenstrukturen der Produktion auf dem Feld kristallisieren sich die Aufwendungen für Düngung, Pflanzenschutz und Maschineneinsatz als größte Anteile heraus (Abb. 3, 4). Für das erfolgreiche Wirtschaften der Zukunft gewinnt also explizit die Öko-Effizienz weiter an Bedeutung. Somit wirken die AGENDA 2000-Regelungen als ökologische Katalysatoren für den Bodenschutz.

1 Nährstoffvergleiche für das Land Brandenburg

In Umsetzung der Beschlüsse der EU zur Reduzierung der Umweltbelastungen, insbesondere der Nitratrichtlinie und der Pariser Konvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung, wurde mit der Düngeverordnung eine gesetzliche Grundlage geschaffen, den Düngebedarf auf Grundlage des Nährstoff-

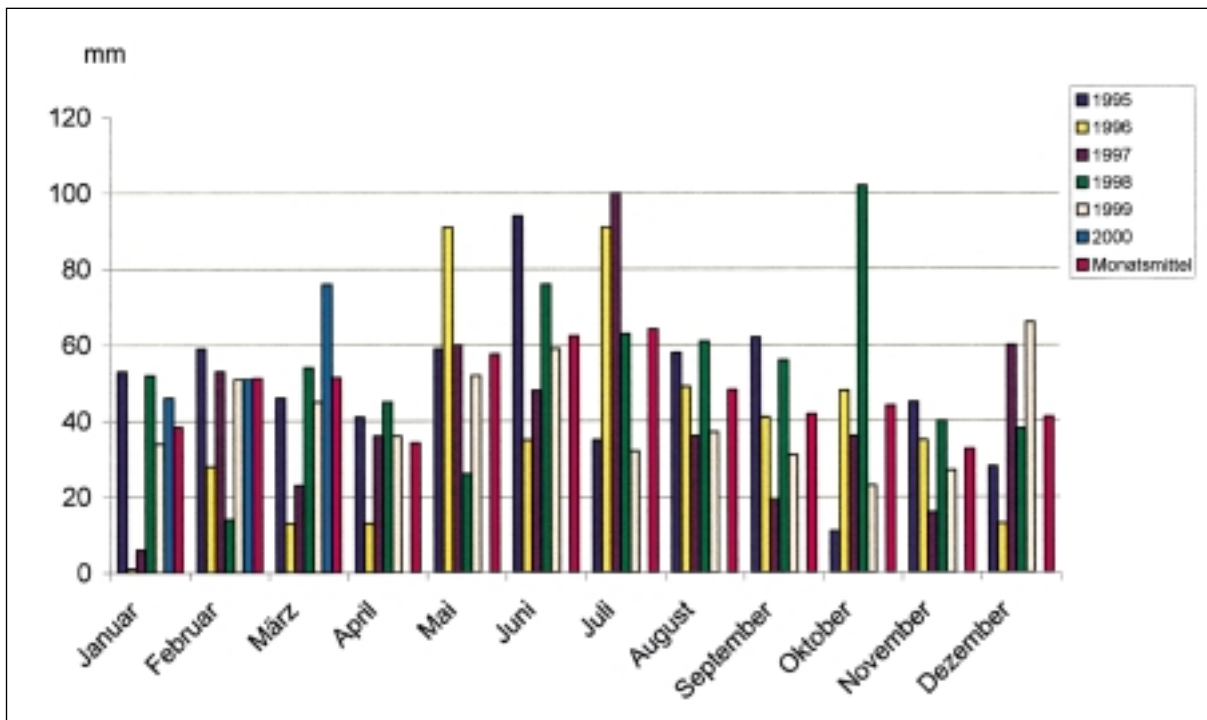


Abb. 1: Monatliche Niederschlagsverteilung (mm) in den letzten Jahren – Standort Potsdam

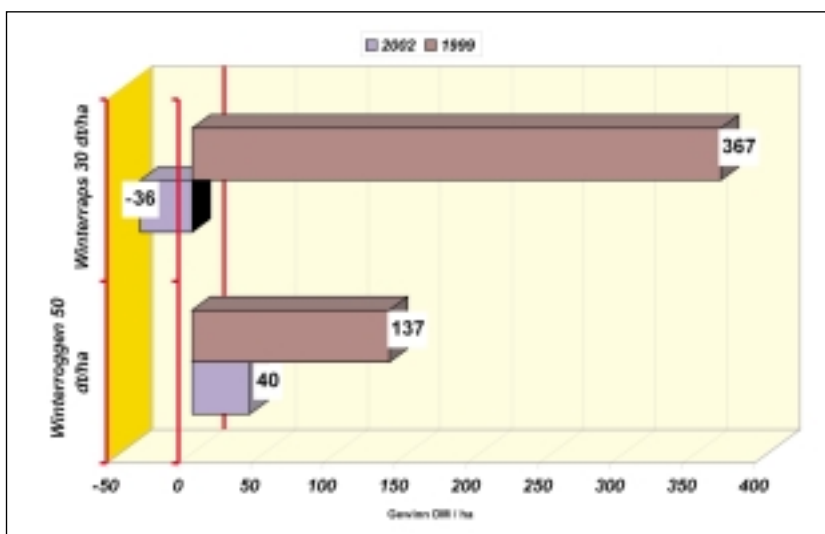


Abb. 2: Veränderungen im Gewinn/ha durch die AGENDA 2000 – Regelungen

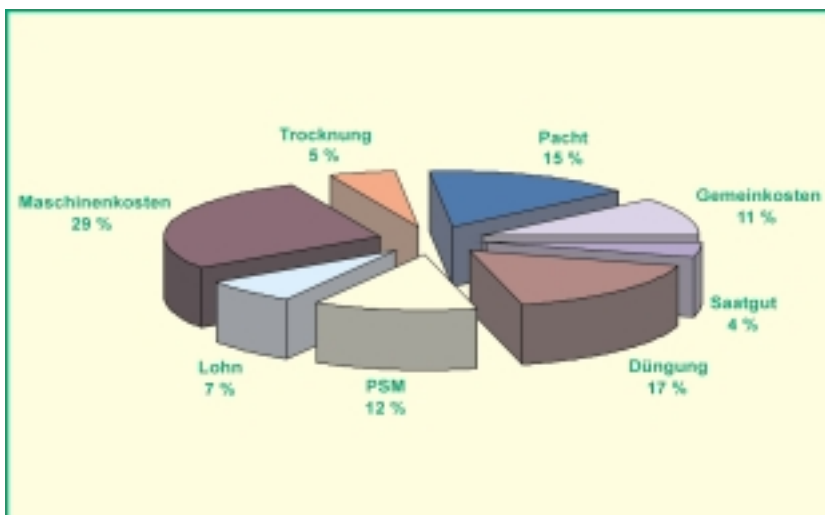


Abb. 3: Kostenstruktur – Erzeugung 50 dt/ha Winterroggen

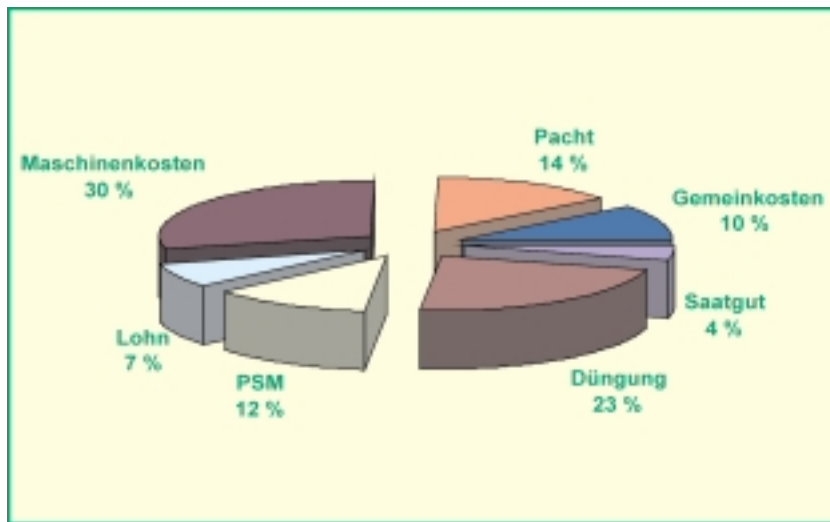


Abb. 4: Kostenstruktur – Erzeugung 30 dt/ha Winterraps

entzuges der Pflanzen unter Berücksichtigung von Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren zu ermitteln und Rechtssicherheit beim Einsatz von Düngemitteln zu schaffen. Darüber hinaus ist die Verpflichtung zur Führung von Aufzeichnungen über die Zu- und Abfuhr von Nährstoffen und zur Erstellung von Nährstoffvergleichen wichtiger Bestandteil der Düngeverordnung.

Auf einer solchen Grundlage kann auch ein Nährstoffvergleich für die Landwirtschaft des Landes auf Basis einer Feld-Stall-Bilanz erstellt werden. Voraussetzungen für die Erstellung einer Feld-Stall-Bilanz sind Daten über die landwirtschaftliche Nutzfläche, den Tierbesatz, den Einsatz von mineralischen und sonstigen Düngemitteln sowie die Abfuhr von Nährstoffen mit den Ernteprodukten. Diese notwendigen Daten stehen mit den vorliegenden Unterlagen (Agrarberichte des Landes 1996 – 1999; Auszug aus Wiesbadener Düngemittelstatistik; Rahmenempfehlungen zur Düngung im Land Brandenburg und Versorgungszustand der Böden im Land Brandenburg) zur Verfügung.

Die Berechnungen zum Nährstoffvergleich zeigen, dass die Situation im Mittel der Jahre 1995 – 1999 für die Ackerflächen

des Landes Brandenburg deutlich günstiger ausgewiesen wird, als dieser für die alten Bundesländer für 1995 (Abb. 5).

Bei der Düngung der landwirtschaftlichen Kulturen ist immer zu berücksichtigen, dass die Nährstoffentzüge durch die Pflanzen infolge der Ausbildung der Pflanzen und des Wurzelsystems stets größer sind als die mit den Ernteprodukten abgefahrenen Nährstoffmengen. Die auf dem Feld, oder innerhalb des landwirtschaftlichen Stoffkreislaufes verbleibenden Pflanzenrückstände unterliegen ständigen Ab-, Um- und Aufbauprozessen, sodass auch mit zeitweiligen Festlegungen und auch Nährstoffverlagerungen gerechnet werden muss. Darüber hinaus kann in keinem Fall von einer idealen Verteilung der Nährstoffvorräte auf den Flächen, entsprechend der Nährstoffansprüche, ausgegangen werden. Daher stimmen diese scheinbaren Nährstoffüberschüsse nicht unbedingt mit einem tatsächlichen Nährstoffüberangebot für die Pflanzen überein.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Nährstoffzufuhren auf die Flächen vollständig angerechnet werden, obwohl nur ein Teil davon von Pflanzen im Anwendungsjahr tatsächlich ausnutzbar ist und ein weiterer Teil, insbesondere aus organischen Düngern, zur Reproduktion der Boden-

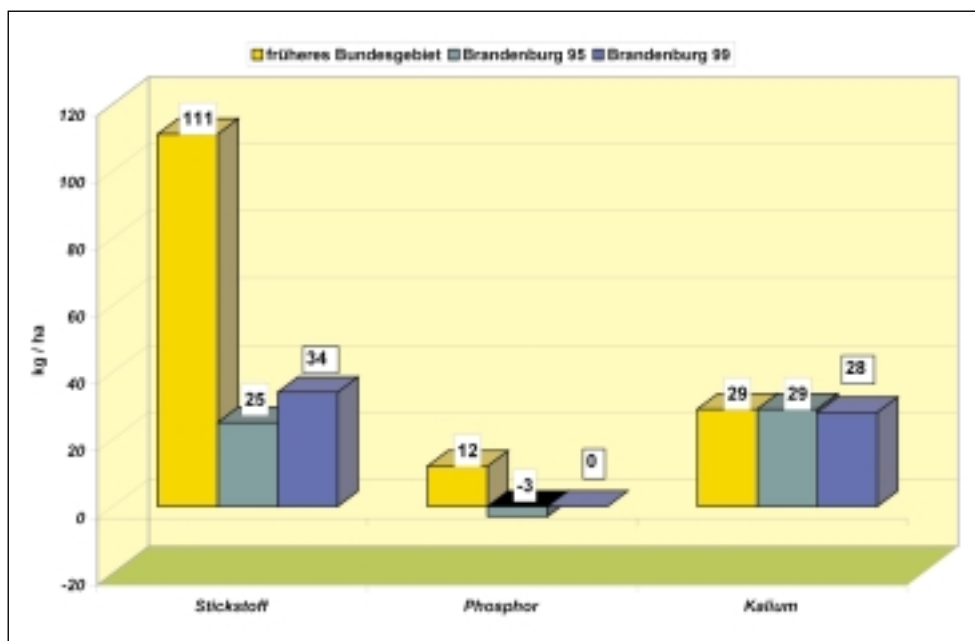


Abb. 5: Nährstoffvergleiche für Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K)

fruchtbarkeit in die organische Substanz des Bodens eingebaut wird. Insbesondere trifft das auf den Stickstoff zu, der innerhalb der Vegetationsperiode einer starken Dynamik unterworfen ist. Anhand der Nährstoffvergleiche für die Jahre 1995 – 1999 wird erkennbar, dass ca. 90 kg N/ha mit den pflanzlichen Produkten von den Flächen abgefahren werden.

Im Vergleich mit der Nährstoffzufuhr wird demnach ein durchschnittlicher Stickstoffüberschuss von ca. 35 kg/ha nachgewiesen. Dieses Ergebnis stimmt somit relativ gut mit den Erfahrungswerten überein, die auf den sandigen Böden auch unter Feldversuchsbedingungen ermittelt worden sind. Eine annähernd ausgeglichene Stickstoffbilanz kann nur erreicht werden, wenn bei gleichem Düngenniveau höhere Erträge realisiert werden könnten. Dies ist unter den standörtlichen und klimatischen Bedingungen in Brandenburg sehr schwer erreichbar.

Da das Stroh im Verhältnis zum Korn wesentlich mehr Kalium enthält und unterstellt wird, dass das gesamte Stroh im landwirtschaftlichen Stoffkreislauf verbleibt, ergibt sich in der Bilanz überraschender Weise auch ein Kaliumüberschuss. Die relativ geringe Kaliumzufuhr mit Mineraldünger reicht offenbar zum Ersatz des Kaliumentzuges aus. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass sich bei anderen Anbauverhältnissen und einer Strohabfuhr von den Flächen recht schnell die Verhältnisse umkehren können, da mit dem Stroh im Flächendurchschnitt ca. 60 kg K/ha entzogen werden.

Phosphor (P) – die relative geringe Zufuhr mit Düngemitteln hat im mehrjährigen Durchschnitt offenbar gerade ausgereicht, die Nährstoffabfuhr von den Flächen auszugleichen. Neben den nach der Düngeverordnung zu bilanzierenden Nährstoffen Stickstoff, Phosphor und Kalium sind Magnesium und Kalk von entscheidender Bedeutung für die pflanzliche Produktion. Diese Nährstoffe sind sowohl zur Erhaltung einer optimalen Reaktion der diluvialen sandigen Böden, als auch für die Versorgung der Pflanzen notwendig. Kalk wird dem Boden in nennenswertem Umfang nur über mineralische Dünger zugeführt. Die sandigen Böden des Landes Bran-

denburg benötigen als Erhaltungskalkung 9 – 14 dt CaO/ha im Zeitraum von 3 Jahren.

Mit einer verabreichten Kalkmenge von ca. 1,1 dt CaO/ha/Jahr innerhalb der Jahre 1995 – 1998 wird der Erhaltungsbedarf nur zu einem geringen Teil gedeckt, das langfristig zur Reduzierung der Bodenfruchtbarkeit führen wird. Mit den organischen Düngemitteln von weniger als 0,5 GV/ha werden dem Boden etwa 5 kg Mg/ha zugeführt, der jährliche Entzug der Pflanzen ist aber mit etwa 15 kg/ha zu veranschlagen, sodass auch zur Beseitigung von Mängeln Mg-haltige Kalkdünger eingesetzt werden sollten.

2 Bodenmonitoring

Das gezielte Bodenmonitoring wurde bereits 1991 in Form der N_{min} -Untersuchungen in Trinkwasserschutzgebieten durch die

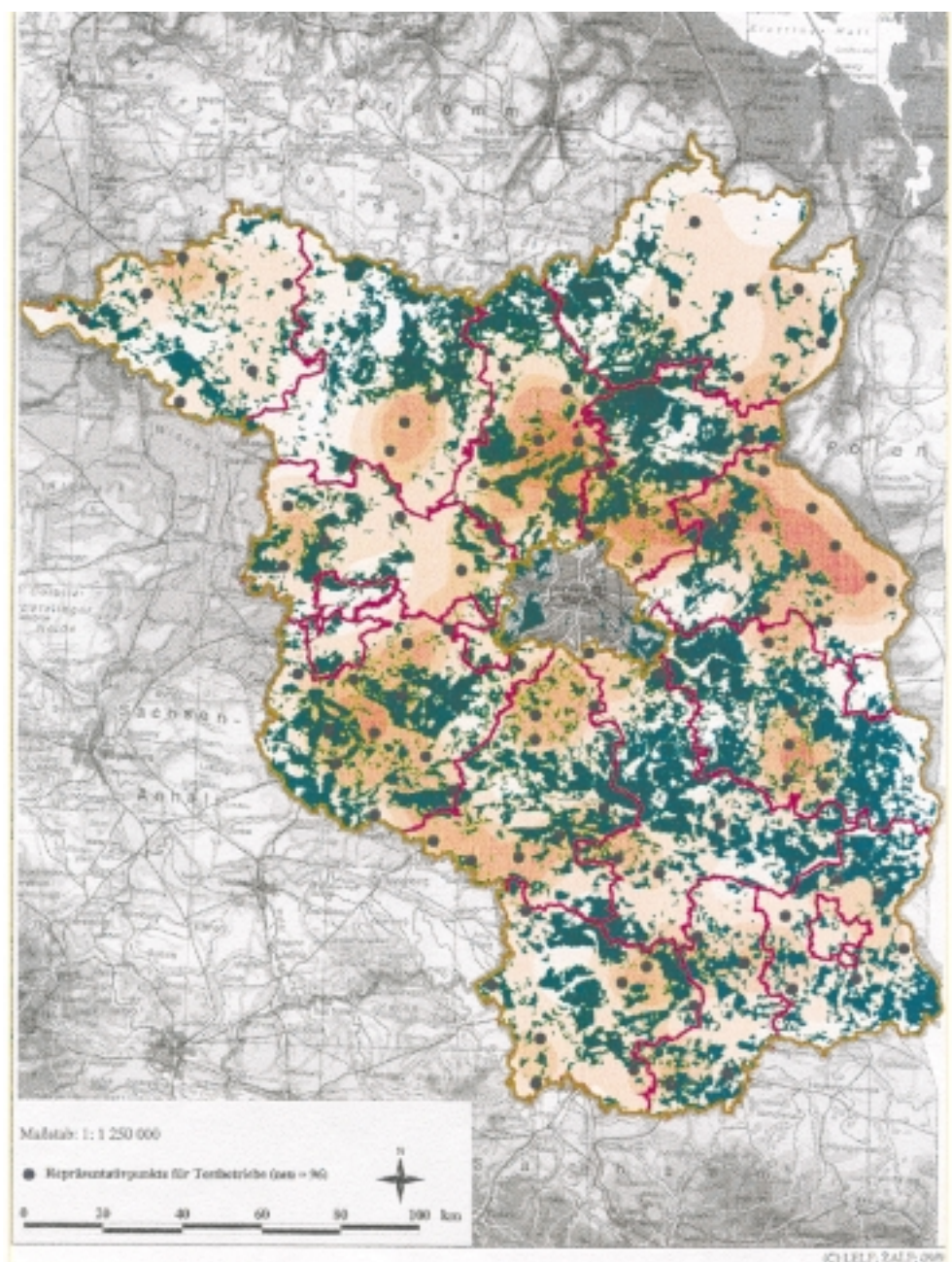


Abb. 6: Dichte der Testflächen im Land Brandenburg

LUFA Potsdam initiiert. 1992 bis 1998 wurde das Testflächen-netz durch den Außendienst der LUFA von 84 bis auf 350 Flächen erweitert. 1994 wurde der Außendienst der LUFA durch Umstrukturierung aufgelöst und die Probenahme wird seit dieser Zeit frei vergeben und damit deutlich schlechter steuerbar.

- Mit Gründung der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) 1998 geht die Zuständigkeit für die Umsetzung des Testflächenprogramms an das Landesamt für Ernährung und Landwirtschaft. Die Untersuchungen der Bodenproben werden in der LfL durchgeführt.
- Aufbauend auf diesem Testflächennetz wird das Bodenmonitoring Programm gestaltet. Der Umfang der Testflächen beträgt aktuell 320 in 90 Agrarunternehmen und an 8 Versuchsstandorten.
- Nach In-Kraft-Treten der DüVO ist das Land zur Herausgabe von Richtwerten (z.B. durch Führung eines Testflächenprogramms) gesetzlich verpflichtet. Damit verbunden sind die Anforderungen an das System der Testflächen gestiegen. 1998 macht sich eine Überarbeitung des Testflächennetzes notwendig. Gemeinsam mit dem ZALF wurde nach modernen statistischen Berechnungsverfahren die Verteilung der Testflächen im Land überarbeitet (Abb. 6).

Die Bearbeitung der Testflächen erfolgt nach folgendem Grundschema:

2.1 Probennahmezyklen

- vor Vegetationsbeginn (in der Regel Anfang bis Mitte Februar),
- Vegetationsende (November bis Anfang Dezember),
- im Rahmen eines VDLUFA Projektes zusätzlich eine Probennahme nach der Ernte (100 Flächen).

2.2 Festgelegte Untersuchungsparameter

- jährlich im Frühjahr - N_{min} ,
- von ca. 40 % der Flächen im Frühjahr - S_{min} ,
- im Rahmen eines zeitlich begrenzten VDLUFA Projektes „N-Monitoring“ von 100 Flächen zusätzlich direkt nach der Ernte - N_{min} in 0 – 90 cm Tiefe,
- jährlich aus der Probennahme zum Vegetationsende pH-Wert und Nährstoffe N_{min} P, K, Mg,
- von 33 % der Flächen im Herbst Mikronährstoffe und organische Substanz,
- jährlich rotierend 25 Flächen auf ausgewählte Schadstoffe (z.B. Schwermetalle, PAK, ausgewählte PSM).

2.3 Datenerhebung

- Erfassung der Schlaggrunddaten,
- jährliche Anbaudaten,
- Flächen VDLUFA Projekt – Düngungsdaten.

2.4 Zielstellung des Bodenmonitoring Programms

Umsetzung gesetzlicher Anforderungen:

- EG Nitratrichtlinie
- Bodenschutzgesetz

- Düngemittelgesetz
- Düngeverordnung

Aus den Untersuchungen:

Nachweis der Guten fachlichen Praxis – Ableitung von Richtwerten zur Bodenversorgung für

- die primären Standortbedingungen Brandenburgs,
- unterschiedliche Bodennutzungssysteme,
- Bewirtschaftungsintensitäten
- jahreszeitliche Einflüsse

Ergänzend:

- Prüfung angewandter Düngeberatungssysteme
- Sollwertanpassung,
- Hinterlegung von Nährstoffbilanzen mit aktuellen Untersuchungsergebnissen,
- Ableitung von Tendenzen der Entwicklung der Versorgung der Böden mit Nährstoffen.

3 Nährstoffversorgung der landwirtschaftlich genutzten Flächen in Brandenburg

3.1 Stickstoff

Die N_{min} – Gehalte der Böden bis 60 cm Tiefe sind gemäß Düngeverordnung jährlich aktuell zu erfassen. Die Situation stellt sich für Brandenburg nach Jahren ausgeglichen dar. Auf Abbildung 7 sind die N_{min} – Werte auf den Testflächen zum Vegetationsende nach Bodengruppen aufgeführt. Die besseren Standorte haben natürlicherweise aufgrund ihrer höheren Bindungskapazität jeweils höhere N_{min} – Konzentrationen.

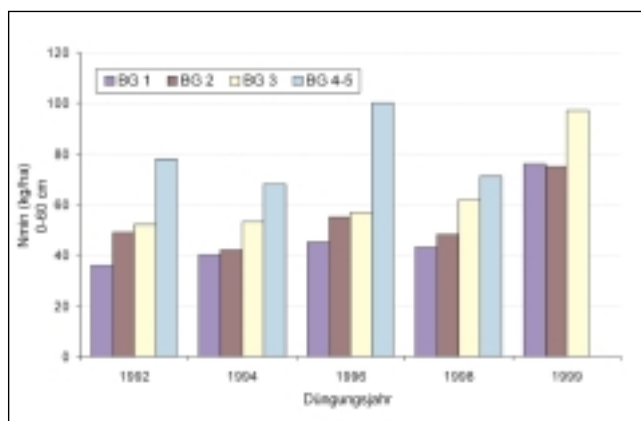


Abb. 7: N_{min} – Gehalte zum Vegetationsende für einzelne Bodengruppen

Die Umsetzung des Stickstoffes variiert entsprechend der klimatischen und ackerbaulichen Bedingungen im Herbst sehr hoch. So herrschte im Herbst 1999 verbreitet Trockenheit und der N konnte von den Pflanzenbeständen kaum verwertet werden. Deshalb wurden vergleichsweise hohe N_{min} – Werte im Herbst 1999 gefunden. Durch Winterfrüchte wurde der Stickstoff bei milder Witterung sehr effizient verwertet. Im Herbst 1999 waren schwache Bestände und hohe N_{min} – Gehalte zu verzeichnen. Dagegen konnten im Frühjahr gut ent-

wickelte Bestände und geringe $N_{\min}$ – Gehalte durch die warme Witterung festgestellt werden.

3.2 Kalk

Die Angaben der Tabelle 2 bestätigen die Aussagen aus dem Nährstoffvergleich.

Der Anteil der Flächen mit erhöhtem Kalkbedarf weist eine schwach rückläufige Tendenz auf. Es sei aber vermerkt, dass 70 % der Flächen der Bodengruppe (BG) 3 unzureichend versorgt sind.

3.3 Phosphor

Im Vergleich zu den durchschnittlichen Ergebnissen in den Jahren 1992 – 1996 ergibt sich keine wesentliche Änderung der P-Gehalte in Böden. Lediglich die Ergebnisse von 1997 weichen von dem allgemeinen Trend ab. In Auswertung der Einzelergebnisse von Betrieben ist aber insgesamt keine große Differenziertheit in den P-Versorgungen zu verzeichnen.

3.4 Kalium

Der Erhalt einer optimalen Kaliumversorgung gestaltet sich besonders auf den leichten Standorten in den letzten Jahren als schwierig. Geringe natürliche Bodengehalte und die schnelle

Auswaschung auf den sorptionsschwachen Standorten haben dazu geführt, dass sich der Versorgungszustand stetig verschlechtert hat (Abb. 8).

Der Vergleich der Jahre lässt erkennen, dass 1998 der Anteil zu niedrig versorgter Ackerflächen in den Gehaltsklassen A und B deutlich, insgesamt auf ca. 50 %, angestiegen ist. Während der Anteil in der Gehaltsklasse C im Wesentlichen im Durchschnitt des Vergleichszeitraumes liegt, nahmen die noch 1997 nachgewiesenen Flächenanteile mit eingeschränktem Düngbedarf (Gehaltsklasse D) von 40 % auf unter 20 % ab. Sandböden wiesen in den Untersuchungen zu 59 % einen K-Bedarf deutlich über einer Entzugsdüngung auf.

3.5 Magnesium

Für die Magnesiumversorgung lässt sich mit den 98-iger Untersuchungen die Tendenz zu einer leichten Verbesserung der Bodengehalte bestätigen (Abb. 9). Trotzdem liegt der Anteil in den Gehaltsklassen A und B noch bei ca. 35 %.

3.6 Versorgung des Grünlandes

In Auswertung der Untersuchungsergebnisse von Grünlandflächen (ca. 8.000 ha) Brandenburgs bestätigt sich größtenteils der Nährstoffstatus aus den zurückliegenden Jahren. Es lässt sich feststellen, dass die pH-Werte und Mg-Gehalte auf

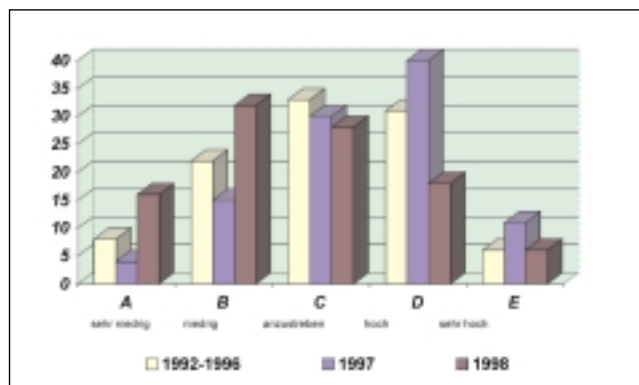


Abb. 8 Entwicklung der K-Bodengehalte nach Gehaltsklassen

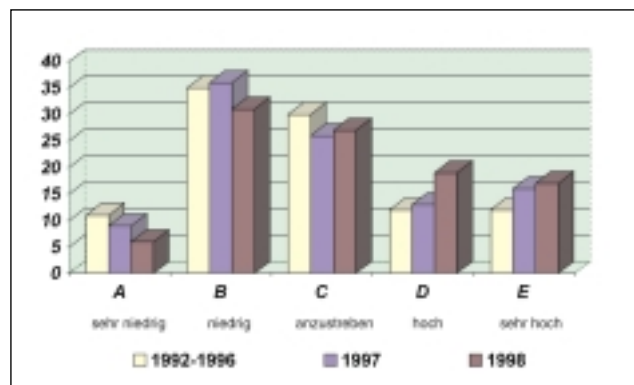


Abb. 9: Entwicklung der Mg-Bodengehalte nach Gehaltsklassen

Tab. 2: Entwicklung der Kalkversorgung der mineralischen Ackerböden

Gehaltsklasse Jahr	Flächenanteile (%) in den Gehaltsklassen					
	A	B	C	D	E	F
	Flächen mit erhöhtem Kalkbedarf				Ausreichend versorgte Flächen	
1992	0	2	13	30	45	10
1995	2	6	22	25	31	14
1997	1	7	25	26	32	9
1998	0	3	18	31	41	7

Tab. 3: P-Versorgung der Ackerflächen nach Gehaltsklassen und Bodengruppen

Gehaltsklasse	A	B	C	D	E
	sehr niedrig	niedrig	ausreichend	hoch	sehr hoch
Bodengruppe	% der Untersuchungen				
1	0	21	29	42	8
2	5	11	22	32	30
3	7	17	26	28	22
4,5	7	13	0	27	53
AF 1998 gesamt:	5	14	22	32	27
Vergleich zu 1997	2	23	42	24	9
Vergleich zu 1992 + 1996	2	11	33	38	16

über 85 % der untersuchten Flächen im Bereich einer ausreichenden bis hohen Versorgung liegen.

Die als Grünland genutzten Flächen weisen aufgrund ihrer geologischen Herkunft einen hohen Anteil an Phosphorverbindungen auf. In der Analytik werden mittels Doppel-laktatmethode diese Verbindungen nicht vollständig als pflanzenverfügbar erfasst, sodass es auf dem Grünland verstärkt zu einer Ausweisung von P-Mangel in Auswertung der Bodenuntersuchung kommen kann. Unter den tatsächlichen Bewirtschaftungsbedingungen sind die Bestände aber in der Lage aus den schwerlöslichen P-Reserven ihren Bedarf abzudecken. Phosphor ist in Höhe des Pflanzenentzuges zu düngen.

Ein spezifisches Problem für das Grünland bleibt die Versorgung mit Kalium. Der Anteil an Flächen mit einer Unterversorgung liegt bei 35 %. Damit ist zwar gegenüber 1997 eine Verbesserung zu verzeichnen, trotzdem findet die regelmäßige Kaliumdüngung auf dem Grünland noch nicht die notwendige Beachtung. Erwähnt sei auch, dass K-Mangel die Pflanzenzusammensetzung auf dem Grünland negativ verändert, d.h. zu Gunsten der minderwertigen Futterpflanzen.

3.7 Schwefel (S)

Seit Ende der 80-iger Jahre reichen die S-Einträge aus der Luft nicht mehr aus, die Pflanzenversorgung mit diesem Nährstoff

zu sichern. Zunehmend werden Entwicklungsstörungen durch Schwefelmangel verursacht. Besonders betroffen sind leichte, humusärmere Standorte. So werden seit 5 Jahren gezielt ausgewählte Testflächen (Raps, Winterweizen) auf S_{min} untersucht (Tab. 4).

Wie die Befunde verdeutlichen, sollte der Landwirt insbesondere beim Raps und Winterweizen die speziellen Flächen auf S-Angebote parallel zu N_{min} prüfen lassen.

3.8 Mikronährstoffe

Wie unter Punkt 2 ausgeführt, wird jährlich im Herbst auf ca. 1/3 der Testflächen des Ackerlandes das Angebot an Mikronährstoffen geprüft (Tab. 5). Auffällig gering sind die Anteile vom pflanzenverfügbaren Bor und Kupfer, die im Wesentlichen geogen bedingt sind. Bei weiterer Anhebung des Boden-pH Wertes reduziert sich der verfügbare Anteil an Mangan, sodass dann dieser Mikronährstoff zum Mangel werden kann.

3.9 Schwermetalle

Böden, auf denen die Ausbringung von Klärschlamm vorgesehen wird, unterliegen einer vorherigen Prüfung auf ihren Schwermetallstatus (Tab. 6). Verglichen mit den Vorsorgewerten gibt es keine auffälligen Befunde für die geprüften Böden unterschiedlicher Art.

Tab. 4: S_{min} -Bodengehalte im Frühjahr von ausgewählten Standorten Brandenburgs – Auswertung der Testfläche, Angaben in kg/ha bei 0 – 60 cm Tiefe

Jahr / Standort	leicht	mittel	schwer
	Ackerzahl < 30	Ackerzahl 31 - 50	Ackerzahl > 50
1995	16	18	28
1997*	30	49	78
1998	20	28	40
1999	16	24	31
2000	29	35	52
Mittelwert der Jahre	21	31	46

Empfohlener Sollwert für **Winterraps/Wi-Weizen** 40 – 60 kg bzw. 20 – 30 kg S_{min} /ha in der Schicht 0 – 60 cm

* ab 1997 Angaben ausschließlich von mit Winterraps und -getreide bestellten Flächen

Tab. 5: Versorgung landwirtschaftlich genutzter Flächen in Brandenburg mit pflanzenverfügbaren Mikronährstoffen (Auswertung der Bodenuntersuchungen im Zeitraum von 1995 – 1999, Angaben in % der untersuchten Flächen)

Mikronährstoff	Gehaltsklasse	Sandböden	anlehmige/lehmige Sandböden
Bor	A - sehr niedrig	38	52
	C - anzustreben	44	35
	E - sehr hoch	18	13
Kupfer	A - sehr niedrig	22	43
	C - anzustreben	77	56
	E - sehr hoch	1	1
Zink	A - sehr niedrig	0	0
	C - anzustreben	35	71
	E - sehr hoch	65	29
Mangan	A - sehr niedrig	0	0
	C - anzustreben	0	0
	E - sehr hoch	100	100

Tab. 6: Schwermetallgehalte in den Böden des Landes Brandenburg – Bericht zur Klärschlammverwertung im Land Brandenburg, LELF 1999 – Mittelwerte aus 1.500 Untersuchungen, Angaben in mg/kg TS

Bodenart	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn
Sand	14,6	0,160	8,3	6,4	4,4	0,051	27,0
Anlehmiger/lehmiger Sand	16,4	0,201	12,1	8,9	7,4	0,068	36,0
Sandiger Lehm	18,2	0,298	17,6	11,4	10,6	0,090	44,4
Lehm und Ton	22,1	0,610	31,8	18,5	18,8	0,091	69,5
Vorsorgewerte*							
Sand	40	0,4	30	20	15	0,1	60
Lehm	70	1,0	60	40	50	0,5	150
Ton	100	1,5	100	60	70	1,0	200

* Vorsorgewerte nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung

Gehaltsklasseneinteilung für die Beurteilung des Reaktionszustandes und der Nährstoffversorgung von Acker- und Grünlandböden in Brandenburg

Bodenart	BG	Gehalts- klasse	pH-Wert bei Humusgehalten		P _{DL}	K _{DL}		Mg _{CaCl2}
			< 4 %	> 4 %		Ackerland	Grünland	
						mg/100 g lufttrockener Boden		
Sand	1	A	< 4,3	< 4,1	< 3,1	< 4	< 3	< 2,1
		B	4,3 - 4,7	4,1 - 4,4	3,1 - 5,5	4 - 6	3 - 5	2,1 - 3,5
		C	4,8 - 5,1	4,5 - 4,7	5,6 - 8,0	7 - 10	6 - 10	3,6 - 5,0
		D	5,2 - 5,4	4,8 - 5,0	8,1 - 12,0	11 - 15	11 - 18	5,1 - 6,5
		E	5,5 - 6,2	5,1 - 5,8	> 12,0	> 15	> 18	> 6,5
Anlehmiger/ Lehmiger Sand	2	A	< 4,4	< 4,2	< 3,1	< 4	< 4	< 2,6
		B	4,4 - 4,8	4,2 - 4,5	3,1 - 5,5	4 - 7	4 - 6	2,6 - 4,5
		C	4,9 - 5,3	4,6 - 4,9	5,6 - 8,0	8 - 11	7 - 11	4,6 - 6,5
		D	5,4 - 5,7	5,0 - 5,3	8,1 - 12,0	12 - 19	12 - 22	6,6 - 8,5
		E	5,8 - 6,5	5,4 - 6,1	> 12,0	> 19	> 22	> 8,5
Stark lehmiger Sand/ Sandiger Lehm	3	A	< 4,6	< 4,4	< 3,1	< 5	< 4	< 3,1
		B	4,6 - 5,0	4,4 - 4,7	3,1 - 5,5	5 - 8	4 - 7	3,1 - 5,5
		C	5,1 - 5,5	4,8 - 5,1	5,6 - 8,0	9 - 13	8 - 12	5,6 - 8,0
		D	5,6 - 6,0	5,2 - 5,5	8,1 - 12,0	14 - 22	13 - 25	8,1 - 10,5
		E	6,1 - 6,8	5,6 - 6,3	> 12,0	> 22	> 25	> 10,5
Lehm	4	A	< 4,7	< 4,6	< 3,1	< 6	< 5	< 4,1
		B	4,7 - 5,2	4,6 - 4,9	3,1 - 5,5	6 - 10	5 - 8	4,1 - 7,5
		C	5,3 - 5,7	5,0 - 5,3	5,6 - 8,0	11 - 15	9 - 15	7,6 - 11,0
		D	5,8 - 6,2	5,4 - 5,7	8,1 - 12,0	16 - 26	16 - 28	11,1 - 14,5
		E	6,3 - 7,1	5,8 - 6,6	> 12,0	> 26	> 28	> 14,5
Lehmiger Ton/ Ton	5	A	< 4,8	< 4,7	< 3,1	< 10	< 5	< 5,1
		B	4,8 - 5,3	4,7 - 5,0	3,1 - 5,5	10 - 15	5 - 8	5,1 - 9,5
		C	5,4 - 5,8	5,1 - 5,4	5,6 - 8,0	16 - 22	9 - 15	9,6 - 14,0
		D	5,9 - 6,3	5,5 - 5,8	8,1 - 12,0	23 - 39	16 - 29	14,1 - 18,5
		E	6,4 - 7,2	5,9 - 6,9	> 12,0	> 39	> 29	> 18,5
Anmoor/ Niedermoor	6	A		< 3,1	< 3,1	< 7	< 7	< 2,1
		B		3,1 - 3,4	3,1 - 5,5	7 - 12	7 - 10	2,1 - 3,5
		C		3,5 - 3,8	5,6 - 8,0	13 - 16	11 - 15	3,6 - 5,0
		D		3,9 - 4,2	8,1 - 12,0	17 - 24	16 - 24	5,1 - 6,5
		E		> 4,2	> 12,0	> 24	> 24	> 6,5

5 Zusammenfassung

Die vorgestellte Organisation des Bodenmonitorings, verbunden mit den regelmäßigen Bodenschutzuntersuchungen der landwirtschaftlichen Unternehmen, kann umfassende Aussagen über die Gestaltung der guten fachlichen Praxis beim Düngen liefern. Es ist jedoch dringend geboten, den Umfang der Testflächen auch künftig beizubehalten. Eine Erhöhung der Aussagekraft der Ergebnisse unter den sehr differenzierten Standortbedingungen Brandenburgs macht eher eine Erwei-

terung des Testflächennetzes erforderlich, das derzeit finanziell nicht realisierbar ist.

Die aufgeführten Daten aus dem Monitoring der letzten Jahre zeigen an, dass die Landwirte Brandenburgs die gute fachliche Praxis des Düngens einhalten. Die Kalkversorgung muss unbedingt verbessert werden, um den pH-Status pflanzenphysiologisch zu verbessern. Die Phosphordüngung auf den

besseren Standorten (BG 4 und 5) muss künftig aufmerksam verfolgt werden. Aus den Daten der Schwermetalluntersuchungen kann keine Belastungssituation für die normale Ackerfläche abgeleitet werden. Im Spannungsfeld zwischen Landwirtschaft und Umwelt steht auch die Düngung häufig in Kritik der Öffentlichkeitsarbeit. Die vorgestellten Befunde können diese Kritik für Brandenburg nicht bestätigen.

Die gute landwirtschaftliche Praxis im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1257/99 wird in Deutschland durch die Regelungen des landwirtschaftlichen Fachrechts, die Düngeverordnung, umgesetzt. Für die Düngung bedeutet das, sie nach Art, Menge und Zeit auf den Bedarf der Pflanzen und des Bodens auszurichten.

*Dr. Wilfried von Gagern
Dipl.-Ing. Stephan Kohlmüller
Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Dorfstraße 1, 14513 Teltow-Ruhlsdorf
Telefon: 03328-43 61 01*

*Dr. Manfred Roschke
Landesamt für Ernährung und Landwirtschaft Frankfurt (Oder)
(LELF)
Dezernat 31 - Pflanzenproduktion
Außenstelle 15838 Waldstadt, Steinplatz 1
Telefon: 033702-73691*

II. Sanierung, Sicherung und Schutz von Boden bei schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten

Verwendung von Geschiebemergel-Aushub zur Sicherung schwermetallbelasteter, großflächiger Altlastenstandorte

Christian Hoffmann¹, Holger Böken², Reinhart Metz³ & Manfred Renger¹

Einleitung

In einem Radius von etwa 25 km, um die heutige Berliner City, wurden gegen Ende des 19. Jahrhunderts Rieselfelder zur Nutzung der urbanen Abwässer angelegt. Auf etwa 20.000 ha wurde anfänglich noch landwirtschaftliche Produktion betrieben. Ab Mitte der 60er Jahre stand die Entsorgung der häuslichen und industriellen Abwässer im Vordergrund. Die etwa einhundertjährige Abwasserinfiltration führte zur drastischen Veränderung der Bodeneigenschaften. Akkumulation von organischer Substanz und Schadstoffen einerseits sowie eine Verarmung an Eisen und Mangan andererseits (BLUME ET AL. 1980, SCHLENTHER ET AL. 1996).

Über Jahrzehnte hat die Landbewirtschaftung und der kontinuierliche Zustrom von basischem Abwasser den größten Teil der Schwermetalle vor einer Verlagerung in das Grundwasser bewahrt. Mit der Inbetriebnahme des Klärwerkes Schönerlinde wurden die Rieselfelder um Buch überflüssig. Sie wurden nicht mehr beaufschlagt und zwischen 1984 und 1985 größtenteils eingeebnet. Die Bodenlockerung führte im Oberboden zu einer starken Mineralisation und Versauerung. Die pH-Werte sanken vom Neutralbereich auf aktuelle Werte von pH 4.5 bis 5.5, welche in Ausnahmefällen um ± 1 Einheit abweichen können. Im Unterboden fand eine Tiefenversauerung unterhalb von 150 cm statt, welche durch die Oxidation von Metallsulfiden induziert wurde.

Diese noch niedrigen pH-Werte im Unterboden sowie fehlende Sorptionsträger (Ton, Humus, Metalloxyde) führen dazu, dass einmal mobilisierte Schwermetalle mit dem Sickerwasser bis in den ersten Grundwasserleiter transportiert werden. HOFFMANN ET AL. (1996) konnten belegen, dass bei einer mittleren Humusmächtigkeit von 20 cm, im Oberboden mobilisierte Schwermetalle innerhalb von maximal 1.5 Jahren bis in 4 m Tiefe anstehende Grundwasser verlagert werden können. Es finden sich bereits Schwermetallkonzentrationen im Kapillarsaum sowie den oberen Dezimetern des Grundwasserleiters, welche die Schadenswerte der Berliner Liste (SenStadtUm 1996) deutlich überschreiten. Es wurden im Zeitraum 1993 bis 1998 Konzentrationen von bis zu 0.7 mg/l Cd, 30.3 mg/l Zn und 2.5 mg/l Cu gemessen (MARSCHNER & HOFFMANN 2000).

Flächen mit jener beschriebenen Problematik (SCHLENTHER ET AL. 1995, BECHMANN 1996, Kratz 1996, SCHLENTHER ET AL. 1996, HOFFMANN & RENGGER 1998, HOFFMANN ET AL. 1998) stellen nach dem Brandenburger Landesabfallgesetz (§ 29.4) großflächige, kontaminierte Altlastenstandorte dar. Bei einer Orientierung an der Berliner Liste (SenStadtUm 1996) bzw. der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV 1999) müssen Rieselfeld-

böden unter anderem als eine Gefährdung für die Schutzgüter Mensch und Grundwasser bewertet werden. Es besteht Handlungsbedarf, da sich die Schwermetalle derzeit noch größtenteils im Oberboden befinden, und Sanierungs- bzw. Sicherungsmaßnahmen deswegen zurzeit noch einfacher und kostengünstiger durchzuführen sind.

Im Rahmen von Baumaßnahmen fallen in Berlin derzeit große Mengen von unbelastetem, lehmigen Geschiebemergel an, die zu einer Verbesserung des Schadstoffbindungsvermögens, als Sicherungsmaßnahme (im Sinne des § 5 Abs. 3 ff, BBodSchV 1999) auf Altlastenstandorten eingesetzt werden können. Damit wird gleichzeitig dem Verwertungsgebot des KrW-/AbfG § 4 Abs. 2 Rechnung getragen. Es ist vor und während der Maßnahme durch geeignete Kontrollmechanismen sicher zu stellen, dass es sich bei dem verwendeten Material, um unbelasteten Geschiebemergel handelt, um zusätzliche Bodenbelastungen auszuschließen.

Zur Vereinfachung der Terminologie wird in diesem Artikel, das Aufbringen des Mergels im Folgenden mit Überlehmung umschrieben, auch wenn das Material Karbonat enthält.

Ziel der Maßnahme

Durch das Einarbeiten des Mergels in den belasteten Rieselfeldböden sollen vorrangig die folgenden sieben Ziele erreicht werden:

- Bildung von stabileren Bindungsformen der Schwermetalle im Boden sowie eine Reduzierung der Schwermetallverlagerung (WILKE ET AL. 1996, HOFFMANN & RENGGER 1998).
- Verringerung des ökotoxikologischen Potentials und einer Minderung von schädlichen Auswirkungen auf Pflanzen, deren Wurzeln sowie Mikroorganismen durch niedrigere Schadstoffkonzentrationen in der Bodenlösung (KANDELER ET AL. 1998).
- Die Einbringung von Mergel in den Boden führt einerseits zu einer Düngung der vorhandenen Baumbestände und trägt andererseits zur langfristigen Erhöhung der Nährstoffspeicherfähigkeit sowie der Nährstofffreisetzung aus der Mineralverwitterung bei.
- Der erhöhte Schluff- und Tongehalt im Boden verbessert die Wasserspeicherkapazität und führt damit zu besseren Erfolgen bei der Aufforstung, da Wasser auf diesen Standorten in erster Linie den limitierenden Faktor für das Pflanzenwachstum darstellt (SCHLENTHER ET AL. 1996).

¹ TU-Berlin, Inst. f. Ökologie & Biologie, FG Bodenkunde

² Umweltbundesamt, FG II 5.2

³ HU-Berlin, Inst. f. Pflanzenbauwissenschaften, FG Ackerbausysteme

- Die schnelle Begründung gesunder Waldbestände führt, zum einen über die Reduzierung der Grundwasserneubildung, zum anderen über die Aufnahme von mobilen Schwermetallen mit dem Bodenwasser, zu einer effektiven Verlangsamung der Schadstoffverlagerung.
- Durch die Überlehmung kann die Quecke fast komplett gedrängt werden und somit für eine artenreichere Vegetation in der Krautschicht Raum geschaffen werden.
- Die Erhöhung des Tongehaltes im Boden führt zu einer Bildung von stabileren Bodenaggregaten. In Verbindung mit einem ausgeglicheneren Wasserhaushalt trägt das zu einem besseren Schutz gegen Winderosion bei.

Das Rieselfeld Buch

Fast 100 Jahre lang wurden in Berlin-Buch ungeklärte Abwasser verrieselt. In den letzten 20 Jahren, bis zur Einstellung der Verrieselung im Jahr 1985, bis zu 10.000 mm/a. Heute finden sich auf den tonarmen, sandigen Ausgangssedimenten Regosole mit durchschnittlich 15–60 cm (teilweise bis 100 cm) mächtigen humosen Horizonten, welche eine hohe Schwermetall- und Organikabelastung aufweisen. Typische Schwermetallgehalte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Im Jahr 2000 wurden im Berliner Bereich der Bucher Rieselfelder 20 Bodenprofile analysiert. Die mittleren Organikagehalte liegen für PCB im Mittel bei 3,23 mg/kg (Max: 18,56 mg/kg). Die PAK-Konzentrationen betragen im Mittel 3,8 mg/kg (Max: 11,9 mg/kg). MKW wurden in mittleren Konzentrationen von 219 mg/kg gefunden (Max: 1.591 mg/kg). Die höchsten Belastungen finden sich in den Ah-Horizonten und Klärschlamm-bändern (0–30 cm bis 0–60 cm). Erhöhte Konzentrationen wur-

den bis in Tiefen von 120 cm gemessen. Die Werte liegen für PAK und PCB cirka um den Faktor fünf höher, als die von KRATZ (1992) ermittelte Werten und überschreiten bei PCB die Prüfwerte der BBodSchV (1999) für Park- und Freizeitanlagen.

Die Bodeneigenschaften in Buch (Tab. 2) sind im Besonderen durch die Mächtigkeit des Ah-Horizontes bestimmt, welcher eine enge positive Korrelation zum Schwermetallgehalt aufweist. Die Bestimmtheitsmaße liegen zwischen 0,80 und 0,91. In Abhängigkeit von „Klärschlamm-bändern“, die in Mächtigkeiten zwischen wenigen Zentimetern und drei Dezimetern gefunden wurden, treten zusätzliche Extrembelastungen auf. Die Böden weisen eine mittlere KAK von 100–150 mmol/kg, bei einer etwa 50 %igen Basensättigung auf. Der Unterboden > 45 cm ist durch unverwittertes stark sandiges, glaziofluviales Material geprägt, das eine sehr geringe KAK bei sauren pH-Werten aufweist. Die Schwermetallgehalte entsprechen mit Ausnahme von Cd typischen Hintergrundgehalten für diese Region.

Zwischen 1985 und 1995 ist der pH-Wert von Rieselfeldböden in Buch von 7,5 auf 5,0 gesunken. Eine entscheidende Ursache für diese Versauerung ist die Mineralisation von Humus und Klärschlamm nach dem Ende der Verrieselung (HOFFMANN & RENGGER 1998). Die pH-Absenkung hat zu einer Mobilisierung von Schwermetallen und deren Verlagerung in den ersten Grundwasserleiter geführt. Parallel dazu wurden durch die Mineralisation in großem Maße Nitrat, Sulfat und DOC gebildet und ebenfalls verlagert (Tab. 3). Die Tiefenversauerung wurde wahrscheinlich durch eine Oxidation von Sulfiden zu Sulfat, nach der Einstellung der Verrieselung, und dem Absinken der Grundwasserstände, verursacht. Sie führt dazu, dass mobilisierte Schwermetalle in der Tiefe nahezu nicht zurück-

Tab. 1: Schwermetallkonzentrationen [mg/kg] im Oberboden (0–10 cm) des Berliner Bereichs des Rieselfeldes Buch (N = 298)

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Minimum	0,1	1	3	1	6	13
Maximum	44,3	1.850	876	285	452	3.584
Mittelwert	4,4	210	73	14	74	225
Median	2,0	128	49	9	59	153

Tab. 2: Bodeneigenschaften eines typische Regosols mit Rieselgeschichte [FAO: Hortic Anthrosol]

Tiefe [cm]	Horizont [KA 4]	pH (CaCl ₂)	C _{org} [g kg ⁻¹]	KAK [mmol _c kg ⁻¹]	BS [%]	Cd [mg kg ⁻¹]	Cu [mg kg ⁻¹]	Pb [mg kg ⁻¹]	Zn [mg kg ⁻¹]
0-38	Ah	4,8	61	100	48	18,0	247	452	874
-45	Klärschl.	4,7	241	291	51	172,8	1.232	562	2.040
-110	C1	4,4	3	18	26	1,7	20	7	61
-180	C2	4,1	1	16	16	0,2	11	3	26

Tab. 3: pH-Werte und Elementkonzentrationen [mg/l] in drei Tiefen, in der Bodenlösung des Rieselfeldes Buch. Mittelwert, Maximum und Minimum von monatlichen Beprobungen mit 12 Wiederholungen im Zeitraum 1993 bis 1997

		pH	DOC	NO ₃	SO ₄	Al	Cd	Zn	Cu
Mittelwert	50 cm	4,7	33	57	543	1,7	0,11	5,1	0,22
	100 cm	4,3	21	75	1.167	6,5	0,11	20,4	0,42
	180 cm	4,1	21	146	1.398	27,7	0,09	21,0	1,93
Min	50 cm	3,2	7	1,3	0	0,2	0,01	0,1	0,01
	100 cm	3,6	10	2,2	147	0,6	0,00	0,4	0,03
	180 cm	3,6	10	10,2	39	1,6	0,01	1,1	0,07
Max	50 cm	6,9	122	478	4.360	6	0,67	79	2,22
	100 cm	5,7	85	978	2.750	28	1,40	118	3,11
	180 cm	5,6	85	889	3.070	93	0,38	68	8,30

gehalten werden und ähnlich wie ein konservativer Tracer mit dem Sickerwasser verlagert werden. Die Schwermetallkonzentrationen in der Bodenlösung überschreiten für Cd, Cu und Zn die Prüfwerte Boden-Grundwasser der BBodSchV (1999). **Die in Tabelle 3 dargestellten Werte sind aufgrund ihrer Höhe alle in mg/l ausgewiesen.**

MKW und PAK wurden in allen Grundwasserpegeln nachgewiesen und überschritten mit 300 µg/l (MKW) bzw. 0,7 µg/l (PAK) ebenfalls die Prüfwerte Boden-Grundwasser der BBodSchV (1999). Die AOX-Werte erreichten mit fast 100 µg/l deutlich erhöhte Konzentrationen. Ein Prüfwert für diesen Summenparameter der halogenorganischen Verbindungen ist bisher nicht in der BBodSchV (1999) oder der Berliner Liste (SenStadtUm 1996) vorgesehen. PCB und Organochlor-Pestizide konnten im Grundwasser nicht nachgewiesen werden.

Die geringen Mengen an pflanzenverfügbarem Wasser und die starke Wasserkonkurrenz der Quecke am Standort haben zu erheblichen Problemen bei den Aufforstungsmaßnahmen geführt. Zwischen 30 und 100 % der gepflanzten Bäume sind in den letzten Jahren abgestorben (SCHLENTHER et al. 1996). Neupflanzungen scheiterten ebenfalls. Nur die Kiefer konnte sich auf einigen Standorten entwickeln, zeigt jedoch Gelbspitzigkeit und Wuchsanomalien. Dies weist auf eine Schädigung durch Schwermetalle und Nährstoffmangel hin.

Material und Methoden

Ab April 1998 wurden zuerst in einem Pilotprojekt (HOFFMANN ET AL. 1998, 1999) 44.000 m³ Geschiebemergel (S: 69–79 %, U: 14–18 %, T: 7–14 %; pH: 7,3; KAK: 140 mmol/kg; Karbonat: 11 %) auf einer Gesamtfläche von 12 ha ausgebracht, das entspricht einer Schichtdicke von etwa 35 cm. Der Mergel stammt von den Baumaßnahmen zur Verlängerung der U-Bahnlinie 2 nach Pankow. Mit einer Verzögerung von etwa 4–6 Monaten wurden die Teilflächen bis in eine maximale Tiefe von 90 cm gefräst. Um Bodenschadverdichtungen zu vermeiden, wurden die anschließenden Pflanzmaßnahmen ausschließlich in Handarbeit durchgeführt.

Es wurden verschiedene Baumarten (Stieleiche, Winterlinde, Rot- und Hainbuche) gepflanzt und eine Gründüngung eingesät (Lupine, Phacelia, Senf, Sonnenblume). Es wurden zwei Beprobungen entlang eines 180 m langen Transektes vor der Mergelaufbringung 1998 und nach dem Fräsen im Frühjahr 1999 durchgeführt. Die Probenahme erfolgte in 10 m Abständen, die im Bereich eines ehemaligen Einleiterbeckens (= hohe Belastung) bis auf 1 m verdichtet wurden.

Parallel zu den Freilanduntersuchungen wurden Gefäßversuche durchgeführt. Dazu wurde Mergel mit Ah-Material des Rieselfeldes in den Verhältnissen 1:1 und 1:2 gemischt. Als Testpflanze für die Schwermetallaufnahme wurde Senf (*Sinapis alba*) eingesetzt.

Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgte in 0,01 M CaCl₂-Lösung. Die Schwermetallgehalte in Pflanzen und Boden wurden über einen HNO₃-Druckaufschluss (0,5 g Boden, 10 ml HNO₃, 6 h bei 185 °C im Teflontiegel) ermittelt. Die mobilen Schwermetalle im Freiland wurden durch vierstündiges Schütteln mit 0,1 M NH₄NO₃-Lösung (1:2,5) bestimmt.

Seit 1999 werden weitere 80 ha Rieselfeld nach dem beschriebenen Vorgehen behandelt. Aktuell sind etwa 45 ha mit Mergel überdeckt (Stand: Juni 2000), 13 ha davon sind zwischenzeitlich gefräst worden.

Ergebnisse & Diskussion Freilanduntersuchungen

Die Mischung mit Mergel führte zu einer deutlichen Verbesserung der Wasserspeichereigenschaften der untersuchten Böden. Die nFK stieg für 10 dm Profiltiefe, von durchschnittlich 130 l/m², auf ca. 200 l/m² an. Die Humusgehalte wurden entsprechend des Mischungsverhältnisses nachvollziehbar verdünnt. Sie betrugen 1999 durchschnittlich 4 %. Mit dem Mergel wurden ca. 830 t Kalk/ha ausgebracht. Das führte zu einer Erhöhung des pH-Wertes um etwa 2,5 Stufen auf 7,00 bis 7,50 (Abb. 1) und wird für langfristig stabile pH-Werte sorgen.

Die Lagerungsdichte zeigte nach Überlehmung und Fräsen einen deutlichen Anstieg des Medians von 1,20 g/cm³ auf etwa 1,60 g/cm³ (Abb. 2). Es konnten jedoch keine dauerhaften Schadverdichtungen festgestellt werden. In Abbildung 3 sind

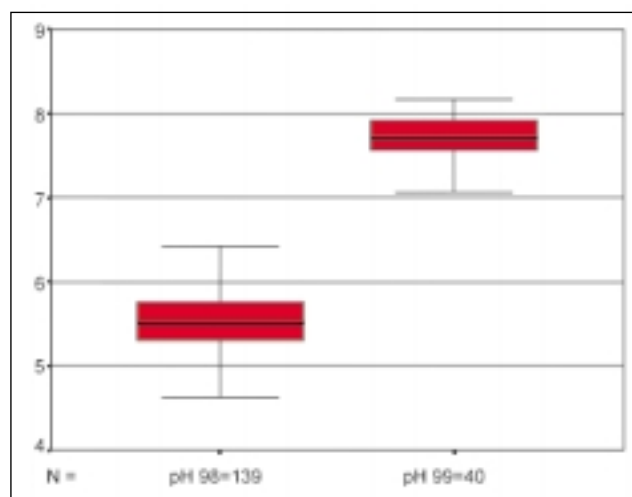


Abb. 1: pH-Werte in CaCl₂ auf dem Transekt T vor der Überlehmung (Sommer 1998) und nach dem Fräsen (Frühjahr 1999)

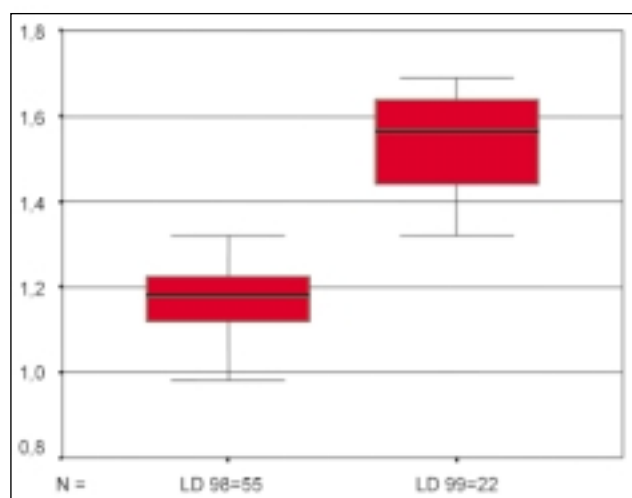


Abb. 2: Veränderung der Lagerungsdichte auf dem Transekt T vor der Überlehmung (Sommer 1998) und nach dem Fräsen (Frühjahr 1999)

die mittleren Ergebnisse von Penetrometeruntersuchungen dargestellt, welche zeigen, dass sechs Monate nach dem Fräsen in einer Tiefe von 60 bis 80 cm Verdichtungen über dem kritischen Wert von 3,5 N/m² feststellbar sind. Ein Jahr später sind diese kritischen Werte fast nicht mehr feststellbar. Der Unterboden hat sich gelockert, der Oberboden weist einen leicht erhöhten Eindringwiderstand auf. Das deutet darauf hin, dass sich ein neues Bodengefüge bildet.

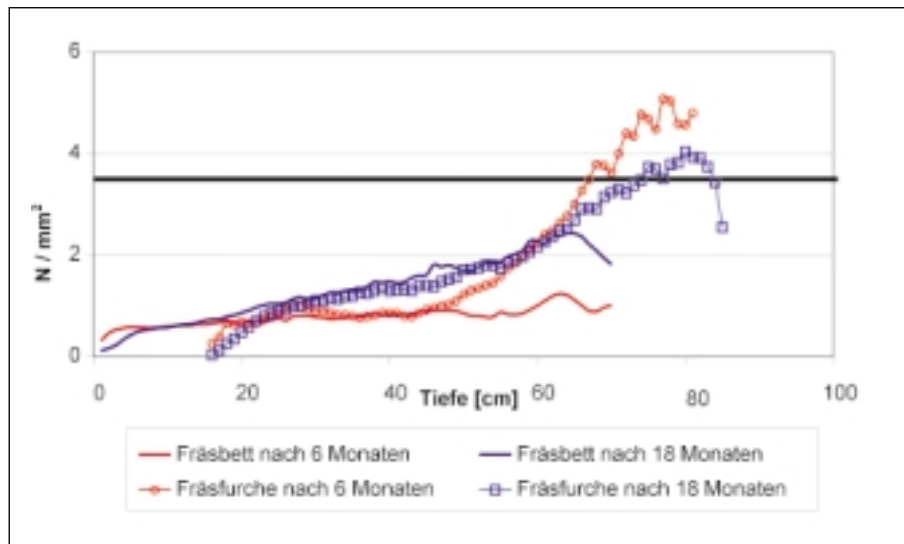


Abb. 3: Veränderung des Eindringwiderstandes 6 und 18 Monate nach dem Fräsen in Fräsbett und Fräsfurche

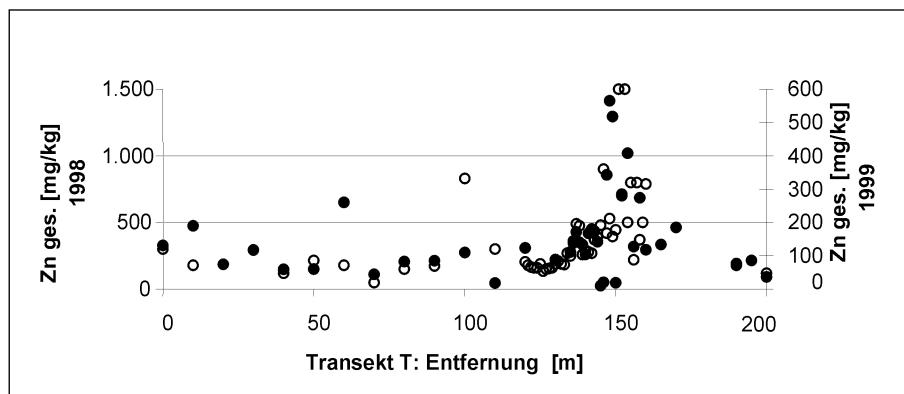


Abb. 4: Veränderung der Zink-Gesamtgehalte (HNO₃-Druckaufschluss) auf dem Transekt T vor der Überlehmung (Sommer 1998) und nach dem Fräsen (Frühjahr 1999)

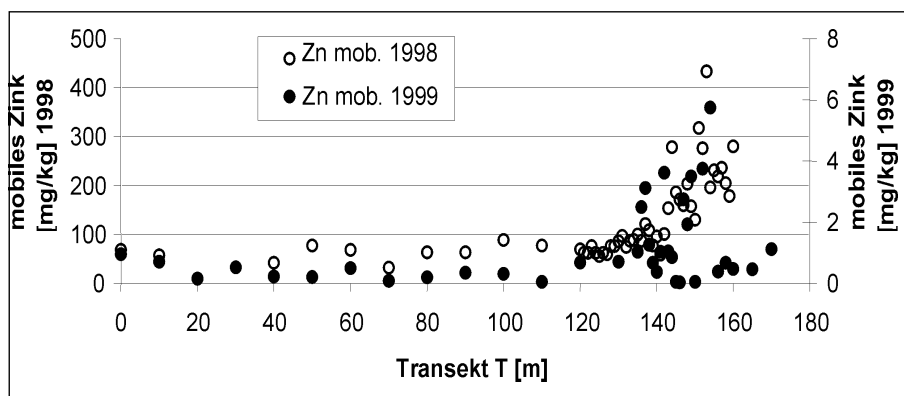


Abb. 5: Veränderung der mobilen Zink-Gehalte auf dem Transekt T vor der Überlehmung (Sommer 1998) und nach dem Fräsen (Frühjahr 1999)

Durch Verdünnungseffekte wurden die Gesamtgehalte an Schwermetallen um 60–70 % reduziert (Abb. 4). Die mobilen Schwermetallanteile wurden, wahrscheinlich in erster Linie durch den pH-Einfluss, deutlich reduziert. Die Wirkung war bei Zn am deutlichsten ausgeprägt. Der mobile Anteil sank von durchschnittlich 35,4 % 1998, auf 0,5 % 1999 ab (Abb. 5). Bei Cd reduzierte sich der mobile Anteil von 21,6 % 1998, auf 2,6 % 1999. Bei Cu trat nur eine geringe Reduzierung der mobilen

Anteile auf (1998: 0,5 %, 1999: 0,2 %). Ursächlich kann hier die erhöhte Mobilität von Cu-organischen-Komplexen sein, welche mit steigendem pH-Wert zunimmt (NEDERLOF & VAN RIEMSDIJK 1995). 0,7 % des Gesamt-Pb war 1998 noch in der mobilen Fraktion messbar. Die Konzentrationen lagen 1999 unterhalb der Nachweisgrenze. Die wichtigsten statistischen Parameter der Schwermetallkonzentrationen sind in Tabelle 4 dargestellt. Das 50 % Perzentil beschreibt dabei den Median.

Die Aktivität der Bodenmesofauna wurde mit Hilfe von Köderstreifentests (VON THÖRNE 1990) untersucht. Mit diesem Verfahren können in kurzer Zeit Fraßaktivitäten in großer Wiederholung gemessen werden um biometrisch auswertbare Daten zu erhalten (LARINK & KRATZ 1994). Die gemessenen Fraßraten unterschieden sich teilweise stark. Es wurden Aktivitäten zwischen 5 und 70 % gemessen. Eine Beziehung zu Schwermetallgehalten konnte nicht hergestellt werden. Entscheidend für die Aktivität der Bodenmesofauna waren eher die Lagerungsdichte und die Vegetation (HOFFMANN ET AL. 1999). Faunistische Untersuchungen wiesen insgesamt 52 Arten Spinnen mit 938 Individuen, 5 Arten Weberknechte mit 216 Individuen und 44 Laufkäferarten mit 650 Exemplaren bei der Beprobung von 7 Punkten des Transektes nach. In der Mitte der Pilotfläche fanden sich die niedrigsten Individuenzahlen. Die vorgefundenen Arten charakterisieren den Standort als gestörten, relativ jungen Sukzessionsstandort. Es zeichnet sich derzeit für die Spinnen eine Sukzession in Richtung Trockenrasenfauna ab. Bei den Laufkäfern ist diese Zönose bereits erreicht. Für beide Tiergruppen finden sich bereits xerophile Arten (HOFFMANN ET AL. 2000). Die ausgesäten Stieleichen zeigen auch nach länger andauernden Trockenperioden in der zweiten Vegetationsperiode im Frühjahr des Jahres 2000 einen guten Wuchs. Das Gleiche gilt für Linde, Buche, Hainbuche und diverse Straucharten, welche als Setzlinge ausgebracht wurden. Das Hauptproblem für die Pflanzen stellt derzeit der Wildverbiss dar.

Tab. 4: Maximum, Minimum, 25 % Perzentil, 75 % Perzentil und Median der mobilen Schwermetallkonzentrationen der Jahre 1998 und 1999 auf der Pilotfläche [in mg/kg].

	Cd 98	Cd 99	Zn 98	Zn 99	Cu 98	Cu 99	Pb 98	Pb 99
Minimum	4,5	0,8	5,2	0,2	0,1	0,1	0,3	n.n.
25% Perzentil	16,1	1,5	24,3	0,3	0,5	0,2	0,6	n.n.
50% Perzentil	22,5	2,5	29,7	0,5	0,6	0,2	0,7	n.n.
75% Perzentil	33,0	2,8	38,0	0,8	0,7	0,3	0,9	n.n.
Maximum	100,0	12,6	100,0	2,0	2,6	1,9	10,8	n.n.
Anzahl	118	35	118	35	118	35	52	35

Tab. 5: Gesamtgehalte an Schwermetallen im Bauaushub (Lehm) und Rieselfeldboden sowie deren Mischungen (mit Gülle-/ Strohzusatz als Dünger) und Schwermetallgehalte im Senfspross auf diesen Böden

	Schwermetallgesamtgehalt im Boden [mg/kg TS]				Schwermetallgehalte im Senfspross [mg/kg TS]			
	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb
Lehm (L)	0,4	13	23	13	0,2	6,5	110	0,4
Rieself. (R)	3,3	58	192	73	3,1	10,8	399	0,9
L : R = 1 : 1	1,9	30	138	44	1,4	9,8	138	0,8
L : R = 1 : 2	2,6	45	162	61	2,0	7,5	121	0,7

Ergebnisse & Diskussion Gefäßversuche

Die Gefäßversuche zeigten für die Schwermetallgesamtgehalte eine nachvollziehbare Verdünnung bei der 1:1-Variante, bei der 1:2-Variante war der Effekt nicht mehr eindeutig nachzuvollziehen (Tab. 5).

Die hohe Pflanzenverfügbarkeit von Zn und auch Cd im Rieselfeldboden konnte durch die Mischung mit Lehm deutlich gesenkt werden. Als Folge konnten, im Vergleich zum reinen Rieselfeldboden, um 36 % geringere Zinkgehalte, um 56 % niedrigere Cadmiumgehalte und um 38 % niedrigere Kupfergehalte in der 1:1 Variante nachgewiesen werden. Die niedrigen Cu- und Zn-Sprossgehalte in der 1:2-Variante könnten auf physiologische Störungen im Wurzelbereich durch Cu-Toxizität hindeuten. Diese Variante wies auch Wuchsdepressionen und einen geringeren Biomasseertrag auf.

Mikrobiologische Aktivitätsparameter wie die CO₂-Freisetzung und die Zellulosezerersetzung (n. UNGER 1962) im Verdünnungsboden zeigen mit dem Rieselfeldboden vergleichbare Werte. Das kann als Hinweis gedeutet werden, dass trotz der erheblichen Störung des Boden bei der Mischung, ein aktives mikrobielles Bodenleben vorhanden ist.

Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Überlehmung für flachgründig, schwermetallbelastete Böden eine gute Möglichkeit darstellt, Schadstoffe nachhaltig zu fixieren und damit deren Mobilität deutlich zu reduzieren. Über den Verdünnungseffekt durch das zugeführte Bodenmaterial werden gleichzeitig die Gesamtkonzentrationen abgesenkt. Trotz der erheblichen Störung durch das Fräsen stellt sich rasch wieder eine mikrobiologische Aktivität in den Böden ein. Das Pflanzenwachstum wird durch das erhöhte Wasser- und Nährstoffspeichervermögen begünstigt. Es konnten sogar Pflanzungen mittels Aussaat vorgenommen werden, welche bisher regelmäßig scheiterten.

Durch angepasste Frästechnik und bodenschonende Pflanzarbeiten mit der Hand konnte eine Schadverdichtung vermieden werden. Penetrometeruntersuchungen zeigen, dass der Boden inzwischen wieder ein eigenes stabiles Gefüge gebildet hat und Verdichtungen im Unterboden deutlich reduziert wurden.

Die Gefäßversuche zeigten, dass als Folge der Überlehmung eine deutliche Reduzierung des Belastungspfad von Boden-Pflanze induziert wird. Damit ist langfristig gewährleistet, das Standorttreue Tiere im Bereich der überlehmten Flächen in Zukunft weniger Schwermetalle mit der Nahrung aufnehmen.

Aus Sicht des Bodenschutzes sowie des KrW-/AbfG stellt die Überlehmung eine sinnvolle, kostengünstige und umwelt-schonende Nutzung von Restböden dar. Grundstückseigentümer können ihrer Sicherungspflicht gem. BBodSchG nach kommen und Baufirmen erfüllen die Anforderungen an eine Weiterverwertung von Bodenmaterial (DIN 19 731).

Ausblick

Bis zum Jahr 2002 sollen insgesamt 120 ha in der beschriebenen Vorgehensweise bearbeitet werden. Begleitend dazu werden weitere Felduntersuchungen zur Veränderung der Flora (Linienbonitur, Einfluss des Bodensamenpotentials) und zur Wiederbesiedelung der Flächen durch die Mesofauna (Barberfallen) durchgeführt. Der Schwermetalltransfer in krautige Pflanzen, die Fraßaktivität der Mesofauna (Köderstreifen-Test), die mikrobiologische Aktivität (CO₂-Freisetzung) sowie Toxizitätstest (Keimrollentest) und das kontinuierliche Monitoring des Grundwasser bilden weitere Untersuchungsschwerpunkte. Ein weiterer Schwerpunkt wird die Untersuchung der organischen Schadstoffe bilden. Dazu sollen die Informationen über das Belastungspotential im Rahmen der Profiluntersuchungen verdichtet werden und weiterführende Untersuchungen zum Einfluss der Überlehmung auf den Abbau und die Toxizität von organischen Schadstoffen gewonnen werden.

Literatur

- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Bundesgesetzblatt, vom 16.07.1999 Teil I, 36: 1554–1582.
- BECHMANN, W. (1996): Ausgewählte organische Schadstoffe im Rieselfeldgebiet Berlin-Süd. Tagungsband: Rieselfelder in Berlin und Brandenburg. Landschaftsentwicklung u. Umweltforschung 101: 119–124.
- BLUME, H.-P.; R. HORN, F. ALAILY, A.N. JAJAKODY & H. MESHREF (1980): Sand Cambisol functioning as a filter through long-term irrigation with wastewater. Soil Sci. 130/4: 186–192.
- BÖKEN, H.; R. METZ & C. HOFFMANN (2000): Using Excavated Material for the Remediation of Sewage Farm Land in Berlin and Brandenburg. Tagung der US Environmental Protection Agency (EPA): Phytoremediation: State of the Science Conference and RTDF Annual Phytoremediation Action Team Meeting 1.-3.5.2000 Boston-MA, USA i. Druck
- HOFFMANN C. & M. RENGIER (1998): Schwermetallmobilität in Rieselfeldböden. Bodenökologie u. Bodengenese 26: 30–39.
- HOFFMANN C., B. MARSCHNER & M. RENGIER (1998): Influence of DOM-Quality, DOM Quantity and Water Regime on the Transport of Selected Heavy Metals. Phys. Chem. Earth 23(2): 205–209.
- HOFFMANN C., R. METZ, G. GINZEL & M. RENGIER (1998): Schadstoffimmobilisation auf der Forstfläche in Buch. Abschlußbericht Projektphase 1. Im Auftrag der Berliner Forsten. 78 S.
- HOFFMANN C., S. PIEPER, R. METZ, H. BÖKEN, G. GINZEL & M. RENGIER (1999): Schadstoffimmobilisation auf der Forstfläche in Buch. Abschlußbericht Projektphase 2. Im Auftrag der Berliner Forsten. 49 S.
- HOFFMANN, C.; C. BOWO & M. RENGIER (1996): Untersuchungsergebnisse der bodenökologischen Messstation in Berlin-Buch 1995. Forschungsgutachten im Auftrag der Berliner Forsten. 44 Seiten.
- HOFFMANN, C.; M. HAJNOS, Z. SOKOLOWSKA, G. JOZEFACIUK, B. MARSCHNER & M. RENGIER (200x): Behaviour of sewage farm soils under various irrigation solution compositions in a column experiment. 2. Heavy metal and their leaching. Z. Pflanzenernähr. Bodenkde: (in Vorb).
- HOFFMANN, C.; M. RENGIER, M. HAJNOS, Z. SOKOLOWSKA, G. JOZEFACIUK & B. MARSCHNER (1999): Behaviour of sewage farm soils under various irrigation solution compositions in a column experiment. 1. Solid phase physiko chemical properties. Z. Pflanzenernähr. Bodenkde 162/6: 653–659.
- KANDELER E., D. TSCHERKO & G. WESSOLEK (1998): Reaktion von Bodenmikroorganismen auf Bodenkontamination. Bodenökologie u. Bodengenese 26: 100–107.
- KRATZ, W. (1992): Analyse von organischen Schadstoffen in Böden von den ehemaligen Rieselfeldern in Berlin-Buch. Abschlußbericht im Auftrag der Berliner Forsten. 65 S.
- KRATZ, W. (1996): Untersuchungen zu organisch-chemischen Bodenbelastungen in den ehemaligen Rieselfeldern in Berlin-Buch. Tagungsband: Rieselfelder in Berlin und Brandenburg Landschaftsentwicklung u. Umweltforschung 101: 109–118.
- KrW-/AbfG (1998): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen. Bundesgesetzblatt Teil 1, vom 22.06.1998: 1485 ff.
- LARINK, O. & W. KRATZ (1994): Köderstreifen-Workshop in Braunschweig – ein Resümee. Braunschw. Naturkdl. Schrift. 4: 643–651.
- MARSCHNER, B. & C. HOFFMANN (2000): Mobilization of heavy metals in soils on a former sewage treatment farm. 1. Tagung der SUITMA der ISSS/JUSS: Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas, Essen 12.07.–18.07.2000. i. Dr.
- METZ, R.; C. HOFFMANN & R. BÖKEN (1999): Verwendung von unbelastetem Bodenaushub zur Sicherung großflächig schadstoffkontaminierter Flächen. Mengen- u. Spurenelemente. Beiträge d. 19. Arbeitstagung 3.–4.12.1999 Jena. Verl. H. Schubert Leipzig. 541–546
- NEDERLOF, M.M. & W.H. VAN RIEMSDIJK (1995): Effect of natural organic matter and pH on the bioavailability of metal ions in soils. in: Huang, P.M. et al. Environmental impact of soil component interactions. Vol. 2 – Metals, other inorganics and microbial activities. Lewis Publ., S. 75–86.
- SCHLENTHER, L., B. MARSCHNER, C. HOFFMANN & M. RENGIER (1996): Ursachen mangelnder Anwuchserfolge bei der Aufforstung der Rieselfelder in Berlin-Buch – bodenkundliche Aspekte. Verh. Ges. Ökol. 25: 349–359.
- SCHLENTHER, L.; C. HOFFMANN, M. RENGIER (1996): Verteilungsmuster von Nähr- und Schadstoffen innerhalb einer ehemaligen Rieselfeldgalerie. Mitt. Deutsch. Bodenkdl. Ges. 76/I: 293–296.
- VON THÖRNE, E. (1990): Schätzungen der Fressaktivität bodenlebender Tiere. II Mini-Köder-Test. Pedo-biologia 34: 269–279.
- SENSTADTUM (1996): Bewertungskriterien für die Beurteilung stofflicher Belastungen von Böden und Grundwasser in Berlin – Berliner Liste 1996. Amtsblatt für Berlin, vom 20.03.96, 46(15): 957–984.
- WILKE, B.-M., R. METZ & M. MUß (1996): Bodenüberdeckung und Bodenmischung zur Herabsetzung des Schwermetalltransfers beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf Rieselfeldern. Tagungsband: Rieselfelder in Berlin und Brandenburg. Landschaftsentwicklung u. Umweltforschung 101: 119–124.

Danksagung

Wir danken Vaclav Brant, Dr. Gerhard Einhorn, Christine Ehrlicher, Michael Facklam, Melanie Fielitz, Irene Hahn, Dr. Wilfried Hübner, Nadine Kurowski, Christoph Maerker, Sibylle Nöther, Silvia Pieper, Christine Pühringer, Anke Schwolow, Susanne Schimpel, Nevenka Stefancic und Kotan Yildiz für ihre Mitarbeit. Der beteiligten Baufirma Fritsche Erdbau GmbH (Berlin) sei an dieser Stelle für die kooperative Unterstützung bei den Forschungsarbeiten gedankt.



Die Forschungsarbeiten werden mit Mitteln des Landes Berlin, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, sowie des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) unter der **Projektnummer 40208/1-ZÖW/O** gefördert.

Christian Hoffmann
Prof. Dr. Manfred Renger
TU-Berlin, Institut für Ökologie & Biologie
FG Bodenkunde
Salzufer 12, 10587 Berlin
Telefon: (030) 314-21722, e-mail: christian.hoffmann@tu-berlin.de

Holger Böken
Umweltbundesamt, FG II 5.2
Postfach 33 00 22; 14191 Berlin
Telefon: (030) 8903 2356, e-mail: holger.boeken@uba.de

Prof. Dr. Reinhart Metz
HU-Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
FG Ackerbausysteme
Dorfstraße 9, 13051 Berlin
Telefon: (030) 9627 5510

Möglichkeiten und Grenzen der biologischen Bodensanierung

Berndt-Michael Wilke, Technische Universität Berlin

Biologische Verfahren werden seit langem zur Sanierung von Altstandorten und Altablagerungen eingesetzt. Sie lassen sich

unterteilen in *mikrobiologische Verfahren* und *Verfahren mit höheren Pflanzen (Phytoremediation)*.

1 Bodensanierung mit Pflanzen (Phytoremediation)

Mit Schwermetallen kontaminierte Standorte lassen sich weder mit mikrobiologischen noch mit thermischen Verfahren sanieren; da Schwermetalle sich nicht wie organische Schadstoffe in Grundbestandteile wie Kohlenstoff, Wasserstoff, Chlorid etc. zerlegen lassen. Grundsätzlich bieten sich für die Sanierung mit Metallen belasteter Böden nur zwei Verfahren an: die Bodenwäsche und die Phytoremediation. Während beim erst genannten Verfahren in der Regel eine Auftrennung in hoch kontaminierte Feinfraktion und „saubere“ Grobfraktion vorgenommen wird, hat die Phytoremediation zum Ziel Metalle in Pflanzen anzureichern. Die kontaminierte Biomasse kann anschließend thermisch, z.B. in Heizkraftwerken, genutzt werden. Die Metalle reichern sich bei diesen Verfahren in Schlacken und Filterstäuben an und können in dieser Form entsorgt werden.

Für die Phytoremediation werden häufig „Hyperakkumulatorpflanzen“ eingesetzt. Diese reichern Schwermetalle in ihrer oberirdischen Biomasse (Stamm, Stengel, Blätter) stärker als in den Wurzeln an. BAKER UND BROOKS (1993) geben als Kriterium folgende Metallgehalte in Blättern an (in % Trockenmasse): Cadmium-Cd > 0,01; Kobalt-Co, Kupfer-Cu, Blei-Pb und Nickel-Ni > 0,1; Mangan-Mn und Zink-Zn > 1,0.

Wesentlicher Vorteil der Sanierung mit Pflanzen ist, dass die Böden in ihrem ursprünglichen Zustand erhalten werden und nach der Sanierung multifunktional nutzbar sein sollten. Das Verfahren eignet sich insbesondere für großflächig kontaminierte Standorte. Wesentliche Nachteile des Verfahrens sind:

- viele der bekannten Hyperakkumulatorpflanzen produzieren nicht genug Biomasse,
- die Pflanzen sind häufig nur in der Lage ein Metall anzureichern. Für Metallgemische werden zur Sanierung „Fruchtfolgen“ von Hyperakkumulatorpflanzen benötigt.
- Pflanzen können nur Metalle aus der mobilen Fraktion ggf. leicht nachlieferbaren Fraktion aufnehmen.

In Tabelle 1 sind Schwermetallentzüge ausgewählter Pflanzen, die zur Sanierung kontaminierter Böden eingesetzt wurden, zusammengestellt. Die Cd-Entzüge liegen zwischen 20 und 77 g/ha x a pro Aufwuchs. *Thlaspi caerulescens* ist in der Lage bis zu 43.000 g/ha x a Zink zu entziehen. Für Absenkung des Metallgehaltes eines Bodens um 1 mg/kg müssen 3.000 g/ha (Annahmen: Bodentiefe 20 cm, Lagerungsdichte 1,5 g/cm³) von den Pflanzen aufgenommen werden. Ein Vergleich

Tab. 1: Schwermetallentzüge ausgewählter Pflanzen [g/ha x a]

Pflanze	Cadmium Cd	Nickel Ni	Kupfer Cu	Zink Zn
Weide (Bowles Hybrid)	53	13,4	58,6	1.560
Weide SQ683	34,3	9,3	63,1	965
Weide Trianda	76,7	11,1	81,5	1.360
Weide Dasyclados	60,1	13,8	73,6	1.210
Raps	30			
Thlaspi caerulescens				43.000
Tabak	43,9			
Sonnenblume	20,2			

mit den in Tabelle 1 aufgeführten Zahlen zeigt, dass höher belastete Standorte kaum mit dem Verfahren dekontaminiert werden können und darüber hinaus jährlich bis zu 2 g Cd/ha über den Luftpfad eingetragen werden können (SCHULTE ET AL. 1996). Außerdem werden auf hoch belasteten Böden auch weitgehend angepasste Hyperakkumulatorpflanzen aufgrund phytotoxischer Wirkungen deutlich schlechter wachsen und damit geringere Entzugsraten erzielen.

Zur Erhöhung der Schwermetallmobilität in Böden und damit der Verfügbarkeit der Metalle für Pflanzen wurde versucht „Mobilisierungsmittel“ einzusetzen. Versuche von WENGER UND GUPTA (1998) zeigten, dass Nitrilotriessigsäure (NTA, 1 mmol und 2 mmol) und Citronensäure (50 mmol) die Aufnahme von Cu in Sprosse von Tabak erhöhten, nicht jedoch in die von Mais. Beim Mais war die Aufnahme in die Wurzeln nach Zugabe von NTA erhöht, Zitronensäure hatte keine Wirkung, auch nicht auf die Cu-Aufnahme in Tabakwurzeln.

Es wurden durch die Behandlung keine signifikanten Wirkungen auf den Biomasseertrag gefunden.

STELZEL ET AL. (2000) konnten durch Düngung mit Ammoniumsulfat die Aufnahme von Zink und Cadmium in *Salix viminalis* ('Jorr') im Vergleich zu einer Nitratdüngung im Topfexperiment steigern. Allerdings nahm auch die Auswaschung der Schwermetalle zu. Geringere Auswaschungsverluste wurden nach Untermischung von Ammoniumsulfat in 15 cm Tiefe erzielt. Die Entzugsraten konnten auf hohem Niveau gehalten werden.

Es kann festgestellt werden, dass die Sanierung schwermetallkontaminierter Standorte mit Pflanzen insbesondere bei höheren Belastungen und Mischkontamination derzeit nicht sinnvoll ist. Laufende Forschungen beschäftigen sich mit den Aufnahmemechanismen der Metalle in Pflanzen. Sollte es gelingen, die für die Anreicherung der Metalle in oberirdischen Pflanzenteilen verantwortlichen Gensequenzen zu finden, könnten diese in Pflanzen mit hoher Biomasseproduktion implantiert werden. Mit diesen gentechnisch erzeugten Akkumulatorpflanzen sollten Bodensanierungen effektiv in relativ kurzen Zeiträumen durchführbar sein.

Abschließend sei noch auf eine weitere Einsatzmöglichkeit von Pflanzen hingewiesen. Pflanzen, die auch auf hoch kontaminierten Böden wachsen können, lassen sich zur Sicherung der Standorte gegenüber Bodenerosion einsetzen. Diese Maßnahme wird als Phytostabilisation bezeichnet.

2 Mikrobiologische Verfahren

Mikrobiologische Verfahren stellen eine bewährte Möglichkeit zur Sanierung mit organischen Schadstoffen kontaminierter

ter Standorte dar. Sie werden sowohl in-situ als auch ex-situ (in Mieten oder Bioreaktoren) durchgeführt. Der Erfolg mikrobiologischer Sanierungen wird maßgeblich von folgenden Faktoren bestimmt:

- Sauerstoffversorgung,
- Porosität des Bodens,
- Bodenreaktion (pH-Wert),
- Vorhandensein von Nähr- und Zuschlagstoffen,
- Wassergehalt,
- Temperatur,
- Konzentration und chemische Eigenschaften der Schadstoffe.

In-situ Verfahren (ohne Bodenaushub) sind nur bei gut durchlässigen Böden mit K_f -Werten $> 5 \times 10^{-4}$ m/s möglich (MARSCHNER 1997). Ist die Durchlässigkeit geringer, kann nur in Mieten oder Bioreaktoren saniert werden. Der Einsatz von Reaktoren wird für besonders flüchtige oder stark sorbierende Schadstoffe empfohlen (MARSCHNER 1997). Suspensionsreaktoren sind bei Behandlung von feinkörnigem Bodenmaterial einzusetzen.

Der Verfahrensablauf von mikrobiologischen on/off-site Sanierungen ist in Abbildung 1 dargestellt. Vor jeder Sanierung ist zunächst die Abbaubarkeit der Schadstoffe im Laborversuch zu prüfen (s.a. KLEIN 1992). Standort- und Schadenscharakteristik sowie behördliche Vorgaben bestimmen im Wesentlichen das weitere Vorgehen.

Grundsätzlich lassen sich mit mikrobiologischen Verfahren Phenole und Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) sanieren (Abb. 2). Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) mit mehr als fünf Ringen (s.a. Tab. 2) sind ebenso wenig mikrobiologisch abbaubar wie polychlorierte Biphenyle (PCB), Dioxine und Furane (PCDD, PCDF). Ursache hierfür ist deren Löslichkeit und damit auch Bioverfügbarkeit für Mikroorganismen, die mit steigendem Chlorierungsgrad (PCB, PCDF, PCDD) bzw.

Tab. 2: Chemisch-physikalische Eigenschaften polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffen (EPA-PAK)
WS = Wasserlöslichkeit bei 20°C

Substanzname	Ringe	Molgewicht	WS in mg/l
Naphthalin	2	128	30,0
Acenaphthylen	3	154	16,1
Acenaphthen	3	154	3,47
Fluoren	3	166	1,98
Phenanthren	3	178	1,29
Anthracen	3	178	0,07
Fluoranthren	4	202	0,26
Pyren	4	202	0,14
Benz(a)anthracen	4	228	0,014
Chrysen	4	228	0,002
Benzo(b)fluoranthren	5	252	0,0012
Benzo(k)fluoranthren	5	252	0,00055
Benz(a)pyren	5	252	0,0038
Dibenz(a,h)anthracen	5	278	0,0005
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6	276	0,062
Benzo(g,h,i)perylene	6	276	0,00026

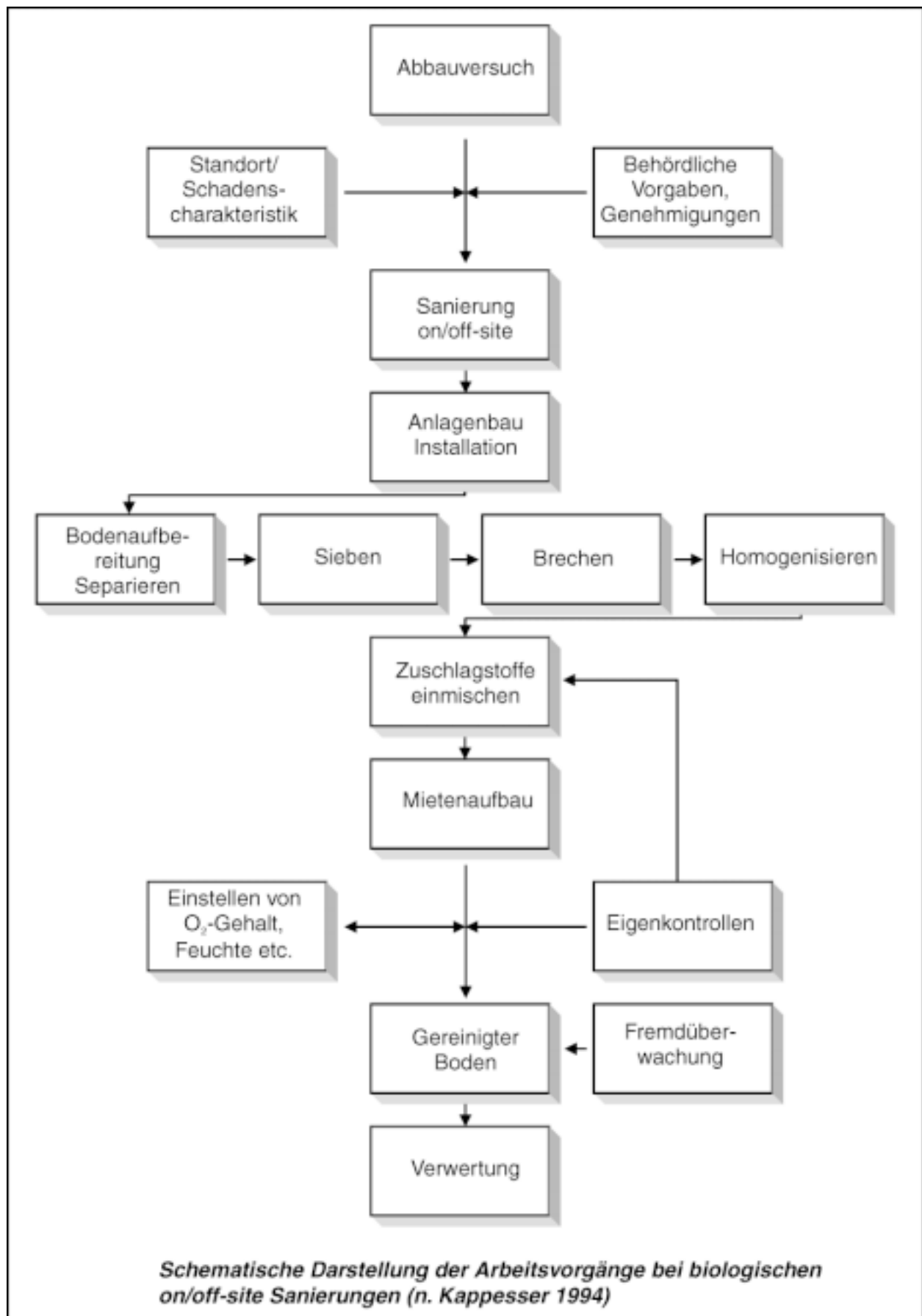
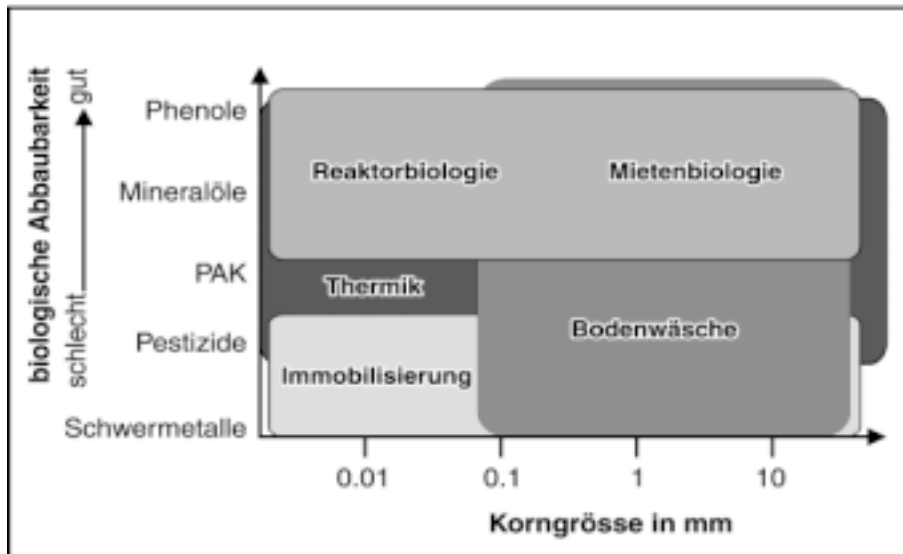


Abb. 1: Schematische Darstellung der Arbeitsvorgänge bei mikrobiologischen on/off-site Sanierungen (aus ALEF 1994)

Schema zur Entscheidung der prinzipiellen Behandelbarkeit



Bunge & Gälli (1996) HdA Nr. 5311

Abb. 2: Schema zur Entscheidung der prinzipiellen Behandelbarkeit (nach BUNGE & GÄLLI 1996)

Zahl der kondensierten Benzolringe (PAK) drastisch abnimmt.

Ein Sonderfall der mikrobiologischen Sanierung stellt die Natural Attenuation bzw. die Enhanced Natural Attenuation dar. Unter diesen Begriffen versteht man die Abnahme der Konzentration von Schadstoffen in Böden und Grundwasser durch natürliche Abbau- und Rückhalteprozesse ohne und mit gezielter Verbesserung der Sauerstoff- oder Nährstoffversorgung der autochthonen Mikroflora. Die Natural Attenuation ist Schwerpunkt laufender bzw. zukünftiger Forschung. In diesem Jahr wurden dazu vom BMBF zwei Forschungsschwerpunkte ausgeschrieben.

3 Humifizierung

Bei der kontrollierten Humifizierung werden durch Zugabe organischer Zuschlagstoffe, wie Kompost, sowohl die Mineralisation (Zersetzung zu CO_2 und H_2O) als auch die Festlegung der Schadstoffe in nicht-extrahierbare Rückstände (neR) beschleunigt (ESCHENBACH ET AL. 1998). Nicht-extrahierbare Rückstände sind nach Definition der IUPAC Verbindungen in Böden, die nach der Extraktion mit Methoden, die nicht wesentlich die Wirkstoffstruktur verändern, im Boden verbleiben. PAK und 2,4,6-TNT gehören neben den Pflanzenschutzmitteln zu den Schadstoffen, die neR bilden und so mit dem Verfahren der kontrollierten Humifizierung saniert werden können.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung dieses Verfahrens ist die Langzeitstabilität der gebildeten neR. Dazu führten ESCHENBACH ET AL. (1998) mit ^{14}C markierten PAK Langzeit- und Remobilisierungsversuche durch. Dabei wurde eine Vielzahl möglicher ökologischer Stressfaktoren (Tab. 3) getestet. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass

- die Mineralisation zu CO_2 in einem Umfang erfolgte, der mit dem Abbau der natürlichen organischen Substanz im Zuge des Humus-Turnovers vergleichbar ist und als Detoxifizierung gewertet werden kann,

- keine Freisetzung der als neR gebundenen PAK in eine (bio)verfügbare Form erfolgte,
- physikalische Remobilisierungsmaßnahmen die Langzeitstabilität der neR nicht beeinträchtigten
- allein das komplexierende Agens EDTA zu deutlicher Freisetzung von neR in eine extrahierbare Form führte; die Freisetzung erfolgte aber – den bisherigen Erkenntnissen zufolge – in Form löslicher organischer Substanz und nicht als Original-PAK,
- nicht-extrahierbare ^{14}C PAK-Rückstände einer breiten Palette von möglichen Einflussfaktoren widerstehen aber nicht vollkommen inert im Boden vorliegen.

2,4,6-TNT belastete Böden lassen sich mit einem alternierenden Anaerob-Aerob-Prozess sanieren. Durch die Applikation leicht verwertbarer Co-Substrate erfolgt unter Sauerstoffdefizit bei anaeroben Bedingungen die Reduktion von TNT zu TAT, dass unter aeroben Bedingungen irreversibel an die Humusmatrix als neR gebunden wird (s. Abb. 3). Ein Fließschema eines der im Rahmen des BMBF-Vorhabens „Werk Tanne“ angewandten Verfahren zeigt Abbildung 4. Bereits nach 21 Tagen waren 2,4,6-TNT und seine Metaboliten nicht mehr nachweisbar.

Tab. 3: Ökologische Stressfaktoren zur Untersuchung der Langzeitstabilität von neR (nach ESCHENBACH ET AL. 1998)

Biologische Behandlungsmaßnahmen	
➤	Einsatz von humus-abbauenden Mikroorganismen
➤	Zugabe organischer Supplemente
➤	Zugabe isolierte Enzyme (Peroxidasen)
➤	Einsatz von Regenwürmern
Physikalische Behandlungsmaßnahmen	
➤	Änderung der Temperatur (Frost/Tau-Zyklen)
➤	Änderung des Wassergehaltes (Feucht/Trocken-Zyklen)
➤	Mechanische Zerstörung der Aggregate
Chemische Behandlungsmaßnahmen	
➤	Mehrfache Extraktion mit einem Lösungsmittel
➤	Behandlung mit einem Tensid
➤	Auflösung metall-organischer Komplexe

4 Ökotoxikologische Bewertung biologischer Sanierungen

Ökotoxikologische und genotoxische Untersuchungen sollten zur Überprüfung des Sanierungserfolges sowie der späte-

Tab. 4: Auswahl von Testverfahren in Abhängigkeit von der Nutzung (nach KREYSA UND WIESNER 1995, verändert)

Bodennutzung	Bodenfunktionen		
	Rückhaltefunktion	Lebensraumfunktion	
		Pflanzenstandort	Bodenbiozönose
Böden	Prüfung einer biologischen Wirksamkeit		
1 unter versiegelten Flächen	nein*	nein	nein
2 nicht versiegelte, gewerblich genutzte Flächen	ja	nein	nein
3 Deponieabdeckung	ja	(ja)	nein
4 Grün-, Park- und Freizeitflächen	ja	(ja)	(ja)
5 Flächen mit gärtner, oder landwirtschaftl. Nutzung	ja	ja	ja
biologische Testsysteme	aquatische	terrestrische Tests	
		höhere Pflanzen	Bodenbiozönose

Tab. 5: Ausgewählte Testverfahren für die ökotoxikologische Testbatterien
*Tests in Entwicklung

	Testsystem/Testorganismus	Standardisierung
Tests mit Bodenlebewesen	Algen-Zellvermehrungs-Hemmtest mit <i>Scenedesmus subspicatus</i>	DIN 38412-33
	Daphnien-Kurzzeittest mit <i>Daphnia magna</i>	DIN 38412-30
	Leuchtbakterientest (Lumineszenz) mit <i>Vibrio fischeri</i>	DIN EN ISO 11348
	Leuchtbakterien-Zellvermehrungs-Hemmtest mit <i>Photobacterium phosphoreum</i>	DIN 38412-37
	ToxiChromoPad-Test mit <i>Escherichia coli</i>	(KWAN 1991)
Tests mit Pflanzen	Akuter Pflanzenwachstumshemmtest mit <i>Avena sativa</i> , <i>Brassica rapa</i> , <i>Lepidium sativum</i>	ISO 11269-2 (mod.), 1995
	Chronischer Pflanzenwachstumshemmtest <i>Avena sativa</i> , <i>Brassica rapa</i>	ISO/TC 190/SC 4/WG 3 N 58 (Entwurf), 2000
Tests mit Mikroorganismen	Bodenatmungskurven	ISO-Entwurf
	Bodenmikroflora	
	Potentielle Nitrifikation	ISO/CD 15685 (Entwurf), 1999
	Ammoniumoxidierende Bakterien	
	Reporterbakterien	
Tests mit Bodeninvertebraten	Gentechnisch veränderte Bakterien	
	ToxiChromoPad-Test <i>E. coli</i>	(KWAN 1991)
	Collembolentest	DIN ISO 11267 (mod.)
	<i>Folsomia candida</i>	
	Enchytraeentest	ISO WD 16387 (mod.)
Genotoxische Tests	<i>Enchytraeus crypticus</i>	
	Regenwurmtest	DIN ISO 11268-1+2, 1997
	<i>Eisenia fetida</i>	
	Test mit Bodenprotozoen	
	Ames-Test	DIN Entwurf 38415-4 (Stand 1/1998)
	<i>Salmonella typhimurium</i> TA 98 u. TA 100	
	umu-Test	DIN 38415-3
	<i>Salmonella typhimurium</i> TA1535/pSK1002	
	SOS-Test	
	<i>Escherichia coli</i> PQ37	in Anlehnung an das Protokoll des umu-Tests (DIN 38415-3)
	NM2009-Test	
	<i>Salmonella typhimurium</i> TA1535/ pSK1002/pNM12	

ren Verwendbarkeit sanierter Bodenmaterialien zusätzlich zur chemischen Verlaufs- und Erfolgskontrolle durchgeführt werden. Ökotoxikologische Testverfahren bieten folgende Vorteile:

- sie erfassen das Toxizitätspotenzial aller in einem Boden/ Bodenmaterial vorkommenden Stoffe einschließlich möglicher Kombinationseffekte und
- sie zeigen toxische Effekte von Stoffen (Metaboliten), die in der chemischen Analytik nicht erfasst wurden, an.

Verfahren zur ökotoxikologischen Bewertung von Böden und Bodenmaterialien wurden erstmals von der DECHEMA-Arbeitsgruppe „Validierung biologischer Testmethoden für Böden“ vorgestellt (KREYSA UND WIESNER 1995, Neuauflage in Bearbeitung). Kriterien zur Auswahl der Verfahren zeigt Tabelle 4. Im BMBF-Vorhaben Ökotoxikologische Testbatterien (FKZ: 1491031) wurden ökotoxikologische und genotoxische Testmethoden modifiziert und validiert und neue Verfahren entwickelt (Tab. 5).

Derzeit wird im ISO/TC 190 (Soil Quality) SC 7 (Soil and Site Assessment) WG 3 (Ecotoxicological characterization of soils and soil materials) ein Guidance Paper (ISO DIS 15799) zur ökotoxikologischen Bewertung von Böden und Bodenmaterialien genormt.

Im Rahmen der TNT-Probesanierungen im Werk Tanne (BMBF-Vorhaben „Maßstabsgerechte Erprobung von biologischen Verfahren mit Erfolgskontrolle am Standort ‘Werk Tanne’ – FKZ 1451129) wurden ökotoxikologische und genotoxische Untersuchungen zur Erfolgskontrolle durchgeführt. Zur Anwendung kamen eine Auswahl der in Tabelle 5 aufgeführten Methoden. Als „Kontrollboden“ wurde der LUFA-Standardboden 2.2 mit untersucht.

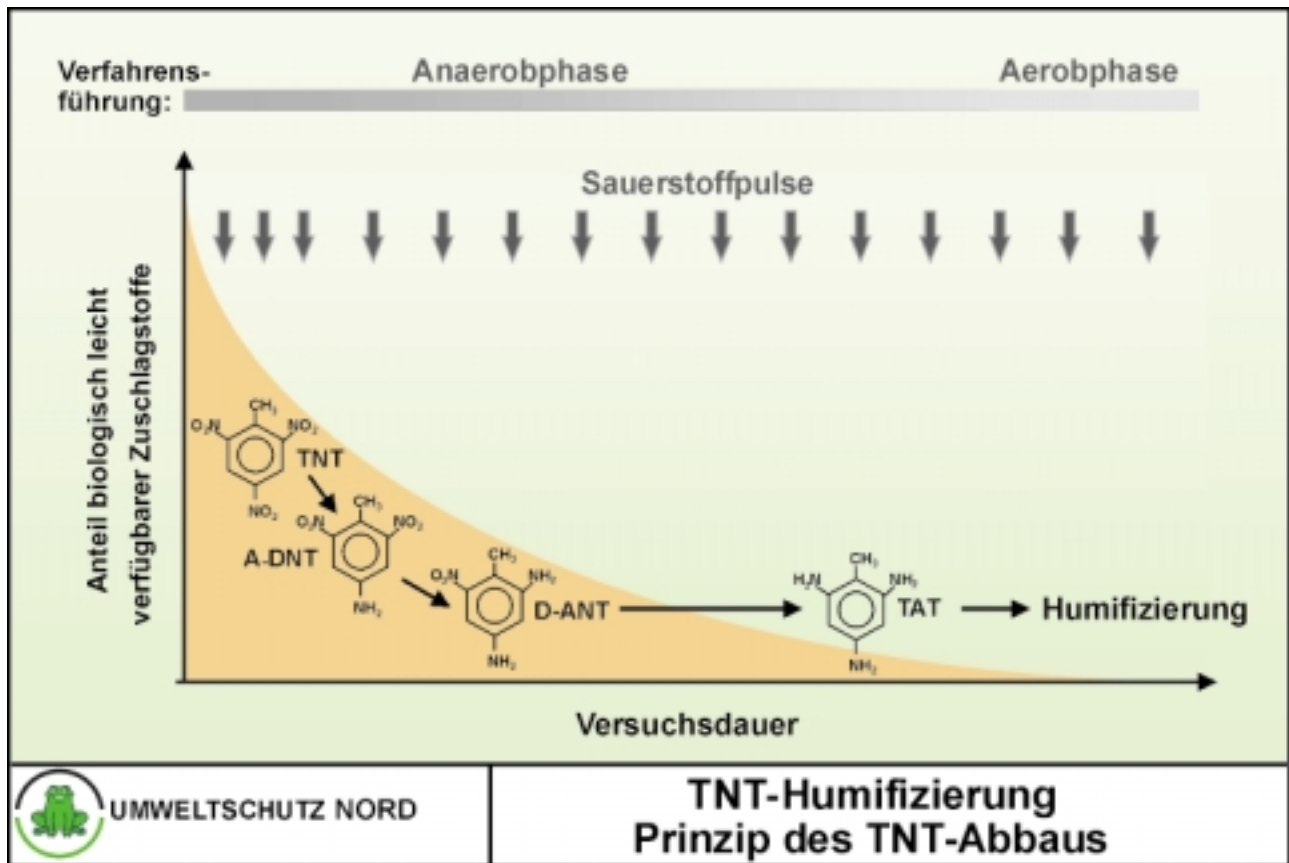


Abb. 3: Prinzip des TNT-Abbaus bei der TNT-Humifizierung (Quelle: Umweltschutz Nord)

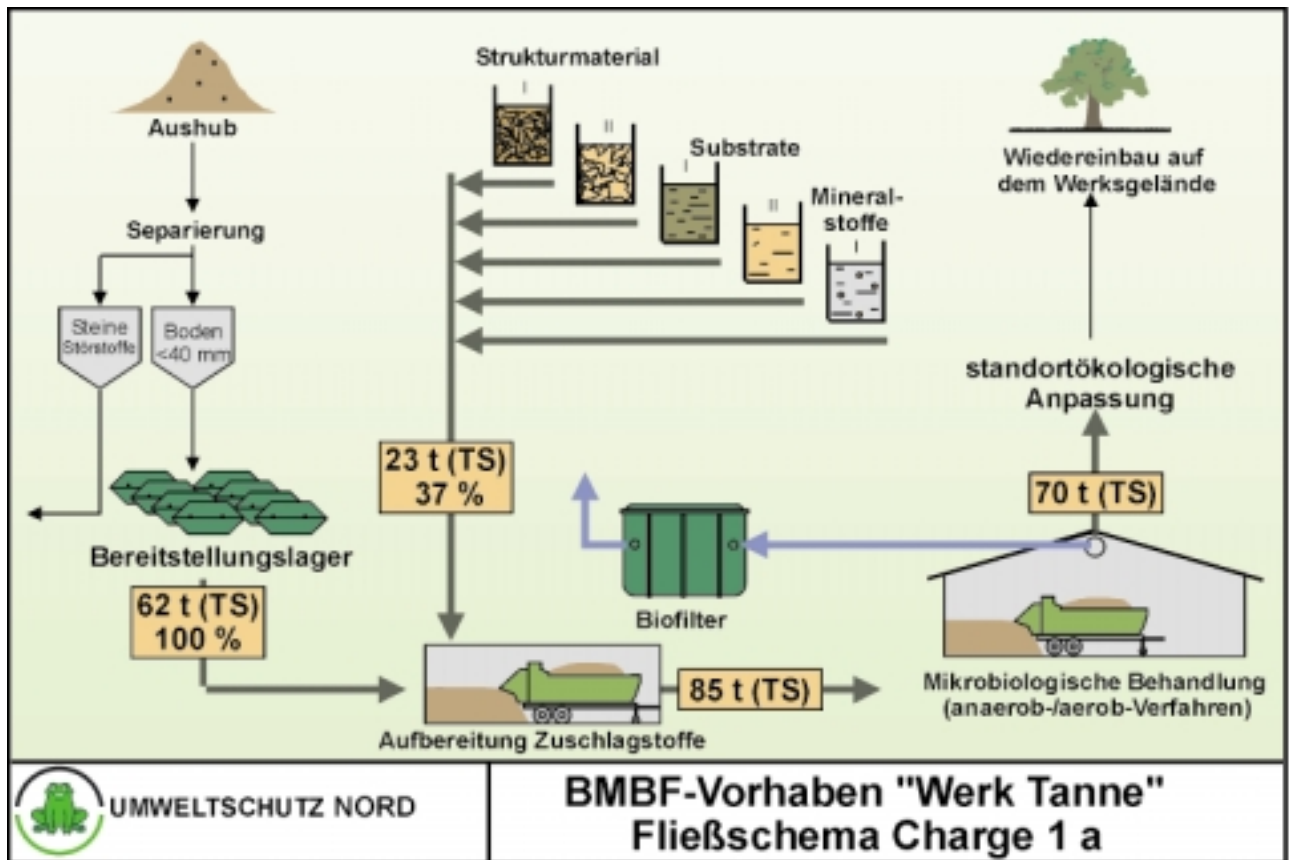


Abb. 4: Sanierungsschema der TNT-Sanierung im BMBF-Vorhaben Werk Tanne (Quelle: Umweltschutz Nord)

Tab. 6: Bewertung TNT-kontaminierter Böden vor und nach Sanierung

Boden	TNT (mg/kg)	Anmerkungen	Eluattests		Mikroorganismen	Bodenleiere	Pflanzen	Gesamt
			GW-Plad	Genotox				
CTNT0	n. n.	pH < 4	-	-	+/-	-	-	-
CTNT04a	n. n.		-	-	-	-	-	-
CTNT1	1.600		+	+	+	+	+	+
CTNT4a	3.100		+	+	+	+	+	+
CTNT4b	n. n.	hoher DOM und Salzgehalt	+ ¹⁾	-	-	-	-	+
LUFA 2.2	n. n.		-	-	-	-	-	-

n.n. nicht nachweisbar
 + Bodenfunktion beeinträchtigt
 - ohne Befund (Bewertungskriterien s. BMBF 2000)
 1) Leuchtbakterientest positiv, aber deutliche Verbesserung des G_L-Wertes
 a vor Sanierung
 b nach Sanierung
 0 kennzeichnet unbelastete Böden des gleichen Standortes

Die TNT-kontaminierten Böden (CTNT 1 und 4a) wiesen vor der Sanierung deutliche Wirkungen in allen Testsystem auf (s. Tab. 6). Keine Effekte wurden dagegen beim Kontrollboden LUFA 2.2 und den unbelasteten Böden des Standortes (CTNT0, CTNT04) gefunden. Nach der Sanierung (Probe CTNT 4b) zeigte nur der Leuchtbakterientest (Eluattest Grundwasserpfad) negative Wirkungen an. Diese waren jedoch nicht auf das Vorhandensein von TNT sondern auf hohe DOM- (gelöste organische

Substanzen) und Salzgehalte, die als den Zuschlagstoffe den Böden beigemischt wurden, zurückzuführen. Es ist zu erwarten, dass bei einer längeren Lagerung des sanierten Bodenmaterials und Auswaschung von Salzen und löslicher Huminstoffe auch der Leuchtbakterientest keine negativen Wirkungen mehr anzeigt und der sanierte Boden wieder multifunktional genutzt werden kann.

Literatur

- ALEF, K. (1994): Biologische Bodensanierung. Methodenbuch.VCH Verlagsgesellschaft mbH. Weinheim, 269 S.
- BAKER, A.J.M. & BROOKS, R. R. (1993): Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. – a review of their distribution, ecology and phytochemistry, Biorecovery, 1, 81–126
- BMBF (2000): Leitfaden „Biologische Verfahren zur Bodensanierung“ Kap. 6 (erscheint Sept. 2000):
- BUNGE, R. & GALLI, R. (1996): Grundlagen der Behandelbarkeitsprüfung für kontaminierte Böden. Franzius, Wolf, Brandt (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung. Nr- 5311, 3. Erg.-Lfg., 2. Aufl., Juni 1996
- ESCHENBACH, A.; WIENBERG, R. & MAHRO, B. (1998): Untersuchung der Bildung und Langzeitstabilität von humifizierten PAK in biologisch behandelten Recyclingböden. Abschlußbericht des BMBF-Forschungsvorhabens. Förderkennzeichen 1480937
- KLEIN, J. (Hrsg. 1992): Labormethoden zur Beurteilung der biologischen Bodensanierung. 2. Bericht des Interdisziplinären Arbeitskreises „Umweltbiotechnologie-Boden“, Ad-hoc Arbeitsgruppe „Labormethoden zur Beurteilung der biologischen Bodensanierung. DECHEMA Frankfurt/M. 44 S.
- KREYSA, G. & WIESNER, J. (Hrsg. 1995): Biologische Testmethoden für Böden. 4. Bericht des Interdisziplinären Arbeitskreises „Umweltbiotechnologie-Boden“ der DECHEMA e.V. 54 S.
- KWAN, K. K. (1991): Qualitative direct sediment toxicity testing procedure (DSTTP). NWRI Contribution No. 90–91
- MARSCHNER, A. (1997): Mikrobiologische Sanierung: Erfolge, aktuelle Projekts und Forschungsbedarf. Franzius, Wolf, Brandt (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung. Nr- 5326, 10. Erg.-Lfg., 2. Aufl., Dezember 1997
- SCHULTE, A.; BALASZ, A.; BLOCK, J. & GEHRMANN, J. (1996): Entwicklung der Niederschlags-Deposition von Schwermetallen in West-Deutschland. 1. Blei und Cadmium. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 159:377–383
- STELZEL, D.; SCHMIDT, U. & KAUPENJOHANN, M. (2000): Enhancing heavy metal uptake of willow by soil acidification. Unveröff. Poster. Umwelttag Univ. Hohenheim
- UMWELTSCHUTZ NORD (2000): Vortrag von U. Walter im Rahmen der Projektbeiratssitzung BMBF-Förderaktivität: Biologische Verfahren zur Bodensanierung, Verbund 6: Vorbereitung zur „Maßstabsgerechten Erprobung biologischer Verfahren mit Erfolgskontrolle am Standort „Werk Tanne“ beim Standort Clausthal-Zellerfeld.
- WENGER, K. & GUPTA, S. (1998): Controlled an targeted mobilization of copper in soil to enhance its accessibility for „remediation-plants“. In contaminated Soils'98, Thomas Telford, London, 1085–1086

Prof. Dr. Dr. Berndt-Michael Wilke
 Technische Universität Berlin
 Institut für Landschaftsentwicklung, FG Abfallbelastung der Landwirtschaft
 Albrecht-Thaer-Weg 4, 14195 Berlin
 Telefon: (030) 314 71230

Vorschlag für eine Methode zur Ableitung von Sanierungszielwerten für das Land Brandenburg

Thomas Mathews, Stephan Exner, ECOS Umwelt GmbH
Hans- Joachim Fiebig, Sabine Hahn, Landesumweltamt Brandenburg

Vorwort

Von den ca. 25.000 erfassten altlastverdächtigen Flächen/Altlasten im Land Brandenburg sind erst ca. 10 % auf der Grundlage von durchgeführten Untersuchungen auf unterschiedlicher Bearbeitungsstufe bewertet worden. Aufgrund der noch verbleibenden großen Anzahl von altlastverdächtigen Flächen und unter Berücksichtigung der nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehenden finanziellen und personellen Mittel ist eine Priorisierung der Bearbeitungsnotwendigkeit der Flächen unumgänglich.

Zur Lösung dieser anspruchsvollen Aufgabe wurden im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg, Referat Altlasten, methodische Hilfsmittel mit dem Ziel erarbeitet, den zuständigen Behörden eine Bewertung der Gefahrenlage und Prioritätensetzung von altlastverdächtigen Flächen/Altlasten auf der Basis einheitlicher Beurteilungskriterien auf allen Ebenen der Altlastenbearbeitung zu ermöglichen, also auch im Rahmen von erforderlichen Sanierungsmaßnahmen für die Festlegung von Sanierungszielwerten Hilfestellung zu geben.

Einheitliche und vom Gesetzgeber vorgegebene Sanierungszielwerte kann es aufgrund der jeweils unterschiedlichen Standortbedingungen und der deshalb erforderlichen Einzelfallentscheidung nicht geben. Das wird auch in Zukunft so sein.

Es wird vorgeschlagen, im Land Brandenburg zur Ermittlung von Sanierungszielwerten grundsätzlich die im Rahmen der Erarbeitung des Brandenburgischen Verfahrens zur einzelfallbezogenen Gefahrenbeurteilung und Prioritätensetzung bei altlastverdächtigen Flächen/Altlasten abgeleiteten schutzgut- und nutzungsspezifischen „Brandenburgischen Orientierungswerte“ heranzuziehen.

Diese sind für den Direktpfad auf der Basis von tolerierbaren resorbierten Körperdosen (TRD-Werte) mittels probabilistischer Modellrechnungen, unter Eliminierung des Gefahrenfaktors, ermittelt worden. Diese Orientierungswerte, die sich gegenwärtig in der Phase der Überarbeitung befinden, unterscheiden sich deutlich von den Prüfwerten der BBodSchV, die definitionsgemäß eine Gefahrenverknüpfung aufweisen.

Für die Bewertung von Grundwasserschäden werden die Geringfügigkeitsschwellen (Prüfwerte) der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) vom 21.12.1998 zugrunde gelegt.

Die „Brandenburgischen Orientierungswerte“ stellen zusätzliche Konzentrationsschwellen (Besorgnisschwellen, ohne toxikologisches Restrisiko) für Schadstoffgehalte in Umweltmedien als Sortierkriterium von altlastverdächtigen Flächen auf der Stufe der orientierenden Untersuchung bzgl. ihrer Aussonderung bzw. Priorisierung bei einer weiteren Untersuchung dar. Sie besitzen nur empfehlenden Charakter und stehen nicht in Konkurrenz zu den Prüfwerten der BBodSchV, die eine ganz andere inhaltliche Aussage besitzen. Eine Überschreitung der Prüfwerte der BBodSchV bedeutet die Bestätigung eines hinreichenden Gefahrenverdachts und begründet den Handlungsbedarf einer Detailuntersuchung,

während bei einer Unterschreitung kein hinreichender Gefahrenverdacht, aber nach unserer Auffassung ein Restrisiko besteht.

Deshalb entsprechen diese Werte unserer Auffassung nach auch den planungsrechtlichen Vorgaben des Baugesetzbuches bezüglich des Gesundheitsschutzes der Bewohner und Nutzer und sind daher auch als Maßstab für die Festlegung von Sanierungszielwerten geeignet.

Bei Überschreitung der „Brandenburgischen Orientierungswerte“ besteht die Besorgnis eines Gefahrenrisikos, bei Unterschreitung weitgehender Ausschluss jeglichen Risikos.

Die Einführung dieser Wertekategorie in Brandenburg trägt dem Umstand Rechnung, dass in der Phase der orientierenden Untersuchung in der Regel von einem sehr eingeschränkten Umfang von Messwerten ausgegangen werden muss. Die relativ wenigen Konzentrationsangaben an ausgewählten Untersuchungspunkten bieten keine Gewähr dafür, tatsächlich die höchsten Belastungen erfasst zu haben und damit die folgenschwere Entscheidung bezüglich der weiteren notwendigen bzw. nicht notwendigen Untersuchungsschritte sachgerecht und verantwortungsbewusst zu treffen.

Letztendlich ermöglicht die Anwendung dieser Wertekategorie eine erhebliche Minimierung des Untersuchungsrisikos auf der Stufe der orientierenden Untersuchung. Da das Untersuchungsrisiko erst im Rahmen der Detailuntersuchung aufgehoben werden kann, wird mit dem Ausschluss des toxikologischen Restrisikos die Gefahr des nicht zulässigen Ausscheidens einer Verdachtsfläche aus dem Altlastenverdacht erheblich gemindert.

Weiterhin ist festzustellen, dass die gegenwärtig vorliegenden Prüfwerte der BBodSchV für eine sachgerechte Altlastenbearbeitung nicht ausreichend sind, da nur ein geringer Teil der altlastrelevanten Stoffe geregelt ist und außerdem nur die bodenbezogenen Pfade Boden – Mensch, Boden – Nutzpflanze und Boden – Grundwasser berücksichtigt werden.

Im Rahmen des laufenden Vorhabens des Landesumweltamtes werden für eine Vielzahl von altlastrelevanten Schadstoffen Orientierungswerte für 11 Expositionsszenarien erarbeitet, die im Einzelfall in Abhängigkeit von den tatsächlich vorliegenden Expositionsbedingungen modifiziert werden können.

Nachfolgend wird die wissenschaftliche Ableitung der Sanierungszielwerte (identisch mit der Ableitung der „Brandenburgischen Orientierungswerte“) beschrieben, die zwar vom Nutzer nachvollziehbar sein sollte, aber von diesem nicht durchgeführt werden muss.

1 Einleitung

Gemäß § 4 Abs. 3 Bundes-Bodenschutzgesetz sind schädliche Bodenveränderungen bzw. Altlasten so zu sanieren, dass

dauerhaft keine Gefahren, erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen. Hierbei ist die planungsrechtliche Nutzung des Grundstücks und das sich daraus ergebende Schutzbedürfnis zu beachten (§ 4 Abs. 4 BBodSchG). Die fachlichen Anforderungen an die Sanierung von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten bestimmen sich dabei nach § 5 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).

Der Gesetzgeber weist den zuständigen Behörden/Ländern die Verantwortung bei der Bewertung der Gefahrenlage und bei der Auswahl der geeigneten Gefahrenabwehrmaßnahmen zu.

Für die Bewertung der Gefahrenlage stehen den Behörden bundeseinheitliche Prüf- und Maßnahmenwerte zur Entscheidungsfindung zur Verfügung. Bei der Beurteilung zu erreichender Sanierungsziele bzw. Stoffkonzentrationen (Sanierungszielwerte) obliegt es jedoch der Behörde, einzelfallbezogen Festlegungen zu treffen.

Um auch hier ein einheitliches Vorgehen und Handeln der Behörden im Land Brandenburg bei der Einhaltung der durch die mit dem BBodSchG getroffenen Regelungen zu erreichen, hat das Landesumweltamt ein Projekt zur Ableitung von Bewertungskriterien für die Gefahrenbeurteilung (soweit nicht durch den Bund vorgegeben) und für die Sanierung von Altlasten in Auftrag gegeben.

Aufgrund der großen Zahl von altlastverdächtigen Flächen (ALVF) bzw. Altlasten (AL) und der gleichzeitig für die Altlastenbearbeitung nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehenden personellen und finanziellen Mittel ist es erforderlich, dass zunächst diejenigen Flächen untersucht, bewertet und ggf. nachfolgend saniert werden, von denen in besonderem Maße eine Gefahr für die Umwelt ausgeht. Um die unteren Bodenschutzbehörden bei der Ermittlung derartiger Flächen zu unterstützen, wurden im Auftrag des Landesumweltamtes methodische Hilfsmittel erarbeitet, die eine Bewertung der Gefahrenlage und Prioritätensetzung von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten anhand von einheitlichen Beurteilungskriterien auf allen Ebenen der Altlastenbearbeitung ermöglichen. Die entwickelten Verfahren können zur

- vergleichenden Gefahrenbeurteilung von altlastverdächtigen Flächen auf der Ebene der Erfassung und Erstbewertung,
- zur einzelfallbezogenen Gefahrenbeurteilung von altlastverdächtigen Flächen/Altlasten in der Orientierungs- und Detailphase der Altlastenbearbeitung sowie
- zur Ableitung von Sanierungszielwerten

eingesetzt werden. Bei der Erarbeitung der Brandenburgischen Bewertungssystematik Altlasten wurden die bewertungsmethodischen Vorgaben, die sich aus der zu diesem Zeitpunkt in der Entwicklung befindenden Bodenschutzgesetzgebung des Bundes ergaben, berücksichtigt.

2 Allgemeine Systemstruktur

Die Gefahrenbeurteilung und Prioritätenbildung für ALVF/AL erfolgt im Land Brandenburg in vier aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten, die im Rahmen der entwickelten Brandenburgischen Bewertungssystematik Altlasten den vier

Informationsstufen entsprechen und durch ein eigenständiges Bewertungsmodell abgebildet werden (Abb. 1).

Zur Bewahrung einer einheitlichen Bewertungsstrategie über alle Informationsstufen besitzen die vier Bewertungsmodelle jeweils die gleiche Grundstruktur:

1. Auf jeder Informationsstufe werden die Schutzgüter „Mensch“ und „Grundwasser“ separat bewertet: Während die Gefahrenbeurteilung für das Schutzgut „Mensch“ auf der Grundlage der aktuellen und/oder der geplanten Nutzung erfolgt, wird für das Schutzgut „Grundwasser“ eine nutzungsunabhängige Gefahrenbeurteilung durchgeführt.
2. Die Schutzgüter werden durchgängig mit den gleichen Expositionsszenarien belegt. Die Zuordnung von Expositionspfaden zu den einzelnen Expositionsszenarien orientiert sich an den Vorgaben der Arbeitsgruppe „Risikoabschätzung und Bewertung in der Umwelthygiene“ des Fachausschusses Umwelthygiene (AUH) der Länderarbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamten (AGLMB) und der Systematik der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung.
3. Die Bewertungsmodelle berücksichtigen die unterschiedliche Informationsdichte auf den einzelnen Stufen der Altlastenbearbeitung:
 - Das Bewertungsmodell für die Informationsstufe 1, auf der in der Regel noch keine Daten zu Schadstoffkonzentrationen in den Umweltmedien vorliegen, sondern diese nur anhand von sog. „weichen“ Daten (z.B. Angaben zu Betriebszeiträumen, zur Größe der verunreinigten Betriebsfläche bzw. der abgelagerten Abfallmenge, Angaben zu Unfällen und anderen besonderen Vorkommnissen etc.) abgeschätzt werden können, ist ein Relativwert-Verfahren.
 - Die Bewertungsmodelle der Informationsstufen 2 bis 4 basieren auf den im Rahmen der Standorterkundung ermittelten standortspezifischen Daten (gemessene Schadstoffgehalte in den relevanten Umweltmedien, geologisch-hydrogeologische Kenndaten etc.) und sind Absolutwert-Verfahren.
4. Die von der jeweils betrachteten altlastverdächtigen Fläche/Altlast ausgehenden Gefahren werden in Abhängigkeit von
 - den betroffenen Schutzgütern,
 - der aktuellen oder geplanten Nutzung und
 - des Handlungsbedarfes

vergleichbar zueinander dargestellt.

5. Für jede Informationsstufe erfolgt eine getrennte Prioritätensetzung. Diese ermöglicht in den einzelnen Informationsstufen eine kontinuierliche Veränderung der hierarchischen Einordnung von Flächen zueinander, sofern ein vertiefter Kenntnisstand dazu Anlass gibt.

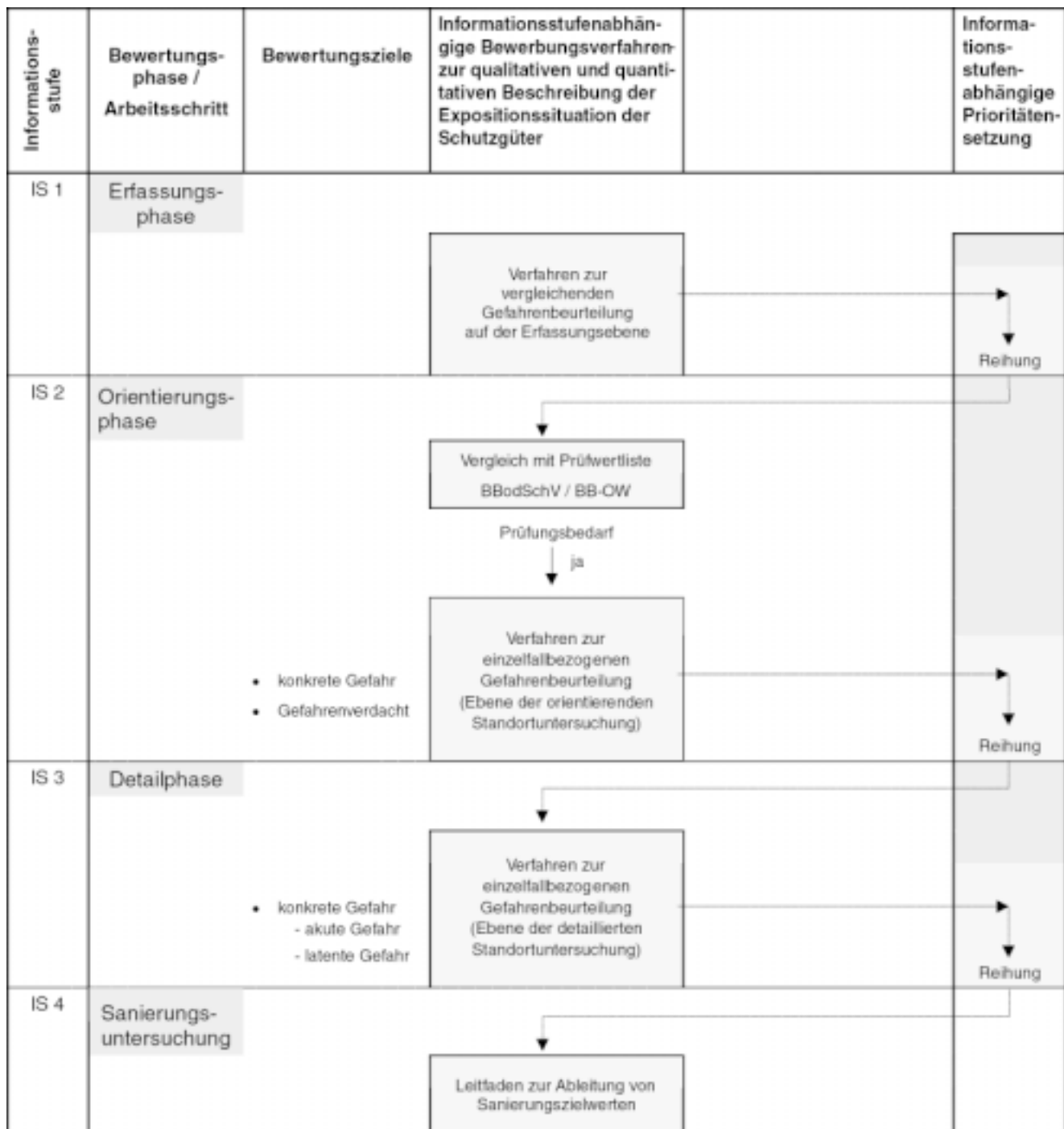


Abb. 1: Teilmodelle des Informationsstufen-übergreifenden Verfahrens zur Gefahrenbeurteilung und Prioritätensetzung bei Altlasten im Land Brandenburg (BB-OW = Brandenburgische Orientierungswerte)

3 Verfahren zur einzelfallbezogenen Gefahrenbeurteilung und Prioritätensetzung auf den Informationsstufen 2 und 3

Zur Bewertung von altlastverdächtigen Flächen auf den Informationsstufen 2 und 3 kommt das Verfahren zur einzelfallbezogenen Gefahrenbeurteilung zur Anwendung. Das Verfahren folgt grundsätzlich der dargestellten Bewertungssystematik, berücksichtigt jedoch die im Rahmen der orientierenden bzw. Detailuntersuchung ermittelten Daten und trägt damit dem im Vergleich zur Informationsstufe 1 erweiterten Kenntnisstand – insbesondere in Bezug auf Art und Höhe der Schadstoffbelastung – Rechnung.

Einen Überblick über die Struktur des Verfahrens zur einzelfallbezogenen Gefahrenbeurteilung für das Schutzgut Mensch gibt die Abbildung 2. Die im Einzelnen durchzuführenden Arbeitsschritte werden im Nachfolgenden näher erläutert.

Das Verfahren zur einzelfallbezogenen Gefahrenbeurteilung auf der Ebene der orientierenden Untersuchung (Informationsstufe 2) überprüft zunächst anhand von abgeleiteten „Brandenburgischen Orientierungswerten“ (Teilmodell 2, Phase I),

ob ein weitergehender Bewertungsbedarf besteht und in einem nachfolgenden Arbeitsschritt (= Teilmodell 2, Phase II) eine Expositions- und Risikoabschätzung durchzuführen ist. Zu diesem Zweck werden die Analysenergebnisse, die im Rahmen der orientierenden Untersuchung ermittelt wurden, mit schutzgut- und nutzungsspezifischen „Brandenburgischen Orientierungswerten“ verglichen. Diese Werte wurden im Rahmen der Entwicklung der Brandenburgischen Bewertungssystematik Altlasten abgeleitet und sind in der Dokumentation des Bewertungsverfahrens dargestellt.

Wird bei der einzelfallbezogenen Gefahrenbeurteilung einer altlastverdächtigen Fläche im Teilmodell 2, Phase I der Brandenburgischen Bewertungssystematik Altlasten für einen oder mehrere Parameter eine Überschreitung des stoffspezifischen Orientierungswertes festgestellt, sind in der Informationsstufe 2, Phase II nachfolgend weitere Standortuntersuchungen und eine standortspezifische Expositions- und Risikoabschätzung durchzuführen.

Bei Unterschreitung der Orientierungswerte gilt der Altlastenverdacht für die betrachtete Nutzung als ausgeräumt.

Die Ableitung der „Brandenburgischen Orientierungswerte“ für das Schutzgut Mensch erfolgte mittels probabilistischer Modellrechnungen für die verschiedenen, im Rahmen der Bewertungssystematik betrachteten Nutzungen (u.a. Kinderspielfläche, Wohnhaus, Garten, Park-/Grünfläche, Gewerbe-/Industriefläche).

Die abgeleiteten Orientierungswerte sind entsprechend der bei ihrer Ableitung zugrunde gelegten Annahmen in Bezug auf das Kriterium der Gefahrenverknüpfung

- zwischen den Vorsorgewerten und den Prüfwerten der BBodSchV einzuordnen und
- kennzeichnen die Besorgnisschwelle des Baurechtes.

Im Nachfolgenden soll die Vorgehensweise bei der Ableitung der „Brandenburgischen Orientierungswerte“ mittels probabilistischer Methoden, wie sie im Rahmen der Erarbeitung der Brandenburgischen Bewertungssystematik Altlasten durchgeführt wurde, sowie die Unterschiede in Bezug auf das Kriterium der Gefahrenverknüpfung zu den Prüfwerten der BBodSchV erläutert werden.

Die bei der Ableitung der Orientierungswerte zugrunde gelegten Berechnungsgleichungen berücksichtigten jeweils alle Parameter, welche die Exposition über die nutzungsrelevanten Pfade (z.B. orale Bodenaufnahme, Inhalation von Staub) maßgeblich beeinflussen (u.a. Aufnahmezeit des Kontaktmediums [mg/d, m³/d, L/d], Expositionshäufigkeit [d/a] und -dauer [h/d], Resorption [%], Körpergewicht [kg]).

Bei der Expositionsabschätzung für das Schutzgut Mensch ist in diesem Zusammenhang grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die einzelnen Expositionsparameter raumzeitliche oder verhaltensbedingte Variationen aufweisen. Der Grund hierfür sind unterschiedliche Verhaltensweisen und Lebensgewohnheiten in Bezug auf einzelne Expositionsparameter (z.B. Häufigkeit und Dauer des Besuchs von Kinderspielflächen, Verzehrsmengen von Obst und Gemüse aus Eigenanbau). Dies gilt ebenso für anthropometrische Faktoren (z.B. Körpergewicht, Atemvolumen), die auch innerhalb einer Alters-/Nutzergruppe

(z.B. Kleinkinder, Jugendliche, Erwachsene) eine deutliche Streuung aufweisen können.

Bei der probabilistischen Ableitung der „Brandenburgischen Orientierungswerte“ wurde diesem Sachverhalt dadurch Rechnung getragen, dass die einzelnen Expositionsparameter nicht mit konkreten, festgelegten Zahlenwerten (Konstanten) belegt wurden, sondern jeweils die vollständigen Verteilungen der betrachteten Modellparameter berücksichtigt wurden. Für viele Expositionsparameter liegen in der Fachliteratur umfangreiche empirische Daten vor, die es ermöglichen, die Streuung dieser Parameter durch entsprechende Verteilungsfunktionen (z.B. log-Normalverteilungen) zu beschreiben.

Die rechnerische Ableitung der „Brandenburgischen Orientierungswerte“ erfolgt anschließend mittels des sogenannten Monte-Carlo-Verfahrens. Hierbei werden für die relevanten Expositionsparameter jeweils einzelne Werte aus den entsprechenden Verteilungsfunktionen zufällig ausgewählt und in den pfadspezifischen Gleichungen miteinander verknüpft. Diese Simulation wird mittels eines Statistikprogramms auf einem Personalcomputer mehrere tausend Male hintereinander ausgeführt. Als Ergebnis dieser Rechenoperationen wird ebenfalls eine Verteilungsfunktion ermittelt. Als Orientierungswert für die Brandenburgische Bewertungssystematik Altlasten wurde das 95. Perzentil dieser Verteilungsfunktion festgelegt.

Die auf die oben beschriebene Weise abgeleiteten „Brandenburgischen Orientierungswerte“ unterscheiden sich in Bezug auf das Kriterium der Gefahrenverknüpfung, wie oben bereits erwähnt, grundlegend von den Prüfwerten der BBodSchV. Die in Anhang 2 Nr. 1 – 3 der BBodSchV aufgeführten Prüfwerte sind gemäß § 8 BBodSchG definiert als „Werte, bei deren Überschreitung unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt“.

Bei der Ableitung der Prüfwerte wurden die zugrunde gelegten Expositionsparameter jeweils durch die Annahme des „ungünstigen Falles“ so bemessen, dass im Fall der Überschreitung eines Prüfwertes eine Gefahrenlage für das betrachtete Schutzgut nicht auszuschließen ist, d.h. die Prüfwerte der BBodSchV weisen eine Gefahrenverknüpfung auf. Die Besorgnisschwelle wird im Rahmen des BBodSchG gekennzeichnet durch die in Anhang 2 Nr. 4 der BBodSchV dargestellten Vorsorgewerte, welche gemäß § 8 Abs. 2 Nr. 1 definiert sind als „Bodenwerte, bei deren Überschreitung unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht“.

Die „Brandenburgischen Orientierungswerte“ für Eluat- bzw. Kontaktgrundwassergehalte, die im Rahmen der Brandenburgischen Bewertungssystematik bei der einzelfallbezogenen Gefahrenbeurteilung für das Schutzgut Grundwasser zur Anwendung kommen, basieren auf den Prüfwerten (Geringfügigkeitsschwellen), die von der Arbeitsgruppe „Gefahrenbeurteilung von Bodenverunreinigungen/Altlasten als Gefahrenquelle für das Grundwasser“ (kurz: AG GBG) der LAWA, LABO, LAGA (1996) erarbeitet wurden. Diese Prüfwerte entsprechen weitestgehend den Prüfwerten der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser (Anhang 2 Nr. 3.1 BBodSchV).

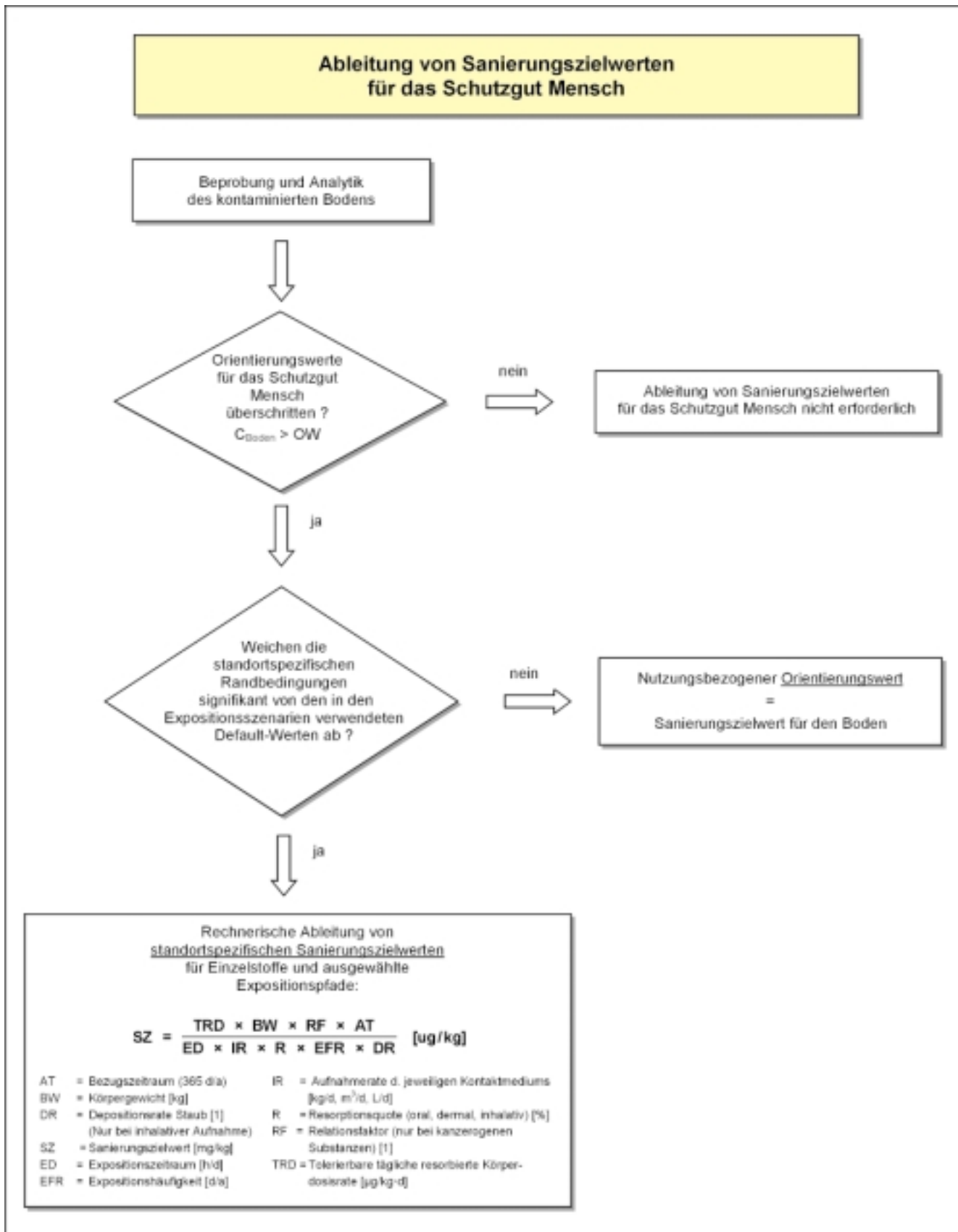


Abb. 3: Methodische Vorgehensweise bei der Ableitung von Sanierungszielwerten für das Schutzgut Leben und Gesundheit des Menschen (Informationsstufe 4)

4 Leitfaden zur Ableitung von Sanierungszielwerten auf der Informationsstufe 4

Hat sich aus den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungen das Erfordernis einer Sanierung ergeben, werden auf der Informationsstufe 4 im Rahmen einer Sanierungsuntersuchung die für die Planung und Durchführung der Dekontaminationsmaßnahmen erforderlichen Standortdaten ermittelt und für die relevanten Schadstoffe Sanierungszielwerte abgeleitet. Entsprechend § 4 BBodSchG ergibt sich, dass Sanierungszielwerte in einer Art festzulegen sind,

- dass bei einer zu erwartenden Exposition der Bewohner und Nutzer nach den planungsrechtlichen Nutzungsvorgaben die Gefahrenschwelle für den Einzelnen oder die Allgemeinheit dauerhaft unterschritten wird, und
- dass keine Emissionen auftreten, die nachhaltige Auswirkungen auf das Grundwasser haben könnten.

Dies bedeutet, dass der nutzungs- und schutzgutspezifische Sanierungszielwert einer Schadstoffkonzentration im Boden oder Grundwasser entsprechen muss, die ein „tolerierbares“ Risiko für die menschliche Gesundheit sowie für die Umwelt (Grundwasserschutz) darstellt. Der entwickelte Vorschlag zur Ableitung von Sanierungszielwerten im Land Brandenburg sieht in Bezug auf die Ermittlung von Sanierungszielwerten eine separate Betrachtung der Schutzgüter „Leben und Gesundheit des Menschen“ und „Grundwasser“ vor.

Die generelle Vorgehensweise bei der Ableitung von Sanierungszielwerten für das Schutzgut Leben und Gesundheit des Menschen veranschaulicht die nachfolgende Abbildung 3.

Zur Ermittlung von Sanierungszielwerten für das Schutzgut Mensch können grundsätzlich die im Rahmen der Erarbeitung des Brandenburgischen Verfahrens zur einzelfallbezogenen Gefahrenbeurteilung und Prioritätensetzung bei Altlasten abgeleiteten Orientierungswerte herangezogen werden, die auf der Grundlage von tolerierbaren resorbierten Körperdosen (TRD-Werte) ermittelt wurden.

Die „Brandenburgischen Orientierungswerte“ markieren die Besorgnisschwelle, d.h. den Übergang vom

„Grün-Bereich“:	In diesem Bereich ist mit hinreichender Wahrscheinlichkeit keine Gefahr zu erwarten
	zum
„Gelb-Bereich“:	In diesem Bereich wächst die Wahrscheinlichkeit einer Gefahrensituation, die zu einer schädlichen Beeinflussung der menschlichen Gesundheit führen kann, an. Eine Gefahrensituation, bei der mit hinreichender Wahrscheinlichkeit eine Schädigung zu erwarten ist, wird jedoch nicht erreicht.

Wie bereits in Punkt 3 erläutert, unterscheiden sich die Orientierungswerte des Brandenburgischen Bewertungsverfahrens in diesem Zusammenhang deutlich von den Prüfwerten der BBodSchV, die definitionsgemäß eine Gefahrenverknüpfung aufweisen.

Bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen ist im Hinblick auf die oben dargestellten Zusammenhänge demnach

grundsätzlich eine Unterschreitung der entsprechenden nutzungsspezifischen Orientierungswerte als Sanierungsziel anzustreben.

Bei der Festlegung von Sanierungszielwerten kann es jedoch im konkreten Einzelfall sinnvoll sein, neben den „Brandenburgischen Orientierungswerten“ auch andere Bewertungskriterien in den Entscheidungsprozess mit einzubeziehen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn eine signifikante Abweichung der standortspezifischen Randbedingungen von den in den Expositionsszenarien festgelegten Default-Werten, auf denen die abgeleiteten „Brandenburgischen Orientierungswerte“ basieren, gegeben ist.

Trifft der oben genannte Fall zu, kann es sinnvoll sein, unter Berücksichtigung der Besonderheiten des konkreten Einzelfalles Sanierungszielwerte für Einzelsubstanzen und Expositionspfade mittels geeigneter Modellrechnungen standortspezifisch abzuleiten. Die Methodik der standortspezifischen Ableitung von Sanierungszielwerten entspricht derjenigen des Verfahrens zur einzelfallbezogenen Gefahrenbeurteilung von altlastverdächtigen Flächen auf den Informationsstufen 2 und 3.

5 Ausblick

Im Rahmen eines vom Landesumweltamt Brandenburg durchgeführten Vorhabens wird zur Zeit das Brandenburgische Verfahren zur Gefahrenbeurteilung und Prioritätensetzung bei Altlasten im Hinblick auf die Anforderungen, die sich aus dem im Jahr 1999 in Kraft getretenen Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG, 1998) und dessen Ausführungsverordnung (Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, 1999) ergeben, überarbeitet. Diese Arbeiten werden im Herbst diesen Jahres abgeschlossen sein.

Dr. Thomas Mathews
Dipl.-Biol. M. Technol. Stephan Exner
ECOS Umwelt GmbH
Weiern 171, 52078 Aachen
Telefon: (0241) 920 390 0

Dr. Hans-Joachim Fiebig
Dr. Sabine Hahn
Landesumweltamt Brandenburg
Abteilung Abfallwirtschaft, Altlasten und Bodenschutz,
Referat Altlasten
Telefon: (0331) 2776 144

III. Umweltmedienübergreifende Aspekte

Arzneimittelwirkstoffe in der Umwelt

Werner Kratz, Bettina Abbas, Irina Linke, Landesumweltamt Brandenburg

1 Einführung

Der wissenschaftliche Beirat Bodenschutz beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit verwies in seinem Gutachten „Wege zum vorsorgenden Bodenschutz“ in Kapitel 4.7 darauf, dass viele Produkte und Materialien, die bisher noch nicht in der BBSchVO (BGBl. 1999) geregelt sind, Auswirkungen auf die Bodenfunktionen (z.B. Lebensgrundlage für Organismen, Schutz des Grundwassers) haben können (DEUTSCHER BUNDESTAG 2000).

In diesem Zusammenhang geht der Beirat auch ausdrücklich auf die Arzneimittelwirkstoffe, Tierarzneimittelwirkstoffe und die Futterzusatzstoffe ein.

Auch die 47. Umweltministerkonferenz (UMK) beauftragte schon 1996 den Bund/Länderausschuss Chemikaliensicherheit (BLAC) damit, ein Konzept zur Beurteilung möglicher Auswirkungen von Arzneimitteln in der Umwelt zu erarbeiten. Ein

erster Bericht des BLAC mit dem Titel „Auswirkungen der Anwendung von Clofibrinsäure und anderer Arzneimittel auf die Umwelt und Trinkwasserversorgung“ liegt inzwischen vor (FREIE U. HANSESTADT HAMBURG 1998). Der BLAC-Bericht geht insbesondere auf den rechtlichen Hintergrund der Arzneimittelzulassung unter Berücksichtigung möglicher Umweltschädigungen ein.

Die Autoren des BLAC-Berichtes empfehlen ein bundesweites Monitoringprogramm der Haupteintragspfade auf Arzneimittelwirkstoffe bzw. deren Metabolite. Inzwischen hat der BLAC einen Entwurf für ein Monitoringprogramm vorgelegt, dessen Analyseaufwand sich auf 273 Proben mit jeweils 60 Parametern aus Oberflächengewässern, 145 Proben aus Kläranlagen, 75 Proben aus feststoffhaltigem Material (Klärschlämme, Böden, Gülle) und 345 Proben mit bis zu 5 Parametern aus Grundwässern beläuft (FREIE UND HANSESTADT HAMBURG 1999).

2 Gesetzliche Regelungen von Arzneimitteln

Die nachfolgenden Darlegungen zu rechtlichen Regelungen von Arzneimitteln basieren auf dem Bericht des BLAC (FREIE UND HANSESTADT HAMBURG 1998).

Human- und Tier-Arzneimittel werden nach dem „Gesetz über den Verkehr mit Arzneimitteln“ (Arzneimittelgesetz – AMG) zugelassen. Ausgenommen sind Tier-Arzneimittel, die gegen Tierseuchen eingesetzt werden und nach dem Tierseuchengesetz zugelassen werden müssen.

Seit 1994 ist für Tier-Arzneimittel und seit 1998 auch für Human-Arzneimittel eine Prüfung der umweltrelevanten Eigenschaften bei der Neuzulassung von Arzneimitteln erforderlich. Unter den in § 25 AMG aufgelisteten Versagungsgründen für eine Zulassung von Human-Arzneimitteln ist „Umweltschädlichkeit“ jedoch nicht aufgeführt und stellt daher offenbar kein gleichberechtigtes Zulassungskriterium dar.

Zur Durchführung der Prüfung der Umweltverträglichkeit von Tier-Arzneimitteln auf EU-Ebene liegt eine Leitlinie vor, die allerdings keine Konsequenzen für den Fall eines festgestellten Umweltrisikos vorgibt (EMEA/CVMP: Note for Guidance: Environmental Risk Assessment for Veterinary Medical Products), (EU 1997). In der nationalen Zulassungspraxis wird

jedoch Umweltschädlichkeit bei Tierarzneimitteln als Zulassungskriterium berücksichtigt. Für Human-Arzneimittel liegt bisher nur der Entwurf für ein Bewertungskonzept vor (FREIE UND HANSESTADT HAMBURG 1999).

Pharmakologisch wirksame Futtermittel-Zusatzstoffe (z.B. Antibiotika) unterliegen in der EU und in Deutschland nicht dem Arzneimittelrecht sondern dem Futtermittelgesetz und -verordnung. Für Futtermittel-Zusatzstoffe liegen EG-Bestimmungen zur Prüfung der umweltrelevanten Eigenschaften vor, die allerdings bisher nicht in das deutsche Futtermittelrecht übernommen wurden.

In den entsprechenden Richtlinien der EU handelt es sich im Hinblick auf Angaben zur Ökotoxizität jedoch zurzeit um eine „Kann-Bestimmung“, d.h. die aufgelisteten Angaben müssen nicht gefordert werden.

Die Umsetzung von ökotoxikologischen Anforderungen an die Zulassung von Human- und Tier-Arzneimitteln sowie von pharmakologisch wirksamen Futtermittel-Zusatzstoffen kommt nur langsam voran.

3 Verwendung und Produktion von Arzneimitteln in der BRD

Die Rote Liste der Arzneimittel von 1998 führt 9.438 Präparate von 482 Herstellern auf, die etwa 2.900 Wirkstoffe enthalten und 88 Indikationsklassen zugeordnet werden (FREIE UND HANSESTADT HAMBURG 1998).

1996 wurden z.B. 505 t Paracetamol und 320 t Antibiotika auf dem deutschen Markt abgesetzt (Rat der Sachverständigen 1998, TERNES 1998).

Insgesamt wurden im Jahr 1996 in Deutschland auf dem Human-Pharmamarkt ca. 50 Mrd. DM umgesetzt. Auf dem Tierarzneimittelmarkt in Deutschland wurde 1995 ein Umsatz von ca. 765 Millionen DM erzielt (BUNDESVERBAND TIERGESUNDHEIT 1996).

In Deutschland sind derzeit ca. 200 Substanzen in 3.000 Tierarzneimitteln zugelassen. Der größte Teil von ihnen sind Antibiotika, Chemotherapeutika und Antiparasitika. Abbildung 1 zeigt den zeitlichen Verlauf auf dem deutschen Tierarzneimittelmarkt von 1988 bis 1995.

Der Marktanteil der Tierarzneimittel für Klein- und Hobbytiere erreichte hierbei 1995 einen Anteil von etwa 40 % vom Gesamtmarkt (SPRINGER 1995).

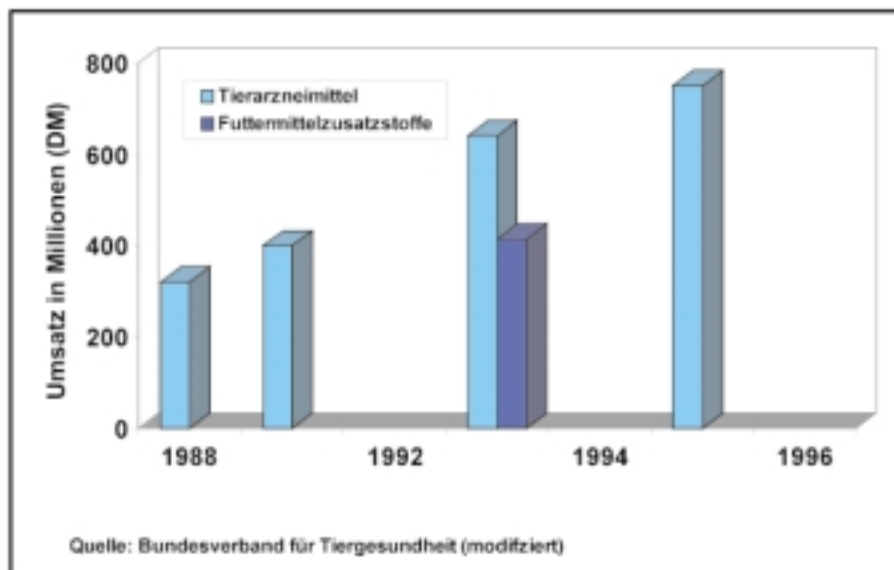


Abb. 1: Umsätze von Tierarzneimitteln und Futterzusatzstoffen in Deutschland (1988 – 1995)

4 Eintragspfade von Arzneimittelwirkstoffen in die Böden und anderer Umweltmedien

1991 wurde mit der Clofibrinsäure (Lipidsenker) erstmals ein aus der Humanmedizin stammender Arzneimittelwirkstoff im Grundwasser und 1993 sogar im Trinkwasser Berlins nachgewiesen (HEBERER 1998, SCHEYTT 1998). Zahlreiche Untersuchungen in Deutschland zeigten inzwischen, dass der Clofibrinsäurefund in Berlin keine Ausnahme bildet bei der Kontamination von Umweltmedien mit Arzneimittelwirkstoffen. Ca. 50 Arzneimittelwirkstoffe wurden in Rhein, Mulde, Donau, Elbe, Havel und dem Teltowkanal nachgewiesen.

Die kommunalen Abwässer und Abwässer aus Krankenhäusern stellen im Land Brandenburg wahrscheinlich den bedeutendsten Eintragspfad für Arzneimittel dar. In den Tabellen 1 und 2 sind Arzneimittelwirkstoffkonzentrationen für Kläranlagenzu- und -abläufe dargestellt. Die Frachtberechnungen und Eliminationsraten der Arzneimittel deuten für einzelne Wirkstoffe (Röntgenkontrastmittel, Sexualhormone) auf eine hohe Umweltrelevanz hin.

Die Konzentrationen der gefundenen Stoffe in den Berliner Oberflächengewässern gehen mit bis zu 200 ng/l (Diclofenac, ein Rheumamittel) und 120 ng/l (Clofibrinsäure, ein Lipidsenker) deutlich über die Mengen an Mecoprop (20 ng/l) oder Dichlorprop (15 ng/l) hinaus, die zu den meistverwendeten Herbiziden in Deutschland gehören und in der gleichen Probe gefunden wurden (HEBERER ET AL. 1997). Das zeigt die zunehmende Bedeutung der Arzneimittelrückstände in den Umweltmedien gegenüber häufig angewandten Pestiziden.

Arzneimittelwirkstoffe und deren Metabolite gelangen über verschiedene Eintragspfade in die Umwelt. Der Eintrag von Arzneimittel in den Boden und andere Umweltmedien erfolgt über diverse Eintragspfade, die in Abbildung 2 dargestellt sind.

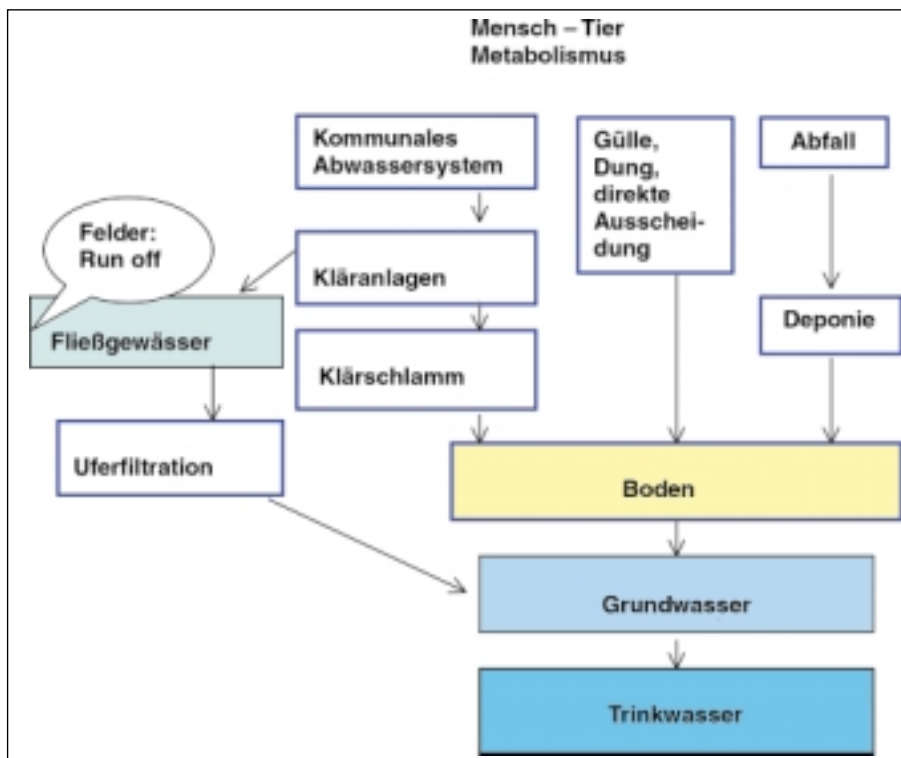


Abb. 2: Eintragspfade für Arzneimittel in die Umwelt

Tab. 1: Arzneimittelwirkstoffe im Kläranlagenzulauf
Quellen:
TERNES et al. 1999,
** FUHRMANN 1999,
*** JEKEL & WISCHNACK 2000

		µg/l	g/Tag
Herzmittel	Propanolol	10	520
	Metoprolol	7,2	374
Schmerzmittel	Paracetamol	bis 26	15
	Acetylsalicylsäure	3,2	34
Röntgenkontrastmittel	AOI	bis 65***	11 t/Jahr Σ Berlin
Rheumamittel	Ibuprofen	4,3	25
	Diclofenac	1,8	32
Blutfettsenker	Bezafibrat	2,9	53
	Gemfibrocil	2,1	16
Antibiotika	Sulfamethoxazol	1,4	-
Desinfektionsmittel	Chlorkresol	1,5	-
	Biphenylol	2,0	-
Antiepileptika	Primidon	2,1**	-
	Carbamazepin	2,2	122

Tab. 2: Arzneimittelwirkstoffe im Kläranlagenablauf
Quellen:
TERNES et al. 1999,
* HEGEMANN & BUSCH 2000
** FUHRMANN 1999
*** JEKEL & WISCHNACK 2000

		µg/l	Eliminierung in %
Herzmittel	Propanolol	0,4	95
	Metoprolol	2,1	67
Schmerzmittel	Acetylsalicylsäure	0,6	81
	Propyphenazon	0,7**	
Röntgenkontrastmittel		bis 62***	0-5
Rheumamittel	Ibuprofen	0,4	90
	Diclofenac	0,6	69
Blutfettsenker	Bezafibrat	0,96	75
	Clofibrinsäure	0,6	51
Antibiotika	Sulfamethoxazol	0,1	
	Trimethoprim	0,4	
Desinfektionsmittel	Biphenylol	0,04	
	Clorofen	0,1	
Antiepileptika	Primidon	bis 0,88**	
	Carbamazepin	2,0	0
Sexualhormone	Ethinylestradiol	0,23*	

Tab. 3: Sexualhormone im Klärschlamm
Quelle: HEGEMANN & BUSCH 2000

Estradiol: natürliches Sexualhormon
Ethinylestradiol: Pillenwirkstoff

	Estradiol in µg/kg	Ethinylestradiol in µg/kg
Primärschlamm	35	18
Überschussschlamm	8	16
Ausgefauter Schlamm	145	19
Entwässerter Schlamm	112	29

Tab. 4: Arzneimittelwirkstoffe im Fließgewässer
Quellen:
TERNES et al. 1999,
* BLAC 1999

		µg/l bei hohem kommunalen Abwasseranteil
Herzmittel	Propanolol	0,01
	Metoprolol	0,04
Röntgenkontrastmittel	Iopamidol	0,49
	Diatrizoat	0,23
Rheumamittel	Ibuprofen	0,07
	Diclofenac	0,15
Blutfettsenker	Bezafibrat	0,35
	Gemfibrocil	0,05
Antibiotika	Sulfamethoxazol	0,03
	Trimethoprim	bis 0,09
Desinfektionsmittel	Biphenylol	0,02
	Clorofen	0,01
Antiepileptika	Carbamazepin	0,25
Sexualhormone	Ethinylestradiol	Bis 0,0002*

Tab. 5: *Arzneimittelwirkstoffe im Grundwasser*
Quellen:
 TERNES et al. 1999,
 * BLAC 1999

		µg /l
Herzmittel	Metoprolol	bis 0,06
	Bisoprolol	bis 0,07
Röntgenkontrastmittel	Iopamidol	0,16
	Diatrizoat	0,03
	Iopromid	bis 0,21
Rheumamittel	Diclofenac	max. 1*
Blutfettsenker	Clofibrinsäure	bis 0,06*
	Fenofibrat	max. 0,25*
Sexualhormone	Ethinylestradiol	bis 0,001*
Antiepileptika	Carbamazepin	max. 2*

Tab. 6: *Konzentration verschiedener Arzneimittelwirkstoffe und von N-(phenyl-sulfonyl)-sarcosine im Grundwasser; Grundwasserproben aus 17 Trinkwasserbrunnen eines Berliner Wasserwerks*
Quellen:
 HEBERER et al. 1997
 n.n. nicht nachweisbar

Substanz	Art des Arzneimittelwirkstoffs	Konzentrationsbereich [ng/l]
Clofibrinsäure	Blutfettsenker	70 - 7.300
Fenofibrat	Blutfettsenker	n.n. - 45
Diclofenac	Rheumamittel	n.n. - 380
Ibuprofen	Rheumamittel	n.n. - 200
Phenazon	Schmerzmittel	< 10 - 1.250
Propyphenazon	Schmerzmittel	n.n. - 1.465

Die Klärschlämme aus den Klärwerken stellen ein Haupteintragsmedium für Arzneimittelrückstände für das Bodenkompartment dar.

Neuere Untersuchungen durch HEGEMANN & BUSCH (2000) konnten anhand von Stichprobenuntersuchungen an Klärschlamm aus dem Klärwerk Potsdam-Nord zeigen, dass der Pillenwirkstoff (Ethinylestradiol) im entwässerten Schlamm mit 29 µg/kg auftritt (Tab. 3). Auch konnten durch die Autoren im Ablauf des Klärwerks Potsdam-Nord 0,23 µg/l 17 a-Ethinylestradiol nachgewiesen werden.

Insbesondere in Fließgewässern mit hohem kommunalen Abwasseranteil sind deshalb hohe Messbefunde für Arzneimittelwirkstoffe zu erwarten (Tab. 4). So weisen der Teltowkanal und die Havel mit 123 % bzw. 55 % die höchsten Abwasseranteile auf (FUHRMANN 1999).

Im Nordseewasser ist die Clofibrinsäure von BUSER ET AL. 1998 nachgewiesen worden.

Außer den Zytostatika können die Arzneimittelabfälle im normalen Hausmüll entsorgt werden. Für die Gesamtmenge von Medikamenten, die mit dem Hausmüll entsorgt werden, schätzt GLAESKE (1998) für die BRD 11.000 bis 16.000 Tonnen pro Jahr. Pharmakaeinträge aus Deponien in das Grundwasser sind bisher nur in einer dänischen Studie (Grinsted) beschrieben worden (HOLM ET AL. 1995). Das Grundwasser unterhalb der untersuchten Deponie war insbesondere mit Barbituraten und Sulfonamiden belastet. Die Konzentrationen für Sulfonamide im Grundwasser lagen direkt unterhalb der untersuchten Deponie bei max. 6,5 mg/l.

Zahlreiche Nachweise für Pharmaka im Grundwasser liegen inzwischen auch vor (Tab. 5). Darüber hinaus sind vor allem die Antibiotika (Tetracycline, Sulfonamide), die auch in der Landwirtschaft eingesetzt werden, im Grundwasser nachgewiesen worden (MEYER ET AL. 2000). Die Autoren führen die Einträge in das Grundwasser auf versickerte Gülle zurück, da in der Gülle die gleichen Antibiotika nachgewiesen wurden.

HEBERER ET AL. (1997) fanden in von zur Trinkwassergewinnung genutztem Grundwasser eines Berliner Wasserwerks die in Tabelle 6 aufgeführten Substanzen.

Als Haupteintragsmedium für den Boden kann bei der landwirtschaftlichen Tierproduktion die Gülle angesehen werden. HUGENROTH (1997) und LANGHAMMER (1989) konnten zeigen, dass das Antibiotikum Sulfadimidin noch nach 11 Wochen mit 90 % der ursprünglichen Menge in der Gülle vorhanden war. WINCKLER & GRAFE (2000) beschreiben Konzentrationen von ca. 20 mg/kg für die Tetracycline in der Gülle von Mastschweinen in Niedersachsen. Bei Ausbringung dieser Gülle in zulässiger Menge lt. Düng-VO errechnen sich theoretische worst-case-Konzentrationen im Boden von 0,9 mg/kg – 2,1 mg/kg je nach Einarbeitungstiefe (Tabelle 7).

Annahmen:

- **Bezugsgröße ha Ackerland, 170 kg-N-Äquivalent lt. Düng-VO**
- **Entspricht 35 Mastschweinen (30,4 m³/ha Gülle)**
- **Vollständige Ausscheidung, keine Metabolisierung**

Tab. 7: *Abschätzung des Stoffeintrags in Wirtschaftsdünger und Böden am Beispiel einer Bestandsbehandlung von Mastschweinen mit Tetracyclin-HCl (worst-case-Annahmen für Ausscheidungsraten und Abbaubarkeit) (WINCKLER & GRAFE 2000)*

Dosierung	Ø	65 mg/kg LM
	Max.	150 mg/kg LM
Mittleres Gewicht bei Behandlung	30 kg LM	
Mittlere Behandlungsdauer	10 Tage	
Gesamtdosis Tetracyclin	Ø	683 g
	Max.	1.575 g
PEC Gülle	Ø	22,5 g/m³
	Max.	51,8 g/m³
PEC/Boden bei 5 cm Bodentiefe u. Einarbeitungstiefe/1.500 kg/m³	Ø	0,9 mg/kg
	Max.	2,1 mg/kg

5 Beeinträchtigung der Umwelt durch Arzneimittel – ausgewählte Beispiele

Die Beeinträchtigung der Umwelt durch Arzneimittel wird erst in jüngster Zeit diskutiert, deshalb liegen Erkenntnisse über Einträge in Böden, Verbleib und Wirkung auf die Bodenfunktionen nur in geringem Umfang vor.

Arzneimittel werden in den Zielorganismen meist nur teilweise metabolisiert und häufig werden relativ hohe Anteile der ursprünglichen Wirksubstanz wieder ausgeschieden.

Insgesamt liegen nur sehr begrenzte Erkenntnisse zu potentiellen Umweltwirkungen von Arzneimitteln vor. Erst die Beschreibung des ökotoxikologischen Potentials (Schädigung der Dungfauna) eines Breitband-Antiparasitikum (Ivermectin) gegen parasitäre Arthropoden und Nematoden bei Haustieren rückte die Arzneimittel stärker ins öffentliche Bewusstsein (CAMPBELL 1989).

Die Avermectine (Ivermectin, Abamectin und Doramectin) gelten als fischtoxisch. Regenbogenforellen sterben bereits ab 3 µg/l, Wasserflöhe ab 0,025 µg/l (HALLEY ET AL. 1989).

Bei Rindern wird ca. 90% des injizierten Ivermectins innerhalb von 4 Wochen wieder ausgeschieden (SOMMER et al. 1992). Die Höchstkonzentration im Rinderdung, die bisher gefunden wurde, war 9,0 mg/kg. Nach HALLEY ET AL. (1989) ist Ivermectin

schlecht wasserlöslich und hat einen hohen Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizienten (Koc-Wert toniger Lehm 12.600, schluffig-toniger Lehm 15.700). Dadurch erklärt sich die hohe Affinität zur organischen Substanz im Boden.

Für Ivermectin haben HALLEY ET AL. (1989) Halbwertszeiten im Boden mit niedriger Temperatur zwischen 91 und 217 Tagen gemessen.

HALLEY et al. (1989) untersuchten die Toxizität von Ivermectin gegenüber Regenwürmern (*Eisenia fetida*). In kontrollierten Laborbedingungen wurde mit dem Antiparasitikum nach 28 Tagen ein no-observed-effect-level (NOEL) von 12 mg/kg bestimmt. Intakte und nicht abgebaute Kuhfladen für wenigstens 3 Monate waren die Folge, wenn Ivermectin in der Dosis von 0,4 mg/kg Körpergewicht an Rinder verabreicht wurde (STRONG 1992).

Endokrin wirksame synthetische Hormone werden sowohl in der Human- wie in der Tiermedizin eingesetzt und haben in jüngster Zeit zu umfangreichen Diskussionen und Forschungsaktivitäten geführt. So konnten WENZEL ET AL. (1998) zeigen, dass Hormone und deren Metabolite (z.B. Kontrazeptiva) in Oberflächengewässern und Klärschlamm ein hohes ökotoxikologisches Potential (Hefe-Rezeptor-Test) haben.

6 Ansätze für eine ökotoxikologische Risikoabschätzung für Arzneimittelwirkstoffe

Sichere Prognosen zur Risikoabschätzung für Arzneimittel sind in der Ökotoxikologie nur schwer möglich:

- Chemikalien wie Pharmaka können je nach Umweltbedingungen und Kombination mit anderen Substanzen ein differenziertes Umweltverhalten zeigen; z.B. kann je nach Umweltkompartiment die Bioverfügbarkeit sehr unterschiedlich sein.
- Die Komplexität der Wechselwirkungen zwischen den vielen Arten und ihrer Umwelt innerhalb von Ökosystemkompartimenten ist sehr groß und kaum vorhersagbar.
- Je nach Exposition, genetischer Ausstattung und Entwicklungsphase reagieren Individuen einer Art unterschiedlich auf Chemikalien.

Bei einer Beurteilung des ökotoxikologischen Gefährdungspotentials von Arzneimitteln muss also versucht werden, eine Vielzahl von Einzeldaten so zu gewichten, dass eine Gesamtaussage in Form einer Klassifikation der jeweiligen Chemikalie nachvollziehbar wird.

Die Regulation der Marktzulassung von Chemikalien durch die EU folgt, unabhängig vom jeweiligen Einsatzzweck, seit Ende der achtziger Jahre ähnlichen Regeln. Das erste Mal wurde das Prinzip des „Risk and Hazard Assessment“ (Risikoabschätzung) in der EU-Richtlinie 91/414/EEC für Pflanzenschutzmittel formuliert (EU 1991). Inzwischen ist dieses Prinzip auch für die Zulassung von Altstoffen und Neustoffen, d.h. die Gruppe der allgemeinen Umweltchemikalien sowie für Biozide angewandt.

Das Prinzip der Risikoabschätzung für die Beurteilung des Umweltgefährlichkeitspotentials wurde Ende der siebziger Jahre in den USA entwickelt (FAVA ET AL. 1987). Darunter versteht

man „simply a systematic means of developing a scientific basis for regulatory decision making“ (BARNTHOUSE 1992). Etwas genauer kann es als ein Prozess verstanden werden, in dem die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von negativen Umweltauswirkungen als Ergebnis der Exposition gegenüber einem Stressfaktor (hier: Arzneimittel) angegeben wird.

Der Prozess enthält Aspekte aller drei klassischen Teilaufgaben der Ökotoxikologie:

- dem Erkennen,
- der Vorhersage und
- der Überwachung von unerwünschten Wirkungen

von Chemikalien.

1. Schritt: Gefährdungserkennung

Im Rahmen der Gefährdungserkennung werden Kenngrößen zur Charakterisierung sowie zur Expositionssituation einer Substanz erfasst:

- Produktions- bzw. Verordnungsmengen,
- Eintrag des Wirkstoffes in die Umwelt,
- Expositionsdauer (Persistenz),
- Auftreten stabiler Metabolite,
- betroffene Umweltkompartimente und Medien sowie
- mögliche Expositionspfade.

2. Schritt: Expositions- und Wirkungsanalyse

Im 2. Schritt werden zwei Faktoren getrennt erfasst, die zusammen als Gefährdungseinschätzung (= hazard assessment) bezeichnet werden:

- Die Messung oder Abschätzung der Konzentration eines Stoffes in den verschiedenen Umweltmedien bzw. -kompartimenten, denen Organismen potentiell ausgesetzt sind (Expositionsanalyse = exposure assessment)
- Die Messung oder Abschätzung der Konzentration, bei der ein Stoff, allein oder zusammen mit anderen, auf Organismen oder ökosystemare Prozesse wirken kann (Wirkungsanalyse = effect assessment)

Ziel der Expositionsanalyse ist die Bestimmung der „Predicted Environmental Concentration“ (PEC), d.h. der in den Umweltmedien und -kompartimenten vorkommenden Konzentrationen der Arzneimittelwirkstoffe.

Ziel der Wirkungsanalyse ist die Bestimmung der „Predicted No Effect Concentration“ (PNEC), d.h. der Konzentration, bei der keine Wirkung in der Umwelt zu erwarten ist. Festzuhalten ist allerdings hierbei, dass diese PNEC nicht als die Konzentration anzusehen ist, bis zu der ein Stoff in die Umwelt abgegeben werden darf.

Im Gegensatz zur Expositionsanalyse werden hier Sicherheitsfaktoren zur Abschätzung der Extrapolation von Labortestdaten auf Freiland-Situationen verwendet. Dabei werden die Messwerte durch einen von der Qualität und Menge dieser Daten abhängigen Faktor dividiert: Je schlechter die Datenlage ist, desto höher ist dieser Faktor.

Überlegungen zur Wirkung einer Arzneimittelsubstanz sollten folgende Aspekte einschließen:

- Akute Wirkungen (z.B. Mortalität)
- Subletale Effekte (vor allem bei längerer Exposition): Reproduktionstoxizität, endokrine Wirkungen, Mutagenität, Neurotoxizität oder Immunotoxizität
- Resistenzbildung bei Mikroorganismen (z.B. gegenüber Antibiotika)

7 Zusammenfassung

Im Land Brandenburg ist der Bodenschutz administrativ etabliert und es existiert durch die Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV 1999) weitest gehende Rechtssicherheit. Bodenschutzprobleme könnten sich aber zukünftig mit bisher ökotoxikologisch nicht geregelten Stoffen (z.B. Arzneimittelwirkstoffen) im vorsorgenden Bodenschutz ergeben.

Die instrumentelle Analytik ist heute in der Lage, Human- und Tierarzneimittelwirkstoffe sowie deren Metabolite auch im Mikrosprenbereich bzw. matrixbehaftet quantitativ eindeutig nachzuweisen.

Arzneimittel und deren Metabolite sind meist gut wasserlöslich, werden z.B. durch herkömmliche Abwasseraufbereitungsverfahren nicht eliminiert und gelangen dann in die unterschiedlichsten Umweltmedien.

Haupteintragspfade von Arzneimittelwirkstoffen für den Boden sind die Gülle, der Klärschlamm und die Deponien. Hu-

3. Schritt: Risikocharakterisierung

Im dritten Schritt der ökotoxikologischen Beurteilung wird die Wahrscheinlichkeit, mit der die möglichen Arzneimittelwirkungen unter realen Bedingungen eintreten können, abgeschätzt (Risikocharakterisierung = risk assessment). Da dazu jedoch nur selten Freilanduntersuchungen vorliegen, wird bei der Nutzung der Labormesswerte die daraus resultierende Unsicherheit durch mehrere Extrapolationsschritte abgedeckt, die durch Sicherheitsfaktoren (im Bereich zwischen 1.000 und 1) überbrückt werden.

Konkret wird also eine gemessene oder geschätzte Umweltkonzentration (PEC) mit einer gemessenen oder geschätzten Konzentration, bei der keine Wirkung auf Organismen in Ökosystemen erwartet wird (PNEC), verglichen.

Ergibt der reale Vergleich PEC/PNEC Werte < 1 , so ist davon auszugehen, dass von der betreffenden Substanz nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand kein Umweltrisiko ausgeht.

Ziel einer formalisierten Risikocharakterisierung der EU, ist die Einordnung einer Substanz in eine entsprechende Risikoklasse.

4. Schritt: Risikomanagement

Im letzten Schritt, dem Risikomanagement sind Maßnahmen fest zu legen und um zu setzen, um die bei der Risiko-Charakterisierung für wahrscheinlich gehaltene Gefährdung durch Chemikalien zu verhindern oder zumindest zu minimieren. Hierbei gehen außer naturwissenschaftlichen auch sozio-ökonomische Kriterien (z.B. Kosten/Nutzen-Abwägungen) in die Bewertung ein.

Am Beispiel von 3 Arzneimittelwirkstoffen ist in den Tabellen 8 bis 10 in Anlehnung an RÖMBKE ET AL. (in press) die Vorgehensweise für die Expositions- und Wirkungsanalyse sowie die Risikocharakterisierung dargestellt.

man- und Tierarzneimittelwirkstoffe sollten zukünftig vor Inverkehrbringung auf ihr ökotoxikologisches Potential hin in gleicher Weise wie Pflanzenschutzmittel und Industriechemikalien untersucht werden.

Die Ökotoxikologie verfügt über entsprechende Bewertungs- und Prognoseverfahren, um die Wirkungen von Arzneimittelwirkstoffen auf Bodenorganismen zu dokumentieren.

Entsprechend dem Vorsorgeprinzip der EU sollte die Beweislast, dass ein Arzneimittelwirkstoff mögliche ökotoxische Wirkung hat, nicht allein bei den überwachenden Behörden liegen. Arzneimittelwirkstoffe sollten solange nicht in den Boden und andere Umweltmedien eingebracht werden, wie deren (weitgehende) Umweltunschädlichkeit mit den vorhandenen Methoden der Risikoabschätzung nachgewiesen ist.

Expositionsanalyse:	Gemessene Konzentration im Oberflächengewässer: 0,34 µg/l → PEC = 0,34 µg/l
Wirkungsanalyse:	Akuter Labortest (Daphnia magna): LC ₅₀ = 167,5 mg/l Einschätzungsfaktor gemäß EU: 1.000 → PNEC = 167,5 µg/l
Risiko-Charakterisierung:	PEC/PNEC-Verhältnis: 0,002 (EU-Klasse 2) → Geringes Umweltisiko

Tab. 8: Umweltisikoabschätzung für Acetylsalicylsäure (Schmerzmittel)

Expositionsanalyse:	Gemessene Konzentration im Oberflächengewässer: 0,001 – 1,75 µg/l → PEC 1,75 µg/l
Wirkungsanalyse:	Akuter Labortest mit zwei Arten: EC ₅₀ 12 – 28,2 mg/l Einschätzungsfaktor gemäß EU: 1000 → PNEC = 12 µg/l Sublethaler Labortest mit 2 Arten: NOEC 0,01 – 5,4 mg/l Einschätzungsfaktor gemäß EU: 50 → PNEC = 0,2 µg/l
Risikocharakterisierung:	PEC/PNEC-Verhältnis: 8,75 (EU-Klasse 3) → Mittleres Umweltisiko

Tab. 9: Umweltisikoabschätzung für Clofibrinsäure/Clofibrat (Lipidsenker)

Expositionsanalyse:	Gemessene Konzentration im Kuhdung: 0,4 – 9 mg/l → PEC 9,0 mg/l
Wirkungsanalyse:	LC ₅₀ Wert - Akuter Labortest (Regenwurm): 15,8 – 315 mg/kg Einschätzungsfaktor gemäß EU: 1.000 → PNEC = 0,016 mg/l
Risiko-Charakterisierung:	PEC/PNEC-Verhältnis: 562 (EU-Klasse 1) → Großes Umweltisiko

Tab. 10: Umweltisikoabschätzung für Ivermectin (Antiparasitikum)

8 Literatur

- BARNHOUSE, L. (1992): The role of models in ecological risk assessment: A 1990's Perspective. *Envir. Toxicol. Chem.* 11, 1751–1760.
- BGBI (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, 1554 ff.
- BUNDESVERBAND TIERGESUNDHEIT (1996): Gesundheits- und Umweltisiken nach der Anwendung von Antiinfektiva und Antiparasitika in der Nutztierhaltung. 24. Seminar Umwelthygiene. *Deutsch. Tierärztliche Wochenschrift – Wiss. Zeitschrift für die Veterinärmedizin* 103, 239–284.
- BUSER, H.-R. ET AL. (1998): Occurrence of the pharmaceutical drug Clofibrin acid and the herbicide Mecoprop in various Swiss lakes and in the North Sea. *Environ. Sci. Technol.* 32, 188–192.
- CAMPBELL W.C. (1989): Ivermectin and Abamectin. Springer Verlag Heidelberg.
- DEUTSCHER BUNDESTAG (2000): Gutachten des wissenschaftlichen Beirats Bodenschutz beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Drucksache 14/2834 von 25.02.2000
- EU (1997): Note for Guidance: Environmental Risk Assessment for Veterinary Medical Products other than GMO-Containing and Immunological Products. EMEA/CVMP/055/96.
- EU (1991): Council directive concerning the placing of plant protection products on the market (91/414/EEC), Brussels.
- FAVA, J. ET AL. (1987): Research priorities in environmental risk assessment. SETAC Workshop report, Breckenridge, Colorado, 103 pp.
- FUHRMANN, B. (1999): Vergleichende Untersuchungen von Oberflächenwässern in Athen und Berlin auf Arzneimittelrückstände aus kommunalen Kläranlagen. Diplomarbeit TU Berlin.
- FREIE U. HANSESTADT HAMBURG (1998): Auswirkungen der Anwendung von Clofibrinsäure und anderer Arzneimittel auf die Umwelt und Trinkwasserversorgung. Bericht des Bund/Länderausschuss für Chemikaliensicherheit. Eigenverlag 91 S.
- FREIE U. HANSESTADT HAMBURG (1999): Arzneimittel in der Umwelt – Konzept für ein Untersuchungsprogramm auf die Umwelt und Trinkwasserversorgung. Bericht des Bund/Länderausschuss für Chemikaliensicherheit. Eigenverlag 5 S.

- GLAESKE, G. (1998): Konsequenzen unter Berücksichtigung des Arzneimittelverbrauchs. Fachtagung Arzneimittel in Gewässern, Risiko für Mensch, Tier und Umwelt ? Hess. Landesanstalt für Umweltschutz, Wiesbaden, 21–28.
- HALLEY ET AL. (1989): Environmental aspects of the use of Ivermectin: Environmental effects and fate. *Chemosphere* 18, 1543–1563.
- HEBERER, TH. (1998): Arzneimittelrückstände als organische Kontaminanten im Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser. Institut für Lebensmittelchemie, TU Berlin, *Lebensmittelchemie* 52, 160.
- HEBERER, TH. ET AL. (1997): Vorkommen und Bestimmung von Arzneimittelrückständen im Berliner Oberflächen- und Grundwasser. *Fachgruppe Wasserchemie Ges. Deutsch. Chem.* 103-106.
- HEGEMANN, W. & K. BUSCH (2000): Untersuchungen zum Abbau endokrin wirksamer Substanzen in Kläranlagen. In: *Schriftenreihe Wasserforschung*, Band 6: Chemische Stressfaktoren in aquatischen Systemen. Wasserforschung e.V. Berlin. S. 199–208.
- HOLM ET AL. (1995): Occurrence and Distribution of Pharmaceutical Organic Compounds in the Groundwater Downgradient of a Landfill (Grindsted, Denmark). *Environmental Science & Technology* 29, 1415–1420.
- HUGENROTH, H. (1997): Ergebnisprotokoll des Fachgesprächs „Bodenschutz bei organischen Materialien aus der Tierhaltung – Klärung des Handlungsbedarfs bei Rückständen von Tierarzneimitteln“. Niedersächs. Umweltministerium, Hannover.
- JEKEL M. & S. WISCHNACK (2000): Herkunft und Verhalten iodorganischer Verbindungen im Wasserkreislauf. In: *Schriftenreihe Wasserforschung*, Band 6: Chemische Stressfaktoren in aquatischen Systemen. Wasserforschung e.V. Berlin. 61–70.
- LANGHAMMER, J.-P. (1989): Untersuchungen zum Verbleib antimikrobiell wirksamer Arzneistoffe als Rückstände in der Gülle und landwirtschaftlichem Umfeld. Universität Bonn, Dissertation
- MEYER ET AL. (2000): Occurrence of Antibiotics in Liquid Waste at Confinde Animal Feeding Operations and in Surface and Ground Water. US Geological Survey.
- Rat der Sachverständigen für Umweltfragen (1998): Sondergutachten Grundwasser. Metzler-Poeschel Verlag, Stuttgart.
- RÖMBKE J. ET AL. (in press): Environmental risk assessment of Pharmaceuticals. Buchpublikation European Science Foundation. Hrsg. K. Kümmerer
- SCHEYTT TH. ET AL. (1998): Vorkommen und Verhalten eines Arzneimittels (Clofibrinsäure) im Grundwasser. *Grundwasser-Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie* 2, S. 67–77.
- SOMMER ET AL. (1992): Ivermectin excreted in cattle dung after subcutaneous injection or pour-on treatment concentrations and impact on dung fauna. *Bull. Entomolical Res.* 82, 57–264.
- SPRINGER, E. (1995): Nachhaltige Tierproduktion: Mythos oder Wirklichkeit ? IV. FEDESA Colloq. Amsterdam. *Neue Landwirtschaft* 6, 66-67.
- STRONG, L. (1992): Avermectines: A review of their impact on insects of cattle dung. *Bull. Entomol. Res.* 82, 265–274.
- TERNES TH. (1998): Arzneimittel in Gewässern und Kläranlagen. Fachtagung Arzneimittel in Gewässern, Risiko für Mensch, Tier und Umwelt ? Hess. Landesanstalt für Umweltschutz, Wiesbaden, 21–28.
- WENZEL, A. ET AL. (1998): Konzentrationen östrogen wirkender Substanzen in Umweltmedien. Forschungsbericht des Umweltbundesamtes Nr. 216 02 011/11.

PD Dr. Werner Kratz, Dr. Bettina Abbas, Irina Linke,
Landesumweltamt Brandenburg
Abteilung: Ökologie und Umweltanalytik
Referat: Wirkungsfragen und Umwelttoxikologie, Dienstadt Frankfurt (Oder)
Müllroser Chaussee 50
15236 Frankfurt (Oder)
e-mail: werner.kratz@lua.brandenburg.de

Erhebung von Arzneimittelwirkstoffen im Land Brandenburg

Bettina Abbas, Irina Linke, Werner Kratz, Landesumweltamt Brandenburg

Eintragungspfade für Arzneimittel im Land Brandenburg

Ziel der Studie ist die Erhebung von Arzneimittelwirkstoffen, die im Land Brandenburg im Hinblick auf die in Verkehr gebrachte Menge oder wegen besonderer Wirkungspotenziale bedeutsam sein können.

Das kommunale **Abwassersystem** einschließlich der Krankenhausabwässer ist im Land Brandenburg der wichtigste Eintragungspfad für Humanarzneimittel. Einige brandenburgische Fließgewässer nehmen Klarwasser aus **Kläranlagen** auf, die hauptsächlich Berliner Abwässer reinigen. Diese Arzneimittel werden durch Recherchen im brandenburgischen Pharmamarkt nicht mit erfasst. Das sind für den Teltowkanal die Klärwerke Stahnsdorf, Marienfelde und die beiden größten Berliner Klärwerke Ruhleben und Waßmannsdorf sowie für die Havel die Klärwerke Wansdorf, Schönerlinde, Falkenberg und Münchehofe.

Die Klärwerksabflüsse in Ruhleben, Waßmannsdorf und Schönerlinde wurden bereits durch die Technische Universität Berlin auf ausgewählte Arzneimittelrückstände untersucht und die Wirkstoffe **Diclofenac**, **Naproxen**, **Primidon**, **Propyphenazon** sowie die Metaboliten **Salicylsäure** und **Clofibrinsäure** in Konzentrationen von etwa 100 bis ungefähr 1.000 ng/l nachgewiesen (FUHRMANN 1999). Es ist also offensichtlich, dass das Thema Arzneimittel in der Umwelt nur in enger Kooperation zwischen den Ländern Brandenburg und Berlin angegangen werden kann.

Neben den Arzneimittelwirkstoffeinträgen in die Fließgewässer und Sedimente ist ein weiterer relevanter Pfad die Ausbringung von Klärschlämmen und Gülle in Agrarökosysteme.

Im Land Brandenburg werden teilweise auch **Klärschlämme** aus anderen Bundesländern ausgebracht. 1997 stammten beispielsweise von insgesamt 29.652 t verwertetem Klärschlamm (als Trockensubstanz) nur etwa die Hälfte, nämlich rund 14.000 t aus Brandenburg, über 7.000 t aus Nordrhein-Westfalen, 4.642 t aus Niedersachsen und über 2.000 t aus Sachsen-Anhalt (ROSCHKE 2000). Auch für diese Klärschlämme können durch die Datenerhebung im brandenburgischen Pharmamarkt keine Schlüsse gezogen werden. Aus diesem Grunde sollten zunächst vorrangig Klärschlammproben untersucht werden und Bodenuntersuchungen besonderen bodenökotoxikologischen Fragestellungen vorbehalten bleiben, zumal durch den Eintrag in den **Boden** eine nicht nachvollziehbare Verteilung und Verdünnung der Arzneimittelwirkstoffe erfolgt.

Stoffströme von Arzneimitteln im Land Brandenburg

Am Anfang der Arzneimittelstoffströme steht der **Wirkstoffhersteller**. Bei der Wirkstoffherstellung kann bereits ein produktionsbedingter Eintrag in die Umwelt stattfinden. Im Land Brandenburg ist kein Wirkstoffhersteller ansässig. Im Land Berlin produziert die Firma Henning das Schilddrüsenhormon Levothyroxin-Natriumsalz mit einer Jahresproduktion von ca. 100 kg. Die Emissionen aus Betrieben, die die Wirkstoffe in Darreichungsformen überführen, sind gering, weshalb diese Anlagen nicht nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz genehmigungspflichtig sind (4. BImSchV 1999).

Das **Inverkehrbringen** von Arzneimitteln erfolgt über den Großhandel und in Falle der Humanarzneimittel weiter über Apotheken, Krankenhausapotheken und für freiverkäufliche Mittel auch über den Einzelhandel. Tierarzneimittel werden in Mischfutterwerken zu Fütterungsarzneimitteln verarbeitet oder über tierärztliche Hausapotheken abgegeben.

Erhebung von Wirkstoffmengen im Land Brandenburg

Bei der Erhebung von Wirkstoffmengen stößt man auf zwei grundsätzliche Probleme: Zum einen wird ein bestimmter **Wirkstoff** in unterschiedlichen Darreichungsformen mit mehreren Dosierungen von verschiedenen Herstellern unter einer Vielzahl von Produktnamen angeboten. Allein die Humanarzneimittel umfassen eine sehr große Anzahl von Zubereitungen, nämlich über 9.000 Präparate von fast 500 Herstellern, die etwa 2.900 Wirkstoffe enthalten. Als Tierarzneimittel sind in Deutschland derzeit etwa 600 wirksame Substanzen bekannt und ca. 200 Wirkstoffe in Form von 3.000 Präparaten zugelassen (PIETSCH, J. 1998 zitiert in: ROBAKOWSKI 2000).

Zum anderen fehlen offiziell zugängliche Angaben zu den in Verkehr gebrachten Arzneimittelmen gen. Bisher wurde von

Das letztgenannte Problem gilt auch für die **Gülle**. Daher ist die Analytik von Gülle auf Tierpharmaka ebenfalls der Untersuchung von Bodenproben vorzuziehen.

Lediglich die Zytostatika sind als besonders überwachungsbedürftiger **Abfall** (Sonderabfall) zu entsorgen. Alle anderen Arzneimittelabfälle können als Hausmüll entsorgt werden. Über die Gesamtmenge von Medikamenten im Abfall gibt es unterschiedliche Angaben. Die Schätzungen reichen von 11.000 bis 16.000 t pro Jahr (gemeint sind hier die Zubereitungen insgesamt, GLAESKE 1998a). Das Verhalten von Arzneimitteln in Deponien ist weitgehend unklar. Erste Untersuchungen von KÜMMERER (1998) haben gezeigt, dass ein aerob nicht abbaubares Zytostatikum auch in einer Modelldeponie nur zu 50 % eliminiert wurde.

Die **Anwendung** der **Humanarzneimittel** erfolgt bekanntermaßen durch die Patienten persönlich und durch den Arzt in Praxis oder Krankenhaus.

Die **Anwendung** von **Tierarzneimitteln** erfolgt auf sehr unterschiedliche Weise durch Bauer, Tierarzt oder Tierhalter. Zunächst ist es die Klientel der Tierarztpraxen, die eine individuelle Verabreichung durch den Tierhalter oder den Tierarzt erfährt. Im Bereich der gewerblichen Tierhaltung werden die Arzneimittel über das vorher in das Futter gemischte Medikament, über das Tränkwasser oder vor allem bei Rindern oder Pferden individuell in Form von Injektionen verabreicht. In Fischzuchtbetrieben werden die Arzneimittel direkt in das Gewässer eingebracht.

An dieser Stelle zeichnet sich bereits ab, dass die **Erhebung von Arzneimittelmen gen** in allen diesen Sektoren sehr schwierig und aufwendig ist. Deshalb werden nur ausgewählte wichtige Bereiche in unsere Studie einbezogen.

verschiedenen Autoren der Arzneimittelverordnungsreport ausgewertet, der die Rezepte im bundesweiten Maßstab stichprobenartig erhebt und auswertet und auf diese Weise sind dann Parameterlisten für Untersuchungsprogramme entstanden (TERNES 1999).

Dem Arzneimittelverordnungsreport kann allerdings nicht entnommen werden, ob es regionale Unterschiede, insbesondere zwischen den alten und neuen Bundesländern aber auch zwischen dicht und dünn besiedelten Ländern gibt. Die Anteile der Krankenhäuser an den Arzneimittelverabreichungen werden durch den Arzneimittelverordnungsreport generell nicht erfasst.

Vorgehensweise bei der Recherche von Wirkstoffmengen im Land Brandenburg

Im Rahmen der durchgeführten Recherche konnten bisher nicht für alle Sektoren des Arzneimittelmarktes Daten erhoben werden. Dies bedeutet, dass die in dieser Untersuchung erfassten Daten zu Wirkstoffmengen als Minimaldaten anzusehen sind.

Daten, die ausschließlich den **freien Apothekenmarkt** betreffen, lagen nicht vor. Deshalb wurden für diesen Sektor die

Angaben von (GLAESKE 1998b) für den gesamten nicht klinischen Apothekenmarkt im Jahr 1997 betrachtet, die bis auf zwei Ausnahmen frei verkäufliche Wirkstoffe betreffen. Für den Sektor der **verordnungspflichtigen Arzneimittel** wurden von einer gesetzlichen Krankenkasse mit großem Versichertenanteil (55 %) Daten zu den im Jahr 1999 am häufigsten verordneten Arzneimitteln im Land Brandenburg (100 Daten-

sätze) zur Verfügung gestellt. **Krankenhausapotheken** sind die zentrale Versorgungsstelle für den Klinikbereich. Für diesen Sektor liegen von einem Brandenburger Schwerpunkt-Krankenhaus Angaben zu sämtlichen im Jahr 1999 ausgegebenen Präparaten vor und diese werden momentan exemplarisch für die fünf großen Brandenburger Kliniken in Neuruppin, Schwedt/Oder, Potsdam, Frankfurt (Oder) und Cottbus ausgewertet.

Ergebnisse der Recherche von Humanarzneimitteln

Die Daten von (GLAESKE 1998b) betreffen verkaufte Arzneimittelpackungen. Da die Packungen unterschiedliche Tablettenmengen und Dosierungen enthalten, ließ sich lediglich ein Wirkstoffmengenbereich abschätzen. Dazu wurde die Annahme getroffen, dass die Medikamente zur Therapie chronischer Krankheiten vorwiegend in größeren Packungen abgegeben werden (N2, N3) und Medikamente für akute Krankheiten in kleineren Packungsgrößen (N1, N2). Mit diesen Packungsgrößen wurde mittels verschiedener Dosierungen (ROTE LISTE 1999) ein Bereich zwischen der minimalen und der maximalen Wirkstoffmenge pro Packung errechnet. Zur besseren Anschaulichkeit wurde anschließend der Mittelwert gebildet und über den Anteil der Einwohner im Land Brandenburg an der Gesamtbevölkerung der Bundesrepublik eine Pro-Kopf-Umrechnung vorgenommen (Tab. 1).

Die Daten der brandenburgischen Krankenkasse zu den häufigsten Arzneimittelverordnungen betrafen ebenfalls Packungen und mussten, wie bereits für den allgemeinen Apothekenmarkt skizziert, in Wirkstoffmengenbereiche umgerechnet und vom

Fütterungsarzneimittel werden in Mischfutterwerken anhand eines tierärztlichen Herstellungsauftrages in das Futter eingemischt. Diese Herstellungsaufträge werden von den Veterinär- und Lebensmittelüberwachungsämtern behördlich überwacht und konnten daher durch das Landesumweltamt ausgewertet werden. Für die übrigen Sektoren der gewerblichen und individuellen Tierhaltung liegen bisher keine Daten vor.

Versichertenanteil auf alle Versicherten im Land Brandenburg hochgerechnet werden. Die Wirkstoffe, die in Mengen von mehr als 500 kg/a abgegeben wurden, sind in Tabelle 2 aufgeführt.

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse dieser Auswertung graphisch dargestellt. In dem Mengenbereich über einer Tonne pro Jahr im Land Brandenburg finden sich neben den erwarteten Schmerz- oder Rheumamitteln, Hustenmitteln, Kreislauf- und Durchblutungsmitteln auch das orale Antidiabetikum Metforminhydrochlorid und das Gichtmittel Allopurinol.

Krankenhausapotheken weisen ein deutlich anderes Wirkungsspektrum auf als der ambulante Apothekenmarkt. Hier findet man besondere Stoffgruppen, wie Narkosemittel, Röntgenkontrastmittel und Desinfektionsmittel aber auch Zytostatika für die Tumorthherapie.

Die Auswertung dieser sehr umfangreichen Datenmengen ist bisher noch nicht abgeschlossen.

Wirkstoff	Indikation	Mittelwert bundesweit verkaufte Wirkstoffmenge 1997 in kg	Anteil für das Land Brandenburg in kg
Acetylsalicylsäure	Schmerzen	750.625,0	24.020,0
Acetylcystein	Husten	324.800,0	10.393,0
Paracetamol	Schmerzen	197.000,0	6.304,0
Diclofenac-Na *	Rheuma	38.750,0	1.240,0
Magnesium	Mineralersatz	35.271,0	1.128,0
Ibuprofen	Rheuma	20.800,0	665,0
Ambroxol-HCl	Husten	8.437,0	270,0
Dexpanthenol	Wundheilung	1.935,0	62,0
Xylomethazolin	Schnupfen	276,0	8,8
Levothyroxin-Na *	Schilddrüsenhormon	9,9	0,3

Wirkstoff	Indikation
Metformin-HCl	Antidiabetika
Acarbose	
Metamizol-Natrium	Schmerzmittel
Acetylsalicylsäure	
Paracetamol	
Acetylcystein	Hustenmittel
Theophyllin	Asthmamedikament
Metoprololtartrat	Betarezeptorenblocker
Propranolol-HCl	
Furosemid	Diuretika
Torsemid	
Verapamil-HCl	Calciumkanalblocker
Pentoxifyllin	Durchblutungsmittel
Naftidrofurylhydrogenoxalat	
Diclofenac	Rheumamedikament
Pentaerythritoltetranitrat	Koronarmittel
Isosorbiddinitrat	
Allopurinol	Gichtmittel
Roxithromycin	Antibiotikum

Tab. 1: Bundesweit 1997 meistverkaufte Präparate [GLAESKE 1998b], umgerechnet in Wirkstoffmengen und Pro-Kopf-Umrechnung für das Land Brandenburg
* rezeptpflichtige Wirkstoffe

Tab. 2: Mengenmäßig wichtige verordnete Wirkstoffe im verordneten Apothekenmarkt in Brandenburg 1999 (abgeschätzt aus Daten einer Krankenkasse)

Wirkstoff	Indikation	Sektor	Wirkstoffmenge gesamt in kg
Acetylsalicylsäure ^{U,DR}	Schmerzen	FA, VA	1.221
Metformin-HCl	Antidiabetikum	VA	336
Paracetamol ^{U,DR}	Schmerzen	FA, VA	350
Metamizol-Na ^{U,DR}	Schmerzen	VA	193
Acetylcystein ^{U,DR}	Husten	FA, VA	188
Theophyllin ^{U,DR}	Asthma	VA	124
Metoprololtartrat	Betarezeptorenblocker	VA	113
Diclofenac-Na ^{U,DR}	Rheuma	VA	108
Furosemid ^{U,DR}	Diuretikum	VA	97
Verapamil-HCl ^{U,DR}	Calciumkanalblocker	VA	89
Pentoxifyllin ^{U,DR}	Durchblutung	VA	87
Pentaerythrityltetranitrat ^{U,DR}	Koronarmittel	VA	80
Allopurinol ^{U,DR}	Gicht	VA	74
Acarbose	Antidiabetikum	VA	40
Nafidrofurylhydrogenoxalat	Durchblutung	VA	39
Torasemid	Diuretikum	VA	37
Ibuprofen	Schmerzen	FA	30
Propranolol-HCl ^{U,DR}	Betarezeptorenblocker	VA	24
Isosorbiddinitrat	Koronarmittel	VA	24

Tab. 3: Arzneimittelwirkstoffmengen im Einzugsbereich des Klärwerkes einer brandenburgischen Großstadt 1999
FA... Freier Apothekenmarkt
VA... Verordneter Apothekenmarkt
DDR... im ARZNEIMITTELVERZEICHNIS DER DDR 1988
zugelassen

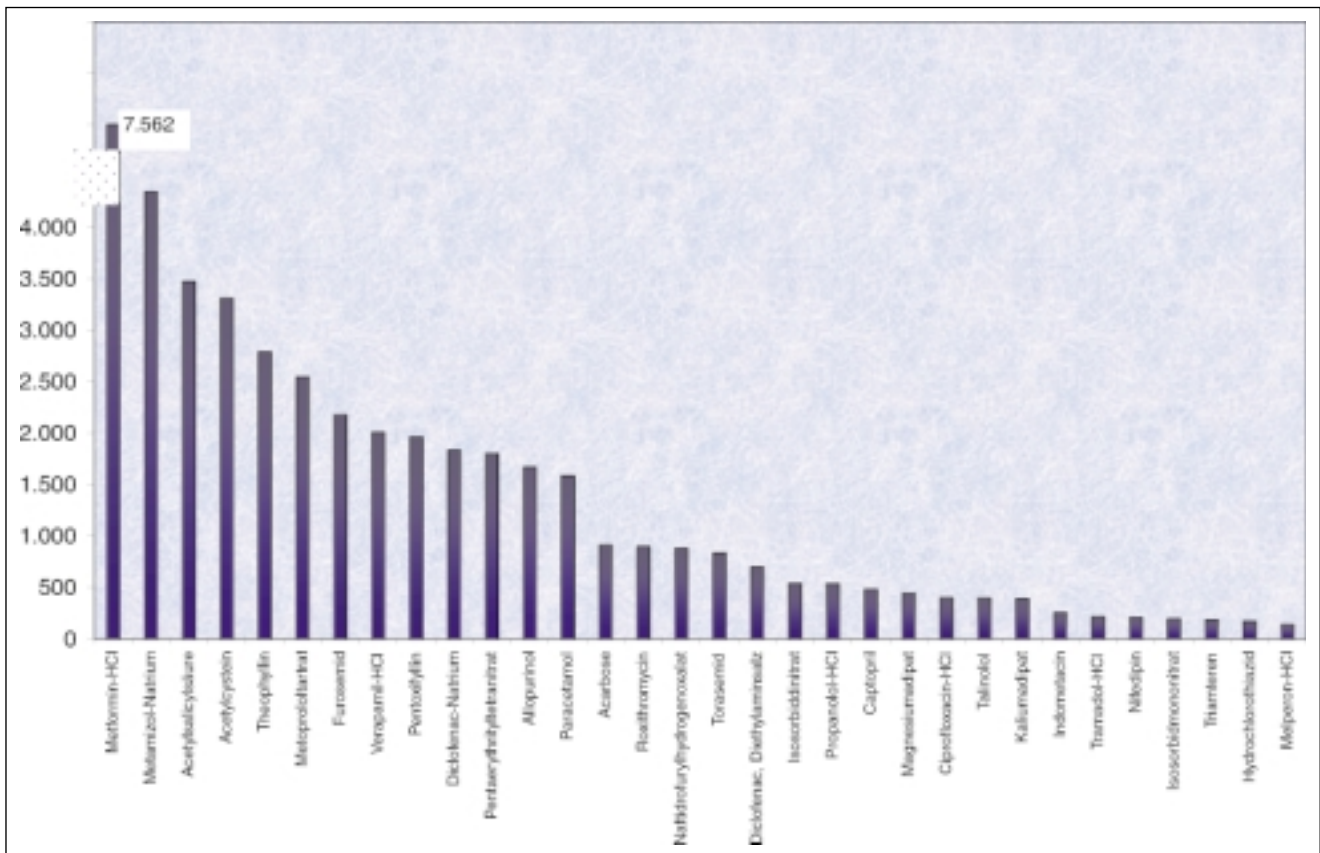


Abb. 1: Wirkstoffmengen [kg] im verordneten Apothekenmarkt in Brandenburg 1999

Exemplarische Abschätzung des Arzneimittelverbrauchs im Einzugsbereich der Kläranlage einer brandenburgischen Großstadt

Am Anfang einer **Risikoabschätzung** für Umweltschadstoffe steht die Feststellung einer Exposition von Schutzgütern, im vorliegenden Fall der **Umweltmedien Wasser und Boden**. Da die Klinikdaten für ein einzelnes Krankenhaus vorliegen, ist vorgesehen, den Arzneimittelverbrauch im Einzugsbereich des entsprechenden Klärwerkes zu betrachten. Diese exemplarische Betrachtung eines Klärwerkes gestattet es, die Wirkstoffmengen aus den verschiedenen Sektoren (freiverkäufliche, rezeptpflichtige und im Krankenhaus verabreichte Mittel) im richtigen Verhältnis zueinander zu diskutieren.

Dazu wurden die Daten für den freien und verordneten Apothekenmarkt über eine Pro-Kopf-Umrechnung vom Land

Brandenburg insgesamt auf den Einzugsbereich der Kläranlage umgerechnet (Tab. 3). Die Wirkstoffmengen für das Krankenhaus werden nach Abschluss der Datenauswertung ergänzt.

Ob die als mengenrelevant erkannten Wirkstoffe als Parameter für ein **Umweltmonitoring** geeignet sind, kann nicht abschließend beantwortet werden, ohne deren **Umweltverhalten** und **Wirkungen auf Nichtzielorganismen** zu recherchieren. Einige der mengenrelevanten Wirkstoffe wurden aber bereits in umweltschadstoffanalytischen Untersuchungen in der Umwelt nachgewiesen und können deshalb ohne weitere Untersuchungen für ein Monitoring in Brandenburg empfohlen werden. Andererseits sind Arzneimittelmessbefunde von Wirkstoffen bekannt

geworden, die nach bisherigem Kenntnisstand derzeit in Brandenburg nicht in großen Mengen verabreicht werden.

Das betrifft beispielsweise die als **Lipidsenker** verwendeten Fibrate. Sie sind in der Verordnung seit Jahren rückläufig und derzeit in Brandenburg nicht relevant. Die Clofibrinsäure ist bei hohem Berliner Abwasseranteil bedeutsam.

Die bereits in Klärwerksab- und -zuläufen nachgewiesenen **Antiepileptika** Carbamazepin (TERNES ET AL. 1999) und Primidon (FUHRMANN 1999) haben sich bisher in der Wirkstoffmengenrecherche nicht als mengenrelevant erwiesen. Da der Wirkstoff Primidon in den Berliner Klärwerken nachgewiesen wurde, ist dieser Parameter in den Fließgewässern mit hohem Berliner Abwasseranteil zu berücksichtigen. Das gilt auch für den Schmerzmittelwirkstoff Propyphenazon.

Das Prostatamittel β -Sitosterol, das im Klärwerksablauf gefunden wurde (TERNES 1998), ist ein **Phytohormon**. Davon sind in der täglichen Nahrung drei bis zehn Tagesdosen enthalten (ARZNEIMITTELKURSBUCH 1999/2000). Wenn dieser Wirkstoff in einem Monitoringprogramm berücksichtigt wird, können die Messbefunde nicht eindeutig auf die medikamentöse Einnahme zurückgeführt werden.

Die **Desinfektionsmittel** und jodhaltigen **Röntgenkontrastmittel** lassen sich schwer beurteilen, da die Anwender häufig einem bestimmten Präparat den Vorzug geben, das dann im Abwasser dominiert, aber für verschiedene Klärwerke ganz unterschiedlich sein kann (TERNES ET AL. 1999). Der Sektor der niedergelassenen Ärzte, der hier mit Sicherheit eine bedeutende Rolle spielt, konnte bisher noch nicht berücksichtigt werden.

Chemisch sehr stabile Stoffe mit einem besonderen Wirkungspotential können auch bei geringen Eintragsmengen ökotoxikologisch kritisch sein. Das betrifft z.B. das Sexualhormon Ethinylestradiol, für das bereits im Konzentrationsbereich von einigen Nanogramm pro Liter Wirkungen auf Nichtzielorganismen, wie die unphysiologische Vitellogeninsynthese durch Ethinylestradiol bei Goldorfen (ALLNER ET AL. 1998), vermutet werden. Trotz geringer Eintragsmengen von geschätzten 1–2 kg pro Jahr im Land Brandenburg wurde dieser **Pillenwirkstoff** in einer brandenburgischen Kläranlage in Mengen

Tab. 4: Wichtige Arzneimittelwirkstoffe für eine analytische Erfassung in Brandenburg

* ...relevant für Fließgewässer mit hohem Berliner Abwasseranteil

Arzneimittelwirkstoff	Relevante Mengen im Land Brandenburg 1999
Acetylsalicylsäure	Ja
Paracetamol	Ja
Naproxen*	?
Propyphenazon *	?
Diclofenac	Ja
Ibuprofen	Ja
Propranolol	Ja
Metoprolol	Ja
Roxithromycin	Ja
Pentoxifyllin	Ja
Primidon *	?
Clofibrinsäure*	?
Ethinylestradiol	Gering

von einigen Mikrogramm pro Kilogramm Klärschlamm nachgewiesen (HEGEMANN & BUSCH 2000). Zusammenfassend können bereits beim jetzigen Kenntnisstand die in Tabelle 4 aufgeführten Wirkstoffe als wichtige Analyten benannt werden.

Für **Klärschlämme** und **Böden** gelten vorbehaltlich weiterer Erkenntnisse zum Umweltverhalten die gleichen Wirkstoffparameter, wobei aber zu beachten ist, dass bei der Aufbringung von Klärschlamm auf Böden nachfolgend eine erhebliche Verdünnung eintritt. Deshalb sollte sich die Analytik aktuell eingetragener Stoffe vorrangig dem Klärschlamm selbst widmen.

Beim Kompartiment Boden ist vorrangig an frühere Einträge zu denken, die sich angereichert haben können. Das Wirkungsspektrum ist dann eher vergleichbar mit dem von Sedimenten und Grundwasser.

Die Wirkstoffparameter in **Sedimenten** und im **Grundwasser** unterscheiden sich teilweise von denen in Fließgewässern und Klärschlämmen. Es gilt hier auch die Wirkstoffe zu finden, die bereits vor vielen Jahren in die Umwelt gelangt sind. Zu diesem Zweck wurde das ARZNEIMITTELVERZEICHNIS DER DDR(1988) herangezogen und geprüft, welche der heute in großen Mengen verordneten Wirkstoffe bereits damals zugelassen waren. Diese Wirkstoffe sind in der Tabelle 3 durch das Symbol **DDR** gekennzeichnet. Die Clofibrinsäure wird in Fachkreisen als Leitsubstanz für die Humanarzneimittelwirkstoffe favorisiert, nicht zuletzt, weil sie analytisch relativ einfach in Pestizidmessprogrammen eingebunden werden kann. Da diese Substanz bereits in der DDR zugelassen war, ist sie für das Grundwasser und für Sedimente im Land Brandenburg ein geeigneter Untersuchungsparameter.

Ergebnisse der Recherche von Tierarzneimitteln

Im Land Brandenburg existieren 18 Veterinär- und Lebensmittelüberwachungsämter (VLÜA), die für die Überwachung der tierärztlichen Herstellungsaufträge zuständig sind. Es wurden für den Erhebungszeitraum von Juli 98 bis Juni 99 rund 1.000 Herstellungsaufträge ausgewertet. In den VLÜA Brandenburg, Cottbus, Frankfurt (Oder) und Potsdam sind im Erhebungszeitraum keine Herstellungsaufträge eingegangen. Die meisten Herstellungsaufträge, nämlich 84,76 % wurden für die Tierart Schwein ausgestellt, gefolgt von den Rindern mit 12,35 % und 2,89 % der Herstellungsaufträge betrafen Geflügel (Tab. 5). Obwohl die Herstellungsaufträge um den Faktor 6 häufiger die Rinder betreffen als das Geflügel, liegen sie in der Wirkstoffmenge darunter, was darauf hinweist, dass in den Geflügelbeständen pro Verordnung mehr Wirkstoff verschrieben wird.

Tab. 5: Vergleich der Anzahl der Herstellungsaufträge mit der Wirkstoffmenge für verschiedene Tierarten im Land Brandenburg 07/98 bis 06/99

Tierart	Anzahl Herstellungsaufträge in %	Wirkstoffmenge in %
Schwein	84,76	94,16
Rind	12,35	2,07
Geflügel	2,89	3,78

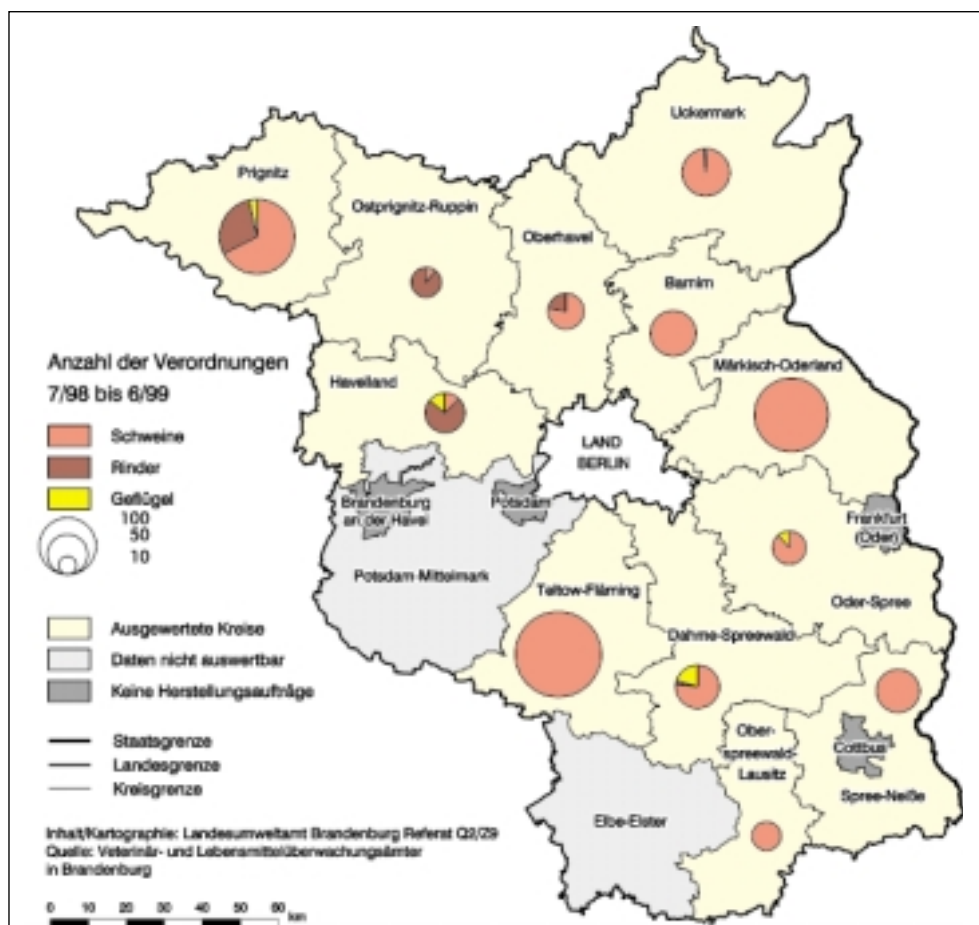


Abb. 2: Fütterungsarzneimittel – Herstellungsaufträge für verschiedene Tierarten im Land Brandenburg

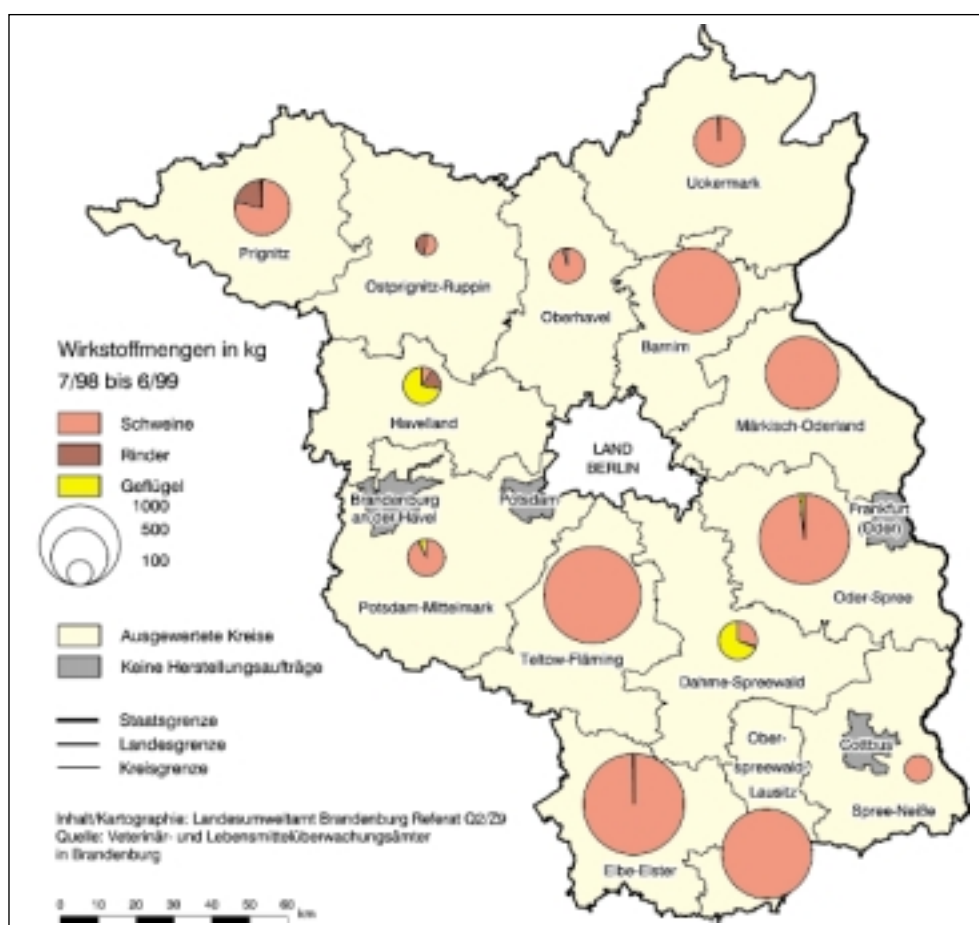


Abb. 3: Fütterungsarzneimittelwirkstoffe für verschiedene Tierarten im Land Brandenburg

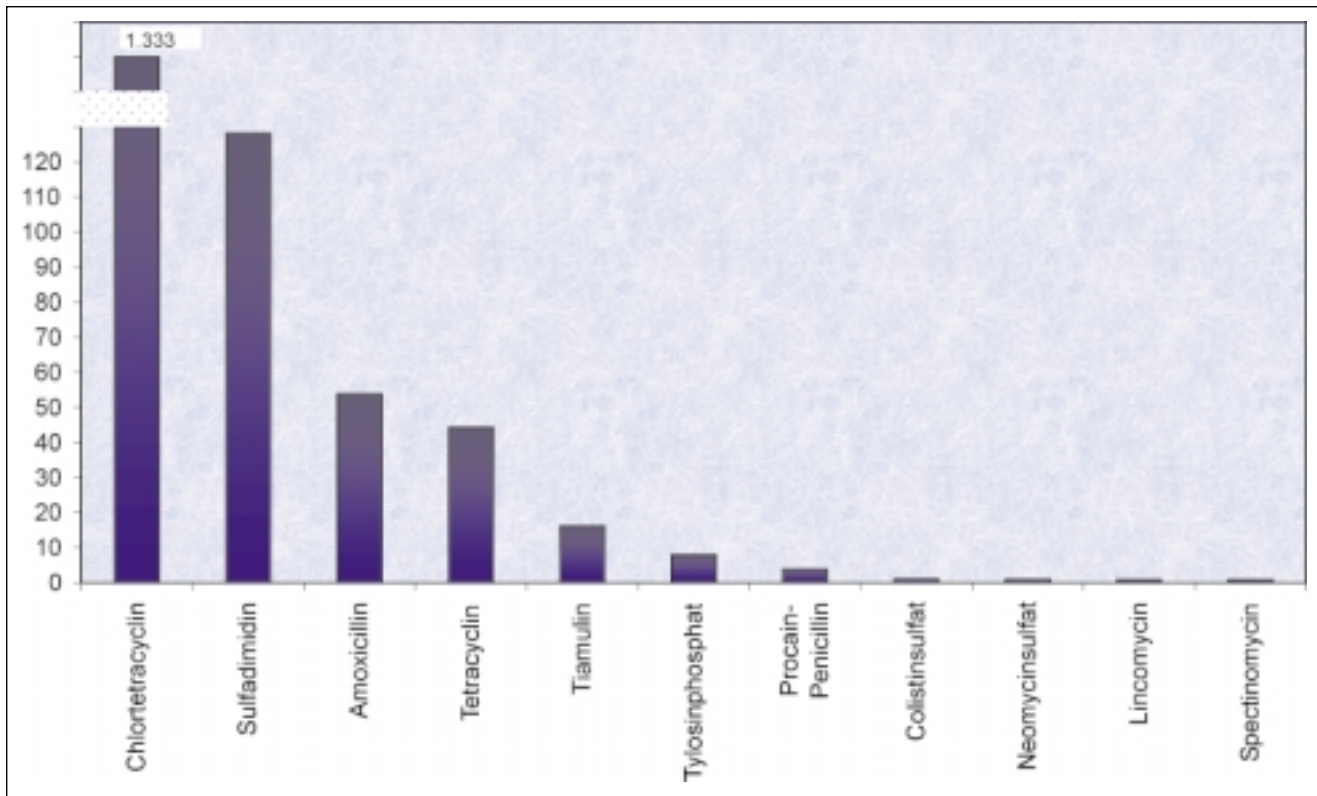


Abb. 4: Tierarzneimittelwirkstoffmengen [kg] im Kreis Elbe-Elster 07/98 – 06/99

Aus Abbildung 2 geht hervor, dass die Häufigkeit der Verschreibungen lokal sehr verschieden ist. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Anzahl und die Art der gehaltenen Tiere unterschiedlich ist, die Verschreibungsgewohnheiten der Tierärzte unterschiedlich sind oder die Medikamente auf andere Weise verabreicht wurden (z.B. Injektionen, Zusätze in den Tränken) und daher nicht erfasst wurden.

Im Erhebungszeitraum von einem Jahr sind in Brandenburg etwa 9,5 t Fütterungsarzneimittel verordnet worden und die großen lokalen Unterschiede in der Wirkstoffmengenverteilung im Land Brandenburg können Abbildung 3 entnommen werden. In dieser Darstellung lassen sich Schwerpunkte für eventuelle Probenahmegebiete erkennen.

Fast 9 t der Wirkstoffe wurden beim Schwein, rund 200 kg bei den Rindern und etwa 360 kg beim Geflügel eingesetzt. Die Schweinebestände dominieren also hinsichtlich der Wirkstoffmenge ganz klar.

Von den verordneten 9,5 t Tierarzneimittelwirkstoffen entfallen allein 6,6 t auf die Antibiotika, das sind rund 70 % der Gesamtmenge aller Wirkstoffe. 2,7 t, also knapp 30 %, entfallen auf den Futtermittelzusatzstoff Zinkoxid und die anderen

Zusammenfassung

Die vorgelegten Daten der durchgeführten Arzneimittelwirkstoffrecherche für das Land Brandenburg zeigen, dass sowohl für den Human- als auch den Tierarzneimittelsektor eine umfängliche Anzahl mengenrelevanter Wirkstoffe benannt werden kann. Deren Umweltverhalten und ökotoxikologisches

Mittel sind mit 0,64 % mengenmäßig absolut nachrangig. In der Gruppe der Antibiotika dominieren die Tetracykline mit 3,3 t Chlortetracyclin (50 %) und 1,2 t Tetracyclin (18,2 %).

Es liegen Hinweise von KAISER et al. 1998 vor, dass Pferde 2–3 mal im Jahr einer Wurmbehandlung mit dem Wirkstoff Abamectin unterzogen werden. Eine Umrechnung auf den brandenburgischen Pferdebestand ergibt eine jährliche zusätzliche Menge von ca. 110 bis 160 kg Abamectin. Abamectin hat aufgrund seiner starken Wirkung auf Bodenorganismen ein besonders hohes ökotoxikologisches Gefährdungspotenzial.

Am Beispiel des Kreises Elbe-Elster in Abbildung 4 wird deutlich, dass anhand der Herstellungsaufträge nicht nur die gesamte Wirkstoffmenge ermittelt werden kann, sondern dass jetzt für den Erhebungszeitraum kreisbezogen einzelne relevante Wirkstoffe benannt werden können. In den Veterinär- und Lebensmittelüberwachungsämtern könnten diese Wirkstoffe den Tierbeständen zugeordnet und von dieser Seite her in Zusammenarbeit mit den unteren Landwirtschaftsbehörden dem Verbleib von Gülle und Mist nachgegangen werden.

Wirkungspotenzial werden Gegenstand weiterer Untersuchungen im Landesumweltamt Brandenburg sein, um mittelfristig eine gut begründete Stoffliste für Wirkstoffanalysen in verschiedenen Umweltkompartimenten aufstellen zu können.

Quellen

- ALLNER, B. ET AL. (1998): „Wirkungen umweltrelevanter synthetischer Östrogene auf Fische“, in: Arzneimittel in Gewässern, Risiko für Mensch, Tier und Umwelt? – Fachtagung am 4. Juni 1998 in Wiesbaden, Hrsg.: Hessische Landesanstalt für Umwelt
- ARZNEIMITTELKURSBUCH 99/2000, Hrsg.: Arzneimittel-Verlags-GmbH, Berlin, S.833
- ARZNEIMITTELVERZEICHNIS DER DDR, Ausgabe 1988, Teil 1, Hrsg.:GERECKE, K., Institut für Arzneimittelwesen der DDR, Verlag Volk und Gesundheit Berlin 1988
4. BImSchV (1999): Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen, Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (4. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997, (BGBl. I Nr. 17 vom 20.03.1997, S. 504) zuletzt geändert am 23. Februar 1999 durch Artikel 3 der Verordnung zur Änderung der Siebzehnten, der Neunten und der Vierten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BGBl. I Nr. 8 vom 26.02.1999, S. 186)
- FUHRMANN, B. (1999): Vergleichende Untersuchung von Oberflächenwässern in Athen und Berlin auf Arzneimittelrückstände aus kommunalen Kläranlagen, Diplomarbeit, Technische Universität Berlin
- GLAESKE, G. (1998a): „Konsequenzen unter Berücksichtigung des Arzneimittelverbrauchs“, in: Arzneimittel in Gewässern, Risiko für Mensch, Tier und Umwelt? – Fachtagung am 4. Juni 1998 in Wiesbaden, Hrsg.: Hessische Landesanstalt für Umwelt
- GLAESKE, G. (1998b): Psychotrope und andere Arzneimittel mit Mißbrauchs- und Abhängigkeitspotential, in: Jahrbuch Sucht '99, Hrsg.: Deutsche Hauptstelle gegen die Suchtgefahren, Hamm, 1998
- HEGEMANN, W.; K. BUSCH (2000): Untersuchungen zum Abbau endokrin wirksamer Substanzen in Kläranlagen. In: Schriftenreihe Wasserforschung, Band 6: Chemische Stressfaktoren in aquatischen Systemen. Wasserforschung e.V. Berlin. 199–208
- KAISER, T. ET AL. (1998): Einträge von Stoffen in Böden – eine Abschätzung des Gefährdungspotentials, Logos Verlag Berlin 1998, S. 199
- KÜMMERER, K. (1998): „Vorkommen von Arzneimitteln in der Umwelt – was ist zu tun?“, in: Arzneimittel in Gewässern, Risiko für Mensch, Tier und Umwelt? – Fachtagung am 4. Juni in Wiesbaden, Hrsg.: Hessische Landesanstalt für Umwelt
- ROBAKOWSKI, H. (2000): Arzneimittelrückstände und endokrin wirkende Stoffe in der aquatischen Umwelt, Literaturrecherche, Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- ROSCHKE, M. (2000): Bericht zur Klärschlammverwertung im Land Brandenburg im Zeitraum von 1993 bis 1997, Hrsg. Landesamt für Ernährung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, 03.04.2000
- ROTE LISTE ® 1999, Arzneimittelverzeichnis des Bundesverbandes der pharmazeutischen Industrie e.V., des Verbandes Forschender Arzneimittelhersteller e.V., des Bundesfachverbandes der Arzneimittelhersteller e.V. und des Verbandes aktiver Pharmaunternehmen e.V.
- TERNES (1998): „Arzneimittelrückstände in Gewässern und Kläranlagen“, in: Arzneimittel in Gewässern, Risiko für Mensch, Tier und Umwelt? – Fachtagung am 4. Juni in Wiesbaden, Hrsg.: Hessische Landesanstalt für Umwelt
- TERNES ET AL. (1999): Nachweis und Screening von Arzneimittelrückständen, Diagnostika und Antiseptika in der aquatischen Umwelt, Abschlussbericht des ESWE-Institutes für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH zum Forschungsvorhaben 02WU9567/3 des BMBF, März 1999

*Dr. Bettina Abbas, Agr.-Ing. Irina Linke, PD Dr. Werner Kratz
Landesumweltamt Brandenburg
Abteilung Ökologie und Umweltanalytik
Referat Wirkungsfragen und Umwelttoxikologie, Dienstort Frankfurt (Oder)
Müllroser Chaussee 50
15236 Frankfurt (Oder)
e-mail: Bettina.Abbas@lua.brandenburg.de*

Vorläufige Ergebnisse zu Auswirkungen von Antibiotika und endokrinen Umweltchemikalien auf bodenbiologische Eigenschaften

Christoph Emmerling und Charlotte Pfeiffer, Universität Trier

Exposé

Die intensive Tierproduktion ist durch einen verstärkten Einsatz von Leistungsförderern gekennzeichnet. Dies können sowohl Ergotropika (Antibiotika), als auch Androgene (Anabolika) sein, die v.a. zur schnelleren Gewichtszunahme bei relativ geringem Futterverzehr und aus therapeutischen Gesichtspunkten eingesetzt werden.

Weiterhin werden in verstärktem Maße Antiparasitika eingesetzt, da Masttiere immer anfälliger gegenüber Krankheiten und parasitärem Befall werden.

Aus Literaturrecherchen ist bekannt, dass ein hoher Prozentsatz (40-60 %) der applizierten Leistungsförderer unverändert wieder ausgeschieden werden und somit als Gülle in die Böden gelangen können. Da die Antiparasitika äußerlich angewendet werden, ist auch hier mit einer Verlagerung in den Boden über die Gülleausbringung zu rechnen.

Mit einer Ausbringung von Klärschlamm können weitere synthetische Stoffe in den Boden gelangen, wie z.B. Tenside (Nonylphenol).

Ziel der Versuche war es, die biologische Wirkungsweise von synthetischen Hormonen, Antibiotika, Antiparasitika sowie Tensiden in einem landwirtschaftlich genutzten Boden zu prüfen. Zur Aufklärung möglicher Auswirkungen derartiger Stoffe insbesondere auf die Zusammensetzung der Bodenmikroflora und ihrer Stoffwechselaktivitäten wurden im Rahmen eines screenings jeweils ein Antiparasitikum (Ivermectin), ein Tensid (Nonylphenol), ein Antibiotikum (Monensin) und ein Hormon (Estradiol) in verschiedenen Konzentrationen basierend auf Literaturangaben und/oder Schätzungen (wenn keine Angaben recherchiert werden konnten) einem Ackerboden zugesetzt und über einen Zeitraum von 6 Wochen gegen einen Kontrollansatz verfolgt. Als Testparameter wurden mikrobielle Biomasse, Bodenatmung, mikrobielle Aktivitäten (DMSO- Reduktaseaktivität) sowie ATP- Gehalte zur Charakterisierung der Reaktionen der Bodenmikroorganismen in den Ansätzen bestimmt.

Im Vortrag werden vorläufige Ergebnisse ohne Schlusswertungen vorgestellt.

Angaben zu den geprüften Wirkstoffen

Nonylphenol (NP)

Das Verhalten von NP im Boden wird besonders durch die Adsorption und den biologischen Abbau bestimmt. Die Adsorption von NP führt zu einem Entzug aus der Bodenlösung und der biologische Abbau bewirkt eine Verringerung der Konzentration im Boden. Die Bindung findet durch die polare Gruppen mit einer Wasserstoffbrückenbindung an Tonmineraloberflächen, aber auch an der organischen Substanz, wie Klärschlamm statt. Weitere Auswirkungen auf die Bodenmatrix sind nicht bekannt.

NP gelangt aufgrund der hydrophoben Eigenschaften an den Klärschlamm gebunden in den Boden. Konzentrationen von 0.3g NP pro kg Boden sind bekannt. Nach HARTMANN (1966) ist eine Zerstörung der natürlichen Zusammensetzung der Bakterienpopulation möglich. Einige Bakterien können durch NP stimuliert, andere mehr sensitive werden getötet und das natürliche Gleichgewicht gestört. Lediglich KOWALCZYK hat die Effekte von NP auf Stoffwechselprozesse der Mikroorganismen im Boden untersucht. Dabei wurden bei niedrigen Gehalten keine, bei hohen Gehalten von 100 mg/kg deutliche und signifikante Effekte festgestellt.

Ethinylöstradiol (E)

Konkrete Untersuchungen zum Vorkommen im Klärschlamm gibt es unserer Kenntnis nach nicht. Während des Klärprozesses wird Ethinylöstradiol nicht vollständig abgebaut und kann aus der Kläranlage in die Flüsse gelangen, von dort auch teilweise ins Trinkwasser und ist im Klärschlamm auffindbar.

Wenn E nicht vollständig abgebaut wird, stellt es ein synthetisches Östrogen dar, eine aktive Umweltchemikalie also, die die Wirkungsweise von Hormonen nachahmt und so das endokrine System verschiedener Tierarten wie Fische, Amphibien, Vögel und Säugetiere nachhaltig beeinflussen kann. Zu den bekannten Effekten der endokrinen Umweltchemikalien gehören u. a. Disfunktionen, Abnormalitäten, Missbildungen, Verhaltensänderungen, Verweiblichung u. Vermännlichung. Auswirkungen auf den Boden sind nicht bekannt. Eine antibakterielle Wirkung von Steroiden ist für Bakterien und Proto-

zoen bekannt. Bestimmte Pilze scheinen zum Um/Abbau befähigt zu sein.

Ivermectin (I)

Ivermectin gehört zu der Gruppe der Makrolid-Antibiotika, ein antiparasitäres Arzneimittel, das verbreitet als antiparasitäres Arzneimittel in der kommerziellen Tierproduktion, v. a. bei Rindern, Schweinen und Schafen eingesetzt wird.

Generell wirkt Ivermectin in vivo gegen adulte Stadien und Larven der meisten Magen-Darm-Nematoden und Lungenwürmern, Magen- und Haut-Habronematose, Mikrofilarien, alle Stadien der Magen- und Hautasseln, Läuse und Rändemilben. Da Ivermectin sehr effektiv wirkt, wird es weltweit eingesetzt. Bei einer Nettoproduktion von Rind- und Kalbfleisch von ca. 180.000 t pro Jahr (deutsche Jahresproduktion 1990) würde dies allein für diese Tiergruppe in Deutschland einen Ivermectinverbrauch von 1.050 kg Subkutan und 2.600 kg im Aufguss bei 3-monatiger Anwendung pro Jahr bedeuten.

Von Rindern und Schafen werden mindestens 98 % über den Kot wieder ausgeschieden, nach 7 Tagen = 60 %. Somit kann Ivermectin über Gülle und Dung in den Boden gelangen. Bei *Eisenia fetida*, die 2 Wochen Ivermectin ausgesetzt wurden, stieg die Mortalitätsrate ab einer Konzentration von 4 mg/kg Boden an. Der LC_{50} lag bei 15.8 mg/kg. Ab 8 mg/kg zeigten die Regenwürmer keine Gewichtszunahme mehr.

Monensin (M)

Monensin wird durch Fermentation des Schimmelpilzes *Streptomyces cinnamonensis* gewonnen und zumeist als antibiotischer Leistungsförderer in der Rindermast eingesetzt, dem Futtermittel beigemischt (Ergotropika). Es bewirkt eine Zunahme des Gewichtes bei gleichzeitiger Reduktion der Futtermenge. Seine lipophile Eigenschaft ist Grund für die enorme biologische Wirkung, insbesondere ausgeprägte antimikrobielle Effekte gegen grampositive Bakterien, eine antifungale Aktivität, antivirale Wirkung gegen tierpathogene Viren u.a.

Über das konkrete pharmakokinetische Verhalten von Monensin ist bislang nichts bekannt, die Informationen sind öffentlich nicht zugänglich.

Es ist aber davon auszugehen, dass aufgrund des geringen Nachweises von Monensin in Geweben (Resorption), ein ± großer Anteil wieder ausgeschieden wird. In der Literatur sind negative Auswirkungen auf die Methangärung in Biogasanlagen bekannt. Untersuchungen aus den USA zeigten, dass die Persistenz von verschiedenen Antibiotika im Boden von 1 Tag bis zu mehreren Wochen reichte.

Zusammenfassung

1. Mit Ausnahme von Ethinylöstradiol konnten zumeist signifikante Effekte auf die mikrobielle Biomasse und ihrer Aktivität über einen Zeitraum von 48 Tagen nachgewiesen werden. Signifikante Effekte beschränkten sich außer bei Nonylphenol auf mittlere bis hohe Konzentrationen.
2. Nachgewiesene Effekte waren sowohl Depressionen als auch Stimulationen. Stimulationen bei den mikrobiellen Stoffwechselaktivitäten werden durch das Phänomen 'kryptisches Wachstum' erklärt. Dies kann als ein indirek-

ter Nachweis für strukturelle Veränderungen innerhalb der mikrobiellen Gemeinschaft angesehen werden.

3. Eine abschließende Bewertung des Verhaltens dieser synthetischen Stoffe im Boden ist bislang ausgesprochen

schwierig. Viele Substanzen sind noch nicht ausreichend erfasst, eine vollständige Analyse noch nicht möglich. Die vorgestellte Untersuchung gibt als Laboransatz mit definierten Rahmenbedingungen nur einen ersten Hinweis auf mögliche Effekte in Böden.

Ausgewählte Literatur

- ALEF, K. & KLEINER, D. (1989): Rapid and sensitive determination of microbial activity in soils and in soil aggregates by dimethylsulfoxid reduction.- In: *Biology and fertility of soils* 8, 349–355.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. (1978): A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils.- In: *Soil Biology and Biochemistry* Vol. 10, 215–221.
- CHIU, S.-H. L. & LU, A. Y. H. (1989): Metabolism and tissue residues.- In: CAMPBELL, W.C. (ed.) (1989): *Ivermectin and Abamectin*, N.Y., 131–143.
- GALVALCHIN, J. & KATZ, S. (1994): The persistence of fecal-borne antibiotics in soil.- In: *Journal of AOAC International* 77 (2), 481–485.
- GARDNER, B. (1993): Agra europe special report No. 68 – The EC animal feed sector 1993–1998, London.
- GIGER, W. (1989): Organische Verunreinigungen im Klärschlamm: Herkunft und Verhalten in der Umwelt.- In: *Mitteilungen der EAWAG* 28, 8–11.
- GUNN, A. & SADD, J.W. (1994): The effect of ivermectin on the survival, behaviour and cocoon production of the earthworm *Eisenia fetida*.- In: *Pedobiologia* 38, 327–333.
- HAGEMEISTER, H. (1987): Spezielle Aspekte der Wirkung von Leistungsförderern beim Wiederkäuer unter besonderer Berücksichtigung von Versuchen an Milchkühen.- In: *VDLUFA (Hrsg.) Leistungsförderer in der Tierproduktion, Kongreßband 1986, VDLUFA-Schriftenreihe, Darmstadt*, 20, 15–28.
- HERD, R. (1995): Endectocidal drugs: ecological risks and counter-measures. – *International Journal for Parasitology* 25, 875–885.
- KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG (AbfKlärV) vom 15. April 1992 (BGBl. I S.912).
- KLÖPPER, W. (1996): Environmental hazard assessment of chemicals and products – V. Anthropogenic chemicals in sewage sludge.- In: *Chemosphere* Vol. 33, 1067–1081.
- KROKER, R. (1985): Potentielle Umfeldbelastung durch Arzneimittel und Wirkstoffe und deren Rückstände in tierischen Ausscheidungen. – *DLG-Kolloquium*, 23.4.1985, Bonn Röttgen.
- NORPOTH, K., NEHRKORN, A., KIRCHNER, M., HOLSEN, H. & TEIPEL, H. (1973): Untersuchungen zur Frage der Löslichkeit und Stabilität ovulationshemmender Steroide in Wasser, Abwässern und Belebtschlamm. – In: *Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene, I. Abt. Orig. B* 156, 500–511.
- POSTGATE, J. R. (1967): Viability measurements and the survival of microbes under minimum stress. – In: ROSE, A. H. & WILKINSON, J. F. (ed.) (1967): *Advances in microbial physiology*, 1–23, Academic Press, London, New York.
- PURDOM, C.E., HARDIMAN, P.A., BYE, V.J., ENO, N.C., TYLER, C.R. & SUMPTER, J.P. (1994): Estrogenic effects of effluents from sewage treatment works. – *Chem. Ecol.* 8, 275–285.
- RATHNER, M. & SONNEBORN, M. (1979): Biologisch wirksame Östrogene in Trink- und Abwasser. *Forum Städte-Hygiene*, 30, 45–49.
- RICHTER, A., LÖSCHER, W. & WITTE, W. (1996): Leistungsförderer mit antibakterieller Wirkung: Probleme aus pharmakologisch/toxikologischer und mikrobiologischer Sicht. – In: *Der Praktische Tierarzt*, Vorabdruck.
- SCHLUMPF, M. & LICHTENSTEIGER, W. (1996): Hormonaktive Xenobiotika – Störungen von Fortpflanzungs- und Entwicklungsprozessen.- In: *Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie* 6, 321–332.
- SHORE, L. S., GUREVITZ, M. & SHEMES, M. (1993): Estrogen as an environmental pollutant.- In: *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 51, 361–366.
- STUMM-ZOLLINGER, E. & FAIR, G. M. (1965): Biodegradation of steroid hormones.- In: *Journal of Water Pollution Control Federation* 37, S.1506–1510.
- TABAK, H. H. & BUNCH, R. L. (1970): Steroid hormones as water pollutants- I. Metabolism of natural and synthetic ovulationinhibiting hormones by microorganisms of activated sludge and primary settled sludge. – In: *Developments in Industrial Microbiology*, 11, 367–376.
- TABAK, H. H., TLOOMHUFF, R. N. & BUNCH, R. L. (1981): Steroid hormones as water pollutants – II: Studies on the persistence and stability of natural urinary and synthetic ovulation-inhibiting hormones in untreated and treated wastewaters. – In: *Developments in industrial microbiology*, 22, 497–519.
- TURAN, A. (1995): Exkretion natürlicher und synthetischer Östrogene und ihrer Metabolite: Vorkommen und Verhalten im Wasser.- In: *UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (1995): Fachgespräch Umweltchemikalien mit endokriner Wirkung*, Berlin, 9.–10. März 1995, 16–21.
- UMWELTBUNDESAMT (1996): Sachstandsbericht zu Auswirkungen der Anwendung von Clofibrinsäure und anderen Arzneimitteln auf die Umwelt und die Trinkwasserversorgung gemäß Beschluss der 44. Umweltministerkonferenz vom 11./12. Mai 1995 in Dessau.
- WINTERHALDER, K. (1985): Untersuchungen über den Einfluss von Desinfektionsmitteln, Futterzusatzstoffen und Antibiotika auf die Biogasgewinnung aus Schweinegülle – Dissertation der Universität Hohenheim.

PD Dr. Christoph Emmerling
Dipl.-Geogr. Charlotte Pfeiffer
Universität Trier
FB VI - Bodenkunde
54286 Trier
Telefon: (0651) 2010

Schriftenreihe „Studien und Tagungsberichte“ (ISSN 0949-0838)

- Band 1 **Geotechnik im Deponiebau**
Ausgewählte Beiträge aus den Geotechnischen Seminaren des Landesumweltamtes Brandenburg 1992/94 (1994)
- Band 2 **Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg**
Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg – dezentrale Lösungen – Tagungsbericht über das Abwassersymposium am 21.10.1992 (1993)
- Band 3 **Das Trockenjahr 1992 im Land Brandenburg**
Eine Modellbetrachtung aus wasserwirtschaftlicher Sicht – Studie (1994)
- Band 4 **Abfallwirtschaft und Bergbau**
Beiträge der Fachtagung „Abfallwirtschaft/Kreislaufwirtschaft – Herausforderung für die Region Cottbus und die Braunkohlenindustrie“ am 05./06.04.1995 (1995)
- Band 5 **Luftqualität 1975 bis 1990**
Ein Rückblick für das Gebiet des heutigen Landes Brandenburg – Studie (1995)
- Band 6 **Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen**
Bergbaubedingte Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen – Analyse, Bewertung und Prognose – Untersuchungen im Lausitzer Braunkohlenrevier - Studie (1995)
- Band 7 **Rüstungsaltslasten**
Beiträge des Fachseminars „Rüstungsaltslasten“ am 22.06.1995 in Potsdam (1995)
- Band 8 **Die Havel**
Naturwissenschaftliche Grundlagen und ausgewählte Untersuchungsergebnisse – Studie (1995)
- Band 9 **Rieselfelder Brandenburg-Berlin (1995)**
– Fachtagung „Rieselfelder Brandenburg-Berlin“ im Februar 1995
– Bericht des Wissenschaftlich-technischen Beirates Rieselfelder (WTB) von 12/1995
- Band 10 **Ausweisung von Gewässerrandstreifen**
Studie zur Erarbeitung von Grundlagen für die Ausweisung von Gewässerrandstreifen – Studie (1996)
- Band 11 **Brandenburger Ökologietage I: Natur- und Ressourcenschutz durch nachhaltige Landnutzung: Fachtagung des Landesumweltamtes am 06.11.1996 – Tagungsbericht (1996)**
- Band 12 **Radioaktive Altlasten auf WGT-Flächen**
Erfassung und Sanierung radioaktiver Belastungen auf ehemaligen WGT-Liegenschaften im Land Brandenburg – Studie (1996)
- Band 13/14 **Rieselfelder südlich Berlins**
Altlast, Grundwasser, Oberflächengewässer/Gemeinsamer Abschlußbericht 1996
- Band 15 **Die sensiblen Fließgewässer und das Fließgewässerschutzsystem im Land Brandenburg – Studie (1998)**
- Band 16 **Das Sommerhochwasser an der Oder 1997 – Fachbeiträge anlässlich der Brandenburger Ökologietage II – Studie (1998)**
- Band 17 **Naturschutz in der Bergbaufolgelandschaft – Leitbildentwicklung – Studie (1998)**
- Band 18 **Landschaftsökologische Untersuchungen an einem wiedervernässten Niedermoor in der Nuthe-Nieplitz-Niederung – Studie (1998)**
- Band 19 **Umweltradioaktivität – Bericht 1998 für das Land Brandenburg (1999)**
- Band 20/21 **Untersuchungen der Oder zur Belastung der Schwebstoff- bzw. Sedimentphase und angrenzender Bereiche – Forschungsbericht 1998 (Anlagenband gesondert) 1999**
- Band 22 **Schadstoffbelastung von Böden im Nationalpark „Unteres Odertal“ vor und nach dem Oderhochwasser 1997 – Studie 1999**
- Band 23 **Geogen bedingte Grundbelastung der Fließgewässer Spree und Schwarze Elster und ihrer Einzugsgebiete – Studie 1999**
- Band 24 **Brandenburgisches Symposium zur bodenschutzbezogenen Forschung – Tagungsbericht vom 22. Juni 2000 (2000)**
- Band 25 **Humanarzneimittel in der Umwelt – Erhebung von Humanarzneimittelmengen im Land Brandenburg 1999 (Studie 2000)**

Herausgeber:

Landesumweltamt Brandenburg (LUA) • Berliner Straße 21–25 • 14467 Potsdam
FON: 0331/23 23 259 • FAX: 0331/29 21 08
e-mail: infoline@munr-lua-p-b.brandenburg.de

Schutzgebühr je Band 15,- DM; Doppelband 20,- DM