

UmweltWissen

## Umweltmedium Boden



„Sauberen Boden“ kennen wir nicht, Boden sehen wir eher als Dreck, den wir von Händen oder Schuhen abwischen. Dies unterscheidet ihn von den anderen Umweltmedien, denn „reines Quellwasser“ und „frische Luft“ sind Inbegriffe einer gesunden Umwelt. Wir nehmen den Boden nur als Fläche wahr, auf der wir stehen. Uns entgeht, welche Vielfalt uns zu Füßen liegt und wir haben die alte Ehrfurcht verloren, mit der frühere Generationen an „Mutter Erde“ dachten.

Auch wenn wir den Boden kaum noch im Blick haben, beeinflussen wir ihn doch auf vielfältige Weise, am deutlichsten sichtbar durch Überbauung, unauffälliger durch Schadstoffbelastung oder Erosion. Die meisten Bodenveränderungen sind – wenn überhaupt – nur in geologischen Zeiträumen rückgängig zu machen.

In dieser Publikation finden Sie eine Einführung in die ökologischen Zusammenhänge im Umweltmedium Boden. Weitere Informationen finden Sie in unserer Publikation

► [Bodenbelastungen – eine Übersicht.](#)

### 1 Böden – ein Mosaik in der Landschaft

Wie ein Mosaik wechseln die Böden in einer Landschaft oft sehr kleinräumig. Diese Vielfalt entwickelt sich durch zahlreiche Prozesse der natürlichen Bodenentwicklung (s. Abschnitt 1.1), wobei neben den zahlreichen Bodenbestandteilen (s. Abschnitt 1.2) auch die Lage eines Bodens in der Landschaft sowie die Klimabedingungen während der Bodenentwicklung entscheidend sind. Nicht zuletzt hat auch die Bewirtschaftung sehr großen Einfluss auf die Bodenentwicklung (s. Abb. 1).

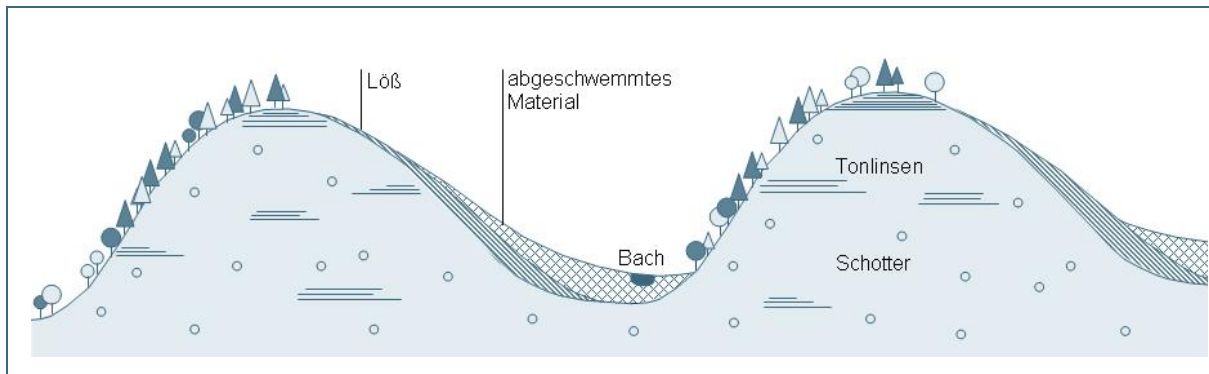


Abb. 1: Bodenmosaik im Tertiärhügelland. Ausgangsmaterial sind tertiäre Schotter, die von Tonlinsen durchsetzt sind. Nach der letzten Eiszeit wurde im Windschatten der Kuppen Löß angeweht. Lößböden sind sehr fruchtbar und wurden schon früh in Kultur genommen. Bodenbearbeitung, Düngung und Kalkung haben diese Böden tiefgreifend verändert. Bodenmaterial wurde abgeschwemmt, so dass die ackerbaulich genutzten Hänge heute flacher sind. Dagegen sind die Böden im Talgrund tiefgründiger und nährstoffreicher. Tiefergelegene Böden sind zudem häufig vom Grundwasser beeinflusst.

Die bewaldeten Hänge sind steiler und kleinräumig sehr tonig, wenn Tonlinsen an der Oberfläche anstehen.

### 1.1 Prozesse der Bodenentwicklung

Boden ist das mit Leben erfüllte Verwitterungsprodukt der Erdkruste – also nur die oberste schmale Schicht, die entsteht, wenn das **Ausgangsgestein** verwittert: Temperatur- und Druckwechsel schaffen Ritzen und Klüfte, ebenso die Frostsprengung. Durch Wind, Regen und fließendes Wasser wird das Gestein mechanisch abgerieben. Zudem löst Wasser Kationen aus dem Gestein und zersetzt es dadurch. So entstehen in Kalkstein-Gebieten eindruckliche Felsformationen und Höhlen.

**Pflanzen** sind ein weiterer wichtiger Faktor der Bodenbildung (s. Abb. 2). Zunächst siedeln sich typische Pioniere wie Moose oder Flechten an. Wird der Boden tiefgründiger, können auch höhere Pflanzen gedeihen. Pflanzen geben Säuren ab und lösen so Minerale aus dem Gestein, die sie für ihr Wachstum benötigen. Die Wurzeln lockern Ritzen und Gesteinsspalten. Aus der Pflanzenstreu entsteht Humus, der in der obersten Bodenschicht intensiv mit dem Mineralboden vermischt ist.

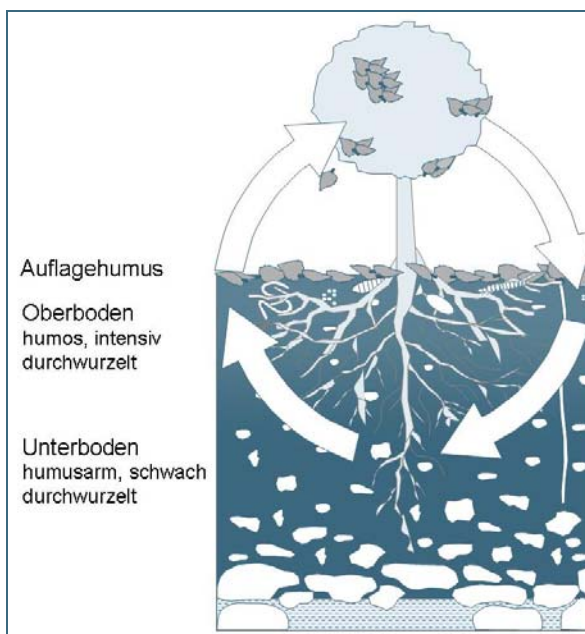


Abb. 2: Schematisches Bodenprofil. Boden entsteht aus dem Ausgangsgestein, das der chemischen und physikalischen Verwitterung und der Wirkung von Lebewesen ausgesetzt ist.

Die Bodenentwicklung geht sehr langsam vor sich: Im Durchschnitt dauert es ca. 15.000 Jahre, bis ein Meter Boden entsteht. Dabei entstehen Horizonte, die durch Färbung, Chemismus oder Textur voneinander unterscheidbar sind. Wichtige Prozesse der Bodenentwicklung sind z.B.:

- **Versauerung:** Bei der Verwitterung werden basische Ionen (Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium) freigesetzt. Sie werden mit dem Sickerwasser in tiefere Bodenschichten verlagert, so dass der Boden im Lauf der Zeit von oben nach unten versauert.
- **Verbraunung, Verlehmung:** In entkalkten Böden verwittern auch eisenhaltige Minerale. Dadurch bilden sich in unserem Klima kräftig braune Eisenoxide (Verbraunung) und neue Tonminerale (Verlehmung). Die Verbraunung ist bei uns häufig der dominante Bodenprozess. Böden, die vor allem durch Verbraunung gekennzeichnet sind, nennt man Braunerden.<sup>1</sup>
- **Tonverlagerung:** In entkalkten Böden kann Ton verlagert werden (Lessivierung bei pH 5 – 6,5). Der Ton flokt im kalkhaltigen Unterboden wieder aus oder wird ausgefiltert. Dann findet man eine hellere Schicht über einer dunkleren. Dieser Prozess ist typisch für Parabraunerden.<sup>1</sup>
- **Auswaschung z. B. von Eisen und Humus:** Bei starker Versauerung werden z. B. Eisen, Mangan, Aluminium und Huminstoffe ausgewaschen, so dass ein aschgrauer Horizont entsteht. Die ausgewaschenen Stoffe reichern sich im Unterboden an (rostbraune oder schwarze Färbung). Dies findet man z. B. in Podsolen.<sup>1</sup>
- **Wasserüberschuss:** Entsteht im Boden Sauerstoffmangel, werden Eisenoxide reduziert, was man an leicht bläulichen oder gräulichen Flecken erkennt. Dies kann z. B. durch Grund- oder Stauwasser geschehen. Diese Böden bezeichnet man als Gleye bzw. Pseudogleye.<sup>1</sup>

## 1.2 Bodenbestandteile

Jeder Boden besteht aus festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen in enger Vermischung (s. Abb. 3): Neben mineralischen Bestandteilen enthält jeder Boden organische Substanzen, z. B. Pflanzenreste oder Kot von Bodenlebewesen, die in den Hohlräumen des Bodens leben. Das Bodenwasser ist in Feinporen fest gebunden, dagegen fließt das Wasser in Grobporen rasch ab.

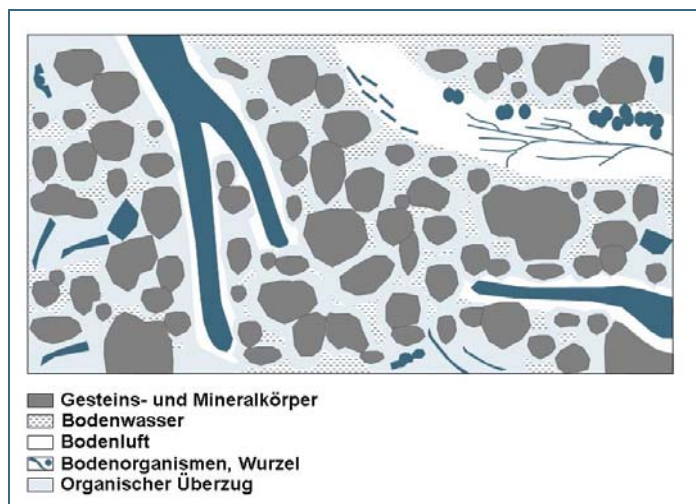


Abb. 3: Feste, flüssige und gasförmige Bodenbestandteile  
Quelle: TU München, Vorlesungsskript Bodenkunde, verändert

Folgende Bodenbestandteile sind für die Bodeneigenschaften maßgeblich:

### Minerale, Tonminerale und Oxide

Minerale sind die Bausteine der Gesteine, z.B. Silikate, Quarz oder Calciumcarbonate. Bei der Bodenbildung verwittern die Minerale und sekundäre Minerale werden neu gebildet: die Tonminerale und

<sup>1</sup> Eine einführende Darstellung der Bodentypen finden Sie z.B. unter ► [www.hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07.htm](http://www.hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07.htm).

Oxide. Die Art der Minerale ist maßgeblich für den Nährstoffvorrat, den Kalkgehalt, die spezifische Oberfläche und die Pufferkapazität eines Bodens (s. Abschnitt 3).

### **Bodenwasser**

Mit dem Bodenwasser werden gelöste Nährstoffe transportiert: hin zur Pflanzenwurzel, mit dem Sickerwasser ins Grundwasser oder hangabwärts in andere Ökosysteme. Die meisten Nährstoffe sorbieren rasch an die Bodenmatrix, z.B. Ammonium-Stickstoff, Kalium und Phosphat. Dagegen ist Nitrat-Stickstoff im Bodenwasser gelöst.

### **Organische Substanz**

Humus entsteht durch den stufenweisen Abbau von Pflanzenstreu. Gut abbaubare, nährstoffreiche Streu liefern z. B. Gräser, Kräuter und Laubbäume. Dagegen ist die Streu von Nadelbäumen schlechter abbaubar, so dass sich unzersetzte Streu auf dem Boden anreichern kann. Endprodukt des Abbaus sind die Huminstoffe. Sie verkleben die Bodenpartikel miteinander, so dass ein stabiles Krümelgefüge entsteht: In leichten Böden wird dadurch die Wasserspeicherfähigkeit erhöht, in schweren Böden dagegen die Durchlüftung. Nährstoffe, organische Schadstoffe und Schwermetalle können an die Huminstoffe gebunden und zeitversetzt wieder freigesetzt werden.

In gut durchlüfteten Böden wird die organische Substanz rasch mineralisiert, weil die Bodenlebewesen für den Abbau Sauerstoff benötigen. Ein Beispiel ist die Humuszehrung in Moorböden nach der Entwässerung oder nach einem Grünlandumbruch (s. Abschnitte 2 und 5.1).

### **Bodenlebewesen**

In einer Handvoll Ackerboden gibt es weit mehr Lebewesen als Menschen auf der Erde. Die Bakterien, Pilze, Würmer und andere Organismen leben v. a. in der durchwurzelten Zone, d. h. in den obersten 20 – 30 cm. Sie bauen Streu und Wurzelreste der Pflanzen ab und mischen Humus in den Mineralboden ein (Bioturbation).

Damit tragen sie wesentlich zum Stoffabbau und zur Bodenfruchtbarkeit bei. Besonders die Regenwürmer sind ein guter Indikator für die Bodenfruchtbarkeit. Mit ihren Gängen durchlüften sie den Boden tiefgründig. Sie tragen zu einem stabilen Krümelgefüge bei. In einem Hektar gut durchlüftetem, humosem Boden bringen allein die Regenwürmern so viel Gewicht auf die Waage wie eine Kuh (ca. 650 kg).

### **Korngröße und Porenvolumen**

Böden enthalten Minerale verschiedener Korngrößen: Man unterscheidet Sand, Schluff und Ton. Als Lehm bezeichnet man eine Mischung aus Sand, Schluff und Ton zu ungefähr gleichen Anteilen. Die Korngrößenverteilung hat großen Einfluss auf das Porenvolumen und damit auf Wasserhaushalt und Durchlüftung des Bodens. Auch der Nährstoffhaushalt und die Pufferkapazität werden von der Korngröße beeinflusst (s. Abb. 4):

- **Sandige Böden** haben v. a. grobe Poren, die das Sickerwasser rasch ableiten. Der Boden ist gut durchlüftet, trocknet rasch aus und erwärmt sich schnell. Sandige Böden sind meist nährstoffarm und eher sauer. Sie sind daher häufig bewaldet und nicht landwirtschaftlich genutzt. Auch Heidepflanzen sind gut an diese Verhältnisse angepasst.
- **Lehmige Böden** haben einen günstigen Wasser- und Stoffhaushalt. Ein Beispiel sind Lössböden, die oft nährstoffreich und fruchtbar sind.
- **Tonige Böden** haben zwar ein großes Porenvolumen, das aber v. a. aus Feinporen besteht. In ihnen wird das Bodenwasser stark gebunden und kann von den Pflanzen nur zum Teil genutzt werden. Bei Regen entsteht Staunässe, da das Wasser nur langsam versickert. Daher sind tonige Böden oft schlecht durchlüftet. Bei Trockenheit werden sie hart und rissig. Ihre Bearbeitung ist daher nur kurze Zeit möglich.

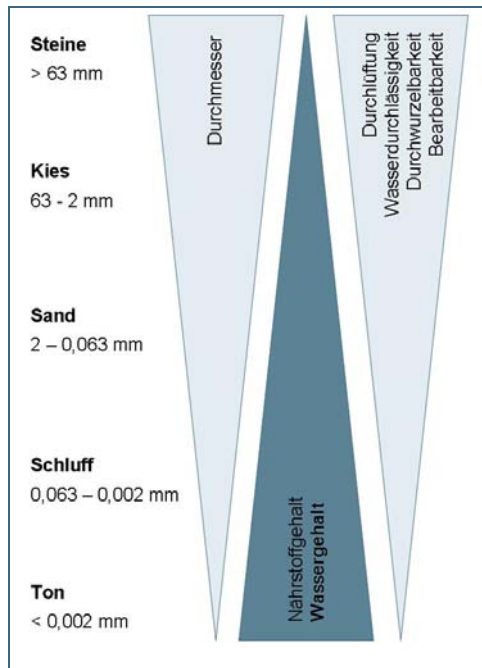


Abb. 4: Einfluss der Korngröße auf verschiedene Bodeneigenschaften.

## 2 Bodenfunktionen

### 2.1 Archiv der Natur- und Kulturgeschichte

Böden sind in ihrer Vielfalt ein Archiv der **Naturgeschichte**, da Wissenschaftler aus ihren Eigenschaften viel über die Bedingungen zur Zeit ihrer Entstehung ablesen können. Z. B. entsteht die rostrote Farbe mancher Böden durch das Eisenoxid Hämatit, das nur unter warm-feuchten Klimabedingungen gebildet wird, wie sie heute in den Tropen vorherrschen. Dagegen sind Böden, die im humiden Klima entstehen, eher braun gefärbt.

Die meisten Böden Mitteleuropas sind sehr stark durch die **historische Nutzung** geprägt. Z. B. entsteht durch das Pflügen von Ackerflächen typischerweise ein ca. 30 cm mächtiger Oberboden. Durch die regelmäßige Bearbeitung ist ihr Gehalt an organischer Substanz eher geringer als in Waldböden (s. Abschnitt 1.2). Zudem sind sie nährstoffreicher und weniger sauer als Waldböden.

Im Bereich **archäologischer Fundstätten** geben Veränderungen des Bodens Informationen z. B. über die Bauweise der Gebäude oder über die Form der Bodenbewirtschaftung. Manchmal hat oberhalb der Fundlagen eine erneute Bodenbildung eingesetzt, die eine Datierung ermöglicht.

Außerdem zeigen unzerstörte Böden in der nahen Umgebung, wo bevorzugt Siedlungen angelegt wurden und wie die damaligen Lebensumstände waren.

### 2.2 Natürliche Bodenfunktionen

Der Boden ist das Bindeglied zwischen Atmosphäre, Grundwasser und Gestein und hat daher zahlreiche wichtige Funktionen im Naturhaushalt (s. Abb. 5), u. a.:

- **Speicherung:** Die organische Substanz enthält z. B. viel Kohlenstoff. Eine humusschonende Bewirtschaftung ist daher auch ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz (s. Publikation ► [Klimaschutzpolitik](#)).
- **Stoffumbau:** Organische Stoffe (auch Schadstoffe) werden von den Bodenlebewesen in die organische Substanz eingebaut. Nach der Mineralisation können Pflanzen die Nährstoffe aufnehmen.

- **Rückhaltevermögen:** Der Boden speichert z. B. Regenwasser und gibt es zeitversetzt wieder ab. So werden Hochwasserspitzen gemindert.
- **Filter, Puffer:** Viele Stoffe werden im Boden zurückgehalten. So filtert der Boden z. B. Partikel und Verunreinigungen aus dem Sickerwasser und puffert Stoffeinträge (s. Abschnitt 3).

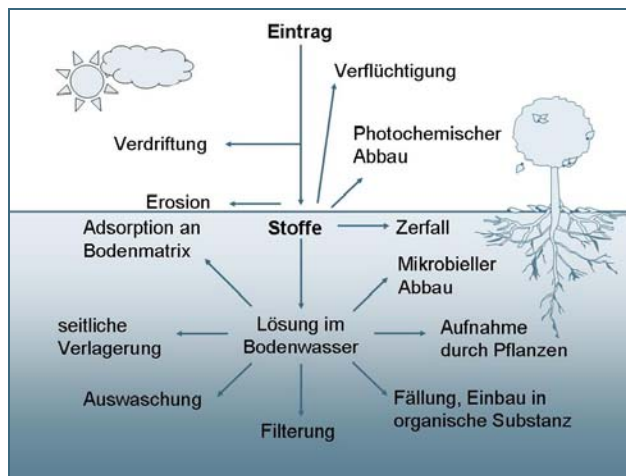


Abb. 5: Boden als Bestandteil von Stoffkreisläufen.  
Quelle: Scheffer/Schachtschabel 2002, verändert

### Beispiel Grundwasserschutz

Die Auswaschung von Stoffen ins Grundwasser wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Z. B. wird Nitrat im Boden kaum gebunden und kann mit dem Sickerwasser verlagert werden. Hohe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser findet man daher v. a. bei trockener Witterung (geringe Verdünnung), leichten Sandböden (rasche Versickerung) und unbedecktem Boden im Herbst nach der Ernte oder im Frühjahr vor dem Auflaufen der Saat (nur wenig Nitrat kann von den Pflanzen aufgenommen werden).

#### Einflussgrößen für den Grundwasserschutz

- Zufuhr und Vorrat im Boden (Vorbelastung)
- Bodeneigenschaften: Adsorptionsleistung, Wasserleitfähigkeit, Gehalt an organischer Substanz, pH-Wert, Redoxpotenzial
- Stoffeigenschaften: Löslichkeit, Bindungsvermögen, Abbaubarkeit
- Standorteigenschaften: Niederschläge, Grundwasserflurabstand

## 2.3 Lebensgrundlage und Nutzungsfunktion

Das Mosaik der Böden ist Grundlage für die Ausbildung vielfältiger Lebensräume. Z.B. entsteht die reiche Variation der Artenzusammensetzung im Grünland durch sehr feine Unterschiede im Nährstoffgehalt und in der Feuchtigkeit des Bodens. Auf den nährstoffarmen Sanden im Nürnberger Raum wachsen lichte Kiefernwälder, auf fruchtbareren Böden wüchsige Baumarten wie Eichen und Buchen.

Auch für den Menschen sind Böden die Lebensgrundlage: Sie sind Standorte der Land- und Forstwirtschaft, so dass wir Nahrungs-, Futtermittel und nachwachsende Rohstoffe ernten können.

Nicht zuletzt sind Böden Standorte für Häuser, Straßen und Industrieanlagen sowie Lagerstätten von Rohstoffen, sie haben also auch eine Nutzungsfunktion.

### 3 Stoffeinträge und Pufferung

#### 3.1 Quellen

In Böden sammeln sich viele Stoffe an: Pflanzen sterben im Herbst ab und liefern Streu, Bodenmaterial wird bei Überschwemmungen aufgelagert, Tiere sterben und hinterlassen Knochen, deren Reste z.T. noch sehr lange im Boden nachgewiesen werden können. Auch der Mensch bringt Stoffe in den Boden ein: zum einen absichtlich als Düngung und Kalkung, zum anderen ungewollt als Schadstoff mit Abfällen oder Abgasen (s. Tabelle 1).

Weitere Informationen finden Sie in unseren Publikationen ► [Bodenbelastungen – eine Übersicht](#), ► [Ammoniak und Ammonium](#) und ► [Luftschadstoffe – Wirkungen auf Ökosysteme](#).

Tabelle 1: Stoffeinträge in den Boden<sup>2</sup>

| Stoffe  | Erläuterung   |
|---|---|
| <b>Düngemittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stickstoff (N)</li> <li>• Phosphat (P)</li> </ul>   | <p>Stickstoffmangel war lange Zeit der begrenzende Faktor für den Ernteertrag. Nach der Erfindung des Haber-Bosch-Verfahrens nahm daher die Mineraldüngung stark zu (1950 bis 2000: + 293 %). Heute werden auch nicht gedüngte Standorte über den Luftpfad mit Stickstoff angereichert. Dies fördert nährstoffliebende, raschwüchsige Arten, so dass Arten magerer Standorte verdrängt werden, insbesondere viele Arten der Roten Liste.</p> <p>Phosphat ist ein Hauptnährstoff für das Pflanzenwachstum. Es sorbiert stark an das Bodenmaterial und kann mit diesem abgeschwemmt werden. In Gewässern ist Phosphat limitierend, so dass ein zusätzlicher Eintrag zu einem starken Algenwachstum führt. In der Folge kann es zu Sauerstoffmangel kommen, bis hin zum „Umkippen“ des Gewässers.</p>  |
| <b>Persistente Schadstoffe</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Organ. Verbindungen (POPs)</li> <li>• Schwermetalle</li> </ul>                        | <p>Persistente Verbindungen können z. B. als Rückstände ehemaliger Industriestandorte (Altlasten) im Boden vorhanden sein. Sie werden jedoch auch von außen eingetragen, z. B. durch Luftschadstoffe, Überschwemmungen, belastetes Bodenmaterial, Klärschlamm oder mit häuslichen Aschen. Mittlerweile sind persistente Verbindungen weltweit auch in Reinluftgebieten nachweisbar. Sie können über die Nahrungskette angereichert werden, z. B. wenn Schwermetalle über das Grünfutter von Masttrindern aufgenommen werden und das Fleisch vom Menschen verzehrt wird.</p> <p>Wichtige Beispiele sind Schwermetalle, die chlorierten Pflanzenschutzmittel Aldrin, Chlordan, DDT, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Hexachlorbenzol, Mirex, Toxaphen und Insektizide wie Lindan und Endosulfan.</p>   |
| <b>Versauernde Substanzen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)</li> <li>• Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)</li> </ul> | <p>Über den Luftpfad werden versauernde Substanzen in Ökosysteme eingetragen, v. a. Stickstoff- und Schwefel-Verbindungen. Dies führt flächendeckend zu einem Düngeeffekt, wie am Schwefeleintrag eindrücklich zu zeigen ist: Bis vor ein paar Jahren musste z.B. Raps nicht mit Schwefel gedüngt werden. Durch die Rauchgasentschwefelung sank der Schwefeleintrag so stark, dass Raps heute z. T. Mangelsymptome zeigt. Durch den ungewollten Nährstoffeintrag werden in vielen wertvollen Ökosystemen nährstoffliebende, raschwüchsige Arten gefördert und Arten magerer Standorte verdrängt, insbesondere viele Arten der Roten Liste.</p> <p>Darüber hinaus führen diese Substanzen zu einer Versauerung des Bodens. Dadurch werden die Pflanzen direkt geschädigt und langfristig verändert sich der Nährstoffhaushalt im Boden. Außerdem werden Schwermetalle und toxische Substanzen mobilisiert.</p> |

<sup>2</sup> Weitere Informationen finden Sie in unseren Publikationen ► [Ammoniak und Ammonium](#) und ► [Luftschadstoffe – Wirkungen auf Ökosysteme](#).

### 3.2 Puffersysteme

Viele Stoffeinträge können im Boden abgepuffert werden, z. B. Nährstoffe, Säuren und organische Schadstoffe. Dadurch bleibt die Konzentration der Bodenlösung lange konstant. Erst wenn die Pufferkapazität erschöpft ist, können Stoffe mit dem Bodenwasser ins Grundwasser oder in angrenzende Ökosysteme verlagert werden. Dabei ist die Pufferkapazität der Böden sehr verschieden, je nach Bodenart, Tonmineralogie, pH-Wert und dem Gehalt an organischer Substanz.

Es gibt mehrere Puffersysteme, z.B.:

- Unspezifische Adsorption: Kationen (z. B.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) können an der Oberfläche der Bodenmatrix oder an der organischen Substanz adsorbieren. Die Adsorption erfolgt nur aufgrund von Ladungsunterschieden und ist daher leicht reversibel. Besonders hoch ist die unspezifische Adsorption in Böden mit hohem Tongehalt und in humosen Böden.

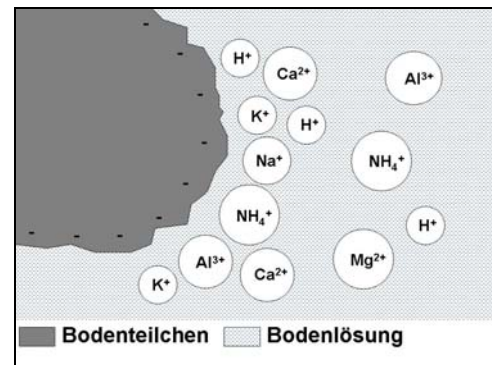


Abb. 6: Unspezifische Bindung von Kationen.  
Quelle: Scheffer/Schachtschabel 2002, verändert

- Spezifische Bindung: Kalium und Ammonium „passen“ genau in spezielle Bindungsplätze einiger Tonminerale. So werden sie zwischen den Schichten fest gebunden und erst freigesetzt, wenn die Konzentration in der Bodenlösung stark absinkt, d.h. wenn keine unspezifisch gebundenen Nährstoffe mehr an der Oberfläche der Tonminerale vorhanden sind.

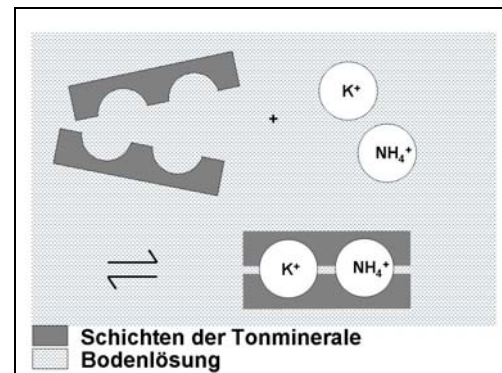


Abb. 7: Spezifische Bindung von Kalium und Ammonium.  
Quelle: Scheffer/Schachtschabel 2002, verändert

- Chemische Reaktionen: Protonen ( $\text{H}^+$ , aus Säureeinträgen) lösen Kationen aus ihren Bindungen in den Tonmineralen. Der pH-Wert bleibt solange konstant, wie Kationen vorhanden sind. Erst dann sinkt der pH-Wert stark ab. Bei tieferem pH-Wert laufen weitere Pufferungs-Reaktionen ab: Tonminerale und Eisenoxide werden zerstört, wobei auch toxische Metalle (z.B. Aluminium) freigesetzt werden. Beide Vorgänge sind nicht reversibel. (Weitere Informationen finden Sie in unserer Publikation ► [Ammoniak und Ammonium](#).)
- Einbau in die organische Substanz: Viele organische Schadstoffe können in die organische Substanz eingebaut werden. Sie sind dann nicht mehr nachweisbar. Allerdings ist nicht bekannt, ob die Verbindungen bei der Mineralisierung der organischen Substanz zu unproblematischen Substanzen abgebaut oder ob sie unverändert wieder freigesetzt werden. Ebenso können Nährstoffe und Schwermetalle gebunden und wieder abgegeben werden.

Durch die Pufferung sind die Auswirkungen von Stoffeinträgen lange nicht zu erkennen. Ist die Pufferkapazität jedoch erschöpft, können die Veränderungen sehr langfristig sein. Sie sind oft nur in geologischen Zeiträumen umkehrbar – wenn überhaupt.

## 4 Überbauung, Flächenversiegelung

Durch Überbauung und Flächenversiegelung verliert der Boden einen Großteil seiner natürlichen Funktionen und einige seiner Nutzungsfunktionen, da er vom Wasser- und Stoffkreislauf abgetrennt wird. Großen Einfluss hat eine Versiegelung z.B. auf den Landschaftswasserhaushalt (s. Abb. 8):

- **Versickerung:** Niederschlagswasser kann kaum noch versickern, so dass die Grundwasserneubildung geringer wird.
- **Oberflächenabfluss:** Statt zu versickern, fließt das Niederschlagswasser oberflächlich ab und wird in die Kanalisation und von dort in den Vorfluter geleitet. Wenn im Einzugsgebiet eines Flusses ein großer Anteil des Bodens versiegelt ist, sind stärkere Hochwasser zu befürchten. Dagegen kann unverbauter Boden erhebliche Wassermengen zurückhalten, insbesondere Waldböden.
- **Verdunstung:** Die Verdunstung ist eine maßgebliche Größe im Landschaftswasserhaushalt. Das Wasser verdunstet aus dem Boden (Evaporation) und aus Pflanzen (Transpiration). Bei versiegeltem Boden verdunstet nur noch sehr wenig Wasser z. B. aus Pfützen. Dadurch verringern sich u. a. die Grundwasserneubildung und die ausgleichende Wirkung auf das Kleinklima.

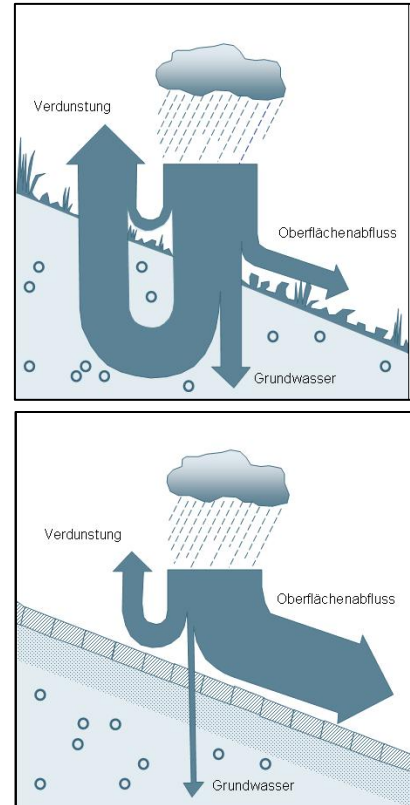


Abb. 8: Wasserkreislauf vor (oben) und nach (unten) einer Flächenversiegelung. Quelle: Westermann 1999

Das Ausmaß des Flächenverbrauchs ist groß: In Bayern wurden 2003 etwa 17 ha pro Tag in Siedlungs- und Verkehrsfläche umgewandelt. Davon wurden ca. 40 – 50 % versiegelt. Zudem werden Böden im Zuge von Baumaßnahmen großflächig verändert: Dabei werden oft künstliche Böden angelegt, z. B. auf Dämmen entlang von Autobahntrassen, aber auch Gartenböden in Neubausiedlungen. Diese Böden bestehen häufig aus Mutterboden, d. h. humosem Oberboden, über technogenen (z. B. Bau-schutt) oder natürlichen Substraten. Daraus entwickeln sich z. T. ganz andere Böden als aus dem ursprünglichen Material.

Die Folgen einer Bebauung sind kaum rückgängig zu machen, da sich Böden nur sehr langfristig entwickeln. So kann man alte Römerstraßen noch heute auf Luftbildern erkennen.

## 5 Bodenveränderungen auf landwirtschaftlichen Flächen

Die Vielfalt der Böden wird durch die heutige landwirtschaftliche Nutzung eher vereinheitlicht: Magere Standorte werden gedüngt, so dass die Nährstoffausstattung der Böden ähnlicher wird. Vereinheitlichend wirken auch die Vergrößerung der Schläge, Flächenarrondierungen, Krumenvertiefung, großflächig einheitliche Bewirtschaftung und Maßnahmen zur Bodenverbesserung (Meliorationen). So entstehen aus einer vielfältigen Bodenlandschaft großflächig Böden mit weitgehend ähnlichen Eigenschaften.

Im Folgenden werden einige weitere Beispiele herausgegriffen.

## 5.1 Nutzungsänderungen

Nutzungsänderungen können erhebliche Umweltbelastungen hervorrufen, da sie das langfristig eingespielte Gleichgewicht im Boden verändern:

### Beispiel Grünlandumbruch

Durch die Bodenbearbeitung nach einem Grünlandumbruch wird der Boden stark durchlüftet und die organische Substanz abgebaut. Freigesetzte Nährstoffe können nur teilweise von der Folgefrucht aufgenommen werden und gelangen ins Grundwasser. In Wasserschutzgebieten sind Auflagen zum Grünlandumbruch daher ein wichtiger Beitrag zum Grundwasserschutz.

### Beispiel Entwässerung von Niedermooren

Niedermoore entstehen auf sehr feuchten Standorten. Dort wachsen Torfmoose, die nach dem Absterben nicht abgebaut werden, sondern sich über die Jahrhunderte anreichern. Die Torfmoose speichern viel Wasser, so dass der Boden nach der Entwässerung sackt. Bei sehr starker Austrocknung verliert der Moorboden seine Benetzbarkeit: Er wird „puffig“ und kann leicht vom Wind verweht werden. Außerdem wird die organische Substanz durch die Belüftung mineralisiert und Nährstoffe werden freigesetzt. Daher sind entwässerte Niedermoorböden anfangs sehr fruchtbar und werden häufig zum Maisanbau oder als Grünland genutzt. Diese Bodenveränderungen nach einer Moorentwässerung sind nicht mehr rückgängig zu machen.

## 5.2 Erosion

Unbedeckter Boden kann durch Wind oder Wasser abgetragen werden. Diesen Abtrag bezeichnet man als Erosion. Zugleich werden mit dem Bodenmaterial auch Nähr- und Schadstoffe in benachbarte Ökosysteme ausgetragen.

Die Erosion bedroht den Boden weit mehr als allgemein wahrgenommen: Weltweit zählt Erosion zu den drängendsten Problemen. Auch in Deutschland wird im Durchschnitt deutlich mehr Boden erodiert als neu gebildet (8 – 10 bzw. 2 t/ha pro Jahr). Zum Vergleich: Ein Abtrag von 10 t/ha entspricht einem flächendeckenden Abtrag von gut 1 mm. Das scheint wenig, ist jedoch eine enorme Menge, bedenkt man die sehr langsame Entwicklung der Böden (s. Abschnitt 1.1).

Erosionsmindernde Maßnahmen sind daher wichtig für eine bodenschonende Bewirtschaftung, insbesondere bei flachgründigen Böden. Eine Reihe anbautechnischer Maßnahmen kann die erosionsbegünstigenden Faktoren vermindern (s. Tabelle 2):

- Umwandlung von Ackerflächen auf steilen Hängen in Grünland,
- Verkürzung der Hanglänge durch Raine oder Grasstreifen.
- Anbau von Zwischenfrüchten,
- Mulchsaat von Mais,
- nicht zu feine Saatbettbearbeitung,
- Bodenbearbeitung quer zur Hangneigung,

Tabelle 2: Faktoren, die die Erosion begünstigen. Quelle: BLV 1992

| Einflussfaktoren          | Beschreibung   |
|---------------------------|--|
| <b>Vegetation</b>         | Fehlender Bewuchs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• offener Boden (z.B. nach der Bodenbearbeitung, vor Auflaufen der Saat)</li> <li>• spätdeckende Früchte, die den Boden lange unbedeckt lassen (z.B. Mais)</li> <li>• Sonderkulturen mit offengehaltenem Boden (z.B. Wein, Hopfen)</li> </ul>  |
| <b>Relief</b>             | Gefälle: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hangmulden und Rinnen &gt; Wassererosion</li> <li>• Westhänge, Kuppen, baumlose, weite Ebenen &gt; Winderosion</li> </ul>  |
| <b>Bodeneigenschaften</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Bindung: wenig Ton oder organische Substanz, hoher Anteil mittlerer Korngrößen (Schluff-, Fein-, Mittelsand), zu fein bearbeiteter Oberboden</li> <li>• verdichtete und verkrustete Böden mit erhöhtem Oberflächenabfluss &gt; Wassererosion</li> <li>• stark gelockerte Böden</li> <li>• ausgetrocknete, lockere Böden mit hohem Benetzungswiderstand ("puffige") Böden, Moorböden, frostgare Böden) &gt; Winderosion</li> </ul> |
| <b>Witterung</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• oberflächlich abfließendes Wasser z. B. bei Starkregen, plötzlicher Schneeschmelze oder Regen bei noch gefrorenem Unterboden &gt; Wassererosion</li> <li>• große Windstärken nach längerer Trockenheit (besonders im Frühjahr auf unbewachsenem Boden) &gt; Winderosion</li> </ul>  |
| <b>Bewirtschaftung</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• lange, einförmig bestellte Hänge</li> <li>• Bearbeitung langer Hänge in Richtung des Gefälles (besonders bei Starkregen) &gt; Wassererosion</li> <li>• große Schläge &gt; Winderosion</li> </ul>  |

### Beispiel: Erosion im Hochmittelalter

Erosion ist ein natürlicher Prozess, sie hat unsere Landschaft maßgeblich geprägt. In historischer Zeit hat auch der Mensch wesentlich zur Landschaftsumformung durch Erosion beigetragen: So wuchs die Bevölkerung ab etwa 1000 n. Chr. sehr rasch und zugleich stieg der Bedarf an Nahrungsmitteln. Daher wurde im Früh- und Hochmittelalter viel Wald gerodet, so dass der Waldanteil damals sehr gering war (< 20 %). Auch für den Ackerbau sehr ungünstige Standorte wurden bewirtschaftet, z. B. steile Hanglagen.

Als Mitte des 14. Jahrhunderts die „Kleine Eiszeit“ einsetzte, gab es vermehrt extreme Starkregen. Dadurch wurde der Boden an Kuppen und Oberhängen der Hügellandschaften vielerorts vollständig erodiert, während sich in Senken z.T. mehrere Meter Bodenmaterial anhäufte. Dies bedeutete einen Verlust an fruchtbaren Ackerflächen und in der Folgezeit häuften sich Missernten und Hungersnöte. Seuchen und der dreißigjährige Krieg verminderten die Bevölkerungszahl weiter, so dass damals viele Flächen aufgegeben wurden. Diese Flächen sind heute wieder bewaldet. Tief eingegrabene Erosionsrinnen, in denen kein Bach fließt, können z. B. ein Hinweis auf die frühere ackerbauliche Nutzung sein.

### 5.3 Bodenverdichtung

Ein weiteres Problem ist die Bodenverdichtung, da sie das Porensystem und zugleich den Gas- und Wasserhaushalt des Bodens verändert: Bei Staunässe und Sauerstoffmangel sind die Abbauprozesse gehemmt. Z. B. werden unter Luftabschluss vermehrt Treibhausgase gebildet, u. a. Lachgas und Me-

than (N<sub>2</sub>O bzw. CH<sub>4</sub>, s. Publikationen ► [Klimawandel – Warum ändert sich unser Klima?](#), ► [Treibhausgase](#)).

Bodenverdichtungen entstehen, wenn der Boden mit schweren Maschinen befahren wird, insbesondere bei zu nassem Boden. Dadurch wird heute der Boden auf großer Fläche tiefgründig verdichtet. Dies ist besonders problematisch, weil der Unterboden kaum gelockert werden kann. Früher waren die Böden weniger tiefgründig, sondern v. a. im Bereich der Pflugschleife verdichtet, weil auch die Hufe der Zugtiere enormen Druck auf den Boden ausgeübt haben. Gegenmaßnahmen sind z. B. bodenschonende Bereifung (Terra-Reifen oder Doppelbereifung zur besseren Verteilung des Drucks) und die Wahl des optimalen Bearbeitungszeitpunktes.

## 6 Rechtliche Regelungen

Der Boden wurde erst 1998 als drittes Umweltmedium neben Wasser und Luft ausdrücklich durch ein eigenes Gesetz geschützt (s. Publikation ► [Umweltrecht in der Bundesrepublik Deutschland](#)). Ziel des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) ist es, die vielfältigen Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen. Daraus wird zum einen die Pflicht zur Vorsorge gegen das Entstehen von schädlichen Bodenveränderungen, zum anderen die Pflicht zur Sanierung von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten abgeleitet. Zudem werden Grundsätze für die gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung genannt. Bayern hat für das Bodenschutz- und Altlastenrecht neben einem Bayerischen Bodenschutzgesetz auch eine Verwaltungsvorschrift und Vollzugshinweise erarbeitet. Weitere Informationen finden Sie in unserer Publikation ► [Bodenbelastungen – eine Übersicht](#).

In der Verwaltung ist der Bodenschutz als Querschnittsthema auf mehrere Ressorts aufgeteilt:

- Umweltverwaltung: stofflicher Bodenschutz, z. B. Hintergrundwerte, Richtwerte.
- Landwirtschaftsverwaltung: nicht stofflicher Bodenschutz, z. B. Erosion, Bodenverdichtung, Erarbeitung der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Nutzung.

Zudem kommt der räumlichen Planung beim vorsorgenden Schutz des Bodens eine entscheidende Rolle zu, da in ihr letztlich verbindliche Aussagen zur Bodennutzung gemacht werden.

## 7 Weiterer Forschungsbedarf

Beim Bodenschutz sind noch zahlreiche Fragen offen, z. B.:

- Ermittlung der potentiellen und der tatsächlichen Erosion,
- Sammlung von Daten zu luftgetragenen Immissionen und deren Einfluss auf den Boden (s. Publikation ► [Luftschadstoffe – Wirkungen auf Ökosysteme](#)),
- Sickerwasserprognose im Wirkungspfad Boden – Grundwasser,
- Bestimmung und Aktualisierung von Werten zur Beurteilung von Schadstoffen im Boden (Wirkungspfad Boden – Mensch, Boden – Pflanze, Boden – Bodenorganismen), Fortschreibung der Hintergrundwerte (s. Publikation ► [Bodenbelastungen – eine Übersicht](#)),
- Abbauverhalten und Wirkung von Tierarzneimitteln, Antibiotika, Reinigungs- und Desinfektionsmitteln in Böden (s. Publikationen ► [Antibiotika und Antibiotikaresistenzen](#), ► [Arzneistoffe in der Umwelt](#)),
- Vorkommen und Verhalten von BSE/TSE-Prionen in Böden, Effekte transgener Pflanzen auf die Bodenbiologie.

## 8 Literatur

- BUNDESKABINETT (2002): Bodenschutzbericht der Bundesregierung für die 14. Legislaturperiode.  
 ► [www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bodenschutzbericht2002.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bodenschutzbericht2002.pdf)
- BUNDESVERBAND BODEN E.V. (2000): Böden und Schadstoffe – Bedeutung von Bodeneigenschaften bei stofflichen Belastungen. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- BLV VERLAG (HRSG., 1992): Die Landwirtschaft: Lehrbuch für Landwirtschaftsschulen. Pflanzliche Erzeugung. BLV-Verlagsgesellschaft mbH, München
- EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR (2002): Auf dem Boden der Tatsachen: Bodendegradation und nachhaltige Entwicklung in Europa. Eine Herausforderung für das 21. Jahrhundert. Umweltthemen-Serie No. 16.  
 ► [www.eea.europa.eu/de/publications/Environmental\\_issue\\_series\\_16/at\\_download/file](http://www.eea.europa.eu/de/publications/Environmental_issue_series_16/at_download/file)
- HINTERMAIER-ERHARD G., ZECH W. (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. Enke Verlag Stuttgart.
- LEHRSTUHL FÜR BODENKUNDE DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN: Skripten zur Einführung in die Bodenkunde. ► [www.wzw.tum.de/bk/lehre/lehmaterial.html](http://www.wzw.tum.de/bk/lehre/lehmaterial.html)
- SCHEFFER F., SCHACHTSCHABEL P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- STATISTISCHES BUNDESAMT (HRSG., 2000): 50 Jahre Bundesstatistik – 50 Jahre Düngemittelstatistik.
- WALLNÖFER P. R. (1991): Pflanzenschutzmittel. Verbleib und Wirkung von Chemikalien im Boden aus mikrobiologischer Sicht. In: Z. Umweltchem. Ökotox. 3(4), S. 230-232
- WELP G., BRÜMMER G. (1999): Bodennutzung und Bodenerosion seit dem Mittelalter am Beispiel von Landschaften des Bonner Raumes. Vortrag anlässlich der 51. Hochschultagung der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn am 23. Februar 1999
- WESTERMANN (HRSG., 1999): Abflussverhalten. In: Praxis Geographie 6/1999, S.11, Westermann Schulbuchverlag
- WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BODENSCHUTZ (2002): Ohne Boden – bodenlos. Eine Denkschrift zum Boden-Bewusstsein. Berlin
- WICHMANN H.E., SCHLIPKÖTER H.-W., FÜLGRAFF G. (1996): Boden, Grundwasser. In: Handbuch der Umweltmedizin, 9. Erg. Lfg. 9/96: XI – 1.2

### Gesetzliche Regelungen und technische Richtlinien

- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) vom 17. März 1998, BGBl. I 1998 S.502  
 ► [www.bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bbodschg/gesamt.pdf](http://www.bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bbodschg/gesamt.pdf)
- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (Bundes-Bodenschutzverordnung – BBodSchV) vom 12. Juli 1999, BGBl. I 1999 S. 1554  
 ► [www.bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bbodschv/gesamt.pdf](http://www.bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bbodschv/gesamt.pdf)
- Bayerisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bayerisches Bodenschutzgesetz - BayBodSchG) vom 23. Februar 1999  
 ► [www.stmug.bayern.de/umwelt/boden/recht/doc/bybodschg.pdf](http://www.stmug.bayern.de/umwelt/boden/recht/doc/bybodschg.pdf)
- Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Bodenschutz- und Altlastenrechts in Bayern (Bay-BodSchVwV) vom 11. Juli 2000 Nr. 8772.6-1999/3  
 ► [www.stmug.bayern.de/umwelt/boden/recht/doc/bybodvww.pdf](http://www.stmug.bayern.de/umwelt/boden/recht/doc/bybodvww.pdf)

### Internet

- Bodenschutz und Altlasten in Bayern: ► [www.boden.bayern.de](http://www.boden.bayern.de), mit zahlreichen Links, z. B. Boden: ► [www.lfu.bayern.de/boden/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/boden/index.htm)
- Bodeninformationssystem Bayern (BIS): ► [www.bis.bayern.de](http://www.bis.bayern.de)  
 Daten und Fakten zum Flächenverbrauch in Bayern:

▶ [www.lfu.bayern.de/kommunen/flaechenmanagement/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/kommunen/flaechenmanagement/index.htm)

Geotope: ▶ [www.lfu.bayern.de/geologie/geotope/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/geologie/geotope/index.htm)

- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: ▶ [www.lfl.bayern.de/iab/boden](http://www.lfl.bayern.de/iab/boden)
- Umweltbundesamt - Abteilung Boden: ▶ [www.umweltbundesamt.de/fwbs/index.htm](http://www.umweltbundesamt.de/fwbs/index.htm)
- Boden-Bündnis europäischer Städte und Gemeinden: ▶ [www.bodenbuendnis.org](http://www.bodenbuendnis.org)
- Portal rund um den Boden: ▶ [www.bodenwelten.de](http://www.bodenwelten.de)
- Schüler- und Lehrerinfos der Universität Münster: ▶ [www.hypersoil.uni-muenster.de](http://www.hypersoil.uni-muenster.de)
- Stoffdatenbank für altlasten-/umweltrelevante Schadstoffe (STARS): ▶ [www.stoffdaten-stars.de](http://www.stoffdaten-stars.de)

#### Weiterführende Publikationen von UmweltWissen

- ▶ [Ammoniak und Ammonium](#)
- ▶ [Antibiotika und Antibiotikaresistenzen](#)
- ▶ [Arzneistoffe in der Umwelt](#)
- ▶ [Bodenbelastungen – eine Übersicht](#)
- ▶ [Klimaschutzpolitik](#)
- ▶ [Luftschadstoffe – Wirkungen auf Ökosysteme](#)
- ▶ [Treibhausgase](#)
- ▶ [Umweltmedium Luft](#)
- ▶ [Umweltrecht in der Bundesrepublik Deutschland](#)
- ▶ [Klimawandel – Warum ändert sich unser Klima?](#)

## 9 Ansprechpartner

Für Einzelfallberatungen bei konkreten Anliegen zum Umwelt- und Gesundheitsschutz vor Ort oder in Ihrer Nachbarschaft sind in der Regel Ihr Landratsamt bzw. Ihre Stadt- oder Gemeindeverwaltung zuständig. Bitte fragen Sie dort nach dem passenden Ansprechpartner.

Private Anfragen an das Bayerische Landesamt für Umwelt richten Sie bitte an unser Bürgerbüro:

E-Mail: [oeffentlichkeitsarbeit@lfu.bayern.de](mailto:oeffentlichkeitsarbeit@lfu.bayern.de)

Fragen und Anregungen zu Inhalten, Redaktion und Themenwahl der Publikationen von UmweltWissen sowie Anfragen bezüglich Recherche und Erstellung von Materialien für die Umweltbildung/-beratung richten Sie bitte an:

UmweltWissen am Bayerischen Landesamt für Umwelt:

Telefon: 0821 / 9071 – 5671

E-Mail: [umweltwissen@lfu.bayern.de](mailto:umweltwissen@lfu.bayern.de)

Internet: [www.lfu.bayern.de/umweltwissen](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen)

---

#### Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: (08 21) 90 71-0

Telefax: (08 21) 90 71-55 56

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

Bearbeitung:

UmweltWissen, Ref. 12:  
Birgit Haas, Peter Miehle  
(Autorin 2005 Dr. Katharina Stroh, LfU)

Stand:

November 2007

Links überarbeitet:

März 2011

Bildnachweis:

Kurt Michel, [pixelio](#), Titelbild S. 1

Diese Veröffentlichung wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Sie haben diese Veröffentlichung auf Papier, wollen aber auf die verlinkten Inhalte zugreifen?

Die jeweils aktuellste Ausgabe finden Sie im Internet unter:

▶ [www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw\\_67\\_umweltmedium\\_boden.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_67_umweltmedium_boden.pdf) oder

▶ [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de): UmweltWissen > Boden.