



Umwelt und Geologie
Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft 1

Beiträge zum Bodenschutz in Hessen

Bodenschutz im Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie



H e s s i s c h e s L a n d e s a m t f ü r U m w e l t u n d G e o l o g i e

Umwelt und Geologie
Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft 1

Beiträge zum Bodenschutz in Hessen

Bodenschutz im hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie

Wiesbaden, 2001

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Impressum

Umwelt und Geologie
Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft 1, 2001

ISSN 1617-4038
ISBN 3-89531-603-2

Beiträge zum Bodenschutz in Hessen

Bodenschutz im Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie

Bearbeiter: Karl-Heinz Emmerich unter Mitarbeit von Klaus Friedrich, Fred Rosenberg, Karl-Josef Sabel,
Ludolf Schrader, Thomas Vorderbrügge,
mit Beiträgen von Helmut Arnold (HMULF), Beate Cornelius (RP Darmstadt)

Druck: Druckhaus Thomas Müntzer GmbH, Bad Langensalza

Herausgeber, © und Vertrieb:
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Telefon: 06 11/70 10 34
e-mail: vertrieb@hlug.de
Telefax: 06 11/9 74 08 13

Nachdruck -auch auszugsweise- nur mit Quellenangabe und unter Überlassung von 5 Belegexemplaren gestattet.

Inhalt

Inhalt	3
Boden – was ist das?	5
Böden und ihre regulierenden Funktionen im Naturhaushalt	6
Böden: Filter und Puffer für Schadstoffe	6
Böden: Ausgleichskörper im Wasserkreislauf	7
Bodenschutz braucht wissenschaftliche Grundlagen	8
Bodenkarten: Vom zweidimensionalen Abbild der Erdoberfläche zur vierdimensionalen Landschaftsbetrachtung	8
Wie belastet ist unser Boden? Wir erfassen den Bodenzustand.	11
Natürliche und durch den Menschen hervorgerufene Bodenbelastungen	11
Das natürliche Bodenmaterial ist nicht überall gleich: Geogene Grundgehalte	12
Acker, Grünland, Wald: Ein schwieriger Vergleich	13
Hintergrundgehalte: Durch den Menschen beeinflusste großräumige Bodenbelastungen	15
Erbe einer tropischen Vergangenheit: Paläoböden im Vogelsberg	18
Bodenversauerung schon in vorindustrieller Zeit: Podsole im Odenwald	24
Durch den Menschen in die Umwelt gebracht: Organische Schadstoffe	27
Instrument des vorsorgenden Bodenschutzes: Boden-Dauerbeobachtung	31
Fachinformationssystem Boden/Bodenschutz	32
Bodenschätzung	34
Fenster in die Erdgeschichte: Geotope.	36
Böden als Archive der jüngeren Landschaftsgeschichte	38
Böden als Archive der Kulturgeschichte	39
Bodenschutz in der praktischen Anwendung	43
Grundlagen für den vorsorgenden Bodenschutz	43
Fachanwendungen im FIS Boden/Bodenschutz	43
Thematische Bodenkarten	44
Wie groß ist die natürliche Fruchtbarkeit unserer Böden? Austauschkapazität	45
Wie empfindlich sind unsere Böden gegenüber sauren Niederschlägen ? Kalzium- und Magnesiumvorräte	45
Böden als Mittler zwischen Pflanzen und Grundwasser? Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität, physikochemisches Filtervermögen	45
Das Ertragspotenzial unserer Böden	47
Böden als Lebensraum, Biotopentwicklungspotenzial	48
Wofür braucht ein Winzer Bodenkarten? Weinbaustandortatlas	51
Was hat saubere Luft mit Böden zu tun? Luftreinhaltepläne	51
Wir beobachten Prozesse im Boden	54
Unwiederbringlicher Bodenverlust: Bodenerosion	58

Inhalt

Beispiele für den angewandten Bodenschutz	61
Auswirkungen von Schwermetallimmissionen auf die Böden der Umgebung	61
Boden und Grundwasser: Nitrataustrag in Wasserschutzgebieten	63
Untersuchungen zum Abbau von Schadstoffen im Boden	67
Bodenbelastung als Folge eines Chemieunfalls	67
Bodenbelastung in Folge großflächiger Schädlingsbekämpfung	69
Erfahrungen mit der Bodenkarte 1:50 000 bei der Erstellung des Landschaftsrahmenplanes Südhessen	70
Standorttypisierung für die Biotopentwicklung	71
Ertragspotenzial des Bodens	71
Nitratrückhaltevermögen des Bodens	71
Weitere bodenrelevante Themen im Landschaftsrahmenplan	72
Gesetzliche Grundlagen des Bodenschutzes in Hessen	73
Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG vom 17. 3. 1998; BGBl. I S. 502)	73
Verordnung über die Bestimmung der zuständigen Behörden in Hessen nach dem BBodSchG (ZuständigkeitsVO vom 9. 3. 1999; GVBl. I S. 188)	74
Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung – BBodSchV vom 12. 7. 1999; BGBl I S. 1554)	74
Bodenschutz im übrigen Naturschutz-, Umwelt-, Planungs- und Bodennutzungsrecht	75
Auszüge aus der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV vom 12. 7. 1999; BGBl I S. 1554)	75

Boden? Was ist das?

„Mutterboden“ sagt der Volksmund aus gutem Grunde. Der Boden ernährt wie eine Mutter alle Lebewesen. Trotzdem wird er von uns oft behandelt wie der letzte Dreck.

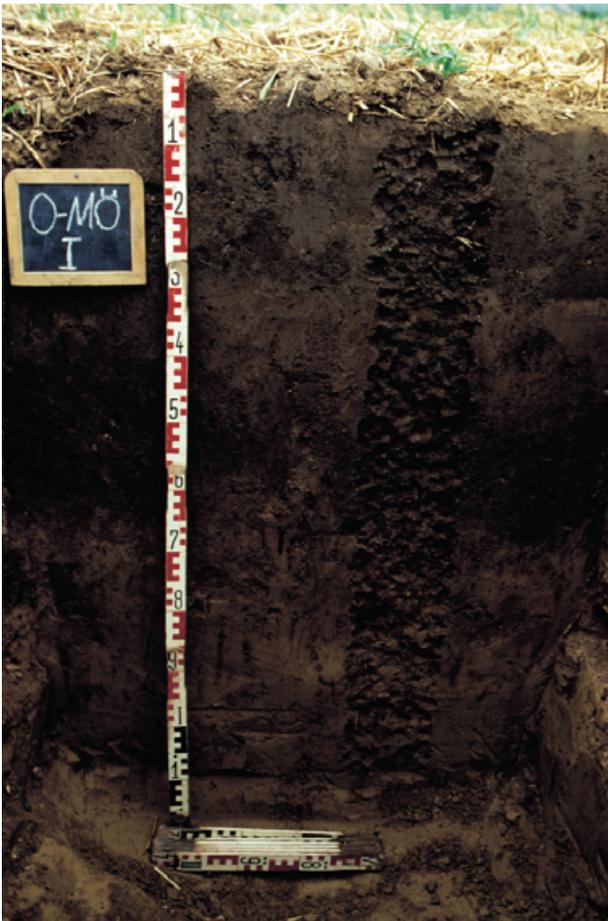


Abb. 1. Tschernosem-Parabraunerde in der Wetterau, ein fruchtbarer Ackerboden aus Löss.

Alle menschlichen Aktivitäten sind untrennbar mit der Nutzung der Böden verbunden. Der Boden ist die Grundlage der menschlichen Geschichte und Kultur, was sich schon aus dem Stamm des Wortes Kultur (*lat.* colere, Boden bestellen) ableiten lässt.

Der Boden oder besser die Böden sind – neben Wasser und Luft – die wichtigste Lebensgrundlage für Pflanzen, Tiere und den Menschen. In einer Hand voll Erde befinden sich mehr Lebewesen als Menschen auf der Erde leben.



Abb. 2. Bänderbraunerde in der Unter-Main-Ebene, ein nährstoffarmer Waldboden aus Flugsand.

Diese Organismen zersetzen abgestorbene pflanzliche und tierische Substanz, setzen damit Nährstoffe frei und schließen so den Kreislauf der Natur. Böden im wissenschaftlichen Sinne sind ein komplexes **vierdimensionales** Raum-Zeit-System, in dem sich Gestein (Lithosphäre), Wasser (Hydrosphäre), Luft (Atmosphäre) und die belebte Natur (Biosphäre) durchdringen. Oft wird vergessen, dass Böden für ihre Entstehung Tausende von Jahren benötigen. Böden sind nicht vermehrbar und auch im Zeithorizont menschlicher Kulturgeschichte nicht wiederherstellbar.

Böden sind Regulatoren vielfältiger Umwelteinflüsse und spielen eine wichtige Rolle bei der Umsetzung, Speicherung und dem Transport von Stoffen und Energie. Beispielhaft seien die Filte-

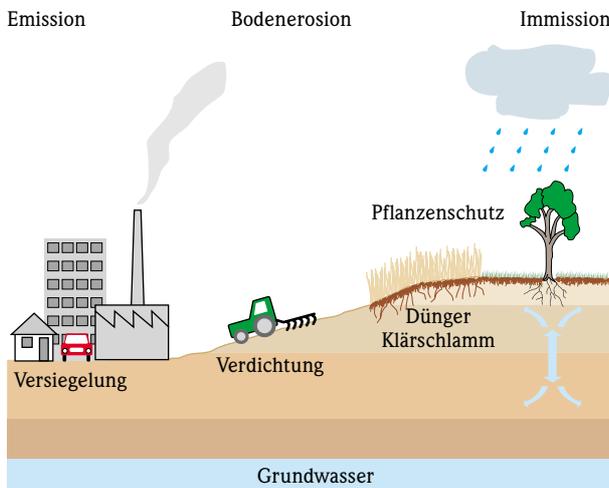


Abb. 3. Bodenbelastungen.

rung von Inhaltsstoffen aus dem Niederschlag oder das Speichervermögen für Wasser, Nähr- und Schadstoffe genannt.

Äußere Einflüsse wie Stoffeinträge durch Industrieabgase, Verkehr und Landwirtschaft sowie nutzungsbedingte Bodenerosion oder -verdichtung, aber auch die völlige Versiegelung durch Überbauung beeinträchtigen die Funktion der Böden als Grundlage für die Vegetation oder als Filter und Puffer gegenüber Schadstoffen. Veränderungen der Bodenqualität können fast unmerklich über lange Zeiträume erfolgen und haben unterschiedliche Auswirkungen auf das komplizierte Wirkungsgefüge des Bodens. Oft sind sie nicht mehr rückgängig zu machen.

Daher wird der Schutz des Bodens zu einer immer wichtiger werdenden gesellschaftspolitischen Forderung und ökologischen Herausforderung und hier kommt dem Vorsorgeprinzip besondere Beachtung zu. Bodenschutz bedeutet nicht nur das Reparieren von Altlasten, sondern es werden Maßnahmen getroffen, um das Eintreten schädlicher Bodenveränderungen im Vorfeld zu verhindern.

Zur Durchführung vorsorgender Bodenschutzaufgaben werden umfassende Basisinformationen

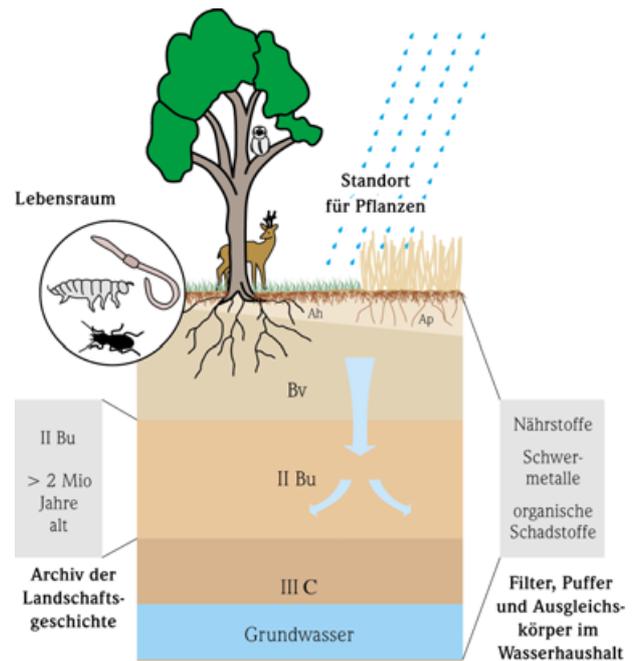


Abb. 4. Bodenfunktionen im Naturhaushalt.

benötigt, insbesondere wegen des heterogenen Charakters des Bodens. Auch die Bewertung von vorhandenen und absehbaren Belastungen, bei denen der Boden seine Funktion im Naturhaushalt dennoch voll erfüllt, kann nur auf der Grundlage einer fundierten Kenntnis des Zustandes und der Verbreitung der Böden erfolgen.

In dem vorliegenden Heft werden einige wichtige Bereiche des Bodenschutzes – von der Erfassung der Grundlagen bis zur Anwendung in der Planung – aufgezeigt, mit denen das Hessische Landesamt für Bodenforschung (HLfB) beauftragt war bzw. die Nachfolgeinstitution Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) betraut ist.

Böden und ihre regulierenden Funktionen im Naturhaushalt

Böden: Filter und Puffer für Schadstoffe

Böden bilden das zentrale Medium zwischen der Atmosphäre, dem Gesteinsuntergrund mit dem Grundwasser und der Pflanzenwelt. Die Beziehung zu Mensch und Tier ist meist indirekt. Schadstoffe, die eingetragen werden, können je nach Boden mehr oder weniger zurückgehalten und dadurch in ihrer Wirkung abgemildert wer-



Abb. 5. Boden als Lebensraum. Ein Wissenschaftler erfasst die Regenwurmpopulation.

den. Versauerung führt u.a. dazu, dass die Löslichkeit von Schwermetallen zunimmt und diese ins Grundwasser ausgewaschen oder von den Pflanzen aufgenommen werden und so schließlich in die Nahrungskette gelangen können.

Böden: Ausgleichskörper im Wasserkreislauf

Böden sind aber nicht nur chemische Puffer, sondern sie bilden auch einen rein mechanischen Fließwiderstand für Niederschläge und Versickerungswasser. Je nach Porenvolumen und -verteilung können Böden Wasser speichern und langsam an die Pflanzen abgeben oder dem Grundwasser zuführen. Nicht verdichtete Böden weisen eine höhere Aufnahme von Nieder-

schlagswasser auf. Versiegelte und verdichtete Böden erhöhen hingegen den direkten Oberflächenabfluss und begünstigen damit die Erosion und die Entstehung von Hochwässern.

Das Wasserspeichervermögen ist gleichzeitig auch ein weiterer Puffer gegenüber Schadstoffeinträgen ins Grundwasser. Je länger im Bodenwasser gelöste Stoffe im Wurzelraum zurückgehalten werden, umso mehr können Pflanzen davon aufnehmen und umso weniger können mit dem Sickerwasser ins Grundwasser gelangen. Ein aktuelles Beispiel dafür ist Nitrat, ein für das Pflanzenwachstum essenzieller Stoff, der im Trinkwasser jedoch schädlich und unerwünscht ist.

Bodenschutz braucht wissenschaftliche Grundlagen

Bodenkarten: Vom zweidimensionalen Abbild der Erdoberfläche zur vierdimensionalen Landschaftsbetrachtung

Um Bodenschutz wirksam und flächendeckend betreiben zu können, ist eine flächendeckende bodenkundliche Landesaufnahme notwendig. Sie gehört zu den originären Aufgaben des HLUg. Ziel ist die Erfassung und Beschreibung der Bodendecke Hessens, die Untersuchung ihrer räumlichen Struktur, das Erarbeiten von Bodenverteilungsmustern und ihre Darstellung in Bodenkarten.

Informationen für die Bodenkarten werden im wesentlichen durch Handbohrungen bis ca. 2 m Tiefe und die Beschreibung von Aufschlüssen gewonnen. Mit der Bodenkartierung werden der Stoffbestand, die biologischen, chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften sowie die Entstehung der Böden dokumentiert. Über die Feststellung und Kennzeichnung des Ist-Zustandes einzelner Bodenprofile kann das Prozessgeschehen auch in der Fläche abgeleitet werden.

Die Gesamtheit der Böden wird als **Pedosphäre** (pedos gr. Boden) bezeichnet, ihr Aufbau kann je nach Landschaft sehr heterogen sein. Die Bodenkarte versucht, die Variabilität des Bodenmosaiks maßstabgerecht wiederzugeben. Vereinfacht gilt der Leitsatz: Je gröber der Maßstab, desto stärker der Grad der Generalisierung, desto geringer die Auflösung. Charakteristische Besonderheiten und kleinräumig bedeutsame Bodengesellschaften (z.B. Moore) werden wegen ihrer Bedeutung flächenhaft überzeichnet, um sie darstellen zu können (vgl. Abb. 7).

Die kleinsten Grundeinheiten sind die Bodenformen, sie werden über die Kombinationen von Bodentypen und Ausgangssubstrat definiert. Die klassischen Bodenkarten des HLUg liegen im Maßstab 1:25 000 (Messtischblatt) vor, allerdings nicht flächendeckend für Hessen. Hier wird in Leitbodenformen gegliedert. Begleitböden werden erwähnt, ihre Verteilung innerhalb der Kar-

tereinheiten jedoch nicht beschrieben und quantifiziert.

Im neuen Kartenwerk 1:50 000 wird diese Sicht angestrebt. In der derzeit vorliegenden 1. Ausbaustufe sind die Kartiereinheiten noch traditionell monotypisch beschrieben, d.h. jeder Einheit wird ein Leitbodenprofil zugeordnet, das die für die Ableitungskarten notwendigen Attribute besitzt. Die Vorteile dieses Kartenwerkes sind:

- Die Bodenkarte 1:50 000 liegt für Hessen flächendeckend digital vor.
- Es gibt eine Generallegende.
- Die Daten sind rechenfähig.
- Der Nutzer kann beliebige Kartenausschnitte und Ableitungen wählen.
- Die Bodenkarten sind Bestandteil des Fachinformationssystems Boden/Bodenschutz.
- Das Kartenwerk ist fortschreibungsfähig.

Die Bodenübersichtskarten 1:200 000 werden einem länderübergreifend vereinbarten Blattschnitt angepasst. Unter der Federführung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover wird das Blatt CC 4718 Kassel erscheinen.

Zukünftige Anforderungen an eine nachhaltige Bodennutzung und einen umfassenden Bodenschutz benötigen eine mehr anwendungsorientierte Bodenkartierung und flächenhafte Beschreibung des Schutzgutes Boden.

Für praxisrelevante Fragestellungen und planerische Aussagen gewinnen die mineralische Zusammensetzung des Bodenausgangssubstrates und der Wasserhaushalt zunehmend an Bedeutung, während das klassische Gliederungsmerkmal „Bodentyp“ in den Hintergrund tritt. Die bodenbildenden Faktoren als steuernde Größen werden mit zunehmender Verkleinerung des Maßstabes stärker gewichtet und bestimmen Legendeninhalt und -struktur. Substrat- und reliefabhängige Vergesellschaftungen bestimmen die Darstellungsform. Dies erfordert eine ganzheitliche, unter Beachtung des Faktors Zeit, 4-di-

Beiträge zum Bodenschutz in Hessen

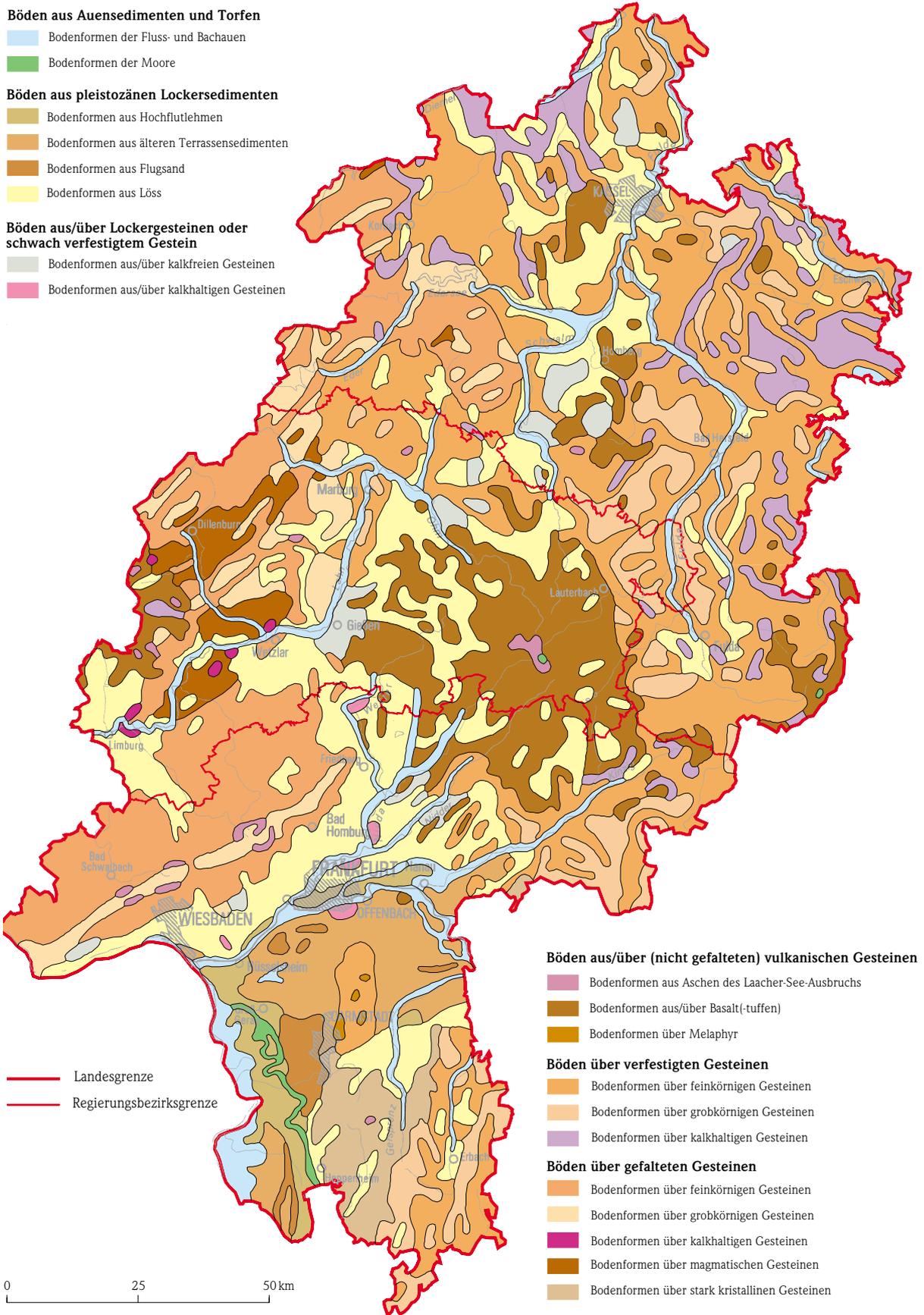


Abb. 6. Bodenübersichtskarte von Hessen.

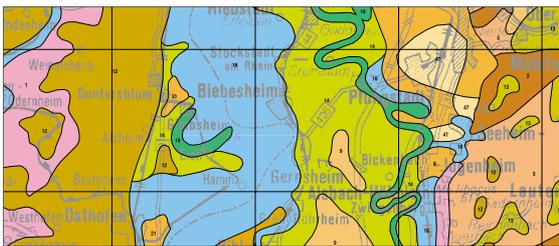
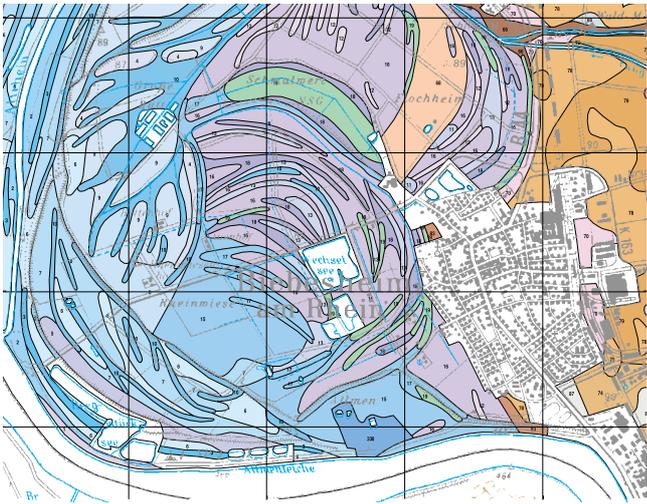
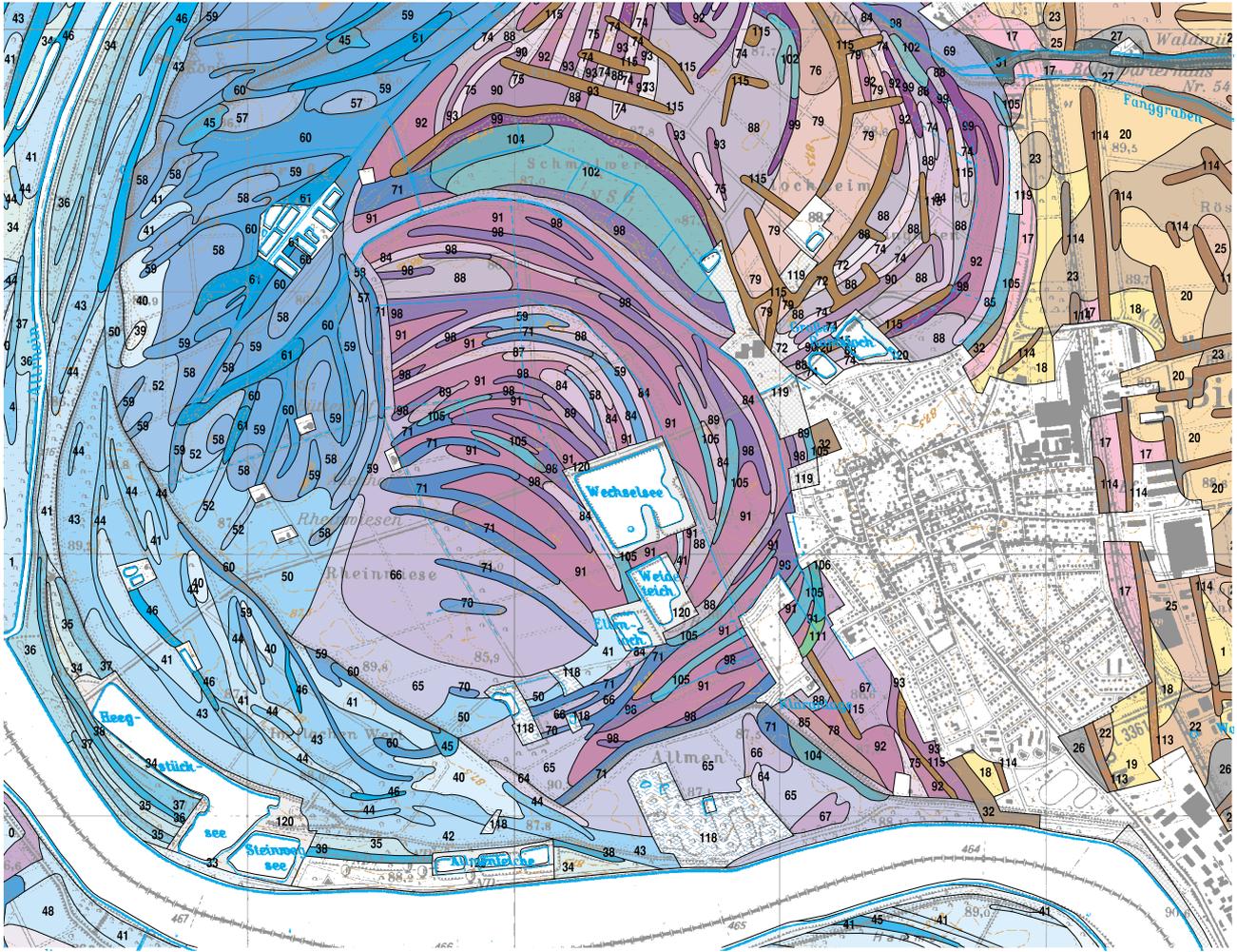


Abb. 7. Gegenüberstellung der Informationsdichte von Bodenkarten verschiedener Maßstäbe; oben: 1:25 000, Mitte: 1:50 000, unten 1:500 000.



Abb. 8. Ein Bodenprofil wird aufgenommen.

mensionale Betrachtung der Landschaft. Die Gliederungsstruktur basiert auf der Bodenlandschaft, die sich in kleinste Flächenelemente zerlegen und über mehrere Ebenen hinweg hierarchisch bis zu Regionen und Zonen zusammenfassen lässt.

Die Abkehr von der eher isolierten Betrachtung eines Profils hin zur synoptischen Sicht einer stoffhaushaltmäßigen zusammenhängenden Bodengesellschaft erschließt neben dem vertikalen auch das laterale Prozessgeschehen in der Landschaft.

Selbst mit großmaßstäbigen Karten gelingt es in fein differenzierten Landschaften nicht immer, die kleinste einer Bodengesellschaft zugrunde liegende Einheit, die Bodenform, im Kartenbild darzustellen. Diese Information kann aber in Informationssystemen wie der Flächendatenbank im FIS Boden/Bodenschutz vorgehalten werden.

Wie belastet ist unser Boden? Wir erfassen den Bodenzustand.

Natürliche und durch den Menschen hervorgerufene Bodenbelastungen

Zur Ableitung konkreter Bodenschutzmaßnahmen müssen die Gehalte von Nähr- und Schadstoffen in Böden bekannt sein. Ferner ist es notwendig, die natürlichen gesteinsbürtigen (**geogenen**) Hintergrundgehalte, die An- oder Abreicherung unter natürlichen Bedingungen durch bodenbildende (**pedogene**) Prozesse von durch den Menschen verursachten (**anthropogenen**) Belastungen zu trennen. Auch in der Umweltschutz-Praxis, z.B. bei Altlastensanierungen, der Verwertung von Erdaushub oder der ordnungsrechtlichen Gefahrenabwehr, stellt sich häufig die Frage nach natürlich in Gesteinen und Böden enthaltenen Schadstoffen und hier besonders nach Schwermetallen. Anthropogene Bodenverunreinigungen mit Schwermetallen können nur vor dem Hintergrund der natürlichen Stoffgehalte festgestellt und beurteilt werden. Nach solchen nachvollziehbaren Daten besteht zunehmend Nachfrage, zumal die geogenen Grundgehalte nicht überall einheitlich sind, sondern durch die Verschiedenartigkeit von Gesteinen des geologischen Untergrundes beeinflusst werden. Zum Beispiel weisen Basaltgesteine von Natur aus zumeist hohe Chrom- und Nickelgehalte auf, die ihrerseits dem über den Gesteinen liegenden Boden teilweise „vererbt“ werden. Ohne Kenntnis dieser geogenen Besonderheit bestünde in Basaltgebieten ein permanenter Handlungs- und Aufklärungsbedarf, weil Schwermetallricht- oder Grenzwerte flächenhaft überschritten sein können.

Über die Atmo- und Biosphäre (vgl. Abb. 3) werden Stoffe in den Boden eingetragen oder darin umgesetzt (Niederschlagsdeposition bzw. Vegetation und Tiere). Verstärkt wurden diese Prozesse durch den zunehmenden Eingriff des Menschen in den Naturhaushalt. Durch landwirtschaftliche Bodennutzung werden dem Boden mit der Ernte ständig Stoffe entzogen. Diesem Stoffentzug tritt man durch Düngung entgegen. Mit zunehmender Industrialisierung kommt ein verstärkter atmosphärischer Eintrag von Schadstoffen hinzu.

Das natürliche Bodenmaterial ist nicht überall gleich: Geogene Grundgehalte

Häufig hat die Bodenbildung in oberflächennahen Deckschichten stattgefunden, die stofflich von der Zusammensetzung des im Untergrund anstehenden Gesteins abweichen. In unkomplizierten Fällen kann die Zusammensetzung des Bodens unmittelbar auf die des unterlagernden Gesteins zurückgeführt werden. Abb. 9 zeigt diesen „Durchpauzeffekt“ als Tiefenverlauf der – zuvor rechnerisch auf das „Mineralgerüst“ normierten – Konzentrationen ausgewählter chemischer Elemente in einem Bodenprofil, das stofflich dem unterlagernden Gestein nahesteht. Titan, Kalium und Nickel beispielsweise haben über das gesamte Profil, vom frischen Gestein über das verwitterte Gestein bis in den humosen Oberboden hinein, in etwa jeweils die gleiche Konzentration. Die Anreicherungen von Blei und Zink im Oberboden sind hingegen nicht geogen bedingt, sondern Folge der jahrzehntelangen flächenhaften Belastung mit trockenem und nassem Niederschlag. Dieser „ubiquitäre“ anthropogene Eintrag ist besonders in den Mittelgebirgen ausgeprägt.

Schwermetallcharakteristika der verschiedenen Gesteine können sich also in den Boden durchpausen. In der Regel ist aber diese direkte Beziehung durch Decklagen mit geringerem Gesteinsbezug mehr oder weniger gestört, denn unsere Böden sind nicht monogenetisch aus dem anstehenden Untergrundgestein entstanden, sondern sie spiegeln oft eine sehr komplexe Vorgeschich-

te wider (s. Kap. Archivböden). Fast alle Böden unserer Mittelgebirge sind in Verwitterungsdecken und Fließerden entwickelt, die während der Eiszeiten unter Dauerfrostklima entstanden. In den Eiszeitaltern gab es in Hessen im Gegensatz zu Nord- und Süddeutschland keine Gletscher, sondern es herrschten sog. periglaziale Klimabedingungen. Der Boden war im Untergrund ständig gefroren und von Tundravegetation bedeckt. Nur in den kurzen arktischen Sommern taute der Boden an der Oberfläche auf. Durch das jährliche Auftauen und Gefrieren der obersten Bodenschichten über lange Jahre wurde das anstehende Gestein mechanisch verwittert. Schon bei sehr geringen Hangneigungen auf fast ebenen Flächen kam es in den sommerlichen Auftauphasen zu Bodenfließen (**Solifluktion**). Daneben führte das Auffrieren und Aufpressen zu Durchmischungsvorgängen. So wurden durch Wind verblasene und an der Oberfläche abgelagerte (**äolische**) Sedimente (**Löss**) in den Unterboden eingemischt (**Kryoturbation**). An Gesteinsgrenzen kam es auch zu einer Überwanderung und einer Durchmischung der hangaufwärtigen mit den hangabwärtigen Gesteinen. Das Ausgangssubstrat der Bodenbildung, die nach der letzten Eiszeit vor ca. 10 000 Jahren einsetzte, ist also mit dem anstehenden Festgestein stofflich nicht identisch. Die Beimischung von Löss führt je nach Gestein bei einzelnen Elementen zu An- oder Abreicherungen im Vergleich zum darunter liegenden Locker- oder Festgestein. Die Bodenbildung der letzten 10 000 Jahre bewirkte durch verwitterungsbedingte Stoffneubildung und Stoff-

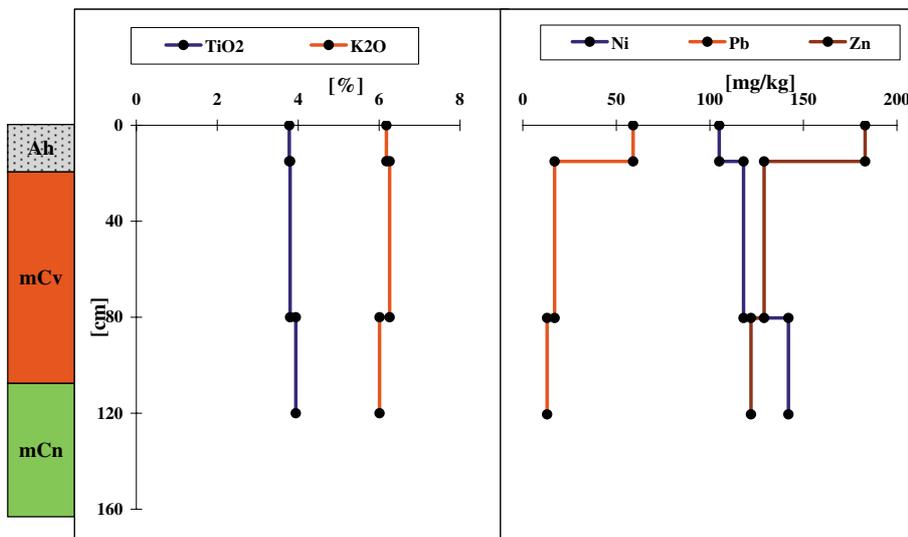


Abb. 9. Tiefenverlauf der Konzentrationen ausgewählter chemischer Elemente in einem Bodenprofil, das stofflich dem unterlagernden Gestein „nahesteht“.

Ah humoser Oberboden
 mCv verwittertes Gestein
 mCn anstehendes unverwittertes Gestein

verlagerung durch Sickerwasser oder auch Bodentiere die weitere An- oder Abreicherung von Stoffen (Abb. 10).

Die Auswirkungen einer Deckschichtengrenze auf die geogene Zusammensetzung des Bodens demonstriert das Bodenprofil in Abb. 12. An der Schichtgrenze in etwa 20 cm Tiefe werden die vom Gestein ererbten hohen Eisen-, Magnesium-, Chrom- und Nickelgehalte stark heruntergesetzt, weil der hohe Lösslehmanteil der Deckschicht nur geringe Konzentrationen dieser Elemente

aufweist. Dennoch sind z.B. die Chrom- und Nickelgehalte auch im Oberboden immer noch sehr hoch, weil das unterlagernde Gestein im hier gezeigten Beispiel besonders hohe Konzentrationen dieser Elemente vorgibt.

**Acker, Grünland, Wald:
Ein schwieriger Vergleich**

Über die Atmosphäre wurden und werden ständig Schadstoffe in die Böden eingebracht. In

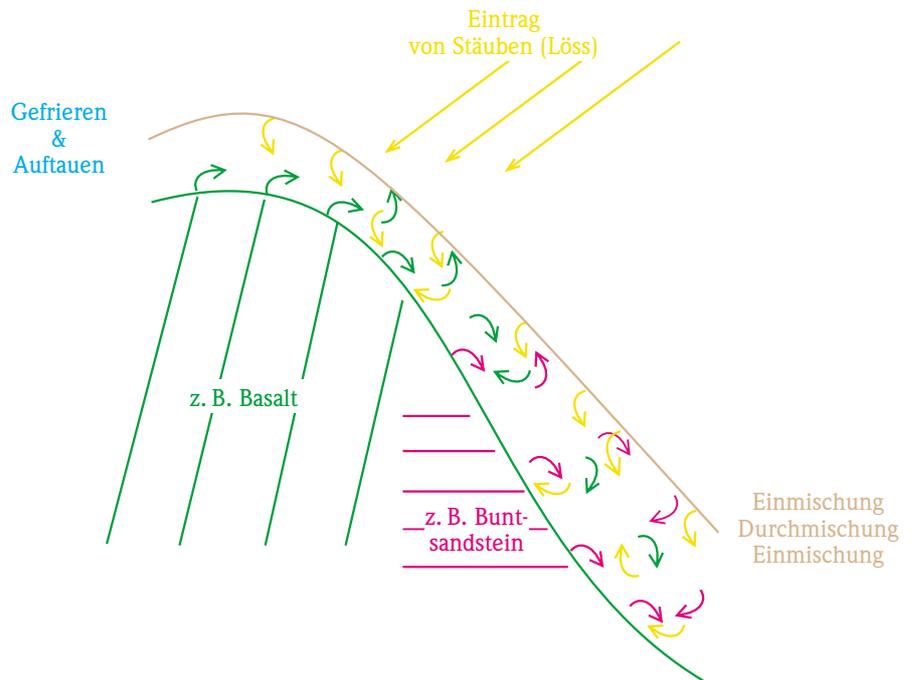


Abb. 10. Periglaziales Bodenfließen und die Einmischung von Stäuben (Löss) verändern das Ausgangsgestein der Bodenbildung.



Abb. 11. Periglaziales Bodenfließen. Die Marken wurden vier Jahre vor dieser Aufgrabung senkrecht eingebracht (Zollstock).

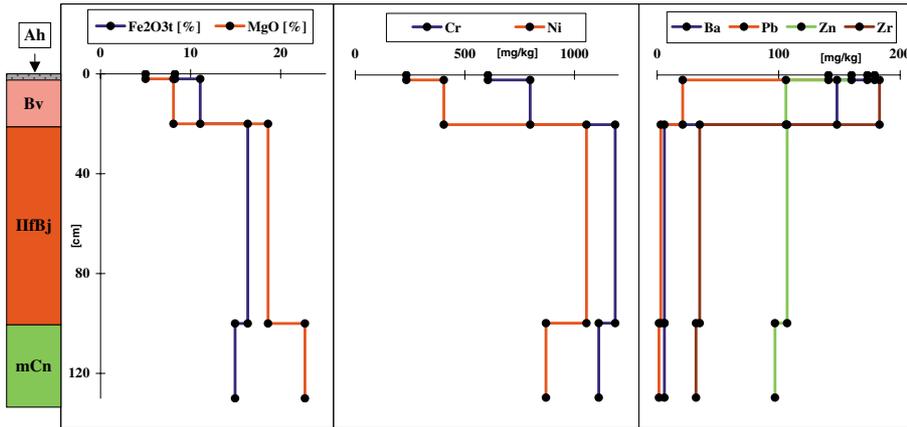


Abb. 12. Tiefenverlauf der Konzentrationen ausgewählter chemischer Elemente in einem Bodenprofil, in dem die stoffliche Beziehung zwischen unterlagerndem Gestein und Boden durch eine Schichtgrenze gestört ist.

Ah humoser Oberboden
 Bv Unterboden aus lösslehmhaltiger Deckschicht
 lIfBj anstehender Gesteinszersatz
 mCn anstehendes unverwittertes Gestein

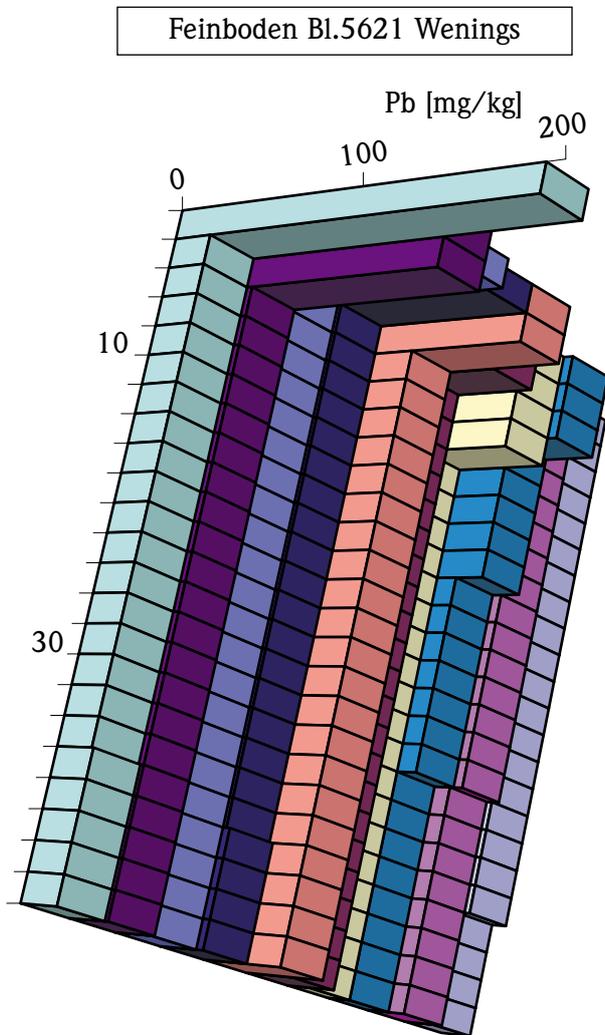


Abb. 13. Tiefenverlauf der Bleigehalte in verschiedenen Bodenprofilen aus dem südlichen Vogelsberg. Die oberste Stufe ist jeweils der humose Oberboden (A-Horizont).

Waldböden werden diese Einträge besonders stark angereichert. Das liegt daran, dass durch die Belaubung eine sehr viel größere Oberfläche zur Verfügung steht als z.B. bei Grasbewuchs. Schadstoffe werden durch Blätter und Nadeln praktisch aus der Luft herausgekämmt. Durch die langsame Zersetzung der abgefallenen Blätter und Nadeln zu Humus kommt es in den nur wenige Zentimeter mächtigen humosen Oberböden zu einer Anreicherung der Schadstoffe. Dieser Effekt wird noch dadurch verstärkt, dass die meisten Stoffe an den Molekülen der organischen Substanz besonders gut gebunden und somit auch langfristig fixiert werden. Die Auswaschung in den Unterboden läuft bei vielen Stoffen nur sehr langsam ab.

Abb. 13 veranschaulicht die Überlagerung der geogenen Grundgehalte mit langfristig akkumulierten luftgetragenen Schwermetallen. Dargestellt sind Bleigehalte von 10 Bodenprofilen aus dem südlichen Vogelsberg. Sie entstammen derselben naturräumlichen Einheit, unterscheiden sich aber in der Bodennutzung, die wiederum die Mächtigkeit des humosen Oberbodens prägt. Die oberste Stufe in der Grafik stellt jeweils den Bleigehalt des humosen Oberbodens dar. Mächtigkeiten kleiner 5 cm sind typisch für Waldstandorte, um 10 cm für Grünland und ca. 30 cm für Ackernutzung (Pflugtiefe!).

Es wird sehr deutlich, dass die Bleigehalte mit abnehmender Mächtigkeit des Oberbodenhorizontes zunehmen. Daraus kann man dreierlei lernen:

- Die akkumulierte Niederschlagsdeposition differiert nicht so stark, wie die Grafik suggeriert. Die Bleigehalte sind lediglich in unterschiedlichen Horizontvolumina verteilt.
- Es findet offenbar kaum eine Verlagerung nach unten statt; das deckt sich mit der experimentellen Erkenntnis, dass vor allem Blei sehr fest adsorptiv an die organische Substanz und damit im Oberboden gebunden wird.
- Die Art der Probennahme entscheidet über den Bleigehalt der Analyse. Das Beispiel basiert auf horizontspezifischer Beprobung. Würde man alternativ z.B. pauschal Mischproben bis 50 cm Tiefe nehmen, würden sich die Bleigehalte der Profile auf niedrigerem Konzentrationsniveau annähern.

Die besonders stark mit atmosphärischen Einträgen angereicherten organischen Oberböden im Wald haben ein viel geringeres Trockenraumgewicht als Grünland- oder Ackerböden. Stoffgehalte unterschiedlicher Böden und Nutzung können grundsätzlich nur dann miteinander verglichen werden, wenn sie auf die gleiche Bezugsgröße berechnet werden. Konkret heißt dies, dass man den Stoffgehalt eines Waldbodens mit der Acker-

krume erst vergleichen darf, wenn er zuvor auf ein einheitliches Bodenvolumen berechnet wurde.

Wie Tab. 1 zeigt, wurden in dem gegebenen Beispiel mit 120 und 80 mg/kg zwar die höchsten Werte im Waldboden gemessen, die tatsächliche Belastung ist unter Grünland mit einem Gehalt von 255 kg/ha bei Betrachtung eines 3 dm mächtigen Bodenprofils jedoch mehr als doppelt so hoch (Abb. 14).

Hintergrundgehalte: Durch den Menschen beeinflusste großräumige Bodenbelastungen

Der diffusen Niederschlagsbelastung kann sich kein Standort entziehen. Daher wird sie bei der Bewertung von Bodenbelastungen zum geogenen Grundgehalt addiert. Die Summe, geogener Grundgehalt plus diffuser Eintrag, wird als Hintergrundgehalt definiert.

Zur Orientierung hat die Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) bundesweit Datenmaterial über Hintergrundgehalte von

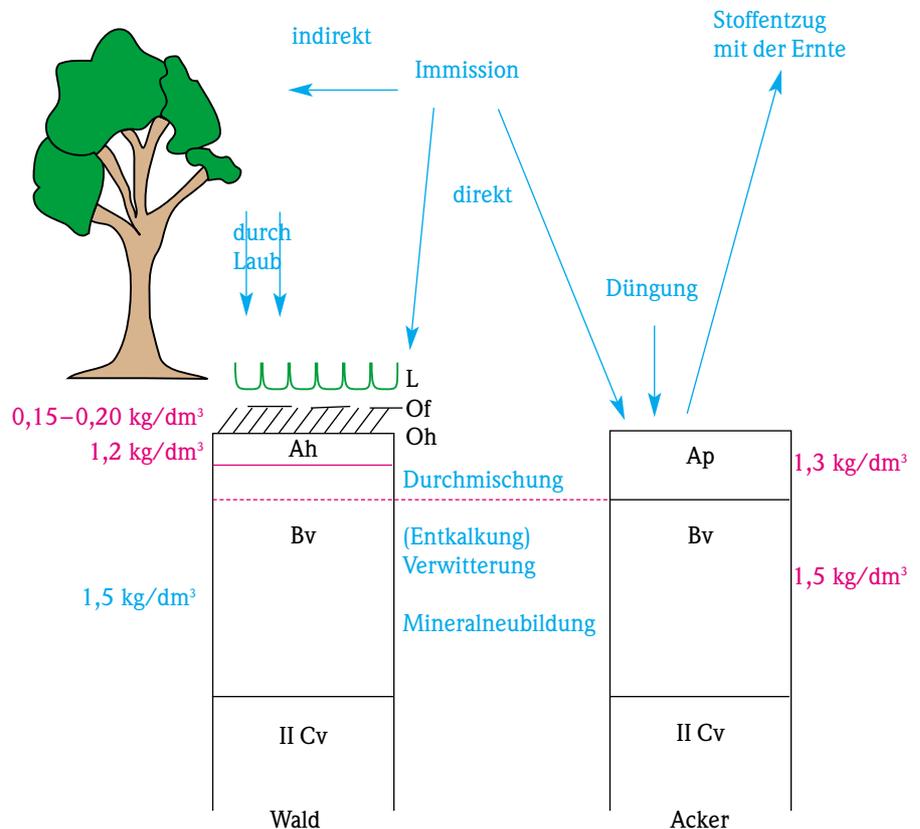


Abb. 14. Beispiel für die unterschiedlichen Stoffeinträge in einen Wald- und einen Ackerboden.

Tab. 1. Nutzungsdifferenzierter Vergleich zwischen Stoffkonzentrationen und absoluten Gehalten

Waldstandort				
Horizont	Horizontmächtigkeit	Stoffgehalt	Trockenraumgewicht	Gehalt kg/ha * Horizont
Humus (Of-Oh)	0,2 dm	120 mg/kg	0,2 kg/dm ³	4,8
humoser Oberboden (Ah)	0,5 dm	80 mg/kg	1,2 kg/dm ³	48
mineralischer Unterboden (Bv)	2,3 dm	20 mg/kg	1,5 kg/dm ³	69
Summe 3 dm Bodenprofil	Summe = 3 dm			121,8

Grünland				
Horizont	Horizontmächtigkeit	Stoffgehalt	Trockenraumgewicht	Gehalt kg/ha * Horizont
bearbeiteter, humoser Oberboden (Ap)	1,5 dm	65 mg/kg	1,4 kg/dm ³	210
gepflügter, mineralischer Unterboden (Bv)	1,5 dm	20 mg/kg	1,5 kg/dm ³	45
Summe 3 dm Bodenprofil	Summe = 3 dm			255

Acker				
Horizont	Horizontmächtigkeit	Stoffgehalt	Trockenraumgewicht	Gehalt kg/ha * Horizont
gepflügter, humoser Oberboden (Ap)	3 dm	50 mg/kg	1,3 kg/dm ³	195

Schadstoffen in Oberböden zusammengestellt. Dabei sind die oben genannten nutzungsspezifischen Besonderheiten berücksichtigt worden, indem die Daten nach Nutzungsart getrennt ausgewertet wurden. Ferner wurde möglichst nach Ausgangssubstrat der Bodenbildung und dem siedlungsstrukturellen Gebietstyp differenziert. Einen Auszug (hessische Daten) aus der 2. Auflage der LABO-Hintergrundwerte für Schwermetalle (LABO, 1998) zeigt Tab. 2. Bei näherer Betrachtung lässt sich erkennen, dass das bodenbildende Substrat die Hintergrundwerte ganz wesentlich prägt. Eine differenzierte Betrachtung von Hintergrundgehalten, insbesondere bei der Anwendung von Richt- und Grenzwerten, muss daher die über die Fläche variierende geologische Situation im Sinne des Vorkommens unterschiedlich zusammengesetzter Gesteine berücksichtigen.

Nimmt man eine Gesteinsart als kleinste zu betrachtende Einheit an, so lässt sich diese hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung recht einfach charakterisieren. Abb. 15 zeigt als Idealbeispiel Arsengehalte hessischer Lösses als Häufigkeitsverteilung. Löss ist ein vergleichsweise homogenes, eiszeitliches Staubsediment, das als oberflächennahes Lockergestein auftritt. Trotz der geringen Probenzahl zeichnet sich eine gleichmäßige, etwa glockenförmige Verteilung ab, die sich mit Kennzahlen wie Mittelwert, Maximum usw. beschreiben lässt. Die Frage, ob ein z.B. im Rahmen einer umwelttechnischen Untersuchung ermittelter Arsenwert „normal“ ist, ließe sich vor dem Hintergrund dieser Information leicht beantworten, wenn der Untergrund ausschließlich aus Löss bestünde. In der Realität ist allerdings mit einer deutlichen, geologisch bedingten Vielfalt von Hintergrundgehalten zu

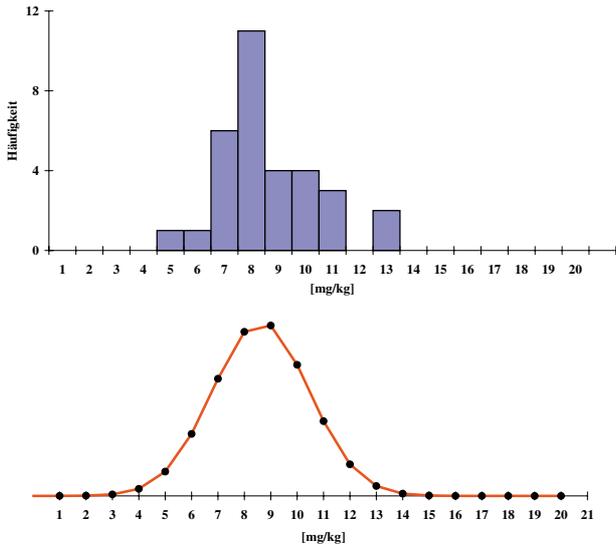


Abb. 15. Häufigkeitsverteilung der Arsengehalte hessischer Löss.

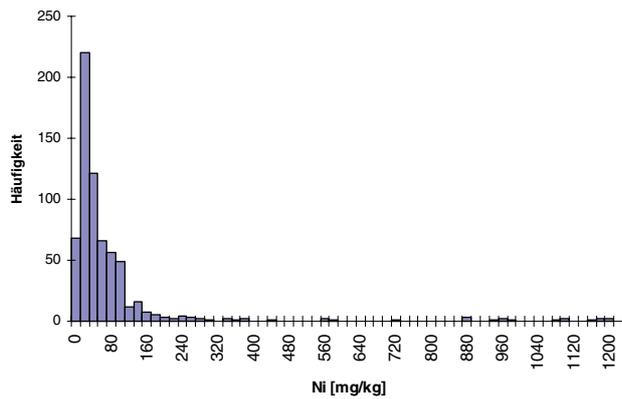


Abb. 16. Häufigkeitsverteilung der Nickelgehalte hessischer Gesteine.

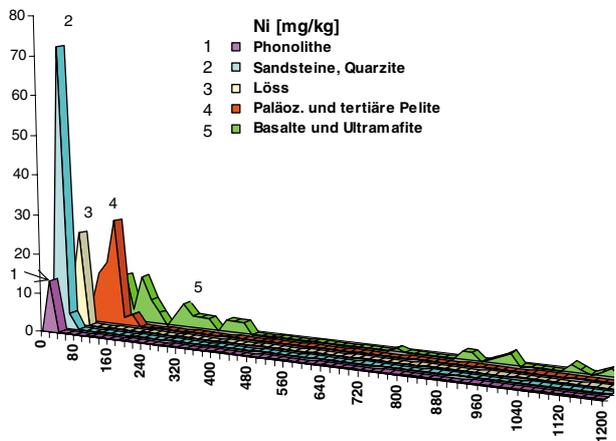


Abb. 17. Häufigkeitsverteilung der Nickelgehalte in verbreiteten hessischen Gesteinen.

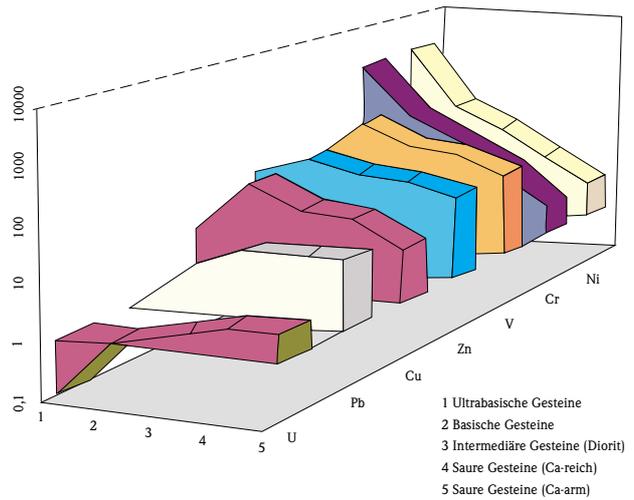


Abb. 18. Mittlere Gehalte einiger Spurenelemente in magmatischen Gesteinen (Literaturdaten; in mg/kg).

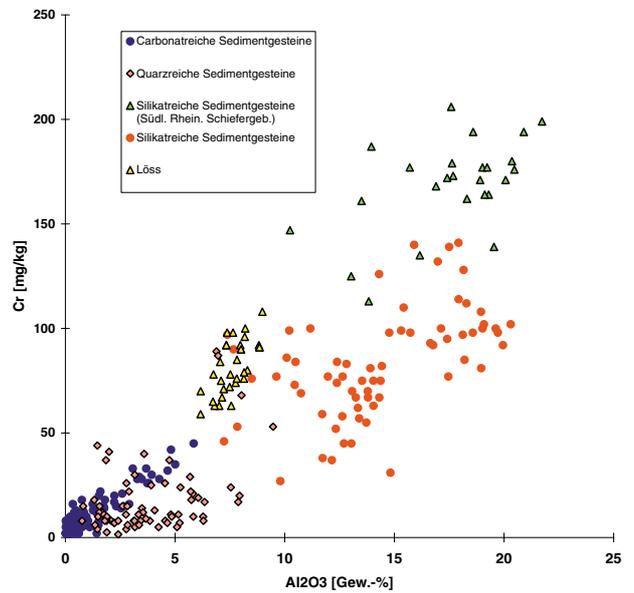


Abb. 19. Chromgehalte hessischer Sedimentgesteine als Funktion des Aluminiumoxid (= Tonerde)-Gehaltes.

rechnen. Abb. 16 zeigt eine Häufigkeitsverteilung der Nickelgehalte hessischer Gesteine. Die Verteilungsform ist ungleichmäßiger und breiter als im vorangegangenen Beispiel. Zudem fällt auf, dass ein großer Anteil der zusammengestellten Gesteinsproben Nickelgehalte über den üblichen Richtwerten für „normalen“ Boden haben. Diese liegen zwischen 35 und 50 mg/kg. Wird diese „Gemengelage“ entzerrt, indem die Werte Gesteinsarten zugeordnet werden, so ergibt sich ein klareres Bild (Abb. 17). Als Beispiele für geringe geogene Nickelgehalte sind die Gesteine Phonolith, Sandstein und Löss zu nennen, während die tonigen und basaltischen Gesteine höhere und zudem breiter streuende Nickelgehalte aufweisen, was durch eine weitere Untergliederung noch differenziert werden kann. Für diese Gesteine sind die oben genannten Orientierungswerte zu niedrig angesetzt, daraus ergeben sich vielfach in der Praxis zu prüfende Einzelfälle.

Abb. 18 zeigt, wie deutlich Schwermetalle in den häufigsten magmatischen Gesteinen variieren (die Hochachse ist logarithmisch, d.h. ein Teilstrich entspricht dem Faktor 10!). Auffallend ist in diesem Zusammenhang der gegenläufige Trend von Chrom und Nickel einerseits und Blei und Uran andererseits. Es verhalten sich also nicht alle Schwermetalle gleichartig. Im Falle der Sedimentgesteine lässt sich hinsichtlich der Schwermetallcharakteristik die Faustregel aufstellen, dass sich die meisten Schwermetalle mit zunehmendem Tongehalt anreichern. Abb. 19 verdeutlicht diesen Sachverhalt, indem Chromgehalte hessischer Sedimentgesteine gegen den Aluminiumgehalt, der als grober Anhaltswert für den Tongehalt gelten kann („Tonerde“), aufgetragen wurden. Die aufgezeigten einfachen Gliederungsprinzipien lassen sich unter Zugrundelegung der bekannten Geologie in die Fläche übertragen. Somit können Regionen mit zu erwartenden erhöhten oder besonders niedrigen Schwermetallgehalten abgeleitet werden, in denen die Anwendung von Orientierungswerten dann entsprechend differenziert gehandhabt wird. Eine solche regionale Schwermetallcharakteristik kann im eher lokalen Maßstab durch geogene Besonderheiten, z.B. Erzvorkommen (und deren anthropogene Folgen) überprägt sein. In Abb. 20 sind nach schwermetallgeochemischen Gesichtspunkten gegliederte Gesteine Hessens als Karte

dargestellt. Hintergrundgehalte und statistische Kennwerte sieben umweltrelevanter Schwermetalle und für Arsen sind dazu für Gesteine in Tab. 3 und für oberflächennahen Untergrund (Synonym: Unterboden) in Tab. 4 zusammengestellt. In der Karte ist nur das in der jeweiligen geologischen Einheit vorherrschende Gestein dargestellt, so dass sich orientierende lokale Aussagen über Hintergrundgehalte aus der Karte ohne örtliche geologische Zusatzinformationen nur eingeschränkt ableiten lassen. Ausgehend von der Überlegung, dass allein die mineralogische Zusammensetzung eines Gesteines, nicht aber dessen geologisches Alter oder petrographische Ausbildung die geochemische Zusammensetzung bedingt, wurden die in der Geologischen Übersichtskarte von Hessen 1:300 000 aufgeführten Gesteine, mit Ausnahme des sedimentären Tertiärs, sechs Gesteinsgruppen zugeordnet. Gesteinsuntergruppen wurden darüber hinaus gebildet und gesondert ausgewertet, wenn sich gesetzmäßige Abweichungen der Hintergrundgehalte einer regional oder petrographisch definierbaren Untereinheit herausgestellt haben. Die Zuordnung der in Hessen vertretenen Gesteinsvielfalt zu den sechs Gesteinsgruppen ist teilweise unscharf, weil sowohl Magmatite als auch Sedimentgesteine und Metamorphite vielfach Produkte kontinuierlicher Misch- oder Entwicklungsreihen zwischen definierten Endgliedern sind (z. B. Sand-Ton oder Gabbro-Granit). Darüber hinaus sind, besonders in Sedimentgesteinsabfolgen, innerhalb einer geologischen Einheit Wechselfolgen in der Größenordnung mm bis 10er m verbreitet. Konzentrationsangaben sind allgemein Gesamtgehalte in mg/kg Trockensubstanz ohne Berücksichtigung der Bindungsform. Es sind jeweils das arithmetische Mittel (X_a), Minimum (min), Maximum (max) und die Fallzahl (n) angegeben.

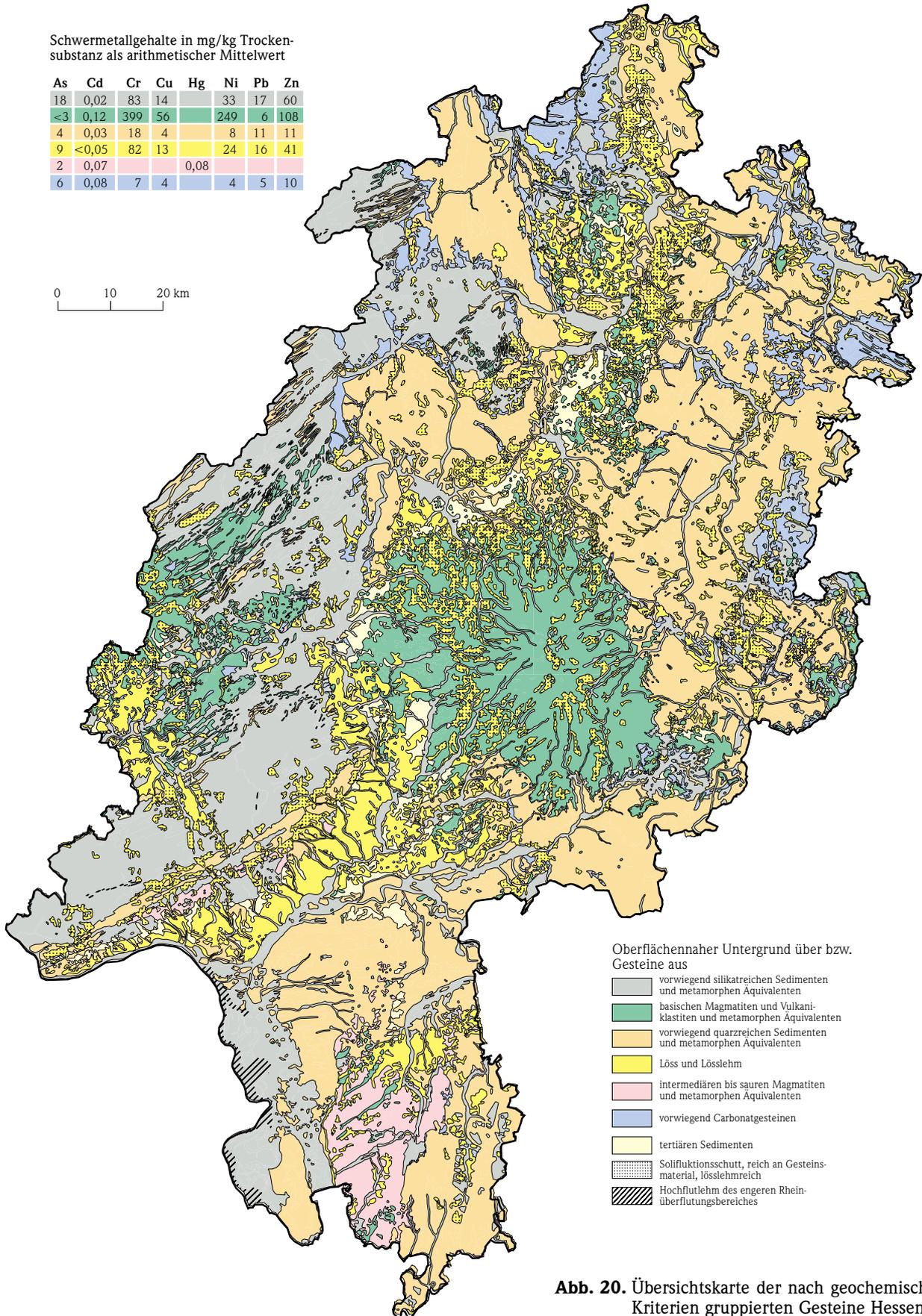
Erbe einer tropischen Vergangenheit: Paläoböden im Vogelsberg

Der Vogelsberg ist mit einer von vulkanischen Gesteinen bedeckten Fläche von ca. 2300 km das größte Vulkangebiet Mitteleuropas. Die vorwiegend basaltischen Gesteine wurden im Jungtertiär zwischen ca. 19 und 10 Millionen Jahren vor heute gefördert. Unter den damals herrschenden tropischen Klimabedingungen mit sehr

Schwermetallgehalte in mg/kg Trocken-
substanz als arithmetischer Mittelwert

As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
18	0,02	83	14		33	17	60
<3	0,12	399	56		249	6	108
4	0,03	18	4		8	11	11
9	<0,05	82	13		24	16	41
2	0,07			0,08			
6	0,08	7	4		4	5	10

0 10 20 km



Oberflächennaher Untergrund über bzw.
Gesteine aus

- vorwiegend silikatreichen Sedimenten und metamorphen Äquivalenten
- basischen Magmatiten und Vulkaniklastiten und metamorphen Äquivalenten
- vorwiegend quarzreichen Sedimenten und metamorphen Äquivalenten
- Löss und Lösslehm
- intermediären bis sauren Magmatiten und metamorphen Äquivalenten
- vorwiegend Carbonatgesteinen
- tertiären Sedimenten
- Solifluktionsschutt, reich an Gesteinsmaterial, lösslehmreich
- Hochflutlehm des engeren Rheinüberflutungsbereiches

Abb. 20. Übersichtskarte der nach geochemischen Kriterien gruppierten Gesteine Hessens.

Unterböden über vorwiegend silikatreichen Sedimentgesteinen und metamorphen Äquivalenten

a. Unterböden über tonigen und schluffigen Gesteinen, Schiefem, Phylliten und Grauwacken (außer Löß/Lößlehm und b.-d.)

lößlehmarm

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	9	0,25	19	15		40	38	80
Xg	9	0,18	17	14		37	33	76
min	3	<0,1	7	4	0,04	15	6	28
max	14	0,6	71	29	0,3	66	122	136
sdx		0,15	12,8	5,7		14,4	24,6	22,5
n	6	22	25	26		26	26	26
Quelle ¹	14	14	14	14	17	14	14	14

lößlehmreich

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	11	0,08	34	14		31	23	59
Xg	10	0,07	31	12		28	22	54
min	7	<0,1	13	4		15	16	31
max	16	0,3	53	33		63	34	128
sdx			12,8	8,2		15,4	5	28,9
n	7	9	10	10		10	10	10
Quelle ¹	14	14	14	14		14	14	14

b. Unterböden über Schiefem des Hintertaunus

lößlehmarm

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	8	0,33	85	18	0,07	57	44	99
Xg	7	0,24	83	17	0,06	55	41	97
min	1	<0,3	56	7	<0,01	19	14	50
max	28	2,0	106	31	0,16	123	104	153
sdx	3,8	0,35		4,8	0,03	15,6	14,8	20
n	179	176	6	180	180	180	180	180
Quelle ¹	15	15	15	15	15	15	15	15

lößlehmreich

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	10	0,41	95	22	0,03	60	34	83
Xg	9	0,26	95	21	0,03	57	33	82
min	1	<0,3	79	6	<0,01	26	16	35
max	30	7,2	115	60	0,14	132	120	156
sdx	3,5	0,58	12,2	5,3	0,02	17	10,3	16
n	510	510	17	510	510	509	508	509
Quelle ¹	15	15	15	15	15	15	15	15

c. Unterböden aus Hochflutlehm (Untermain)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	0,3	14	13			25	19	51
Xg	0,3	13	12			23	18	49
min	0,1	4	2			5	8	16
max	0,8	22	25			59	66	97
sdx	0,2	3,9	4,1			9,4	8,7	16
n	51	52	51			52	52	52
Quelle ¹	12	12	12			12	12	12

d. Unterböden aus Hochflutlehm (Rhein)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	8	0,07	19	10		26	20	45
Xg	8	0,06	18	10		25	18	42
min	5	<0,05	11	4		14	5	17
max	13	0,31	53	16		40	112	129
sdx	1,6	0,05	8,2	2,8		6,5	13,4	20
n	49	56	59	59		59	59	59
Quelle ¹	13	13	13	13		13	13	13

Unterböden über basischen Magmatiten und Vulkaniklastiten und metamorphen Äquivalenten

lößlehmarm

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	3	0,54	313	47	0,04	210	38	137
Xg	2	0,42	248	45	0,03	199	37	134
min	<1	<0,3	97	22	<0,02	71	20	76
max	7	1,7	1067	83	0,12	364	60	240
sdx	1,4	0,33	259	14,1	0,02	63,9	7,2	30,9
n	158	158	14	158	146	158	158	158
Quelle ¹	16	16	1	16	16	16	16	16

lößlehmreich

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	6	0,35	40	0,02	166	31	98	95
Xg	5	0,27	37	0,01	142	30	95	95
min	1	<0,3	16	<0,02	41	19	54	54
max	13	1,4	103	0,08	579	45	176	176
sdx	2,1	0,27		15,1	0,01	95,2	4	25,5
n	249	248		248	249	248	248	248
Quelle ¹	16	16		16	16	16	16	16

Unterböden über vorwiegend quarzreichen Sedimentgesteinen und metamorphen Äquivalenten

lößlehmarm

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	3	0,32	34	5	0,05	7	33	20
Xg	3	0,28	27	5	0,04	6	31	18
min	1	<0,3	8	3	<0,01	<3	20	<3
max	8	1,2	89	9	0,12	25	105	81
sdx	1,2	0,19	25	1,5	0,03	4,1	10,6	9,5
n	485	485	12	485	264	485	485	485
Quelle ¹	11	11	1	11	11	11	11	11
Anmerk. ²				16				

lößlehmreich

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	7	0,34		13	0,03	28	39	42
Xg	6	0,27		13	0,03	26	38	38
min	2	<0,3		3	<0,01	6	20	9
max	12	1,2		24	0,11	87	95	147
sdx	1,9	0,25		3,8	0,02	11	11,6	19,6
n	337	337		337	158	337	337	337
Quelle ¹	11	11		11	11	11	11	11

Unterböden aus Löß und Lößlehm

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	10	0,29	21	14		29	21	52
Xg	10	0,2	19	13		28	20	51
min	3	<0,1	6	3		9	9	27
max	23	2,4	63	26		47	52	90
sdx	4,0	0,25	10,6	4,4		7,3	5,2	10,6
n	58	209	217	216		216	216	216
Quelle ¹	14	14	14	14		14	14	14

Unterböden über intermediären bis sauren Magmatiten und metamorphen Äquivalenten

(Granit)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa								
Xg			10	5	0,03	10	10	50
min			<0,1	60	30	0,5	50	40
max								
sdx								
n								
Quelle ¹	17	17	17	17	17	17	17	17

Unterböden über vorwiegend Carbonatgesteinen

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	7	0,1	38	22		46	41	77
Xg	7	0,1	37	21		45	39	70
min	6	0,1	23	11	0,04	29	22	39
max	7	0,1	68	28	0,3	62	57	121
sdx								
n	2	4	5	5		5	5	4
Quelle ¹	14	14	14	14	17	14	14	14

Unterböden über tertiären Sedimentgesteinen

Vielfach kleinräumiger Wechsel zwischen sandigen, kalkigen und tonig-schluffigen Substraten. Im Maßstab 1:300000 nicht darstellbar.

Unterböden aus Hochflutlehm des engeren Rhein-Überflutungsbereiches

(rezent belastet)

Tab. 3. Statistische Kennwerte für Hintergrundgehalte hessischer Gesteine. Erläuterung siehe Text (aus: Hintergrundgehalte umweltrelevanter Schwermetalle in Gesteinen und oberflächennahem Untergrund Hessens, Übersichtskarte 1:300000, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 1996).

Beiträge zum Bodenschutz in Hessen

Vorwiegend silikatreiche Sedimentgesteine und metamorphe Äquivalente
Auswahlkriterium: Massen-Verhältnis: SiO₂/Al₂O₃ der Analyse <10

a. Tonige und schluffige Gesteine, carbonatische tonige und schluffige Gesteine, Schiefer, Phyllite, Grauwacke (außer Löß und b.-d.)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	18	0,02	83	14		33	17	60
Xg	12	0,02	79	9	0,04	30	13	48
min	3	<0,01	27	<3		6	<5	9
max	58	<0,1	141	85		74	82	200
sdx	15,3		25,9	14,3		14,6	12,6	38,9
n	27	11	68	68	57	68	68	68
Quelle ¹	1	2	1	1	7	1	1	1
Anmerk. ²					11			

b. Paläozoische schieferige Gesteine des südlichen Rheinischen Schiefergebirges

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	7	<0,05	160	22		77	22	99
Xg	6	<0,05	158	21	0,04	75	20	96
min	<3	<0,05	95	8		42	8	51
max	11	0,05	206	55		104	48	160
sdx	3,5		28,2	8,9		14,7	8,3	22
n	11	3	34	34	261	34	34	34
Quelle ¹	1	2	1	1	10	1	1	1
Anmerk. ²					12			

c. Tonig-schluffige Gesteine des Tertiärs - außer Basaltzersatz -

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	15	0,04	135	24		72	18	71
Xg	10	0,03	131	21		63	17	65
min	<3	<0,01	73	4		10	9	14
max	69	0,11	216	77		134	26	104
sdx	14,5		32,7	13,4		31,6	4,2	22,3
n	32	8	32	32		32	32	32
Quelle ¹	1	2	1	1		1	1	1
Anmerk. ²								

d. Fluviale tonig-schluffige Sedimente des Quartärs (Talfüllungen)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	10	0,15	74	25		41	24	66
Xg	9	0,1	70	22		37	22	59
min	4	<0,01	36	7		11	16	20
max	20	0,42	114	52		70	46	129
sdx	5	0,11	21,6	11,5		16,4	8,7	31,9
n	14	14	14	14		14	14	14
Quelle ¹	1	2	1	1		1	1	1
Anmerk. ²								

Vorwiegend basische und ultrabasische Magmatite und Vulkaniklastite einschließlich tholeiitischer und basaltisch-andesitischer Gesteine und metamorphe Äquivalente

a. Basische Magmatite und Vulkaniklastite und metamorphe Äquivalente (außer b.-d.)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	<3	0,12	399	56		249	6	108
Xg	<3	0,06	369	53	0,03	220	6	107
min	<3	<0,1	207	19		98	<3	89
max	4	0,4	985	105		717	10	160
sdx		0,12	188	20		147	2,6	16,2
n	15	15	17	17	23	17	17	17
Quelle ¹	1	2	1	1	7	1	1	1
Anmerk. ²					4			

b. Basaltische bis basaltisch-andesitische Gesteine und metamorphe Äquivalente mit SiO₂-Gehalten > 52 Masse-%

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	<3	<0,1	285	29		93	4	149
Xg	<3	<0,1	281	28		91	4	148
min	<3		236	16		73	<3	130
max	3		377	37		128	5	175
sdx								
n	7	1	7	7		7	7	7
Quelle ¹	1	2	1	1		1	1	1
Anmerk. ²								

c. Ultramafische Magmatite und metamorphe Äquivalente (Pikrite des Lahn-Dill-Gebietes, Serpentinit von Nieder-Beerbach/Frankenstein im Odenwald)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	1	<0,05	1255	107		1052	2	104
Xg	1	<0,05	1235	99	0,03	1045	2	103
min	<1	<0,05	889	74		861	<2	83
max	<3	<0,05	1781	207		1200	4	136
sdx			233	50		128		14,9
n	12	2	12	11	6	12	12	12
Quelle ¹	1	1	1	1	7	1	1	1
Anmerk. ²					2	14		

d. Vorwiegend basische Gesteine der Kristallin-Gebiete in Odenwald und Vorder-Taunus (Gabbro, Diorit, Amphibolit, Grünschiefer) außer Serpentinit des Frankensteins (siehe c.)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	<3	0,09				<10	<5	20
Xg	<3							
min			<10	3		<10	<5	20
max			555	55		208	21	180
sdx								
n	1	13	72	44		72	72	72
Quelle ¹	1	4	5	6		5	5	5
Anmerk. ²		3	5,6	5,6		5	5	5

Vorwiegend quarzreiche Sedimentgesteine und metamorphe Äquivalente
Auswahlkriterium: Massen-Verhältnis SiO₂/Al₂O₃ der Analyse >10

a. Sand, Sandstein, Quarzit (außer b.)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	4	0,03	18	4		8	11	11
Xg	2	0,02	12	3	0,02	7	10	8
min	<1	<0,01	<3	1		<3	3	2
max	22	0,1	89	23		34	27	47
sdx	4,5		17,4	4,1		5,8	4,3	9,8
n	70	43	70	70	33	70	68	69
Quelle ¹	1	2	1	1	7	1	1	1
Anmerk. ²					10			

b. Quarzite des Devons

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	5		98	6		14	10	20
Xg	4		97	5		11	8	16
min	<3		79	2		3	5	7
max	9		135	12		26	25	42
sdx								
n	6		6	6		6	6	6
Quelle ¹	1		1	1		1	1	1
Anmerk. ²								

Löß
Sollfunktionschutz, reich an Gesteinsmaterial, löß-lehmreich

Unverwitterter, kalkhaltiger Löß (oberflächennah relative Elementanreicherung durch Entkalkung (ca. 1,2 fach))

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	9	<0,05	82	13		24	16	41
Xg	9	<0,05	81	13	0,02	23	16	40
min	5	<0,05	59	11		15	11	24
max	13	<0,05	108	17		34	19	54
sdx	1,8		12,9	1,8		4,6	1,8	6,5
n	32	4	32	32	37	32	32	32
Quelle ¹	1	2	1	1	7	1	1	1
Anmerk. ²					13			

Intermediäre bis saure Magmatite und Vulkaniklastite und metamorphe Äquivalente

a. Granodiorite bis Granite und äquivalente Gneise, intermediäre bis saure paläozoische Metavulkanite (Odenwald, Vorder-Taunus)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	2	0,07			0,08			
Xg			4	<3		<2	11	15
min								
max			22	12		4	19	82
sdx								
n		14	11	11			3	11
Quelle ¹	8	4	9	9	8	9	1	9
Anmerk. ²	7	8	5,9	5,9	7	5,9		5,9

b. Trachytische Vulkanite

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa			6	2		7	11	114
Xg			5	2		4	10	110
min	10	<0,1	<5	<2		<2	<5	39
max	14	0,16	15	7		50	17	158
sdx								10,1
n	2	2	43	43		43	43	24,9
Quelle ¹	1	2	3	3		3	3	3
Anmerk. ²								

c. Phonolithische Vulkanite

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa			6	<2		3	18	189
Xg			6	<2		2	18	186
min	<3	<0,1	<5	<2		<2	12	122
max	6	0,2	16	3		6	28	303
sdx								1,2
n	2	2	42	42		42	42	42
Quelle ¹	1	2	3	3		3	3	3
Anmerk. ²								

Vorwiegend Carbonatgesteine

Zusammensetzung ausgewählter tonarmer Kalk- und Dolomite (Al₂O₃-Gehalt max. 2 Masse-% (gilt nicht für Hg))¹

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Xa	6	0,08	7	4		4	5	10
Xg	4	0,08	6	3	0,02	3	4	6
min	1	0,06	<3	2		<3	<3	<3
max	28	0,16	22	27		27	14	49
sdx	6,0	0,04	4,9	4,8		4,8	2,7	9,6
n	77	14	77	77	25	77	77	77
Quelle ¹	1	2	1	1	7	1	1	1
Anmerk. ²					15			

¹ mit steigendem Ton- bzw. Mergelanteil linear steigende Metallgehalte (entspricht Bemischung von Material der Einheit „vorwiegend silikatreiche Sedimentgesteine“)

Tertiäre Sedimentgesteine

Vielach kleinräumiger Wechsel zwischen sandigen, kalkigen und tonig-schluffigen Gesteinen. Im Maßstab 1:300.000 nicht darstellbar.

Tab. 2. Hintergrundgehalte für Oberböden in Hessen (aus: „Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden“, 2. Auflage, LABO 1998)

Erläuterung:
n Fallzahl
P Perzentil

Anorganische Stoffe

Ausgangsgestein: Sande (Flugsande, Talsande usw.) und Terrassen

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Acker Oberboden								
n	–	40	40	40	–	40	40	40
Typ O 50. P.	–	0,2	12,0	11,0	–	12,0	29,5	53,5
90. P.	–	0,6	47,8	55,4	–	23,0	56,9	107,2
n	–	33	33	33	–	33	33	33
Typ I 50. P.	–	0,3	10,0	11,0	–	11,0	30,0	47,0
90. P.	–	0,7	18,8	27,6	–	19,2	58,2	101,8
Grünland Oberboden								
n	–	31	31	31	–	31	31	31
Typ O 50. P.	–	0,2	9,0	12,0	–	11,0	41,0	62,0
90. P.	–	1,1	49,0	21,6	–	29,8	89,6	144,4
n	–	24	24	24	–	24	24	24
Typ I 50. P.	–	0,5	8,0	11,0	–	9,0	41,5	56,0
90. P.	–	1,3	16,0	32,0	–	22,5	116,0	228,0
Wald Oberboden								
n	48	124	124	124	38	124	124	124
Typ I 50. P.	8,5	0,1	6,0	6,0	0,140	7,0	37,0	28,0
90. P.	14,5	0,5	9,5	15,5	0,398	13,0	79,5	50,0
Wald Auflage								
n	132	237	237	237	101	237	237	237
Typ I 50. P.	2,2	0,6	5,0	19,0	0,110	9,0	61,0	62,0
90. P.	9,9	1,1	10,0	37,0	0,422	18,0	160	98,2

Differenzierung der siedlungsstrukturellen Gebietstypen entsprechend Vorgaben der BfLR; räumlicher Bezug: Frankfurt und Umland, Gießen / Wetzlar, Vogelsberg
Typ O = ohne Gebietsdifferenzierung; Typ I = hochverdichtete Räume; Typ II = verdichtete Räume; Typ III = ländliche Räume
Analytik: Werte der Typen I und II – Königswasseraufschluss, Werte des Typs III – Flusssäure/Perchlorsäure-Druckaufschluss

Ausgangsgestein: Löss, Lösslehm, Kolluvium

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne Nutzungsdifferenzierung der Oberböden								
n	28	28	28	28	–	28	28	28
Typ II 50. P.	9,2	<0,1	27,0	16,0	–	31,0	27,0	78,5
90. P.	12,1	0,4	49,0	28,1	–	45,5	55,7	170,2
n	44	44	–	44	43	44	44	44
Typ III 50. P.	5,0	0,4	–	18,0	0,140	40,0	67,0	81,0
90. P.	10,0	1	–	23,5	0,368	70,0	129,5	107,0
Acker Oberboden								
n	118	147	152	152	97	152	152	152
Typ O 50. P.	9,5	0,4	18,0	17,0	0,04	25,0	29,0	64,0
90. P.	13,6	0,7	28,6	25,0	0,14	35,0	45,7	90,1
n	91	125	125	125	88	125	125	125
Typ I 50. P.	9,8	0,5	17,0	17,0	0,04	24,0	29,0	62,0
90. P.	14,1	0,7	23,4	25,0	0,14	32,0	45,0	81,8
Grünland Oberboden								
n	35	47	34	47	29	47	47	47
Typ O 50. P.	8,9	0,5	21,0	17,0	0,06	31,0	45,0	84,0
90. P.	14,7	1,0	44,5	27,2	0,16	59,2	70,2	175,6
n	–	28	28	28	–	28	28	28
Typ I 50. P.	–	0,6	20,0	17,5	–	23,5	40,0	80,0
90. P.	–	0,9	36,0	27,2	–	37,0	68,2	180,4

Beiträge zum Bodenschutz in Hessen

Ausgangsgestein: Auelehm

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne Nutzungsdifferenzierung der Oberböden								
n	–	21	21	21	–	21	21	21
Typ I 50 P.	–	0,7	22,0	20,0	–	27,0	41,0	103,0
90 P.	–	1	36,4	37,6	–	46,2	133,8	184,2
n	27	26	27	27	–	27	27	27
Typ II 50 P.	9,8	0,1	49,0	19,0	–	37,0	42,0	111,0
90 P.	11,7	0,3	85,6	31,0	–	60,8	112,6	185,8
Acker Oberboden								
n	–	20	20	20	–	20	20	20
Typ O 50 P.	–	0,1	40,5	18,5	–	32,0	40,5	87,5
90 P.	–	0,8	61,8	27,8	–	59,7	71,6	128,8
Grünland Oberboden								
n	26	28	28	28	–	28	28	28
Typ O 50 P.	10,65	0,3	31,5	20,0	–	36,0	46,5	134,0
90 P.	16,67	1,0	83,3	40,8	–	49,6	139,5	185,8

Ausgangsgestein: Hochflutlehm

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne Nutzungsdifferenzierung der Oberböden								
n	–	56	56	56	–	56	56	56
Typ I 50 P.	–	0,5	14,5	15,5	–	17,0	40,0	72,0
90 P.	–	1,2	25,0	31,3	–	29,0	83,7	131,0
Acker Oberboden								
n	–	29	29	29	–	29	29	29
Typ I 50 P.	–	0,5	14,0	16,0	–	17,0	34,0	66,0
90 P.	–	0,8	21,0	31,0	–	27,0	75,0	123,0

Ausgangsgestein: Tonstein, Tonschiefer, Phyllit

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne Nutzungsdifferenzierung der Oberböden								
n	22	26	26	26	–	26	26	26
Typ O 50 P.	–	–	–	15,0	–	16,5	41,0	73,0
90 P.	18,3	0,8	43,3	38,2	–	47,7	127,1	128,5
n	20	20	20	20	–	20	20	20
Typ II 50 P.	–	–	–	13,5	–	12,5	37,5	75,0
90 P.	12,2	0,5	43,9	35,6	–	43,6	118,9	95,8

Ausgangsgestein: Sandstein, Quarzit, Grauwacke

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne Nutzungsdifferenzierung der Oberböden								
n	31	31	31	31	–	31	31	31
Typ II 50 P.	8,9	<0,1	29,0	13,0	–	28,0	37,0	86,0
90 P.	15,5	0,8	51,6	23,0	–	37,0	73,6	133,6

Ausgangsgestein: Basalt, Schalstein, Diabas usw.

mg/kg	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Acker Oberboden								
n	121	121	–	121	121	121	121	121
Typ III 50 P.	3,0	0,5	–	52,0	0,07	207,0	42,0	144,0
90 P.	5,0	0,8	–	72,8	0,10	339,0	49,0	169,8
Grünland Oberboden								
n	119	119	–	119	118	119	119	119
Typ III 50 P.	3,0	0,6	–	47,0	0,06	185,0	48,0	135,0
90 P.	5,0	1,2	–	69,0	0,11	276,0	55,0	168,0
Wald Oberboden								
n	70	70	–	70	69	70	70	70
Typ III 50 P.	4,0	0,8	–	45,5	0,13	182,0	74,0	162,0
90 P.	8,0	1,2	–	68,9	0,23	277,6	119,9	211,6
Wald Auflage								
n	55	55	–	55	49	55	55	55
Typ III 50 P.	2,0	1,0	–	29,0	0,2	63,0	83,0	107,0
90 P.	4,4	1,4	–	48,4	0,4	147,8	207,0	159,2

hohen Niederschlägen und Temperaturen kam es vor allem nach Abschluss der vulkanischen Aktivitäten zu intensiver chemischer Zersetzung der Gesteine, zum Teil bis 50 m tief. Es bildeten sich tropische Verwitterungsböden mit ihren typischen intensiven, meist roten Farben (Rotlehme = Latosole). Aus diesen Böden wurden die meisten Nährstoffe ausgewaschen und neugebildete Tonminerale (vor allem Kaolinit) und Oxid-/Hydroxidminerale (vor allem Aluminium- (Gibbsit) und Eisenverbindungen (Hämatit/Goethit)) reicherten sich an.

Im Quartär wurde der größte Teil dieser Böden wieder abgetragen, so dass man heute keine vollständigen Profile mehr findet. Reste tropischer Böden und ihre Umlagerungsprodukte sind auch außerhalb des Vogelsberggebietes – u.a. im Rheinischen Schiefergebirge – weit verbreitet. Meist sind sie in den periglazialen Solifluktionsschuttdecken eingearbeitet und übernahmen so teilweise für die heutigen Böden wieder die Rolle als Bodenausgangssubstrat. In die jüngsten dieser Solifluktionsschuttdecken wurden zum Teil auch größere Mengen Löss eingemischt.

Diese Vorgeschichte ist auch für unsere heutigen Böden von Bedeutung. Erstens wirken die tonreichen, nährstoffarmen Böden unter den lösslehmreichen Solifluktionsschuttdecken wasserstauend und verhindern eine tiefere Durchwurzelung.

Außerdem beeinflussen die tertiärzeitlichen Verwitterungslehme erheblich die chemische Zusammensetzung der Böden. Viele Basalte sind schon primär reich an Schwermetallen (z.B. Nickel (Ni) und Chrom (Cr)) (vgl. Kap. Das natürliche Bodenmaterial ist nicht überall gleich: geogene Grundgehalte). Durch die residuale Anreicherung in den fossilen Böden kommt es zu einer weiteren Erhöhung der Schwermetallgehalte. Legt man die gängigen Beurteilungslisten an, so werden die vorgegebenen Richt- bzw. Grenzwerte für Ni und Cr oft überschritten. Dies ist aber nicht auf menschlichen Einfluss zurückzuführen, sondern hat eindeutig natürliche Ursachen, was bei der Bewertung dieser Böden unbedingt berücksichtigt werden muss. Diese natürlichen Schwermetallgehalte liegen im Gegensatz zu den durch den Menschen eingebrachten festgebunden im Kristallgitter der Minerale vor, so dass sie praktisch nicht in die Umwelt gelangen und somit auch kein Gefahrenpotenzial darstellen.

Bodenversauerung schon in vorindustrieller Zeit: Podsole im Odenwald

Bodenversauerung ist ein Stichwort, das im Zusammenhang mit der Diskussion über das Waldsterben auch großes öffentliches Interesse erweckte. Dabei wird aber oft vergessen, dass auch unter natürlichen Bedingungen alle Böden allmählich versauern und dass auch schon vorin-

Tab. 5. Im tonreichen tertiären Bodenrest geht die Wasserdurchlässigkeit stark zurück. Dieser Horizont behindert die Durchwurzelung und beeinflusst das Wasserspeichervermögen der Böden negativ

Substrat	Bodenhorizont	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Wasserdurchlässigkeit [cm/Tag]
lösslehmreicher Solifluktionsschutt	Bv	24	43	33	32
tertiärer Bodenrest	IIBj	8	35	57	3



Abb. 21. Die roten tonigen, unter tropischen Klimabedingungen entstandenen Böden wirken wasserstauend und hemmen die Durchwurzelung.

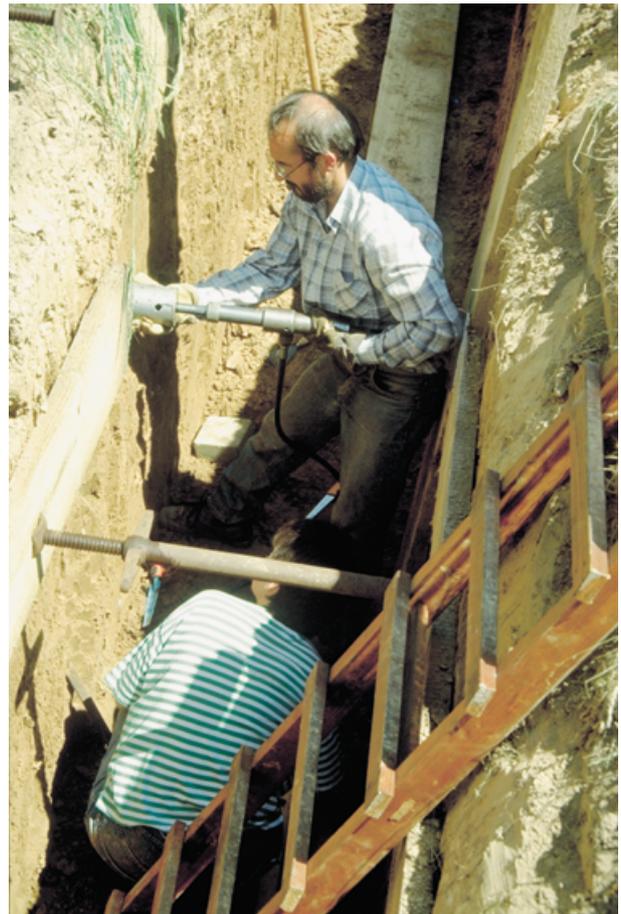


Abb. 22. Mitarbeiter des HLUG entnehmen Bodenproben für bodenphysikalische Untersuchungen.

industrielle menschliche Eingriffe die Bodenversauerung beschleunigten.

In Landschaften mit hohen Niederschlägen, niedrigen Jahresmitteltemperaturen und gut durchlässigem, basenarmem Gestein gibt es auch unter natürlichen Bedingungen sehr saure Böden, die sogenannten Podsole. Solche Bedingungen sind im Buntsandstein-Odenwald auf Grund der Gesteins-

verhältnisse, einem sommerkühlen ozeanisch-feuchtem Klima mit 900 bis 1100 mm Jahresniederschlag und einer Jahresmitteltemperatur von 7° bis 8° C gegeben. Trotzdem treten echte Podsole flächenmäßig nur untergeordnet auf. Es dominieren Braunerden, wie sie auch in trockeneren Gebieten und über weniger basenarmen Untergrundgesteinen vorkommen.

In den meisten Fällen können Unterschiede im anstehenden Gestein nicht für den Wechsel von Braunerde und Podsol verantwortlich gemacht werden. Auch mikroklimatische Einflüsse sind nicht die Ursache für die verschiedenartigen Bodenbildungen, da Podsole und Braunerden bei gleicher Exposition, Höhe und Hangneigung nebeneinander vorkommen. Podsol findet man fast ausschließlich auf süd- bis westexponierten Hängen und hier auf die Oberhänge und Kuppenbereiche beschränkt. Auf mehr oder weniger stark ausgeprägten Rücken ziehen die Podsole bis in die Mittelhänge hinunter. Auf den übrigen Hangbereichen dominieren Braunerden. Die Untergrenze der Verbreitung der Podsole liegt bei ca. 400 m ü.NN.

Das Beispiel der Podsole demonstriert deutlich die Bedeutung der Beimengung von der Versauerung entgegenwirkendem Lösslehm in den bodenbildenden Solifluktsdecken. Die Beimischung von äolischem Material (Löss) wird durch einen meist deutlichen Anstieg des Schluffgehaltes (Schluff = Korndurchmesser 0,002–0,063 mm) im Vergleich zum verwitterten Buntsandstein, der meistens stark sandig (Sand = Korndurchmesser 0,063–2,0 mm) ist, belegt. Außerdem kann man Minerale der Aschen des allerödzeitlichen (ca. 11 000 Jahre vor Heute) Ausbruchs des Laacher-See-Vulkans in den Solifluktsdecken nachweisen. Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass Podsole im Odenwald dort auftreten, wo das Sand/Schluffverhältnis 6:1 überschreitet, d.h. in Böden mit geringer Lösslehmbeimischung. Außerdem wird hier deutlich, dass für die Podsolbildung nicht das anstehende Festgestein verantwortlich ist, sondern in erster Linie die Zusammensetzung der jüngsten Solifluktsdecken.

Im Odenwald liegt über den natürlichen periglazialen Solifluktsdecken ein weiteres Sediment. Es entstand in Folge der intensiven Nutzung der Wälder; dies lässt sich durch zahlreiche Köhlerplätze und Steinlesehaufen belegen. Ihre Entstehung ist mit der im Odenwald weit verbreiteten Hackwaldwirtschaft in Verbindung zu bringen, die hier seit dem 14. Jahrhundert betrieben wurde und vor allem in Notzeiten bis ins 18. Jahrhundert immer wieder auf-

genommen bzw. räumlich weiter ausgedehnt wurde.

Die Oberböden der Podsole sind so sauer (pH-Wert <3,5), dass aus dem Oberboden Humus und Metalloxyde gelöst werden und in tieferen Profilhohbereichen wieder ausgefällt werden. Diese Oxid-anreicherungs-horizonte (Bs) können regelrecht zu Stein verbacken (Abb. 23). Diese Horizonte reduzieren den Wurzelraum und das Wasserspeichervermögen der Böden. Mit dem Humus und den Metalloxyden werden auch Schwermetalle verlagert, sogar das normalerweise kaum mobile Blei. Da der Eintrag von Blei in den Oberboden erst in jüngerer Zeit erfolgte, ist auch die Verlagerung und Podsolbildung aktuell oder zumindest sehr jung. Aufgrund der Besiedlungsgeschichte ist ein Alter von höchstens 600 bis 700 Jahren wahrscheinlich.



Abb. 23. Podsolprofil im Odenwald. Typisch ist der gebleichte Oberboden und die deutlich erkennbare Eisen- und Humusanreicherung darunter.

Durch den Menschen in die Umwelt gebracht: Organische Schadstoffe

Organische Schadstoffe kommen natürlicherweise außerhalb der Lagerstätten fossiler Brennstoffe so gut wie überhaupt nicht vor. Nur bei Vulkanausbrüchen und Waldbränden können einige dieser Verbindungen in geringen Konzentrationen entstehen. Der weitaus größte Teil der organischen Schadstoffe ist anthropogenen Ursprungs und in größerem Umfang erst im Zuge der weltweiten Industrialisierung zu Beginn unseres Jahrhunderts in die Umwelt gelangt. Die Belastung der Umwelt mit organischen Schadstoffen wird hauptsächlich durch die chemischen und physikalischen Eigenschaften von emittierten Verbindungen sowie durch die Anwendung der Endprodukte bestimmt. Obwohl z.B. DDT in der Bundesrepublik seit 1972 verboten ist, lässt es sich heute noch in fast allen Böden nachweisen. Es befindet sich auch noch in der Atmosphäre, wird auch weiterhin in den Streuauflagen im Wald gefunden und aktuell in den Boden eingetragen.

Die Stabilität der organischen Verbindungen und ihre starke Bindung an die Humusstoffe im Boden bewirkt zwar, dass sie zunächst im Boden fixiert bleiben und nicht unmittelbar ins Grundwasser gelangen. Eine verstärkte Bodenversauerung könnte aber schon in naher Zukunft eine Verlagerung auch von organischen Schadstoffen bewirken. Außerdem besteht die Gefahr der Anreicherung in Bodenorganismen, so dass diese Stoffe über Umwege wieder in die Nahrungskette gelangen können. Bei Tieren und spielenden Kindern besteht auch die Möglichkeit der Direktaufnahme. Die Böden können hier zwar als Filter und Puffer zunächst schädliche Auswirkungen verhindern, dieses Vermögen darf jedoch nicht überstrapaziert werden, da solche Systeme „umkippen“ können.

Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) finden Verwendung als Pestizide (z.B. Dieldrin, HCB, DDT, Lindan (γ -HCH)), Holzschutzmittel (Lindan, HCB), Ausgangsprodukte für Kunststoffe und Lösungsmittel. Obwohl in der Bundesrepublik die Anwendung vieler CKW (Lindan, DDT, Dieldrin, HCB) als Pflanzenschutzmittel verboten ist, findet man immer noch ihre Rückstände in den

Böden. CKW sind oft persistent und können sich aufgrund ihrer hohen Fettlöslichkeit in Tieren und Menschen anreichern. Viele CKW sind giftig und/oder kanzerogen.

Polychlorierte Biphenyle (PCB) werden wegen ihrer schweren Brennbarkeit, ihres hohen Siedepunktes und ihrer thermischen Stabilität u.a. als Kühlmittel, Hydraulikflüssigkeit, Imprägniermittel für Holz und Papier und als Weichmacher für Kunststoffe und Dichtungsmassen eingesetzt. Sie sind ausschließlich anthropogenen Ursprungs und fallen seit ca. 50 Jahren bei der industriellen Produktion an. Ihr Verhalten in der Umwelt entspricht dem der übrigen CKW.

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind natürlich in Erdöl und besonders in Kohle enthalten. Es gibt weit über 100 bekannte PAK, von denen viele sehr giftig und krebserregend sind. Obwohl PAK eigentlich nicht bewußt „hergestellt“ werden, gehören sie zu den am weitesten verbreiteten organischen Verbindungen. Nach einer international gültigen Liste (EPA-Liste) wird zur Bewertung der PAK die Summe der Konzentrationen von 16 repräsentativen Einzelstoffen gebildet.

Dioxine (Polychlorierte Dibenzodioxine = PCDD) und Furane (Polychlorierte Dibenzofurane = PCDF) sind Verbindungen, die über eine Etherbrücke Phenylringe verknüpfen. Das bekannteste Isomer dieser Gruppe ist das Tetrachlordibenzodioxin (2,3,7,8-TeCDD), das sog. „Seveso-Dioxin“. Es gehört zu den giftigsten anthropogenen Substanzen. Aber auch andere PCDD und PCDF sind teilweise hochgiftig. Es sind hochgradig persistente Stoffe, die als unerwünschte Nebenprodukte industrieller Synthesen, thermischer und photochemischer Prozesse in die Umwelt gelangen. Der Eintrag von PCDD/F in den Boden erfolgt über die Luft. Bewertet werden PCDD/F mit dem sog. Toxizitätsequivalent (TE), bei dem einzelne Kongenere unterschiedlich gewichtet und verrechnet werden.

In Tab. 6 bis Tab. 9 ist die durchschnittliche Belastung der hessischen Böden mit organischen Schadstoffen dargestellt.

Tab. 6. Hintergrundwerte für Böden in Hessen. Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW)

mg/kg	Dieldrin	HCB	α -HCH	γ -HCH (Lindan)	DDT
Oberböden (max. 30 cm) (inkl. org. Aufl.) Anzahl der Standorte, Proben	34,57	38, 70	30, 48	39, 70	40, 74
90 P.	0,0050	0,0211	0,0013	0,0151	0,0738
50 P.	0,0005	0,0030	0,0005	0,0005	0,0110
Oberböden (max. 30 cm) (inkl. org. Aufl.) Gebietstyp I Anzahl der Standorte, Proben	16, 20	20, 33	18, 29	21, 33	22, 37
90 P.	0,0416	0,0320	0,0012	0,0168	0,0894
50 P.	0,0005	0,0040	0,0005	0,0005	0,0180
Oberböden (max. 30 cm) (ohne org. Aufl.) Anzahl der Standorte, Proben	33, 40	37, 52	30, 38	38, 50	39, 54
90 P.	0,0010	0,0210	0,0005	0,0010	0,0399
50 P.	0,0005	0,0030	0,0005	0,0005	0,0040
Oberböden (max. 30 cm) (ohne org. Aufl.) Gebietstyp I Anzahl der Standorte, Proben	16, 16	20, 28	18, 24	21, 26	22, 30
90 P.	0,0013	0,0277	0,0005	0,0020	0,0563
50 P.	0,0005	0,0040	0,0005	0,0005	0,0115
Oberböden (max. 30 cm) Landwirtschaft (Acker, Weinberg) Anzahl der Standorte, Proben	21, 21	24, 25	21, 22	24, 25	24, 25
90 P.	0,0005	0,0076	0,0005	0,0016	0,0224
50 P.	0,0005	0,0030	0,0005	0,0005	0,0020
Oberböden (max. 30 cm) Landwirtschaft (Acker, Weinberg) Gebietstyp I Anzahl der Standorte, Proben	13, 13	16, 17	14, 15	16, 17	16, 17
90 P.	0,0005	0,0062	0,0005	0,0020	0,0440
50 P.	0,0005	0,0030	0,0005	0,0005	0,0030
Oberböden (max. 30 cm) Acker Anzahl der Standorte, Proben	21, 21	22, 22	19, 19	22, 22	22, 22
90 P.	0,0005	0,0079	0,0005	0,0019	0,0088
50 P.	0,0005	0,0040	0,0005	0,0005	0,0020

Erläuterung zu den Tabellen:

Oberböden (max. 30 cm) (inkl. org. Aufl.) = alle Of-, Oh-, A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, ohne Nutzungsdifferenzierung

Oberböden (max. 30 cm) (ohne org. Aufl.) = alle A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, ohne Nutzungsdifferenzierung

Oberböden (max. 30 cm) Landwirtschaft (Acker, Weinberg) = alle A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, unter Acker- und Weinbergnutzung

Oberböden (max. 30 cm) Acker = alle A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, unter Ackernutzung

Gebietstyp I: nur Standorte, die in Regionen mit großen Verdichtungsräumen liegen (gemäß LABO 1995)

Werte kursiv: weniger als 20 Standorte wurden untersucht

P. = Perzentil

Tab. 7. Hintergrundwerte für Böden in Hessen. Polychlorierte Biphenyle (PCB)

mg/kg	PCB 28	PCB 52	PCB101	PCB 138	PCB 153	PCB 180	Σ-PCB
Oberböden (max. 30 cm) (inkl. org. Aufl.) Anzahl der Standorte, Proben	44, 78	44, 78	44, 78	44, 78	44, 78	44, 78	44, 78
90 P.	0,0005	0,0010	0,0080	0,0199	0,0196	0,0123	0,0620
50 P.	0,0005	0,0005	0,0005	0,0025	0,0025	0,0015	0,0073
Oberböden (max. 30 cm) (inkl. org. Aufl.) Gebietstyp I Anzahl der Standorte, Proben	26, 41	26, 41	26, 41	26, 41	26, 41	26, 41	26, 41
90 P.	0,0005	0,0020	0,0080	0,0190	0,0190	0,0130	0,0650
50 P.	0,0005	0,0005	0,0005	0,0010	0,0010	0,0005	0,0030
Oberböden (max. 30 cm) (ohne org. Aufl.) Anzahl der Standorte, Proben	43, 58	43, 58	43, 58	43, 58	43, 58	43, 58	43, 58
90 P.	0,0005	0,0005	0,0060	0,0153	0,0140	0,0080	0,0428
50 P.	0,0005	0,0005	0,0005	0,0010	0,0010	0,0005	0,0030
Oberböden (max. 30 cm) (ohne org. Aufl.) Gebietstyp I Anzahl der Standorte, Proben	26, 34	26, 34	26, 34	26, 34	26, 34	26, 34	26, 34
90 P.	0,0005	0,0020	0,0080	0,0184	0,0168	0,0114	0,0546
50 P.	0,0005	0,0005	0,0005	0,0009	0,0008	0,0005	0,0020
Oberböden (max. 30 cm) Landwirtschaft (Acker, Weinberg) Anzahl der Standorte, Proben	28, 29	28, 29	28, 29	28, 29	28, 29	28, 29	28, 29
90 P.	0,0005	0,0005	0,0005	0,0010	0,0010	0,0005	0,0030
50 P.	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0011
Oberböden (max. 30 cm) Landwirtschaft (Acker, Weinberg) Gebietstyp I Anzahl der Standorte, Proben	20, 21	20, 21	20, 21	20, 21	20, 21	20, 21	20, 21
90 P.	0,0005	0,0005	0,0005	0,0010	0,0010	0,0005	0,0020
50 P.	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Oberböden (max. 30 cm) Acker Anzahl der Standorte, Proben	26, 26	26, 26	26, 26	26, 26	26, 26	26, 26	26, 26
90 P.	0,0005	0,0005	0,0005	0,0010	0,0010	0,0005	0,0030
50 P.	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0013

Erläuterung zu den Tabellen:

Oberböden (max. 30 cm) (inkl. org. Aufl.) = alle Of-, Oh-, A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, ohne Nutzungsdifferenzierung

Oberböden (max. 30 cm) (ohne org. Aufl.) = alle A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, ohne Nutzungsdifferenzierung

Oberböden (max. 30 cm) Landwirtschaft (Acker, Weinberg) = alle A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, unter Acker- und Weinbergsnutzung

Oberböden (max. 30 cm) Acker = alle A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, unter Ackernutzung

Gebietstyp I: nur Standorte, die in Regionen mit großen Verdichtungsräumen liegen (gemäß LABO 1995)

Werte kursiv: weniger als 20 Standorte wurden untersucht

P. = Perzentil

Tab. 8. Hintergrundwerte für Böden in Hessen. Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

mg/kg	Benzo-(a)-pyren	Σ PAK nach EPA
Oberböden (max. 30 cm) (inkl. org. Aufl.) Anzahl der Standorte, Proben	41, 70	34, 50
90 P.	0,2900	0,9585
50 P.	0,0305	0,1220
Oberböden (max. 30 cm) (inkl. org. Aufl.) Gebietstyp I Anzahl der Standorte, Proben	22, 38	18,18
90 P.	0,3206	0,2231
50 P.	0,0325	0,0995
Oberböden (max. 30 cm) (ohne org. Aufl.) Anzahl der Standorte, Proben	40, 53	33, 38
90 P.	0,2704	0,6256
50 P.	0,0130	0,1055
Oberböden (max. 30 cm) (ohne org. Aufl.) Gebietstyp I Anzahl der Standorte, Proben	25, 33	18,18
90 P.	0,3866	0,2231
50 P.	0,0140	0,0995
Oberböden (max. 30 cm) Landwirtschaft (Acker, Weinberg) Anzahl der Standorte, Proben	28, 29	26, 26
90 P.	0,0602	0,4845
50 P.	0,0100	0,1035
Oberböden (max. 30 cm) Landwirtschaft (Acker, Weinberg) Gebietstyp I Anzahl der Standorte, Proben	20, 21	18,18
90 P.	0,0410	0,2231
50 P.	0,0090	0,0995
Oberböden (max. 30 cm) Acker Anzahl der Standorte, Proben	26, 26	26, 26
90 P.	0,0450	0,4845
50 P.	0,0095	0,1035

Erläuterung zu den Tabellen:

Oberböden (max. 30 cm) (inkl. org. Aufl.) = alle Of-, Oh-, A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, ohne Nutzungsdifferenzierung

Oberböden (max. 30 cm) (ohne org. Aufl.) = alle A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, ohne Nutzungsdifferenzierung

Oberböden (max. 30 cm) Landwirtschaft (Acker, Weinberg) = alle A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, unter Acker- und Weinbergsnutzung

Oberböden (max. 30 cm) Acker = alle A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, unter Ackernutzung

Gebietstyp I: nur Standorte, die in Regionen mit großen Verdichtungsräumen liegen (gemäß LABO 1995)

Werte kursiv: weniger als 20 Standorte wurden untersucht

P. = Perzentil

Tab. 9. Hintergrundwerte für Böden in Hessen. Dioxine und Furane (PCDD/F)

ng/kg	Toxizitäts- äquivalent
Oberböden (max. 30 cm) (inkl. org. Aufl.) Anzahl der Proben	72
90 P.	46,1
50 P.	11,3
Oberböden (max. 30 cm) (Wald Mittelwert von A-Hor. und org. Aufl.) Anzahl der Proben	53
90 P.	25,4
50 P.	2,1
Oberböden (max. 30 cm) (A-Hor. ohne org. Aufl.) Anzahl der Proben	52
90 P.	22,9
50 P.	5,0
Oberböden (max. 30 cm) Acker Anzahl der Proben	23
90 P.	1,3
50 P.	1,0

Erläuterung zu den Tabellen:
 Oberböden (max. 30 cm) (inkl. org. Aufl.) = alle Of-, Oh-, A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, ohne Nutzungsdifferenzierung
 Oberböden (max. 30 cm) (ohne org. Aufl.) = alle A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, ohne Nutzungsdifferenzierung
 Oberböden (max. 30 cm) Landwirtschaft (Acker, Weinberg) = alle A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, unter Acker- und Weinbergsnutzung
 Oberböden (max. 30 cm) Acker = alle A-, M-Horizonte bis maximal 30 cm Tiefe, unter Ackernutzung
 Gebietstyp I: nur Standorte, die in Regionen mit großen Verdichtungsräumen liegen (gemäß LABO 1995)
 Werte kursiv: weniger als 20 Standorte wurden untersucht
 P. = Perzentil

Instrument des vorsorgenden Bodenschutzes: Boden-Dauerbeobachtung

Äußere Einflüsse wie Stoffeinträge durch Industrieabgase, Verkehr und Landwirtschaft sowie nutzungsbedingte Bodenerosion oder -verdichtung können die Bodenfunktionen – z.B. die Eignung der Böden als Grundlage für die Vegetation oder als Filter und Puffer gegenüber Schadstoffen – beeinträchtigen. Einzelne Bodenanalysen sagen wenig über Belastungen und Veränderungen aus, denen die Böden ausgesetzt sind. Notwendig ist daher eine hessenweite, langfristige, kontinuierliche

Überwachung von Böden unterschiedlicher Nutzung im Sinne einer Daseinsvorsorge. Dies geschieht auf den sogenannten Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF).

Seit 1991 besteht eine bundeseinheitliche „Konzeption zur Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen“, nach der auch in Hessen vorgegangen wird¹. Sie wird von der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) aktualisiert und fortgeschrieben.

Die **Ziele** der Boden-Dauerbeobachtung sind:

- die Beschreibung des Ist-Zustandes der Böden,
- die langfristige Überwachung der Veränderungen der Böden und
- die Ableitung von Prognosen für die zukünftige Entwicklung.

Diese **Ziele** werden erreicht durch

- die **Merkmalsdokumentation**, d.h.
 - eine Grundinventur der Bodeneigenschaften und
 - die periodischen Wiederholungsuntersuchungen sowie
 - die Anlage einer Bodenprobenbank,
- ergänzt durch die **Prozessdokumentation** an ausgewählten Standorten, d.h.
 - die zeitlich hochauflösende Beobachtung der Prozesse in Böden und
 - eine pfadbezogene Erfassung von Stoffflüssen.

Die Boden-Dauerbeobachtung dient als:

- Frühwarnsystem für schädliche Bodenveränderungen,
- Kontrollinstrument für umweltpolitische Maßnahmen,
- Beweissicherung und (Umfeld-)Überwachung,
- Referenz für Bodenbelastungen (Hintergrundwerte, Bodenbelastungskataster),
- Versuchsplattform für Forschung (z.B. zur Methodenentwicklung),
- Referenz für bodenkundliche Standortaufnahme.

Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen bieten sich als **Basis für ein integriertes Umweltmonitoring** an.

¹ Böden im Wandel, Geologie in Hessen 2/1998

Die Ziele der Boden-Dauerbeobachtung gehen damit weit über die traditionelle, medial orientierte Erfassung der Böden hinaus. Sie entspringen einer funktionalen Betrachtung der Umwelt, die nicht nur die Eigenschaften der Umweltmedien, sondern ihre **Funktion im Naturhaushalt** als primäres Schutzziel erfasst. Die Boden-Dauerbeobachtung versteht sich als Instrument zur langfristigen Überwachung der Veränderung von Bodenzuständen und Bodenfunktionen im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes. Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit herbeizuführen, sind hierbei gleichbedeutend mit einer **schädlichen Bodenveränderung**. Zur rechtzeitigen Erfassung derartiger Veränderungen (Frühwarnsystem) eignen sich die Merkmals- und Prozessdokumentation je nach der im Vordergrund stehenden Bodenfunktion bzw. deren Empfindlichkeit gegenüber Veränderungen. In vielen Fällen erweisen sich schädliche Veränderungen von Bodenzuständen und -funktionen als schleichende, längerfristig ablaufende Prozesse, die sich erst über eine zeitlich hinreichend aufgelöste Merkmalsdokumentation sicher erfassen lassen. Ein wichtiges Hilfsmittel des Bodenmonitorings, insbesondere unter dem Aspekt der Beweissicherung und der Umfeldüberwachung, ist die Anlage einer Bodenprobenbank.

Für ausgewählte Fragestellungen, z.B. im Zusammenhang mit der Filter- und Pufferfunktion von Böden, werden zusätzliche Indikatoren benötigt, die deutlich über die Quantifizierung von Stoffgehalten (Merkmalsdokumentation) hinausgehen. Die hier ansetzende Prozessdokumentation zielt primär auf die Erfassung von Stoffflüssen, die empfindliche Sensoren für Veränderungen im Stoffhaushalt sind. Die Prozessdokumentation ist damit ein wichtiges Instrument für den vorsorgenden Bodenschutz, das die Merkmalsdokumentation vor allem im Hinblick auf die BDF-Funktion als Frühwarnsystem sinnvoll ergänzt. Wegen des vergleichsweise hohen apparativen und personellen Aufwandes muss die Prozessdokumentation auf ausgewählte Standorte beschränkt werden.

Fachinformationssystem Boden/Bodenschutz

Für einen effektiven und erfolgreichen Bodenschutz müssen die vielfältigen Informationsgrundlagen zentral verfügbar sein. Die Umweltministerkonferenz hat den Ländern deshalb die Einrichtung von Bodeninformationssystemen empfohlen, diese Empfehlung fand auch Eingang in das Bundes-Bodenschutzgesetz (§21).

Das Fachinformationssystem Boden/Bodenschutz ist eine fachliche Einheit innerhalb des Hessischen Erd-Informationssystems (HEISS) (vgl.



Abb. 24. Einrichtung einer Boden-Dauerbeobachtungsfläche in der Rhön.

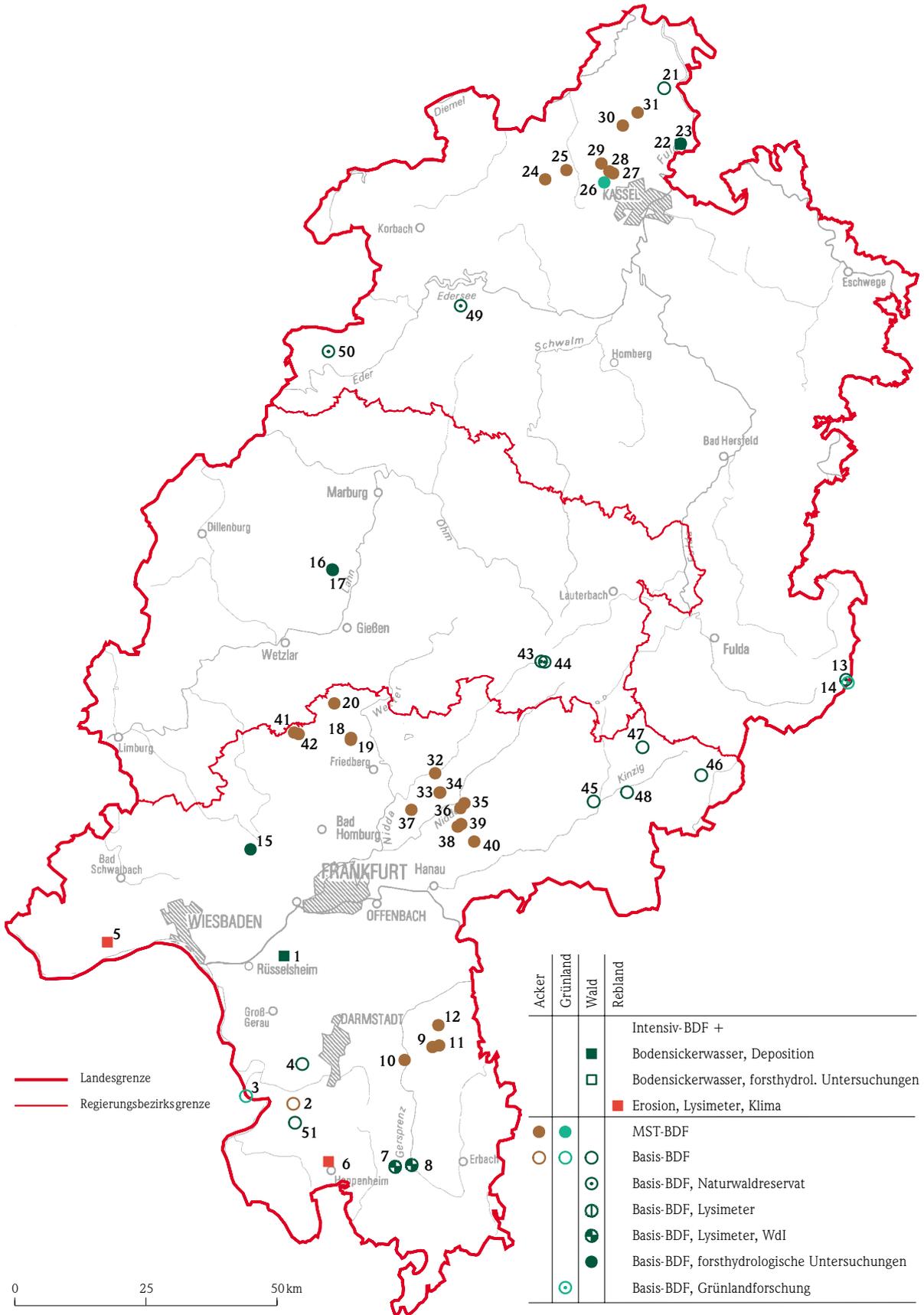


Abb. 25. Übersichtskarte der hessischen Bodendauerbeobachtungsflächen.



Abb. 26. Probenahme auf einer Boden-Dauerbeobachtungsfläche im Hessischen Ried.

Abb. 27). Es wurde und wird sukzessive in Abstimmung mit den übrigen Bundesländern im Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) entwickelt².

Die ersten Konzepte zum Aufbau eines Bodeninformationssystems sahen die individuelle Entwicklung von Datenbankanwendungen einzelner Fachinformationsbereiche vor, die über ein Kernsystem verbunden werden sollten. Weitere Anforderungen wie:

- fachübergreifende Nutzung der Daten,
- kostengünstige Realisierung und
- geringer Aufwand bei der Erweiterung und Pflege

führten am HLUG jedoch zu einem strukturell fachübergreifenden Ansatz.

Das gesamte Bodeninformationssystem besteht im Wesentlichen aus drei übergreifenden Einheiten:

- dem Thesaurus mit einer standardisierten Begriffswelt,
- einer Sachdatenbank und
- der Bereitstellung räumlicher Objekte (Geometriedaten).

Das Fachinformationssystem Boden/Bodenschutz ist ein vollzugsorientiertes, organisatorisches und

informationstechnisches Werkzeug zur Bearbeitung von fach- und ressortübergreifenden Fragestellungen. In ihm werden die notwendigen Grundlagen zur Verwaltung, Auswertung und Präsentation von Informationen über Böden (flächenhafte Verbreitung, Eigenschaften) vorgehalten.

Bodenschätzung

Die Bodenschätzung ist seit nunmehr fast 65 Jahren das einzige flächendeckende Bewertungsverfahren für die Ertragsfähigkeit landwirtschaftlich nutzbarer Böden. Nach dem Bodenschätzungsgesetz vom 16. Oktober 1934 wurde die Bodenschätzung „für den Zweck einer gerechten Verteilung der Steuern, einer planvollen Gestaltung der Bodennutzung und einer Verbesserung der Beilehungsgrundlagen“ eingeführt. Neben vielfältigen Anwendungen im Steuerbereich (z.B. Einkommensteuer, Erbschafts- und Schenkungsteuer, Grundsteuer) wird sie auch im nichtsteuerlichen Bereich bereits seit langen Jahren vielfältig genutzt (z.B. als Grundlage bei der Wertermittlung in Flurbereinigungsverfahren; § 28 Flurbereinigungsgesetz).

Mit den Ergebnissen der Bodenschätzung liegt für die landwirtschaftlichen Nutzflächen eine nach einheitlicher Methode mit hoher räumlicher Dichte erhobene und laufend fortgeschriebene Informationsbasis an Flächen- und Punktdaten vor, so dass die Bodenschätzung als

² Das Hessische Erdinformationssystem (HEISS), Geologie in Hessen 3/1999

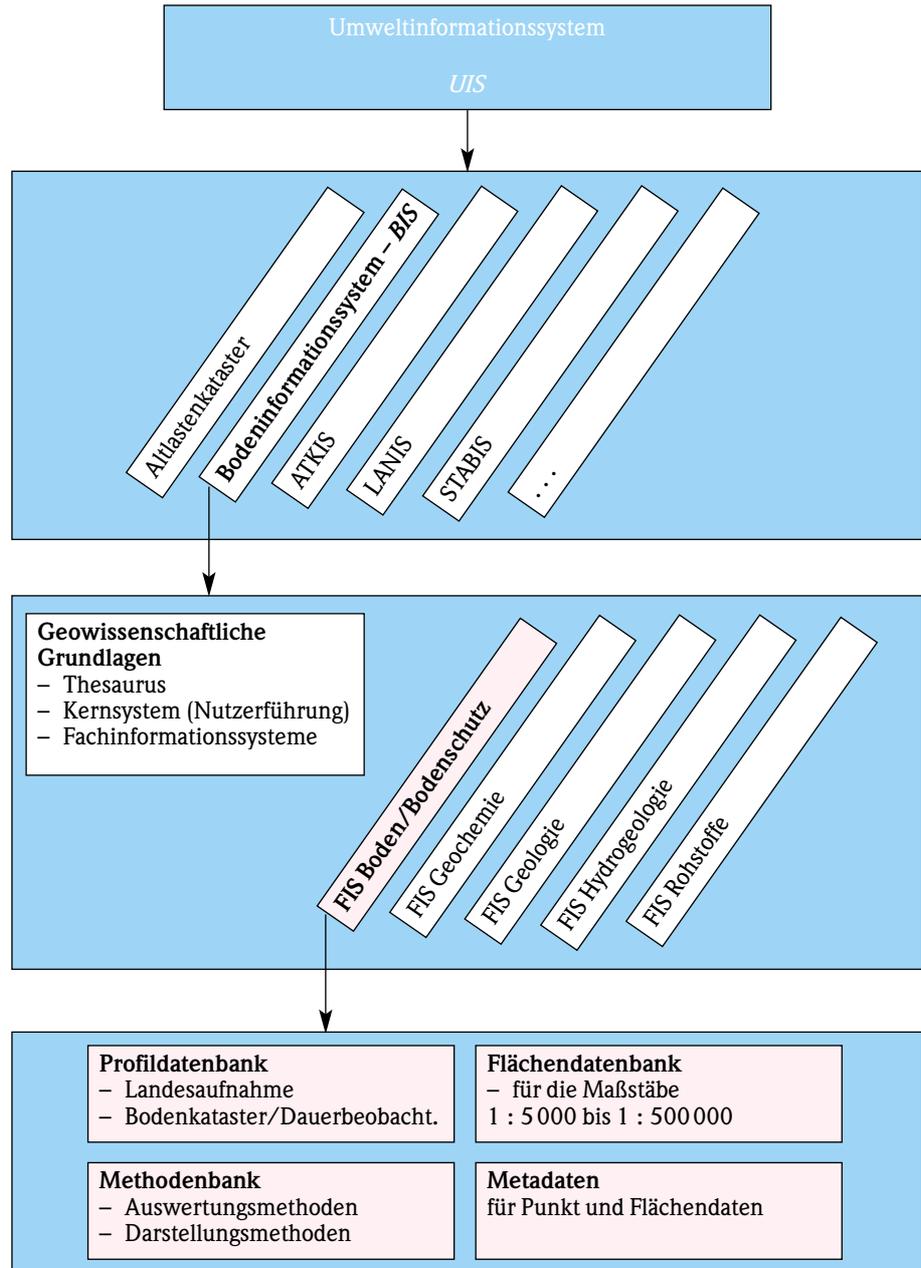


Abb. 27. Stellung des Fachinformationssystems Boden/Bodenschutz im Umweltinformationssystem (UIS).

notwendige Datenbasis für den Aufbau von länderübergreifenden Bodeninformationssystemen eingestuft wird. Die Umweltminister (05. 05. 1993), die Finanzminister (14. 04. 1994) und die Innenminister (08. 07. 1994) haben sich für die Nutzung der Bodenschätzungsergebnisse zum Aufbau eines bundesweiten Bodeninformationssystems ausgesprochen. Mit dem Gesetz zum Schutz des Bodens vom 17. März 1998 wird ein breiter Handlungsrahmen für den gebietsbezogenen Bodenschutz geschaffen. Dazu gehört z.B. die Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen und Bodeninformationssystemen. Die

Umsetzung des Bodenschutzgesetzes in den einzelnen Bundesländern wird auch im Planungsbereich dem Boden einen größeren Stellenwert zukommen lassen. Dazu sind Daten über den Boden, etwa in großmaßstäblichen Kartenwerken (z.B. 1:2000), erforderlich. Die Bodenschätzung, da flächendeckend vorliegend, wird dazu einen wichtigen Beitrag liefern.

In Hessen werden derzeit vom Hessischen Landesvermessungsamt (HLVA) die Voraussetzungen zur Digitalisierung der Bodenschätzung im Rahmen der Automatisierten Liegenschaftskarte

Abb. 28. Beispiel zur Datenaufnahme für das Fachinformationssystem Boden/Bodenschutz.



Abb. 29. Mehrere übereinander liegende Bodenhorizonte (rotbraun gefärbt) in eiszeitlichen Sedimenten belegen frühere Warmzeiten; im speziellen Fall sind diese Horizonte noch durch jüngste Tektonik verstellt.

(ALK) geschaffen. Das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) nutzt das Netz der sogenannten Musterstücke der Bodenschätzung, um Boden-Dauerbeobachtungsflächen im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Flächen einzurichten. Zusätzlich werden die Vergleichsstücke zum Aufbau der Punktdatenbank genutzt.

Fenster in die Erdgeschichte: Geotope

Naturschutz bedeutet nicht nur Bewahrung der Tier- und Pflanzenwelt mit ihren bedrohten

Lebensräumen in **Biotopen**, sondern er gilt darüber hinaus auch der Erhaltung der vielfältigen Erscheinungsformen der Erdgeschichte.

Berge und Täler, Höhlen, Felsstürze und Quellen – also Landschaften mit ihrem vielfältigen Formenschatz wurden in Jahrtausenden durch die Wirkung geologischer Kräfte geschaffen. An vielen Stellen lässt sich die Entstehungsgeschichte der Gesteine und die Entwicklungsgeschichte des Lebens an Gesteins- oder Bodenaufschlüssen ablesen. Daher sollten die Wesentlichen dieser Aufschlüsse dauerhaft der Nachwelt als **Geotope** erhalten bleiben.

Geotope sind erdgeschichtliche Bildungen, die Kenntnis über die Entwicklung der Erde oder des Lebens vermitteln. Sie umfassen einzelne Naturschöpfungen und natürliche Landschaftsteile sowie Aufschlüsse von Gesteinen, Böden, Mineralen und Fossilien. Schutzwürdig sind Geotope, die sich durch ihre besondere erdgeschichtliche Bedeutung, Seltenheit, Eigenart, Form oder Schönheit auszeichnen. Für Wissenschaft, Forschung und Lehre sowie für Natur- und Heimatkunde sind sie Dokumente von besonderem Wert. Geotopschutz ist der Bereich des Naturschutzes, der sich mit der Erhaltung und Pflege schutzwürdiger Geotope befasst. Das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie betrachtet Geotopschutz als eine originäre Aufgabe geologischer Landesdienste. Es berät Institutionen und Behörden in Fragen des geowissenschaftlichen Naturschutzes und unterstützt sie beim Vollzug³.

Die räumliche Variation der Hauptfaktoren der Bodenentwicklung – Gestein, Klima, Relief, Organismen (incl. Mensch) und die Zeit – bedingen (bodenbildende) Prozesse, die zu charakteristischen Merkmalsausbildungen, also einem Bodenprofil mit entsprechender Horizontabfolge führen (**Pedotop**). Im Verlaufe der Erdzeitalter hat sich diese Faktorenkonstellation, vor allem das Klima betreffend, geändert. Von entscheidender Bedeutung für unsere heutigen Böden ist dabei das durch tropisches Klima geprägte Tertiär (65-2 Mio. Jahre vor heute) und das Eiszeitalter (Quartär, 2 Millionen Jahre bis heute).

Böden, die in der Vergangenheit unter andersartigen Umweltbedingungen (Klima, Vegetation) gebildet wurden und in der Regel das Klimax-(End)stadium der Bodenentwicklung der entsprechenden Zeit repräsentieren, nennt man **Paläoböden**. Man unterscheidet dabei zwischen **fossilen Böden**, deren Weiterbildung durch Sedimentauftrag beendet wurde, und **Reliktböden**, deren Entwicklung in der Vergangenheit bei andersartiger Faktorenkonstellation begann, unter aktuellen veränderten Bedingungen weitergeht, aber noch deutliche Merkmale der vorzeitigen Prozesse aufweisen.

³ Abel, H. (1996): Geotope in Hessen, Schaufenster der Erdgeschichte.-HLfB; Wiesbaden.

Schwierigkeiten bereitet die eindeutige Abgrenzung von Paläoböden zu heutigen (rezenten) Böden, d.h. wie alt muss bzw. wie jung darf ein Paläoboden sein. Um diesem terminologischen Problem auszuweichen und neben „echten“ Paläoböden auch junge, vom Menschen induzierte Veränderungen in Böden zu erfassen, wurde der Begriff Archivboden geprägt. In § 2, Abs. 2 des Bundesbodenschutzgesetzes wird der Schutz der Böden als Archive der Natur- und Kulturgeschichte festgeschrieben.

Archivböden sind folglich Böden, die erdgeschichtliche Entwicklungsphasen und/oder Eingriffe des Menschen in den Naturhaushalt dokumentieren und sind damit auch Geotope. Sie geben Aufschluss über vergangene und Hinweise auf künftige Entwicklungen. Prinzipiell sind alle Böden als zeitdimensionale Elemente der Landschaft auch Archivböden.

In Hessen ist das Landesamt für Umwelt und Geologie die zuständige Fachbehörde für die systematische und umfassende Erfassung von Geotopen und ihre Bewertung als geowissenschaftlich schutzwürdige Objekte. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit anderen Fachbehörden, Verbänden und Institutionen initiiert es auch Unterschutznahmeverfahren, und es unterbreitet Vorschläge zu Pflegemaßnahmen sowie Ausnahmeregelungen für die geowissenschaftliche Nutzung. Ziel ist die Erhaltung der Vielfalt geowissenschaftlicher Objekte.

Bereits in den Jahren 1978 bis 1982 wurde vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung ein Inventar geologisch schützenswerter Objekte (GEOSCHOB) in Zusammenarbeit mit geowissenschaftlichen Hochschulen erstellt. Eine erste Fortschreibung dieser Liste wurde im Jahre 1988 für den Regierungsbezirk Nordhessen abgeschlossen. Die Fortschreibung für den Regierungsbezirk Südhessen wurde inzwischen beendet und wird für Mittelhessen demnächst abgeschlossen.

Die Inventarisierung erfolgt z.T. codiert in Erfassungsbögen. Darin werden Lage, Größe und Form des Objektes sowie derzeitiger Zustand und Besitzverhältnisse angegeben. Dann folgt eine geologische und/oder paläontologische bzw. bodenkundliche Kurzbeschreibung. Die Ermitt-

lung des geowissenschaftlichen Wertes geschieht in Anlehnung an SOYEZ (1982). Daraus und aus dem vorhandenen Schutzstatus bzw. der Gefährdungssituation ergibt sich die Schutzbedürftigkeit mit entsprechenden Hinweisen auf den Handlungsbedarf. Das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie liefert damit die geowissenschaftlichen Grundlagen für die erforderlichen Schutz- und Pflegemaßnahmen der geeigneten Geotope mit den notwendigen Freistellungen und Gestattungen. Die Beschreibungen werden durch Literaturhinweise und eine Photodokumentation ergänzt. Die erfassten Daten sind über eine Datenbank abrufbar und können von einer interessierten Öffentlichkeit eingesehen werden.

In einem internen Kartenwerk werden die einzelnen Objekte gekennzeichnet. Die Herausgabe einer Übersichtskarte für jede Planungsregion als Planungskarte mit einer Kurzerläuterung für jedes Objekt ist in Vorbereitung und soll bereits im Vorfeld landesplanerischer Maßnahmen auf Geotope hinweisen. Durch frühzeitige Absprachen werden Interessenkonflikte – etwa mit dem Rohstoffabbau oder dem Biotopschutz – im Hinblick auf die konkurrierenden Nutzungsansprüche in Einklang gebracht.

Böden als Archive der jüngeren Landschaftsgeschichte

In Hessen lassen sich vier Gruppen unterscheiden:

a. Fersiallitische und ferralitische Böden bzw. Bodenreste sind Zeugen einer langandauernden tropischen Bodenbildung aus dem Tertiär. Ihre Verbreitung ist an alte Landoberflächen gebunden. Sie kommen sowohl großflächig als Reliktböden vor, wie auch als fossile Böden.

b. Paläoböden in Lössablagerungen. Mächtige Lössvorkommen finden sich in Hessen im Rhein-Main-Gebiet, im Kasseler Becken und in kleineren Beckenlandschaften (z.B. Limburger- und Fuldaer Becken). Die Lössakkumulation erfolgte im Pleistozän nicht kontinuierlich, sondern wurde in Interglazialen und Interstadialen durch Bodenbildungsphasen unterbrochen. Lösspaläoböden

geben wichtige Hinweise über die Landschaftsgenese und über die paläoklimatische Entwicklung. Die auffälligsten stratigraphischen Erscheinungen in Lössprofilen sind fossile, oft pseudovergleyte Bt-Horizonte, die unseren heutigen Oberflächenböden gleichen. Sie werden normalerweise als interglaziale Bildungen angesehen.

c. Tschernosemartige Böden, die unter semihumiden Klimabedingungen unter krautreicher, vermutlich stark aufgelockerter Waldvegetation im frühen Holozän (Boreal) als Klimaxbodenformen in den Löss- und Auenlehmgebieten Hessens entstanden. Sie kommen mehr oder weniger degradiert großflächig als Reliktböden vor.

d. Moore sind sehr junge geologische Bildungen und sehr wichtige wissenschaftliche Archive für die Vegetationsgeschichte, insbesondere des Holozäns.

Beispiele:

Eiserne Hose, ehemaliger Bauxittagebau östlich Lich (Vogelsberg) (s. Abb. 32).

Hier liegt umgelagertes Latosolmaterial über einem *in situ*-Basaltzersatz. Es sind Produkte einer tropischen Bodenbildung aus der Tertiärzeit. Solche Böden sind in den Tropen heute noch weit verbreitet. Ferner sind in der Grube durch periglaziale Solifluktion umgelagerte Sedimente mit darin entwickelten Böden aufgeschlossen. Hier sind also die wichtigsten Klimazeugen der letzten 15 Millionen Jahre archiviert, sowohl das durch tropisches Klima charakterisierte Tertiär, als auch Zeugen des Dauerfrostklimas der quartären Eiszeiten und die darin abgelaufene holozäne Bodenentwicklung.

Ehemalige Ziegeleigrube Bad Soden am Taunus. Hier sind 8 fossile Bt-Horizonte und ein fossiler Pseudogley aufgeschlossen. Durch Anlage eines Neubaugebietes ist dieses Archiv kaum noch zugänglich.

Rotes Moor (Rhön).

Hochmoor („Hochmoor“ ist auch als Bodentyp definiert), das bis 1984 abgebaut wurde. Nach Ausweisung als Naturschutzgebiet ist dieser Standort in seiner Archivfunktion nicht mehr zugänglich.

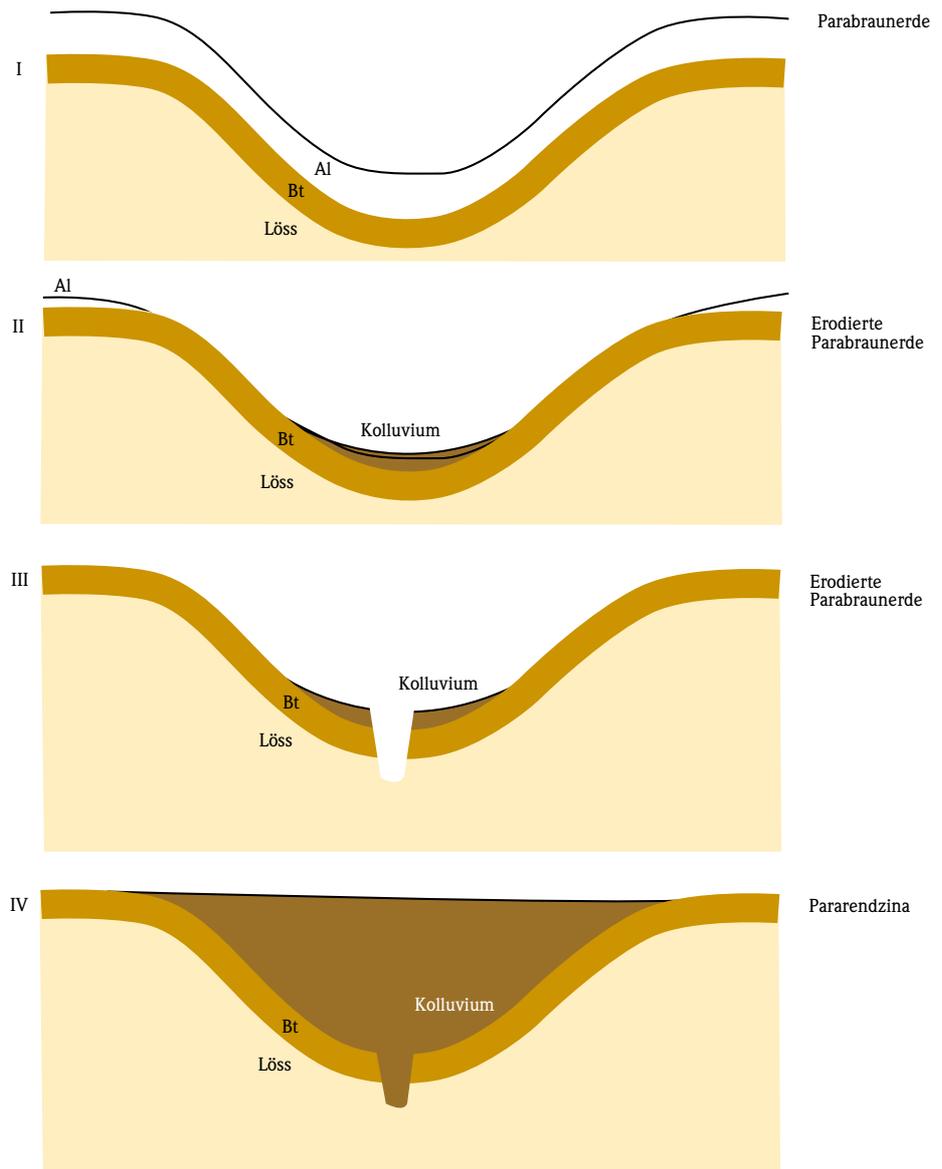


Abb. 30. Idealtypische Entwicklung einer Delle in hessischen Lössgebieten. Den heutigen Zustand (IV) findet man in zahlreichen Profilschnitten. Daraus lassen sich die einzelnen Entwicklungsphasen (II, III) bis zum ursprünglichen Zustand vor der Beackerung (vor ca. 2000 Jahren) rekonstruieren.

Böden als Archive der Kulturgeschichte

Hier lassen sich in Hessen drei große Gruppen unterscheiden:

a. Durch Abtragungs- und Ablagerungsprozesse bedingte Veränderungen im Bodenprofil, die auf menschliche Nutzung zurückgehen. Nachdem Menschen die ursprünglichen Wälder aufgelichtet oder ganz entfernt hatten, kam es zu größeren Umlagerungsprozessen von Bodenmaterial. Solche Zusammenhänge erschließen sich oft nur in großflächigen Bodensequenzen, sog. Catenen.

b. Durch menschliche Eingriffe in den Naturhaushalt können bodenbildende Prozesse so verändert werden, dass ein Bodentyp entsteht, der

nicht die Klimaxform darstellt. Dabei spielen neben den o.g. Sedimentations- und Erosionsprozessen auch eine starke Versauerung der Humusaufgabe, infolge der Veränderung der natürlichen Vegetation (Hutewirtschaft, Nadelwald) eine wichtige Rolle. Eine großflächige Änderung bodenbildender Prozesse erfolgte auch durch die Drainage von Feuchtgebieten.

c. Dokumente der raum-zeitlichen Variabilität des Schadstoffeintrags sind vor allem Auen. Sie entstanden im Holozän aus Fließgewässersedimenten. Da die Sedimentationsphasen durch unterschiedliche Schadstoffbelastungen gekennzeichnet sind, dokumentieren sie die Geschichte der Umweltbelastung.

Beiträge zum Bodenschutz in Hessen

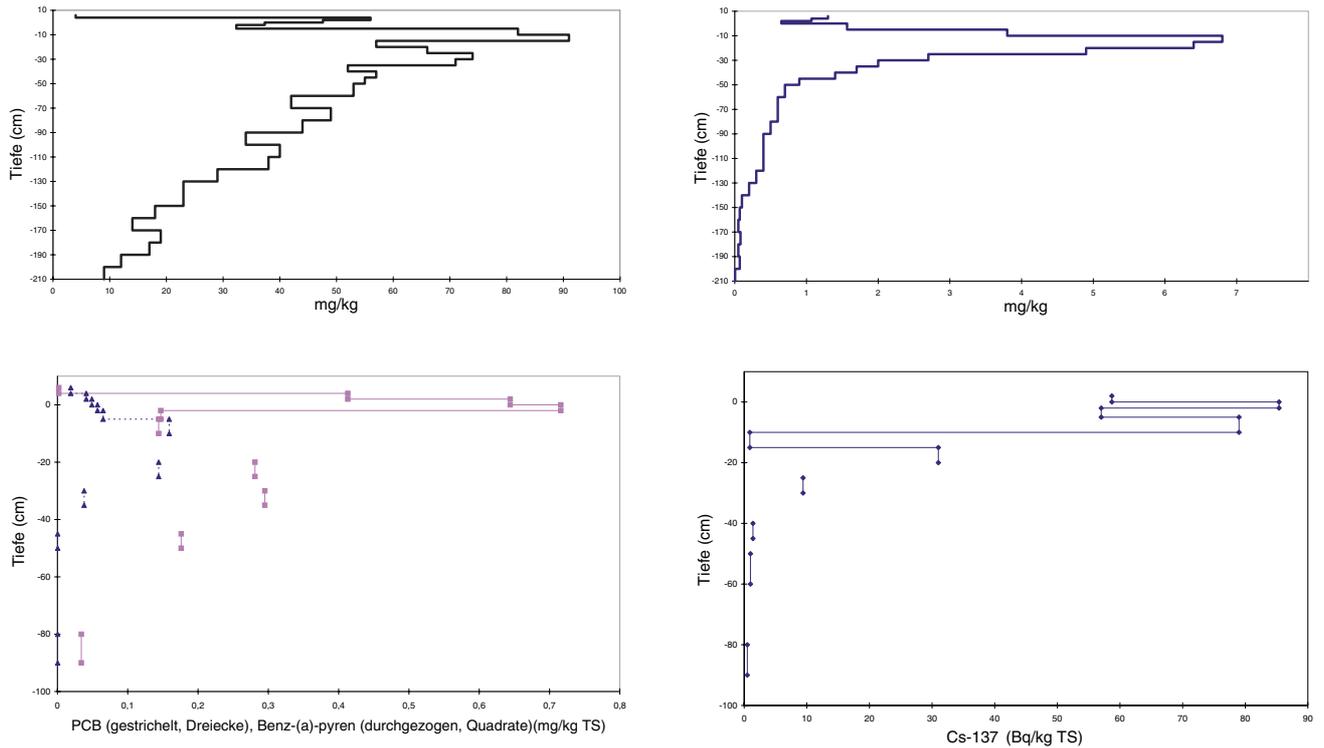


Abb. 31. Entwicklung der Schadstoffbelastung in den jüngsten Rheinsedimenten. Die obersten 50 cm entsprechen in etwa den letzten 50 Jahren.



Abb. 32. Die „Eiserne Hose“ bei Lich im Vogelsberg. Solche rotgefärbten Böden (Latosol = Rotlehm) sind typisch für die tropische Bodenbildung. Tropische Klimabedingungen herrschten bei uns im Tertiär.



Abb. 33. Solche Eiskeile sind Zeugen des pleistozänen Permafrostklimas in den Kaltzeiten.



Abb. 34. Braunerde im Buntsandstein Odenwald. Solche Böden wurden durch menschliche Eingriffe irreversibel in Podsole umgewandelt.

Beispiele:

Kolluvial verfüllte Delle und Runse in einer rekultivierten Kiesgrube bei Weilbach (Untermainebene) (nicht mehr zugänglich).

Unter ungestörten Bedingungen hat sich in den wärmzeitlichen Lössablagerungen im Verlaufe des Holozäns eine Parabraunerde gebildet, die anders als der ursprüngliche Löss in den oberen Bodenhorizonten kalkfrei ist. Nach der Inkulturnahme dieses fruchtbaren Bodens wurde er mehr oder weniger stark erodiert. Sehr leicht wird der schluffige Oberboden-Horizont abgetragen. Unter landwirtschaftlicher Nutzung findet man heute kein vollständig erhaltenes Parabraunerde-Profil mehr. An vielen Stellen wurde die gesamte Bodenbildung entfernt, so dass heute im kalkhaltigen Löss geackert wird (Pararendzina). Hier hat der „bodenbildende Faktor Mensch“ in wenigen hundert Jahren 10000 Jahre natürliche Bodenbildung zerstört und den Zustand zur Wende Würm/Holozän wiederhergestellt.

Braunerde-Podsolcatena am Salzberg bei Affolterbach (Buntsandstein-Odenwald).

Man kann davon ausgehen, dass alle Podsole in Hessen auf menschliches Eingreifen seit dem Mittelalter zurückzuführen sind. Stark sandige Sedimente und Versauerung durch Vegetationsänderung (Hutewirtschaft, Nadelwald) führten zu irreversibler Podsolbildung.

Rezente Rheinaue bei Biebesheim.

Die Tiefenverteilung von Schadstoffen in Sedimenten der rezente Rheinaue zeigt, dass die Belastung in den letzten 200 Jahren bis vor ca. 30 Jahren kontinuierlich zugenommen hat. Danach ging sie bis heute langsam wieder zurück. Die Belastung mit aus der Luft eingetragenen Schwermetallen ist im Verhältnis zu dem sedimentären Eintrag vernachlässigbar gering (s. Abb. 31).

Bodenschutz in der praktischen Anwendung

Grundlagen für den vorsorgenden Bodenschutz

Fachanwendungen im Fachinformationssystem Boden/Bodenschutz

Die Fachanwendungen des Fachinformationssystems Boden/Bodenschutz sind im Wesentlichen auf die zentralen Aufgaben abgestimmt. Neben dem allgemeinen Aufbau eines räumlichen und zeitlichen Bodenarchivs sind dies insbesondere:

- Herausgabe von digitalen Kartenwerken zur geogenen und pedogenen Grundausstattung der Böden und deren Verbreitung,
- Ermittlung und Darstellung von Bodenfunktionen und möglichen Gefährdungen,
- Ermittlung und Darstellung aktueller Belastungszustände der Böden,
- Bereitstellung von Entscheidungsgrundlagen für die Landesregierung und nachgeordnete Behörden,
- Bereitstellung von flächenhaften Bodeninformationen für unterschiedliche Planungsebenen (Landesentwicklungsplan, Landschaftsrahmenplan, Landschaftsplan) und für Umweltverträglichkeitsuntersuchungen,
- Stellungnahmen und Gutachten zu aktuellen Schadensfällen,
- Stellungnahmen als Träger öffentlicher Belange.

Für diese Aufgabenbereiche werden unterschiedliche Datengrundlagen und unterschiedliche Anwendungen bereitgestellt. Die wichtigsten Datengrundlagen sind

- der Thesaurus für Bodenschutzbelange,
- die Flächendatenbank in den Maßstäben 1:5000 bis 1:500000 und
- bodenchemische und -physikalische Labordaten (z.B. Bodenbelastungskataster, Bodendauerbeobachtung).

Zur Zeit ist der Aufbau des Fachinformationssystems Boden/Bodenschutz noch nicht abgeschlossen. Folgende Anwendungen sind verfügbar oder in Entwicklung:

- Erfassung und Verwaltung von geowissenschaftlichen Begriffen – Thesaurus (realisiert)

- Erfassung, Verwaltung und Auswertung von punktbezogenen bodenkundlichen Profildaten (z.Zt. Entwicklung auf Basis Oracle-Forms und Oracle-Web-Server)
- Erfassung, Verwaltung und Auswertung von bodenchemischen und bodenphysikalischen Daten (z.Zt. Erfassung und Pflege in verschiedenen Dateibeständen, Einbindung in die zentrale Datenbankanwendung in Planung)
- Erfassung, Verwaltung und Auswertung von flächenbezogenen bodenkundlichen Daten in bodenkundlichen und bodenschutzbezogenen digitalen Kartenwerken (für Maßstab 1:25000, 1:50000, 1:500000 realisiert; wird weiter gepflegt)
- Verwaltung von Daten zu Boden-Dauerbeobachtungsflächen (in Planung)
- Erfassung und Verwaltung der Metadatenbank (für Karten-Projekte realisiert)
- Verwaltung der Methodenbank (Ableitung von Parametern zu Bodenfunktionen, -eigenschaften und -potenzialen auf Grundlage von bodenkundlichen Grunddaten; realisiert bzw. wird weiter gepflegt)
- Automatisierte Kartenerstellung (für den Maßstab 1:50000, 1:500000 und 1:Mio. landesweit realisiert)
- Interaktive graphische Benutzeroberfläche für bodenkundliche, raumbezogene Daten – SOPIC (Oberfläche auf Basis ARC-TOOLS zur Erstellung von thematischen Karten und thematischen Auswertungen für Flächendaten 1:50000, in der Anpassung)
- Dokumentation von Methoden, Anwendungen und Daten (unter html im Intranet realisiert)
- Vertriebskonzept für digitale Daten und Karten (weitgehend realisiert)

Gemäß den Anforderungen aus dem Bereich der Regionalplanung wird zur Zeit die digitale Bodenkarte 1:50000 und die dazugehörigen Flächendatenbank mit erster Priorität aufgebaut. Die Entwicklung der Flächendatenbank/Bodenformenarchiv erfolgte auf Grundlage der Arbeitsergebnisse der Unterarbeitsgruppe FIS Boden (UAG FISBO) der Ad-hoc AG Boden. Die Entwicklung der Flächendatenbank erfolgte in fünf Schritten (s. Tab. 10).

Tab. 10. Aufbau der Flächendatenbank – Bodenformenarchiv und Stand der Bearbeitung

Flächendatenbank	Stand der Bearbeitung
<ul style="list-style-type: none"> – Entwicklung des Datenmodells – Aufbau der zugehörigen Tabellen/Relationen – Aufbau der Schlüssel Listen gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung 4. Auflage – Programmierung einer Testversion – Umsetzung als vorläufige Version 	<ul style="list-style-type: none"> – Konzeption des Datenmodells zur Flächendatenbank ist abgeschlossen – Datenfeld-Definition der Flächendaten wurde abgeschlossen – Die zugehörigen Tabellen und Schlüssel Listen sind erstellt – Testversion für die Eingabe und Auswertung von Flächendaten wird erprobt, Eingabemasken und die Möglichkeit zur Erstellung eines Reports wurden entwickelt – Weiterentwicklung durch die Einbindung von zusätzlichen Modulen [Vergesellschaftung, Relief, etc.]

Abb. 35. Digitaler Erfassungsbogen für die Bodenformen.

Die Informationen in der Flächendatenbank sind Grundlage für die thematischen Auswertungen der digitalen Bodenkarte. Die hierfür benötigten Methoden werden in der Methodenbank vorgehalten.

Bis zum Jahr 2002 ist die Weiterentwicklung der hessenweit vorliegenden, blattschnittfreien, digitalen Bodenkarte im Maßstab 1:50000 vorgese-

hen. Der Maßstab 1:5000 und 1:25000 wird ebenfalls digital bereitgestellt, soweit Kartierungen vorliegen.

Thematische Bodenkarten

Bodenkarten von Hessen sind flächendeckend im Maßstab 1:50000 erhältlich. Detaillierte Bodenkarten (1:25000) liegen zu zahlreichen Regio-

nen vor. Zusätzlich bietet das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie Interpretationen der digital vorgehaltenen Bodendaten an und erstellt daraus **thematische Karten**. Sie sind die Grundlage für Planungen oder Stellungnahmen des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie als Träger öffentlicher Belange. Je nach Maßstab können unterschiedliche Interpretationen geliefert werden.

Eine ökologisch orientierte, ressourcenschonende Landnutzungsplanung ist vor allem auf die Darstellung und Bewertung der Böden und deren Funktionen angewiesen. Für den Regionalen Raumordnungsplan werden thematische Auswertungen auf Basis der digitalen Bodenkarte im Maßstab 1:50000 z.B. zu den Themen „Rückhaltevermögen des Bodens gegenüber Nitrat“, „Bedeutung des Bodens für die Produktion pflanzlicher Biomasse (Ertragspotenzial)“ (Abb. 39) sowie zur „Bedeutung des Bodens als Standort für Pflanzengesellschaften (Biotopentwicklungspotenzial)“ (Abb. 40), insbesondere im Hinblick auf die Bedeutung extremer Standorteigenschaften, benötigt. Für diese Auswertungen sind in der Regel keine zusätzlichen Laboruntersuchungen notwendig, sondern die benötigten Angaben können mit ausreichender Genauigkeit aus den Geländebefunden abgeleitet werden.

Für weitere Auswertungen oder auch größere Maßstäbe werden in großem Umfang Bodenprofile aufgegraben und Proben entnommen, an denen umfangreiche bodenphysikalische und – chemische Laboruntersuchungen durchgeführt werden. Mit dieser **Bodeninventur** wurde als zweiter Schritt der bodenkundlichen Landesaufnahme begonnen. Abb. 36 bis Abb. 38 zeigen einige Beispiele aus dem Reinhardswald.

Wie groß ist die natürliche Fruchtbarkeit unserer Böden? Austauschkapazität

Eine wichtige Größe zur Charakterisierung der Fähigkeit von Böden, Nährstoffe zu speichern und für die Pflanze verfügbar zu halten, aber auch für die mögliche Pufferung von Schadstoffen, ist die Kationenaustauschkapazität. Die Austauschkapazität ist die Summe der Ionenäquivalente der leicht austauschbaren und somit pflanzenverfügbaren Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Al^{3+} , H^+ , Mn^{2+} , Fe^{2+}). Bei der Einstufung der Austauschkapazität der Böden werden nur die humusfreien Mineralbodenhorizonte berücksichtigt, da diese das langfristige natürliche Potenzial der Böden darstellen. In den humosen Oberböden und den Humusaufgaben sind die Werte in Abhängigkeit vom Bewuchs und der Bewirtschaftungsintensität beeinflusst.

Wie empfindlich sind unsere Böden gegenüber sauren Niederschlägen?

Kalzium- und Magnesiumvorräte

Neben der Summe der austauschbaren Kationen ist der relative Anteil der basisch wirkenden Kationen (und hier hauptsächlich Kalzium und Magnesium) ökologisch interessant, da diese der natürlichen und der durch den Menschen verstärkten Versauerung der Böden entgegenwirken.

Böden als Mittler zwischen Pflanzen und Grundwasser: Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität, physikochemisches Filtervermögen

Das Gesamtporenvolumen des Bodens ist je nach Austrocknung zu wechselnden Anteilen mit Luft

Tab. 11. Bewertung der Austauschkapazität

mmol(eq)/1000g	<10	11–30	31–60	61–120	121–240	241–480	>481
Stufe	1	2	3	4	5	6	7
Bewertung	sehr gering	gering	gering/mittel	mittel	mittel/hoch	hoch	sehr hoch

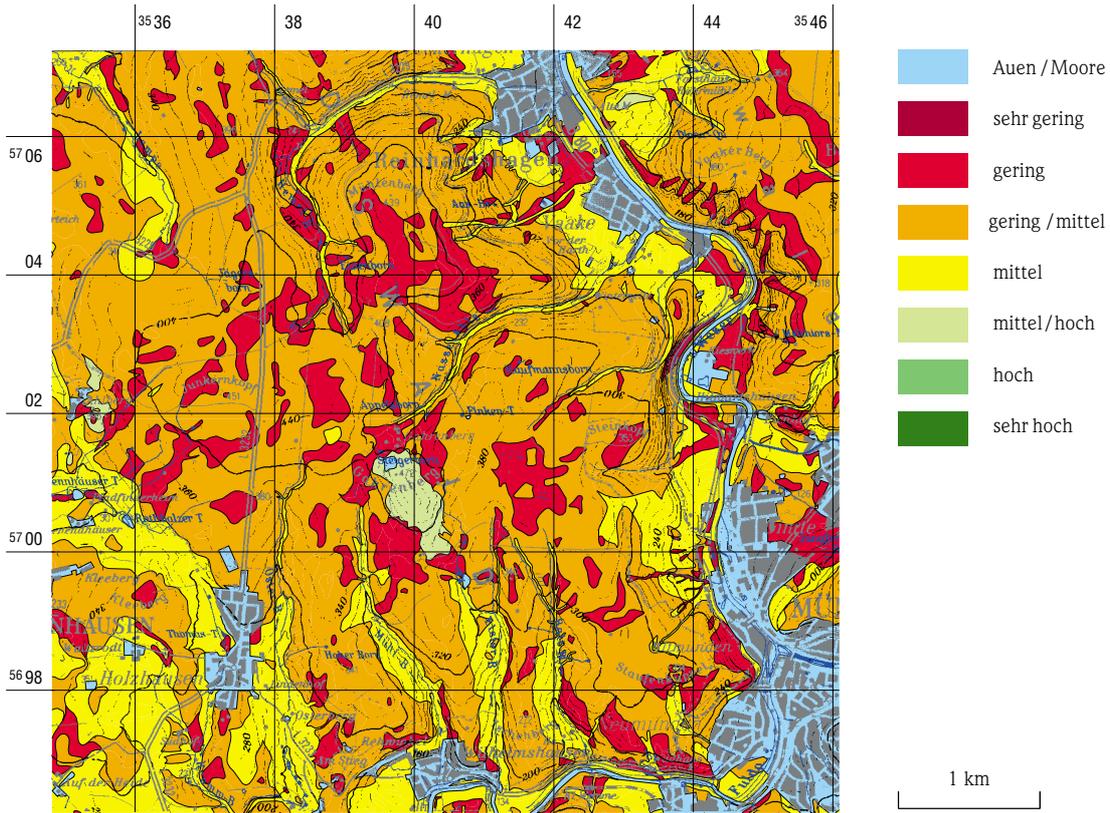


Abb. 36. Kationenaustauschkapazität in einem Teilgebiet des Reinhardswaldes.

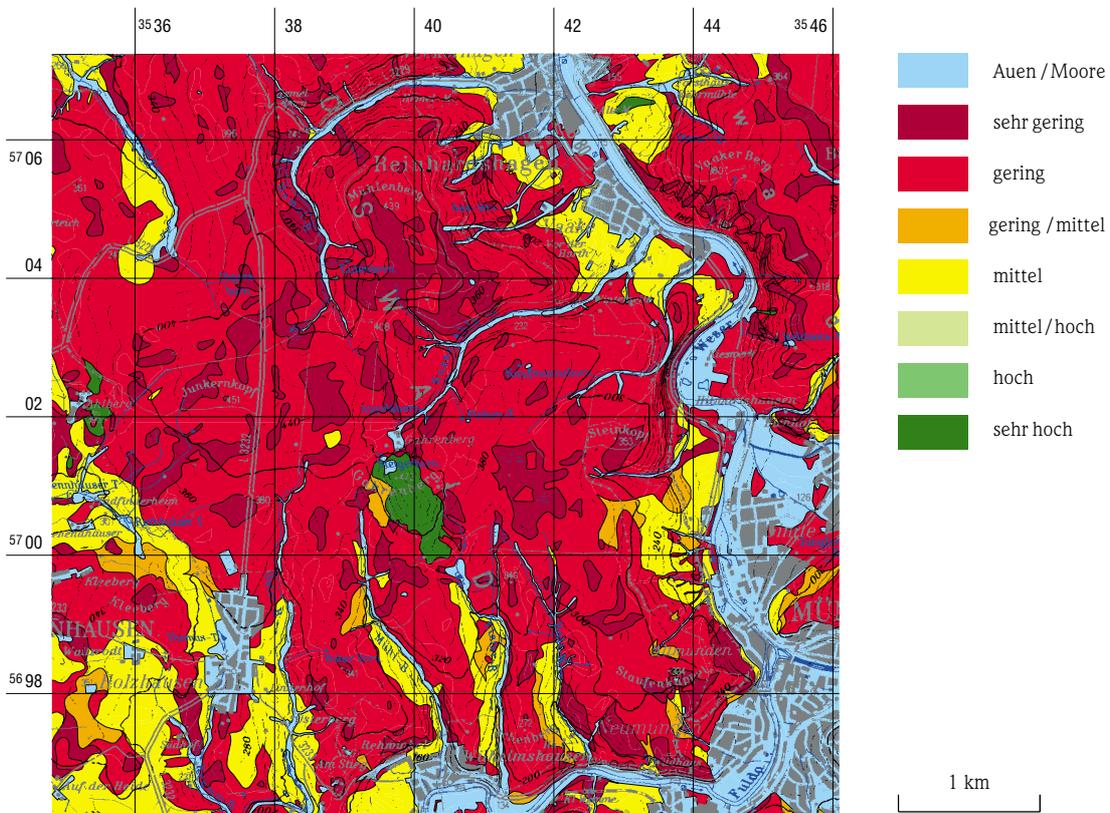


Abb. 37. Kalzium- und Magnesiumsättigung (Elastizität) in einem Teilgebiet des Reinhardswaldes.

Tab. 12. Bewertung der Kalzium- und Magnesiumgehalte

Ca + Mg (Elastizität)	<5	5–15	16–30	31–50	51–70	71–85	>85
Stufe	1	2	3	4	5	6	7
Bewertung	sehr gering	gering	gering/ mittel	mittel	mittel/ hoch	hoch	sehr hoch

und Wasser gefüllt. Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität sind die wichtigsten Größen zur Bestimmung des Bodenwasser- und Stoffhaushaltes. Die Feldkapazität entspricht der Wassermenge, die im Boden gegen die Schwerkraft gehalten werden kann (pF 1,8 entspricht 60 hPa). Die Differenz zwischen der Feldkapazität und dem Gesamtporenvolumen entspricht der Luftkapazität. Die von der Pflanze aufnehmbare Wassermenge wird als nutzbare Feldkapazität bezeichnet; dieser Anteil reicht bis zum permanenten Welkepunkt (pF 4,2 entspricht 15 000 hPa). Der Anteil des Bodenwassers, der mit höheren Saugspannungen gebunden ist, ist für die Pflanze zwar nicht mehr verfügbar, er nimmt jedoch am Wasser- und vor allem am Stofftransport im Boden teil.

Für die Quantifizierung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers und die Bestimmung der Sickerwassermenge wird die nutzbare Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodens herangezogen. Für die Abschätzung der Bodenwasserqualität und die Verlagerung gelöster Stoffe (z.B. Nitrat) ist die Feldkapazität des Wurzelraums entscheidend.

Die Feldkapazität und die nutzbare Feldkapazität werden entsprechend der Bodenkundlichen Kartieranleitung⁴, der Wurzelraum und die Nitrat- auswaschungsgefährdung entsprechend dem Merkblatt zur Bewertung von Wasserschutzgebieten⁵ ermittelt.

Die Filtereigenschaften des Bodens werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Eine Faktorengruppe sind die mechanischen Filtereigen-

schaften. Neben den direkten mechanischen Filtereigenschaften spielt hierbei auch eine Rolle, wie lange das Wasser im Boden verweilt und somit die Pflanze die Möglichkeit hat, dem Bodenwasser Stoffe zu entziehen. Die mechanischen Filtereigenschaften eines Bodens lassen sich aus der Luftkapazität und der Feldkapazität ableiten.

Die chemischen Filtereigenschaften der Böden ergeben sich aus der Kationenaustauschkapazität. Mikrobielle Prozesse und reduzierende Bedingungen können die Filterwirkung positiv oder negativ beeinflussen.

Stark klüftige, grobkiesige und steinige Substrate verringern die Filterwirkung und können zu Abschlägen von 1 bis 2 Stufen führen.

Das Ertragspotenzial unserer Böden

Das Ertragspotenzial eines Bodens wird vor allem durch seine Durchwurzelbarkeit, insbesondere die des Unterbodens, und vom Faktor Wasser begrenzt, d.h. der Fähigkeit des Bodens, Wasser in pflanzenverfügbarer Form zu speichern. Unter den heutigen wirtschaftlichen und technischen Bedingungen in Hessen ist eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen nicht die limitierende Größe.

Als Schätzgröße für das Ertragspotenzial wird die nutzbare Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum (nFKdB) zugrunde gelegt. Das Ertragspotenzial eines Bodens ist umso höher – gleiche klimatische Bedingungen vorausgesetzt –, je größer die nFKdB ist.

Die Einstufung des Ertragspotenzials erfolgt nutzungsdifferenziert auf Basis der nFKdB sowie des potenziellen Grundwassereinflusses. Der Basenhaushalt hat für forstwirtschaftlich genutzte Kul-

⁴ AG Boden (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Aufl.; Hannover.

⁵ StAnz. Hessen 25. März 1996 Nr. 13: Merkblatt: Anleitung zur bodenkundlichen Kartierung landwirtschaftlich genutzter Flächen im Hinblick auf die potenzielle Nitrat- austragsgefährdung und ihre Darstellung im Maßstab 1:5000.

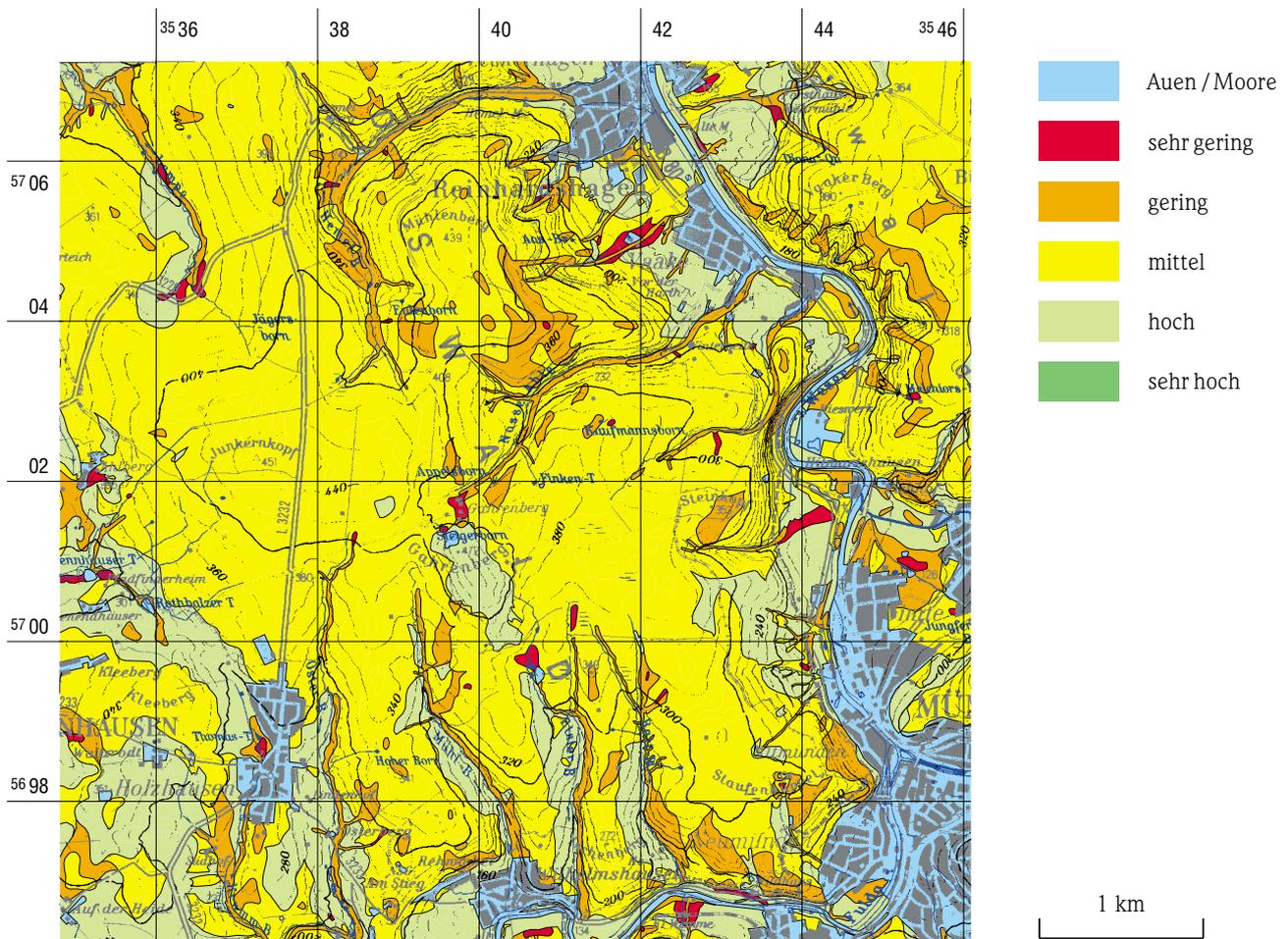


Abb. 38. Physikochemisches Filtervermögen in einem Teilgebiet des Reinhardswaldes.

turen eine besondere Bedeutung. Für Standorte, die aufgrund des Ausgangsgesteins der Bodenbildung durch einen guten Basenhaushalt gekennzeichnet sind, wird dies mittels Übersignatur dargestellt.

Böden als Lebensraum, Biotopentwicklungspotenzial

Böden dienen als Lebensraum für Mikroorganismen und Bodentiere, sind Standort von Pflanzen und Bestandteil von Lebensräumen für Biozöosen. Diese Biotopfunktionen sind vor allem für den flächenhaften Naturschutz interessant, besonders unter den Aspekten der Biotopvernetzung, -entwicklung und -regeneration. Auswertungen der Roten Listen haben gezeigt, dass viele der verschollenen und gefährdeten Arten zu einem erheblichen Teil zu Pflanzengesellschaften

(Trocken- und Halbtrockenrasen, Feuchtwiesen, Zwergstrauchheiden, Borstgrasrasen und Moore) gehören, deren Vorkommen häufig an extreme Standortbedingungen gebunden ist (vor allem bezüglich Wasser- und Lufthaushalt oder Nährstoffversorgung bzw. Basenreaktion). Infolge intensiver Land- und Forstwirtschaft, Tourismus etc. sind solche Standorte relativ selten geworden.

Für die Belange des Naturschutzes (Biotopverbundsysteme, Auenverbund, Biotopentwicklung) sind vor allem

- trockene Standorte
- vernässte Standorte (incl. Moore)
- sehr nährstoffarme Standorte
- sehr saure oder basenreiche Standorte
- Salz- und Alkaliböden
bei standortgemäßer Nutzung potenziell wertvolle Standorte.

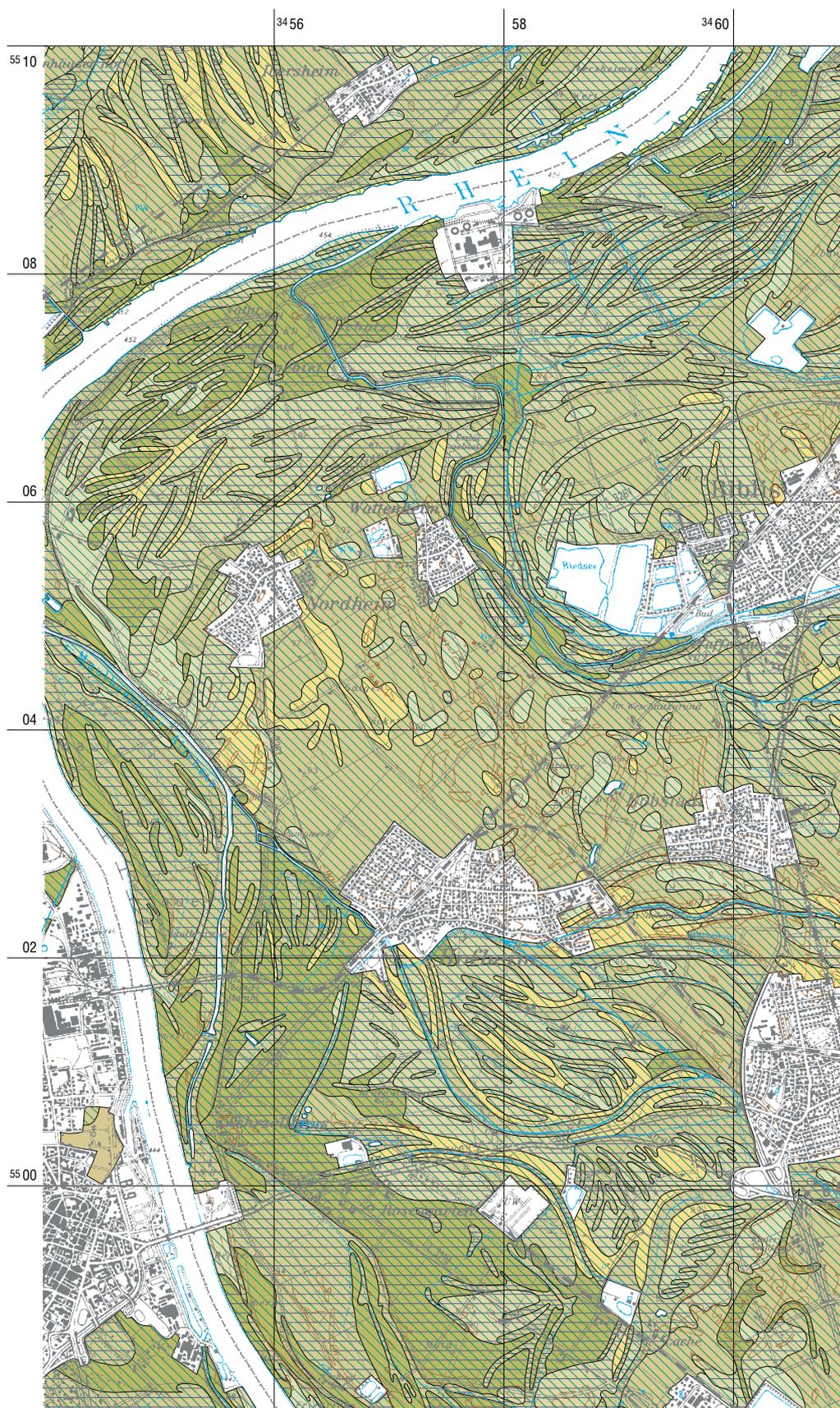


Abb. 39. Ertragspotenzial des Bodens. Ausschnitt aus dem Oberrheingraben, Maßstab 1:50000.

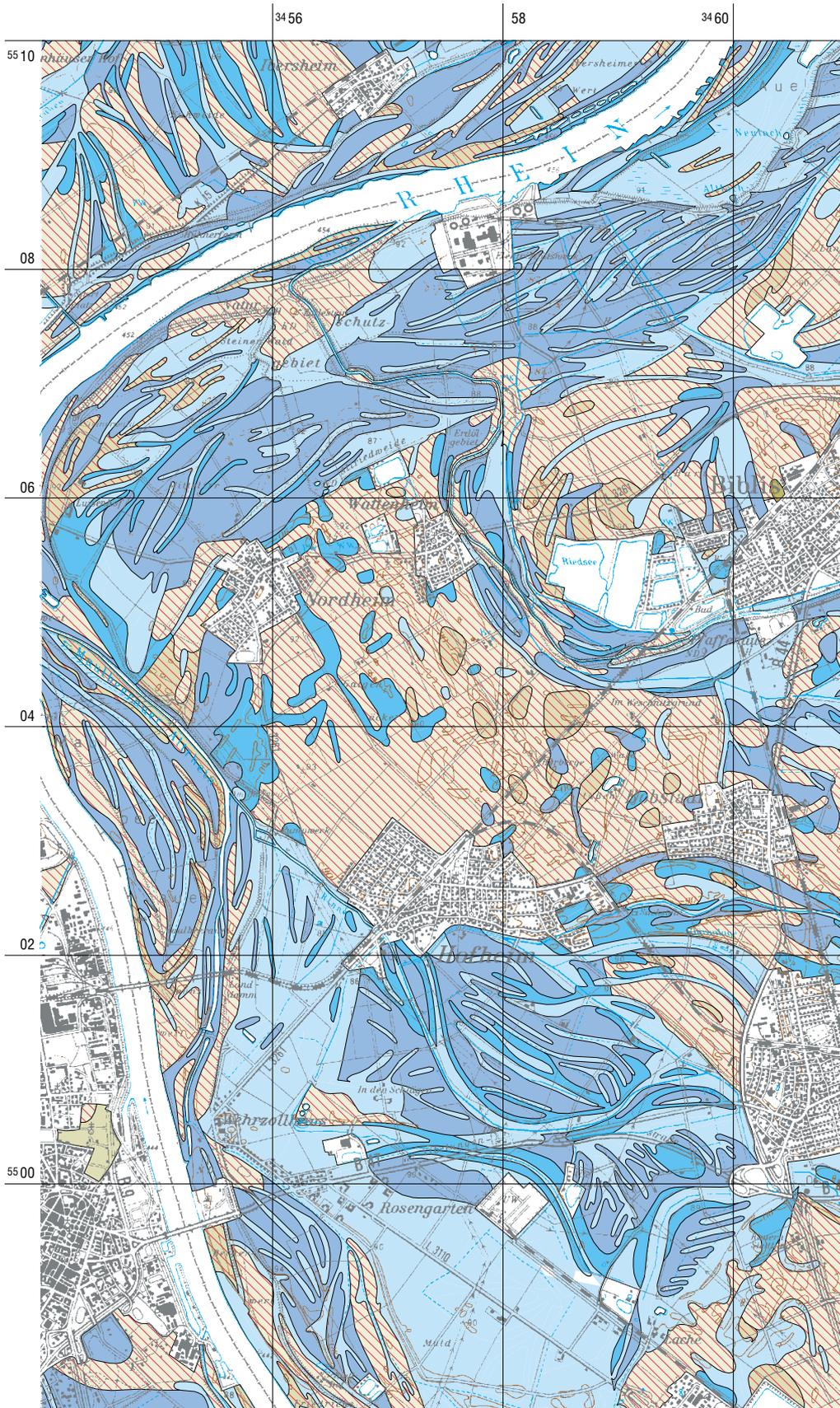


Abb. 40. Biotopentwicklungspotenzial der Böden. Ausschnitt aus dem Oberrheingraben, Maßstab 1:50000.

Wofür braucht ein Winzer Bodenkarten? Weinbaustandortatlas

Zu den frühesten Kartiertätigkeiten der Bodenkundler zählt die seit 1947 durchgeführte großmaßstäbige bodenkundliche Erfassung der Weinbaugebiete Hessens. Es entstanden bis 1959 183 Bodenkarten im Maßstab 1:2000 bzw. 1:2500, die heute nur noch bei Veränderungen der genehmigungspflichtigen Weinanbauflächen ergänzt werden.

Nachfolgend wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Fachhochschule Geisenheim, dem Weinbauamt Eltville und Agrarmeteorologen ein bodenangepasstes Adaptionsprogramm eingeleitet. Es war notwendig, um eine Produktionssteigerung zu erreichen, aber auch die Folgen der Abwehr der parasitären Reblaus zu kompensieren.

Ab 1972 erschienen die ersten Weinbaustandortkarten im Maßstab 1:500, in der die ursprünglichen Bodeneinheiten zu 7 ökologischen Standortgruppen zusammengefasst wurden, die sich durch den bodenartigen Aufbau, den Kalkgehalt und den Wasserhaushalt unterscheiden. Zugleich wurden Anbauempfehlungen ausgesprochen hinsichtlich bestimmter Rebsorten, der Anbautechnik und der Erziehung der Weinrebe sowie Hinweise auf Meliorationsmaßnahmen. Dabei wurden anbaurelevante Klimatelemente wie Strahlung, Temperatur und Bewindung berücksichtigt (Abb. 41).

Dieses für Deutschland einzigartige Kartenwerk beschreibt die Rebflächen des Rhein- und Maingaus und dokumentiert nicht nur die praxisrelevante Umsetzung von Bodenkarten, sondern auch die Bedeutung bodenkundlicher Daten im Rahmen einer umweltverträglichen Abwehrmaßnahme gegen Schädlinge. Auch zur Auswahl der Weinberge für das sogenannte „Erste Gewächs“ wurden der Weinbaustandortatlas bzw. daraus abgeleitete thematische Auswertungen herangezogen.

Was hat saubere Luft mit Böden zu tun? Luftreinhaltepläne

Gemäß § 47 des Bundes-Immissionsgesetzes wurden in Hessen die Belastungsgebiete Unterrhein, Rhein-Main, Wetzlar und Kassel bearbeitet

und in Luftreinhalteplänen (1988, 1991, 1995, 1999) dokumentiert. In Absprache mit der ehemaligen Hessischen Landesanstalt für Umwelt wurden in enger Anlehnung an das Staubbodenschlagsmessnetz, das sich seinerseits an den Schnittpunkten des Gauß-Krüger-Koordinatensystems auf den Topographischen Karten orientiert, Bodenbeprobungen vom ehemaligen Hessischen Landesamt für Bodenforschung vorgenommen und auf Metalle untersucht. Ziel der Untersuchung war die Überprüfung einer Korrelation zwischen aktueller Metallimmission durch Aerosole und ihrer Anreicherung in den Böden. Untersucht wurden Blei, Kupfer, Nickel, Zink, Chrom und Cadmium, regional auch Arsen und Quecksilber. Die Beprobung erfolgte bodenhorizontspezifisch.

Vor allem in innerstädtischen Bereichen war es nicht immer möglich, beprobungsfähige Böden im Umkreis der Messstellen zu finden, so dass teilweise vom Luftmessnetz abgewichen wurde.

Um die anthropogene von der geogenen Belastung abgrenzen zu können, wurde eine Standardisierung der Bodenformen und ihrer Nutzungsform angestrebt, d.h. die Heterogenität des Bodenmosaiks wurde hinsichtlich des Ausgangssubstrates (unterschiedliche geogene Vorbelastung), der Bodenentwicklung (pedogene Umverteilung) und der Nutzungsform (Acker, Grünland, Wald) möglichst minimiert. Nur vergleichbare Standorte lassen eine statistische Bearbeitung zu und gestatten eine Interpretation der regionalen Variabilität einer bestimmten Immission sowie eine überregionale Betrachtung. Für die Beurteilung atmosphärisch eingetragener Schadstoffe eignen sich bestens Waldbodenprofile, da sie sehr häufig Humusaufgaben besitzen, die allenfalls wenige Jahrzehnte alt, sehr fein gegliedert und nicht mit den geogenen Metallgehalten des Mineralbodens vermischt sind. Die L- und Of/Oh-Lagen repräsentieren ausschließlich die Immission der letzten Jahre.

Im Vergleich dazu wird auf den Äckern die Ackerkrume durch das Pflügen durchmischt und die jährliche Immission auf 20 bis 30 cm Pflugtiefe verteilt. Die Stoffkonzentration wird dadurch extrem verdünnt. Darüber hinaus kann der geogene Hintergrund die aktuelle Anreicherung maskieren (z.B. basaltisches Material). Der

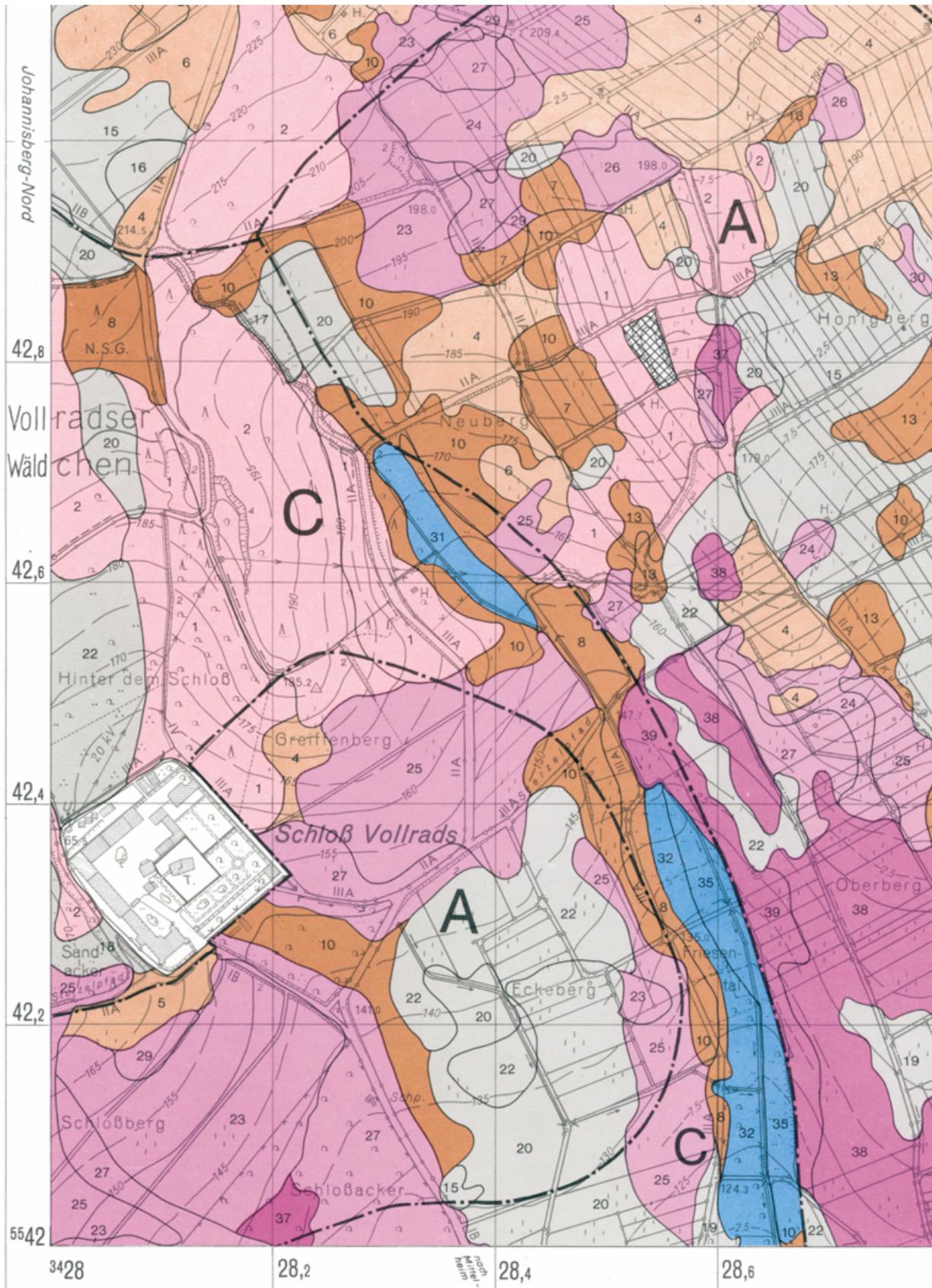


Abb. 41. Ausschnitt aus der Weinbau-Standortkarte Rheingau 1:5000, Bl. Gottesthal mit Legendenauszug.

Beiträge zum Bodenschutz in Hessen

Boden- gruppe	Boden- einheit	Ausgangsgestein		Bodenart		Kalkgehalt %		Hinweise auf den Wasserhaushalt	Meliorations- hinweise	Flächenanzahl und -anteil		Standorte mit langer Vegetationszeit				Standorte mit kurzer Veg.-Zeit				Anbauempfehlungen	
		Rigolhorizont	Untergrund	Rigolhorizont	Untergrund	Rigol- horizont	Unter- grund			Riesling (R)	Müller- Thurgau (MT)	a: Riesling (N')	W')	N	W	b: andere als Riesling	N	W	c: Müller- Thurgau u. andere		N
I trocken und meist kalkfrei	1	Meeressand, z.T. mit geringer Lößlehm- beimengung	tertiärer Meeressand	anlehmiger Sand bis stark sandiger Lehm, ± feinkiesig	Sand bis stark sandiger Lehm, ± feinkiesig	0	0	WD *) meist hoch; FK *) gering bis mittel; meist Trockenstandort	im Durchschnitt der Jahre berechnungsbe- dürftig, Feinerde- und Dauer- humuszufuhr günstig	5 BB	keine	keine	5 BB, 125 AA	keine	5 BB, 125 AA	keine	5 BB, 125 AA	a Riesling, b, c keine wasserbe- dürftigen Sorten (kein Traminer, Ruländer, Weißburgunder, Rabener); bei N Zeilenabstand 1,30 bis 1,60 m und W Zeilenabstand nicht mehr als 2 m; Stockabstand in W bei 5 C und S04 enger als 5 BB und 125 AA, N und W Augenzahl max. 12 pro qm; in Höhenlagen > nicht über 2 m			
		Terrassen- und Meeressande mit ± Lößlehm- beimengung	tertiäre und/oder pleistozäne Kiese und Sande	lehmiger Sand bis sandiger Lehm, ± kiesig	Sand bis lehmiger Sand, ± kiesig	0-8,0	0	WD meist hoch; FK gering bis mittel; oft Trockenstandort		3309, 5 C, S04	5 BB, 125 AA, 5 C, S04	5 BB, 125 AA, 5 C, S04	5 BB, 125 AA	5 BB, 125 AA	5 BB, 125 AA	5 BB, 125 AA	5 BB, 125 AA	5 BB, 125 AA			
II mittel- oder tieftüchtig, meist trocken bis frisch und kalkfrei	3	Lößlehm ± quarzthalig	Quarzschiefer oder Quarzit, z.T. mit Schieferlagen	sandiger bis toniger Lehm, ± steinig	-	0	-		1; 0,04 ha												
		Lößlehm mit ± Terrassen- und Meeressand- beimengung	tertiäre oder pleistozäne Kiese und Sande	stark sandiger Lehm bis Lehm, ± kiesig	meist Sand bis lehmiger Sand, ± kiesig	0	0	WD mittel bis hoch; FK hoch bis mittel; Böden trocknen oft aus	in trockenen Jahren berechnungsbedürftig, bei den skelettreichen Formen Feinerde- und Dauerhumuszufuhr günstig	31; 32,79 ha	5 C, S04	5 C, S04	5 C, S04	5 C, S04	5 C, S04	5 C, S04	5 C, S04	5 C, S04	a Riesling; b mit Traminer, Ruländer, Weißbur- gunder keine 5 BB und 125 AA; in Höhenlagen Zeilenabstand nicht über 2 m; Anbauempfehlung für I/3 in Süd- expositionen wie 1		
		Lößlehm mit ± Schuttbö- mengung	± lehmiger Schutt, z.T. an- stehender Quarzit mit Schieferlagen	sandiger bis toniger Lehm, ± steinig	meist sandiger Lehm bis Lehm, ± steinig	0	0	WD mittel bis hoch; FK hoch bis mittel; Ausstrookung		2; 1,08 ha	7; 5,58 ha										
III tieftüchtig, meist frisch, meist kalkfrei	6	Lößlehm mit ± Schutt- und Terrassen- beimengung	Schieferersatz, z.T. verwitterter Schiefer	Lehm bis toniger bis lehmiger Ton, ± grusig	toniger Lehm bis lehmiger Ton, ± grusig	0	0	WD mittel bis gering; FK hoch; Wasserhaushalt meist ausgeglichen; in Mulden z.T. staunauß	bei Staunässe Untergrundlockerung	1; 0,30 ha	7; 2,58 ha										
		10-15 dm Lößlehm mit Meeressand- sand- oder und Terrassen- beimengung	ab 10-15 dm plei- stozäne Terrassen- und/oder ter- tiäre Meeresande	ab 10-15 dm san- diger Lehm bis Lehm, ± steinig schwach kiesig	ab 10-15 dm Sand bis Lehm, ± kiesig	0	0	WD mittel bis hoch; FK hoch bis mittel; Wasserhaushalt meist ausgeglichen; örtl. zeitweise Austrocknung		20; 9,54 ha	3; 0,98 ha										
		Lößlehm mit Terrassen-, Meeres- sand- oder und Schuttbeimengung	Lößlehm mit Terrassen-, Meeres- sand und/oder Schuttbeimengung	lehmiger Sand bis stark san- diger Lehm, ± kiesig, örtlich lehmig-tonig	lehmiger Sand bis stark sandiger Lehm, ± kiesig, örtlich lehmig-tonig	0-8,0	0-8,0	WD mittel bis hoch; FK hoch bis mittel; wegen vorher- schender Hanglängige Was- serhaushalt meist ausgegli- chen; sonst zeitweise Aus- trocknung		7; 0,64 ha											
		Lößlehm mit geringer Terrassen- beimengung	ab 6-10 dm pleisto- zäne, lehmig-tonige Kiese und Sande, z.T. über tertären Ton	ab 6-10 dm Lehm bis toniger Lehm, ± steinig schwach kiesig	ab 6-10 dm Lehm bis toniger Lehm, ± steinig schwach kiesig	0	0	WD mittel bis hoch; FK hoch; Wasserhaushalt im allgemeinen ausgeglichen		7; 6,71 ha	1; 0,41 ha										
		Lößlehm mit ± Terrassen-, Meeressand- und/oder Schuttbeimengung	Lößlehm mit pleistozäner Ter- rassen-, Schutt- und/oder tertärer Meeressandbe- mengung	sandiger bis to- niger Lehm, schwach kiesig, örtlich lehmig-sandig	sandiger bis toniger Lehm, schwach kiesig, örtlich lehmig- sandig	0,5-2,0	0,5-2,0	WD mittel bis hoch; FK meist hoch; Wasserhaushalt im allgemeinen ausgeglichen	in Trockenjahren örtl. Beregnung empfehlenswert	45; 22,80 ha	18; 5,70 ha	3309, 5 C, S04	5 C, S04	5 C, S04	5 C, S04	5 C, S04	5 C, S04	5 C, S04	5 C, S04	a Riesling; a, b für Qualitätsweingebau Augen- zahl max. 12 pro qm; c bei N mit 125 AA und 5 BB größere Stockabstand, Zeilenbreite engerer Stockabstand; mit 5 C, S04, 3309 bei größerer in Höhenlagen Zeilenabstand nicht über 2 m	
III tieftüchtig, meist frisch, meist kalkfrei	11	6-15 dm Löß- lehm, ± schutt- führend	ab 6-15 dm lehmiger Schutt oder Quarzit	ab 6-15 dm san- diger bis toniger Lehm, ± steinig	ab 6-15 dm san- diger bis toniger Lehm, ± steinig	0	0	WD mittel bis hoch; FK hoch bis mittel; Wasserhaushalt im all- gemeinen ausgeglichen; örtl. zeitweise Aus-		4; 2,64 ha	11; 10,79 ha										
		6-15 dm Löß-	ab 6-15 dm Phyllit	6-15 dm sandiger	ab 6-15 dm sandiger																

humose, bis zu 10 cm mächtige Oberboden des Grünlandes nimmt eine Zwischenstellung ein. Daher sind die Metallkonzentrationen der Nutzungsformen signifikant verschieden und untereinander nicht direkt vergleichbar (Tab. 13). In den Karten der Luftreinhaltepläne (Abb. 42) wird dies berücksichtigt und die beprobten Horizonte werden getrennt dargestellt.

Ergebnis ist eine flächenhafte Aussage über die Belastungssituation der Böden. Zudem führten die Analysen zu allgemein gültigen vertikalen Verteilungsmustern in bestimmten Bodenformen-Gruppen. Von diesen Gesetzmäßigkeiten weichen lediglich die Bodenformen auf Aufschüttungen, die besonders im Kernbereich der Städte verbreitet sind, ab. Die substanzielle Vielfältigkeit von Bauschutt bis zum Erdaushub und die unbekannt-
te Herkunft bzw. sein Alter lassen kein interpretationsfähiges Muster erkennen, als dass er i.d.R. höher belastet ist als der Untergrund. Hauptanreicherungs-horizonte sind erwartungsgemäß die humosen Oberböden und Humusaufgaben. Die hohe Adsorptionsfähigkeit des Humus und die Erhaltungskalkung auf Garten- und Ackerflächen immobilisiert die meisten Metalle.

Das Bemühen, die Bodenformen nach weit verbreiteten Ausgangssubstraten, Bodentypen und Nutzungsformen zu selektieren, führte zu einer hohen Fallzahl flächenrepräsentativer Standorte. Berücksichtigt man, dass die Daten aus Belastungsgebieten stammen, so lassen sich statistisch abgesicherte Durchschnittsgehalte der Bodenbelastung berechnen, die auch landesweit Gültigkeit haben.

Die Integration des Datenpools mit dem der Boden-Dauerbeobachtungsflächen und den Standardbodenuntersuchungen für die Profildatenbank im Fachinformationssystem Boden/Bodenschutz lässt erwarten, dass in absehbarer Zeit flächendeckende Aussagen zum Hintergrundgehalt von Metallen in Böden auch im Maßstab 1:50000 möglich sein werden.

Wir beobachten Prozesse im Boden

Bodenprobennahmen sind in gewisser Weise immer destruktiv, da die Probenahme den Boden nachhaltig stört. Ausgenommen davon sind

gepflügte Ackeroberböden, da die Bewirtschaftung diese Eingriffe schnell egalisiert. Das bedeutet, dass Bodenproben von einem Standort nicht unbegrenzt genommen werden können. Dadurch ergeben sich auch die langen Untersuchungsintervalle (>5 Jahre) bei den Boden-Dauerbeobachtungsflächen, da bei einer häufigeren Probennahme der Boden dieses Standortes in wenigen Jahren völlig zerstört wäre.

Für ausgewählte Fragestellungen werden aber häufig kürzere Intervalle gefordert. Eine statistisch abgesicherte Veränderung des Bodenzustandes (z.B. der Versauerung nach 10 Jahren) kann für präventive Maßnahmen schon zu spät sein. Hier setzt die Prozessdokumentation ein; sie zielt primär auf die Erfassung von Stoffflüssen, da diese Veränderungen im Stoffhaushalt i.d.R. empfindlicher und somit frühzeitiger anzeigen. Die Prozessdokumentation ist damit ein wichtiges Instrument für den vorsorgenden Bodenschutz im Sinne eines Frühwarnsystems. Mit Bezug auf den vergleichsweise hohen apparativen und personellen Aufwand muss die Prozessdokumentation auf ausgewählte Standorte beschränkt werden.

In Hessen werden zur Zeit an vier Standorten Boden-Dauerbeobachtungsflächen mit Prozessdokumentation betrieben. An diesen Flächen, einer in der Nähe des Frankfurter Flughafens, also ballungsraumnah, einer im Vogelsberg und einer im Reinhardswald in Nordhessen, werden die Stoffflüsse vom Eintrag über die Niederschläge, über die Verlagerung bzw. Bindung in verschiedenen Bodentiefen, bis zum Grund- bzw. Quellwasser gefasst. Die Station im Reinhardswald wird zusammen mit der Hessischen Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie in Hann.-Münden betrieben.

Abb. 43 zeigt schematisch den Aufbau einer solchen Station. Der atmosphärische Eintrag wird mit Niederschlags-sammlern bestimmt, wobei zwischen Freiland- und Bestandsniederschlag unterschieden werden muss. Im Bestandsniederschlag sind wegen der Abwaschung von Stoffen, die das Blattwerk aus der Luft „gekämmt“ hat, die Stoffeinträge immer höher als im Freiland, während sich gleichzeitig die Menge verringert.

Tab. 13. Bleigesamtgehalte der humosen Oberböden und Humusaufgaben im Raum Wiesbaden
 (Angaben in % der Proben)

% des Grenz- Wertes (100 ppm)	bis 25	bis 50	bis 100	bis 200	>200 (>100)	Minimal- Wert (ppm)	Maxi- mal- Wert (ppm)	arith- metr. Mittel -x	Hoch- flut-/ Auen- lehm -x	Löss, Löss lehm -x	Flug- Ter- rassen- sand -x	Hang- schutt -x	künstl. Auf- schüt- tung -x
Grünland A-Horizont (n = 32)	0,0 (33,5) ¹⁾ (6,7) ²⁾	31,2 (57,3) (34,9)	37,5 (8,9) (33,7)	18,8 (20,2)	12,5 (0,3) (4,5)	27	255	97,8 (32,0) (77,0)	92,7 (31,7)	37,2 (60,5)	–	–	116,2 (117,0)
Ackerland Ap-Horizont (n = 56)	17,8 (69,0) ¹⁾ (14,9) ²⁾	51,8 (27,5) (70,8)	25,0 (3,0) (9,9)	1,8 (2,5)	3,6 (0,5) (1,9)	13	257	49,7 (24,5) (44,9)	52,1 (50,2)	55,4 (44,1)	33,8 (35,4)	–	–
Wald- L-Lage (n = 4)	–	–	–	–	–	35	53 (42,2)	46,0	–	51,5	–	35,0	–
Wald Of/Oh-Lage (n = 4)	–	–	–	–	–	87	216	153,0 (100,3)	–	154,5	–	151,5	–

¹⁾ Vergleichswerte aus dem „Bericht zur Schwermetall-Situation landwirtschaftlich genutzter Böden in Hessen“, Der Hessische Minister für Landwirtschaft und Forsten, Juni 1986 (n = 294)

²⁾ Vergleichswerte aus dem Luftreinhalteplan Untermain (n = 103)

Grünlandstandorte

An den 32 im Untersuchungsgebiet beprobten Standorten schwanken die Pb-Gehalte in den Ah-Horizonten zwischen 27 und 255 ppm. Ihr arithmetischer Mittelwert liegt bei 97,8 ppm und übertrifft den Landesdurchschnitt in Höhe von 32 ppm sehr deutlich. Bei der Betrachtung der Belastungsklassen fällt auf, dass landesweit etwa ein Drittel der Standorte weniger als 25 ppm Blei aufweisen und ca. 90% weniger als 50 ppm. Überschreitungen des Grenzwertes der Klärschlammverordnung kommen praktisch nicht vor (0,3%). Diese Verteilung ist im Raum Wiesbaden deutlich in Richtung höherer Konzentrationen verschoben. Die unterste Belastungsklasse (bis 25 ppm) ist überhaupt nicht vertreten und nur 31,2% der Standorte weisen hohe Konzentrationen auf, dagegen mehr als 30% überhöhte und stark überhöhte. Erstaunlich hohe Durchschnittswerte wurden auf den Hochflut- und Auenlehmen (92,7 ppm) und auf den künstlichen Aufschüttungen (116,2 ppm) registriert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es sich bei den als Grünland genutzten Auen überwiegend um Bereiche handelt, die noch überflutet werden können, so dass die Bleianreicherung im wesentlichen dem Absatz kontaminierter Schwebstoffe bei Hochfluten anzulasten ist. Im innerstädtischen Bereich dagegen schlagen sich die Emissionen des Kfz-Verkehrs und der Industrie sowie der Einsatz fossiler Brennstoffe nieder. Darüber hinaus können die Aufschüttungsmaterialien auch schon vorher kontaminiert worden sein.

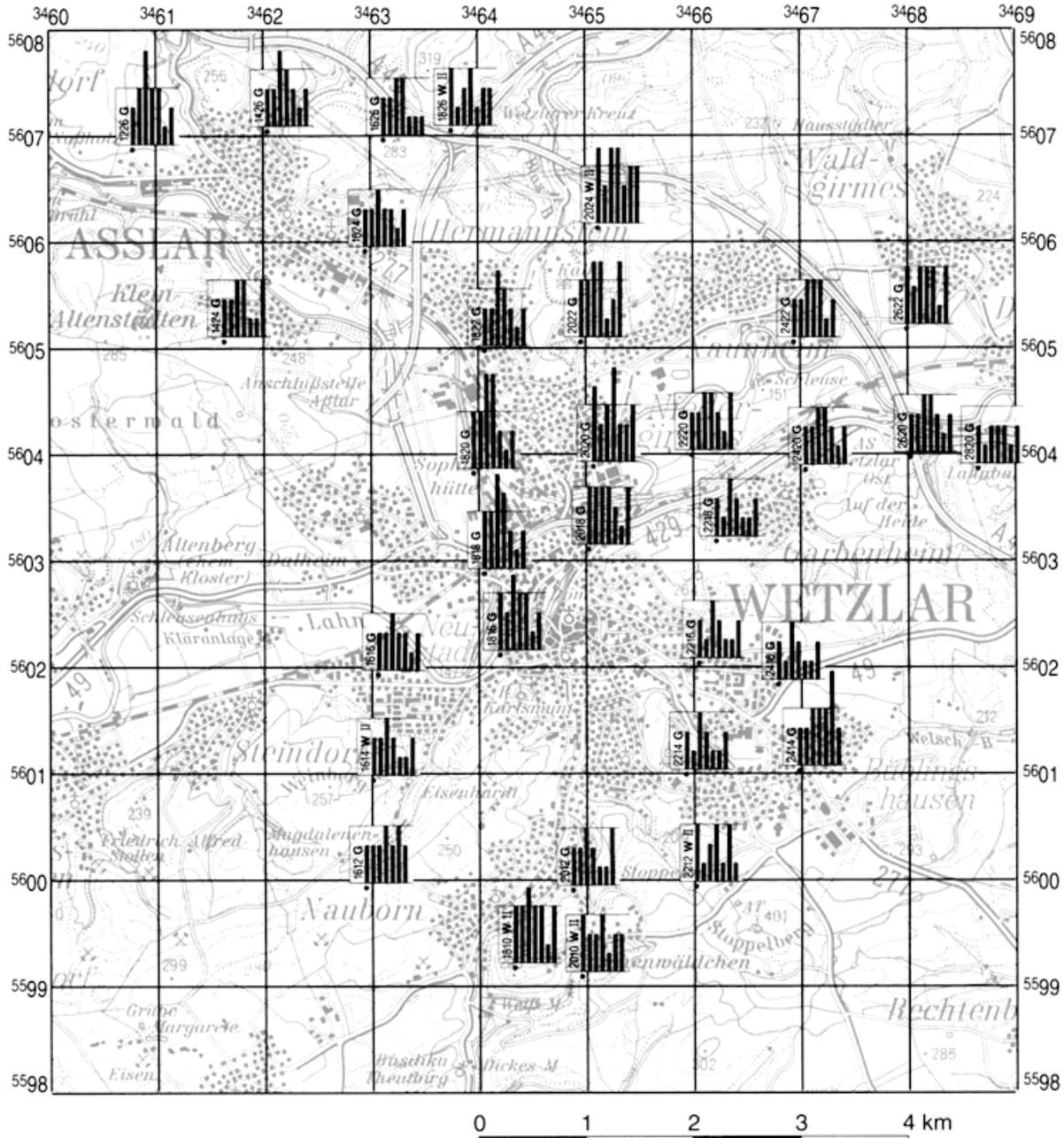
Ackerstandorte

Bei den Ackerstandorten ähnelt das Bild dem des Grünlandes. Die Durchschnittsbelastung liegt bei 49,7 ppm, während sie im Landesdurchschnitt nur 24,5 ppm erreicht. Entsprechend liegen die meisten Standorte zwischen 25 und 100 ppm, während auf Landesebene die Masse (59%) gering belastet ist.

Interessant ist die geringe Pb-Konzentration der ackerbaulich genutzten Hochflutlehme im Vergleich zum Grünland. Da Ackerbau in der Regel außerhalb der Überschwemmungsgebiete betrieben wird, entfällt die Pb-Anreicherung durch Überflutungen.

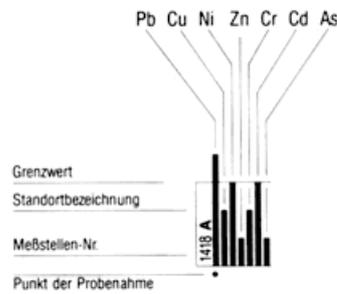
Waldstandorte

Bei den Waldstandorten wurde der Auflagehumus in L- und Of/Oh-Lagen differenziert. Bei hohem Bindungsvermögen organischer Substanz ist die Schwermetallkonzentration auch vom Alter der verschiedenen Lagen abhängig. Die zu erwartende Akkumulation der Schwermetalle in den Of/Oh-Lagen findet beim Blei eine Bestätigung durch Bleigehalte in Höhe von 46 ppm in der Laubstreu (L-Lage), denen 153 ppm in den darunterfolgenden Of/Oh-Lagen gegenüberstehen.



Richt- und Grenzwerte nach der Klärschlammverordnung

Elemente	Grenzwert (ppm)	Darstellungstufen der Gehalte in % der Grenzwerte				
		bis 25%	bis 50%	bis 100%	bis 200%	> 200%
Pb	100	25	50	100	200	> 200
Cu	60	15	30	60	120	> 120
Ni	50	12,5	25	50	100	> 100
Zn	200	50	100	200	400	> 400
Cr	100	25	50	100	200	> 200
Cd	1,5	0,375	0,75	1,5	3	> 3
As	20	5	10	20	40	> 40



Standortbezeichnung: **W I** Wald L-Lage
W II Wald Of/Oh-Lage
A Acker
G Grünland

Abb. 42. Karte der Schwermetallbelastung des humosen Oberbodens des Grünlandes (G = Ah) und der Of-/Oh-Lage (WII) des Waldes aus dem Luftreinhalteplan Wetzlar.

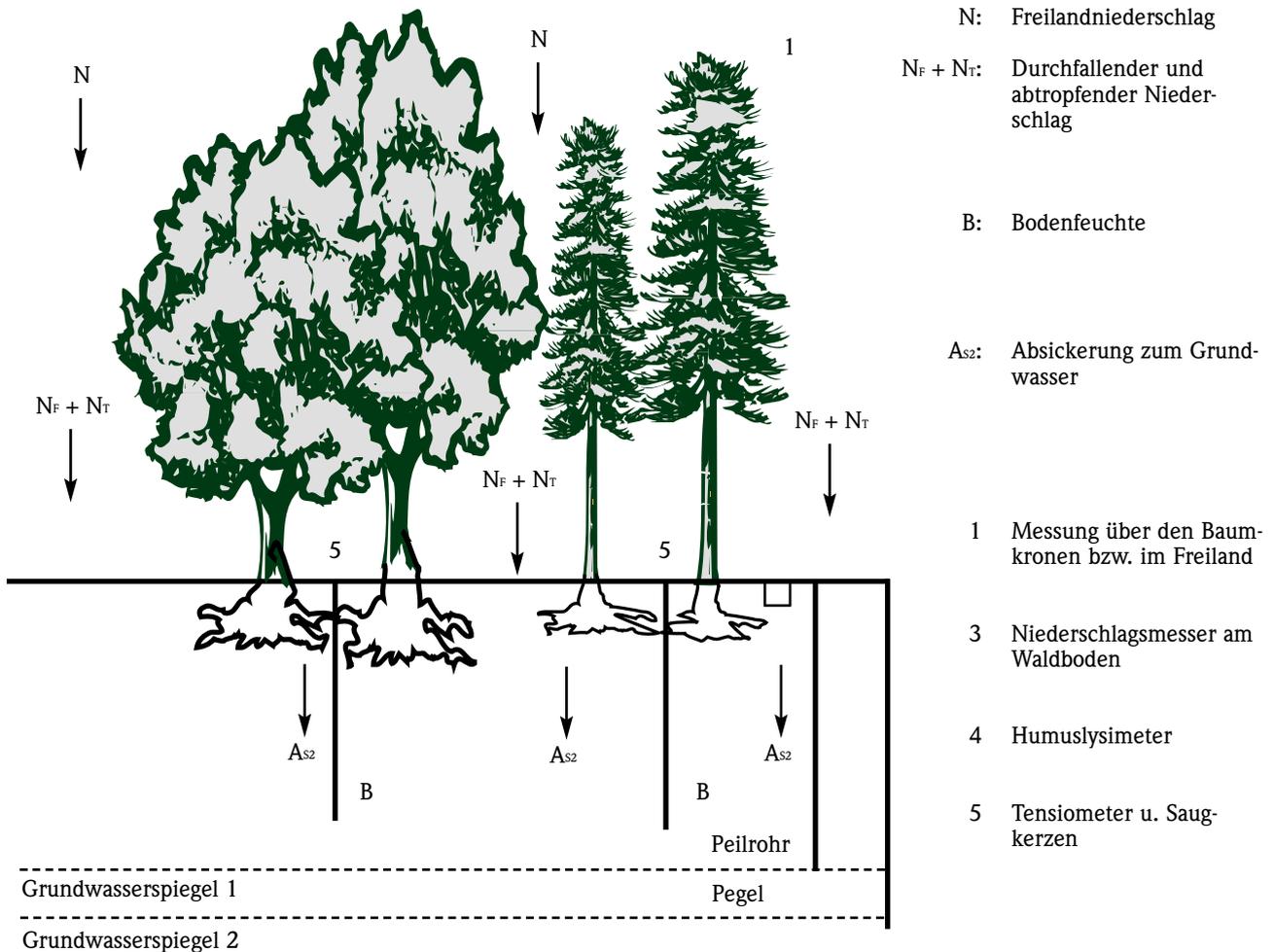


Abb. 43. Schematischer Aufbau einer Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsfläche.

Der Stoffumsatz und -austrag in der Humusschicht wird mit sog. Humuslysimetern erfasst. Hierzu werden 20×20 cm des gesamten Humuskörpers ausgestochen und in einer Auffangvorrichtung ungestört wieder eingebracht, so dass das gesamte versickernde Wasser aufgefangen werden kann. Aus tieferen Bodenschichten wird das Sickerwasser mit Hilfe von Saugkerzen gewonnen, das sind poröse Körper, die in definierten Tiefen eingesetzt werden und durch das Anlegen eines Unterdrucks über Schlauchsysteme Sickerwasser abpumpen können. Zur Quantifizierung des Bodenwassers wird mit Hilfe von Tensiometern indirekt bzw. mit TDR-Sonden direkt der Bodenwassergehalt gemessen. Bei Tensiometern wird ebenfalls über einen porösen Körper der Unterdruck, die sog. Saugspannung des Bodens, gemessen. Durch vorherige Bestimmung der Porenvolumen des Bodens können diese Saugspannungen in Wassergehalte umgerechnet

werden. Bei TDR-Sonden werden elektromagnetische Wellen ausgesendet, deren Verzögerung nach Eichung im Labor direkt in den Wassergehalt des entsprechenden Horizontes umgerechnet wird. An Grundwasserpegeln bzw. Quellaustritten kann der Austrag aus dem System bestimmt werden.

Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen am Frankfurter Flughafen und im Vogelsberg werden manuell betrieben. Mitarbeiter müssen hier in regelmäßigen Abständen Unterdruck anlegen, Werte ablesen und in Listen übertragen und Proben entnehmen. Das bedeutet, dass besonders kurzfristige Niederschlagsereignisse nur unzureichend erfasst werden.

Die Station im Reinhardswald ist computergesteuert. Alle Umwelt- und Bodendaten werden ununterbrochen digital erfasst. Wenn nach



Abb. 44. Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hann. Münden. Sie wird zusammen mit der Hessischen Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie betrieben.



Abb. 45. Im Boden fest installierte Messfühler erfassen die Dynamik des Bodenwassers und entnehmen Bodenwasserproben.

Regenfällen Bodensickerwasser gemessen wird, wird mit elektronisch gesteuerten Pumpen automatisch entsprechender Unterdruck angelegt und Bodenwasser abgepumpt.

Mit Hilfe dieser intensiven Boden-Dauerbeobachtungsfläche können Veränderungen der Bodenfunktionen, vor allem der Filter- und Pufferfunktionen, frühzeitig erkannt werden. Die Eingriffe in den natürlichen Stoffhaushalt sind minimal.

Unwiederbringlicher Bodenverlust: Bodenerosion

Bodenerosion durch Wasser ist in ackerbaulich intensiv genutzten Gebieten zu einem immer größeren Problem geworden. Der jährliche **irreversible Verlust** an Ackerland durch Bodenerosion wird heute weltweit auf ca. 3–6 Millionen Hektar (= 0,5–7 % des Ackerlandes) geschätzt, wovon weitere 20 Millionen Hektar derart geschädigt werden, dass ein Anbau unökonomisch wird. In der Vergangenheit stand als Folge



Abb. 46. Computergesteuerte Probenahme auf der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hann. Münden.

der Erosion vor allem die Gefahr einer mittel- bis langfristigen Abnahme der Bodenfruchtbarkeit im Vordergrund. In Sonderkulturen, wie im Weinbau, führte bzw. führt die einseitige Nutzung über Jahrzehnte bis Jahrhunderte zu einer weiteren Steigerung dieser Effekte. Seit Beginn der Römerzeit werden die abgespülten Erdmassen immer wieder mühsam in die Weinberge zurückgebracht. Heute richtet sich die Aufmerksamkeit auch auf Schäden durch Bodenerosion außerhalb der Landwirtschaft. So werden Aspekte wie die Belastung von Vorflutern mit den im Abfluss und im Sediment enthaltenen Nährstoffen und Pflanzenbehandlungsmitteln berücksichtigt. Diese ökologischen Aspekte finden Eingang in Bodenschutz- und Landschaftsschutzkonzepte.

Die Ursachen dieser Entwicklung sind Flächennutzungsänderungen, zunehmende Bodenbeanspruchung und damit verbundene Bodenverdichtung.

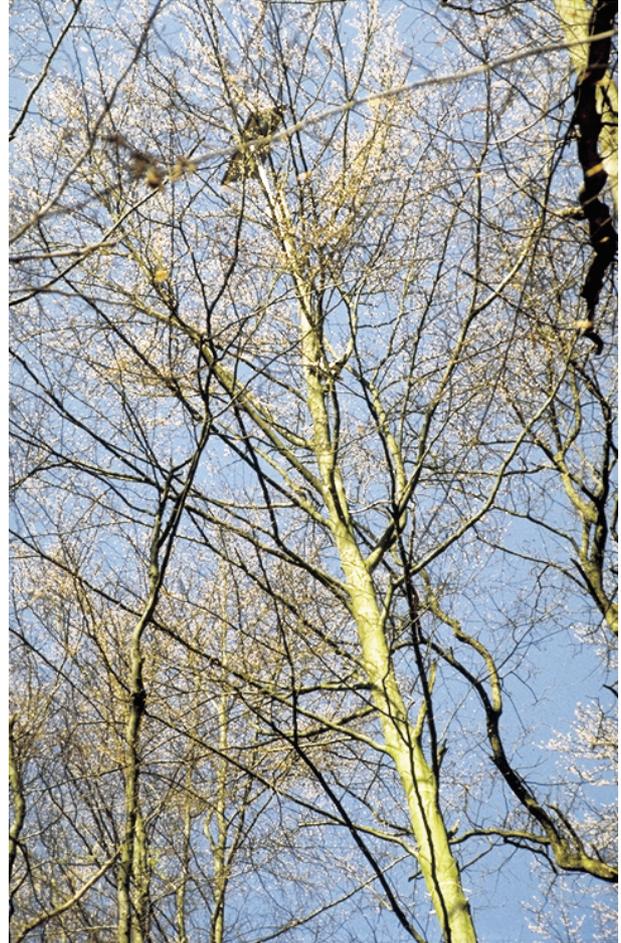


Abb. 47. Sonnenergie versorgt die Messeinrichtungen auf der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hann. Münden.

Im Rahmen von Flächennutzungsänderungen kam es zur Vergrößerung der Feldschläge und damit der erosiven Hanglängen. Feldraine, Hecken, andere Saumbiotope und naturnahe Landschaftselemente wurden beseitigt. Der Ausbau des Wege- und Straßennetzes wurde forciert und ausgedehnt. Zunehmende Mechanisierung und Intensivierung (immer schwerere Maschinen und häufigeres Befahren), steigende Bewirtschaftungsintensität sowie unsachgemäße Bodenbearbeitung führen zu Strukturverschlechterungen und Bodenverdichtungen, die Folge ist ein stark erhöhter Bodenverlust durch Erosion. Dies gilt insbesondere für weinbaulich genutzte Areale auf geneigten Flächen.

Der **konventionelle Weinbau** in Hanglagen hat sich aber seit jeher mit der Wassererosion auseinanderzusetzen und muss sich vor Bodenabträgen schützen. Katastrophale Unwetter sorgen



Abb. 48 und Abb. 49. Bei Extremereignissen können bis zu 50 Tonnen Boden pro Hektar ausgetragen werden (seit Beginn der Messungen geschah dies insbesondere in den Jahren 1989, 1990, 1997, 1998).



Abb. 50 und Abb. 51. Stark begünstigt wird Bodenerosion durch Fahrspuren, die Bodenverdichtung verursachen. Die dadurch entstehenden Abflussbahnen können auch bei normalen Gewitterschauern (10–20 mm) zu Bodenverlusten in der gleichen Größenordnung führen (20.06.1998: 17 mm, 40 Tonnen Bodenabtrag pro Hektar). In Rebanlagen ohne Fahrspuren erfolgte dieser Bodenabtrag nicht.

in den Weinbergen des Rheingaus immer wieder für erhebliche Bodenerosion. Abgespülte Bodenmassen blockieren bei besonders heftigen Ereignissen dann ganze Straßenzüge in den Ortschaften. Durch entsprechende Vorsorgemaßnahmen (insbesondere Begrünung der Fahrgassen, Abdeckung durch Mulch, witterungsabhängige Bewirtschaftungsmaßnahmen) kann der Bodenaustrag vermindert werden.

Auf einem Standort im Staatsweingut Steinberg wird im Rahmen der Bodendauerbeobachtung zusätzlich der Stoffaustrag durch die Bodenerosion erfasst. Die hier eingerichteten Messstationen dienen der **langfristigen Beobachtung von Erosionsprozessen** bei unterschiedlichen Bodenpflegesystemen.

Beispiele für den angewandten Bodenschutz

Auswirkungen von Schwermetallimmissionen auf die Böden der Umgebung

Bodeninhaltsstoffe, in diesem Beispiel Metalle, können verschiedener Herkunft sein und erfordern daher auch differenzierte Maßnahmenkonzepte.

Wie schon gezeigt, müssen wir unterscheiden zwischen geogenen Gehalten, die aus dem Mineralbestand des bodenbildenden Ausgangsgesteins stammen und pedogen umverteilt sein können. Bei den Zusatzbelastungen sind die ubiquitären, diffusen Immissionen von den emittentenbezogenen zu unterscheiden. Emittentenbezogene Einträge können durch gezielte Maßnahmen gemindert werden. Dies setzt aber voraus, dass sie sich signifikant von den sogenannten Hintergrundwerten abheben und eindeutig einem Verursacher zugeordnet werden können.

Die Abb. 52 bis Abb. 55 beschreiben einen solchen Fall für Immission von Blei. In der jungen, allenfalls 3 Jahre alten Streu der Waldböden (der L-Lage) treten lokal sehr hohe Bleigehalte auf (>200 ppm), die auf Grund der Bodenentwicklung nicht dem Mineralboden entstammen können, sondern über die Luft eingetragen wurden.

Auffallend ist, dass die Belastungsfahne nach Nordosten und Osten, entsprechend der vorherrschenden Windrichtung, ausbuchtet und dass die Bleikonzentrationen von einem Gewerbegebiet ausgehend abnehmen. Dieses konzentrische Verteilungsmuster belegt eine Emittentenabhängigkeit. In Abb. 53, die die Bleigehalte der älteren Humusauflagen (Of-/Oh-Lagen) zeigt, wird das Ausbreitungsmuster bestätigt. Sie bildet ein verstärktes Verschleppen in nordöstliche und östliche Richtungen ab. Berücksichtigt man, dass Humusauflagen die Schadstoffeinträge von 3 bis 30 Jahren sammeln, so erkennt man, dass die vom Emittenten ausgehenden Einträge nicht allein aktuell, sondern offensichtlich nachhaltig seit mehreren Jahrzehnten wirken. Die längere Einwirkungszeit hat zwangsläufig auch zu einem höheren Belastungsniveau geführt. Dieses sinkt erst wieder im humosen Oberboden (A-Horizont) (Abb. 54), der aber im Prinzip das alte Muster nachzeichnet. Erst die Unterböden zeigen keinen klar identifizierbaren Eintrag mehr (Abb. 55).

Die in Abb. 54 und Abb. 55 (schwarzer Pfeil) erkennbare auffällige Belastung des Standortes an der Landstraße zeigt ein umgekehrtes Metallverteilungsmuster als alle anderen Standorte. Die Metallgehalte sind im Oberboden geringer als im Unterboden, was für eine geogene Quelle spricht. Die geologische Karte weist im Bereich der Probennahme den Ausstrich des für seine Metallführung bekannten Kupferschiefers aus.

Ein anderes Beispiel zeigt, dass Bodenbelastungen nicht ohne weiteres einem Emittenten zugeordnet werden können. Bei der Zementherstellung wird dem Kalk vor dem Brennen Roteisenstein als Zusatzstoff beigegeben. Da es sich bei dem Roteisenstein um ein Erz handelt, weist dieser Zement erwartungsgemäß hohe (Schwer-) Metallgehalte auf. Ein besonders giftiges Schwermetall ist Thallium. Thallium verhält sich chemisch ähnlich wie Kalium und wird auch an dessen Stelle von der Pflanze aufgenommen, gelangt also leicht in die Nahrungskette. In der Umgebung zweier Zementwerke in Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg konnten im Boden erhöhte Thalliumkonzentrationen nachgewiesen werden. Bei den Untersuchungen in der Umgebung eines hessischen Zementwerkes waren die Befunde jedoch negativ. Hier war die Spannweite

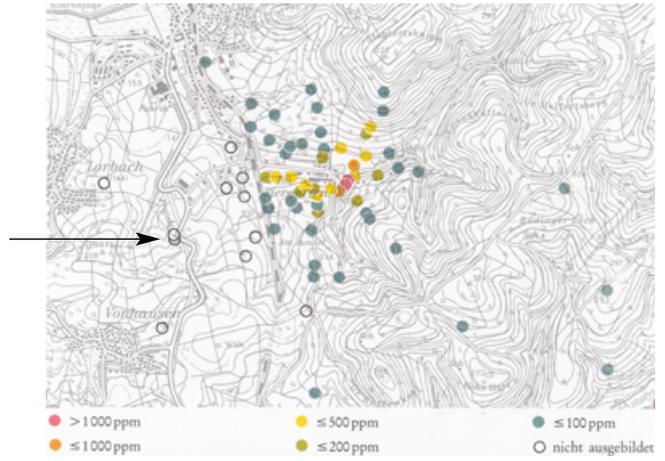


Abb. 52. Bleigehalte in der Laubstreu (L-Horizont).

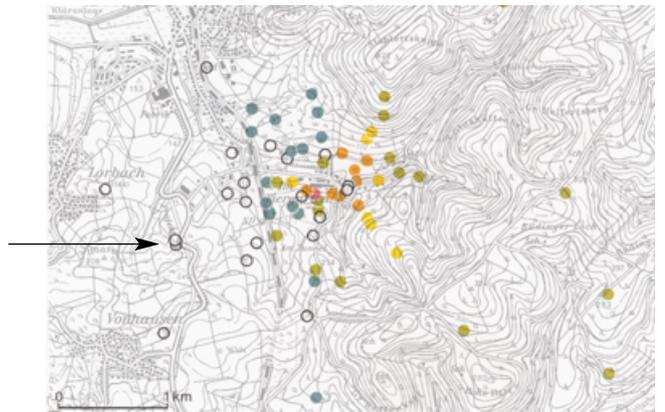


Abb. 53. Bleigehalte in der Humusauflage (Of/Oh-Horizonte).

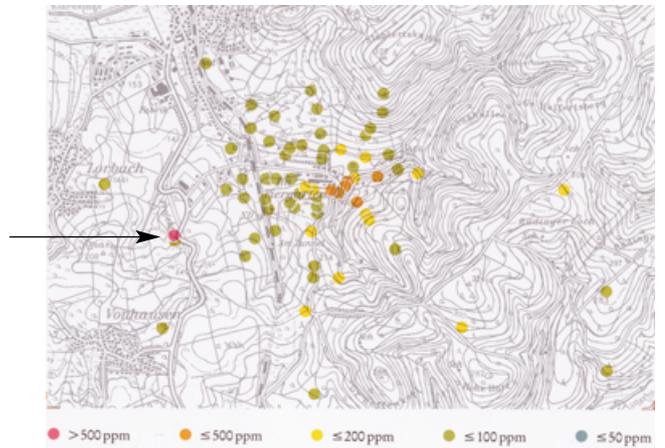


Abb. 54. Bleigehalte im humosen Oberboden (A-Horizont).

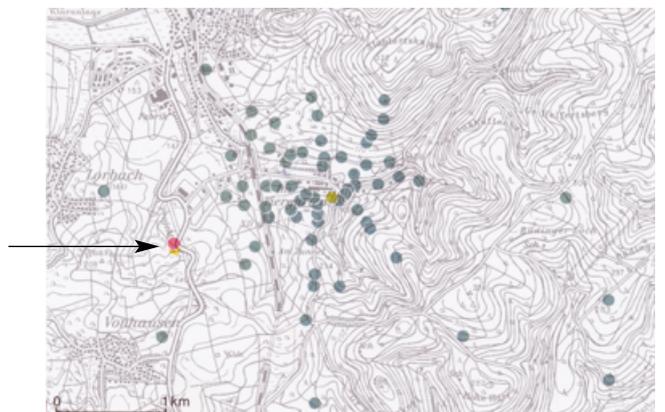


Abb. 55. Bleigehalte im mineralischen Unterboden (B-, S-, M-, G-, C-Horizonte).

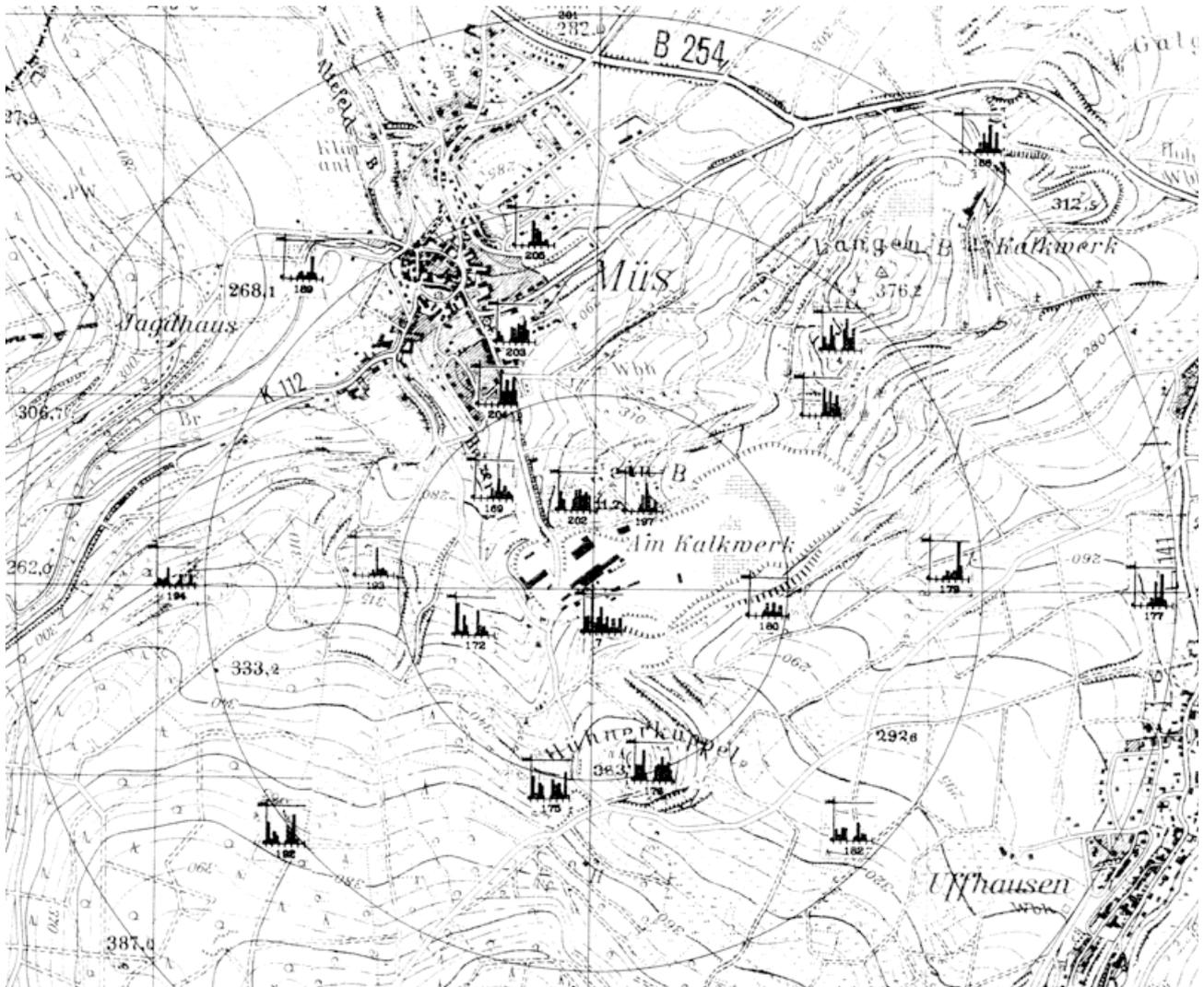


Abb. 56. Thallium- und Bleigehalte in den Böden um Müs.

der Thalliumgehalte in den Humusauflagen, sowie den Ober- und Unterböden ähnlich hoch. Auch die Gesamtgehalte in 30 cm Bodenprofil zeigten keine Abhängigkeiten zum Werk (Abb. 56 u. 57). Die von Bürgern ebenfalls bemängelten erhöhten Werte von Nickel und Chrom konnten eindeutig den in der Umgebung anstehenden Basalten zugeordnet werden. Die Belastung war somit geogen.

Boden und Grundwasser: Nitrataustrag in Wasserschutzgebieten

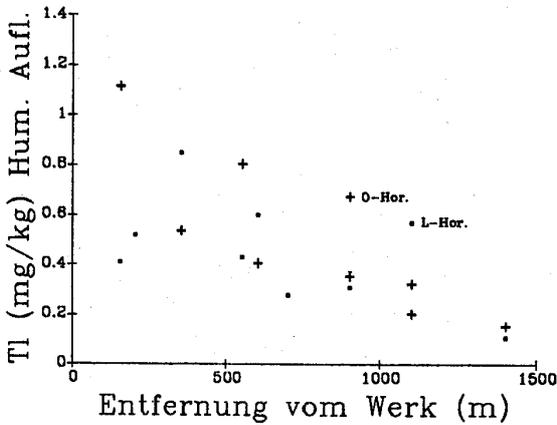
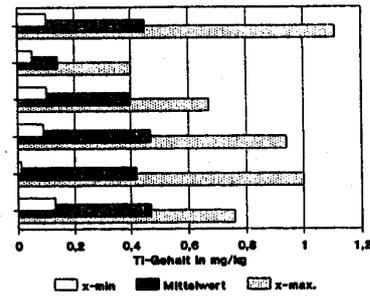
Eine der größten Gefährdungen des Grundwassers geht auf flächenhafte Einträge von Nitrat und Pflanzenschutz- und -behandlungsmitteln aus der Landwirtschaft zurück. Stickstoffverbindungen

wie das Nitrat sind in der Landwirtschaft ein wichtiger Produktionsfaktor. Im Mittel wurden vor dem zweiten Weltkrieg auf einem Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche rund 24 kg/ha Stickstoff zugeführt. Gegen Ende der 80er Jahre wurden über 130 kg/ha aufgebracht. Dass dies eine deutliche Überdüngung war, erkennt man, wenn man sich vor Augen führt, dass sich in den letzten 50 Jahren die Stickstoffdüngung fast verfünffacht hat, während sich die Erträge nur verdoppelten.

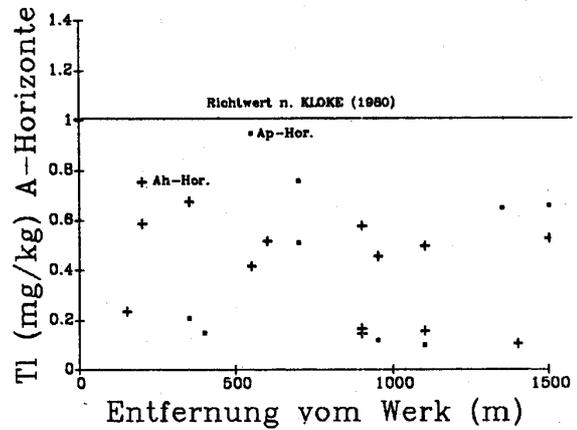
Die über den Pflanzenbedarf hinausgehende Düngung überfordert häufig die Regelungsfunktion des Bodens. Dann kommt es zu einer erhöhten Nitratanreicherung im Boden, die je nach Bodenverhältnissen mehr oder weniger langsam in Richtung Grundwasser wandert.

Tl (mg/kg)	Mittelw.	Minimum	Maximum	Std.abw.	n
Humusauflage **	0,45	0,1	1,11	0,25	20
Wurzelfilz	0,14	0,05	0,4	0,11	11
Oberboden-Wald	0,40	0,1	0,67	0,19	11
Oberboden-Acker*	0,47	0,09	0,94	0,29	13
Unterboden	0,42	0,01	1,0	0,28	26
Gestein	0,47	0,13	0,76	0,20	8
Gesamt	0,39	0,01	1,11	0,26	89

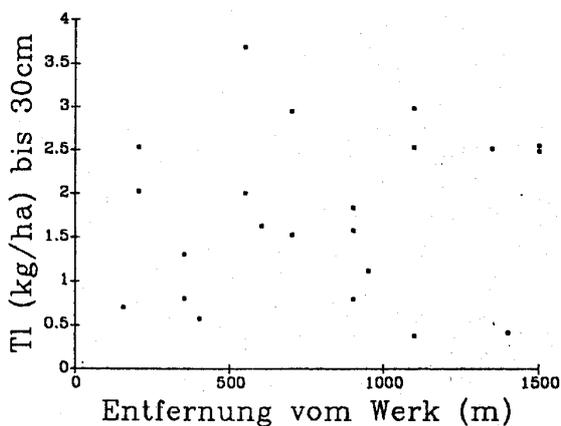
** L- und O-Horizonte wurden zusammengefaßt.
* einschließlich Gärten.



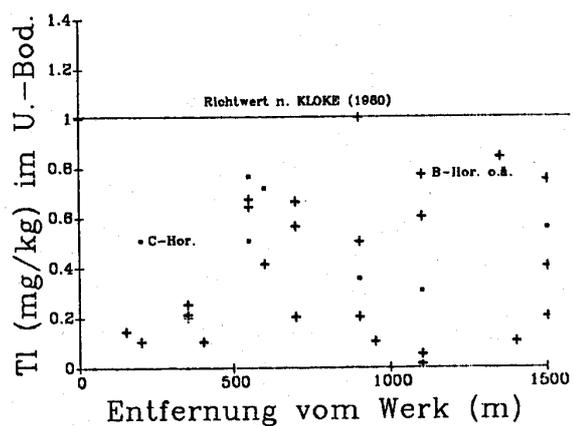
Tl - Gehalte in den Humusauflagen (• = L-Horizont, + = O-Horizont) in Abhängigkeit von der Entfernung zum Emittenten



Tl - Gehalte im humosen Oberboden (• = Ap-Horizont, + = Ah-Horizont) in Abhängigkeit von der Entfernung zum Emittenten



Tl - Gesamtgehalte berechnet auf 30 cm Tiefe pro Hektar in Abhängigkeit von der Entfernung zum Emittenten



Tl - Gehalte im Unterboden (• = C-Horizont, + = B-Horizont o.ä.) in Abhängigkeit von der Entfernung zum Emittenten

Abb. 57. Thalliumgehalte in verschiedenen Bodentiefen und Entfernungen vom potenziellen Emittenten.

Im Gemeindegebiet der Gemeinde Otzberg, Landkreis Darmstadt-Dieburg, sind fünf Wasserschutzgebiete (Nieder-Klingen (Brunnen), Habitzheim, Lengfeld, Nieder-Klingen (Guttelbruchquelle), Hering) ausgewiesen. Die Nitratgehalte im Grundwasser der Trinkwassergewinnungsanlagen zeigten in den letzten Jahren ansteigende Tendenz und liegen zum Teil über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (-TrinkwV, GBl. 1990 S. 2600) von 50 mg/l NO_3 . Eine Hauptursache für die erhöhten Nitratgehalte im Grundwasser ist die intensive landwirtschaftliche Nutzung im Wassereinzugsgebiet der Trinkwasserbrunnen.

Im Hinblick auf eine zeitnah zu realisierende, standortgerechte, grundwasserschonende Landwirtschaft haben sich die in den o.g. vier Wasserschutzgebieten wirtschaftenden Landwirte zusammengeschlossen und mit der Gemeinde Otzberg als Träger der öffentlichen Wasserversorgung einen Kooperationsvertrag abgeschlossen⁶. Ziel des Kooperationsmodells ist es, eine möglichst parzellenscharfe Differenzierung und Konkretisierung des Begriffs „grundwasserschonende Landwirtschaft“ unter Berücksichtigung der standörtlichen Faktoren, wie der potenziellen Nitrat-Austragsgefährdung der Böden und das N-Nachlieferungspotenzial der Böden, zu erreichen.

Zur Bewertung der potenziellen Nitrataustragsgefährdung gibt es verschiedene Ansätze, die sich alle durch gewisse Vor-, aber auch Nachteile, auszeichnen. Es ist immer schwierig natürliche Verhältnisse in Formeln zu fassen.

Unter Nitrataustrag wird die Verlagerung von Nitrat aus der Wurzelzone heraus in tiefere Bodenschichten verstanden. Da Nitrat im Boden nicht sorbiert wird und nach Verlassen der Wurzelzone eine Aufnahme durch Pflanzen nicht mehr möglich ist, lässt sich aus der Sickerwassermenge, die den Wurzelraum verlässt, die potenzielle Nitratauswaschungsgefährdung ableiten. Dafür gibt es unterschiedliche wissenschaftliche Modellansätze. Modelle können natürliche Prozesse nur annäherungsweise genau

beschreiben, da sich nicht alle möglichen Einflussfaktoren – wie zum Beispiel das Wetter und somit die reale Sickerwassermenge – genau voraussagen lassen. Es gilt also die Auswertung ausfindig zu machen, die die natürlichen Verhältnisse am besten wiedergibt.

Neben den unterschiedlichen Modellansätzen spielt auch der Maßstab der Kartierung eine wichtige Rolle. Eine Übertragung von Karten von größeren in kleinere Maßstäbe ist jederzeit möglich, umgekehrt jedoch nicht. Dies liegt zum einen daran, dass schon bei der Geländeerhebung auf Grund der unterschiedlichen Aggregierungsstufen andere Kriterien angelegt werden. Zum anderen zeigt alleine die Bohrdichte von 250–400 Bohrungen/km² bei der Kartierung 1:5000, im Vergleich zu maximal 100 Bohrungen/km² bei der Kartierung 1:25000, welcher Informationsverlust sich daraus ergibt.

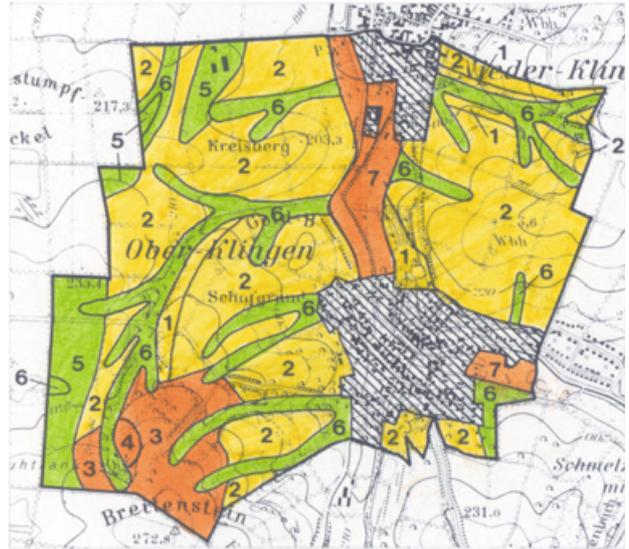
Im Einzelfall kann das zu einer Verschiebung der Bodengrenzen im Bereich von hundert Metern und mehr führen. Ganze Bodeneinheiten können der Aggregation „zum Opfer fallen“. Aufgrund des aktuellen internen Aggregierungsschlüssels des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie wird im Maßstab 1:5000 ein bodensystematischer Wechsel auf dem Niveau der Varietät bestimmt. Im Maßstab 1:25000 wird die Leitbodengesellschaft bestimmt, also ein bodensystematischer Wechsel auf dem Niveau Typ.

Damit Landwirte auf Grund der Bewertungen der Böden vernünftig wirtschaften können, muss die Nitratauswaschungsgefährdung parzellenscharf differenziert werden. Da die Parzellengrenzen meist nicht an die standörtlichen Verhältnisse angepasst sind, kommt es dabei zu starken Verschiebungen der Flächenanteile. Aus Vorsorgegründen müssen die einzelnen Parzellen in die jeweils vorkommende schlechteste Nitratauswaschungsgefährdungsklasse eingestuft werden. Nur bei Flächenanteilen von <15 % wurde, nach Wertung der sonstigen Standortverhältnisse, von diesem Prinzip im Einzelfalle abgewichen.

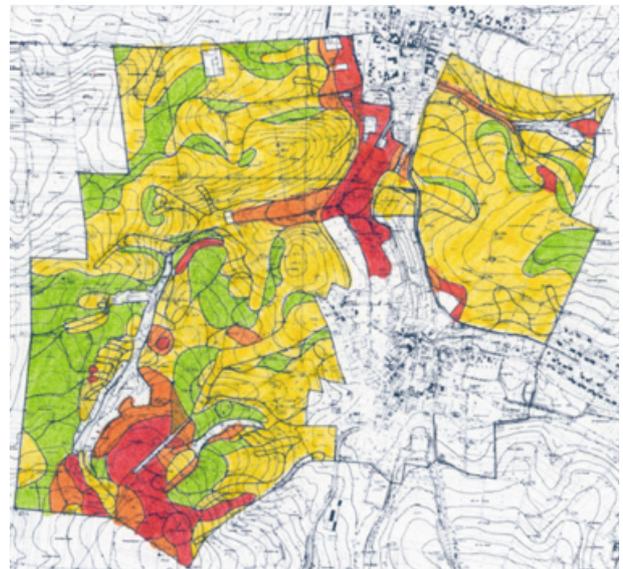
Die Abb. 58 zeigt Auswertungskarten der potenziellen Nitrataustragsgefährdung mit unterschiedlichen Maßstäben und Auswertungsmodellen in den natürlichen Grenzen und an die Parzellengrenzen angelegt.

⁶ Die Bauern von Otzberg, Hrsg.: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit

Kartierung 1:25000, Nitratauswaschungsgefährdung 3-stufig auf Grundlage der Feldkapazität des Hauptwurzelsraumes unter Berücksichtigung pedologischer Besonderheiten



Kartierung 1:5000, Nitratauswaschungsgefährdung 5-stufig auf Grundlage der nutzbaren Feldkapazität des durchwurzelten Bodens (natürliche Grenzen)



Kartierung 1:5000, Nitratauswaschungsgefährdung 5-stufig auf Grundlage der nutzbaren Feldkapazität des durchwurzelten Bodens (Parzellengrenzen)

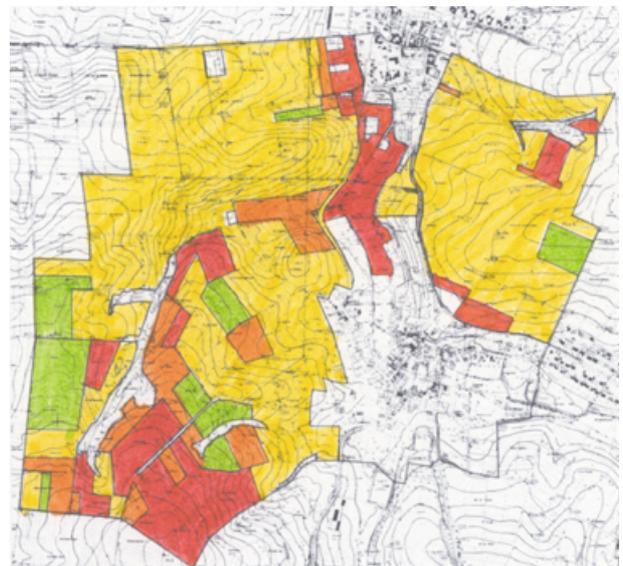


Abb. 58. Potenzielle Nitrataustragsgefährdung im Wasserschutzgebiet des Brunnens Nieder-Klingen der Gemeinde Otzberg.



Abb. 59. Untersuchungen zum Schadstoffabbau in Böden erfordern eine sorgfältige Probenahme durch Fachkräfte.

Untersuchungen zum Abbau von Schadstoffen im Boden

Zur Untersuchung des Abbaus von Schadstoffen im Boden sind Reihenuntersuchungen notwendig. Solche Reihenuntersuchungen erfordern eine besonders sorgfältige Probenahme und qualifiziertes Personal, da geringe Fehler in der Probenahme die Ergebnisse stärker beeinflussen als mögliche Laborfehler, eine Tatsache, die meist vergessen wird. Nur eine exakte Entnahme der Bodenproben lässt eine Interpretation von Zeitreihen zu.

Bodenbelastung als Folge eines Chemieunfalls

Durch einen Chemieunfall wurden 1993 Böden im Raum Frankfurt-Schwanheim flächenhaft mit aromatischen Nitroverbindungen kontaminiert. Die Kontamination machte sich im besonders betroffenen Bereich als gelblicher Niederschlag bemerkbar. Zur Feststellung der Bodenbelastung wurde das damalige Hessische Landesamt für Bodenforschung beauftragt, Untersuchungen mit folgenden Zielen durchzuführen:

- Erfassung der Oberbodenkontamination und Abgrenzung des betroffenen Gebietes,
- Erfolgskontrolle der Sanierung.

Chlorierte aromatische Nitroverbindungen werden in der chemischen und pharmazeutischen

Industrie bei der Herstellung von Lösungsmitteln, Bioziden und Pharmaka verwendet. Sie sind im Allgemeinen nicht als natürliche Bestandteile des Bodens anzusehen, sondern direkt oder indirekt durch anthropogene Aktivität dorthin gelangt. Entsprechend wenig ist über ihr Verhalten im Boden bekannt. Nur für wenige Einzelverbindungen gibt es einschlägige Untersuchungen. Das Verhalten von Nitroanisol, Chlornitrobenzol, Dichlorazobenzol und Dichlorazoxybenzol im Boden, die bei dem Chemieunfall von besonderem Interesse waren, ist weitgehend unbekannt.

Das betroffene Gebiet konnte mit Hilfe der Bodenanalysen relativ schnell abgegrenzt werden und es zeigte sich, dass das Gebiet größer war als ursprünglich angenommen und weit über das durch gelblichen Niederschlag gekennzeichnete hinausging. Der am stärksten belastete Bereich wurde durch Bodenaustausch komplett saniert.

Die Reihenuntersuchungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zeigten, dass auch in den Gebieten, die nicht saniert wurden, die Schadstoffe relativ schnell abgebaut wurden. Fast drei Monate nach dem Unfall wurden auf zwei von drei untersuchten Standorten, auf denen keine Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden, nur noch Spuren von 2-Nitroanisol gefunden. Auf den ehemals stark belasteten und inzwischen durch Bodenab- und -auftrag sanierten Standorten im Bereich der Kleingartenanlagen am Schwanheimer Ufer konnte keine Belastung

Tab. 14. Vergleich der Schadstoffgehalte an 4 Standorten unmittelbar nach dem Störfall und drei Wochen später, Angaben in mg/kg.

Standort/ Datum	1-Chlor-2-nitro- benzol	Nitro- anisol	2-Chlor- anilin	2-Amino- anisol	2,2'-Dichlor- azobenzol	Dichlor- azoxi- benzol	2,2'-Dichlor- hydrazo- benzol
6/24.02.'93 6/17.03.'93	0,12	15,7 1,51	0,25 0,31	0,15 0,07	4,13 2,5	9,43 2,43	0,06
Verhältnis 24.02./17.03.'93		10,39			1,65	3,88	
14/24.02.'93 14/17.03.'93	0,12	16,2 1,05	0,38 0,14	0,1 0,02	3,04 0,81	6,17 0,9	0,24
Verhältnis 24.02./17.03.'93		15,43			3,75	6,86	
16/24.02.'93 16/17.03.'93	0,76	68,4 17	4,32 4,93	0,18 1,87	38,7 38,4	69,2 17,6	1,37
Verhältnis 24.02./17.03.'93		4,02			1,01	3,93	
22/24.02.'93 22/17.03.'93	0,09	14,2 3,25	0,55 0,09	0,05 0,02	3,71 1,03	6,71 0,97	
Verhältnis 24.02./17.03.'93		4,37			3,60	6,92	
Mittelwert der Verhältnisse 24.02./17.03.'93		6,94			2,03	4,40	


Abb. 60. Bodensanierung nach einem Chemieunfall.

mehr festgestellt werden. Die Zwischenuntersuchungen drei, vier und fünf Wochen nach dem Störfall zeigten allerdings, dass trotz des Erdabtrags noch erhebliche Belastungen bestanden, was wahrscheinlich auf eine ständige Neukontamination durch die Räumfahrzeuge zurückzuführen war.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Untersuchungen war, dass die übliche Methode, die auf

Kinderspielflächen zur Gefahrenbeurteilung herangezogen wird, nicht aussagekräftig ist. Üblicherweise werden auf Kinderspielflächen Proben aus dem Sandkasten entnommen, da hier die Gefahr der Direktaufnahme am größten ist. Es hat sich aber gezeigt, dass die Schadstoffgehalte in den Sandkästen nicht repräsentativ für die Belastung der Spielflächen sind. Im Extremfall wurden im Boden des Spielplatzes Gehalte von 16,2 mg/kg Nitroanisol gemessen, während die



Abb. 61. Kleingartengelände nach dem Bodenaustausch.

Sandkastenprobe nur 0,68 mg/kg Nitroanisol ergab. Die geringen Gehalte im Sandkasten lassen sich nur durch das geringe Sorptionsvermögen und das hohe Grobporenvolumen des Sandes erklären. Das heißt, dass man die Ergebnisse von Proben aus Sandkästen nicht für die Erfassung der Immissionsbelastungen eines Spielplatzes heranziehen kann.

Bodenbelastung als Folge großflächiger Schädlingsbekämpfung

Im Frühjahr 1994 wurden aufgrund des starken Befalls mit Schwammspinnergelegen in der hessischen Rhein-Main-Ebene auf 15000 ha Waldfläche Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Ziel war die Erhaltung der strukturellen Stabilität der Waldbestände.

In Beständen mit einer Eigelegedichte von mehr als 10 pro Baum wurde das Pflanzenschutzmittel Dimilin 25 WP eingesetzt. Dimilin enthält als Wirkstoff 250 g Diflubenzuron je kg Präparat. Diflubenzuron ist ein Insektizid mit Fraß- und einer gewissen Kontaktgiftwirkung, das die Chitinsynthese hemmt. Auf den betroffenen Flächen wurde 150 g/ha Dimilin aus der Luft appliziert.

Da gerade um dieses Mittel kontroverse Diskussionen geführt werden, wurden vom damaligen Hessischen Ministerium für Landwirtschaft und

Forsten begleitende Untersuchungen durch das damalige Hessische Landesamt für Bodenforschung eingeleitet, die u.a. den Verbleib von Diflubenzuron und des Abbauproduktes 4-Chloranilin im Boden verfolgen sollten.

Diflubenzuron kann in Konzentrationen von >0,5 mg/kg zu einer starken Dezimierung einzelner Collembolenarten führen. Regenwürmer und Hornmilben zeigen keine Schädigung. Es erfolgte bei der Bewertung durch die Europäische Gemeinschaft keine Einstufung bezüglich Kanzerogenität, Mutagenität und Teratogenität. Über die allgemeine Giftigkeit der Stoffe können aus bodenkundlicher Sicht keine Angaben gemacht werden. Bodengrenzwerte existieren nicht.

Anders verhält es sich bei Chloranilin. 4-Chloranilin hat unterschiedliche Hemmeffekte auf verschiedene getestete Bakterien und Pilze. Die nicht an den Humus gebundenen Chloranilin-Moleküle reagieren untereinander bzw. mit den sich sehr langsam aus dem Humus lösenden Molekülen zu diversen Kopplungsverbindungen, die bereits in geringen Konzentrationen als Kontaktgifte Hautkrankheiten auslösen.

In zwei Testgebieten im Hessischen Ried wurden die Böden nach Anwendung von Dimilin 25 WP auf Rückstände des Wirkstoffes Diflubenzuron und des Abbauproduktes 4-Chloranilin untersucht. Dabei zeigte sich:



Abb. 62. Schwammspinner – Masseninvasion in südhessischen Wäldern.



Abb. 63. Schwammspinner beim Blattfraß.

- Im Testgebiet Lampertheim konnten Rückstände von Diflubenzuron und 4-Chloranilin noch einen Monat nach der Anwendung nachgewiesen werden, im Testgebiet Gernsheim noch nach zwei Monaten. Die mehrwöchige Nachweisbarkeit von 4-Chloranilin in der Humusaufgabe könnte zumindest auf ein potenzielles Restrisiko hinweisen.
- Nach dem herbstlichen Laubfall konnten keine Rückstände von Diflubenzuron und 4-Chloranilin im Boden festgestellt werden. Beide Stoffe waren bis dahin vollständig abgebaut. Es wurden keine neuen Rückstände durch den Laubfall eingebracht.
- Diflubenzuron und 4-Chloranilin konnten nur in den Humusaufgaben, nicht aber im Mineralboden nachgewiesen werden. Eine Verlagerung mit dem Sickerwasser ist daher unwahrscheinlich. Der Humusaufgabe kommt in der Stoffbilanz entscheidende Bedeutung zu, da ihre Inhaltsstoffe durch bodenbiologische Aktivität in relativ kurzer Zeit in den humosen, mineralischen Oberboden übergehen können. Gerade die Streu und der Humuskörper sind besonders stark belebt. Die Gefahr, dass hier gebundene Stoffe über Bodenflora (z.B. Bakterien, Flechten, Algen, Pilze) und Bodenfauna (z.B. Springschwänze, Asseln, Regenwürmer, Schnecken) wieder in die Nahrungskette gelangen, ist besonders groß.

Erfahrungen mit der Bodenkarte 1:50000 bei der Erstellung des Landschaftsrahmenplanes Südhessen

Die Landschaftsplanung soll räumliche Ziele festlegen, die eine Sicherung und Entwicklung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes, der Nutzungsfähigkeit der Naturgüter, der Pflanzen- und Tierwelt sowie der Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft ermöglichen; so ist es in § 1 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) formuliert. Hieraus ergibt sich nicht nur, dass mit der Landschaftsplanung u.a. bodenschützende Ziele verfolgt werden, sondern auch, dass Bodendaten wichtiger Bestandteil einer räumlich konkreten Landschaftsplanung sind. Die verschiedenen Funktionen des Bodens – im Bundes-Bodenschutzgesetz § 2 Abs. 2 in natürliche Funktionen, Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte und Nutzungsfunktionen unterteilt – spielen dabei im gesamten Planungsprozess eine Rolle.

Die folgenden Ausführungen geben einen Einblick in die Verwendung von Bodendaten bei der Erstellung des Landschaftsrahmenplans Südhessen. Bei der Wahl der Arbeitsmethodik spielten neben den Bodendaten selbst auch andere Faktoren, wie z.B. die Verfügbarkeit anderer Daten oder die erforderliche Bearbeitungszeit und -kapazität, eine Rolle.

Für den Landschaftsrahmenplan wurden drei Auswertungen der Bodenkarte zum Einsatz gebracht; die „Standorttypisierung für die Biotopentwicklung“, das „Ertragspotenzial des Bodens“ und das „Nitratrückhaltevermögen des Bodens“.

Standorttypisierung für die Biotopentwicklung

Gemäß § 3 Abs. 2 Nr. 2 HENatG ist in Landschaftsplänen ein Biotopverbund darzustellen. Neben der Sicherung derzeit wertvoller und schutzwürdiger Bereiche sollen hierbei insbesondere jene Bereiche ermittelt werden, die sich für eine Biotopentwicklung in besonderem Maße eignen. Hierzu wurde bei der Landschaftsrahmenplanerarbeitung neben anderen Daten eine Auswertung der Bodenkarte im Hinblick auf extreme Standorteigenschaften herangezogen (Standorttypisierung für die Biotopentwicklung). Die Ableitung erfolgte aufgrund des Wasser- und Nährstoffhaushaltes. Die Biotopverbundplanung wurde so erstellt, dass zunächst die wertvollen Biotoptypen auf Basis der Hessischen Biotopkartierung ermittelt wurden. Dieser Bestand bildet den Kern des Biotopverbundes. Sodann wurden unter Hinzuziehung der aktuellen Nutzungsverteilung im Raum (Satellitenbildklassifikation), des Reliefs (topographische Karte) und der genannten Bodendaten Entwicklungsräume des Biotopverbundes ausgegrenzt.

Zur Festlegung wesentlicher räumlicher Entwicklungsachsen hat sich die Standorttypisierung für die Biotopentwicklung als hilfreich und geeignet erwiesen. Zur Konkretisierung der Abgrenzung wurden jedoch häufig andere Informationen hinzugezogen, bzw. wurde zum Teil wiederum auf die konkreteren Aussagen der Bodenkarte zurückgegriffen. Für die Zukunft wäre es sinnvoll, die Auswertungen aus der Bodenkarte weiter zu konkretisieren, um die abzuleitenden Bereiche deutlicher gegeneinander abzugrenzen. Denkbar wären z.B. Abfragen im Hinblick auf Standortansprüche einzelner Biotoptypen.

Ertragspotenzial des Bodens

Anders als bei der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung wurde das Ertragspotenzial des

Bodens ohne Verknüpfung mit anderen Parametern direkt in den Landschaftsrahmenplan übernommen. Es wurde eine Selektion im Hinblick auf die Standorte mit sehr hohem Ertragspotenzial vorgenommen (Stufe 5 der Verknüpfungsmatrix aus nutzbarer Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum und potenziellem Grundwassereinfluss). Diese Standorte sollen in besonderem Maße für die land- oder forstwirtschaftliche Nutzung gesichert werden, da sie eine herausgehobene Eignung für diese Nutzungen aufweisen. Da in den Mittelgebirgslagen auch Standorte mit hohem Ertragspotenzial von besonderer Bedeutung für die landwirtschaftliche Nutzung sind, wurden sie in einer Themenkarte dargestellt.

Im Landschaftsrahmenplan sollen mit diesen Darstellungen besonders leistungsfähige Standorte nachhaltig im Sinne der Zielsetzungen des § 1 BNATSchG (Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes, Nutzungsfähigkeit der Naturgüter) gesichert werden. Es geht weniger darum, eine bestimmte Art der Nutzung anzustreben als vielmehr darum, eine natürliche Ressource zu sichern. Von daher erweisen sich die Bodendaten für diese Fragestellung als besonders geeignet, da sie flächendeckend für land- und forstwirtschaftliche Flächen vorliegen und nicht selektiv im Hinblick auf ein bestimmtes Nutzungsinteresse erfasst sind.

Nitratrückhaltevermögen des Bodens

Im Landschaftsrahmenplan Südhessen wurde das Nitratrückhaltevermögen des Bodens als ein Parameter eingesetzt, um zum Thema Grundwasserqualität etwas zur Verschmutzungsempfindlichkeit auszusagen.

Auf Basis der Hydrogeologischen Karte (Standortkarte von Hessen) wurden anhand der dort dargestellten Art und Mächtigkeit der Grundwasserleiter und überdeckender Schichten die Bereiche mit großer und wechselnd großer bis mittlerer Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers selektiert. Diese Daten aus der Hydrogeologischen Karte wurden um die Daten aus der Bodenkarte ergänzt. Hierzu wurden die Bereiche mit sehr geringem Nitratrückhaltevermögen des Bodens ausgegrenzt (Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum sehr gering, potenzieller Stauwassereinfluss 1 und 1–2). Die beiden Aus-

sagen wurden zusammengeführt und mündeten in der Entwicklungskarte des Landschaftsrahmenplanes in der Aussage „Bereiche mit hoher Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers“. Hieran werden Anforderungen gekoppelt, die eine Gefährdung des Grundwassers ausschließen sollen. Sie richten sich insbesondere an die landwirtschaftliche Nutzung.

Die Zusammenfassung zweier unterschiedlicher Datenbestände in der hier vorgenommenen Form ist methodisch sicher nicht ganz unstrittig. Ziel ist es jedoch, auf ein generelles Gefährdungspotenzial des Grundwassers hinzuweisen. Dies kann sowohl geologisch als auch bodenbedingt sein. In jedem Fall ist es erforderlich, dass Nutzungen in diesen Bereichen das bestehende Gefährdungspotenzial beachten. Für weitere Planungsschritte bzw. für nachgeordnete Verfahren wird es sinnvoll sein, die tatsächliche Gefährdung in Verbindung mit der aktuellen Nutzung konkreter zu benennen und flächenmäßig einzugrenzen.

Weitere bodenrelevante Themen im Landschaftsrahmenplan

Das Thema Erosionsgefährdung durch Wasser wurde auf Basis der Gefahrenstufenkarte Boden-erosion durch Wasser (Standortkarte von Hessen) bearbeitet. Die Kategorien E5 und E6 mit starker und sehr starker Erosionsgefährdung wurden

zusammengefasst und mit einer Darstellungsgrenze von 10 ha in der Entwicklungskarte dargestellt. In diesen Gebieten zum Schutz erosionsempfindlicher Böden soll die Nutzung so erfolgen, dass eine tatsächliche Erosion ausgeschlossen ist. Aus Praktikabilitätsgründen wurde hier auf einen vorhandenen Datenbestand zurückgegriffen. Perspektivisch wäre es jedoch ebenso denkbar, diese Aussagen mit Auswertungen aus der Bodenkarte zu untermauern und um Aussagen zur Erosionsgefährdung durch Wind zu ergänzen.

Zum Thema Grundwasserneubildung wurden aus der Hydrogeologischen Karte (Standortkarte von Hessen) die Bereiche mit großer und sehr großer Grundwasserergiebigkeit ausgegrenzt und mit Gebieten hoher Sickerwasserraten (über 250 mm/Jahr) überlagert. Die Sickerwasserraten wurden im Grundwasserbewirtschaftungsplan für das Hessische Ried mit Hilfe verschiedener Parameter, u.a. bodenphysikalischer Kennwerte aus den Bodendaten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung, ermittelt. Diese Daten sind eine gute Grundlage für den Landschaftsrahmenplan. Im Landschaftsrahmenplan sind auf dieser Basis „Bereiche zur Erhaltung einer hohen Grundwasserneubildung“ in der Entwicklungskarte dargestellt. Ziel dieser Darstellung ist es, Nutzungen abzuwehren, die die Grundwasserneubildung mindern oder verhindern können oder umgekehrt Maßnahmen anzuregen, die die Grundwasserneubildung verbessern.

Aktuelle gesetzliche Grundlagen des Bodenschutzes in Hessen

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG vom 17.3.1998; BGBl. I Nr. 16 S. 502)

Mit dem In-Kraft-Treten des BBodSchG am 01.03.1999 werden erstmals die nutzungs- und schutzbetonten Bodenfunktionen selbst grundsätzlich als eigenes Gut geschützt. Diese neue Rechtsposition entspricht der besonderen politischen, wirtschaftlichen und ökologischen Bedeutung des Bodens, dem obersten, belebten Teils der Erdkruste und den gebietsweise erheblichen schädlichen Bodenveränderungen, die der Sanierung bedürfen, sowie der notwendigen Vorsorge gegenüber weiteren Bodenbelastungen.

Das BBodSchG verfolgt den Zweck (§ 1) die nutzungsbezogenen und natürlichen Bodenfunktionen nachhaltig zu sichern oder wiederherzustellen. Grundwasser als solches und Gewässerbetten gehören nicht zu seinem Geltungsbereich. Ein Zentralbegriff dieses Gesetzes ist die schädliche Bodenveränderung (§ 2 Abs. 3), die als Gefahr, erheblicher Nachteil oder erhebliche Belästigung für den Einzelnen oder für die Allgemeinheit definiert wird und die es zu vermeiden oder zu sanieren gilt.

Der Anwendungsbereich (§ 3) ist so bestimmt, dass seine Vorschriften nur subsidiär gelten, d.h. soweit in den bestehenden Vorschriften des Umwelt-, Planungs-, Naturschutz- und Bodennutzungsrechts Einwirkungen auf Böden nicht geregelt sind. Unter bestimmten Voraussetzungen können jedoch Maßnahmen zur Entsiegelung von Flächen verlangt (§ 5) und Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in Böden (§ 6) gestellt werden.

Das BBodSchG bezieht sich in seinem Zweiten Teil auf die Gefahrenabwehr, begründet Pflichten zur Vermeidung und zur Abwehr schädlicher Bodenveränderungen sowie zur Sanierung, insbesondere von Altlasten (§ 4), und hebt die besondere Verantwortung des Eigentümers und Verursachers hervor.

Die Vorsorgeanforderungen (§ 7) begründen grundsätzlich keinen neuen behördlichen Vollzugsaufwand. Sie sollen vor allem sicherstellen, dass stoffliche Einwirkungen auf den Boden im Vorsorgebereich nach einheitlichen Maßstäben beurteilt werden können.

Darüber hinaus regelt der zweite Teil des Gesetzes (§§ 4–10) die behördliche Sachverhaltsermittlung der Gefährdungsabschätzung und die Mitwirkung von Sanierungspflichtigen.

Neben den §§ 4, 5, 6 und 13 ist § 8 (Werte und Anforderungen) die wesentliche Grundlage für den Erlass der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Mit ihr sind inzwischen für relevante Schadstoffe Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte sowie Angaben über Frachten einer zulässigen Zusatzbelastung zur Beurteilung von schädlichen Bodenveränderungen festgelegt worden.

Der Dritte Teil des Gesetzes enthält ergänzende Vorschriften für Altlasten, vor allem verfahrensbezogene Regelungen zur Altlastensanierung, Anforderungen an die Durchführung von Sanierungsuntersuchungen und an die Erstellung von Sanierungsplänen. Das BBodSchG hat einige bedeutende Teile des Hessischen Altlastengesetzes wirkungslos gemacht. Das gilt insbesondere für die Begriffsbestimmungen und die Heranziehungs- sowie Finanzierungsregelungen. Die verfahrensbezogenen Vorgaben bedürfen jedoch grundsätzlich keiner Veränderung.

Der nur aus dem § 17 bestehende Vierte Teil bestimmt erstmals auf Bundesebene näher die gute fachliche Praxis landwirtschaftlicher Bodennutzung, die durch landwirtschaftliche Beratung vermittelt werden soll. Für die landwirtschaftliche Bodennutzung ist außerdem bedeutsam, dass bei Gefahrenabwehr-Anordnungen zur Beschränkung der land- und forstwirtschaftlichen Bewirtschaftung von Böden in besonderen Härtefällen für verbleibende wirtschaftliche Nachteile ein angemessener Ausgleich zu gewähren ist (§ 10 Abs. 2).

In den Schlussvorschriften werden insbesondere Anforderungen an Sachverständige und Untersu-

chungsstellen sowie an die angestrebte Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern zur Datenermittlung formuliert. Von besonderer Bedeutung sind außerdem für die Länder die Möglichkeiten, weitere Regelungen über gebietsbezogene Maßnahmen des Bodenschutzes zu treffen („Bodenschutzgebiete“) und auch die Einrichtung von Bodeninformationssystemen festzulegen. Für die allgemeine Bodenkunde ist in diesem Zusammenhang relevant, dass Grundstückseigentümer und Pächter erforderliche Bodenuntersuchungen auch außerhalb der Gefahrenabwehr grundsätzlich zu dulden haben.

Als mögliche Defizite können

- die fehlende Finanzierungsgrundlage,
- die fehlende Handhabe gegen den Flächenverbrauch und
- der vorherrschende Ansatz der Gefahrenabwehr gegenüber weitergehenden vorsorglichen Regelungen angesehen werden.

Folgende Regelungskompetenzen räumt dieses konkurrierende Bundesrecht den Ländern ein:

- Entsiegelungsanordnungen im Einzelfall (§ 5),
- Festlegung von Mitwirkungs- und Duldungspflichten (§ 9),
- Bestimmung des angemessenen Ausgleichs bei Nutzungsaufgaben (§ 10),
- Vorschriften zur Altflächendatei (§ 11),
- Bestimmung landwirtschaftlicher Beratungsstellen (§ 17),
- Anforderungen an Sachverständige und Untersuchungsstellen (§ 18),
- Erlass von ergänzenden Verfahrensregeln zum Zweiten und Dritten Teil des Gesetzes (Grundsätze und Pflichten sowie Altlasten) (§ 21 Abs. 1),
- Erfassung und Mitteilungspflichten bei bestimmten Verdachtsflächen (§ 21 Abs. 2),
- Sanierungsuntersuchungen, -planungen und Eigenkontrollmaßnahmen bei bestimmten schädlichen Bodenveränderungen (§ 21 Abs. 2),
- Gebietsbezogene Maßnahmen („Bodenschutzgebiete“) (§ 21 Abs. 3) und Bodeninformationssystem, incl. Betretungs- und Untersuchungsrecht (§ 21 Abs. 4).

Verordnung über die Bestimmung der zuständigen Behörde in Hessen nach dem BBodSchG (ZuständigkeitsVO vom 9. 3. 1999; GVBL. I S. 188)

Bis auf Weiteres regelt die o.g. Verordnung die Zuständigkeiten beim Vollzug. Dieser obliegt generell den Regierungspräsidien; sofern sich durch schädliche Bodenveränderungen anlagenbezogene Boden- und Gewässerverunreinigung ereignet haben, sind jedoch die unteren Verwaltungsbehörden zuständig.

Anordnungen, die land- oder forstwirtschaftliche Flächen betreffen, sind im Einvernehmen mit der zuständigen Agrar- bzw. Forstbehörde zu treffen. Außerdem finden sich Zuständigkeitsregelungen zur Anerkennung von Sachverständigen und Untersuchungsstellen sowie zu Fachbehörden, die übergeordnete wissenschaftliche – fachliche Aufgaben wahrnehmen.

Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bundes-Bodenschutz – und Altlastenverordnung – BBodSchV vom 12.2.1999; BGBl I S. 1554)

Die BBodSchV soll Anforderungen an den Bodenschutz und die Altlastensanierung konkretisieren und eine bundeseinheitliche Umsetzung sicherstellen. Diese BBodSchV stützt sich insbesondere auf die §§ 4, 6, 7, 8 und 13 BBodSchG. Nach der Festlegung des Anwendungsbereiches und den Begriffsbestimmungen präzisiert der Zweite Teil die Anforderung an die Untersuchung und Bewertung bei schädlichen Bodenveränderungen, insbesondere bei Verdachtsflächen und altlastenverdächtigen Flächen.

Im Dritten Teil werden die Sanierungs-, Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen bei Sanierungen näher bestimmt. Letztlich blieben die Bemühungen erfolgreich, „Ergänzende Vorschriften für die Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen aufgrund von Bodenerosion durch Wasser“ zu verankern. Allerdings fehlen hier quantitative Bewertungsvorgaben, die jedoch im konkreten Verwaltungsvollzug nachgebessert werden könnten. Im Vorsorgeteil werden die Besorgnis schädlicher Bodenveränderungen, Vorsorgeanforderungen und die Anforderung an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden festgelegt.

In den drei Anhängen werden Anforderungen an die Probenahme, Analytik und Qualitätssicherung bei Untersuchungen formuliert sowie nutzungsbezogene Maßnahmen- und Prüfwerte für die einzelnen Pfade Boden-Mensch/-Pflanze/-Wasser sowie nutzungsunabhängige Vorsorgewerte einschließlich Frachten zulässiger Zusatzbelastung festgesetzt.

Die BBodSchV sieht nur teilweise Maßnahmenwerte wie z.B. für die Problemstoffe Dioxine und Furane vor. Die übrigen Kontaminanten werden anhand von Prüfwerten näher beurteilt. Demnach bleibt die Entscheidung, ob und in welcher Weise zu sanieren ist, auch künftig dem Einzelverfahren vorbehalten und erleichtert somit nicht immer den Vollzug. Damit wird auch möglicherweise eine bundeseinheitliche Vorgehensweise in Frage gestellt. Prüfwerte sind jedoch vielfach standort- und abwägungsgerechter.

Die BBodSchV hat die Bewertung von schädlichen Bodenveränderungen, die zu Grundwasserbelastungen führen, in Hessen grundsätzlich nicht geändert. Demgegenüber zeigt ein Vergleich des Boden-Mensch-Pfades, dass bei Wohn- und Gewerbeflächen die bisherigen Eingriffswerte der Verwaltungsvorschrift Altlasten in der Regel zu Prüfwerten verändert wurden, wobei allerdings die Prüfwerte bei Park- und Freizeitflächen sehr deutlich über den bisherigen hiesigen Bewertungsansätzen liegen.

Ein besonderer Vorteil der BBodSchV ist darin zu sehen, dass nun auch Kinderspielplätze, Belastungen von Standorten zur Nahrungsmittelproduktion und Bodenerosion bewertet werden können. Leider ist es auch mit der BBodSchV nicht gelungen, die unterschiedlichen Bodenbewertungssysteme im Umweltrecht zu harmonisieren; insbesondere im Verhältnis zum Immissionsschutz- und Abfallrecht. Eine wesentliche Ursache ist hierfür in dem bestimmenden Ansatz zur Gefahrenabwehr des BBodSchG zu sehen, während die Übrigen teilweise Vorsorgeaspekte oder den Ansatz der besten verfügbaren Technik mit zugrunde gelegt haben.

Bodenschutz im übrigen Naturschutz-, Umwelt-, Planungs- und Bodennutzungsrecht

Das bestehende Umwelt-, Naturschutz-, Planungs- und Bodennutzungsrecht enthält eine

Vielzahl von allgemeinen und z.T. auch speziellen Bodenschutzklauseln, die mit dem BBodSchG nicht vergessen werden dürfen; denn diese Bestimmungen sind insbesondere für die Vorsorge bedeutsam, wie z.B.

- die Bodenschutzklauseln des Baugesetzbuches,
- die bodenschutzrelevanten Instrumente des Naturschutzrechtes, wie z.B. Landschaftsplanung, Eingriffsregelung und Schutzgebietsausweisung,
- Gewässerschutz- und Bewirtschaftungspläne,
- Klärschlamm- und Bioabfallverordnung, TA-Luft,
- Düngemittel- und Düngeverordnung und Verwaltungsvorschrift des UVPG.

Bodenschutz, insbesondere seine vorsorglichen Strategien, wird insoweit auch künftig eine medien- und ressortübergreifende Querschnittsaufgabe bleiben.

Auszüge aus der Bundes-Bodenschutz – und Altlastenverordnung – BBodSchV vom 12. 7. 1999; BGBl I S. 1554

Erster Teil

Allgemeine Vorschriften

§ 1

Anwendungsbereich

Diese Verordnung gilt für

1. die Untersuchung und Bewertung von Verdachtsflächen, altlastverdächtigen Flächen, schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten sowie für die Anforderungen an die Probenahme, Analytik und Qualitätssicherung nach § 8 Abs. 3 und § 9 des Bundes-Bodenschutzgesetzes,
2. Anforderungen an die Gefahrenabwehr durch Dekontaminations- und Sicherungsmaßnahmen sowie durch sonstige Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen nach § 4 Abs. 2 bis 5, § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 3 des Bundes-Bodenschutzgesetzes,
3. ergänzende Anforderungen an Sanierungsuntersuchungen und Sanierungspläne bei bestimmten Altlasten nach § 13 Abs. 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes,
4. Anforderungen zur Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen nach § 7 des Bundes-Bodenschutzgesetzes einschließlich der Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien nach § 6 des Bundes-Bodenschutzgesetzes,
5. die Festlegung von Prüf- und Maßnahmenwerten sowie von Vorsorgewerten einschließlich der

Tab. 15. Nutzungsorientierte Beprobungstiefe bei Untersuchungen zu den Wirkungspfaden Boden – Mensch und Boden – Nutzpflanze

Wirkungspfad	Nutzung	Beprobungstiefe
Boden – Mensch	Kinderspielfläche, Wohngebiet	0–10 cm ¹⁾ 10–35 cm ²⁾
	Park- und Freizeitanlage	0–10 cm ¹⁾
	Industrie- und Gewerbegrundstücke	0–10 cm ¹⁾
Boden – Nutzpflanze	Ackerbau, Nutzgarten	0–30 cm ³⁾ 30–60 cm
	Grünland	0–10 cm ⁴⁾ 10–30 cm

¹⁾ Kontaktbereich für orale und dermale Schadstoffaufnahme, zusätzlich 0–2 cm bei Relevanz des inhalativen Aufnahmepfades
²⁾ 0–35 cm: durchschnittliche Mächtigkeit aufgebracht Bodenschichten; zugleich max. von Kindern erreichbare Tiefe
³⁾ Bearbeitungshorizont
⁴⁾ Hauptwurzelbereich

zulässigen Zusatzbelastung nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 und 2 und Absatz 2 Nr. 1 und 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes.

Böden sind möglichst horizontweise zu beproben. Grundlage für die Ermittlung der Horizontabfolge ist die Bodenkundliche Kartieranleitung der Geologischen Landesämter (AG Bodenkunde, 4. Auflage, 1994). Bis in den Unterboden gestörte Böden sind lagenweise zu beproben (siehe Tab. 15). Die Lagen- oder Horizontmächtigkeit, die durch Entnahme einer Probe repräsentiert werden kann, beträgt in der Regel 30 cm. Mächtigere Horizonte oder Lagen sind gegebenenfalls zu unterteilen. Ergänzend zur Tab. 1 ist die Beprobungstiefe zu berücksichtigen, für die bei der nach § 4 Abs. 4 des Bundes-Bodenschutzgesetzes zu berücksichtigenden Nutzung besondere Vorkehrungen getroffen werden müssen. Die Gründe für abweichende Beprobungstiefen sind zu dokumentieren.

Anhang 2

Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte

1. Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt)

1.1 Abgrenzung der Nutzungen

a) Kinderspielflächen

Aufenthaltsbereiche für Kinder, die ortsüblich zum Spielen genutzt werden, ohne den Spielsand

von Sandkästen. Amtlich ausgewiesene Kinderspielflächen sind ggf. nach Maßstäben des öffentlichen Gesundheitswesens zu bewerten.

b) Wohngebiete

Dem Wohnen dienende Gebiete einschließlich Hausgärten oder sonstige Gärten entsprechender Nutzung, auch soweit sie nicht im Sinne der Bau-nutzungsverordnung planungsrechtlich dargestellt oder festgesetzt sind, ausgenommen Park- und Freizeitanlagen, Kinderspielflächen sowie befestigte Verkehrsflächen.

c) Park- und Freizeitanlagen

Anlagen für soziale, gesundheitliche und sportliche Zwecke, insbesondere öffentliche und private Grünanlagen sowie unbefestigte Flächen, die regelmäßig zugänglich sind und vergleichbar genutzt werden.

d) Industrie- und Gewerbegrundstücke

Unbefestigte Flächen von Arbeits- und Produktionsstätten, die nur während der Arbeitszeit genutzt werden.

1.2 Maßnahmenwerte (s. Tab. 16)

nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes für die direkte Aufnahme von Dioxinen/Furanen auf Kinderspielflächen, in Wohngebieten, Park- und Freizeitanlagen und Industrie- und Gewerbegrundstücken (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Analytik nach Anhang 1)

1.3 Anwendung der Maßnahmenwerte

Bei Vorliegen dioxinhaltiger Laugenrückstände aus Kupferschiefer („Kieselrot“) erfolgt eine Anwendung der Maßnahmenwerte aufgrund der geringen Resorption im menschlichen Organismus nicht unmittelbar zum Schutz der menschlichen Gesundheit als vielmehr zum Zweck der nachhaltigen Gefahrenabwehr.

1.4 Prüfwerte (s. Tab. 17)

nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes für die direkte Aufnahme von Schadstoffen auf Kinderspielflächen, in Wohngebieten, Park- und Freizeitanlagen und Industrie- und Gewerbegrundstücken (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Analytik nach Anhang 1)

Tab. 16

Stoff	Maßnahmenwerte [ng I-TEq/kg TM]*			
	Kinderspielflächen	Wohngebiete	Park- u. Freizeitanlagen	Industrie- und Gewerbegrundstücke
Dioxine/Furane (PCDD/F)	100	1.000	1.000	10.000

* Summe der 2, 3, 7, 8 – TCDD-Toxizitätsäquivalente (nach NATO/CCMS)

Tab. 17

Stoff	Prüfwerte [mg/kg TM]			
	Kinderspiel- flächen	Wohngebiete	Park- u. Freizeit- anlagen	Industrie- und Gewerbegrundstücke
Arsen	25	50	125	140
Blei	200	400	1000	2000
Cadmium	10 ¹⁾	20 ¹⁾	50	60
Cyanide	50	50	50	100
Chrom	200	400	1000	1000
Nickel	70	140	350	900
Quecksilber	10	20	50	80
Aldrin	2	4	10	–
Benzo(a)pyren	2	4	10	12
DDT	40	80	200	–
Hexachlorbenzol	4	8	20	200
Hexachlorcyclohexan (HCH-Gemisch oder β-HCH)	5	10	25	400
Pentachlorphenol	50	100	250	250
Polychlorierte Biphenyle (PCB _o) ²⁾	0,4	0,8	2	40

¹⁾ In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nahrungspflanzen genutzt werden, ist für Cadmium der Wert von 2,0 mg/kg TM als Prüfwert anzuwenden.

²⁾ Soweit PCB-Gesamtgehalte bestimmt werden, sind die ermittelten Meßwerte durch den Faktor 5 zu dividieren.

2. Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze

2.1 Abgrenzung der Nutzungen

a) Ackerbau

Flächen zum Anbau wechselnder Ackerkulturen einschließlich Gemüse und Feldfutter, hierzu zählen auch erwerbsgärtnerisch genutzte Flächen.

b) Nutzgarten

Hausgarten-, Kleingarten- und sonstige Gartenflächen, die zum Anbau von Nahrungspflanzen genutzt werden,

c) Grünland

Flächen unter Dauergrünland

2.2 Prüf- und Maßnahmenwerte (s. Tab. 18)

nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 und 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes für den Schadstoffübergang Boden – Nutzpflanze auf Ackerbauflächen und in Nutzgärten im Hinblick auf die Pflanzenqualität (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Analytik nach Anhang 1)

2.3 Maßnahmenwerte (s. Tab. 19)

nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes für den Schadstoffübergang Boden-Nutzpflanze auf Grünlandflächen im Hinblick auf die Pflanzenqualität (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Arsen und Schwermetalle im Königswasser-Extrakt, Analytik nach Anhang 1)

Tab. 18

Stoff	Ackerbau, Nutzgarten		
	Methode ¹⁾	Prüfwert	Maßnahmenwert
Arsen	KW	200 ²⁾	–
Cadmium	AN	–	0,04 / 0,1 ³⁾
Blei	AN	0,1	–
Quecksilber	KW	5	–
Thallium	AN	0,1	–
Benzo(a)pyren	–	1	–

¹⁾ Extraktionsverfahren für Arsen und Schwermetalle: AN = Ammoniumnitrat, KW = Königswasser

²⁾ Bei Böden mit zeitweise reduzierenden Verhältnissen gilt ein Prüfwert von 50 mg/kg Trockenmasse

³⁾ Auf Flächen mit Brotweizenanbau oder Anbau stark Cadmium-anreichernder Gemüsearten gilt als Maßnahmenwert 0,04 mg/kg Trockenmasse; ansonsten gilt als Maßnahmenwert 0,1 mg/kg Trockenmasse

Tab. 19

	Grünland
Stoff	Maßnahmenwert
Arsen	50
Blei	1200
Cadmium	20
Kupfer	1300 ¹⁾
Nickel	1900
Quecksilber	2
Thallium	15
Polychlorierte Biphenyle (PCB6)	0,2

¹⁾ Bei Grünlandnutzung durch Schafe gilt als Maßnahmenwert 200 mg/kg Trockenmasse

Tab. 20

	Ackerbau
Stoff	Prüfwert
Arsen	0,4
Kupfer	1
Nickel	1,5
Zink	2

Tab. 21

Anorganische Stoffe	Prüfwert [$\mu\text{g/l}$]
Antimon	10
Arsen	10
Blei	25
Cadmium	5
Chrom, gesamt	50
Chromat	8
Kobalt	50
Kupfer	50
Molybdän	50
Nickel	50
Quecksilber	1
Selen	10
Zink	500
Zinn	40
Cyanid, gesamt	50
Cyanid, leicht freisetzbar	10
Fluorid	750

2.4 Prüfwerte (s. Tab. 20)

nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes für den Schadstoffübergang Boden-Pflanze auf Ackerbauflächen im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen bei Kulturpflanzen (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, im Ammoniumnitrat-Extrakt, Analytik nach Anhang 1)

2.5 Anwendung der Prüf- und Maßnahmenwerte

Die Prüf- und Maßnahmenwerte gelten für die Beurteilung der Schadstoffgehalte in der Bodentiefe von 0 bis 30 cm bei Ackerbauflächen und in

Tab. 22

Organische Stoffe	Prüfwert [$\mu\text{g/l}$]
Mineralölkohlenwasserstoffe ¹⁾	200
BTEX ²⁾	20
Benzol	1
LHKW ³⁾	10
Aldrin	0,1
DDT	0,1
Phenole	20
PCB, gesamt ⁴⁾	0,05
PAK, gesamt ⁵⁾	0,20
Naphthalin	2

¹⁾ n-Alkane (C 10...C39), Isoalkane, Cycloalkane und aromatische Kohlenwasserstoffe

²⁾ Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Xylol, Ethylbenzol, Styrol, Cumol)

³⁾ Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (Summe der halogenierten C1- und C2-Kohlenwasserstoffe)

⁴⁾ PCB, gesamt: Summe der polychlorierten Biphenyle; in der Regel Bestimmung über die 6 Kongenere nach Ballschmiter gemäß Altöl-VO (DIN 51527) multipliziert mit 5; ggf. z. B. bei bekanntem Stoffspektrum einfache Summenbildung aller relevanten Einzelstoffe (DIN 38407-3-2 bzw. -03-3)

⁵⁾ PAK, gesamt: Summe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe ohne Naphthalin und Methylnaphthaline; in der Regel Bestimmung über die Summe von 15 Einzelsubstanzen gemäß Liste der US Environmental Protection Agency (EPA) ohne Naphthalin; ggf. unter Berücksichtigung weiterer relevanter PAK (z. B. Chinoline)

Nutzgärten sowie in der Bodentiefe von 0 bis 10 cm bei Grünland entsprechend Anhang 1 Nr. 2.1 Tab. 1. Für die in Anhang 1 Nr. 2.1 Tab. 1 genannten größeren Bodentiefen gelten die 1,5-fachen Werte.

3. Wirkungspfad Boden-Grundwasser

3.1 Prüfwerte zur Beurteilung des Wirkungspfads Boden-Grundwasser (s. Tab. 21 u. 22)

nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes (in $\mu\text{g/l}$, Analytik nach Anhang 1)

3.2 Anwendung der Prüfwerte

- Die Prüfwerte gelten für den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Bodenzone (Ort der Beurteilung). Der Ort der Bodenprobennahme stimmt nicht notwendigerweise mit dem Ort der Beurteilung für das Grundwasser überein.
- Bei der Bewertung, ob es zu erwarten ist, dass die Prüfwerte für das Sickerwasser am Ort der Beurteilung überschritten werden, sind die Veränderungen der Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser beim Durchgang durch die ungesättigte Bodenzone sowie die Grundwasserflurabstände und deren Schwankungen zu berücksichtigen.
- Bei Altablagerungen ist die Abschätzung der Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser durch Materialuntersuchungen auf Grund von

Inhomogenitäten der abgelagerten Abfälle in der Regel nicht zweckmäßig. Entsprechendes gilt für Altstandorte mit besonders ungleichmäßiger Schadstoffverteilung. In diesen Fällen kann durch Rückschlüsse oder Rückrechnung aus Abstrommessungen im Grundwasser unter Berücksichtigung insbesondere auch der Stoffkonzentration im Anstrom eine Abschätzung der Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser erfolgen.

- d) Soweit die Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser direkt gemessen werden können, soll die Probenahme nach Möglichkeit am Ort der Beurteilung für das Grundwasser durchgeführt werden.
- e) Soweit schädliche Bodenveränderungen und Altlasten in der wassergesättigten Bodenzone liegen, werden sie hinsichtlich einer Gefahr für das Grundwasser nach wasserrechtlichen Vorschriften bewertet.
- f) Die geogen bedingte Hintergrundsituation der jeweiligen Grundwasserregion ist bei der Anwendung der Prüfwerte zu berücksichtigen.

4. Vorsorgewerte für Böden

nach § 8 Abs. 2 Nr. 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Analytik nach Anhang 1)

4.1 Vorsorgewerte für Metalle (s. Tab. 23)

(in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Königswasseraufschluss)

Tab. 23

Böden	Cadmium	Blei	Chrom	Kupfer	Quecksilber	Nickel	Zink
Bodenart Ton	1,5	100	100	60	1	70	200
Bodenart Lehm/Schluff	1	70	60	40	0,5	50	150
Bodenart Sand	0,4	40	30	20	0,1	15	60
Böden mit naturbedingt und großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten	unbedenklich, soweit eine Freisetzung der Schadstoffe oder zusätzliche Einträge nach § 9 Abs. 2 und 3 dieser Verordnung keine nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen						

Tab. 24

Böden	Polychlorierte Biphenyle (PCB _s)	Benzo (a)pyren	Polycycl. Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK ₁₆)
Humusgehalt >8%	0,1	1	10
Humusgehalt <8%	0,05	0,3	3

4.2 Vorsorgewerte für organische Stoffe (s. Tab. 24)

(in mg/kg Trockenmasse, Feinboden)

4.3 Anwendung der Vorsorgewerte

- a) Die Vorsorgewerte werden nach den Hauptbodenarten gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung, 4. Auflage, berichtigter Nachdruck 1996, unterschieden; sie berücksichtigen den vorsorgenden Schutz der Bodenfunktionen bei empfindlichen Nutzungen. Für die landwirtschaftliche Bodennutzung gilt § 17 Abs. 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes.
- b) Stark schluffige Sande sind entsprechend der Bodenart Lehm/Schluff zu bewerten.
- c) Bei den Vorsorgewerten der Tab. 4.1 ist der Säuregrad der Böden wie folgt zu berücksichtigen:
 - Bei Böden der Bodenart Ton mit einem pH-Wert von <6,0 gelten für Cadmium, Nickel und Zink die Vorsorgewerte der Bodenart Lehm/Schluff.
 - Bei Böden der Bodenart Lehm/Schluff mit einem pH-Wert von <6,0 gelten für Cadmium, Nickel und Zink die Vorsorgewerte der Bodenart Sand. § 4 Abs. 8 Satz 2 der Klärschlammverordnung vom 15. 04. 1992 (BGBl. I S. 912), zuletzt geändert durch Verordnung vom 06. 03. 1997 (BGBl. I S. 446), bleibt unberührt.
 - Bei Böden mit einem pH-Wert von <5,0 sind die Vorsorgewerte für Blei entspre-

chend den ersten beiden Anstrichen herabzusetzen.

- d) Die Vorsorgewerte der Tab. 4.1 finden für Böden und Bodenhorizonte mit einem Humusgehalt von mehr als 8 Prozent keine Anwendung. Für diese Böden können die zuständigen Behörden ggf. gebietsbezogene Festsetzungen treffen.

5. Zulässige zusätzliche jährliche Frachten an Schadstoffen über alle Wirkungspfade nach § 8 Abs. 2 Nr. 2 des Bundes-Boden-Schutzgesetzes (in Gramm je Hektar) (s. Tab. 25)

Tab. 25

Element	Fracht [g/ha · a]
Blei	400
Cadmium	6
Chrom	300
Kupfer	360
Nickel	100
Quecksilber	1,5
Zink	1200

Literatur

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Bodenkunde (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 4. Auflage: 392 S.; Stuttgart (Schweizerbart).

Hessisches Landesamt für Bodenforschung (1996): Geotope in Hessen, Schaufenster der Erdgeschichte. Wiesbaden

Hessisches Landesamt für Bodenforschung (1998): Böden im Wandel. Geologie in Hessen, Band 2/1998, Wiesbaden.

Hessisches Landesamt für Bodenforschung (1999): Das Hessische Erdinformationssystem. Geologie in Hessen, Band 3/1999, Wiesbaden.

Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.) (1986): Bericht zur Schwermetall-Situation landwirtschaftlich genutzter Böden in Hessen – Schwermetallbericht. Wiesbaden.

Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit (Hrsg.): Die Bauern von Otzberg. Wiesbaden.

Hessisches Ministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (1988): Luftreinhalteplan Untermain; Wiesbaden.

Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (Hrsg.) (1991): Luftreinhalteplan Rhein-Main, 1. Fortschreibung; Wiesbaden.

Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit (Hrsg.) (1995): Luftreinhalteplan Wetzlar, 1. Fortschreibung; Wiesbaden.

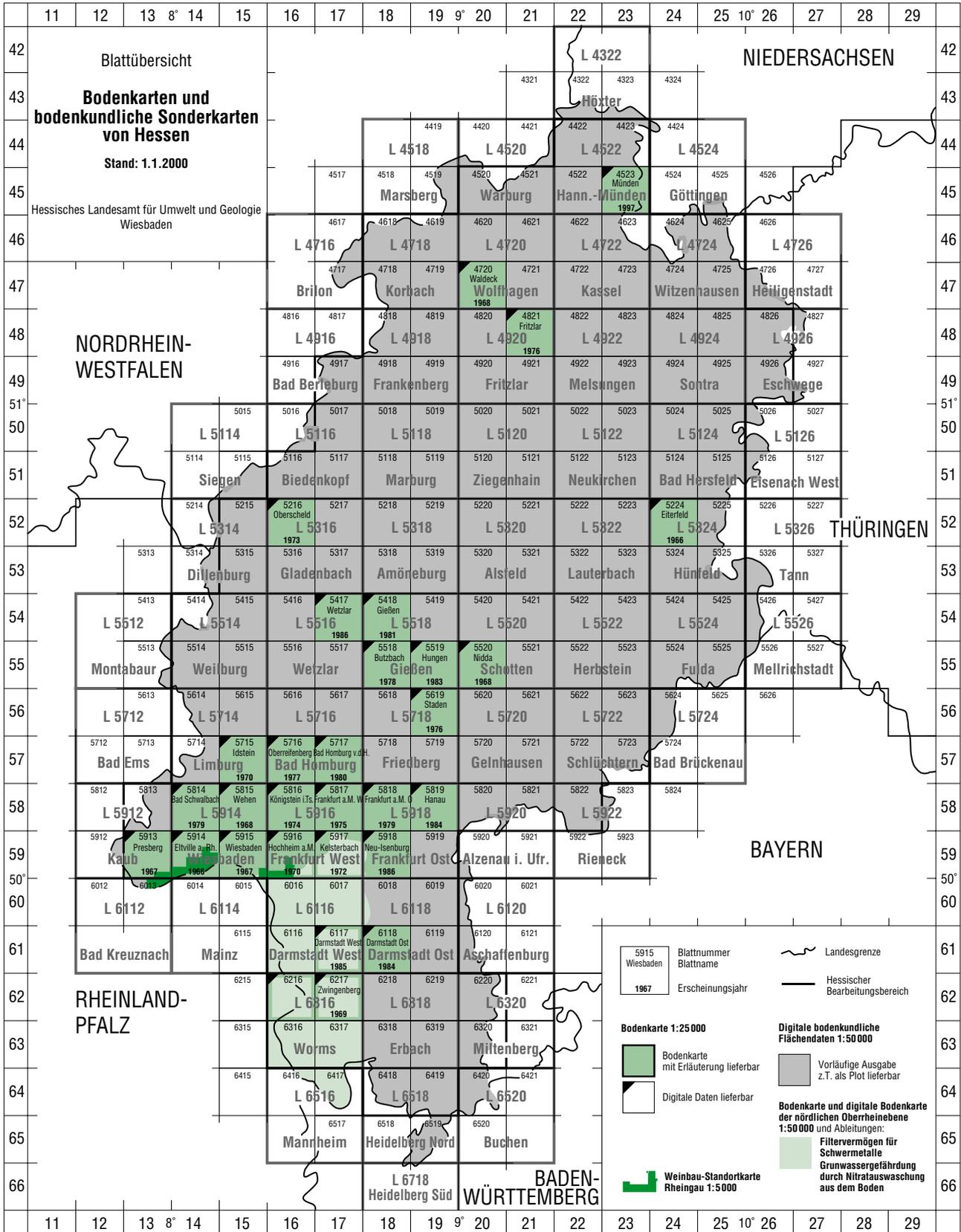
Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): Luftreinhalteplan Kassel, 1. Fortschreibung; Wiesbaden.

LABO (Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz) (1998): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. – In D. Rosenkranz, G. Bachmann, G. Einsele & H.-M. Harres, Hg.: Bodenschutz. 28. Lfg. XII/98, Kennz. 9006: 1–115; Berlin (Erich Schmidt).

Soyez, D. (1982): Zur Problematik der Erfassung und Bewertung von Landformen für den geomorphologisch orientierten Naturschutz. Geowissenschaftliche Beiträge zum Naturschutz, Laufende Seminarbeiträge 7/82, 21–43, Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, Laufen/Salzach.

StAnz. für das Land Hessen 25. März 1996 Nr. 13: Merkblatt: Anleitung zur bodenkundlichen Kartierung landwirtschaftlich genutzter Flächen im Hinblick auf die potentielle Nitrataustragsgefährdung und ihre Darstellung im Maßstab 1:5000. Wiesbaden.

Beiträge zum Bodenschutz in Hessen



Beiträge zum Bodenschutz in Hessen

Weinbau-Standortkarte Rheingau 1:5000

