

Rheinland-Pfalz



Schutzwürdige und schutzbedürftige Böden in Rheinland-Pfalz



Titelbild: Ferrallit bei Rummelsheim (fossiler tropischer Verwitterungsboden)
© Dr. E.-D. Spies

Impressum

Herausgeber:
Ministerium für Umwelt und Forsten
Rheinland-Pfalz
Kaiser-Friedrich-Straße 1
55116 Mainz

Druck und Satz:
Druckbetrieb Lindner
Weberstr. 13
55130 Mainz

Projektkoordination:
Dr. E.-D. Spies*
Dr. J. Backes**
Dipl.-Ing. M. Fickus***

Autoren:
Dipl.-Geogr. M. Goldschmitt*
Dipl.-Geogr. U. Hagemann*
Dipl.-Ing. (FH) Bodenwissenschaften V. Mueller*
Dr. S. Sauer*

* Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz
Emy-Roeder-Straße 5
55129 Mainz

** Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz
Kaiser-Friedrich-Straße 1
55116 Mainz

*** Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht
Kaiser-Friedrich-Straße 7
55116 Mainz

1. Auflage, November 2005

Alle Rechte, insbesondere die der Vervielfältigung, des Nachdrucks und der Übersetzung sind vorbehalten.

Schutzgebühr: 10,- €

Vorwort

*„Es gibt in der ganzen Natur keinen wichtigeren,
keinen der Betrachtung würdigeren Gegenstand als den Boden!
Es ist ja der Boden, welcher die Erde zu einem freundlichen Wohnsitz der Menschen macht;
er allein ist es, welcher das zahllose Heer der Wesen erzeugt und ernährt,
auf welchem die ganze belebte Schöpfung und unsere eigene Existenz beruhen.“*

F. A. Fallou (1862) Wegbereiter der modernen Bodenkunde



Böden sind elementare Bestandteile der Landschaft und des Naturhaushaltes. Damit unterliegen sie den Bestimmungen der Naturschutz- und Bodenschutzgesetzgebung des Bundes und der Bundesländer. Sie werden auf Grund ihrer zahlreichen und wichtigen Funktionen im Naturhaushalt, die auch der Mensch fortwährend nutzt, geschützt, aber auch auf Grund ihres eigenen Wertes. So dienen Böden unter anderen als Standort für Pflanzen und sind somit auch Produktionsgrundlage landwirtschaftlicher Erzeugnisse. Sie fungieren

als Wasserspeicher, sind Dokumente der Erdgeschichte und Erholungsraum, um nur einige Beispiele für die vielseitige Nutzung des Bodens durch den Menschen zu nennen. Gleichzeitig sind Böden aber empfindlich, leicht zu zerstören und nicht vermehrbar.

Deshalb wird der Schutz des Bodens aus Sorge um einen irreversiblen Verlust zur gesellschaftlichen und umweltpolitischen Aufgabe. Im Spannungsfeld zwischen Nutzungsanspruch und Schutzbedürftigkeit muss die begrenzte Ressource Boden so eingesetzt werden, dass sie ihre Funktionen uneingeschränkt und ungefährdet nachhaltig erfüllen kann. Deshalb kommt neben den für den Bodenschutz zuständigen Personen insbesondere auch den Trägern und Vorhabensführern von Planungs- und Zulassungsverfahren eine entscheidende und verantwortungsvolle Rolle für eine nachhaltige Bodennutzung zu. Mit dieser Zielsetzung für einen sorgsamen Umgang mit dem Boden, aber auch zur Bündelung von Bodeninformationen in einem Boden-Informationssystem, trat im August 2005 das Landesbodenschutzgesetz Rheinland-Pfalz in Kraft.

Für die Erzielung eines effizienten Bodenschutzes ist die Kenntnis des aktuellen Bodenzustandes unabdingbar. Denn in der Vergangenheit kam vielfach eine angemessene Berücksichtigung der Bodenschutzbelange in Planungs- und Gestattungsverfahren mangels nicht vorhandener bzw. unzureichender Informationen leider zu kurz.

Die hier vorliegende Broschüre wird diese Lücke verkleinern und stellt eine wichtige flächendeckende Bestandsaufnahme zur Kennzeichnung des natürlichen Potenzials der rheinland-pfälzischen Böden dar. Diese wurde auf der Basis allgemein anerkannter Methoden zur Bodenfunktionsbeschreibung erarbeitet und gemeinsam von den Fachleuten des Landesamtes für Geologie und Bergbau sowie des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht bewertet. Die Broschüre ist Ausdruck einer seit einigen Jahren bestehenden engen und vertrauensvollen Zusammenarbeit von Fachbehörden unterschiedlicher Ressorts zum Wohle eines nachhaltigen Bodenschutzes in Rheinland-Pfalz.

Margit Conrad

Margit Conrad
Staatsministerin für Umwelt
und Forsten Rheinland-Pfalz

Vorwort

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Forsten führt das Landesamt für Geologie und Bergbau mit Unterstützung des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht seit 1996 systematische Untersuchungen zur Beschreibung des Bodenzustandes aus. Ergänzend zu dieser im Wesentlichen stofflichen Beschreibung der Böden erfolgte in 2004 ein Arbeitsauftrag, bereits vorhandene nichtstoffliche Bodeninformationen systematisch zusammenzutragen und hinsichtlich der im Bundes-Bodenschutzgesetz definierten natürlichen Bodenfunktionen zu beschreiben und zu bewerten. Die im Bundes-Bodenschutzgesetz weiterhin definierten diversen Nutzungsfunktionen der Böden – z.B. als Rohstofflagerstätte, Fläche für Siedlung und Verkehr oder Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung – sind explizit nicht Gegenstand dieser Broschüre. Diese anthropogen initiierten Nutzungsprozesse und Eingriffe können vielfältiger Art und Weise sein und so bei landwirtschaftlicher Nutzung zu gegebenenfalls abweichenden Bodenbewertungen gegenüber dem hier dargestellten natürlichen Potenzial führen.

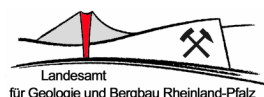
Um den Grad der Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit der Böden in Rheinland-Pfalz zu erfassen, wurde auf einfach handhabbare und allgemein anerkannte Methoden zur Bewertung der einzelnen Bodenfunktionen zurückgegriffen. Es sollten dabei vorrangig beispielsweise besonders schutzwürdige und seltene Böden herausgefiltert und vor einer weiteren Degradation und Zerstörung bewahrt werden. Es wurde bewusst davon abgesehen, eine Gesamtbewertung der verschiedenen Bodenfunktionen abzuleiten, da es auf diesem Arbeitsgebiet noch keine allgemein akzeptierten Bewertungsansätze gibt.

Diese Broschüre wendet sich an Fachleute und fachlich Interessierte aus dem Bereich Bodenschutz und stellt allein das „im Boden“ steckende Potential der Böden dar. Sie wird damit sicherlich auch Trägern von Planungs- und Zulassungsverfahren eine Hilfe für ihre fachlichen Arbeiten im Bodenschutz dienen. Denn bisher suchen Planungsträger, Vorhabensführer, Planungsbüros und zuständige Fachbehörden häufig vergebens nach Vorgaben, Hilfen und aktuellen Informationen, wie der Schutz der Bodenfunktionen im Planungsvollzug realisiert werden kann und soll.

Grundsätzlich ist jede Inanspruchnahme von Boden sorgsam zu prüfen und zu minimieren. Deshalb werden im Abschlusskapitel dieser Broschüre auch allgemeine Hinweise für ein bodengerechtes Handeln und sich daraus ergebenden Handlungsalternativen für einen verantwortungsvollen Umgang mit dem Schutzgut Boden aufgezeigt.



Prof. Dr. Harald Ehse
Direktor des Landesamtes für Geologie und
Bergbau Rheinland-Pfalz



Dr.-Ing. Karl-Heinz Rother
Präsident des Landesamtes für Umwelt, Was-
serwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-
Pfalz



Inhaltsverzeichnis

1	<i>Einführung</i>	1
2	<i>Nur wer den Boden kennt, kann ihn nachhaltig schützen</i>	3
2.1	<i>Was ist Boden?</i>	3
2.2	<i>Warum Boden schützen?</i>	5
2.3	<i>Warum werden Böden häufig nicht beachtet?</i>	6
3	<i>Wesentliche Datengrundlagen zur Bewertung und Darstellung von Bodenfunktionen</i>	7
4	<i>Verfahren zur Bewertung von Bodenfunktionen</i>	9
4.1	<i>Standort für die landwirtschaftliche Nutzung</i>	12
4.2	<i>Boden als Lebensgrundlage und Lebensraum</i>	17
4.3	<i>Regelfunktion des Bodens als Bestandteil des Naturhaushaltes</i>	22
	4.3.1 Wasserrückhaltevermögen der Böden	23
	4.3.2 Grund-, hang- und stauwasserbeeinflusste Böden	27
4.4	<i>Filter- und Pufferfunktionen von Böden insbesondere zum Schutz des Grundwassers</i>	28
	4.4.1 Rückhaltevermögen und Auswaschungsgefährdung der Böden für leicht wasserlösliche Stoffe	29
	4.4.2 Retentionsvermögen der Böden für Schwermetalle	36
	4.4.3 Puffervermögen der Böden für Säuren	41
4.5	<i>Archivfunktion der Natur- und Kulturgeschichte</i>	44
	4.5.1 Böden als Archiv der Naturgeschichte	44
	4.5.2 Böden als Archiv der Kulturgeschichte	45
	4.5.3 Seltene Böden	47
4.6	<i>Nichtstoffliche Gefährdungen von Bodenfunktionen</i>	51
5	<i>Maßnahmen zur Sicherung der Bodenfunktionen</i>	60
6	<i>Ausblick</i>	65
7	<i>Literatur</i>	67
Anhang		74

1 Einführung

So vielfältig wie die rheinland-pfälzischen Landschaften sind auch ihre Böden. Ebenso vielschichtig und komplex sind ihre Beziehungsgefüge in Natur und Landschaft. So bieten Böden u.a. als Naturkörper verschiedensten Organismen Lebensgrundlage und -raum, dienen als Kulturpflanzenstandorte dem land- oder forstwirtschaftlichem Ertrag, regulieren den Wasserhaushalt einer Landschaft und bewirken durch Filterung, Pufferung und Transformation die ökonomische und ökologische Sicherung der Wasservorkommen. Das Umweltmedium Boden nimmt somit eine zentrale Stellung im gesamten Naturhaushalt ein. Die Landschaft ist weiter im Wandel und die Böden sind ihr „Gedächtnis“ (BLUME 1990).

Die Leistungsfähigkeit der Böden (Bodenfunktionen) hat Grenzen. Anthropogen bedingte Bodenveränderungen (z.B. Versiegelung, Schadstoffeintrag, Verdichtung und Erosion) können das empfindliche System Boden dauerhaft schädigen. Böden sind jedoch nur eingeschränkt wieder herstellbar und nicht vermehrbar. Besonders verständlich wird genau an diesem Punkt die dringende Notwendigkeit eines auf die Funktionen des Bodens ausgerichteten vorsorgenden Bodenschutzes.

Lange Zeit wurde die zentrale Bedeutung des Bodens im Naturhaushalt nicht gebührend betrachtet. Daher stellte die Verabschiedung des BBodSchG am 17. März 1998, nach einer über 10 Jahre währenden intensiven Diskussion, einen wichtigen Meilenstein im Bereich der vorsorgenden und nachhaltigen Bodenschutzpolitik dar. Die Gesetzgeber haben die Bedeutung der Böden erkannt und die Funktionen im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG 1998) und seinen untergesetzlichen Regelwerken (BBodSchV 1999) gesichert. Oberstes Ziel ist die Wahrung der Multifunktionalität des Bodens im Sinne der §§ 1 und 2 des BBodSchG. Umweltfachgesetze, wie die Regelungen des Naturschutzes (BNatSchG 2002) und des Baurechts (BauGB 2004), schützen ebenfalls mittelbar oder unmittelbar die Funktionen des Bodens. Die bundesrechtlichen Regelungen bedürfen weiter der Ausführung und Ergänzung durch entsprechendes Landesrecht. Gemäß § 21 BBodSchG können so beispielsweise die Länder eigene Bodeninformationssysteme einführen. Deren Inhalte und Vollzug kann in ihren Landesgesetzen geregelt werden.

Rheinland-Pfalz hat am 2. August 2005 ein eigenständiges Landesbodenschutzgesetz (LBodSchG) erhalten. In diesem wird der Aufbau und Inhalt des rheinland-pfälzischen Bodeninformationssystems (BIS RP) beschrieben. Des Weiteren ist die Ausweisung von Bodenschutz- und Bodenbelastungsgebieten¹ vorgesehen. Mit diesen Gebietsausweisungen sind auch Bestimmungen von dort durchzuführenden, gebietsbezogenen Maßnahmen verbunden.

Dieser Bericht liefert primär Basisinformationen zu natürlichen Funktionen, Archivfunktionen sowie der landwirtschaftlichen Nutzungsfunktion des Bodens bis zur Maßstabsebene 1: 50.000 (vgl. Abbildung 3). Damit ist diese Arbeit ein wichtiger Beitrag zur Integration des Schutzgutes Boden in die überörtliche Planung.

¹ Ein Bodenbelastungsgebiet ist ein Gebiet, in dem stoffliche Bodenveränderungen (LBodSchG) auftreten oder zu erwarten sind. Ein Bodenschutzgebiet ist hingegen ein Gebiet mit besonders schutzwürdigen Böden.

Um den Grad der Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit der Böden in Rheinland-Pfalz zu erfassen, wurde auf einfach handhabbare und allgemein anerkannte Methoden zur Bewertung der einzelnen Bodenfunktionen zurückgegriffen. Es sollten dabei vorrangig besonders schutzwürdige Böden herausgefiltert werden, die vor einer weiteren Degradation und Zerstörung bewahrt werden sollen. Bewusst wurde jedoch davon abgesehen, eine Gesamtbewertung der verschiedenen Bodenfunktionen vorzunehmen, da es auf diesem Arbeitsgebiet lediglich erste Bewertungsansätze gibt. Eine künftige methodische Arbeit zu diesem Thema sollte eingeplant werden. Auch mit detaillierteren Maßstabsbereichen sollte man sich künftig schwerpunktmäßig befassen. Für flurstücksgenaue Fragestellungen bieten sich demnach insbesondere die Bodenschätzungsdaten an. Auf Grundlage der dort vorhandenen Daten können mit prinzipiell vergleichbaren bodenkundlichen Auswertungsmethoden ähnliche thematische Ergebniskarten wie in diesem Bericht erstellt werden (vgl. Kapitel 3).

Zunächst wird in Kapitel 2 eine kurze Einführung in die Bodenkunde gegeben, die es auch dem interessierten Laien ermöglicht, in die nachfolgenden, eher an Fachleute adressierten Aussagen zu den Böden, einzusteigen. Kapitel 3 enthält eine kurze Übersicht über die Datengrundlagen, die das LGB RP zur Bewertung und Darstellung der Bodenfunktionen derzeit (sowie zukünftig) zur Verfügung stellen kann. Das folgende zentrale Kapitel dieser Arbeit behandelt die verschiedenen Bodenfunktionen analog zum BBodSchG. Nach einer kurzen Einführung werden jeweils in einem abgesetzten Textblock die betreffende Fragestellung, Kriterien, Parameter, Datengrundlage sowie die angewandte dokumentierte Methode angeführt. Auf Grundlage der so erarbeiteten thematischen Karten erfolgt u.a. auch eine räumliche Beschreibung der jeweiligen Bodenfunktionen.

Grundsätzlich ist jede Inanspruchnahme von Boden sorgsam zu prüfen und zu minimieren. Deshalb sind im Abschlusskapitel des Berichtes auch allgemeine Hinweise für ein bodenge-rechtes Handeln und den sich daraus ergebenden Handlungsalternativen aufgezeigt.

2 Nur wer den Boden kennt, kann ihn nachhaltig schützen

2.1 Was ist Boden?

Boden ist ein sehr vielseitiger und sehr komplexer Hauptbestandteil der landschaftlichen Ökosysteme mit funktional überragender Bedeutung. Er ist Regulator vielfältiger Umwelteinflüsse und spielt eine wichtige Rolle bei der Umsetzung, Speicherung und dem Transport von Stoff- und Energieflüssen (vgl. Abbildung 1).

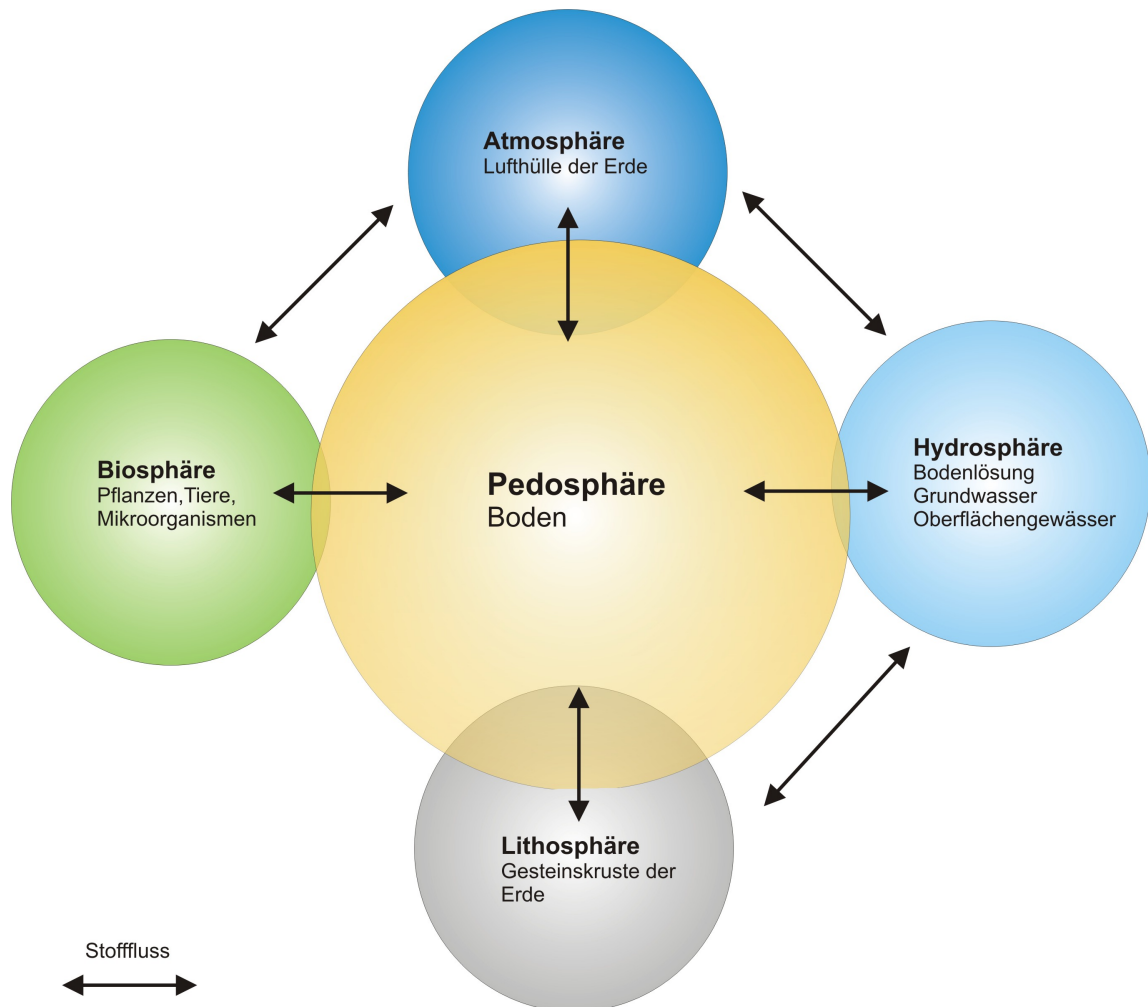


Abbildung 1: Der Boden als Hauptbestandteil des Naturhaushaltes

Die traditionelle Bodenkunde definiert den Boden als obersten, verwitterten und belebten Bereich der festen Erdkruste. Er besteht aus:

- Gesteinsstücken,
- Mineralen,
- zersetzten und unzersetzten organischen Stoffen (z.B. Humus),
- Bodenwasser der Hohlräume,
- Bodenluft der Hohlräume sowie
- Bodenorganismen (SCHEFFER 2002).

In Abbildung 2 werden anschaulich die für den Naturhaushalt so wichtigen natürlichen Bodenfunktionen aufgeführt. Boden dient den Pflanzen, den Tieren und somit auch dem Menschen als Lebensgrundlage (Lebensraumfunktion). In einer Hand voll gesunden Bodens sind mehr Lebewesen zu finden als Menschen auf der Erde leben. Ohne diese meist unsichtbaren Helfer (Bakterien, Pilze, Springschwänze, Nematoden, Tausendfüßer, Regenwürmer etc.) wäre kein Leben auf der Erde möglich. Alle menschlichen Aktivitäten sind untrennbar mit dem Medium Boden verbunden, so dass im Bundesbodenschutzgesetz zusätzlich zu diesen natürlichen Bodenfunktionen auch die verschiedenen Nutzungsfunktionen (als Rohstofflagerstätte, Fläche für Siedlung und Verkehr, Standort für landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Nutzung sowie für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzung, Verkehr, Ver- und Entsorgung) definiert sind.

Darüber hinaus dient Boden als ein Ausgleichskörper im Stoff- und Wasserkreislauf. Er reguliert den Wasserspeicher, die Abflussverzögerung und die Grundwasserneubildung (Regelfunktionen). Schadstoffe, die in den Boden gelangen, können von ihm dort festgehalten, gespeichert und zum Teil auch abgebaut werden (Filter- und Pufferfunktionen). Die Schadstoffe gelangen dadurch nicht in die Bio-, Hydro- oder Atmosphäre (vgl. Abbildung 1).

Als wichtiges Dokument unserer Natur- und Kulturgeschichte erfüllt der Boden eine bedeutende Funktion für Archäologie und Klimaforschung (Archivfunktionen). So zeigt beispielsweise das Titelbild einen fossilen Ferrallit (Roterde). Unter einer typischen mitteleuropäischen Braunerde ist meist nur noch der Unterboden (Bu-Horizont; vgl. Abbildung 2) dieser sehr alten Bodenbildung erhalten geblieben. Er belegt in einigen wenigen Regionen von Rheinland-Pfalz noch heute ein längst vergangenes tropisches tertiäres Klima.

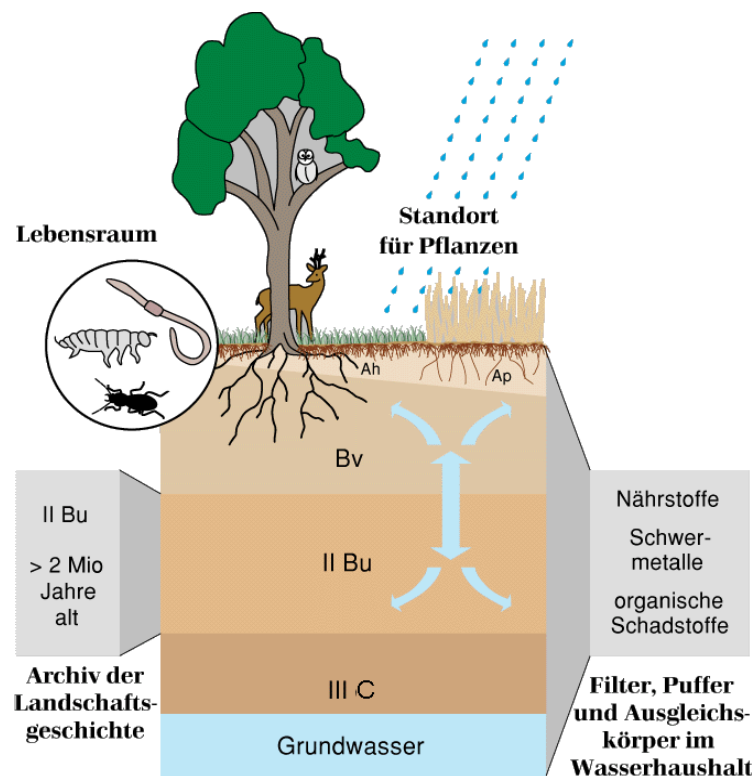


Abbildung 2: Schematische Darstellung von Bodenfunktionen (Quelle: HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE 2001, S. 33)

2.2 Warum Boden schützen?

Die Böden unserer Natur- und Kulturlandschaft kommen in einer großen Vielfalt vor. Diese Vielfalt gilt es zu bewahren. Böden sollen auch auf Grund ihres eigenen Wertes geschützt werden, aber vor allem wegen ihrer Schlüsselfunktion im Naturhaushalt. Der Boden schafft eine zentrale Lebensgrundlage. Er ist demzufolge eines der kostbarsten Güter.

Die belebte oberste Erdschicht entwickelt sich langsam (Dauer: mehrere Jahrtausende, teils sogar Jahrtausenden). Boden ist demzufolge als Ressource nur begrenzt verfügbar und nicht künstlich vermehrbar. Eine Wiederherstellung wichtiger Bodenfunktionen (z.B. durch Rekultivierung oder Bodenreinigung, vgl. Kapitel 5) ist mit einem erheblichen Kosten- und Arbeitsaufwand verbunden und in der Regel unvollkommen. Intakte Böden sind mit ihren vielfältigen Eigenschaften gerade in industrialisierten Ländern eine unentbehrliche Grundlage für gesundes Leben und eine umweltverträgliche Entwicklung. Veränderungen von Bodenfunktionen durch schädliche, stoffliche und nichtstoffliche Bodenveränderungen (vgl. Tabelle 1) können fast unmerklich über längere Zeiträume hinweg erfolgen. Sie haben verschiedene, oft nicht mehr rückgängig zu machende Auswirkungen auf die komplexen Wechselwirkungen des Bodens mit anderen Ökosystem-Kompartimenten (vgl. Abbildung 1).

Tabelle 1: Nichtstoffliche und stoffliche Gefährdung von Bodenfunktionen (nach PLANUNGSGRUPPE ÖKOLOGIE UND UMWELT 2003, verändert)

Gefahr schädlicher stofflicher Bodenveränderungen durch:	Gefahr schädlicher nichtstofflicher Bodenveränderungen durch:
➤ Veränderung des Stoffhaushaltes Ein- und Austrag von Schad- und Nährstoffen im Boden (z.B. Dünger, Klärschlamm, Verwertung von mineralischen Abfällen etc.)	➤ Erosion potenzielle & aktuelle Erosionsempfindlichkeit ➤ Verschlämmung potenzielle & aktuelle Verschlämmungsneigung ➤ Verdichtung potenzielle & aktuelle Verdichtungsempfindlichkeit
➤ Ab- und Aufträge von Bodenmaterial (§ 12 BBodSchV)	

Böden sind generell sparsam und problemangepasst zu nutzen. Vor allem den besonders wertvollen Böden gilt ein nachhaltiger Schutz vor Degradation und unsachgemäßer Nutzung.

Bodenschutz, und hier vor allem der vorsorgende Bodenschutz, ist in Planungs- und Genehmigungsverfahren eine ökologische Herausforderung. Es ist Aufgabe der Planung, die Bodenfunktionen, auch bei konkurrierenden Nutzungsansprüchen, angemessen zu berücksichtigen und dadurch einen Beitrag für einen nachhaltigen Bodenschutz zu leisten. Vor allem fachliche Informationen (z.B. die Bodenbewertung) tragen dazu bei, schädliche Bodenveränderungen in Zukunft auf ein noch vertretbares Maß zu vermindern oder zu vermeiden.

2.3 Warum werden Böden häufig nicht beachtet?

Boden steht im Mittelpunkt der Wasser- und Energiekreisläufe (vgl. Abbildung 1), aber nicht im Mittelpunkt des gesellschaftlichen Interesses. Die Gründe hierfür sind sehr vielseitig (z.B. seine für den Menschen fremden Raum- und Zeitdimensionen, seine langen und kompliziert vernetzten Wirkungsketten etc.).

Die Kenntnis über die Vielfalt und die Bedeutung der Böden ist bisher in der Öffentlichkeit wenig verbreitet. Dies ist im Vergleich mit den Schutzgütern Luft und Gewässerschutz offensichtlich. Neben Fachleuten aus dem geowissenschaftlichen Umfeld beschäftigen sich vor allem Personen aus der Landwirtschaft, dem Forst und Gartenbau mit dem Medium Boden (THOENES 2003).

Das war in der Vergangenheit (z.B. Hungerkatastrophen im 30-jährigen Krieg) anders. Heute ist die Ehrfurcht vor dem für das menschliche Überleben so wichtigen Umweltmedium verloren gegangen. Diese „Bodenvergessenheit“ führt zu schädlichen und irreversiblen Bodenveränderungen sowie zu ausufernden Nutzungsfunktionen des Bodens.

Die Bemühungen der Bodenwissenschaften, zahlreicher Verbände und Institutionen in den letzten Jahren (z.B. das Internetportal www.bodenwelten.de, das Bodenmuseum in Osnabrück und der Reiseführer zu den Böden Deutschlands), schärfen die Wahrnehmung für das so wichtige Umweltmedium Boden (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN 2001).

Eine Entwicklung hin zum nachhaltigen, vorsorgenden Bodenschutz muss eine ständige und stetige grundsätzliche Aufgabe der Bodenschutzpolitik sein. Ansonsten drohen die bereits erreichten und wichtigen gesetzlichen Bestimmungen zum Bodenschutz auf Bundes- und Landesebene ins Leere zu laufen (THOENES 2003).

3 Wesentliche Datengrundlagen zur Bewertung und Darstellung von Bodenfunktionen

Das Landesamt für Geologie und Bergbau (LGB RP) bündelt schon seit langem landesweite bodenschutzrelevante Informationen (Bodenkartierung, Bodenanalytik, Nutzung von Fremd-daten). Daraus entstand das „Fachinformationssystem Boden“ (FISBO). Dieses enthält bodenkundliche Grunddaten und standardisierte Auswertungsmethoden in einer in Zusammenarbeit mit dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) entwickelten Datenbank, dem Bodenformenarchiv (BoFA). Die ständig aktualisierten Daten bilden eine Basis für die derzeitige Anwendung und Entwicklung weiterer Bodenbewertungsmethoden.

Einen Überblick über den derzeitigen Stand des FISBO zeigt Abbildung 3. Die inhomogene Informationsdichte der Bodendaten ist durch unterschiedliche Kartierungsaufträge und Kartenwerke (BK 25, BK 50, BÜK 200) in der Vergangenheit bedingt. Mit neuen Verfahren der Bodenkartierung soll die Datendichte im Norden des Landes an die Qualität des südlichen Landesteils angeglichen werden, so dass bis voraussichtlich Ende 2006 eine homogene BK 50 (vgl. Tabelle 2) bereitgestellt werden kann.

Insbesondere im Bereich der Planung in Parzellenschärfe (vgl. Tabelle 2) ist derzeit eine Bodenbewertung nicht ohne zusätzliche bodenkundliche Erhebungen vor Ort möglich. Weinbergsboden- und Bodenschätzungskarten von Rheinland-Pfalz können durch weitere neu entwickelte Bewertungsmethoden in Zukunft für parzellenscharfe Planungen herangezogen werden. Weiterhin werden in Kooperation mit der Landesforstverwaltung seit 2002 Bodenprofile unter forstwirtschaftlicher Nutzung beschrieben und beprobt. Eine Digitalisierung der forstlichen Standortkarten im Maßstab 1: 10.000 ist geplant. Somit liegen in Zukunft für ca. 60 % der Landesfläche (ausgenommen Privatwald, Siedlungs- und Verkehrsflächen) großmaßstäbige Datenbestände vor. Der aktuelle Stand der Arbeiten ist auf der Homepage des LGB (Link: <http://www.lgb-rlp.de>) unter der Abteilung 3 Boden/Wasser einsehbar.

Tabelle 2: Benötigte Datenbestände in verschiedenen Planungsebenen

Datenbestand des FISBO	Nutzung für folgende Planungs- und Zulassungsverfahren
Bodenübersichtskarten im Maßstab 1: 500.000 (BÜK 500)	Landesweite Übersicht (z.B. Landschaftsprogramm, Landesentwicklungsplan)
Bodenübersichtskarten im Maßstab 1: 200.000 (BÜK 200)	Landesweite Übersicht (z.B. Landschaftsprogramm, Landesentwicklungsplan)
Bodenkarten im Maßstab 1: 50.000 (BK 50)	Planung und Auswertung auf Regional- und Kreisebene (z.B. Landschaftsrahmenplan, Regionalplan)
Bodenkarten im Maßstab 1: 25.000 (BK 25)	Planung und Auswertung auf Regional- und Kreisebene (z.B. Landschaftsplan, Flächennutzungsplan)
Bodenkarten im Maßstab 1: 5.000 und größer	Planung in Parzellenschärfe (z.B. Grünordnungsplan, Bebauungsplan)

Bei den auskartierten und abgegrenzten Flächen handelt es sich um Bodenformengesellschaften (BFG), die in der Regel durch mehrere nutzungsbezogene Bodenformen (BF) beschrieben werden. Eine Bodenform ist durch die Koppelung der bodensystematischen und

der substratsystematischen Einheit gekennzeichnet. Sie beschreibt somit das Substrat und dessen pedogenetischen Entwicklungszustand. Zur näheren Kennzeichnung einer Bodenformengesellschaft werden das Verbreitungsmuster und der Flächenanteil der einzelnen Bodenformen in einer BFG angegeben.

Die Datenhaltung erfolgt in zwei Systemen. Die räumlichen Daten werden als Geometrien mit der GIS-Software ArcInfo/ArcView vorgehalten und bearbeitet. Die Sachdaten zu den einzelnen Bodenformen, also Profil-, Horizont- und Schichtdaten, werden in der Access-Datenbank BoFA (Bodenformenarchiv) verwaltet. Das Methodenmodul dieser Datenbank erlaubt die systematische Auswertung der Daten nach bodenkundlichen Regelwerken. Über definierte Schlüsselfelder können Geometrie- und Sachdaten miteinander verknüpft werden.

Die methodische Auswertung der Bodendaten und die Erzeugung der einzelnen Themenkarten erfolgt auf der Ebene der Bodenformengesellschaft. Hierbei werden in einem ersten Schritt die Kennwerte nach den entsprechenden Verknüpfungsregeln und Rechenvorschriften für die Horizonte, Schichten und Bodenformen ermittelt. Die Zuweisung eines Kennwertes zu einer Bodenformengesellschaft erfolgt über die Leitbodenform (= die Bodenform mit dem größten Flächenanteil in der BFG), d.h. die BFG erhält den entsprechenden Wert der Leitbodenform.

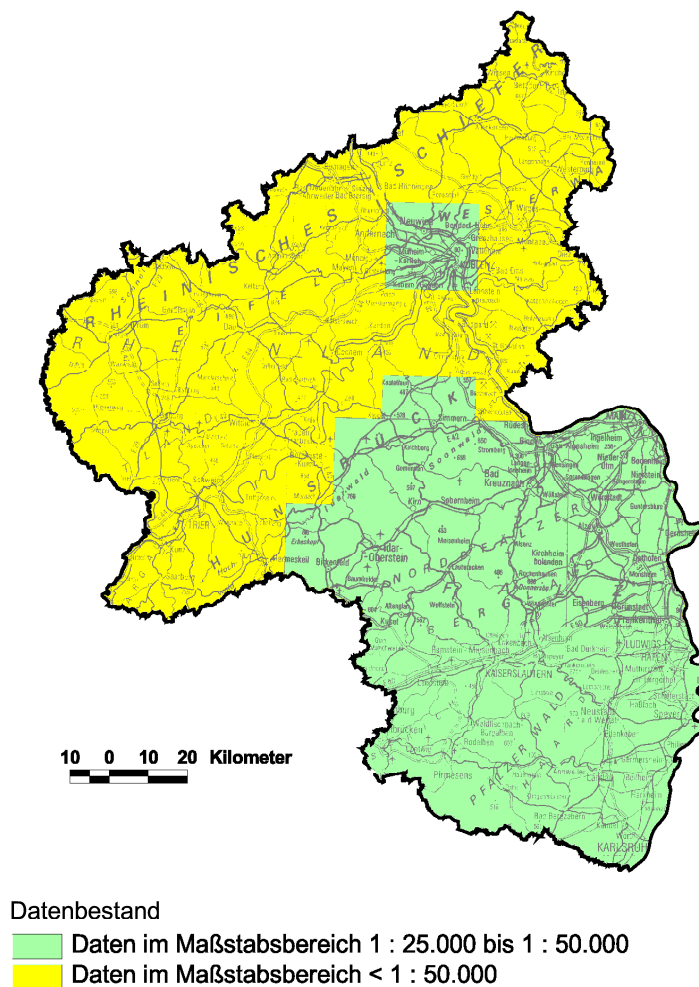


Abbildung 3: Bodenkundliche Flächendaten im „Fachinformationssystem Boden“ (FISBO), Stand: September 2004

4 Verfahren zur Bewertung von Bodenfunktionen

Mit den vertieften Erkenntnissen aus der Forschung der letzten Jahrzehnte über die Bedeutung von Böden für die Ökosysteme entstand die Notwendigkeit, Böden über ihre offensichtlichen Nutzungsfunktionen als Rohstofflagerstätte, als Siedlungs- und Erholungsfläche oder als Standort für eine land- bzw. wirtschaftliche Nutzung hinaus zu erfassen und zu bewerten. Das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) definiert in § 2 Abs. 2 die Bodenfunktionen wie folgt:

„(2) Der Boden erfüllt im Sinne dieses Gesetzes

1. natürliche Funktionen als
 - a) Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,
 - b) Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,
 - c) Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers,
2. Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte sowie
3. Nutzungsfunktionen als
 - a) Rohstofflagerstätte,
 - b) Fläche für Siedlung und Erholung,
 - c) Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung,
 - d) Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung.“ (BBodSchG 1998)

Ziel des Bundes-Bodenschutzgesetzes ist die Verminderung der Leistungsbeeinträchtigung des Bodens in Bezug auf seine Funktionen durch menschliches Einwirken (BBodSchG 1998).

Zur Umsetzung des Bodenschutzrechts werden mit der hier vorliegenden Broschüre die natürlichen Funktionen des Bodens, seine Funktionen als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung sowie seine Archivfunktionen möglichst genau erfasst, definiert und bewertet.

Das Wirkungsgefüge des Bodens stellt ein noch nicht vollständig erforschtes komplex vernetztes System dar. Jedoch führt die Beschreibung und Bewertung dieses Systems durch einige wenige leicht messbare Parameter und deren Verknüpfung nach allgemein festgelegten Regeln letztendlich zur Aufstellung bodenschutzrelevanter Faktoren in der Planung (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003, BUNDESVERBAND BODEN 2001). Dabei wird vom LGB auf leicht handhabbare (digitale) Verfahren (bodenkundliche Methoden) zurückgegriffen. Sie beruhen weitgehend auf flächendeckend vorhandenem, schnell und günstig zu beschaffendem digitalem Datenmaterial. In der Anwendung haben sich die im BoFA

implementierten Methoden und ergänzenden Informationen bewährt (PLANUNGSGRUPPE ÖKOLOGIE UND UMWELT 2003).

Eine zentrale Bedeutung in der Bewertung von Bodenpotenzialen hat der Grad der Schutzwürdigkeit bzw. Schutzbedürftigkeit. Dieser leitet sich aus dem Grad der Funktionserfüllung ab. Gängig ist eine in Tabelle 3 aufgeführte fünfstufige Bewertung, wie sie in den meisten Bundesländern zur Anwendung kommt (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE UND NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 2003, LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT 1998, UMWELTBEHÖRDE HAMBURG 2000, UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 1995, LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG 2003, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003). Mit hohen Wertstufen ausgewiesene Böden sind im Sinne der Bodenschutz-Gesetzgebung vorrangig zu schützen. Mittels einer räumlich bewerteten Darstellung kann somit eine Berücksichtigung des Schutzgutes Boden in der Planung erfolgen. Je nach naturräumlichem Zusammenhang und Bodenqualitätsziel kann gleichwohl eine Modifizierung der Wertestufen vorgenommen werden (UMWELTBEHÖRDE HAMBURG 2000).

Tabelle 3: *Fünfstufiges Schema für die Bodenbewertung* (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE UND NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 2003)

Bewertungskriterium	Bewertungsklasse	Schutzwürdigkeit/ Schutzbedürftigkeit
	5 (von sehr hoher, besonderer Bedeutung)	sehr hoch
	4 (von hoher Bedeutung)	hoch
	3 (von allgemeiner Bedeutung)	mittel
	2 (von geringer Bedeutung)	gering
	1 (keine Bedeutung)	sehr gering

Die im BBodSchG genannten Bodenfunktionen werden entsprechend der in Tabelle 4 aufgeführten Teilfunktionen bewertet.

Tabelle 4: *Bewertete Bodenfunktionen*

Bodenfunktionen sowie deren Beeinträchtigung		Bewertete Bodenteilfunktion
Nutzungs- funktionen	Standort für landwirtschaftliche Nutzung (Kapitel 4.1)	Natürliches Ertragspotenzial landwirtschaftlich genutzter Böden
	Lebensraumfunktion für Mensch, Tier, Pflanze und Bodenorganismen (Kapitel 4.2)	Standortpotenzial für die Entwicklung von Biotopen extrem nasser und extrem trockener Böden
Natürliche Funktionen	Regelfunktion im Wasser- und Stoffhaushalt (Kapitel 4.3)	Wasserrückhaltevermögen des Bodens (Kapitel 4.3.1) grund-, hang- und stauwasserbeeinflusste Böden (Kapitel 4.3.2)
	Filter- und Puffervermögen (Kapitel 4.4)	Rückhaltevermögen und Auswaschungsgefährdung für leicht wasserlösliche Stoffe (Kapitel 4.4.1) Retentionsvermögen der Böden für Schwermetalle (Kapitel 4.4.2) Puffervermögen für Säuren (Kapitel 4.4.3)
	Archiv der Natur- und Kulturgeschichte (Kapitel 4.5)	Böden als Archiv der Naturgeschichte (Kapitel 4.5.1), z.B. reliktsche und fossile Böden, bedeutsame Schichtfolgen seltene Böden (Kapitel 4.5.3), z.B. reliktsche und fossile Böden Böden als Archiv der Kulturgeschichte (Kapitel 4.5.2), z.B. bestimmte Bewirtschaftungsformen der Kulturgeschichte
Nichtstoffliche Gefährdung von Bodenfunktionen (Kapitel 4.6)		Erosionsgefährdung durch Wasser

Um den Grad der Schutzwürdigkeit bzw. Schutzbedürftigkeit zu erfassen, wird auf einfache, möglichst eindeutige und leicht handhabbare Kriterien zur Bewertung der (Teil-)Funktionen zurückgegriffen. Die Bewertungskriterien werden in den folgenden Kapiteln detailliert beschrieben. Zusätzlich zu den Bodenfunktionen nach BBodSchG wurden die Böden hinsichtlich ihrer potenziellen Erosionsgefährdung bewertet.

4.1 Standort für die landwirtschaftliche Nutzung

Ein Hilfskriterium zur Bewertung der landwirtschaftlichen Nutzfunktion ist das im Folgenden detailliert beschriebene natürliche Ertragspotenzial landwirtschaftlich genutzter Böden. Dieses spiegelt die Eignung der Böden für die landwirtschaftliche Produktion von Biomasse, unabhängig von Form und Intensität der Bewirtschaftung, wieder (HAASE 1978).

Die Erzeugung von Nahrungsmitteln ist seit jeher eine Grundlage des Fortbestehens unserer Gesellschaft. In Zeiten unsicherer Ernten war der natürliche Produktionsfaktor Boden als Nutzfunktion sehr angesehen. Diese Bedeutung tritt in unserer heutigen Gesellschaft in den Hintergrund. Unter hohem Einsatz von Energie, Maschinen sowie Dünge- und Pflanzenschutzmitteln (= intensive Bewirtschaftung) können auch auf Standorten geringen natürlichen Ertragspotenzials noch hohe Erträge erzielt werden. Vor allem auf diesen oftmals ökologisch sensiblen Standorten kann die intensive Bewirtschaftung Probleme, wie Nitratauswaschung und Rückgang der Artenvielfalt, aufwerfen. Böden mit einem hohen natürlichen Ertragspotenzial können zu einer nachhaltig gesicherten, zukunftsfähigen Produktion unserer Lebensmittel beitragen (HARRACH & SAUER 2002). Diese bieten sich vorrangig für eine landwirtschaftliche Produktion an.

Fragestellung: Wie gut ist der Boden aufgrund seiner natürlichen Ausstattung zur Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte geeignet?

Kriterium: Landwirtschaftliche natürliche Ertragsfähigkeit der Böden.

Leitgedanke: Besonders schützenswert sind Böden mit hoher natürlicher Ertragsfähigkeit.

Parameter: Bodenart, Anteil an organischer Substanz, Horizontmächtigkeit, Trockenrohdichte oder effektive Lagerungsdichte, Torfart, Zersetzungsstufe, Substanzvolumen, Grobbodenanteil, die Untergrenze des durchwurzelbaren Bodenraumes, Grundnässestufen und Bodennutzung (Acker, Grünland, Wald).

Datengrundlage: Flächendatenbank des LGB, Bodenkartierung nach KA 3 und KA 4 sowie Erfassungsstandard des LGB, landesweite Auswertung des natürlichen Ertragspotenzials mittels Methode der BoFA-Datenbank (Methoden-ID 41).

Methodendokumentation: HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE in Vorbereitung, HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2001) UND VORDERBRÜGGE (1997).

Die Eignung eines Standortes für die Produktion von landwirtschaftlichen Erzeugnissen wird durch verschiedene Faktoren, wie Boden, Klima, aber auch Art und Intensität der Bewirtschaftung bzw. Bewirtschaftungserschwerung bestimmt (VORDERBRÜGGE 1997). Um einen Boden in Bezug auf sein natürliches Ertragspotenzial unter angenommenen gleichen Klimabedingungen zu beschreiben, benötigt man eine Abschätzung der Fähigkeit des Bodens, Wasser in pflanzenverfügbarer Form zu speichern. Bodenwasser nimmt eine Schlüsselstellung im Agrarökosystem ein, da es beispielsweise als Transportmedium für Nährstoffe dient. Die Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzen ist jedoch auch an die mögliche Durchwurzelungstiefe gebunden. Das natürliche Ertragspotenzial ist umso größer, je höher die nutzbare Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraumes (nFK_{dB}) ist (vgl. Kapitel 4.3.1). Ein Boden mit einer sehr hohen nFK_{dB} verfügt gleichzeitig über einen ausgeglichenen Luft- und Wasserhaushalt.

Eine weitere in das Bewertungsverfahren eingehende Größe ist der potenzielle Grundwassereinfluss. Böden, bei denen hoch anstehendes Grundwasser längerfristig für reduzierende Verhältnisse infolge des ständigen Luftmangels sorgt, werden als sehr stark bis äußerst grundnasse Standorte ausgegrenzt (Tabelle 5). Luftmangel hemmt das Wurzelwachstum. Abbau und Umsetzung von organischer Substanz sowie die Anreicherung von Nährstoffen werden infolge eines reduzierenden Milieus erheblich verringert. Somit wird die natürliche Leistungsfähigkeit des Bodens in Bezug auf die potenzielle natürliche Ertragshöhe verringert. In der Methode führt sie zu einem Abschlag der Einstufung des natürlichen Ertragspotenzials nach Tabelle 6.

Tabelle 5: *Einstufung des potenziellen Grundwassereinflusses* (HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE in Vorbereitung)

Tiefenlage des Gr-Horizontes [dm]	Grundnässestufe	Grundwassereinflussstufe	Bezeichnung des Grundwassereinflusses
> 13	G0 - G2	0	kein Grundwassereinfluss
13 bis > 6	G3 - G4	1	mittlerer bis starker Grundwassereinfluss
≤ 6	G5 - G6	2	sehr starker bis äußerst starker Grundwassereinfluss

Dies ist zum Beispiel im Bereich der Nassogleye, Anmoorgleye oder gar Moorgleye in Talauen mit geringem Grundwasserflurabstand sowie in Mooregebieten der Fall.

Pflanzen, deren Wurzelraum hingegen nur gelegentlich oder selten von Grundwasser beeinflusst wird (G4 bis G3, vgl. Tabelle 5), profitieren von einem kapillaren Aufstieg des Grundwassers. Dies gilt insbesondere für die Gley-Gesellschaften auf den Niederrheinterrassen des Vorderpfälzer Tieflands. Hier erfolgt meist ein Zuschlag in Bezug auf die Einstufung des natürlichen Ertragspotenzials nach Tabelle 6.

Tabelle 6: *Einstufung des natürlichen Ertragspotenzials von Böden nach Tabelle 3 am Beispiel der Nutzung unter Acker (nach HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE in Vorbereitung, verändert)*

nFK-Stufen	nFK _{dB} [mm]	Tiefenlage des Gr-Horizontes		
		> 13 dm	13 bis > 6 dm	≤ 6 dm
sehr gering (1)	≤ 50	1	2	1
gering (2)	> 50 - 90	2	2 bis 3	1
mittel (3)	> 90 - 140	3	3	2
hoch (4)	> 140 - 200	4	4 bis 5	2
sehr hoch (5)	> 200	5	5	2

Die digitale Aufbereitung der parzellenscharf und flächendeckend für die landwirtschaftliche Nutzfläche vorliegenden Bodenschätzungsdaten für Rheinland-Pfalz ermöglicht in Zukunft die Ermittlung des natürlichen Ertragspotenzials für großmaßstäbige Auswertungen (vgl. Kapitel 3).

Kartenbeschreibung

Die Karte „Natürliches Ertragspotenzial der Böden in Rheinland-Pfalz“ (vgl. Karte 1 im Anhang) gibt den landesweit überschaubaren räumlichen Kontext der natürlichen potenziellen Ertragsfähigkeit der Böden wieder. Standorte unter Wald werden demzufolge wie landwirtschaftliche Nutzflächen bewertet. In der Karte „Natürliches Ertragspotenzial landwirtschaftlich genutzter Böden“ (vgl. Karte 2) werden hingegen nur die landwirtschaftlich genutzten Flächen gemäß den Objektklassen des amtlichen topografischen-kartografischen Informationssystems (ATKIS) ausgegliedert.

Größere zusammenhängende Bereiche der Böden mit sehr hohem natürlichen Ertragspotenzial finden sich vor allem in den Senken- und Beckenlandschaften des Mittelgebirgsraumes und dem Oberrheinischen Tiefland wieder. Sehr gute Standorte für anspruchsvolle Kulturpflanzen sind beispielsweise im Nördlichen Oberrheintiefland, im Mittelrheinischen Becken, in Teilen der Wittlicher Senke, des Gutlands, des Unteren Mittelrheingebiets, des Limburger Beckens, der Kaiserslauterer Senke und in den randlichen Gebieten der Saar-Nahe Senke verbreitet. Dort weisen die Böden höhere Lössanteile auf. Die Zunahme des Lössanteils hängt mit günstigeren Bedingungen für die Lössanwehung, Sedimentation und Lösserhaltung infolge eines kontinentaleren Klimas zusammen. In feuchteren höheren Lagen war die Zufuhr von Lössstaub geringer, aber auch die Möglichkeit einer Verlagerung (Verspülung, Solifluktion) ungleich höher. Auf den Lössflächen in den Beckenlagen von Rheinland-Pfalz sind demzufolge meist tiefgründige Parabraunerde-Gesellschaften mit einer sehr guten Standortqualität anzutreffen.

Im klimatisch deutlich begünstigten nördlichen Oberrheingraben sind darüber hinaus sehr tiefgründige (Kalk-) Tschernoseme (Synonyme: Rheintal-Tschernoseme, Steppenböden, Schwarzerden) und deren Degradationsformen mit einem hohen Gehalt an organischer Sub-

stanz und sehr guter Wasser- und Nährstoffversorgung inselartig verbreitet. Diese Böden besitzen die größten Ertragsfähigkeiten in Rheinland-Pfalz mit Bodenzahlen² über 90.

Die Lösssedimentation dürfte an der Wende des Spätwürms infolge der sich ausbreitenden Vegetation abgeschlossen gewesen sein. Aus den Sedimenten konnten sich hauptsächlich im Boreal und Präboreal die typischen Steppenböden des nördlichen Oberrheingrabs ausbilden. Nach ZAKOSEK (1962) kam es zur Bildung der Kalk-Tschernoseme durch Klimumschwünge (Subboreal) und den Einfluss des Menschen (seit dem Neolithikum). Dies begünstigte die sekundäre Carbonatanreicherung infolge eines kapillaren Kalklösungsaufstiegs (Bildung von Kalkausblühungen oder Pseudomycelien). Es entstanden die heute nur noch selten zu findenden ungestörten Profile der Kalk-Tschernoseme. Nördlich der Alpen gibt es nach ZAKOSEK (1991) diese Böden ausschließlich noch im nördlichen Oberrheingraben und den trockensten Teilen seiner nordöstlichen Verlängerung (Wetterau).

In den Bereichen der großen Auen trifft man hauptsächlich tiefgründige braune Böden aus Hochflutlehm (Vegen) an. Weiter sind vor allem die infolge des Ackerbaus entstandenen und z. T. recht tiefgründigen Kolluvien durch ein hohes bis sehr hohes natürliches Ertragspotenzial gekennzeichnet.

Böden mit bzw. aus eingemischten vulkanischen Lockersedimenten (trachytischer Bims- und Aschentuff) sowie Lösslehm sind im Rheinischen Schiefergebirge und den daran angrenzenden Mittelgebirgen in Hochlagen von Taunus und Rhön weit verbreitet. Sie wurden ausgehend vom Laacher-See-Vulkanismus (vor ca. 13.000 Jahren im Mittelallerröd) gebildet. Diese so genannten Lockerbraunerden erhielten ihren Namen aufgrund ihres lockeren porösen Gefüges (AG BODEN 1996). Ihr B-Horizont besitzt eine leuchtende (orange-) braune Farbe und eine hohe Strukturstabilität verbunden mit einer geringen Dichte (AG BODEN 1996). In der Regel sind es stark bis sehr stark saure, tief humose Böden (pH-Wert < 4,8), wobei eine Podsolierungstendenz aufgrund der für Vulkanböden typischen gut aufweitbaren Tonminerale (Allophane) fehlt. Diese Böden zeichnen sich somit durch eine sehr gute Wasser- und Luftdurchlässigkeit aus. Sie können je nach Mächtigkeit des vulkanischen Ausgangsmaterials, von den Pflanzen tiefgründig durchwurzelt werden und weisen aufgrund ihres höheren Mittelporenanteils eine sehr hohe nutzbare Feldkapazität auf. In der Karte 1 werden sie somit als Böden mit sehr hohem natürlichem Ertragspotenzial ausgegliedert. Lockerbraunerden werden heute ausschließlich unter Wald angetroffen (STÖHR 1963, SCHÖNHALS 1960).

Im Mittelrheinischen Becken sind große Teile der Braunerden aus Bimslapilli, Britz-Bims-Gemischen und Trass nach dem zweiten Weltkrieg infolge eines Abbaus der Laacher-See-Tephra verloren gegangen. In jüngster Zeit wurden diese Flächen rekultiviert (Kultsol-Entstehung) und erneut ackerbaulich (z.B. Obstanbau) genutzt. Auch diese Böden weisen trotz ihrer Umlagerung und geringen Mächtigkeiten (Regosole aus lösslehmführenden, bims-tephrareichen Kipplehmen) meist hohe natürliche Ertragspotenziale auf.

Böden mit einem hohen natürlichen Ertragspotenzial sind vor einer anthropogenen Flächeninanspruchnahme durch Siedlung bzw. Verkehr und schädlichen Bodenveränderungen durch Erosion, Verdichtung, Verschlammung und Schadstoffeinträgen zu schützen. Da sich diese

² Die Bodenzahl für einen bestimmten Boden ist aus dem amtlichen Bodenschätzungsrahmen abzulesen. Die besten Böden haben die Zahl 100. Böden mit einer Zahl um 20 sind Grenzertragsstandorte.

Flächen aufgrund der Siedlungsgeschichte oft in der Nähe von Ballungsgebieten befinden, kommt hier Trägern und Vorhabensführern von Planungs- und Zulassungsverfahren eine entscheidende Rolle für deren Erhalt zu (HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE 2001).

Flächen mit geringem bis sehr geringem landwirtschaftlichen natürlichen Ertragspotenzial werden häufig durch forstwirtschaftliche Nutzung geprägt. Ursache für ein geringes natürliches Ertragspotenzial ist die Nährstoffarmut, die häufig mit einer schlechten Wasserspeicherfähigkeit einhergeht. In den Bereichen des Buntsandstein (z.B. im Pfälzer Wald und in Teilen des Gutlands), aber auch des Rotliegend (Wittlicher Senke, Saar-Nahe-Bergland) bilden sich vorwiegend diese sauren Böden aus.

In den Hochlagen des Hunsrücks entwickelten sich beispielsweise aus Quarziten und Grauwacken (z.B. Hoch-, Idar- und Soonwald) meist saure flachgründige Böden (Podsole, Ranker und saure Braunerden) mit einem extrem geringen natürlichen Ertragspotenzial.

Die geringmächtigen Rendzinen auf den Hochflächen des Saarländischen Muschelkalkgebiets (Zweibrücker-Westrich) sind Trockenstandorte (vgl. Kapitel 4.2). Auch im Gutland findet man flachgründige Rendzinen über Kalkstein und Mergel größtenteils unter Trockenrasen vor. Diese Böden sind ebenfalls durch ein sehr geringes landwirtschaftliches natürliches Ertragspotenzial gekennzeichnet.

Die Entwicklung der Kulturlandschaft, beispielsweise durch den Einfluss wenig schonender Waldwirtschaftsformen (Pflanzungen von rasch wachsenden Nadelhölzern auf eher Laubholz-/ Buche-Standorten, historische Waldweide- und Streunutzung im Pfälzer Wald), beschleunigt eine Bodenentwicklung mit Tendenzen zur Erosion und Versauerung. Böden mit geringem Ertragspotenzial erweisen sich zudem meist als problematisch im Hinblick auf Schadstoffeinträge. Diese Flächen eignen sich deshalb vorrangig für eine Flächenstilllegung oder eine extensive Landbewirtschaftung und dienen so der Grundwasserneubildung (z.B. Pfälzer Wald).

4.2 Boden als Lebensgrundlage und Lebensraum

Grundsätzlich hat jeder Boden für Pflanzen, Tiere und uns Menschen eine unverzichtbare natürliche Funktion als Lebensraum. Boden ist darüber hinaus unmittelbar Lebensraum für Bodenlebewesen und Mikroorganismen. So leben in einer Hand voll Boden weit mehr Bodenorganismen als es Menschen auf der Erde gibt. Er ist außerdem Ausgangs- und Endpunkt der meisten Aktivitäten des Menschen (PLANUNGSGRUPPE ÖKOLOGIE UND UMWELT 2003). Ein Hilfskriterium zur Bewertung der Lebensraumfunktion ist die im Folgenden detailliert beschriebene Standorttypisierung für die Biotopentwicklung extrem nasser und extrem trockener Böden.

In den letzten Jahrhunderten entstand durch die Landbewirtschaftung unsere heutige Kulturlandschaft. Besonders die natürliche Vegetation von Extremstandorten wurde beispielsweise infolge von Grundwasserabsenkungen oder Moorkultivierungen durch besser an die neue Kulturlandschaft angepasste Lebensgemeinschaften aus Pflanzen und Tieren verdrängt. Naturschutz bedeutet deshalb heute die Bewahrung der Tier- und Pflanzenwelt mit ihren bedrohten Lebensräumen in Biotopen. Geschützte Biotope sind definiert nach § 30 des BNatSchG (2002). Der Boden beeinflusst neben geomorphologischen und klimatischen Bedingungen Pflanzengesellschaften hinsichtlich ihrer Ausprägung, Entwicklung und Regeneration. Seine besondere bzw. extreme Ausprägung beruht auf dominanten Bodeneigenschaften (z.B. Wasser-, Luft-, Nährstoff- und Basenhaushalt). Böden mit besonderen Standorteigenschaften für die Vegetation sind selten und stellen somit Standorte für gefährdete Pflanzengesellschaften dar.

Vor allem bedingt durch einen extremen Wasser- oder Nährstoffhaushalt, entwickeln sich beispielsweise naturnahe Uferstreifen, Quellbereiche, Moore, seggen- und binsenreiche Nasswiesen, Trockenrasen, Zwergstrauchheiden und Borstgrasrasen (vgl. Tabelle 7). Abgeschätzt werden soll deshalb, bei welchen bodenkundlichen Standorttypen besonders gefährdete Biotope vorkommen, sich entwickeln oder regenerieren können (BUNDESVERBAND BODEN 2001).

Fragestellung: Welche besonderen Eigenschaften bietet der Boden für die Entwicklung von Biotopen extrem nasser und extrem trockener Standorte?

Kriterium: Bodenkundliche Standorttypen und -gruppen.

Leitgedanke: Besonders schützenswert sind Standorte mit besonderen Eigenschaften für die Vegetation.

Parameter: Bodenart, Anteil an organischer Substanz, Horizontmächtigkeit, Trockenrohdichte oder effektive Lagerungsdichte, Torfart, Zersetzungsstufe, Substanzvolumen, Grobbodenanteil, die Untergrenze des durchwurzelbaren Bodenraumes, Carbonatgehalt, Grund- & Stauwassernäsestufen und Einflüsse der Überflutungsdynamik.

Datengrundlage: Flächendatenbank des LGB, Bodenkartierung nach KA 3 und KA 4 sowie Erfassungsstandard des LGB, landesweite Auswertung der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung mittels Methode der BoFA-Datenbank (Methoden-ID 18).

Methodendokumentation: HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE in Vorbereitung, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2003).

Unterschieden werden zunächst die Feuchtstandorte bezüglich ihrer Art des Wasserangebotes und der jahresperiodischen Verläufe. Als Gruppen werden extrem wasserbeeinflusste Standorte mit Moorbildung, Standorte mit potenzieller rezenter Auendynamik sowie grund- und stauwasserbeeinflusste Standorte unterschieden (vgl. Tabelle 7). Eine Differenzierung der Trockenstandorte erfolgt durch die Betrachtung des physiologischen Wasserdargebotes auf Grundlage der nutzbaren Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraumes (vgl. Tabelle 7). Der Carbonatgehalt dient als grober Kennwert des natürlichen Nährstoffgehaltes und des pH-Wertes. Seine Existenz bedingt einen mehr oder weniger konstanten pH-Wert im alkalischen Bereich (SCHEFFER 2002).

Diese Extremstandorte, mit ihren oftmals spezialisierten seltenen Lebensgemeinschaften, wurden erfasst (Ist-Zustand) und als besonders hochwertig eingestuft (vgl. Tabelle 7). Menschliche Eingriffe in den Naturhaushalt, wie Meliorationsmaßnahmen, Nährstoff- und Schadstoffeinträge auf Magerstandorten (Beispiel: Enzian- und Orchideenstandorte) sowie Ablagerungen von Bodenmaterial können diese Standortbedingungen (HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE in Vorbereitung) erheblich verändern.

Die digitale Auswertung der Bodenschätzung wird in Zukunft für die landwirtschaftlichen Nutzflächen eine sehr viel genauere Identifikation von Böden mit einem hohen Standortpotenzial für die Biotopentwicklung (z.B. Böden mit einer sehr geringen Wasserspeicherfähigkeit und Moorböden) ermöglichen (vgl. Kapitel 3).

Tabelle 7: Zuordnung von Böden zu Standorttypen oder -gruppen sowie deren Bewertung (HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE in Vorbereitung)

Kriterium	Einstufung	Ausweisung nach Regel	Beispiele	Bewertungsklassen (vgl. Tabelle 3)
extrem wasser- beeinflusste Standorte	Niedermoortorf Hochmoortorf	typologisch nach Nieder-, Hochmoor	Hochmoor, Übergangsmoor, Niedermoor, ...	5
Standorte mit zentraler Auendynamik	Böden im potenziellen Überflutungs- bereich der Auen	typologisch nach Auenböden sowie alle Subtypen mit Auendynamik	Vega, Tschernitza, Kalkpaternia, Rambla, ...	5
	Böden im potenziellen Überflutungs- bereich der Auen mit Grundwassereinfluss	alle Subtypen mit Auendynamik und G4 bis G6	Auengley, Vega-Gley, Gley-Vega, Gley- Auenpararendzina, ...	
grundwasser- beeinflusste Standorte	grundwasser- beeinflusste Böden außerhalb der Auen	Grundnässestufe G4 bis G6	Gley, Anmoorgley, Nass- gley, Quellgley, ...	5
staunässe- beeinflusste Standorte	hang- und staunäs- sebeeinflusste Bö- den	Staunässestufe (bzw. Hangnässestufe) S4 bis S6 (bzw. H4 bis H6)	Stagnogley, Pseudogley	4
extrem trockene Standorte	extrem trockene Felshumusböden ($nFK_{dB} < 35$ mm)	mit gutem natürlichem Basenhaushalt	Felshumusboden, Syrosem, gering- mächtige Rendzina, Regosol und Ranker	5
	extrem trockene Felshumusböden ($nFK_{dB} < 35$ mm)	mit schlechtem bis mittlerem natürlichem Basenhaushalt		
trockene Standorte	physiologisch sehr trockene Böden (nFK_{dB} 35-60 mm)	mit gutem natürlichem Basenhaushalt	Ranker, Mullrendzina, Rendzina, Pelosol, ...	4
	physiologisch sehr trockene Böden (nFK_{dB} 35-60 mm)	mit schlechtem bis mittlerem natürlichem Basenhaushalt		

Kartenbeschreibung

In den meist sehr kleinräumig verbreiteten (im Grundwasser-Schwankungsbereich liegenden) Gebieten der Flusstäler wurden Standorte mit rezenter Auedynamik ausgegliedert. Auenböden sind in der Regel sehr fruchtbare Böden (vgl. Kapitel 4.1) mit einem relativ hohen Humusgehalt. In den Überschwemmungsbereichen kommt es andererseits oft zu Ernteaussfällen und Strukturschäden. Somit können diese Böden nur bedingt landwirtschaftlich genutzt werden. Als Böden mit extremem Wasserangebot (und hoher potenzieller Fruchtbarkeit) können sie stattdessen sehr schützenswerte Extrembiotope darstellen (SCHRAPS & SCHREY 1997). Ein Großteil der Überschwemmungsaue wird daher von Wald eingenommen (Auwald). Durch die geschichtlichen Veränderungen der hydrologischen Gegebenheiten in Rheinland-Pfalz (z.B. Wassergewinnung, Flächeninanspruchnahme und -versiegelung, Dammbau) ist die rezente Verbreitung von Auenböden stark rückläufig. Auenböden sind heute selten und extrem schützwürdig. Bei Hochwasser können sich mit Schadstoffen belastete Sedimente ablagern (BAUER et al. 1996).

Vergesellschaftet sind die Auenböden häufig mit Gleyen z.B. Anmoor- und Nassgleyen (grundnässebeeinflusste Böden). Diese Böden sind in Rheinland-Pfalz in schmälere Tälern und Niederungen verbreitet. Ihre Entwicklungspotenziale als wertvolle Feuchtgebiete (Röhrichtbestände, seggen- und binsenreiche Nasswiesen, Uferzonen und Übergänge von Nieder- zu Übergangsmooren bis zu vereinzelt Hochmoorzellen) sind als sehr hoch einzustufen. Feuchte und nasse Standorte findet man beispielsweise in den grundwassernahen Talgründen des Pfälzer Waldes vor. Sie wurden früher als Grünland genutzt („Schemelwiesen“) und liegen heute in der Regel brach (VEREIN NATURPARK PFÄLZERWALD 2002).

Moor-Gesellschaften wurden in Karte 5 in die Kategorie „extrem grundnässebeeinflusste Böden“ zusammengefasst. Natürliche Moore sind aus rein bodenkundlicher Sicht Böden mit mehr als 30 Masse-% organischer Substanz und einer Mächtigkeit der Torflagerstätten von mindestens 30 cm (AG BODEN 1996). Besonders Kohlenstoff- (z.B. CO₂ aus der Atmosphäre) und Stickstoffverbindungen werden durch die Torfbildung den entsprechenden Kreisläufen entzogen und langfristig festgelegt.

Moore nehmen in Rheinland-Pfalz lediglich eine Fläche von ca. 0,1 % ein. Das größte zusammenhängende Mooregebiet des Landes befindet sich in der Kaiserslauterer Senke (Landstuhler Bruch). Seit dem Ende der letzten Eiszeit vor 11.000 Jahren hatte sich eine bis zu fünf Meter mächtige Torfdecke in der größtenteils abflusslosen Senke gebildet. Das Übergangsmoor ist heute bis auf kleine Reste verschwunden. Der Torf war einst ein begehrter Brennstoff, der nach der Entwässerung gewonnen werden konnte.

Die Grenze zwischen hang- und staunassen Böden wird konventionell nach der Hangneigung bestimmt. Über stauenden Schichten haben sich vorwiegend Pseudogleye ausgebildet. Böden mit starker Stau- und Hangwasservernässung finden sich meist auf Löss-Fließerden, wie in Teilen des Westerwalds, der Eifel und des Hunsrücks. Bei hang- und staunässebeeinflussten Standorten sind Nass-, Feucht- und Trockenphasen zu unterscheiden. Häufig existiert ein schroffer Wechsel der extrem unterschiedlichen Bodenklimata im Jahresverlauf. Stagnogleye besitzen im Vergleich zu den Pseudogleyen besonders lange Nassphasen. Man trifft diese Böden vereinzelt in den Mulden höherer Mittelgebirgslagen an.

Aus dem Rheintal wurde im Jungpleistozän Flugsand ausgeweht und abgesetzt. Aus Flugsanden gebildete Dünen, Flugsandflächen und Sandheiden (beispielsweise zwischen Mainz

und Ingelheim, sowie in der Nähe von Speyer) sind heute in Rheinland-Pfalz noch vereinzelt erhalten. Ein Beispiel ist das Naturschutzgebiet „Mainzer Sand“. Da die Sandböden nur geringe Mengen an Wasser und Nährstoffen halten können, finden sich in diesen Trockengebieten Relikte bemerkenswerter Steppenvegetation, die vor 8.000 bis 12.000 Jahren Mitteleuropa besiedelte.

In Rheinland-Pfalz sind 433 Pflanzenarten den Trocken- und Magerrasen zuzuordnen, das macht 27 % der Flora des Landes aus. Von diesen Pflanzen sind 36 % im Bestand gefährdet (BIELFELD 1984). Extrem trockene Standorte findet man hingegen nur selten (vgl. Hochflächen des Zweibrücker-Westrich). Die Fläche dieser Standorte nimmt ca. 0,5 % der Landesfläche ein. Eine überregionale Bedeutung besitzen die steilen „Felsengärten“ und Trockenrasen des Nahetales und des angrenzenden Unteren Mittelrheintales mit den dort existierenden xerothermen Lebensgemeinschaften (Pflanzen wie in den Trockensteppen Südosteuropas und dem Mittelmeerraum). Trockene Magerstandorte mit flachgründigen, größtenteils sauren Böden sind vor allem im Saar-Nahe-Bergland, entlang der Höhenrücken des Hunsrücks und im nordwestlichen Haardtgebirge verbreitet.

4.3 Regelfunktion des Bodens als Bestandteil des Naturhaushaltes

Als Wasserhaushalt wird das Zusammenwirken von Niederschlag, Verdunstung, Abfluss und Wasserspeicheränderung in einem Gebiet bezeichnet. Auf den Boden bezogen versteht man darunter die zeitliche Veränderung des Wassergehaltes im Boden. Dieser Gehalt ist durch die Infiltration, Speicherung und verzögerte Abgabe von Wasser an die Vegetation, den Vorfluter oder das Grundwasser bedingt (vgl. Abbildung 4, BLUME 1990).

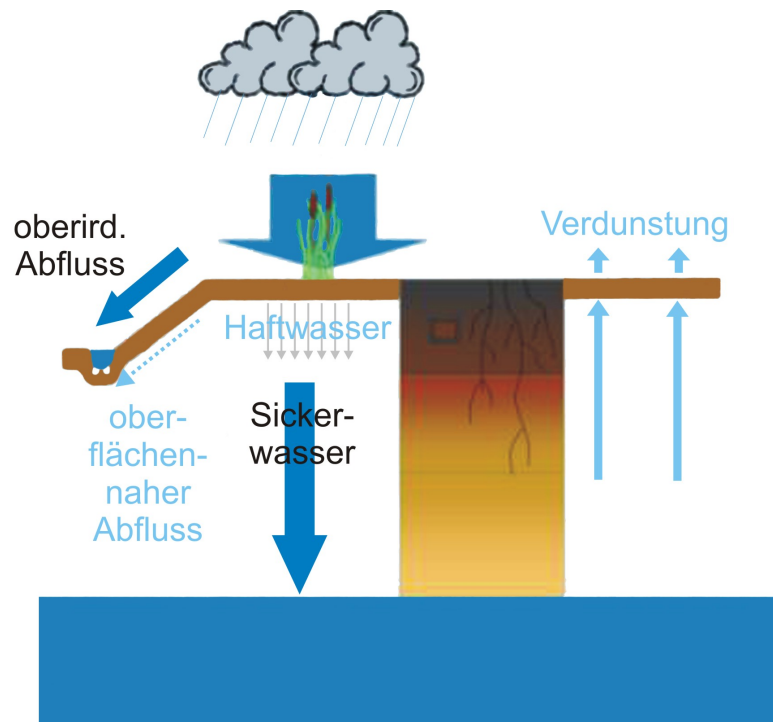


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Wasserrückhaltevermögens der Böden
(Quelle: [HTTP://WWW.BAYERN.DE/WWA-BT/BODEN/NEU_BODEN/WASSER-RUECKHALTE_1_3.HTM](http://www.bayern.de/wwa-bt/boden/neu_boden/wasser-rueckhalte_1_3.htm))

Der Bodenwasserhaushalt ist eines der ökologischen Hauptmerkmale für die Ableitung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes. In Rheinland-Pfalz werden Größen, die den Wasserhaushalt beschreiben, für verschiedene Anwendungen, wie z.B. die Trink- und Brauchwassergewinnung oder die Planung von Maßnahmen zum Hochwasserschutz, genutzt (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN 1997, LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ 2001a, 2001b & 1998). Das Bodenwasser nimmt dabei nicht nur eine ausgleichende Funktion für den Wasserhaushalt, sondern auch in Bezug auf den Nährstoffkreislauf ein (BUNDESVERBAND BODEN 2001). Dem zufolge gibt das Wasserspeichervermögen einen bedeutenden Hinweis auf das Rückhaltevermögen wasserlöslicher Nähr- und Schadstoffe im Boden (vgl. Kapitel 4.4).

4.3.1 Wasserrückhaltevermögen der Böden

Ein wichtiger Kennwert für das Wasserrückhaltevermögen der Böden in der Landschaft ist die Feldkapazität (FK). Sie ist der Anteil des Wassers (Haftwasser und langsam dränendes Sickerwasser), der gegen die Schwerkraft zurückgehalten werden kann. Die Feldkapazität wird in mm/dm oder Vol.-% ausgedrückt (vgl. Tabelle 8).

Böden mit einer hohen Feldkapazität, vor allem Tonböden, besitzen einen hohen Anteil an sehr feinen Poren ($\varnothing < 2 \mu\text{m}$). Das in diesen Feinporen gebundene Wasser ist nicht pflanzenverfügbar, da es hohen Bindungskräften unterliegt. Man bezeichnet es deshalb als Totwasser (vgl. Tabelle 8). Mit abnehmendem Wassergehalt, z.B. durch Verdunstung, wird das Wasser in den Poren immer fester gehalten. Die Kräfte werden so groß, dass Kulturpflanzen das Wasser nicht mehr aufnehmen können. Sie welken irreversibel.

Die Differenz zwischen Feldkapazität und dem nicht pflanzenverfügbaren Wasser (Totwasser) wird als nutzbare Feldkapazität (nFK) bezeichnet (AG BODEN 1996). Die nFK ebenso wie die FK werden auf die Mächtigkeit des durchwurzelbaren Bodenraumes bezogen (nFK_{dB} & FK_{dB}).

Tabelle 8: Beispiele der nutzbaren Feldkapazität (nFK), des Totwasseranteils (TW) und der Feldkapazität (FK) in Abhängigkeit von der Bodenart

Bodenart ³ (nach AG BODEN 1996, verändert)	nFK		TW		FK	
	[Vol.-% ⁴]	[mm/ 10 dm ⁵]	[Vol.-%]	[mm/ 10 dm]	[Vol.-%]	[mm/ 10 dm]
Sand (Ss)	9	90	6	60	15	150
Schluff (Uu)	25	250	9	90	34	340
schluffiger Lehm (Lu)	19	190	17	170	36	360
Ton (Tt)	15	150	39	390	54	540

³ Böden ohne Skelettgehalt, mit einer mittleren Trockenrohdichte (1,45 - 1,65 g/cm³), geringen Humusgehalten und ohne Grundwassereinfluss.

⁴ Vol.-% = Volumenprozent Bodenwasser = mm je dm Bodentiefe = l/m² je dm durchwurzelbaren Bodenraumes.

⁵ bei einer Bodentiefe von 1 m.

Die Ermittlung des durchwurzelbaren Bodenraumes erfolgt nach den bei VORDERBRÜGGE (1997) genannten Kriterien (Tabelle 9).

Tabelle 9: Ermittlung der Begrenzung des durchwurzelbaren Bodenraumes (VORDERBRÜGGE 1997)

Limitierende Faktoren	Grenze des Wurzelraumes	Merkmale zur Ermittlung des Grenzhorizontes
physiologisch	Wurzelraum endet in grundwasserbeeinflussten Böden an der Grenze zum Gr-, Yr- & Hr-Horizont (reduzierendes Milieu).	Horizont besitzt reduzierende Merkmale infolge eines ständigen Luftmangels und ist (grund-) wasser- (Gr & Hr) oder gasgefüllt (Yr). Im Hr-Horizont sind Torfart und Zersetzungsgrad noch ansprechbar.
mechanisch und physiologisch	Wurzelraum endet in stauwasserbeeinflussten Böden an der Grenze zum Sd-Horizont (wasserstauender Horizont).	Horizont mit Hydromorphie-merkmalen, mit einer hohen effektiven Lagerungsdichte und einer geringen Wasserleitfähigkeit. Er ist zeitweise oder ständig luftarm.
	Wurzelraum endet an der Grenze zum C-Horizont aus Festgestein oder seinen Zersetzungsschichten mit > 75 Vol.-% Grobbodenanteil.	Wurzelraum endet bereits an der Grenze zum Fest- bzw. Zersetzgestein. In diesem Bereich findet man nur noch einen geringen Anteil an durchwurzelbaren Spalten, Klüften und Rissen vor.
mechanisch	Lagerungsdichte im Grenzhorizont von > 2 g/cm ³ bzw. eine Trockenrohdichte im Grenzhorizont von > 1,85 g/cm ³ .	Extrem verfestigte oder stark verdichtete Horizonte werden nicht oder nur schwach durchwurzelt.
	Starker Substratwechsel von grob zu fein oder mineralisch zu organisch.	Wurzelraum endet an der Grenze zum gröberen bzw. organischen Material.

Diese Informationen lassen sich unabhängig von der jeweils angetroffenen Vegetationsdecke gewinnen. Einige Kulturen, wie Gerste oder Zuckerrübe, reagieren jedoch empfindlicher auf die limitierenden Faktoren. Somit wird auch die Nutzung in das Bewertungsverfahren einbezogen. Eine Bestimmung der (nutzbaren) Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraumes (nFK_{dB} bzw. FK_{dB}) erfolgt durch eine anteilige Addition.

Die (nutzbare) Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraumes stellt neben der vom Boden getragenen Vegetation die wesentliche Einflussgröße für das Feuchteangebot im grundwasserfernen Naturhaushalt dar. Sie ist somit die Basis vieler weiterer Verfahren zur Bewertung von Bodenfunktionen.

Tabelle 10: Die (nutzbare) Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraumes als Bestandteil des Naturhaushaltes (nach SAUER & HARRACH 2002, verändert)

	Hohes bis sehr hohes Wasserrückhaltevermögen	Geringes bis sehr geringes Wasserrückhaltevermögen
Natürliches Ertragspotenzial (Kapitel 4.1)	hoch	gering
Standortpotenzial für die Entwicklung von Biotopen (Kapitel 4.2)	gering	hoch
Austragsgefährdung leicht wasserlöslicher Stoffe (Kapitel 4.4.1)	gering	hoch
Rückhaltevermögen leicht wasserlöslicher Stoffe (Kapitel 4.4.1)	hoch	gering
Sickerwassermenge (Kapitel 4.4.1)	gering	hoch

Beispielsweise wurden in vielen Untersuchungen auf landwirtschaftlich genutzten Grenzertragsstandorten geringe Nitratrückhaltevermögen verzeichnet (FREDE & DABBERT 2000). Diese ökologisch sehr sensiblen Standorte mit einer geringen bis sehr geringen nFK_{dB} sind für den Natur- und Gewässerschutz bedeutsam (vgl. Tabelle 10, SAUER & HARRACH 2002).

Fragestellung: Wie hoch ist die Wassermenge, die der grundwasserferne Boden (pflanzenverfügbar) in einer natürlichen Lagerung gegen die Schwerkraft zurückhalten kann?

Kriterium: (Nutzbare) Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraumes.

Leitgedanke: Wo befinden sich Böden mit hohem (nutzbaren) Wasserrückhaltevermögen und wie kann man dieses Vermögen maximal ausschöpfen?

Parameter: Bodenart, Gehalt an organischer Substanz, Horizontmächtigkeit, Trockenrohdichte oder effektive Lagerungsdichte, Torfart, Zersetzungsstufe, Substanzvolumen, Grobbodenanteil, durchwurzelbarer Bodenraum und Nutzung (Acker, Grünland, Wald).

Datengrundlage: Flächendatenbank des LGB, Bodenkartierung nach KA 3 bzw. KA 4 (AG BODEN 1982 bzw. 1996) sowie Erfassungsstandard des LGB, landesweite Auswertung mittels Methode der BoFA-Datenbank (nFK_{dB} : Methoden-ID 32 und FK_{dB} : Methoden-ID 89).

Methodendokumentation: AG BODEN 1996 (verändert), HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung), VORDERBRÜGGE (1997).

Eine landesweite Aussage über das gesamte bzw. pflanzenverfügbare Wasserspeichervermögen (FK_{dB} bzw. nFK_{dB}) der Böden in Rheinland-Pfalz kann mit den Daten aus dem Bodenformenarchiv (BoFA) des LGB und deren programminternen Methoden erstellt werden. Die Einstufung der nFK_{dB} (Karte 4) und der FK_{dB} erfolgt nach Tabelle 11. Je nach Fragestellung wird das gesamte Wasserrückhaltevermögen (FK_{dB}) bzw. das pflanzenverfügbare Wasser (nFK_{dB}) des durchwurzelbaren Bodenraumes benötigt.

Skelettgehalt, Humusanteil, Durchwurzelungstiefe und Dichte des Bodens sind weitere Faktoren, die in die Berechnung der (nutzbaren) Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraumes integriert werden. Beispielsweise kann Humus ein Vielfaches seines Eigengewichtes an Wasser aufnehmen und speichern.

Tabelle 11: *Einstufung der nutzbaren Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum (nach AG BODEN 1982, verändert)*

nFK_{dB} [mm]	FK_{dB} [mm]	Stufe	Beispiele
> 200	> 400	5 (sehr hoch)	Schwarzerden und Parabraunerden aus lehmigem und tonigem Schluff
> 140 - 200	> 300 - 400	4 (hoch)	Braunerden, Parabraunerden und Außenböden aus sandigem Lehm, Kolluvien aus lehmigem und tonigem Schluff, Niedermoores aus stark zersetztem Torf
> 90 - 140	> 200 - 300	3 (mittel)	Braunerden aus schwach lehmigem Sand
> 50 - 90	> 100 - 200	2 (gering)	Podsole und Braunerden aus feinsandigem Mittelsand
≤ 50	≤ 100	1 (sehr gering)	Regosole aus Kies und Grobsand, Mullrendzinen aus Dolomitsand

Das Wasserrückhaltevermögen (vgl. Karte 4) ist eine der wichtigsten Grundlagen der in Tabelle 10 aufgeführten Methoden. Eine Kartenbeschreibung erfolgt in den genannten Kapiteln.

Bereits verschlammte und/oder versiegelte Flächen sollten, wo möglich, mit dem Ziel der Wiederherstellung des natürlichen Wasserrückhaltevermögens, saniert oder entsiegelt werden. Verstärkte Oberflächenabflüsse infolge einer geringen Infiltrationsrate führen ansonsten generell zu einer verstärkten Hochwassergefährdung, Erosion und Eutrophierung von Gewässern.

4.3.2 Grund-, hang- und stauwasserbeeinflusste Böden

Grundnasse Böden sowie stau- und hangnässebeeinflusste Böden werden nach Tabelle 12 ermittelt.

Tabelle 12: Ausweisung von grund-, hang- und stauwasserbeeinflussten Böden

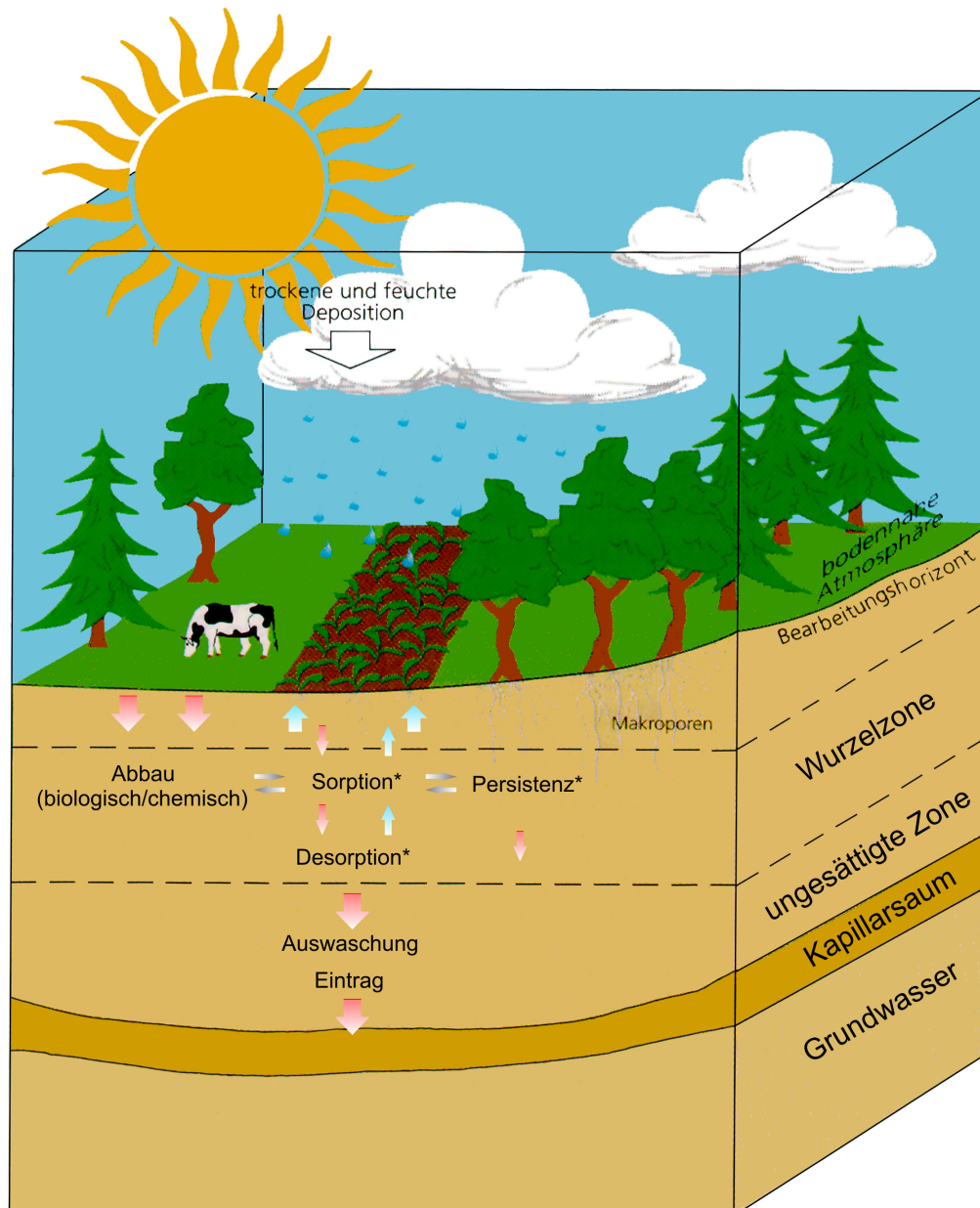
Sonderstandorte	Einstufung	Ausweisung nach Regel	Beispiele
grundnasse Böden	Moore	typologisch nach Nieder- und Hochmoor	Hoch-, Übergangs-, Erdnieder-, Niedermoor,...
	Auenböden	typologisch nach Auenböden sowie alle Subtypen mit Auendynamik	Vega, Tschernitza, Rambla, Kalkpaternia,...
	grundwasserbeeinflusste Böden außerhalb der Auen	G4 - G6	Anmoorgley, Gley, Nassgley, Quellgley,...
stau- und hangnässebeeinflusste Böden	stau- und hangnässebeeinflusste Böden	S3 - S6 (bzw. H3 - H6)	Stagnogley, Pseudogley

Die Ableitung des Wassereinflusses ist eine Basismethode, die in den folgenden Methoden berücksichtigt wird:

- „Natürliches Ertragspotenzial landwirtschaftlich genutzter Böden“ (Kapitel 4.1),
- „Standortpotenzial für die Entwicklung von Biotopen extrem nasser und extrem trockener Böden“ (Kapitel 4.2),
- „Rückhaltevermögen für leicht wasserlösliche Stoffe“ (Kapitel 4.4.1) sowie
- „Auswaschungsgefährdung für leicht wasserlösliche Stoffe“ (Kapitel 4.4.1).

4.4 Filter- und Pufferfunktionen von Böden insbesondere zum Schutz des Grundwassers

Der Boden regelt wichtige Stoff- und Energiekreisläufe. Er übernimmt somit im Naturhaushalt elementare Reinigungs-, Filter- und Pufferfunktionen. Durch menschliche Aktivitäten eingebrachte Schadstoffe (z.B. Schwermetalle, SO_2 , NO_x , Staub, Nitrat, Klärschlamm, Pestizide) können im Boden ab- oder umgebaut, zurückgehalten oder festgelegt werden (vgl. Abbildung 5).



* Persistenz: Verweildauer

Sorption/Desorption: Fähigkeit des Bodens Stoffe aufzunehmen/abzugeben

Abbildung 5: Übersicht über das Verhalten von Schadstoffen in Böden (Quelle: nach NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 1997, S. 8, verändert)

Der Boden vermag Stoffe zu filtern oder zu adsorbieren (d. h. zu binden). Die Fähigkeit des Bodens, im Sickerwasser gelöste Schadstoffe physikalisch zu filtern, hängt von seiner Wasserspeicherefähigkeit und seinem Porensystem ab. Die Eigenschaft, Stoffe aus der Bodenlösung zu adsorbieren, wird insbesondere von den Oberflächeneigenschaften der Bodenteilchen bestimmt. Über ein besonders hohes Adsorptionsvermögen verfügen meist ton- und humusreiche Böden. Mit der Zeit können Schadstoffe im Boden auch zu unschädlichen Stoffen umgewandelt werden. Diese Umwandlungsvorgänge erfolgen durch chemische Reaktionen oder durch die Tätigkeit von Bakterien und anderen Mikroorganismen. Ihre Filter- und Pufferfunktion können Böden somit je nach Typ (Ton- und Humusgehalt, Porung, pH-Wert etc.) sehr unterschiedlich erfüllen. Diese Funktion kann -wie bei jedem Filter- überbeansprucht werden. Dadurch kann es plötzlich und innerhalb sehr kurzer Zeiträume zur Freisetzung von großen Mengen an Schadstoffen kommen. Ein im Hinblick auf Filter- und Adsorptionsvermögen intakter Boden übernimmt somit eine wichtige Schutzfunktion gegenüber dem Grundwasser.

4.4.1 Rückhaltevermögen und Auswaschungsgefährdung der Böden für leicht wasserlösliche Stoffe

Stoffe, die im Wasser leicht löslich sind, werden mit dem Sickerwasser transportiert und können aus dem durchwurzelbaren Bodenraum ausgetragen werden. Ein Beispiel für einen leicht löslichen Stoff ist das Nitrat, eine Stickstoffverbindung, die z.B. von der Landwirtschaft als Dünger ausgebracht und von der Pflanze als Nährstoff aus der Bodenlösung aufgenommen wird (vgl. Abbildung 6).

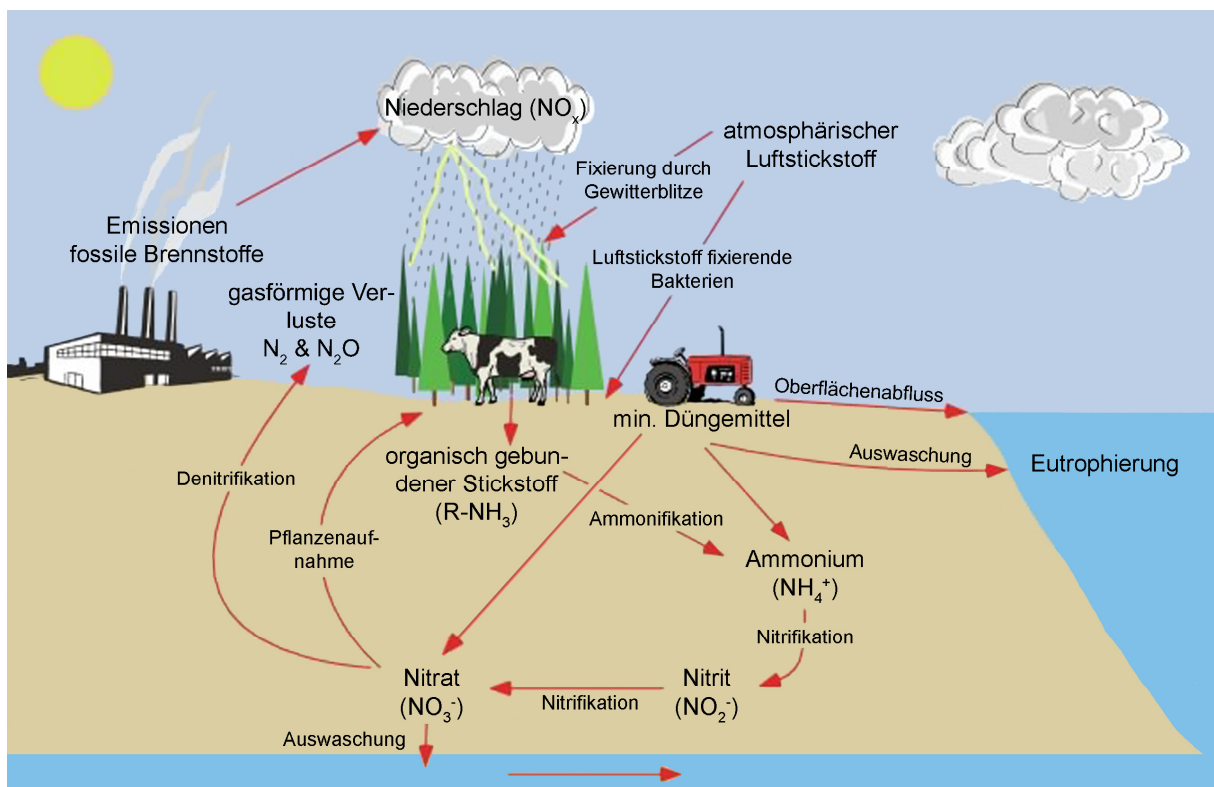


Abbildung 6: Der Stickstoffkreislauf

Hohe Nitratgehalte in unseren Nahrungsmitteln stellen ein gesundheitliches Risiko dar. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt daher, nicht mehr als 220 mg Nitrat täglich zu sich zu nehmen. Ein Liter Trinkwasser darf gesetzlich höchstens 50 mg Nitrat enthalten; höhere Konzentrationen können für Säuglinge bereits gefährlich sein.

Die überhöhte Düngung landwirtschaftlicher Flächen gehört heute zu großen Teilen der Vergangenheit an. Durch die Umsetzung der Erkenntnisse, die aus der Klärung des Stickstoffkreislaufs gewonnen wurden, durch die staatliche Beratung der Landwirte und das Konzept der „guten fachlichen Praxis“, welches mittlerweile auch in der Gesetzgebung verankert ist (§ 17 BBodSchG 1998), wurde die Düngung deutlich reduziert. Aufgrund der teilweise sehr langen Wege des Nitrats in das Grundwasser und der damit verbundenen zeitlichen Verzögerung kann eine Nitratbelastung des Grundwassers auch eine zurückliegende, nicht standortangepasste Bewirtschaftungsweise belegen.

Die höchsten Nitratkonzentrationen des oberflächennahen Grundwassers wurden in Rheinland-Pfalz in folgenden Gebieten gemessen:

- Rheinhessen,
- Unteres Nahetal,
- Vorhaardt,
- Hochflächen des Pfälzer Westrich,
- Saargau und Zentralteil des Bitburger Landes,
- Taleinschnitt der Mittelmosel,
- Maifeld-Pellener Hügelland (Mittelrheinisches Becken) sowie
- Neuwieder Becken.

In den genannten Gebieten wurden Konzentrationen von mehr als 50 mg/l NO_3^- (Grenzwert der Trinkwasserverordnung) und sogar Spitzenwerte von bis zu 300 mg/l erreicht (LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2001c).

Aber nicht nur die Art der Bodennutzung (z.B. intensiver Acker- und Sonderkulturanbau) und das geringe Rückhaltevermögen der Böden (vgl. Karte 4) können ausschlaggebende Faktoren für die beobachtete Nitratbelastung sein. Seit den 70er Jahren treten ausgefallen hohe Nitratbelastungen in den Höhenlagen der Mittelgebirge auf (LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2001c). Die Kronen der Waldbestände „kämmen“ die Stickstoffverbindungen aus der Atmosphäre. Besonders die immergrünen Nadelwälder leisten hier ganzjährig Filterarbeit (vgl. Abbildung 7 und Kapitel 4.4.2).

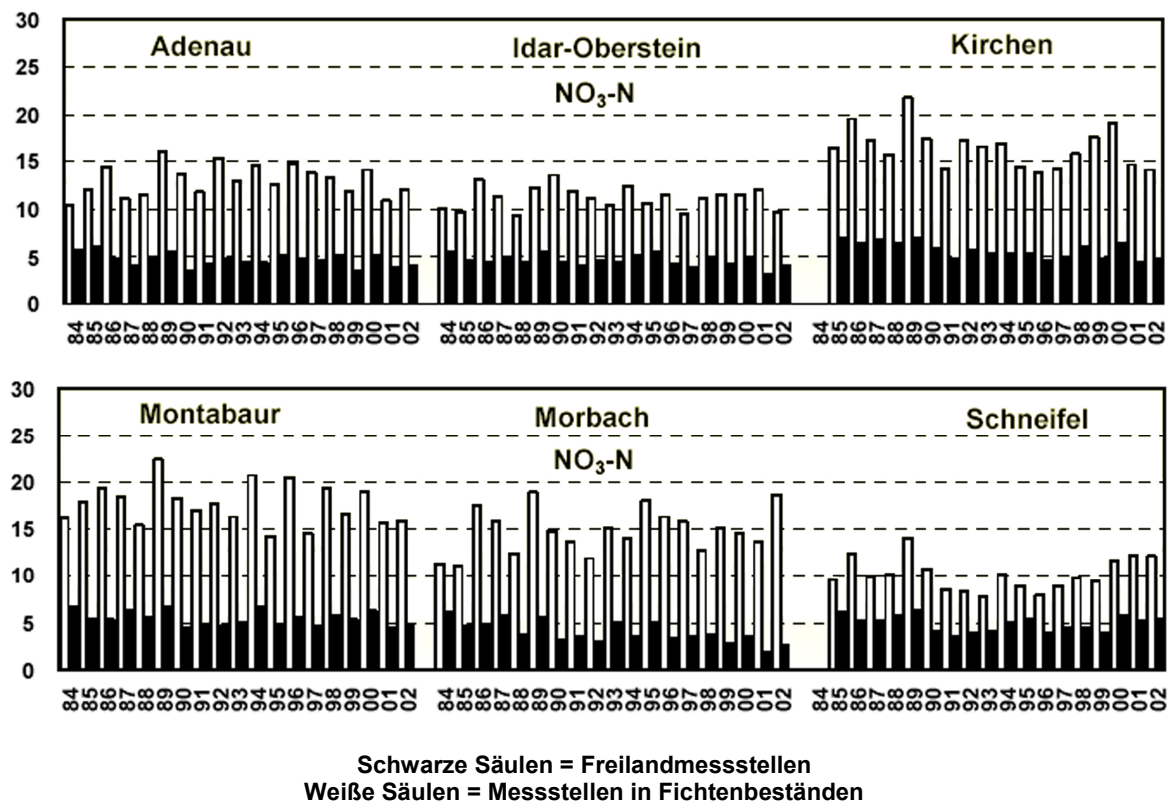


Abbildung 7: Nitratstickstoffeinträge (kg/ha im Jahr) an sechs Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen im Verlauf von 19 Messjahren (Quelle: MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN 2003, S. 15)

Als Hauptverursacher dieser Stickstoffimmissionen gelten heute vor allem die Ammoniakfreisetzung aus Landwirtschaft und Verkehr (Abbildung 10). Ist das Filter- und Puffervermögen des Waldbodens erschöpft („saurer Regen“) können die Nitrat-Konzentrationen in den Vorflutern bedrohlich ansteigen (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN 1997).

Fragestellung: a.) Wie hoch ist die Fähigkeit des Bodens, leicht wasserlösliche Stoffe (z.B. Nitrat) im durchwurzelbaren Bodenraum zurückzuhalten und damit einer Kontamination des Grundwassers entgegenzuwirken?

b.) Wie hoch ist das standörtliche Potenzial des Austrags leicht löslicher Stoffe in das Grundwasser unter Einbezug von Klimaparametern (Sickerwasserrate) zu beurteilen?

Kriterium: a.) Rückhaltevermögen wasserlöslicher Stoffe (z.B. Nitrat).

b.) Geschätzte Auswaschungshäufigkeit (AH) in % pro Jahr, abgeleitet aus der Sickerwasserrate [mm/a] und dem Wasserrückhaltevermögen des Bodens in der durchwurzelbaren Bodenzone [mm].

Leitgedanke: Besonders schutzbedürftig sind Böden mit einer hohen Auswaschungsgefährdung und somit a.) einem geringen Rückhaltevermögen und b.) einer hohen Austauschhäufigkeit.

Parameter: a.) Bodenart, Anteil an organischer Substanz, Horizontmächtigkeit, Trockenrohdichte oder effektive Lagerungsdichte, Torfart, Zersetzungsstufe, Substanzvolumen, Grobbodenanteil, die Untergrenze des durchwurzelbaren Bodenraumes, Grund- und Stauwasser-einfluss.

b.) Langjährig gemittelte aktuelle Verdunstung nach HAUDE (ETP_{Haude}) und Jahresniederschlag (N_V).

Datengrundlage: a.) Flächendatenbank des LGB, Bodenkartierung nach KA 3 und KA 4, sowie Erfassungsstandard des LGB, landesweite Auswertung des Nitratrückhaltevermögens mittels Methode der BoFA-Datenbank (Methoden-ID 19).

b.) Niederschlagskarte des DWD im 1 • 1 km Raster, sowie aktuelle Verdunstungsdaten des LUWG im 500 • 500 m Raster.

Methodendokumentation: a.) HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE in Vorbereitung b.) AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZGEBIETEN (1992).

Die Verweildauer des im Bodenwasser gelösten Nitrats ist nicht ausschließlich vom Wasserrückhaltevermögen des durchwurzelbaren Bodenraumes (FK_{dB}) abhängig (vgl. Kapitel 4.3.1). In stauwasserbeeinflussten Böden findet infolge des reduzierenden Milieus ein Nitratabbau und damit die Abgabe von Stickstoff an die Atmosphäre statt (vgl. Abbildung 6, Denitrifikation). Die längere Verweildauer des Stauwassers im Wurzelraum ermöglicht darüber hinaus den Pflanzen weiterhin die Aufnahme des gelösten Nitrats und beeinflusst daher das Nitratrückhaltevermögen positiv. Staunasse Böden erhalten somit einen Zuschlag in Bezug auf ihr Rückhaltevermögen nach Tabelle 13. Schwere Böden, die aufgrund ihres Tonreichtums rasch zu Trockenrissbildungen neigen (z.B. Pelosole, Terra fusca), besitzen nach Trockenperioden ein sehr geringes Rückhaltevermögen. Hier erfolgt eine geringere Einstufung nach Tabelle 13 (HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE IN VORBEREITUNG). Grundwassernahe Standorte (Grundwasserflurabstand < 9 dm) wurden grundsätzlich als sehr gering in Bezug auf ihr Rückhaltevermögen eingestuft.

In dieser ersten Methode werden jedoch keine Klimaparameter berücksichtigt. Die Aussage ist somit allein auf den Boden und nicht auf den Standort bezogen.

Tabelle 13: Einstufung des Nitratrückhaltevermögens (HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE IN VORBEREITUNG)

Bezeichnung der FK _{dB} - Klassen	FK _{dB} [mm]	Stauwassereinflussstufe (vgl. AG BODEN 1982)			Trocken- rissbildung
		ohne	schwach bis mittel	stark bis sehr stark	
sehr gering (1)	≤ 100	1	1 bis 2	2	1
mittel (2)	> 100 - 200	2	2 bis 3	3	1
gering (3)	200 - 300	3	3 bis 4	4	2
hoch (4)	300 - 400	4	4 bis 5	5	3
sehr hoch (5)	> 400	5	5	5	4

Entscheidender Faktor der Nitratproblematik ist sicherlich die Sickerwasserrate (SWR, DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU 1996, AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZGEBIETEN 1992). Die Sickerwasserrate aus dem Boden, gibt die mittlere jährliche Wassermenge (in mm/a) an, die den Bodenraum nach unten verlässt. Dabei spielen klimatische Faktoren wie Niederschlag und Verdunstung ebenso wie Faktoren des Bodenwasserhaushalts oder der Bodennutzung eine Rolle. Zur Bestimmung der Sickerwasserrate können neben genaueren, aber nicht landesweit durchführbaren Mess- und Simulationsverfahren, auch einfache Schätzverfahren eingesetzt werden. In diesem Beitrag erfolgte eine Ermittlung der SWR durch die „Klimatische Wasserbilanz“ (N_v - aktuelle ETP_{Haude}) nach der AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZGEBIETEN (1992) & DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (1996). Im Bezug auf die Verdunstung wurden dabei empirisch abgeleitete standortbezogene Eigenschaften (Vegetation, Relief, Boden) in die Berechnung der SWR eingebracht (AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZGEBIETEN 1992). Diese grobe Einschätzung der Sickerwasserrate gilt nur für ebene Bereiche.

Das Nitratverlagerungsrisiko des Bodens ergibt sich aus der Häufigkeit, mit der das Sickerwasser und somit der gelöste Stoff den durchwurzelbaren Bodenraum verlässt. Ist die Austauschhäufigkeit (AH) hoch, ist auch das Risiko einer Nitratverlagerung groß. Sie ist der Quotient aus der jährlichen Sickerwasserrate und der Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraumes. Die Austauschhäufigkeit wurde nach folgender Formel ermittelt:

$$AH [\%/a] = SWR [mm/a] / FK_{dB} [mm] * 100 [\%/a]$$

Je geringer das Wasserspeichervermögen (FK_{dB}) des Bodens und je größer der Strom des Sickerwassers ist, umso weniger Nitrat kann durch die Vegetation aufgenommen werden und versickert daher in das Grund- und Brauchwasser.

In Karte 7 wird der prozentuale Bodenlösungsaustausch innerhalb der durchwurzelten Zone während eines Jahres in klassifizierter Form (vgl. Tabelle 14) dargestellt.

Tabelle 14: Bewertung der Austauschhäufigkeit (Quelle: NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 1997)

AH [%/a]	Bewertung
< 70	sehr gering
70 - 100	gering
100 - 150	mittel
150 - 250	hoch
< 250	sehr hoch

Die Austauschhäufigkeit basiert hauptsächlich auf bodenkundlichen und klimatischen Eingangsgrößen. Aufgrund der hier fehlenden Eingangsparameter Bodennutzung, Deposition, Denitrifikation und Mineralisation können bezüglich des Wertes der Austauschhäufigkeit keine Aussagen über quantitative Nitratgehalte im Grundwasser gemacht werden (ECKL & RAISSI 1999, LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2001c).

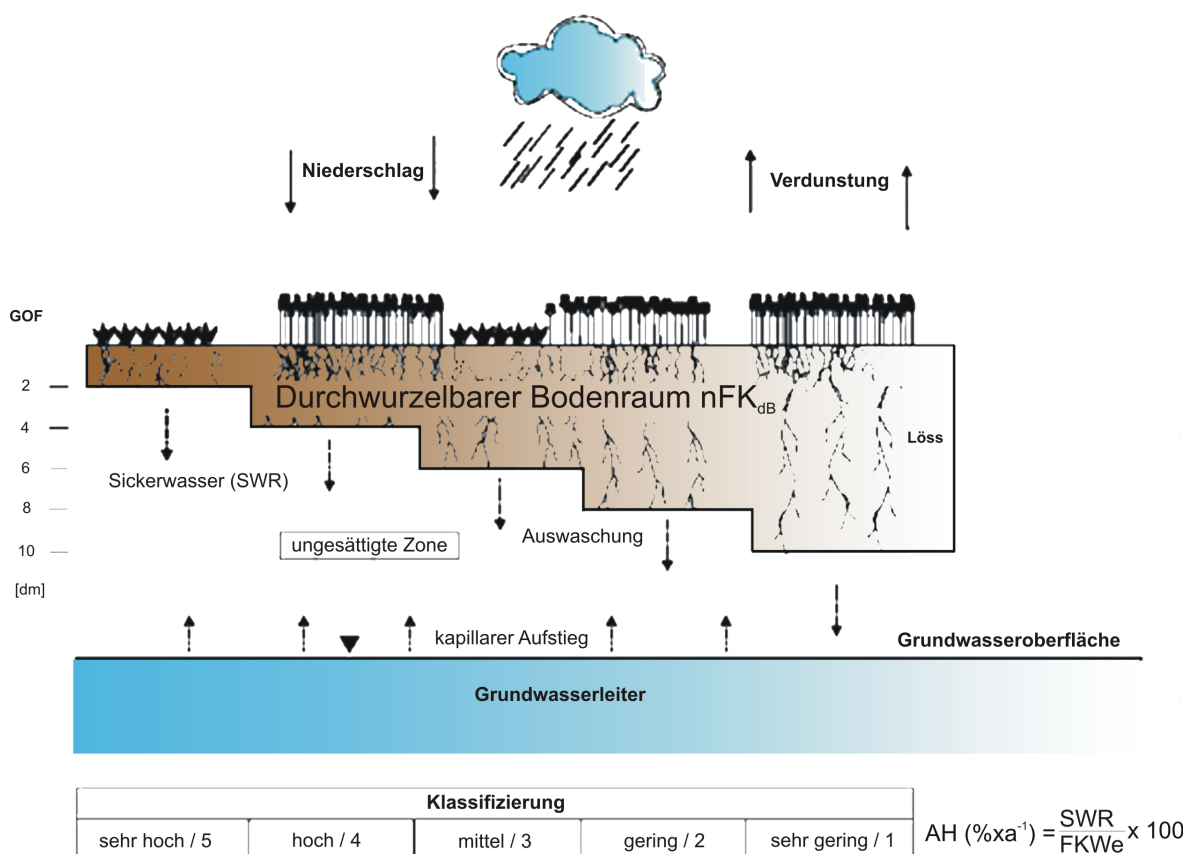


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Nitratauswaschungsgefährdung am Beispiel eines unterschiedlich mächtigen Lössstandortes (Quelle: nach ECKL & RAISSI 1999, S. 3, verändert)

Grundwassernahe Standorte (Grundwasserflurabstand < 9 dm) und Standorte in Überflutungsbereichen wurden grundsätzlich als sehr gering in Bezug auf ihr Rückhaltevermögen eingestuft.

Die Methoden können auch für andere wasserlösliche und nicht sorbierbare Stoffe (z.B. Chlorid, Nitrit, Ortho-Phosphat, Sulfat) genutzt werden.

Kartenbeschreibung

Flächen mit geringem bis sehr geringem **Rückhaltevermögen** für leicht lösliche Stoffe (vgl. Karte 6) befinden sich vor allem im Pfälzer Wald, im Saar-Nahe-Berg- und Hügelland, in Teilbereichen des Zweibrücker-Westrich, im Gutland sowie im Saargau. Alle grundwasserbeeinflussten Standorte wurden weiter als sehr gering in Bezug auf ihr Rückhaltevermögen bewertet. Dies gilt beispielsweise für die Übergangsmoorbereiche der Kaiserslauterer Senke. Aufgrund ihres Mineralisationspotenzials ist eine hohe Grundwassergefährdung bei Melioration gegeben.

Neben diesen Böden besitzen vor allem geringmächtige sandige Böden und solche mit ungünstigen Gefügeeigenschaften (z.B. Buntsandsteinböden des Pfälzer Waldes und des Bitburger Gutlands) ein geringes bis sehr geringes Rückhaltevermögen. Im Saar-Nahe-Berg- und Hügelland sowie in der Wittlicher Senke sind dies vor allem sandreiche Regosole, Ranker und podsoliierte geringmächtige Braunerden aus den Verwitterungsdecken des Rotliegend. Auf den Höhenrücken des Hunsrücks (Hoch-, Idar- und Soonwald) wird das Rückhaltevermögen der Böden aufgrund ihrer geringen Mächtigkeit ebenfalls als sehr gering eingestuft.

Im Muschelkalk und Keuper des Gutlands und Saargaus weisen hingegen geringmächtige Rendzinen, aber auch mächtigere Pelosole sowie Kalkstein-Braunlehme (Terra fusca) ein meist geringes Rückhaltevermögen auf. Letztere sind aufgrund ihrer Schrumpfrissbildung in den Trockenphasen sehr durchlässig. Auf den Hochflächen des Zweibrücker-Westrich befinden sich vor allem Rendzinen, aber auch mächtigere Pelosole und Braunlehme aus Kalk- und Dolomitstein mit einem geringen Rückhaltevermögen. Die Regosole der Buntsandsteingebiete in den Täler besitzen ebenfalls ein sehr geringes Rückhaltevermögen.

Bei Böden aus fluviatilen Kiesen und Sanden ist die Gefährdung kleinflächig sehr hoch. Beispielsweise findet man im Neuwieder Becken geringmächtige Böden aus Terrassensanden vor, die ein äußerst geringes Rückhaltevermögen besitzen.

Ein hohes Rückhaltevermögen liegt im Allgemeinen in den Tal-, Senken- und Beckenlagen sowie in den Tiefländern mit ihren lösslehmreichen Bodenformengesellschaften vor. Auch die Böden aus leicht verwitterbaren Bimsmaterialien des Laacher-See-Vulkanismus (Lockerbraunerden) weisen ein hohes Rückhaltevermögen auf.

Die Ermittlung der **Auswaschungsgefährdung für leicht lösliche Stoffe (Austauschhäufigkeit)** hingegen basiert auf bodenkundlichen und klimatischen Einflussfaktoren. Diese Karte gibt somit im Vergleich zur Karte des Rückhaltevermögens beispielsweise die Austragsgefährdung von Nitrat unter Einbeziehung des Klimafaktors wieder.

Sowohl die grundwasserbeeinflussten Standorte als auch die Überflutungsbereiche der Auen wurden dabei grundsätzlich als sehr hoch in Bezug auf ihre Austauschhäufigkeit bewertet.

Vor allem in den Luv- und Kammlagen des Pfälzer Waldes, des südlichen Haardt, im westlichen Saar-Nahe-Bergland, entlang der Höhenlagen des Hunsrücks, der Eifel, des Westerwalds sowie des Süderberglands liegen bei einer Sickerwasserrate von über 600 mm im Jahr sehr hohe Austragsgefährdungen vor. Geringmächtige Sickerwasserleiter, die aus grobkörnigen Deckschichten bestehen, erhöhen die Austragsgefährdung zusätzlich.

Die geringsten Niederschläge und höchsten Temperaturen treten im nördlichen Oberrheintiefland, im Mittelrheingebiet und im Moseltal auf. Die Böden der Senken- und Beckenbereiche sowie des Tieflandes sind somit vor allem in den Leelagen der Mittelgebirge durch eine sehr geringe Austauschhäufigkeit des Bodenwassers gekennzeichnet. Eine Ausnahme bildet die Kaiserslauterer Senke.

Nitrateinträge in das Grundwasser sind insbesondere dann zu erwarten, wenn auf den stark und sehr stark eintragsgefährdeten Standorten eine ackerbauliche Nutzung stattfindet. Änderungen der Nutzungssysteme, wie Dränung, Moorkultivierung, Beregnung, Tiefenlockerung, Grünlandumbruch und eine Überdüngung der Flächen, sollten vor allem auf Standorten mit hoher Auswaschungsgefährdung unterbleiben. Unkalkulierbare Mineralisierungsschübe humoser Böden verursachen ein erhebliches Gefährdungspotenzial in Bezug auf eine Nitratverlagerung (AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZGEBIETEN 1992, DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU 1996, FREDE & DABBERT 2000).

Die beiden genannten Methoden mit ihren fachbezogenen Ansätzen sind für die Ermittlung der tatsächlichen Nitratkonzentrationen im Grundwasser nicht hilfreich. Die Modellierung des Rückhaltevermögens für leicht lösliche Stoffe und der Austauschhäufigkeit ist indes eine wichtige Abschätzung für das Land Rheinland-Pfalz, um vorbeugende nachhaltige Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratproblematik zu erstellen (vgl. Kapitel 5).

4.4.2 Retentionsvermögen der Böden für Schwermetalle

Die Mobilisierung und Lösung von Schwermetallen im Boden wirkt sich vielfältig auf seine Nutzbarkeit sowie seine Funktionen im Naturhaushalt aus. Über die Nahrungskette können diese Stoffe für uns Menschen schädlich wirken. Sie können bei Pflanze, Tier und Mensch enzymatische Prozesse stören, gleichzeitig aber in Spuren essenziell notwendig sein. Eine Verminderung der Sorption an Bodenpartikeln durch sinkende pH-Werte (z.B. „Saurer Regen“, vgl. Kapitel 4.4.3), aber auch geringe Gehalte an Bodenaustauschern (Sesquioxid-, Ton- und/oder Humusgehalte), können zur Verlagerung von Schwermetallen in Grund- und Oberflächenwasser führen.

Die Geosphäre enthält, je nach Ausgangsgestein und Bodengenese, Schwermetallgehalte natürlichen (geogenen/pedogenen) Ursprungs. Von ihnen geht im Allgemeinen keine unmittelbare Gefahr aus. Eine Bestimmung des durch den Menschen verursachten Anteils (vgl.

Tabelle 15) wird dadurch erschwert. Sowohl über anorganische als auch organische Schadstoffe liegen für Rheinland-Pfalz grundlegende Bestandsaufnahmen mit dem Bodenbelastungskataster (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN 1996) sowie einzelner Bodenzustandsberichte vor. Der Bericht „Hintergrundwerte der rheinland-pfälzischen Böden“ wird derzeit erarbeitet (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN, in Vorbereitung).

Die verschiedenen geologischen Ausgangssubstrate und die daraus entwickelten Böden bedingen die natürlichen Stoff- und Schadstoffgehalte. Durch anthropogene Einflüsse (unterschiedliche Besiedlungs-, Verkehrs- und Industriedichten) werden diese natürlichen Hintergrundgehalte überprägt. Weiterhin spielt die Nutzung eine entscheidende Rolle. Beispielsweise „kämmt“ der Wald infolge der hohen Oberflächenrauigkeit von Blatt- und Nadeloberflächen die Schadstoffe aus der Luft (vgl. Kapitel 4.4.1, Abbildung 7) aus. Es kommt letztlich zu einer Akkumulation dieser Stoffe in der Humusaufgabe. Dagegen wird bei landwirtschaftlich genutzten Flächen mit wendender Bodenbearbeitung über die Vermischung des Bodenmaterials ein Verdünnungseffekt erzielt (HAUENSTEIN 1997).

Exemplarisch soll an den Schwermetallen Blei und Cadmium das Retentionsvermögen der Böden bezüglich der Schwermetalle beschrieben werden. Prinzipiell kann, je nach Fragestellung, die angewandte Methodik (nach Verknüpfungsregel 7.3, AD-HOC-AG BODEN 2000) neben Cadmium und Blei auch für die Elemente Nickel, Kobalt, Zink, Aluminium, Kupfer, Chrom und Quecksilber genutzt werden.

Tabelle 15: Ursachen anthropogen bedingter Schwermetallanreicherung

Blei	Cadmium
➤ KFZ-Verkehr (Verbrennung von Benzin und Bleizusätzen)*	➤ KFZ-Verkehr (Reifenabrieb und Verbrennungsrückstände von Dieselöl)
➤ Erzverhüttung	➤ Erzverhüttung
➤ Erz- und Abraumhalden	➤ Chemische Industrie
➤ Chemische Industrie	➤ Müllverbrennung
➤ Müllverbrennung	➤ Eisen- und Stahlerzeugung
➤ Eisen- und Stahlerzeugung	➤ Glas- und Keramikindustrie
➤ Glas- und Keramikindustrie	➤ Phosphatdünger
➤ Fossile Brennstoffe	➤ Fossile Brennstoffe

* positive Auswirkungen durch das Benzin-Blei-Gesetz (1976)

Cadmium im Boden gilt als sehr mobiles und hoch toxisches Schwermetall. An Standorten mit einem zu niedrigen pH-Wert (Abbildung 9) wird es schon in geringen Mengen von den angebauten Kulturen und Bodenorganismen aufgenommen oder in das Grundwasser ausgewaschen. Dieses Element besitzt somit immer die geringste Bindungskapazität (Karte 9).

Die Löslichkeit von Blei in Wasser ist um die zehnfache Menge höher als die des Cadmiums (Abbildung 9). Phytotoxische Reaktionen treten jedoch im Vergleich zum Cadmium unter erheblich höheren Grenzwerten auf. Für eine „worst-case“-Betrachtung der Schwermetalle wird demzufolge häufig das Element Cadmium herangezogen.

Die Tatsache, dass Schwermetalle nicht abgebaut werden können, ist besonders problematisch. Allenfalls können sie durch eine Umverteilung im Ökosystem lokal gemindert oder den Stoffkreisläufen des Systems durch Immobilisierung im Boden entzogen werden (vgl. Kapitel 5).

Die Deposition der Schwermetalle Blei und Cadmium ging in den letzten Jahren in Rheinland-Pfalz zurück (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN 2003, ROTHSTEIN et al. 2001).

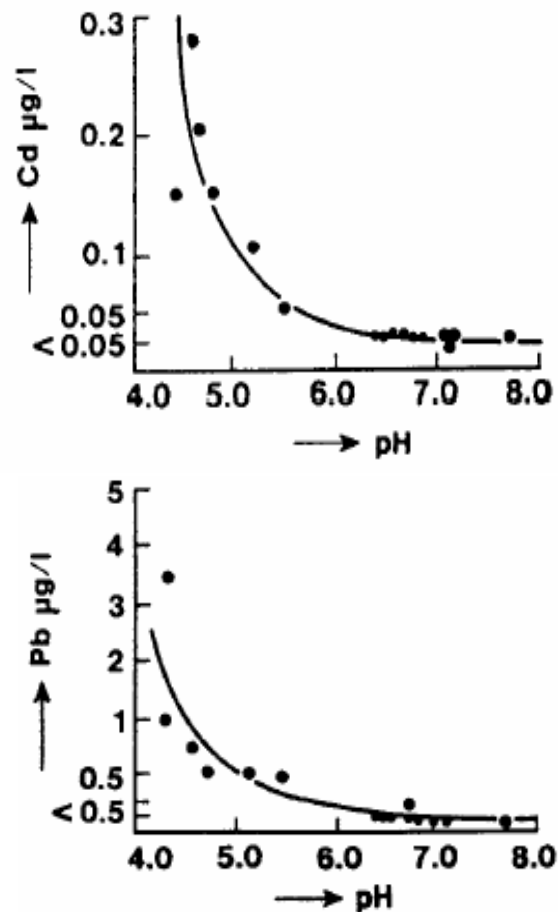


Abbildung 9: Abhängigkeit der Konzentration des gelösten Cadmiums bzw. Bleis vom pH-Wert (Quelle: CALMANO 1999)

Fragestellung: Wie gut können unsere Böden längerfristig und flächenhaft Schwermetalle im Boden binden?

Kriterium: Relative Bindungsstärke von Schwermetallen.

Leitgedanke: In Bezug auf ihre Funktionen sind Böden mit besonders hohen Puffer- und Filterkapazitäten besonders schützenswert.

Parameter: Bodenart (Tongehalt), Gehalt an organischer Substanz bzw. Humusstufe, hydromorphe Merkmale, Skelettgehalt, Horizontmächtigkeit, pH-Wert^{7,8} und Carbonatgehalt.

Datengrundlage: Flächendatenbank des LGB, Bodenkartierung nach KA 3 und KA 4 (AG BODEN 1982 & 1996) sowie Erfassungsstandard des LGB.

Methodendokumentation: AD-HOC-AG BODEN (2000).

Die Ermittlung des Rückhaltevermögens für anorganische Schadstoffe erfolgt schwermetall-spezifisch anhand der Methode der AD-HOC-AG BODEN (2000, Verknüpfungsregel 7.3). Abweichend von diesem Verfahren werden Moore aufgrund der Bildung leicht löslicher Schwermetall-Komplexe in die Werteklasse 1 (sehr geringes Retentionsvermögen) eingestuft (UMWELTBEHÖRDE HAMBURG 2000, BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 2003, UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 1995).

Die Eingangsparameter (vgl. oberer Kasten) werden aus einem grundwasserfernen Profil bis in eine Tiefe von maximal zwei Metern entnommen. Die pH-Werte können derzeit für die gesamte Landesfläche nach der Methodendokumentation des „Niedersächsischen Bodeninformationssystems“ nur abgeschätzt und nicht tatsächlich erhoben werden (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 1997). Nutzungsbedingte pH-Wert-Änderungen bei der Überplanung können dadurch hingegen berücksichtigt werden. Für den Oberbodenbereich der Nutzungsformen Acker- und Grünland wurde ein Ziel-pH-Wert⁶ errechnet (AD-HOC-AG BODEN 2000, Verknüpfungsregel 7.2.1). Unterböden und Böden unter Waldstandorten wurden Real-pH-Werte⁷ zugeteilt (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 1997, Verknüpfungsregel 7.2.8). Diese abgeschätzten Eingangsgrößen werden dabei von tatsächlich gemessenen Punktdaten immer wieder unterschritten. Für einige Substrate in Rheinland-Pfalz liegen tatsächlich gemessene pH-Werte vor. Böden mit Kalkführung (Carbonatgehalt) im Profil können besonders hoch eingestuft werden. Bei der Carbonatpufferung im pH-Bereich zwischen > 6,2 bis 8,6 kann durch die Reaktion der basisch wirkenden Kationen einer Versauerung des Bodens entgegengewirkt werden.

Allgemein nimmt, wie bereits erwähnt, mit einem steigenden pH-Wert im Boden (element-spezifisch) auch die relative Bindungsstärke für Schwermetalle zu. Weitere Zuschläge erfolgen durch Berücksichtigung des Humus- und Tongehaltes bzw. der Bodenart.

Des Weiteren fördern hohe Anteile an organischer Substanz die Bildung von stabilen organischen Komplexen der Schadstoffe. Bei steinhaltigen und durchlässigeren Böden vermindert sich die jeweilige Bindungsstärke hingegen. Auch unter tonreichen Böden mit häufig auftretenden Rissen in Trockenperioden (Tongehalt > 35 % in 5 dm Tiefe) erfolgt ein Abschlag.

Es kommt hier zu keiner Beurteilung gemessener Schadstoffgehalte. Eine teilflächenvergleichende Bewertung, ohne auf eventuell vorhandene Vorbelastungen (vgl. „Bodenkataster Rheinland-Pfalz“) einzugehen, wird indessen ermöglicht. Grundlage für die Stufenbildung in Bezug auf die Mobilität der einzelnen Schwermetalle und deren toxische Wirkung ist der damalige Kenntnisstand (Stand: Januar 1995 nach AD-HOC-AG BODEN 2000)

Je nach Fragestellung kann die Bewertung bestimmter Schwermetalle (Cadmium, Blei, Nickel, Kobalt, Zink, Aluminium, Kupfer, Chrom, Blei und Quecksilber) separat durchgeführt werden. Hier sind die Werte der Verknüpfungsregel 7.3 (AD-HOC-AG BODEN 2000) zu ent-

⁶ Ziel-pH: Geschätzter pH-Wert je nach Ton- und Humusgehalt eines Bodens. Dieser für eine bestimmte Nutzungsart optimale pH-Wert wird von den Landwirtschaftskammern im Rahmen der guten fachlichen Praxis zur Einstellung (Aufkalkung) empfohlen.

⁷ Real-pH: Geschätzter pH-Wert je nach standortspezifischem Ausgangsgestein

nehmen. Eine Gesamtbewertung der genannten Schwermetalle ist jedoch nach dieser Methode nicht möglich.

Kartenbeschreibung

Karte 9 stellt die „worst-case“ Betrachtung des Rückhaltevermögens der zuvor genannten Schwermetalle und weiterer Elemente anhand des Schwermetalls Cadmium dar. Demgegenüber erreicht Blei (vgl. Karte 10) die niedrigen Wertestufen der relativen Bindungskapazität größtenteils nicht mehr.

Mit sinkendem pH-Wert im Boden nimmt im Allgemeinen der pflanzenverfügbare mobile Anteil von anorganischen Schadstoffen zu. Vor allem die aus basen- und tonarmen Gesteinen gebildeten sandigen, durchlässigen und adsorptionsschwachen Böden des Pfälzer Waldes, der Höhenrücken des Hunsrücks, des Gutlands und der Saar-Nahe-Senke besitzen sehr geringe relative Bindungsstärken für das Schwermetall Cadmium (vgl. Karte 9). Auch die sehr durchlässigen Bimstephra führenden Böden des Laacher-See-Vulkanismus (z.B. die sauren Lockerbraunerden im Westerwald) weisen in Bezug auf das Element Cadmium dieselben Eigenschaften auf. Blei hingegen wird erst unter wesentlich geringeren pH-Werten mobilisiert (vgl. Abbildung 9 & Karte 10).

In der Methode wird auch der Filterstrecke zum Grundwasser Rechnung getragen. So besitzen beispielsweise sandige Böden mit einer kurzen Filterstrecke für Schadstoffe nur ein geringes bis sehr geringes Retentionsvermögen. Dies sind vor allem Böden, deren Entwicklung durch das Grundwasser bestimmt ist, wie die Gleye der Niederterrassen im Vorderpfälzer Tiefland.

In carbonatreichen Tonböden, wie den tonreichen Kalk-Tschernosemen in Rheinhessen, finden sich hingegen, trotz meist sehr hoher Schadstoffbelastungen (vgl. Bodenbelastungskataster Rheinland-Pfalz), nur wenige mobile Schadstoffkomponenten. Dies sind vor allem die Böden in den Kalkmulden, Senken- und Beckenlandschaften von Rheinland-Pfalz (z.B. Prümmer Kalkmulde, nördliches Oberrheintiefland, Mittelrheinisches Becken, Teile der Wittlicher Senke, des Limburger Beckens, des Gutlands, des Saargaus und des Unteren Mittelrheingebiets). Auch auf den Muschelkalk-Hochflächen des Zweibrücker-Westrich und in den Schichten des Oberrotliegend finden sich Kalk führende Profile. Diese Böden sind in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen aufgrund der lediglich schwach sauren Bodenreaktion (pH-Werte i.d.R. > 6 infolge einer Carbonatpufferung) durch ein relativ hohes Immobilisierungspotenzial gekennzeichnet. Folglich ist die Grundwassergefährdung durch die Schwermetalle Blei und Cadmium meist gering.

Ein hohes Filter- und Puffervermögen des Bodens sollte aufgrund der ungenügenden Kenntnislage nicht für eine Nutzung als Schadstoffsene gelten. Böden mit hoher Filter- und Pufferkapazität können bereits hohe Vorbelastungswerte aufweisen. Infolge einer Sedimentation meist bereits kontaminierter Materialien, aber auch bereits gelöster Schwermetalle, trifft dieses beispielsweise auf viele Überschwemmungsbereiche der Auen zu. Bei allen Arten der Ausbringung von Stoffen und Materialien auf den Boden (z.B. Klärschlämme, Verwertung von Materialien insbesondere auch zur Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht nach § 12 BBodSchV) ist stets dem Vorsorgegedanken Rechnung zu tragen (Beachtung der Vorsorgewerte nach BBodSchV 1999).

Beispielsweise stehen für landwirtschaftliche Nutzflächen in Rheinland-Pfalz die zuständigen landwirtschaftlichen Fachstellen DLR (Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum) für Beratungen im Einzelfall zur Verfügung. Dies umfasst auch die notwendigen und sinnvollen Maßnahmen für eine Grundwasser schonende Bewirtschaftung sowie den Einsatz von Pflanzenschutz- oder Düngemitteln (Tabelle 15).

4.4.3 Puffervermögen der Böden für Säuren

Zu Beginn der 80er Jahre befasste sich die Forschung verstärkt mit der Bodenversauerung („Saurer Regen“). Die Versauerung des Bodens ist eigentlich ein natürlicher Prozess (vgl. Tabelle 16). Dieser Prozess verläuft in einem stabilen Ökosystem aufgrund der enormen Pufferkapazität des Bodens sehr langsam (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 2003). Infolge verstärkter anthropogener Stoffeinträge (vgl. Tabelle 16 und Abbildung 10) kam es hingegen auch in einigen Gebieten von Rheinland-Pfalz zu beschleunigten pH-Absenkungen (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN 2003). Die Verringerung der Mikroorganismenaktivität, des Schwermetallrückhaltevermögens (vgl. Kapitel 4.4.2), der Bodenstabilität sowie Aluminium-Toxizität und Nährstoffauswaschung (Verarmung an Kationen) sind nur einige Folgeerscheinungen der Bodenversauerung (SCHEFFER 2002). Trotz Bodenschutzkalkung und Emissionsminderung der Schwefelverbindungen (TA-Luft, Entschwefelungsanlagen) ist im Jahr 2002 in Rheinland-Pfalz der Anteil der deutlich geschädigten Bäume um etwa ein Drittel gestiegen (vgl. Waldschadensbericht für Rheinland-Pfalz 2003). Dies liegt neben den zusätzlichen außergewöhnlichen Trockenstressfaktoren an erhöhten Säure- und Stickstoffeinträgen, aber auch an höheren Schwefeleinträgen der Vergangenheit (z.B. akkumulierte toxische Aluminiumsulfate, MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN 2003).

Tabelle 16: Ursachen natürlicher und anthropogener Bodenversauerung (SCHEFFER 2002)

Natürliche Bodenversauerung	Anthropogene Bodenversauerung
➤ Abgabe von H^+-Ionen durch die Wurzeln ➤ Mikrobielle Nitrifizierung ➤ Humifizierung und Mineralisierung im Zuge des Abbaus ➤ Bodenatmung (biogene Kohlensäureproduktion) ➤ Verflüchtigung von Ammoniak aus Ammoniumverbindungen ➤ Redoxreaktionen in wasserbeeinflussten Böden	Emission von SO_x (Schwefeloxide), NO_x (Stickoxide), O_3 (Ozon), HCl, HF (Chlor- und Fluorwasserstoffe) und indirekt von NH_3 (Ammoniak) etc. durch ➤ fossile Brennstoffe (Öl, Kohle) ➤ KFZ-Verkehr ➤ Tierhaltung ➤ Saure Dünger (schwefelsaurer Ammoniak) ➤ Auswaschung und Ernte (Entzug von Basen, wie Calcium-, Magnesium-, Kalium- und Natrium-Ionen)

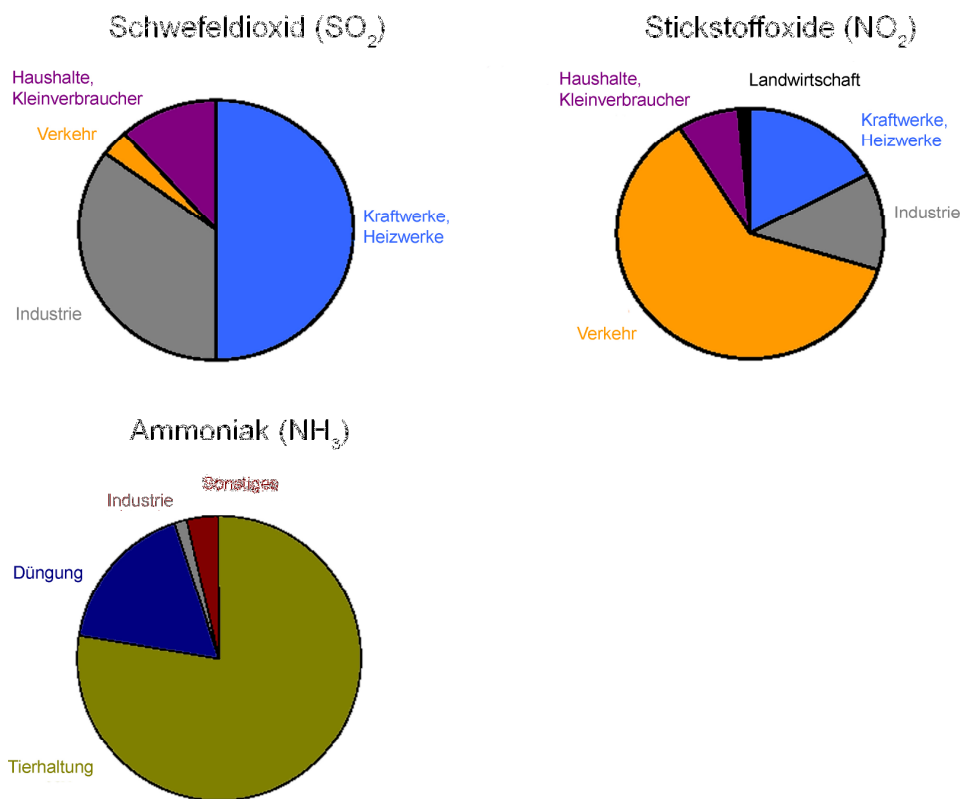


Abbildung 10: Quellen der Luftverschmutzung in Deutschland; Verteilung der Jahresemissionen 2001 (Quelle: MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN 2003, S. 26)

Fragestellung: Wie gut können unsere Böden längerfristig und flächenhaft Säuren im Boden puffern?

Kriterium: Kenngrößen der Bodenbeschaffenheit, die die Säurepufferkapazität maßgeblich bestimmen.

Leitgedanke: Besonders schützenswert sind Böden mit hohen Pufferkapazitäten und schutzbedürftig sind solche mit geringen Pufferkapazitäten.

Parameter: Tongehalt, Gehalt (Menge) an organischer Substanz, hydromorphe Merkmale, pH-Wert^{7,8} und/oder Carbonatgehalt.

Datengrundlage: Flächendatenbank des LGB, Bodenkartierung nach KA 3 und KA 4 (AG BODEN 1982 & 1996) sowie Erfassungsstandard des LGB.

Methodendokumentation: UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995).

Zur Bewertung des Puffervermögens von Säuren wird das im Leitfaden des UMWELTMINISTERIUMS BADEN-WÜRTTEMBERG (1995) beschriebene Verfahren herangezogen (LINK: WWW.XFAWEB.BADEN-WUERTTEMBERG.DE/BOFAWEB/BERICHTE/LBA31/LBA310046.HTML).

Kartenbeschreibung

Moore, wie der Landstuhler Bruch, werden nach dem Modell von Baden-Württemberg generell in die Bewertungsklasse 1 eingestuft (Böden mit sehr geringer Pufferkapazität, UMWELT-MINISTERIUMS BADEN-WÜRTTEMBERG 1995).

Eine hohe Pufferfunktion besitzen vor allem Böden mit:

- einer geringen Wasserdurchlässigkeit,
- einem neutralen bis basischen pH-Wert,
- einem großen Grundwasserflurabstand sowie
- einem hohen Anteil an Sesquioxiden, Ton- und Humusgehalten.

Diese Anforderungen erfüllen vor allem die lehmigen Böden in den Senken- und Beckenlandschaften von Rheinland-Pfalz (z.B. nördliches Oberrheintiefland, Mittelrheinisches Becken, Teile der Wittlicher Senke, des Limburger Beckens, des Gutlands, des Saargaus und des unteren Mittelrheingebiets). In der Regel handelt es sich um Bodengesellschaften mit Parabraunerden aus Löss bzw. Lösslehm, Kolluvisolen und (Kalk-) Tschernosemen unter naturnaher Nutzung. Gleiches gilt für die lehmigen Böden aus Carbonatgesteinen.

Die sandigen Böden des Pfälzer Waldes oder des Saar-Nahe-Berglands verfügen über eine relativ hohe Wasserdurchlässigkeit. Der hohe Abstand zum Grundwasser erweitert die Fließstrecke, wodurch diese Böden teilweise in eine mittlere bis hohe Bewertung fallen.

Sandige Böden mit einer kurzen Pufferstrecke zum Grundwasser weisen nur ein geringes bis sehr geringes Puffervermögen auf. Dies sind vor allem Böden, deren Entwicklung durch das Grundwasser bestimmt ist, wie die Gleye im Vorderpfälzer Tiefland. Ähnliches gilt für stau-näsebeeinflusste Böden des Rheinischen Schiefergebirges. Sie besitzen infolge ihrer geringen pH-Werte und des geringmächtigen wasserleitenden Horizontes (S_W -Horizont) ein extrem geringes Puffervermögen.

In der Vergangenheit wurde durch wenig schonende Waldbewirtschaftungsformen (Waldweide und Streunutzung) sowie durch Anpflanzung nicht standortangepasster Baumarten die Versauerung der Böden gefördert.

4.5 Archivfunktion der Natur- und Kulturgeschichte

Böden mit Archivfunktionen sind Böden, die aufgrund ihrer spezifischen Ausprägung und Eigenschaften Bausteine zum besseren Verständnis der Natur- und Landschaftsentwicklung archivieren (LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG 2003, BOESS et al. 2002). So finden sich in einem Lössprofil mitunter mehrere Bodenbildungszyklen übereinander. Aus diesen Bodenbildungen können vergangene Klimate (z.B. Kaltzeit-Warmzeit-Komplexe) rekonstruiert werden (SABEL & SPIES 1999, SEMMEL 1983).

Um die Archivfunktion zu erhalten, genügen Böden eines bestimmten Typs, die nur auf kleinen Flächen vorkommen. Böden, die landesweit verbreitet sind, benötigen hinsichtlich ihrer Archivfunktionen somit keinen Schutz (BAYRISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 2003, LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT 1998, LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG 2003). Im Übersichtsmaßstab können landesweit demzufolge nur „Suchräume“ ausgegliedert werden. Eine exakte Ausgrenzung ist nur im parzellenscharfen Maßstab möglich.

4.5.1 Böden als Archiv der Naturgeschichte

Besonders bedeutsame Archive der Naturgeschichte sind die Paläoböden. Dies sind sehr alte Böden (griech. „palaios“ = alt), die unter heute nicht mehr vorhandenen Klimaten entstanden. Paläoböden sind entweder infolge von jüngeren Sedimentüberdeckungen unverändert erhalten geblieben (fossile = bedeckte Böden) oder an der Erdoberfläche weiter der Bodenbildung unterworfen (reliktische Böden). Eis- und nacheiszeitliche Prozesse haben dazu geführt, dass diese Böden meist nur noch unvollständig im Profilaufbau erhalten geblieben sind. Heute findet man demzufolge nur noch Unterbodenhorizonte vor. Die Anreicherungsprofile (z.B. von natürlichen Schwermetallen) sind größtenteils überlagert (z.B. Kolluvien, Vulkanite, Löss sowie Flugsand).

Die Inventur der Paläoböden in der Bundesrepublik Deutschland enthält eine Sammlung der zu dieser Zeit bekannten Paläoböden in Rheinland-Pfalz (AD-HOC-AG BODEN 1982). Auch das Landesamt für Geologie und Bergbau (LGB) kann Hinweise auf eine regionale Verbreitung dieser Böden geben.

In Rheinland-Pfalz entstanden vor ca. 2,5 Millionen Jahren im Tertiär und den vorherigen Zeitepochen auf Silikatgesteinen fersiallitische bzw. ferralitische Paläoböden (bisher Plastosole bzw. Latosole genannt). Fersiallite besitzen einen meist fossilen Bj-Horizont mit plastischen, häufig grauen, aber auch satt rotbraunen Merkmalen. Ferrallite hingegen zeichnen sich durch einen vom Gefüge her stabileren, „erdigeren“, kräftig rot oder gelb gefärbten Bu-Horizont aus (AG BODEN 1996). Sie besitzen häufig aufgrund ihrer erdigeren Struktur eine höhere Wasser- und Luftdurchlässigkeit. Die stellenweise leuchtend rote Farbe wird durch die Eisenoxidform Hämatit („Roteisen“) hervorgerufen. Hämatit ist ein typischer Rückstand der tropisch-subtropischen Verwitterung.

Auch der Kaolinitanteil in der Tonfraktion (Zweischicht-Tonmineral) belegt eine Entwicklung unter hohen Temperaturen und starker Durchfeuchtung.

Auf Carbonatgesteinen bildete sich hingegen auf sehr alten Landoberflächen infolge einer ebenfalls tropisch bis subtropischen Verwitterung die Terra calcis (Kalksteinlehm) aus. Paläoböden des Pleistozän aus Löss (z.B. Tschernoseme) sind heute nur noch inselartig im Mainzer Becken und im Oberrheingraben verbreitet.

Ein weiteres wichtiges Kriterium naturgeschichtlich bedeutsamer Böden ist die Naturnähe. Naturnahe Böden sind Böden, deren Profilaufbau weitgehend naturbelassen ist und nicht wesentlich durch menschliche Nutzung beeinträchtigt wurde. Der Grad der Naturnähe bestimmt im Wesentlichen die Schutzwürdigkeit des Bodens (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE & NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 2003). Potenziell naturnahe Böden wurden durch Ableitung aus den Ergebnissen der Biotopkartierung des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG) sowie in landesweit verfügbaren Teilbereichen durch das Bodenformenarchiv (BoFA) des LGB ausgewiesen. Anhand von historischen Karten aus dem 18. bis 19. Jahrhundert und deren Verschneidung mit aktuellen Forstkarten lassen sich regional in einer höheren Auflösung auch alte naturnahe Waldstandorte ausgliedern.

Beispiele bzw. Identifikationsmerkmale für Böden als Archiv der Naturgeschichte:

- Paläoböden (sofern besonders ausgeprägt),
- Periglazialböden (Eiskeil- und Frostmusterböden),
- Böden der Dünen (Speyer),
- Auenböden,
- naturnahe Moore (z.B. Landstuhler Bruch, Moore der Maare in der Eifel),
- natürliche Trockenstandorte,
- Fels- und Skeletthumusböden,
- Uferbereiche,
- Feucht- und Nasswiesenstandorte,
- Heide (Borstgrasrasen und Zwergstrauchheiden),
- Sandrasen sowie
- Böden alter historischer Waldstandorte.

4.5.2 Böden als Archiv der Kulturgeschichte

Böden als Archiv der Kulturgeschichte weisen charakteristische Bodenprofile auf, die durch historische Bodennutzung entstanden sind (z.B. Düngung mit Laubstreu). Damit verbunden sind anthropogen bedingte Umweltveränderungen. Beispielsweise ist der mächtige, sehr fruchtbare Oberboden des Hortisols, der durch intensive langjährige Gartenarbeit entstand, meist nur großmaßstäbig im Umfeld von Siedlungen zu finden. Diese sehr alten Gartenböden unterliegen jedoch infolge ihrer Siedlungsnähe einem erhöhten Änderungsdruck (z.B. Flächeninanspruchnahme, Versiegelung).

Eine Ausgrenzung der Zeugnisse der Kulturgeschichte ist demzufolge nur im parzellenscharfen Maßstab möglich. Die Flächendatenbank des Bodenformenarchivs (BoFA) gibt hier nur eine ungenaue Datenauflösung wieder, die aber eine Vorauswahl zulässt. Böden aus wissenschaftlich dokumentierten künstlichen Aufschüttungen (z.B. der römische Limeswall oder die Hügelgräber bei Offenbach) sowie Moore (Einbettung von archäologisch genau datierbaren Artefakten) zeigen, in welchen Zeitabschnitten sich Böden entwickeln. Sie können wichtige Bausteine zum besseren Verständnis der anthropogen bedingten Natur- und Landschaftsentwicklung sein. Luftbildinterpretationen, topographische Karten im Maßstab

1: 25.000 und Archivunterlagen des rheinland-pfälzischen Landesamtes für Denkmalsschutz, dienen als Informationsgrundlagen für bestimmte Landesausschnitte.

Ein Kartenwerk, in das alle bekannten Bodendenkmäler eingetragen sind, ist derzeit in Rheinland-Pfalz noch nicht verfügbar.

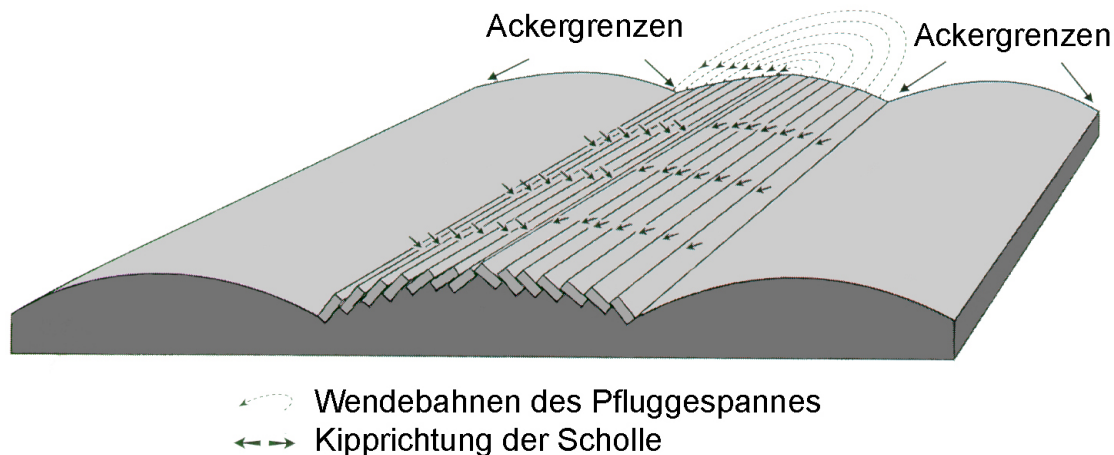


Abbildung 11: Schematische Darstellung eines Wölbackers (Quelle: KÜSTER 1999, S. 127)⁸

Beispiele bzw. Identifikationsmerkmale für Böden als Archiv der Kulturgeschichte:

- keltische Wallgräben (z.B. auf dem „Hardtberg“ bei Schleid)
- Ackerterrassen (Geländeterrassen zur Arbeitserleichterung im Acker- und Weinbau, vgl. Foto 1), Wölbacker (vgl. Abbildung 11), Ackerberge (Bodenverschleppung durch den Pflug und Anhäufung an Wegerändern), Mardellen⁹, Huteweiden mit Lesesteinhaufen und andere historische Flur- und Nutzungsformen
- Böden in historischen Bergbaugebieten
- historische Weinbergsanlagen (vgl. Foto 1)
- frühgeschichtliche Siedlungsflächen und Verteidigungsanlagen (z.B. Limeswall)
- alte Grabstätten (z.B. Hügelgräber)
- wissenschaftlich dokumentierte Kolluvien, deren Alter durch die Einbettung von archäologischen Artefakten datierbar ist
- Böden auf historischen Erzschürfstätten

⁸ Durch die Verwendung von Beetpflügen, deren Schar fest eingestellt war und die Scholle nur nach einer Seite wendete, entstanden die hier schematisch dargestellten so genannten Wölbacker (auch Hochacker genannt). Die Scholle wurde stets zur Mitte des Ackers gekippt. Dieser wurde somit in der Mitte aufgewölbt (KÜSTER 1999).

⁹ Mardellen sind im Kalkgestein als Besonderheiten auf den Hochflächen des Westrich, aber auch z.B. in Reifenberg in der Pfalz zu finden. Ihr Hauptverbreitungsgebiet liegt jedoch im saarländisch-lothringischen Schichtstufenland. Die vermoorten, dolinenartigen, meist kleinflächig geschlossenen Bodenvertiefungen wurden eventuell von Menschen angelegt (beispielsweise zur Wasserversorgung oder als pleistozäne menschliche Wohnstätte, BARTH et al. 1996).



Foto 1: Historische Weinbergsterrassen unter Wald (St. Martin/Südliche Weinstraße)

4.5.3 Seltene Böden

Als Zusatzkriterium wird die Seltenheit der Böden von Rheinland-Pfalz mit in die Bewertung der Archivfunktion einbezogen (BOESS et al. 2003). Als selten wurden hier Böden definiert, die aufgrund ihrer Entwicklung und spezifischen Ausbildung infolge ungewöhnlicher Kombination der bodenbildenden Faktoren (Relief, Klima, Ausgangsgestein, Zeit und Lebewesen) atypisch für diese Bodenlandschaft sind (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT 1998). Nicht jeder seltene Boden ist dabei auch schützenswert (z.B. Schwermetallboden, Salzböden). Hier ist eine expertenunterstützte Bewertung notwendig. Das Landesamt für Geologie und Bergbau (LGB) kann anhand des Bodenformenarchivs (BoFA) Aussagen über das Vorkommen dieser Böden in Rheinland-Pfalz treffen.

Ein landesweiter Überblick der Böden mit Archivfunktionen in Rheinland-Pfalz wird in Tabelle 17 aufgeführt und in der Karte 12 („Böden als Archiv der Kultur- und Naturgeschichte“) dargestellt. Bei den in dieser Tabelle aufgeführten Kriterien ergeben sich zahlreiche Überschneidungen (LANDESAMT BRANDENBURG 1998 & UMWELTMINISTERIUM BADEN WÜRTTEMBERG 1995). Seltene Böden können auch von natur- oder kulturgeschichtlich hoher Bedeutung sein (z.B. Moore).

Tabelle 17: Beispiele typischer Archivböden in Rheinland-Pfalz

Kriterium	Typische Archivböden	Beispiele
Archiv der Naturgeschichte	(Kalk-) Tschernoseme & tschernosem-ähnliche Böden (z.B. entkalkt, verbraunt)	Degradationsformen: Braunerde-(Kalk-) Tschernoseme, Parabraunerde-(Kalk-) Tschernosem, Pelosol-(Kalk-) Tschernosem, Gley-(Kalk-) Tschernosem
	tschernosemähnliche Auenböden	Tschernitza, Gley-Tschernitza
	Terra fusca	Braunerde-Terra fusca, Rendzina-Terra fusca
	Unterbodenhorizont des Fersiallit und Ferrallit	Braunerde-Fersiallit bzw. -Ferrallit
	naturnahe Böden	naturnahe Moore, Quellen(moor)gley, (Humus-) Nassgley, (Auen- oder Quellen-) Anmoorgley, (Kalk-) Moorgley etc.
Seltenheit	Beispiele seltener Böden in Rheinland-Pfalz	Fels- und Skeletthumusböden, Bänderparabraunerden, Podsol-Gleye, Podsol-Ranker, Eisenhumuspodsole, Stagnogley, Quellen(moor)gley, (Humus-) Nassgley, (Auen- oder Quellen-) Anmoorgley, (Kalk-) Moorgley etc.
Archiv der Kulturgeschichte	naturnahe Moore mit Pollen- und Großresten als Archiv der Kulturgeschichte	Niedermoor, Hochmoor, Übergangs-bzw. Zwischenmoore, Erd(kalk)niedermoor
	kultivierte Moore	Moore mit Grundwasserabsenkungen, Sandmischkulturen etc.
	Hortisole	Parabraunerde-Hortisol

Kartenbeschreibung

Unter einem warmtrockenen, heute im nördlichen Oberrheintiefland nicht mehr vorhandenen Steppenklima bildeten sich zur Zeit des Boreal und Präboreal sehr tiefgründige (Kalk-) Tschernoseme aus Löss (Synonyme: Rheintal-Tschernoseme, Steppenböden, Mycellar-Tschernoseme). Nach ZAKOSEK (1962) fand eine Degradation dieser Böden vor allem infolge eines Klimaumschwunges im Atlantikum statt. Zu einer erneuten gebietsweisen Redegradationsphase der Steppenböden des nördlichen Oberrheintieflands kam es hingegen vor allem im Subboreal aufgrund eines relativ trockenen Klimas. Es wird jedoch nicht ausgeschlossen, dass in den sommerlichen Verdunstungsperioden im A-Horizont ein kapillarer Kalklösungsaufstieg aus dem oberen Bereich des dichteren C-Horizontes stattfand und teilweise infolge einer Bodenkultivierung auch heute noch stattfindet. Sekundäre Carbonate können dabei die Matrix durchsetzen und an der Aggregatoberfläche weiße Beläge (Kalkausblühungen oder Pseudomycelien) bilden. In der Redegradationsphase kam es so zu einer erneuten Stabilisierung des Bodengefüges (ZAKOSEK 1962).

Nach ZAKOSEK (1991) gibt es diese besonderen Mycellar-Tschernoseme nördlich der Alpen ausschließlich im nördlichen Oberrheingraben und den trockensten Teilen seiner nordöstlichen Verlängerung (Wetterau). Eine Bodenverlagerung fand wahrscheinlich vor allem zur Zeit des beginnenden neolithischen Ackerbaus statt. In den eigentlichen Steppenbodenregionen des Landes treten somit heute immer häufiger gekappte und fossile Horizonte auf.

Inselartig verbreitete Fersiallite (Plastosole) und Ferrallite (Latosole, vgl. Titelbild) findet man im Rheinischen Schiefergebirge auf alten Rumpfflächen vor, wo die mesozoisch-tertiären Verwitterungsdecken noch erhalten geblieben sind (z.B. Eifel, Hunsrück). Im Hunsrück sind etwa in den Hochmulden von Kell, Hermeskeil, Talfang und Moorbach Saprolite (Graulehme oder Grauplastosole, MÜCKENHAUSEN 1975) auf den weniger gehobenen Schollen kleinflächig verbreitet.

Ferrallite in Rheinland-Pfalz sind das Ergebnis einer langen Bodenentwicklung auf tertiären basaltischen eisenreichen Vulkaniten des Westerwalds und in kleineren Teilen des Pfälzer Waldes. Auch im nordwestlichen Oberrheinischen Tafelland (z.B. südlich von Sprendlingen oder in der Kiesgrube bei Rümmlersheim) findet man unter den pleistozänen Ablagerungen Ferrallite vor, die sich von den rezenten Bodenbildungen erheblich unterscheiden. Sie bildeten sich auf tertiären stark verwitterten silikatischen Sedimenten (z.B. kiesführende tertiäre Tone, tertiäre Kiessande) und wurden später äolisch und solifluidal beeinflusst.

Vor allem in Klüften, Spalten und Dolinen findet man Reste der tonreichen Braun- und Rotlehme aus Kalkstein (Terra fusca und Terra rossa) präholozänen Alters vor. Aber auch in erosionsgeschützten ebenen Lagen treten gelegentlich leuchtend braune, plastische, leicht dispergierbare Tone der Terra fusca auf. Diese Böden sind Reste aus den wechselfeuchtsupertropischen Klimaabschnitten des Tertiärs und wahrscheinlich auch der Interglazialzeiten. In den warmfeuchten Klimaten sind infolge der starken Lösungsverwitterung des Kalksteines nur silikatische Substrate (Residualtone) zurückgeblieben.

Fossile Kalksteinbraunlehme (Terra fusca) bildeten sich aus den Residualtonen des miozänen Kalksteins beispielsweise in der Nähe von Wörrstadt aus. Die Umweltbedingungen im Miozän wurden später durch eine eiszeitliche Überlagerung archiviert.

Reliktische Kalksteinlehme (Terra calcis) findet man vor allem auf Kalk- und Dolomitgesteinen, wie im Saargau und Gutland, vor. In der Tertiärzeit kam es in der Trierer Bucht sogar zur Bildung abbauwürdiger Tonlagerstätten. Die Böden sind meist im Pleistozän abgetragen, umgelagert und durch rezente Bodenbildungen (z.B. Verbraunung) überprägt. Auf den Muschelkalkhochflächen des Westrich konnten sich diese sehr alten Böden somit nur ansatzweise auf den Verebnungsflächen halten.

Die Terra rossa (Kalksteinrotlehm) tritt in Rheinland-Pfalz nur sehr kleinflächig und selten auf. Ihr Tu-Horizont ist durch wasserarme Eisenhydroxidverbindungen (Hämatit) leuchtend braunrot bis rot gefärbt.

Naturnahe Böden im Uferbereich der Gewässer, unter Feucht- und Nasswiesenstandorten, unter stark extensiv genutztem Grünland, unter natürlichen Trockenstandorten, unter Heide (z.B. bei Lahnstein), unter Dünen (z.B. bei Speyer) und unter Sandrasen sowie intakte oder nur wenig entwässerte naturnahe Hoch-, Zwischen- und Niedermoore wurden in der Karte 12 („Böden als Archiv der Kultur- und Naturgeschichte“) ausgewiesen.

Beispielsweise wird der Pfälzer Wald durch zahlreiche kleinere Bäche zerschnitten. Im Schwemmland der Talsohlen haben sich Auenböden ausgebildet. An diese grenzen infolge einer abnehmenden Grundwasserschwankung überwiegend Gleyböden an. In der Nähe von Quellhorizonten bildeten sich Quellgleye aus, die über Hanggleye in podsolierte Formen an den Hängen übergehen. Stellenweise stehen in den Tälern auch kleinere naturnahe Nieder- und Anmoorböden an. Diese einst teilweise noch genutzten Feucht- und Nasswiesenstandorte liegen heute größtenteils brach. Durch die Biotopkartierung des LUWG konnte in den Tälern des Pfälzer Waldes somit landesweit Suchräume ausgegliedert werden, in denen sich tatsächlich naturnahe Böden befinden.

Böden wie die Bänder-Parabraunerde-Gesellschaften („Sand-Parabraunerden“) aus holozänen kalkfreien Flugsanden sind atypische, seltene Böden in Rheinland-Pfalz. Ein Wechsel der kräftig braunen, ton- und eisenhaltigen Bänderzonen mit helleren Bereichen erfolgt durch Toneinwaschungen (SEMMELE 1983). Beispielsweise sind diese Böden in der südlichen Spitze des Haardtrands, östlich von Bad Dürkheim und um Speyer verbreitet.

In Rheinland-Pfalz gibt es nur wenige Böden mit einer besonderen Bedeutung als Archiv der Kulturgeschichte. Hortisole (Hortes = Garten) findet man im landesweiten Überblick nur südlich von Remagen in Form von Parabraunerde-Hortisolen aus flugsandreichen lössarmen Sanden vor. Maßgeblich für ihre Entstehung ist eine intensive, meist jahrhundertelange gartenbauliche Kultur. Sie führt zu einer intensiven Tätigkeit der Bodentiere, welche die zugeführte organische Substanz sehr schnell zersetzen und sie mit dem mineralischen Unterboden vermischen, so dass sich ein stark humoser und mächtiger Ah-Horizont ausbilden kann („anthropogene Schwarzerden“).

4.6 Nichtstoffliche Gefährdungen von Bodenfunktionen

Unsere Böden sind infolge unseres direkten oder indirekten Handelns in vielerlei Hinsicht in ihrer Funktionalität gefährdet. Bereits die ersten sehr frühen Bodenschutzbestrebungen thematisieren die wesentlichen Merkmale, durch die es zu einer nichtstofflichen Gefährdung kommt: Die Erosions-, die Verdichtungs- und Verschlammungsneigung der Böden.

Die Bodenerosion ist ein Sonderfall, da mit dem Bodenverlust gleichzeitig alle anderen Bodenfunktionen betroffen sind und die Vermeidung der Bodenerosion essenziell zum Erhalt der Bodenfunktionen beiträgt.

Nichtstoffliche Gefährdungen von Bodenfunktionen am Beispiel der Erosion durch Wasser:

Lebensraumfunktionen: Durch Abtrag des humosen nährstoffhaltigen Oberbodenmaterials wird die natürliche Ertragsfähigkeit erheblich und nachhaltig gemindert. Da das Substrat und damit vor allem das humus- und nährstoffreiche Oberbodenmaterial abgetragen wird, reduziert sich die Fähigkeit des Bodens, Wasser aufzunehmen (Verringerung der Wasserspeicherung). Einträge, beispielsweise von Pflanzenschutzmitteln und Nährstoffen im Sedimentationsbereich, können zu einer Änderung des standortspezifischen Biotopentwicklungspotenzials führen.

Regel-, Filter- und Puffervermögen: Im Weiteren führt die Verlagerung von Boden und darin enthaltener Nähr- und Schadstoffe (z.B. Phosphor, Stickstoff, Pflanzenschutzmittel und Schwermetalle) vor allem unter bereits sehr geringmächtigen Böden zu einer erheblichen Verringerung des Filter- und Puffervermögens. Daraus kann eine stoffliche Beeinträchtigung von Grundwasser resultieren.

Archivfunktionen: Weiter entsteht durch Überdeckung oder Abtrag von Bodenmaterial eine Störung bzw. Zerstörung des Bodens als landschafts- und kulturgeschichtliches Archiv. Als Beispiel sei hier die im Boreal und der vorangegangenen Zeitepoche entstandene, heute in Rheinland-Pfalz seltene Schwarzerde (Tschernosem) genannt. Dieses Relikt aus einem kontinentalen früheren Steppenklima kommt heute fast ausschließlich kolluvial überdeckt oder mit gekappten unvollständigen Profilen in Rheinland-Pfalz vor.

In Rheinland-Pfalz findet man teilweise mehrere Meter mächtige Kolluvien vor, die aus erodiertem Bodenmaterial bestehen. Außerdem sind stark erodierte Bodenprofile (geköpfte Profile) entlang der Oberhänge vor allem in den Lösslandschaften keine Seltenheit (vgl. Abbildung 12).

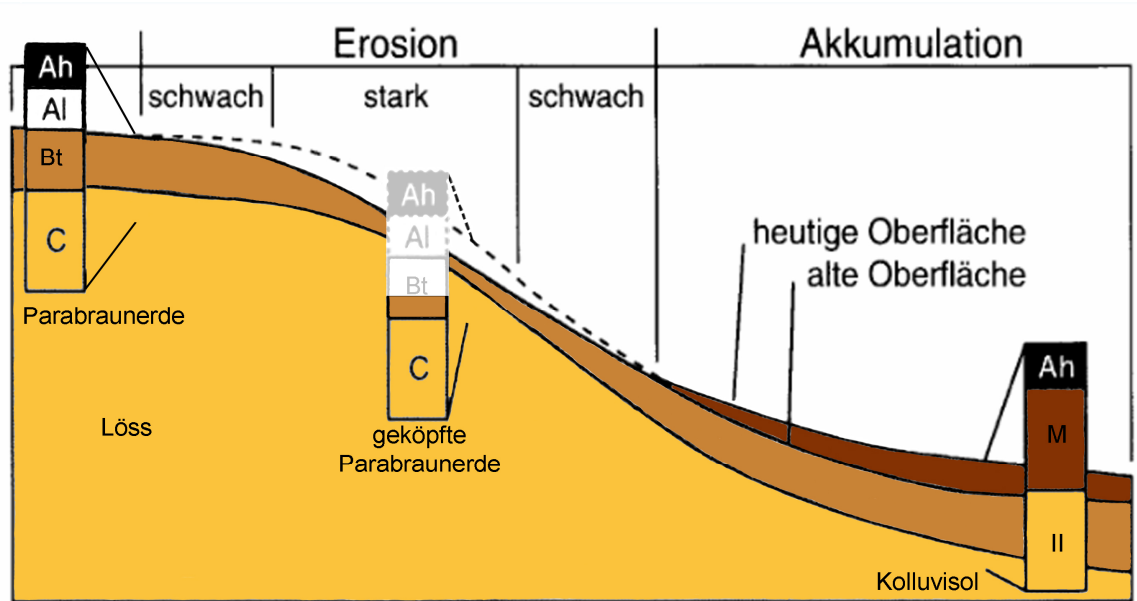


Abbildung 12: Geköpfte Profile und Kolluvisole (Quelle: nach [HTTP://WWW.WZW.TUM.DE/BK/PDFS/VORLESUNGEN/BK2_SS/LOESS.PDF](http://www.wzw.tum.de/BK/PDFS/VORLESUNGEN/BK2_SS/LOESS.PDF), verändert)

Das Phänomen der Bodenerosion steht neben Klimaveränderungen vor allem mit der Besiedlungsgeschichte unserer Landschaft in Zusammenhang. Charakteristische Namen der mittelalterlichen Siedlungsperiode, die meist auf die Beseitigung von Wald hindeuten, enden auf -rod, -rath, -reut und -rot(h).

Ein besonders starker Abtrag fand in der Zeit zwischen Christi Geburt und dem frühen Mittelalter (um 1000 n. Chr.) in der ersten Rodungsperiode sowie ab dem Spätmittelalter (1400 n. Chr.) statt. Die zu dieser Zeit beginnende „kleine Eiszeit“ brachte Starkregenereignisse und gravierende Bodenerosion mit sich. Im Auenbereich der Flüsse, wo das Wasser beim Übertreten der Ufer seine Transportkraft verlor, wurden diese Materialien bevorzugt abgelagert (BORK et al. 1998). Auch heute ist die Bodenerosion noch nicht zum Stillstand gekommen. Eine unsachgemäße Bewirtschaftung wie der vermehrte Anbau von Hackfrüchten bei starker Hangneigung und/oder die zunehmende Schlaggröße (= Zunahme der erosiven Hanglänge) kann die Bodenerosion fördern.

Selbst kleinere Bäche werden vor allem zur Zeit der Schneeschmelze und nach starken Regenfällen in trübe Schlammflüsse verwandelt (SEMMELE 1983). Zu den spektakulärsten Erosionsausbildungen zählt die Grabenerosion (> 50 cm tief, Synonym: gully-erosion, Runsenerosion) bis hin zu tiefen Schluchten in den stark reliefierten Lösslandschaften. Obgleich die Hänge heute häufig längst bewaldet sind, wirken die erosiven Prozesse in den Tiefenlinien hier meist fort (BORK et al. 1998).

Nachhaltige irreversible Schäden unterscheiden sich in „On-Site-“ und „Off-Site-Schäden“ (vgl. Tabelle 18). Die „On-Site-Schäden“ umfassen alle negativen Auswirkungen auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche selbst, die „Off-Site-Schäden“ treten dagegen in nachgeordneten Ökosystemen auf (RICHTER 1998).

Tabelle 18: Übersicht der Erosionsschäden (nach RICHTER 1998, verändert)

On-Site-Schäden	Off-Site-Schäden
➤ Verringerung des natürlichen Ertragspotenzials und der Erntemenge ➤ direkte Schädigung der Feldfrucht ➤ Austrag von mineralischen Bestandteilen und organischer Substanz ➤ Nährstoffverlust ➤ Degradierung der Bodenstruktur ➤ Verkürzung der Bodenprofile ➤ Reliefnivellierung ➤ Auswaschung von Saatgut und Keimlingen	➤ Entstehung mächtiger Kolluvialböden durch Akkumulation (sortierte Korngrößen, Ernteverluste durch unzureichende Belüftung) ➤ Überdeckung von Lebensräumen (Biotope) und ihren Lebensgemeinschaften (Biozönosen) ➤ Veränderungen kleinräumiger Landschaftsstrukturen ➤ Nährstoffeintrag in Gewässer und wertvolle Biotope ➤ Ablagerungen in Gräben, Hecken und Straßen

Mit der ABAG nach SCHWERTMANN et al. (1987) steht ein langjährig genutztes und anerkanntes Verfahren zur Beschreibung der Erosionsgefährdung der Böden zur Verfügung. Der mittlere jährliche Bodenabtrag (A) berechnet sich nach der Formel:

$$A \text{ [t/ha/a]} = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P,$$

wobei der R-Faktor (Regenfaktor) ein Maß für die gebietsspezifische Erosionswirksamkeit der Niederschläge ist, der K-Faktor (Bodenerodierbarkeitsfaktor) vor allem von der Bodenart abhängt und der L-Faktor (Hanglängenfaktor) sowie der S-Faktor (Hangneigungsfaktor) aus der Hanglänge bzw. der Hangneigung berechnet werden. Der C-Faktor ist der Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor, der P-Faktor der Erosionsschutzfaktor (vgl. Tabelle 19).

Der **K-Faktor** oder Erodierbarkeitsfaktor ist der spezifische auf den Boden bezogene Anteil des allgemeinen Abtrags (SCHWERTMANN et al. 1987).

Böden, deren Teilchen beim Aufprall eines Regentropfens (Splash-Effekt, vgl. Foto 2) leicht von einem Aggregat abplatzen, besitzen besonders hohe K-Faktoren. Zu letzterem trägt eine fehlende Kittwirkung von Ton und Humusstoffen bei. Vor allem sehr kleine und leichte Schluff- und Feinstsandpartikel (0,002 - 0,1 mm) mit ihren instabilen Aggregatverbänden sind



Foto 2: Ablösung und Transport von Bodenteilchen (Splash-Effekt, Quelle: [HTTP://WWW.TER-RESTRIS.DE/BILDER/BODEN/SPLASH](http://www.ter-restris.de/bilder/boden/splash))

sehr erosionsgefährdet. Infolge von Bodenporenverschlüssen durch Verschlämmung kommt es zusätzlich zu einem erhöhten Oberflächenabfluss. Dieses verstärkt die Erosionsneigung auch gröberer oder schwerer zu transportierender Komponenten des Bodens (AUERSWALD & SCHMIDT 1986). Ein hoher Steinanteil wirkt hingegen erosionshemmend. Er vermindert die Aufprallwirkung des Regentropfens, bremst die Schleppkraft des Wassers und erhöht den gröberen Porenanteil. Durch letzteren wird die Wasserdurchlässigkeit des Bodens erhöht und der Oberflächenabfluss minimiert.

Die Abflussgeschwindigkeit und die Menge des Oberflächenwassers werden durch die Hanglänge (**L-Faktor**) und die Hangneigung (**S-Faktor**) beeinflusst. Je höher die Fließgeschwindigkeit ist, umso höher ist die Transportkraft des Wassers. Die erosiv wirksame Hanglänge bis zu jenem Punkt, an dem Sedimentation einsetzt oder der Abfluss kanalisiert wird, ist meist kürzer als die tatsächliche Hanglänge: Straßen, Feldwege, Gräben, Feldraine, Bäche, kleine Depressionen, Schlagränder etc. begrenzen die Einzugsflächen und sind Barrieren für den Oberflächenabfluss.

Eine bewirtschaftungs- und bedeckungsbedingte Korrektur der Bodenabtragswerte erfolgt durch den **C-Faktor**. Er gibt an, um wie viel sich der Bodenabtrag durch eine bestimmte Bewirtschaftungsform im Vergleich zum unbedeckten Boden im Bearbeitungszustand eines Saatbettes, der so genannten Schwarzbrache, verringert. Unter Wald, Grünland und bei Anwendung von Direktsaatverfahren ist kaum mit Oberflächenabfluss zu rechnen. Hackfrüchte (Kartoffeln, Zuckerrüben) bedecken den Standort im Vergleich zu Getreide (außer Mais) für kürzere Zeitspannen im Jahresverlauf. Ist somit ein erhöhter Anteil an Hackfrüchten in der Fruchtfolge enthalten, erhöht sich der C-Faktor. Auf Grund der großen Vielfalt an Fruchtfolgen und Bearbeitungsmaßnahmen ist der C-Faktor der komplexeste Faktor der ABAG. Durch die Verwendung unterschiedlicher C- und P-Faktoren lassen sich „best- und worst-case“ Betrachtungen erstellen. Die Berechnung des C-Faktors sollte einer großmaßstäbigen Auswertung vorbehalten bleiben. Der Einsatz in der überörtlichen Planung ist nur dann empfehlenswert, wenn die Agrarstruktur sehr homogen ist (NIEDERSACHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE 2004).

Tabelle 19: Eingangsparmeter zur Bestimmung der ABAG-Faktoren

Faktor	Erläuterung des Faktors	Datenquelle	Faktorenermittlung
R-Faktor	Der Regen- oder Oberflächenabflussfaktor ist ein Maß für die gebietsspezifische Erosionswirksamkeit der Niederschläge.	Daten des DWD (1 * 1 km Raster)	Gemarkungsbezogene R-Faktoren wurden landesweit berechnet
K-Faktor	Der Bodenerodierbarkeitsfaktor ist vor allem abhängig von der Feinbodenart (K_B) und dem Skelettgehalt (K_S).	Datenbank des LGB (BoFA)	K_B: Ableitung nach Verknüpfungsregel 54 (AD-HOC-AG BODEN 1994) K_S: Bestimmung in Anlehnung an Verknüpfungsregel 58 (K_S, AD-HOC-AG BODEN 1994) entsprechender nachfolgender Grobbo-denklasseneinteilungen: $(x_{0-1}, g_{0-1}, gr_{0-1}) = 1,00$ $(x_{2-3}, g_{2-3}, gr_{2-3}) = 0,64$ $(x_{>3}, g_{>3}, gr_{>3}) = 0,39$
S-Faktor	Der Hangneigungsfaktor wird aus der erosionswirksamen Hangneigung errechnet.	Digitales Höhenmodell (20 * 20 m Raster)	Einstufung in Abhängigkeit von der Hangneigung (Verknüpfungsregel 5.11 der Tabelle 2 nach AD-HOC-AG BODEN 2000)
L-Faktor	Der Hanglängenfaktor wird einer angenommenen einheitlichen erosiven Hanglänge gleichgesetzt.	Nur großmaßstäbig ermittelbar	Konstant = 2
C-Faktor	Der Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor ist eine Funktion der Bewirtschaftungsweise. I. d. R. besitzt dieser Faktor durch die starke Differenzierung nur regionale Gültigkeit.	Nur großmaßstäbig ermittelbar	Konstant = 1
P-Faktor	Der Erosionsschutzfaktor ist eine Funktion angewandter Bodenschutzmaßnahmen (z.B. Konturbearbeitung, Terrassierung).	Nur großmaßstäbig ermittelbar	Konstant = 1

Werden bei der Beurteilung der Erosionsgefährdung ausschließlich die Faktoren Klima, Relief und Bodenbeschaffenheit betrachtet, spricht man von der potenziellen Erosionsgefährdung (vgl. Abbildung 13). Wird die tatsächliche Art und Weise der Bewirtschaftung (Berücksichtigung des C- und P-Faktors) berücksichtigt, so ist dieses die aktuelle Erosionsgefährdung.

Fragestellung: Wie ist die **potenzielle Erosionsgefährdung** zu beurteilen?

Kriterium: Geschätzter Bodenabtrag in t/ha/a durch die Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG).

Leitgedanke: Identifizierung von Gebieten, in denen Erosionsschutzmaßnahmen getroffen werden sollten.

Parameter: Feinbodenart, Humusgehalt, Skelettgehalt, langjährige Sommerniederschläge (Mai bis Oktober), Hangneigung und Hanglänge (R-, K-, L- und S-Faktor der ABAG entsprechend Tabelle 19).

Datengrundlage: Flächendatenbank des LGB, Bodenkartierung nach KA 3 und KA 4 (Oberboden), Niederschlagskarte des DWD im 1 • 1 km Raster, digitales Höhenmodell (DHM) im 20 • 20 m Raster.

Methodendokumentation: Auf Basis der ABAG nach SCHWERTMANN et al. (1987) programmtechnisch umgesetzt (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 2004).

Der R-Faktor oder Oberflächenabflussfaktor wurde gemarkungsbezogen aus den langjährigen mittleren Niederschlagsdaten berechnet.

Nach einem vereinfachten Verfahren zur Ermittlung des K-Faktors wurde die Bodenart (K_B) und der Stein- oder Skelettanteil (K_S) betrachtet (vgl. Tabelle 19, AD-HOC-AG BODEN 1994). Es wird in diesem Verfahren davon ausgegangen, dass der durchschnittliche Humusgehalt der Ackerböden, die vor allem erosionsgefährdet sind, 2 % beträgt und somit die Strukturstabilität vor allem durch die Bodenart geprägt wird (AG BODEN 1982).

Bei der Erstellung einer landesweiten Übersichtskarte ging man von einer einheitlichen erosiven Hanglänge (L-Faktor = 2) aus. Vorherrschende erosive Hanglängen lassen sich mit der hier vorliegenden Datenbasis allein nicht bestimmen. Dies bleibt einer großmaßstäbigeren Auswertung vorbehalten.

Auf die Darstellung der Erosionsgefährdung für Forst- und Grünlandflächen wurde verzichtet, da die aktuelle Erosionsgefährdung (s.o.) in der Regel als sehr gering einzustufen ist.

Die Klassifizierung der potenziellen Erosionsgefährdung erfolgte entsprechend Tabelle 20.

Tabelle 20: *Einstufung der potenziellen Erosionsgefährdung durch Wasser (ohne C- und P-Faktor)* (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 2004)

Abtrag in t/ha/a	Stufe	Klassifizierung
> 30	5	sehr groß
15 - 30	4	groß
10 - 15	3	mittel
5 - 10	2	gering
1 - 5	1	sehr gering
< 1	0	keine

In der Literatur wird der ermittelte Bodenabtrag oft mit der möglichen Bodenneubildungsrate verglichen. Hieraus wird der noch tolerierbare Bodenabtrag gebildet. Für die meisten unserer rezenten Böden muss jedoch von einer das gesamte Holozän umfassenden Entwicklungszeit ausgegangen werden. Für die Neuentstehung eines komplett verloren gegangenen Bodenprofils ist eine etwa 10.000-jährige Entwicklungsdauer nötig (SEMMELE 1972). In Hinblick auf eine nachhaltige Vorsorge erscheint die Festlegung der Bodenneubildungsrate somit nach bisherigen Erkenntnissen als vernachlässigbar. Schädigungen durch Bodenerosion sind somit angesichts der langen Zeitdauer der Bodenbildung irreversibel und nicht tolerabel.

Die Grundsätze der guten landwirtschaftlichen Praxis nach § 17 BBodSchG sollen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen ausschließen. In Rheinland-Pfalz nimmt das Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück) diese Aufgabe als Fachbehörde und Beratungsstelle wahr.

Der § 8 der BBodSchV „Ergänzende Vorschriften für die Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen auf Grund von Bodenerosion durch Wasser“ beschreibt lediglich die Verfahrensweise und fachlichen Zuständigkeiten bei bereits vorliegenden schädlichen Bodenveränderungen außerhalb der landwirtschaftlichen Erosionsfläche. „So genannte ‚on-site‘-Schäden“ auf der Erosionsfläche selbst werden von § 8 nicht berührt, weil man davon ausgeht, dass (a) der Landwirt ein eigenes, letztlich auch wirtschaftliches Interesse an der Vermeidung solcher Schäden haben müsste, und (b) Schäden dieser Art zunächst im Wesentlichen den Verursacher selbst treffen und daher nicht regelungsbedürftig im Sinne einer allgemein verbindlichen Gefahrenabwehr sind“ (HOLZWARTH et al. 2000). Der Bundesverband Boden e.V. hat in 2004 mit dem BVB-Merkblatt Band 1 „Handlungsempfehlungen zur Gefahrenabwehr bei Bodenerosion“ (BUNDESVERBAND BODEN 2004) eine diesbezügliche Handlungshilfe zur Unterstützung der zuständigen Bodenschutzbehörden und der beteiligten landwirtschaftlichen Beratungsstellen erarbeitet.

Wenn eine schädliche Bodenveränderung droht bzw. bereits vorgekommen ist, sind Maßnahmen der Gefahrenabwehr notwendig. Vorsorgemaßnahmen sind ebenfalls geboten, wenn auf Grund der langfristigen oder komplexen Auswirkungen einer Nutzung die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung durch Abtrag besteht (vgl. Abbildung 13). Konkrete Maßnahmen der Vor- und Nachsorge zum Erosionsschutz durch Wasser sind konkret Vor-Ort in einem detailscharfen Maßstab zu erheben und festzulegen.

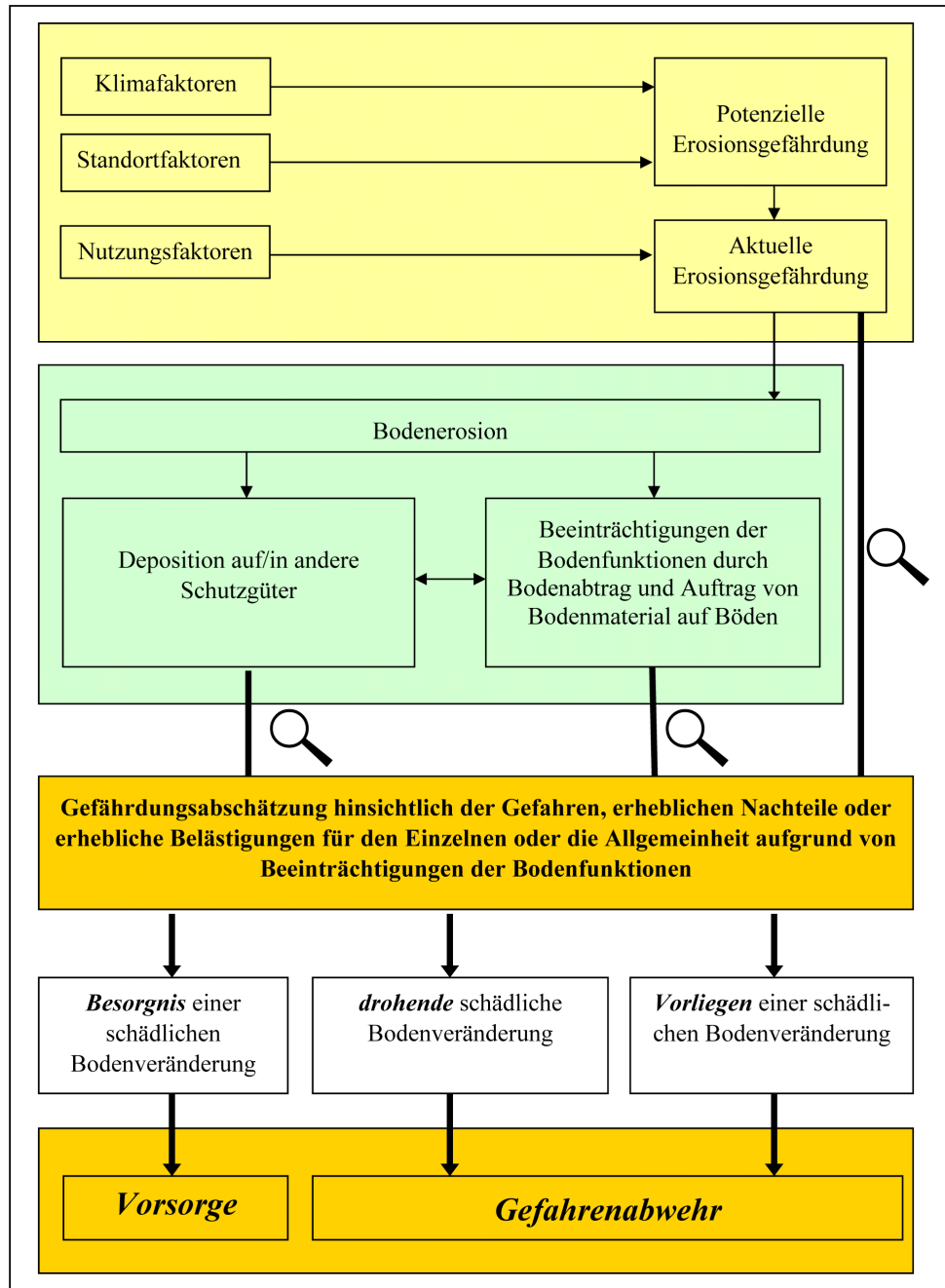


Abbildung 13: Entstehung und Beurteilung schädlicher Bodenveränderungen auf Grund von Bodenerosion durch Wasser (Quelle: BUNDESVERBAND BODEN 2004, S. 16)

Kartenbeschreibung

Besonders gefährdete Gebiete liegen in den sehr hängigen Weinbaulagen des mittleren Moseltals, in den hängigen Lagen des Rheinhessischen Tafel- und Hügellands, im südöstlichen Teil des Saar-Nahe-Berglands sowie des Unteren Nahelands, in Teilen des Haardtrands (Weinstraße) und des anschließenden Tieflands, im Zweibrücker Westrich, in den hängigen Lagen des Gutlands, Saargaus und in Teilen des Maifeld-Pellener Hügellands.

Gravitative Massenbewegungen und Erosion durch Wasser sind die nutzungsbedingten Probleme des Steillagen-Weinbaus an Rhein und Mosel sowie am Haardtrand.

Im Rheinhessischen Tafel- und Hügelland nimmt der Weinbau ebenfalls eine dominierende Rolle in der landwirtschaftlichen Nutzung ein. Es ist nach RICHTER (1965) wohl der am stärksten durch Erosion bedrohte Teil von Rheinland-Pfalz. Eine weit verbreitete, von Westen nach Osten zunehmend mächtigere Lössdecke trägt im erheblichen Maße dazu bei. Eine ganzjährig geschlossene Vegetationsdecke durch Wald und Grünland gibt es in diesem Naturraum nur in bescheidenem Umfang. Deshalb kommt erosionsmindernden Maßnahmen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ein hoher Stellenwert zu. Die meisten Niederschläge fallen von Mai bis Juni in Form von sehr erosionswirksamen Starkregen. Vor allem Hackfrüchte bieten in diesem Zeitraum noch keinen ausreichenden Erosionsschutz. Der südöstliche Teil des Unteren Nahetals gleicht dem zuvor beschriebenen Raum.

Im Zweibrücker Westrich (Teil des Saar-Pfälzischen Muschelkalkgebiets) und im Saar-Nahe-Bergland führt vor allem eine ackerbauliche Nutzung an steilen Hängen sowie die Erosionsdisposition oder -anfälligkeit der Böden zu einer hohen Erosionsgefährdung.

Die östlichen Bereiche der Rheinebene sowie Teile des Neuwieder Beckens sind aufgrund ihrer geringen Reliefenergie Beispiele für Landesteile mit sehr geringer und geringer Erosionsgefährdung.

5 Maßnahmen zur Sicherung der Bodenfunktionen

Eine irreversible Schädigung von Bodenfunktionen muss wegen nur eingeschränkter Sanierungsmöglichkeiten durch Schutzmaßnahmen vermieden bzw. vermindert werden. Dies ist Aufgabe des vorsorgenden Bodenschutzes. Zielgerichtete Maßnahmen zum Bodenschutz setzen die Kenntnis der Leistungsfähigkeit der Böden voraus. Durch die zuvor aufgeführten Bewertungsverfahren (vgl. Kapitel 4) können die Böden in Rheinland-Pfalz bezüglich ihrer Bodenfunktionen erfasst werden, für die vorrangig Maßnahmen zum Schutz zu ergreifen sind.

Grundsätzliche Maßnahmen zur Sicherung der Bodenfunktionen durch Vermeidungs-, Minimierungs- und Kompensationsmaßnahmen

- **Unterlassung** des Vorhabens auf Standorten bzw. Flächen mit außerordentlich schutzwürdigen und schutzbedürftigen Böden,
- **Veränderung** des Vorhabens durch Reduzierung der Ausmaße (Nutzungseinschränkung),
- **Wahl** eines anderen Standortes mit weniger schutzwürdigen bzw. schutzbedürftigen Böden,
- **Reduzierung der Neuinanspruchnahme** durch Flächenrecycling (Umnutzung bisheriger Brachflächenpotenziale) sowie
- **Einsatz** unmittelbarer technischer und/oder landschaftspflegerischer Maßnahmen/Vorkehrungen (z.B. Schutzanpflanzungen, Wasserhaushaltsregulierungen, LANDES-UMWELTAMT BRANDENBURG 2003).

Bei Planungs- oder Gestattungsvorhaben sind durch Festlegung alternativer Maßnahmen oftmals erhebliche nachhaltige Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen vermeidbar. Der vollständige Verzicht eines bodennutzenden Vorhabens stellt natürlich in aller Regel die bodenschonendste Maßnahme dar, steht aber vielfach Interessen einer nachhaltigen Entwicklung der Wirtschafts- und Siedlungspolitik entgegen.

Sind bei einem Planungs- oder Gestattungsvorhaben unvermeidbare Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen zu erwarten, so sollten die Eingriffe so weit wie möglich minimiert oder, wenn überhaupt möglich, kompensiert werden (vgl. Tabelle 21, BUNDESVERBAND BODEN 2001). Minimierungs- und Kompensationsmaßnahmen sollten dabei **expertengestützt** so gewählt werden, dass sie den Bodenfunktionen am meisten zugute kommen, die das Vorhaben am stärksten beeinträchtigen könnten.

Nicht mit den Anforderungen des Bodenschutzes vereinbar sind vor allem solche Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen (§ 18 BNatSchG, DEUTSCHER BUNDESTAG 2002), die eine erhebliche Bodenveränderung hervorrufen (z.B. Ausmagerung, Auf- und Einbringen von Materialien und Kappung der Oberböden mit dem Ziel einer Biotopentwicklung auf nicht standortgeeigneten Böden, BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2000).

Tabelle 21: Beispiele bodenschutzbezogener Minimierungs- und Kompensationsmaßnahmen (nach BUNDESVERBAND BODEN 2001 & LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG 2003, verändert)

Minimierungs- und Kompensationsmaßnahmen	Beispiele von Minimierungs- und Kompensationsmaßnahmen
Schonender Umgang mit Boden während der Bauphase	• Minimierung des Bodenaushubes soweit wie möglich und Wiederverwertung von Bodenaushub möglichst vor Ort • Nutzung von boden- und grundwasserschonenden Bau- und Pflastermaterialien • Bodenaushub wird getrennt nach humushaltigem kulturfähigem Ober-, Unterboden und geologischen Ausgangssubstrat zwischengelagert • Zwischenlagerung so kurz und flächensparend wie möglich • Zwischenlagerung auf bereits funktionsgestörten Böden • Errichtung rückbaubarer Baustraßen (Gefügemelioration) • Siehe auch Maßnahmen zur Verringerung der Schadverdichtung • Wenn möglich, Freihaltung von später nicht bebauten Flächen vom Baubetrieb • Administrative Maßnahmen wie die Einhaltung der bundes- und landesrechtlichen Vorschriften (Technischen Regeln im Umgang mit Bodenmaterial, Bauabfällen etc.) der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) und der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)
Schonende naturnahe Pflege und Gestaltung der Siedlungsbereiche	• Dachbegrünung (Nebeneffekt: verbessertes Kleinklima) • Verringerung des Betriebsmitteleinsatzes (z.B. chemischer Pflanzenschutz, mineralische Düngung) • Verwendung möglichst durchlässiger Versiegelungsarten in Abhängigkeit von der Nutzung
Minimierung der Nitrat- auswaschung	• Ackerbauliche Maßnahmen (z.B. Düngeberatung) • Maßnahmen zum Flächenmanagement (Umwandlung von Acker in Grünland, Ökolandbau, Flächenstilllegung etc.) • Minimierung der Stickstoff-Auswaschung unter Forst durch Kulturvorbereitung, Baumartenwahl, Bestandespflege und Bodenschutzkalkung • Verringerung der Eutrophierung z.B. durch eine Beschränkung der Großvieheinheiten pro Hektar, Belassen von Uferrandstreifen

Fortsetzung Tabelle 21:

Minimierungs- und Kompensations- maßnahmen	Beispiele von Minimierungs- und Kompensationsmaßnahmen
Reduzierung von Verdichtungen	• Reduzierung des Flächendrucks durch technische Maßnahmen (z.B. Kettenfahrzeuge, Zwillingsbereifung, Niedrigdruck- und Breitreifen zur besseren Druckverteilung, Anbringung von Spurlockerern etc.) • Befahren der Böden nur bei nachgewiesener Tragfähigkeit • Einhaltung ggf. notwendiger Baustillstandszeiten (z.B. in Zeiten hoher Bodenfeuchte) • Meliorative Maßnahmen wie (Tiefen-) Lockerung des verdichteten Bodens mit folgender Bodenruhe und Ausbringung von tief wurzelnden Pflanzen (z.B. Luzerne) • Pflugarme oder -lose Bearbeitung (z.B. Direktsaatverfahren oder konservierende Bodenbearbeitung auf schweren Böden) • Einbringung stabilisierend wirkender Stoffe in den Boden (z.B. organische Substanz; Kalk)
Reduzierung von Schadstoffeinträgen	• Immissionsschutz, wie Schutzanpflanzungen (z.B. an Straßenrändern); Verzicht oder Minimierung der mineralischen Düngung, des synthetischen Pflanzenschutzes, der Einarbeitung von bodenfremden Materialien • Bewirtschaftungsanpassung (z.B. Umstellung auf nicht stark schadstoffanreichernde Nahrungspflanzen) • Sorgsamer Umgang mit boden- und grundwassergefährdenden Substanzen (Anwendungsverzicht, Sicherungsmaßnahme) • Klärschlammausbringung nur auf nicht vorbelastete Böden unter gleichzeitiger Berücksichtigung der maximal zulässigen Belastung • Emissionsschutz (z.B. Entschwefelungsanlagen) • Sicherungsmaßnahmen (Immobilisierung der Schadstoffe), wie mehrjährige Aushagerung, Bodenschutzkalkung, Immobilisierung durch Zufuhr von Eisen- und Manganoxiden bzw. Tonmineralen, Einkapselung kontaminierter Bodenlagen durch Deponietechniken etc. • Dekontaminationsmaßnahmen (Schadstoffe werden durch verschiedene biologische, chemische und physikalische Verfahren aus dem Boden entfernt, wie Elektrolyse, Bodenluftabsaugung, Zwangsentgasung, Verbrennung, Bodenwäsche, Impfen des Bodens mit adaptierenden Pilzen etc.) oder Austausch des kontaminierten Bodens
Hochwasserschutz	• Reaktivierung natürlicher Überflutungsgebiete (Flussauen mit ihren Auenwäldern, Grünländern und Altarmen) • Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserrückhaltevermögens (z.B. Entsiegelung, Möglichkeit zur dezentralen Niederschlagsversickerung) und zur Reduktion der Erosion durch Wasser

Fortsetzung Tabelle 21:

Minimierungs- und Kompensationsmaßnahmen	Beispiele von Minimierungs- und Kompensationsmaßnahmen
Durchführung von Erosionsschutzmaßnahmen	• Bewirtschaftungsänderungen (schonende Bodenbearbeitungsverfahren, Zwischenfruchtanbau, Extensivierung, Fruchtfolgemaßnahmen, Mulchsaatverfahren, Untersaaten bis hin zum Anbauverbot erosionsfördernder Früchte) • Begrünte Flächenstilllegung (Dauer- oder Rotationsbrache) • Flurneuordnung und -gestaltung (Bodenordnung) • Schadloes Abführen des Oberflächenabflusses aus der Nutzfläche durch Verkürzung der erosiven Hanglänge (Anlage von Fanggräben/Abflussmulden, Filterstreifen, Feldrainen, Saumbiotopen, Konturbearbeitung) • Nutzung ingenieurbilogischer Bauweisen (z.B. Lebendverbauung, Trockenmauern etc.) • Vegetative Bedeckung der zur Erosion neigenden Böden (z.B. Pflanzung von Erosions-Schutzwald)
Kompensation zerstörter oder beeinträchtigter Bodenfunktionen (wenn möglich)	• Bodenentsiegelung (z.B. Rückbau der Versiegelung von Industrie- und Gewerbeflächen sowie nicht mehr benötigten Parkplätzen und Straßen) • Teilentsiegelung bzw. Belagänderung in Abhängigkeit von der Nutzung¹⁰ (z.B. Pflaster mit mindestens 30 % Fugenanteil, Rasengittersteine, Schotterterrassen o.ä.) • Wiedervernässung von meliorierten Flächen (Renaturierung von Feuchtgebieten und Moorrekultivierung) bzw. Entwässerung technogen vernässter Böden • Flächenrekultivierung und -melioration (z.B. Abdeckung ehemaliger Tagebaurestlöcher und Kiesgruben mit kultivierbarem Bodenmaterial, soweit das entstandene Sekundärbiotop nicht zu Naturschutzzwecken erhalten werden soll) • Nutzungsextensivierung z.B. durch Nutzungsänderungen (Grünland oder Wald statt Acker) • Abtrag von technogenen Substraten (v.a. Bauschutt, Aschen, Schlacken, Schlämme, Müll) • Siehe auch Maßnahmen zur Reduzierung der Verdichtung/der Schadstoffe im Boden

Ein bodengerechtes Handeln wird auch fachlich und finanziell gefördert. In Rheinland-Pfalz nehmen derzeit (Stand 2004) ca. 10.000 Betriebe mit 22 % der landwirtschaftlichen Gesamtfläche am „Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL)“ teil. Die bisherige Inanspruchnahme des FUL zeigt die zunehmende Bereitschaft der rheinland-pfälzischen Landwirte und Winzer, bodenschutzrelevante Maßnahmen im Landbau einzuführen bzw. diese beizubehalten. Landwirte und Winzer leisten somit über die „gute fachliche Praxis“ hinaus einen Beitrag zur Erhaltung der Lebensgrundlage nachfolgender Generationen. Für die

¹⁰ Nicht angebracht beispielsweise unter Tankstellen oder stark mechanisch belasteten Fahrbahnen.

Finanzierung des FUL wurden im Jahr 2004 deshalb insgesamt über 25,6 Millionen Euro Landes-, Bundes- und EU-Mittel bereitgestellt.

Gefördert wird derzeit beispielsweise:

- die integriert-kontrollierte Wirtschaftsweise im Acker-, Gemüse-, Obst- und Weinbau (z.B. eingeschränkter Einsatz von Stickstoffdüngern und Pflanzenschutzmitteln),
- die Einführung und Beibehaltung der ökologischen Wirtschaftsweise im Landbau,
- die Anlage von Randstreifen, Saum- und Bandstrukturen auf Ackerflächen,
- die Einführung und Beibehaltung der extensiven Grünlandbewirtschaftung,
- die Umwandlung einzelner Ackerflächen in extensiv genutztes Dauergrünland,
- die 10-jährige ökologische Stilllegung und Pflege ausgewählter Ackerflächen,
- die Einführung und Beibehaltung der umweltschonenden Rebflächenbewirtschaftung im Steil- und Steilstlagenweinbau,
- die Einführung und Beibehaltung der Mulchsaat- bzw. Mulchpflanzverfahren mit und unter ausbleibender Bodenbearbeitung sowie
- die einzelflächenbezogenen Maßnahmen des FUL (weiterführende Informationen unter www.pflanzenbau.rlp.de).

Fördermöglichkeiten zum Mulchsaatverfahren werden zukünftig auf alle Sommerfrüchte ausgedehnt. Neu sind ferner die nach der Bodengüte gestaffelten Prämien. Mit diesen einzelflächenbezogenen Maßnahmen sollen insbesondere auch bodenschutzrelevante Schritte gefördert werden.

Als räumliches Schwerpunktprogramm wurde im Jahr 1994 das Naheprogramm mit dem Förderungsschwerpunkt „Ökologisch Standortgerechte Landnutzung, Renaturierung von Bächen und Bachauen und Schaffung natürlicher Retentionsräume zum Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Nahe (Aktion Blau)“ aufgelegt. Dieses Programm ist ein Unterprojekt (A2) des IRMA II Projekts (INTERREG Rhein-Maas Aktivitäten). So wurden mit der „Aktion Blau“ mittlerweile über 1000 Gewässer naturnah umgestaltet und entwickelt. Mit dem Ankauf von Uferrandstreifen und der Gewässerrenaturierung werden auch die Auenböden im Land erhalten. Jedes Jahr werden hierzu ca. 5 bis 7,5 Millionen Euro bereitgestellt (DIENSTLEISTUNGSZENTRUM LÄNDLICHER RAUM 2004).

Zusätzlich werden mit der Erhaltung und Pflege naturnaher, arten- und strukturreicher Wälder sowie durch den Einsatz bodenschonender Maschinen bodenschutzrelevante Maßnahmen im Forst gefördert. Eine Erhöhung der Filter- und Pufferkapazität konnte häufig unter aufgekalkten Waldstandorten bei gleichzeitiger Betrachtung des bodenmikrobiologischen Gleichgewichtes nachgewiesen werden (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN 2003).

6 Ausblick

Zukunftsorientierte Schritte und Maßnahmen des LGB und LUWG in Rheinland-Pfalz haben das Ziel, den Bodenschutz auf allen Planungsebenen fest zu verankern sowie seine Akzeptanz in der Bevölkerung zu sichern und zu erhöhen.

Dazu werden Planern und der interessierten Öffentlichkeit künftig immer genauere und praxistauglichere Werkzeuge und Hilfestellungen zum Schutz der Ressource Boden geboten. Für das LGB ergeben sich folgende Aufgaben bei der Fortführung und Weiterentwicklung des Bodeninformationssystems Rheinland-Pfalz (BIS RP):

- der weitere Ausbau des FISBO und die Verdichtung der Datenbasis im BoFA,
- die weitere Integration von Fremddaten in das FISBO (z.B. durch die Einbindung von Klimadaten sowie nutzungs- und reliefbezogener Parameter),
- die Nutzung großmaßstäbiger Bodenfunktionskarten (bodenkundliche Interpretation der Bodenschätzungs- und Weinbergsbodendaten),
- die Entwicklung weiterer bodenschutzrelevanter Bewertungsverfahren sowie
- die Aufbereitung bodenschutzrelevanter Informationen für die Öffentlichkeit.

In langjähriger Arbeit wurden vom LGB digitale Datengrundlagen gesammelt, gepflegt und weiter ausgebaut. Landesweit ist somit die Datenlage der bodenkundlichen Grundinformationen auf den oberen Planungsebenen inzwischen gut.

Auf den mittleren und unteren Stufen ist sie hingegen verbesserungswürdig. Mit neuen Verfahren der Bodenkartierung wird die Datendichte angeglichen, so dass voraussichtlich bis Ende 2006 landesweit einheitliche Bodenkarten im Maßstab 1: 50.000 bereitgestellt werden.

In Zukunft können beispielsweise Vollzugsbehörden und Planer in Rheinland-Pfalz auf landesweite großmaßstäbige Datengrundlagen (Maßstab 1: 5.000 und größer) zurückgreifen. Durch die bodenfunktionsbezogene Auswertung digitalisierter Weinbergsboden- und Bodenschätzungsdaten sind dann auch parzellenscharfe Bodenbewertungen der landwirtschaftlichen Nutzflächen möglich. Die bodenkundliche Interpretation der forstlichen Standortkartierung erfolgt in Kooperation mit der Landesforstverwaltung. Handlungsbedarf für Gesamtbewertungen bisher einzeln beschriebener Bodenfunktionen ist besonders auf dieser parzellenscharfen Maßstabsebene gegeben.

Die sukzessiv fortlaufende Aktualisierung der, je nach Maßstabsebene, notwendigen Datengrundlagen ist auf der Homepage des LGB (<http://www.lgb-rlp.de>) unter der Abteilung 3 Boden/Grundwasser einsehbar.

Die Hauptbedeutung der Bodenfunktionsbewertung liegt zukünftig in der möglichst schonenden Lenkung anthropogener Bodenbeanspruchung (nachhaltige Planung).

Die vorliegende Bericht bietet bereits eine erste Arbeitsgrundlage der zukünftig möglichen Ausweisung von Bodenbelastungs- und Bodenschutzgebieten nach dem neuen Landesbodenschutzgesetz von Rheinland-Pfalz (§ 8 LBodSchG). Böden, welche ihre Bodenfunktionen in besonders hohem Maße erfüllen, sind vorrangig zu schützen. Erfüllen Böden hingegen kaum mehr natürliche Bodenfunktionen, sind sie eher für bauliche Nutzungen geeignet.

Mit dieser Broschüre soll ein kleiner Ausschnitt der großen Vielfalt „der Lebensgrundlage unter unseren Füßen“ vermittelt werden. Es soll ein erster Schritt sein, der den Dialog zwischen den für den Bodenschutz zuständigen Behörden und deren Kunden (Planern, Behörden und der allgemein interessierten Öffentlichkeit) in Rheinland-Pfalz fördert.

7 Literatur

AD-HOC-AG BODEN (1982): Inventur der Paläoböden in der Bundesrepublik Deutschland. Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und die Geologischen Landesämter. Geologisches Jahrbuch **F 14**, 361 S., Hannover.

AD-HOC-AG BODEN (1994): Methodendokumentation Bodenkunde. Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und die Geologischen Landesämter. Geologisches Jahrbuch **F 31**, 242 S., Hannover.

AD-HOC-AG BODEN (2000): Methodendokumentation Bodenkunde. 2. Aufl., Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und die Geologischen Landesämter. Geologisches Jahrbuch Reihe **G SG1**, 242 S., Hannover.

AD-HOC-AG BODEN (2001): Aktivitäten der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) zum Thema Bodenschutz (Bodenschutzplanung), 36 S., Hannover.

AG BODEN (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4 Aufl. (3. Aufl. 1982), 392 S., Hannover.

AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZGEBIETEN DER DBG (Hrsg. 1992): Strategie zur Reduzierung standort- und nutzungsbedingter Belastungen des Grundwassers mit Nitrat, 42 S., Oldenburg.

AUERSWALD, K. & PERGER, P. (1998): Bodenerosion durch Wasser- Ursachen, Schutzmaßnahmen und Prognose mit PC ABAG. AID-Heft **1378**, 38 S., Bonn.

AUERSWALD, K. & SCHMIDT, F. (1986): Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern- Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen. GLA-Fachberichte **1**, 74 S.

AUERSWALD, K. & SCHWAB, A. (1999): Erosionsgefährdung (C-Faktor) unterschiedlich bewirtschafteter Weinbauflächen. Die Weinwissenschaft **54**, S. 54-60, Geisenheim.

AUBENDORF, M., FELDHAUS, D., HENNINGS, V., MÜLLER, U., SCHREY, H., P., SIEMER, B. VORDERBRÜGGE, T. & WOURTSAKIS, A. (2003): Methodenkatalog zur Bewertung natürlicher Bodenfunktionen, der Archivfunktionen des Bodens, der Gefahr der Entstehung schädlicher Bodenveränderungen sowie der Nutzungsfunktion „Rohstofflagerstätte“ nach BBodSchG. Arbeitsheft Boden **2**, 73 S., Hannover.

BARTH, B., SCHNEIDER, C., SCHNEIDER, T. G., DORDA, D., EISINGER, D., DIDION, A. & ROYAR, H. (1996): Mardellen im saarländisch-lothringischen Schichtstufenland. Abh. Delattinia **22**, 285 S., Saarbrücken.

BAUER, I., BOR, J., HUTZLER-GARDT, U. & ROTH, C. (1996): Quantifizierung der natürlichen Boden-Schwermetallgehalte und der anthropogenen Kontaminationen. Ermittlung des Gefährdungspotenzials. In: MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN (Hrsg.): Bodenbelastungskataster Rheinland-Pfalz. Ber. **2**, 286 S., Mainz.

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hrsg. 2004): Bodenerosion. Wie stark ist die Bodenerosion auf meinen Feldern ? 1. Auflage, Freising.

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (Hrsg. 2004): Workshop. Europäische Bodenschutzstrategie. Diskussionsveranstaltung. Tagungsband. 120 S., München.

BAYRISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT & BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg. 2003): Das Schutzgut Boden in der Planung. Bewertung und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungsverfahren. 62 S., München.

BAYRISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg. 1998): Böden mit einer potenziell hohen Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte. 26 S., München.

BIELFELD, U. (1984): Aufbau eines vernetzten Biotopsystems. „Trocken- und Halbtrockenrasen“ in Rheinland-Pfalz. In: MINISTERIUM FÜR SOZIALES UND UMWELT (Hrsg.): Arten- und Biotopschutz in Rheinland-Pfalz. S. 21-29, Mainz.

BLOSSEY, S. & LEHLE, M. (1998): Eckpunkte zur Bewertung von natürlichen Bodenfunktionen in Planungs- und Zulassungsverfahren. Bodenschutz **4**, S. 131-137.

BLUME, H.-P. (Hrsg. 1990): Handbuch des Bodenschutzes. 2 Aufl., S. 686, Landsberg.

BOESS, J., DAHLMANN, I., GRUNREBEN, M. & MÜLLER, U. (2002): Schutzwürdige Böden in Niedersachsen. Hindernisse zur Umsetzung der Archivfunktionen im Bodenschutz, GeoFakten **11**, 6 S., Hannover.

BORK, H.-R., BORK, H., DALCHOW, C., FAUST, B., PIORR, H.-P., & SCHATZ, T. (1998): Landesentwicklung in Mitteleuropa. 328 S., Gotha, Stuttgart.

BOSCH, C. (1994): Versuch einer „Roten Liste natürlicher Böden“ zum Schutz von Seltenheit und Naturnähe von Böden. In: ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., EINSELE, G. & HARRESS, H.-M. (Hrsg. 1988 ff): Handbuch Bodenschutz. **17**. Lieferung, Kennz. 7050, S.1-9, Berlin.

BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg. 2000): Wiederherstellungsmöglichkeiten von Bodenfunktionen im Rahmen der Eingriffsregelung. Angewandte Landschaftsökologie **31**, 158 S., Bad-Godesberg.

BUNDES-BODENSCHUTZGESETZ (1998 BBodSchG): Gesetz zum Schutz vor Schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten. BGBl. I, 502 S., Bonn.

BUNDES-BODENSCHUTZVERORDNUNG (1999, BBodSchV): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999. BGBl. I, Nr. 36, 1554 S., Bonn.

BUNDESNATURSCHUTZGESETZ (2002 BNatSchG): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege. BGBl. I, 1193 S., Bonn.

BUNDESVERBAND BODEN (Hrsg. 2001): Bodenschutz in der Bauleitplanung. Vorsorgeorientierte Bewertung. 72 S., Berlin.

BUNDESVERBAND BODEN (Hrsg. 2004): Handlungsempfehlung zur Gefahrenabwehr bei Bodenerosion. BVB-Merkblatt **1**, 76 S., St. Augustin.

BUND-LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO 1998): Eckpunkte zur Bewertung von natürlichen Bodenfunktionen in Planungs- und Zulassungsverfahren- Sachstand und Empfehlungen der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO). In: ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., EINSELE, G. & HARRESS, H.-M. (Hrsg. 1988 ff): Handbuch Bodenschutz. **28**. Lieferung, Kennz. 9010, S. 1-20, Berlin.

BUND-LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO Hrsg. 2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. 3. überarbeitete und ergänzte Aufl. In: www.brandenburg.de/land/mlur/labo/hintergr.pdf.

CALMANO, W. (1991): Schwermetalle in kontaminierten Feststoffen. 237 S., Köln.

DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (DVWK Hrsg. 1996): Wasserwirtschaftliche Forderungen an die Landnutzungsplanung zur Verminderung des Nitrat-austausches insbesondere in Wasserschutzgebieten. DVWK-Regeln **111**, 42 S., Bonn.

DIENTSTLEISTUNGSZENTRUM LÄNDLICHER RAUM (DLR 2004): FUL-Förderprogramm Umwelt-schonende Landbewirtschaftung. http://www.pflanzenbau.rlp.de/internet/Dienststellen/dlrrnh/web_dienst.nsf/0/cb2625239384829cc1256da5002ebed5?OpenDocument

ECKL, H. & RAISSI, F. (1999): Hydrogeologische und bodenkundliche Anforderungen an An-träge zur Festsetzung von Wasserschutzgebieten für Grundwasser. GeoFakten **2**, 4 S., Hannover.

EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg. 2002): Mitteilung der Kommission an den Rat, das Euro-päische Parlament, den Wirtschafts- und Sozialausschuss sowie an den Ausschuss der Re-gionen. Hin zu einer spezifischen Bodenschutzstrategie. 7 S., Brüssel.

EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg. 2003): Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament. Überprüfung der Umweltpolitik 2003. Konsolidierung der Umweltdi-mension nachhaltiger Entwicklung. 96 S., Brüssel.

FREDE, H.-G. & DABBERT, S. (Hrsg. 2000): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirt-schaft. 2. Aufl., 451 S., Landberg.

GEOLOGISCHES LANDESAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (1989): Nur wer den Boden kennt kann ihn schützen. 24 S., Krefeld.

HAASE, G. (1978): Zur Ableitung und Kennzeichnung von Naturraumpotenzialen. Peter-manns Geographische Mitteilungen **122**, S. 113-125, Osnabrück.

HARRACH, T. & SAUER, S. (Hrsg. 2001): Zeitliche und räumliche Aspekte der Beziehung von Landwirtschaft und Naturschutz aus bodenkundlicher Sicht. In: AKADEMIE FÜR DIE LÄNDLICHEN RÄUME SCHLESWIG-HOLSTEINS (Hrsg. 2002): Naturschutz und Landwirtschaft. Neue Überlegungen und Konzepte. S. 130-148, Eckernförde.

HAUENSTEIN, M. & HUTZLER-GARDT, U. (1996): Inventur der Gehalte an Spurenelementen und organischen Schadstoffen in Böden von Rheinland-Pfalz. In: MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN (Hrsg.): Bodenbelastungskataster Rheinland-Pfalz. Ber. **1**, 210 S., Mainz.

HAUENSTEIN, M. (1997): Bodenbelastungskataster Rheinland-Pfalz. In: MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN (Hrsg.), Umweltjournal **14**, S. 18-21, Mainz.

HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg. 2001): Beiträge zum Boden-schutz in Hessen. Bodenschutz im Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie. Umwelt und Geologie, Böden und Bodenschutz in Hessen **1**, 82 S., Wiesbaden.

HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg. 2003): „Unter den Füßen aus dem Sinn?“ Boden(schutz) in Bildung und Öffentlichkeitsarbeit. Umwelt und Geologie, Böden und Bodenschutz in Hessen **5**, 82 S., Wiesbaden.

HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung): Methodendokumen-tation. Boden und Bodenschutz in Hessen, Wiesbaden.

HINTERMEIER-ERHARD, G. U. & ZECH, W. (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. 205 S., Stuttgart.

HOLZWARTH, F., RADTKE, H., HILGER, B. & BACHMANN, G. (2000): Bundes-Bodenschutzgesetz/Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung. 2. neu bearb. und erw. Aufl., 448 S., Berlin.

INSTITUT FÜR INTERNATIONALE UND EUROPÄISCHE UMWELTPOLITIK (Ecologic, 2004): Aktuelle Entwicklungen zum nachhaltigen Schutz von Böden auf europäischer Ebene. In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, S. 30-50, München.

KUNZE, H., ROESCHMANN, G. & SCHWERDTFEGER, G. (1994): Bodenkunde. 5 Aufl., 424 S., Stuttgart.

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (Hrsg. 1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz. Schlussfolgerungen für die gute fachliche Praxis. Arbeitspapier **266**, 131 S., Darmstadt.

KÜSTER, H. (1999): Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa. Von der Eiszeit bis zur Gegenwart. 423 S., München.

LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT (Hrsg. 1998): Bodenschutz in der räumlichen Planung. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz **29**, Halle.

LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg. 2001a): Materialsammlung. Schonende Bewirtschaftung sensibler Niederschlagsflächen und Bachauen in der Landwirtschaft. 130 S., Mainz.

LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg. 2001b): Materialsammlung. Schonende Bewirtschaftung sensibler Niederschlagsflächen und Bachauen in der Landwirtschaft. 42 S., Mainz.

LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg. 2001c): Grundwasserbericht 2000. 123 S., Mainz.

LANDESAMTES FÜR UMWELTSCHUTZ UND GEWERBEAUFSICHT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg. 1991): Biotopkartierung in Rheinland-Pfalz. Materialien zur Landespflege. 140 S., Oppenheim.

LANDESAMTES FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg. 1998): Leitfaden flächenhafte Niederschlagsversickerung. Handlungsempfehlung für Architekten, Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden. 30 S., Mainz.

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg. 2000): Boden nutzen, Böden schützen. Fragen und Antworten rund um das Thema Geländeauffüllungen. 30 S., Stuttgart.

LANDES-BODENSCHUTZGESETZ (LBodSchG 2005): Landesgesetz zur Einführung des Landesbodenschutzgesetzes und zur Änderung des Landesabfallwirtschafts- und Altlastengesetzes. Rheinland-Pfalz. G3231, Nr. 16, S. 302, Mainz.

LANDESPFLEGEGESETZ (2002 LPfIG): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege. BGBl. I, 1193 S., Bonn.

LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG (Hrsg. 2003): Anforderungen des Bodenschutzes bei Planungs- und Zulassungsverfahren im Land Brandenburg. Handlungsanleitung. Fachbeiträge des Landesumweltamtes **78**, Bodenschutz **1**, 57 S., Potsdam.

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN (Hrsg. 1996): Bodenbelastungskataster Rheinland-Pfalz. Bericht **1** u. **2**, 210 S. u. 286 S., Mainz

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ (Hrsg. 1997): Umweltbericht 1996. Mainz.

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ (Hrsg. 2003): Waldschadensbericht für Rheinland-Pfalz 2003. 38 S., Trippstadt.

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg. 2001): Boden gut machen. Konzeption zur Verbesserung des Bodenbewusstseins in Fachöffentlichkeit und Bevölkerung. 59 S., Aachen, Dortmund.

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg. 1996): Boden, Böden, Bodenschutz in Baden-Württemberg. „Boden“ Heft **1**, 60 S., Stuttgart.

MÜCKENHAUSEN, E. (1975): Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. 581 S., Frankfurt.

MÜLLER, U., DAHLMANN, I., BIERHALS, E., VESPERMANN, B. & WITTENBECHER, C. (2000): Bodenschutz in Raumordnung und Landschaftsplanung. Arbeitsheft Boden **4**, 26 S., Hannover.

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg. 1997): Böden in Niedersachsen. Teil 1: Bodeneigenschaften Bodennutzung und Bodenschutz Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS. 127 S., Hannover.

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg. 2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Arbeitsheft Boden **2**, 409 S., Hannover.

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE & NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg. 2003): Schutzwürdige und Schutzbedürftige Böden in Niedersachsen. Nachhaltiges Niedersachsen **25**, 41 S., Hildesheim.

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (Hrsg. 2004): Arbeitshilfe. Boden und Wasser im Landschaftsrahmenplan. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen **2**, Hildesheim.

PLANUNGSGRUPPE ÖKOLOGIE UND UMWELT (2003): Empfehlungen zur Klassifikation von Böden für räumliche Planungen. Zusammenfassung und Strukturierung von relevanten Methoden und Verfahren zur Klassifikation und Bewertung von Bodenfunktionen für Planungs- und Zulassungsverfahren mit dem Ziel der Vergleichbarkeit. LABO-Bericht, 87 S., Hannover.

RICHTER, G. (1965): Bodenerosion, Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland. Hrsg.: Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung **152**, 592 S., Bad Godesberg.

RICHTER, G. (Hrsg. 1998): Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. 264 S., Darmstadt.

ROTHSTEIN, B., MIMLER, M., SCHRÖDER, D. LENARD, S., TERNES, I. (2001): Erstellung und Bewertung von Karten zur räumlichen Verteilung von Schwermetallgehalten in einem Mittelge-

birgsraum anhand geostatistischer Verfahren. Mitteilung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft **96**, II, S. 549-550, Osnabrück.

SABEL, K.-J. & SPIES, E.-D. (2003): Böden im Rhein-Main-Gebiet als Archive der Natur- und Kulturgeschichte. Schriftenreihe der deutschen geologischen Gesellschaft **8**, S. 165-179, Hannover.

SCHATZ, T. & SCHMIDT, R. (2003): Archivböden. Exemplarische Inventarisierung und Bewertung im Land Brandenburg. Bodenschutz **3**, S. 74-80, Berlin, Bielefeld, München.

SCHEFFER, F. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. Scheffer/Schachtschabel. **15.** Neubearb. und erw. Aufl., 593 S., Berlin.

SCHMIDT, W., STAHL, H. & EIKENBUSCH, J. (1996): Bodenerosion durch Wasser. Ein Maßnahmenkatalog. Broschüre **2**, neu bearb. Aufl., Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden-Pillnitz.

SCHÖNHALS, E. (1960): Spät und nacheiszeitliche Entwicklungsstadien von Böden aus äolischen Deckensedimenten in Westdeutschland. Soil Science **4**, S. 283-290, Madison.

SCHRAPS, W. G. & SCHREY H., P. (1997): Schutzwürdige Böden in Nordrhein-Westfalen. Bodenkundliche Kriterien für eine flächendeckende Karte zum Bodenschutz. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde **160**, S. 407-412, Weinheim.

SCHRÖDER, D. (1983): Böden. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft **37** S. 159-284, Osnabrück.

SCHRÖTER, F. (1999): Neue rechtliche Regelungen: Bodenschutz in der Bauleit- und Landschaftsplanung. Garten und Landschaft **3**, S. 38-40, München.

SCHWERTMANN, U., VOGL, W. & KAINZ, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2. Aufl., 64 S., Stuttgart.

SEMME, A. (1972): Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland. Erdkundliches Wissen **30**, 149 S., Wiesbaden.

SEMME, A. (1993): Grundzüge der Bodengeographie. 3 Aufl., Teubner Studienbücher Geographie, 123 S., Stuttgart.

STADTVERWALTUNG LUDWIGSHAFEN (Hrsg. 2003): Umweltbericht 2003. 173 S., Ludwigshafen.

STÖHR, W. TH. (1963): Der Bims (Trachyttuff), seine Verlagerung, Verlehmung und Bodenbildung (Lockerbraunerden) im südwestlichen Rheinischen Schiefergebirge. Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch. **91**, S. 318-337, Wiesbaden.

THOENES, H. W. (2003): Bodenbewusstsein schaffen! Warum und wie? Plenarvortrag zu den 3. Markredwitzer Bodenschutztagen, S. 207-215, Markredwitz.

UMWELTBEHÖRDE HAMBURG (Hrsg. 2000): Funktionale Bewertung von Böden bei großmaßstäbigen Planungsprozessen. Bewertungsverfahren. Überarbeitete Fassung, 92 S., Hamburg.

UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg. 1995): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren. AG Bodenschutz Luft, Boden, Abfall **31**, 34 S., Stuttgart.

VEREIN NATURPARK PFÄLZERWALD (Hrsg. 2002): Pflege- und Entwicklungsplan Naturpark Pfälzerwald. 121 S., Neustadt.

VORDERBRÜGGE, T. (1997): Das landschaftliche Ertragspotenzial der Böden. Eine Methode im Fachinformationssystem Bodenkunde/Bodenschutz am Hessischen Landesamt für Bodenforschung. *Boden und Landschaft* **17**, S. 130-148, Giessen.

WISHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. (1987): Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U.S. Dept. Agric., Agricultural Handbook **537**, Washington (DC).

ZAKOSEK, H. (1962): Zur Genese und Gliederung der Steppenböden im nördlichen Oberrhein. Abhandlung des hessischen Landesamtes für Bodenforschung **37**, 102 S., Wiesbaden.

Anhang

Abkürzungen¹¹

ALK	Amtliches Liegenschaftskataster
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartografisches Informationssystem
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutzverordnung
BF	Bodenformen
BFG	Bodenformengesellschaften
BIS RP	Bodeninformationssystem Rheinland-Pfalz
BK	Bodenkarte
BNatSchG	Bundes-Naturschutzgesetz
BoFA	Bodenformenarchiv
BÜK	Bodenübersichtskarte
ETP <i>Haude</i>	Verdunstung nach Haude
FISBO	Fachinformationssystem Boden
FK	Feldkapazität
G1 bis G6	Grundnässestufen (vgl. Tabelle 5)
GLA	Geologisches Landesamt
H1 bis H6	Hangnässestufen
HLUG	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
KA 4/3	Bodenkundliche Kartieranleitung 4./3. Auflage
L	Bodenart Lehm
LABO	Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LGB	Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz
LUWG	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht
MUF	Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz
nFK	nutzbare Feldkapazität
nFK _{dB}	nutzbare Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraumes
NH ₄ ⁺	Ammonium
NO ₃ ⁻	Nitrat
N _v	Jahresniederschlag
S	Bodenart Sand
S1 bis S6	Saunässestufen
T	Bodenart Ton
U	Bodenart Schluff
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung

¹¹ Weitere einzeln auftretende Abkürzungen werden direkt im Text erklärt.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Boden als Hauptbestandteil des Naturhaushaltes	3
Abbildung 2: Schematische Darstellung von Bodenfunktionen (Quelle: HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE 2001, S. 33)	4
Abbildung 3: Bodenkundliche Flächendaten im „Fachinformationssystem Boden“ (FISBO), Stand: September 2004	8
Abbildung 4: Schematische Darstellung des Wasserrückhaltevermögens der Böden (Quelle: HTTP://WWW.BAYERN.DE/WWA-BT/BODEN/NEU_BODEN/WASSER-RUECKHALTE_1_3.HTM)	22
Abbildung 5: Übersicht über das Verhalten von Schadstoffen in Böden (Quelle: nach NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 1997, S. 8, verändert)	28
Abbildung 6: Der Stickstoffkreislauf	29
Abbildung 7: Nitratstickstoffeinträge (kg/ha im Jahr) an sechs Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen im Verlauf von 19 Messjahren (Quelle: MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN 2003, S. 15)	31
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Nitratauswaschungsgefährdung am Beispiel eines unterschiedlich mächtigen Lössstandortes (Quelle: nach ECKL & RAISSI 1999, S. 3, verändert)	34
Abbildung 9: Abhängigkeit der Konzentration des gelösten Cadmiums bzw. Bleis vom pH-Wert (Quelle: CALMANO 1999)	38
Abbildung 10: Quellen der Luftverschmutzung in Deutschland; Verteilung der Jahresemissionen 2001 (Quelle: MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN 2003, S. 26)	42
Abbildung 11: Schematische Darstellung eines Wölbackers (Quelle: KÜSTER 1999, S. 127)	46
Abbildung 12: Geköpfte Profile und Kolluvisole (Quelle: nach HTTP://WWW.WZW.TUM.DE/BK/PDFS/VORLESUNGEN/BK2_SS/LOESS.PDF , verändert)	52
Abbildung 13: Entstehung und Beurteilung schädlicher Bodenveränderungen auf Grund von Bodenerosion durch Wasser (Quelle: BUNDESVERBAND BODEN 2004, S. 16)	58

Fotoverzeichnis

Foto 1: Historische Weinbergsterrassen unter Wald (St. Martin/Südliche Weinstraße)	47
Foto 2: Ablösung und Transport von Bodenteilchen (Splash-Effekt, Quelle: HTTP://WWW.TERRESTRIS.DE/BILDER/BODEN/SPLASH)	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Nichtstoffliche und stoffliche Gefährdung von Bodenfunktionen (nach PLANUNGSGRUPPE ÖKOLOGIE UND UMWELT 2003, verändert).....	5
Tabelle 2:	Benötigte Datenbestände in verschiedenen Planungsebenen.....	7
Tabelle 3:	Fünfstufiges Schema für die Bodenbewertung (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE UND NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 2003).....	10
Tabelle 4:	Bewertete Bodenfunktionen	11
Tabelle 5:	Einstufung des potenziellen Grundwassereinflusses (HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE in Vorbereitung).....	13
Tabelle 6:	Einstufung des natürlichen Ertragspotenzials von Böden nach Tabelle 3 am Beispiel der Nutzung unter Acker (nach HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE in Vorbereitung, verändert)	14
Tabelle 7:	Zuordnung von Böden zu Standorttypen oder -gruppen sowie deren Bewertung (HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE in Vorbereitung)	19
Tabelle 8:	Beispiele der nutzbaren Feldkapazität (nFK), des Totwasseranteils (TW) und der Feldkapazität (FK) in Abhängigkeit von der Bodenart.....	23
Tabelle 9:	Ermittlung der Begrenzung des durchwurzelbaren Bodenraumes (VORDERBRÜGGE 1997)	24
Tabelle 10:	Die (nutzbare) Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraumes als Bestandteil des Naturhaushaltes (nach SAUER & HARRACH 2002, verändert)	25
Tabelle 11:	Einstufung der nutzbaren Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum (nach AG BODEN 1982, verändert)	26
Tabelle 12:	Ausweisung von grund-, hang- und stauwasserbeeinflussten Böden	27
Tabelle 13:	Einstufung des Nitratrückhaltevermögens (HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE IN VORBEREITUNG).....	33
Tabelle 14:	Bewertung der Austauschhäufigkeit (Quelle: NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 1997)	34
Tabelle 15:	Ursachen anthropogen bedingter Schwermetallanreicherung	37
Tabelle 16:	Ursachen natürlicher und anthropogener Bodenversauerung (SCHEFFER 2002).....	41
Tabelle 17:	Beispiele typischer Archivböden in Rheinland-Pfalz	48
Tabelle 18:	Übersicht der Erosionsschäden (nach RICHTER 1998, verändert).....	53
Tabelle 19:	Eingangsparameter zur Bestimmung der ABAG-Faktoren	55
Tabelle 20:	Einstufung der potenziellen Erosionsgefährdung durch Wasser (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 2004).....	57
Tabelle 21:	Beispiele bodenschutzbezogener Minimierungs- und Kompensationsmaßnahmen (nach BUNDESVERBAND BODEN 2001 & LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG 2003, verändert).....	61

Kartenverzeichnis

- Karte 1: Natürliches Ertragspotenzial
- Karte 2: Natürliches Ertragspotenzial landwirtschaftlich genutzter Böden
- Karte 3: Standortpotenzial für die Entwicklung von Biotopen extrem nasser und extrem trockener Böden
- Karte 4: Wasserrückhaltevermögen
- Karte 5: Grund-, stau- und hangnasse Böden
- Karte 6: Rückhaltevermögen leicht wasserlöslicher Stoffe
- Karte 7: Auswaschungsgefährdung leicht wasserlöslicher Stoffe
- Karte 8: Potenzielle Sickerwasserspende im langjährigen Mittel der Jahre 1961-1990
- Karte 9: Retentionsvermögen für Cadmium
- Karte 10: Retentionsvermögen für Blei
- Karte 11: Retentionsvermögen für Säuren
- Karte 12: Böden als Archiv der Kultur- und Naturgeschichte
- Karte 13: Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser

Verteilerhinweis:

Diese Informationsschrift wird von der Landesregierung von Rheinland-Pfalz im Rahmen ihrer verfassungsgemäßen Verpflichtung zur Unterrichtung der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme der Herausgeberin zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

