

Reservoir und Filter – Die Rolle des Bodens im Wasserkreislauf

1	Wasserkreislauf und Abfluss	202
2	Infiltration – Der Weg des Wassers in und durch den Boden	203
3	Wo steckt das Wasser im Boden?	204
4	Pflanzenverfügbares Wasser – Nutzwasserkapazität	205
5	Der Boden als Ausgleichskörper	208
6	Wasser kann Boden zerstören – Bodenerosion	209
7	Die unsichtbare Reinigung – Der Boden als Filter für verschmutztes und belastetes Wasser	210
8	Chemischer Stempel für das Wasser	213





Reservoir und Filter – Die Rolle des Bodens im Wasserkreislauf


Böden regeln die Verfügbarkeit von Wasser und Nährlösungen für die Pflanzen. Sie dienen als Filter und Reaktionsraum der Fixierung und dem Abbau von Schadstoffen und schützen damit die Pflanzen als Grundlage unserer Ernährung sowie das Grund- und Trinkwasser. Durch die Aufnahme und zeitlich verzögerte Abgabe der Niederschläge (Retention) verhindern Böden in ungestörten Systemen das Anwachsen der Flüsse zu reißenden Fluten.

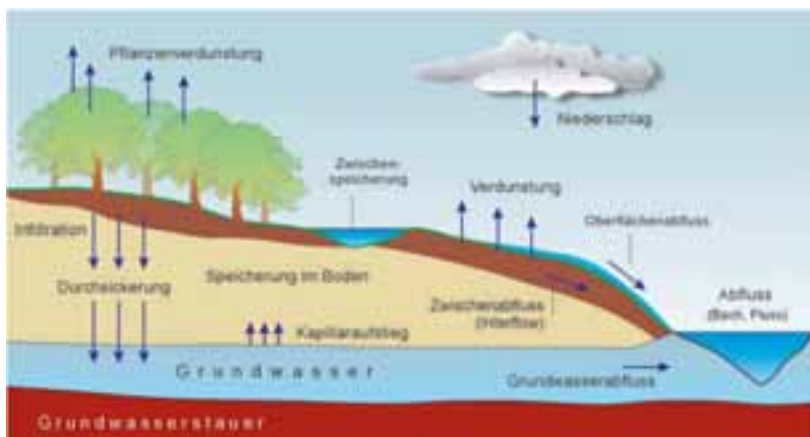
1 Wasserkreislauf und Abfluss

Das gesamte Wasser der Erde bewegt sich in einem ständigen Kreislauf von Verdunstung, Kondensation, Niederschlag, Abfluss und erneuter Verdunstung. Innerhalb dieses Kreislaufes übernimmt der Boden die Rolle einer Schaltzentrale, wobei Humusgehalt des Oberbodens, Bodenart und Bodengefüge – zusammen mit dem geologischen Untergrund

und der Reliefsituation – Einfluss darauf haben, welche Anteile des nicht verdunsteten Niederschlags über den Oberflächenabfluss, den Zwischenabfluss und die Grundwasserneubildung in die Gewässer gelangen (→ D1).

Die Fließgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses liegt in Abhängigkeit von der Rauigkeit der Bodenoberfläche und von ihrem Bewuchs bzw. Bedeckungsgrad im Bereich von einigen Zentimetern bis einigen Metern pro Sekunde. Rasche Abflüsse tragen dabei im besonderen Maße zur flächenhaften und linienhaften Bodenerosion bei (► Modul E Landwirtschaft). Über das Porensystem in den Boden gelangendes Sickerwasser (→ Infiltrat) kann je nach Durchlässigkeit der oberen Bodenschichten und entsprechender Hangneigung als Zwischenabfluss parallel zur Oberfläche abfließen. Dabei werden oberflächenparallele Fließgeschwindigkeiten von nur noch einigen Metern pro Tag erreicht, die allerdings stark von Bodenart und Bodenauf-

D1 | Wasserkreislauf und Abfluss. 



bau abhängen. Dieser Abfluss tritt vor allem dann auf, wenn sich innerhalb des Bodenaufbaues eine zur Oberfläche parallele und wasserstauende Schicht befindet (z. B. ein Tonanreicherungs-horizont in einer → Parabraunerde, ► Modul A „Was ist Boden?“).

Der Anteil des infiltrierten Niederschlagswassers, der in die Grundwasserneubildung eingeht, ist unterschiedlich. Bei sandigem Untergrund kann dieser bis 70 Prozent betragen. Typische Grundwassersicker-geschwindigkeiten betragen wenige Meter pro Tag, jedoch können in Untergrundgesteinen mit einem hohem Anteil an Rissen und Spalten (z. B. in verkarsteten Kalksteinen) oder einem hohen Anteil an Hohlräumen (z. B. in groben Kiesen) auch Werte erreicht werden, die weit über denen des Zwischenabflusses liegen.

2 Infiltration – Der Weg des Wassers in und durch den Boden

Unter Infiltration wird das Eindringen von Wasser in die Bodenoberfläche nach Niederschlägen, Beregnung oder Überstauung verstanden. Der Verlauf der Infiltration wird durch die Infiltrationsrate (Versickerungsrate) gekennzeichnet, die das Wasservolumen beschreibt, das je Zeiteinheit in den Boden versickert. Diese Rate ist meist nicht konstant, da während des Sicker-vorganges biologische Aktivität, Quellvorgänge der Bodenpartikel (vor allem von Tonen) und die Lösung eingeschlossener Luft die Durchlässigkeit des Bodens für das Sickerwasser ständig verändern. Die maximal mögliche Wassermenge, die pro Zeiteinheit im Boden versickert, wird als die Infiltrationskapazität bezeichnet.

Die Infiltrationsrate wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst, vor allem von der Bodenart oder dem Verdichtungsgrad des Bodens (► Modul E Landwirtschaft). Besondere Bedeutung haben weite Makro- oder Grobporen ($\varnothing > 50 \mu\text{m}$, ↗ Tabelle D1), über die das Wasser rasch von der Oberfläche in den Boden abgeleitet wird. Wenn die Aufnahmefähigkeit der weiten Makroporen überschritten ist, kommt es zur Bildung eines Oberflächenabflusses.

Der globale Wasserkreislauf

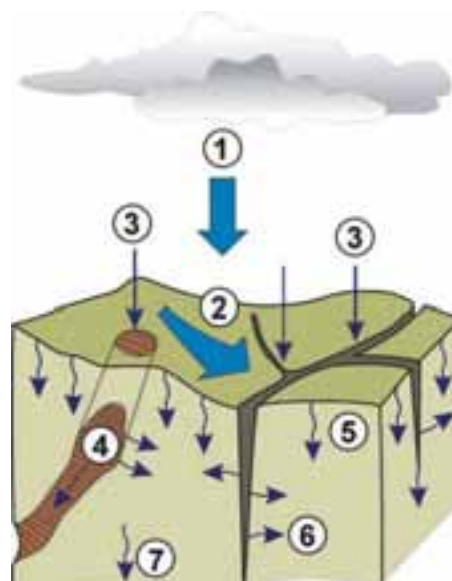
Sonnenenergie lässt Wasser fortwährend aus den Ozeanen verdampfen. Dieses gasförmige Wasser kondensiert in größerer Höhe zu Wolken, die von den zirkulierenden Luftmassen der Atmosphäre um die Erde verfrachtet werden und sich über den Kontinenten wieder abregnen. Der Niederschlag speist Grund- und Oberflächengewässer und fließt schließlich über die Flüsse wieder in das Meer. Der Kreislauf des Wassers ist damit geschlossen.

Jährlich setzt der globale Wasserkreislauf etwa 480.000 Kubikkilometer Wasser um. Das ist allerdings nur ein Bruchteil der

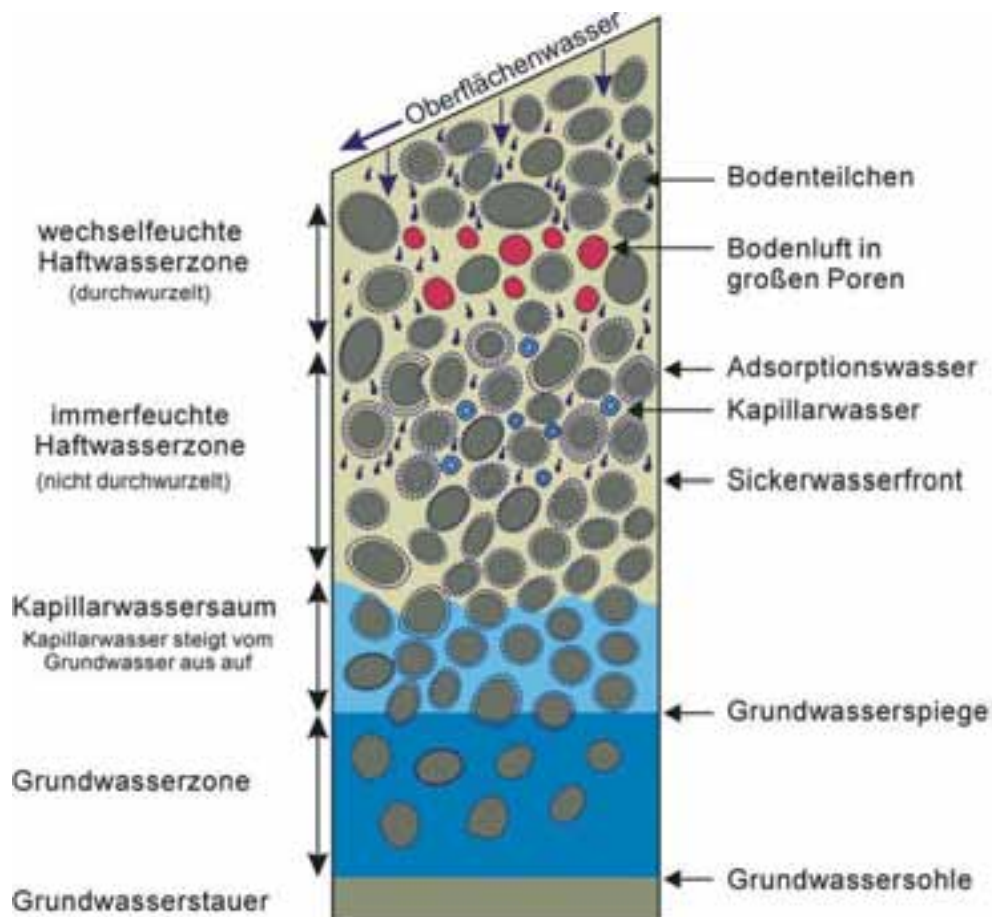

auf 8,3 Millionen Kubikkilometer geschätzten Süßwassermenge der Erde. Ein großer Teil dieses Wassers ist im Inlandeis Grönlands sowie in den Eismassen der Pole und in den Gletschern der Hochgebirge gebunden. Zu den Süßwasservorräten der Erde gehören auch sogenannte fossile Grundwasser in tiefen geologischen Schichten, die am Wasserkreislauf allerdings nicht teilnehmen. Solche Grundwasservorkommen stellen „Lagerstätten“ dar, deren Nutzung – zumindest was historisch überschaubare Zeiträume anbelangt – dem Abbau mineralischer Lagerstätten gleichkommt.



D2 | Wasserbilanz Bayerns (Zahlenangaben in Litern pro Quadratmeter und Jahr). **CD**



D3 | Die wichtigsten hydrologischen Prozesse bei der Infiltration: 1 = Niederschlag, 2 = Oberflächenabfluss, 3 = Sickerung in die Makroporen, 4 = Sickerung in den Makroporen, 5 = Sickerung in die Mikroporen durch die Bodenoberfläche, 6 = Sickerung von den Makroporen in die Mikroporen, 7 = Sickerung in den Mikroporen. **CD**

D4 | Bodenwasser und Bodenwasserzonen. 

3 Wo steckt das Wasser im Boden?

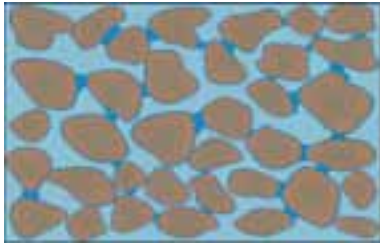
Der Wasserfluss im Boden erfolgt von Pore zu Pore. Je nachdem, wie das Wasser im Boden verteilt ist und wie es festgehalten wird, kann man mehrere „Wasserarten“ unterscheiden (→ D4). Das Halten des Wassers

im Boden gegen den Einfluss der Schwerkraft (= Haftwasser) beruht auf der Wirkung verschiedener Kräfte zwischen den Bodenpartikeln und den Wassermolekülen sowie auf den Kräften zwischen den Wassermolekülen selbst. Nach der Art dieser Kräfte kann man das Haftwasser in → Adsorptions- und → Kapillarwasser unterteilen (→ D4). Der Wassergehalt eines Bodens hängt eng mit dem Porenvolumen zusammen und schwankt entsprechend bei den verschiedenen Bodenarten (► Schüleraktivität D7).

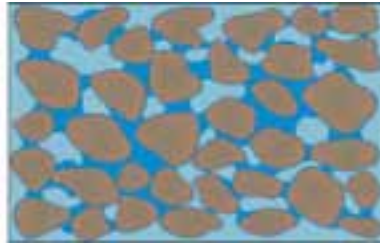
Das Adsorptionswasser umgibt die Bodenpartikel in dünnen Lagen von nur wenigen nm Dicke (1 nm entspricht einem Milliardstel Meter). Diese Dicke ist allerdings ausreichend, um Lebensraum für kleinste Bodenlebewesen zu sein (► Modul B Bodenleben). Das Kapillarwasser wird von den feinsten, untereinander verbundenen Porenräumen,

Bodenporen
Feinporen (= Mikroporen) < 0,2 µm (< 0,0002 mm)
Mittelporen (= Mesoporen) 0,2 – 10 µm (= 0,0002 – 0,01 mm)
Grobporen (= Makroporen) > 10 µm (> 0,01 mm) enge Grobporen (langsam dränend) 10 – 50 µm (0,01 – 0,05 mm) weite Grobporen (schnell dränend) > 50 µm (> 0,05 mm)

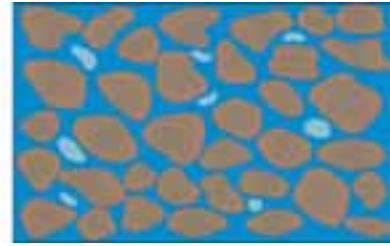
Tabelle D1 | Bodenporen und ihre Größe – Wichtige Kenngrößen für den Bodenwasserhaushalt.

**Trockener Boden**


In einem trockenen Boden befindet sich Wasser fast ausschließlich an den Außenflächen der Bodenpartikel. Es wird als Adsorptionswasser dabei sehr stark festgehalten. Daneben sind die Feinporen ($< 0.0002 \text{ mm} = 0.2 \text{ }\mu\text{m}$) mit Wasser gefüllt. In beiden Fällen ist das Wasser größtenteils nicht für die Pflanzen verfügbar.

**Feuchter Boden**

In feuchtem Zustand sind auch die Mittelporen des Bodens ($0.0002 - 0.01 \text{ mm}$) und zum Teil die engen Grobporen mit Wasser gefüllt. Kapillarkräfte verhindern bzw. verlangsamen das Versickern. Das Wasser ist größtenteils für die Pflanzen verfügbar.

**Nasser Boden**

Auch im nassen Zustand ist der Boden nicht vollkommen mit Wasser gefüllt, da in den weitesten Grobporen ($\varnothing 0.5 - 5 \text{ mm}$) Luft mit eingeschlossen ist. Bei Niederschlägen bewegt sich das Sickerwasser vor allem in den Grobporen $> 0,05 \text{ mm}$.

D5 | Wasserhaushalt in trockenem, feuchtem und nassem Boden. 

den Kapillaren (überwiegend $< 10 \text{ }\mu\text{m}$), getragen. Sie bilden ein Netzwerk, in dem das Wasser aus tieferen Bodenschichten oder dem Grundwasser kapillar nach oben gesogen werden kann. Dieser Kapillarhub ist umso höher, je kleiner die Porendurchmesser sind (► Schüleraktivität D5). Unmittelbar über dem Grundwasser existiert ein geschlos-

sener Kapillarwassersaum, in dem alle feinporigen Kapillaren wassergefüllt sind (↗ D4). Nach oben hin geht dieser in den offenen Kapillarwassersaum mit vielen einzelnen, sich fransenartig verlierenden Kapillaren über. In den Grundwasser beeinflussten → Gleyen prägt der Kapillarwassersaum den Go-Horizont (► Modul A „Was ist Boden?“).

4 Pflanzenverfügbares Wasser – Nutzwasserkapazität

Aufgrund fehlender und unterschiedlich starker Bindungskräfte des Bodens gegenüber den Wassermolekülen ist nicht das gesamte in den Porenraum einsickernde Niederschlagswasser für die Pflanzen verfügbar. Besonders das über die groben Poren gut drainierte Wasser spielt für den „Wasserspeicher Boden“ kaum eine Rolle, da es die durchwurzelten Bodenschichten rasch verlässt und in den Grundwasserkörper fließt. In den kleineren Poren bleibt es dagegen haften oder wird in diesen entgegen der Schwerkraft nach oben gesogen (↗ D8). Ein Maß für denjenigen Anteil des Wassers im Boden, der von den Pflanzenwurzeln genutzt werden kann, ist die → Nutzwasserkapazität. Diese wird in Vol-% angegeben und gibt den pflanzenaufnehmbaren Wasseranteil im Verhältnis zum Bodenvolumen wieder. Eine Nutzwasserkapazität von z. B. 25 Vol-% für einen schluffreichen Lössboden bedeutet, dass in einem Bodenkörper von 1 m^3 Rauminhalt $0,25 \text{ m}^3$, also 250 Liter, Wasser in pflanzenverfügbar

paazität von z. B. 25 Vol-% für einen schluffreichen Lössboden bedeutet, dass in einem Bodenkörper von 1 m^3 Rauminhalt $0,25 \text{ m}^3$, also 250 Liter, Wasser in pflanzenverfügbar

Der Boden als Schwamm

Boden besitzt wie ein Schwamm ein aus unzähligen Poren unterschiedlicher Größe bestehendes Hohlraumsystem. Durch die Verknüpfung der Poren miteinander kann Wasser in den Boden hinein- und durch ihn hindurchwandern oder auch kapillar in ihn hineingesogen werden. Die Größe der Poren bestimmt, wie schnell sich das Wasser bewegt und wie viel sich entgegen der Schwerkraft im Boden hält (bzw. dort für die Pflanzenwurzeln gespeichert wird). Das Adsorptionswasser ist allerdings so stark an die Bodenteilchen gebunden, dass es – im Gegensatz zum Kapillarwasser – für die Pflanzen nicht verfügbar ist.

Wasserverfügbarkeit bei landwirtschaftlicher Nutzung



D6 | Ohne den Wasserspeicher Boden wäre eine Landwirtschaft ohne ständige Bewässerung nicht möglich.

Der durch Transpiration der Pflanzen und die Verdunstung über die Bodenoberfläche hervorgerufene Wasserverbrauch beträgt für landwirtschaftliche Nutzflächen im Hochsommer in Mitteleuropa rund 4 – 6 mm pro Tag (das entspricht 4 – 6 Litern pro Tag und Quadratmeter). Für Sandböden (60 mm Nutzwasserkapazität) bedeutet ein so angenommener durchschnittlicher Wasserverbrauch von 5 mm pro Tag, dass die Pflanzen nach 12 Tagen ohne Niederschlag kein Wasser mehr aus dem Boden bekommen und somit in der Regel irreversibel geschädigt werden. 12 niederschlagsfreie Tage kommen so häufig vor, dass vielerorts auf Sandböden eine landwirtschaftliche Nutzung ohne Beregnung nur bedingt möglich ist. Unter sonst gleichen Voraussetzungen reicht das Wasser bei Lehm Böden aufgrund deren höheren Nutzwasserkapazität (→ Tabelle D2) bis zu 48 Tage. Selbst in den niederschlagsärmsten Gebieten Deutschlands mit Lössböden (Magdeburger Börde, Oberrheingraben) ist eine derartige Trockenperiode allerdings nur sehr selten der Fall.

Wie viel Wassernachschub aus dem Boden braucht ein Baum?

Bäume brauchen für ihren Stoffwechsel große Mengen Wasser. Der Wassertransport und mit ihm auch der Transport von Nährstoffen aus dem Boden zu den Blättern (► Modul C Waldboden) erfolgt über das Leitbahnsystem im Holz teils durch Wurzeldruck, teils ohne eigenen Energieaufwand durch den Verdunstungssog zwischen Boden, Pflanzenkörper und Atmosphäre. Der im Baum aufsteigende Wasserstrom erreicht Geschwindigkeiten, die bei Nadelbäumen 1 bis 2 m, bei Laubbäumen je nach Leitungsdurchmesser 1 m (Buche) bis 44 m (Eiche) je Stunde betragen. Nadelbäume verdunsten weniger Wasser als Laubbäume: Fichten ca. 10 Liter am Tag, Buchen ca. 30 Liter und Eichen ca. 40 Liter. Birken können an heißen Tagen weit über 100 Liter verbrauchen.



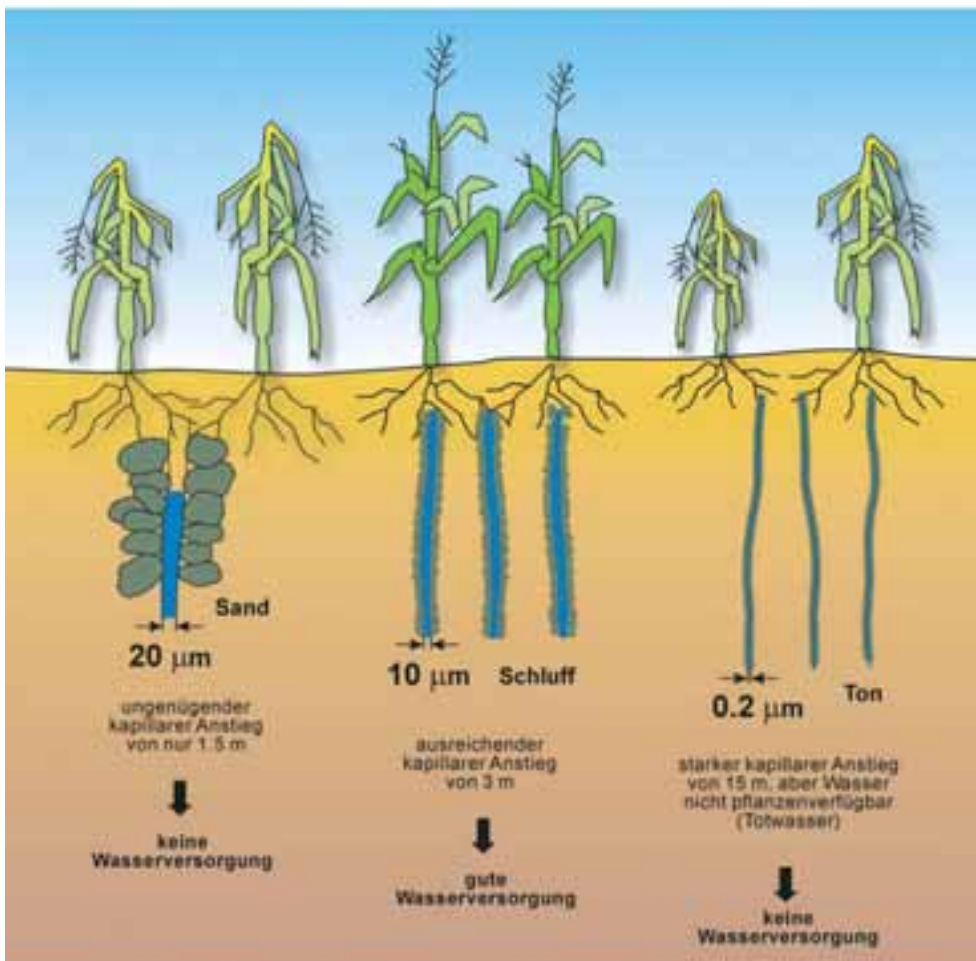
D7 | Auch für Bäume lebenswichtig: der Wasserspeicher und Wasserlieferant Boden. CD

Bodenart	Nutzwasserkapazität	Belüftung	Bearbeitbarkeit	Durchwurzelungstiefe
Sandboden	8 Vol.-%	günstig	günstig	60 – 100 cm
Lehmboden	20 Vol.-% und mehr	nicht optimal, aber ausreichend		100 – 150 cm
Tonboden	10 – 12 Vol.-%	schlecht	schwer	selten bis 150 cm

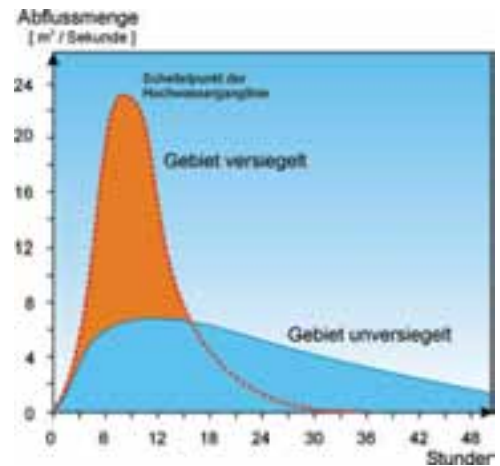
Tabelle D2 | Nutzwasserkapazität, Belüftung, Bearbeitbarkeit und Durchwurzelungstiefe für Kulturpflanzen (z. B. Getreide) für verschiedene Bodenarten.

rer Form gespeichert werden können. Etwa die Hälfte dieses Wassers gilt als leicht (d. h. ohne irgendwelche Ertragseinbußen) aufnehmbar. Alternativ wird die Nutzwasserkapazität auf eine Bodenfläche von 1 m² bezogen und dann als „Füllhöhe“ in dem Bodenkörper angegeben. Im Beispiel des Lössbodens sind dies 250 mm. Durch die Angabe der „Füllhöhe“ wird die Nutzwasserkapazität oder der Verlust durch Transpiration und Verdunstung (↗ Exkurs Wasserverfügbarkeit) besser vergleichbar mit den Niederschlagsmengen (üblicherweise angegeben in mm).

Für eine besonders hohe Nutzwasserkapazität ist ein hoher Anteil an mittelgroßen Poren günstig (Ø 0.2 – 10 µm). In diesen Poren bleibt das Wasser (kapillar) haften und für die Pflanzen verfügbar. Das Wasser der Feinporen (Ø < 0.2 µm) ist dagegen für die meisten Pflanzen nicht nutzbar, da ihre Wurzeln die dazu erforderlichen → Saugspannungen nicht erzeugen können (> 15.000 hPa). Dieses Wasser wird daher auch als Totwasser bezeichnet (↗ D8). Tabelle D2 zeigt, dass Lehmböden (Lehm = Mischung aus Ton, Schluff und Sand) aufgrund ihrer hohen Nutzwasserkapazität (20 Vol.-% und mehr) zu den besonders günstigen Böden gehören.



D8 | Die Wasserversorgung der Pflanzen durch kapillaren Aufstieg in unterschiedlichen Böden. **CD**



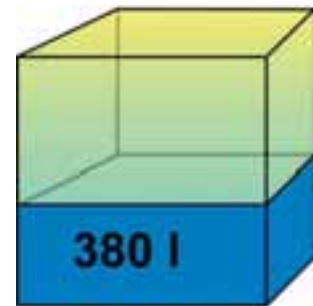
5 Der Boden als Ausgleichskörper

Beitrag DVD

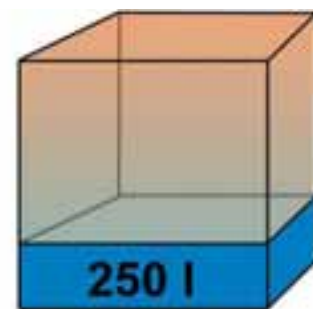
D9 | Links: Hochwasser am Main.
Rechts: Ganglinien eines Flusspegels nach Modellrechnungen für versiegeltes und unversiegeltes Gebiet.

Mit seiner Eigenschaft, Niederschlagswasser aufzunehmen und zeitlich verzögert über den Zwischenabfluss und das Grundwasser wieder abzugeben, trägt der Boden wesentlich dazu bei, dass sich Fließgewässer nicht im schnellen Wechsel von dünnen Rinnsalen zu reißenden Strömen verwandeln und umgekehrt. Dabei ist der Einfluss je nach Bodenform, Bodenart und Nutzung unterschiedlich ([↗ D10, D11](#)). Waldböden mit lockeren humusreichen Oberböden fördern die Aufnahme von Niederschlagswasser und bieten damit den besten Schutz vor Hochwasser. Dagegen verstärken verdichtetes und an der Bodenoberfläche verkrustetes Ackerland sowie versiegelte Flächen den Abfluss.

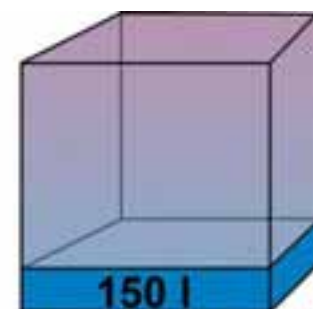
Besonders die Versiegelung von Flächen durch Industrie, Besiedelung und Straßenbau ([▶ Modul G Flächeninanspruchnahme](#)) und die Ableitung über die Kanalisation ohne wesentliche Zeitverzögerung haben Auswirkungen auf den Abfluss und den Gang der Pegel der Flüsse. Durch den stärkeren Oberflächenabfluss werden die Scheitel der Hochwasserganglinien erhöht ([↗ D9](#)).



Sandboden

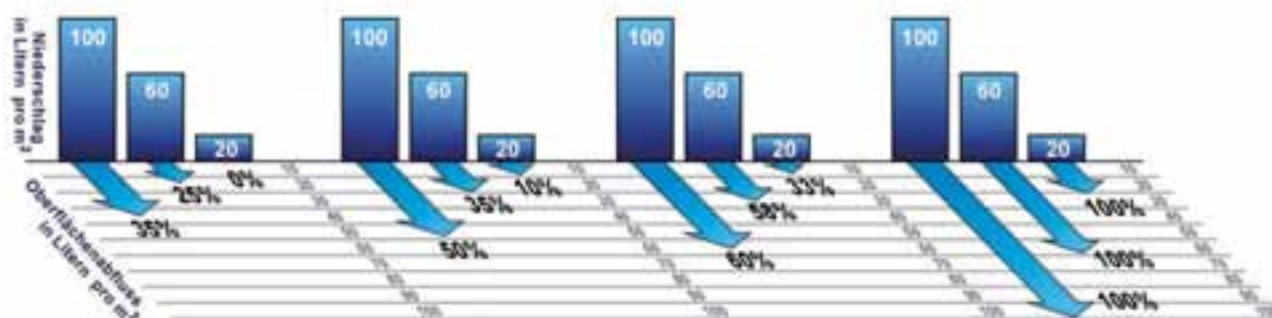


Lehmboden



Tonboden

D10 | Aufgenommene Wassermengen in Abhängigkeit von der Bodenart bei einem etwa einstündigen Infiltrationsversuch (hochgerechnet auf einen Bodenwürfel mit einem Meter Kantenlänge). Aufgrund ihrer geringen Anteile an Grobporen nehmen Ton- und Lehmböden im Vergleich zu Sandböden in gleicher Zeit kleinere Mengen Wasser auf. Durch Grabgänge oder Trockenrisse kann sich die pro Zeiteinheit infiltrierte Wassermenge jedoch deutlich erhöhen.



D11 | Der Oberflächenabfluss hängt sowohl von der Nutzung als auch von der Stärke des Niederschlagsereignisses ab. Unter Wald findet bei geringen Niederschlägen kein Abfluss statt. Bei starken Niederschlagsereignissen fließt nur gut ein Drittel des Niederschlags oberflächlich ab. Je naturfremder die Nutzung und damit auch der Bodenzustand, desto weniger Wasser kann der Boden selbst bei geringen Niederschlägen aufnehmen. Bei einer befestigten Fläche schließlich werden immer 100 % des Niederschlags als Oberflächenabfluss wirksam. **CD**

6 Wasser kann Boden zerstören – Bodenerosion

Beitrag DVD


D12 | Besonders landwirtschaftliche Nutzflächen sind von der Bodenerosion betroffen. **CD**

Wird durch Niederschläge mehr Wasser angeliefert, als der Boden aufnehmen und weiterleiten kann, fließt der Überschuss als Oberflächenwasser ab. Besonders in Landschaften mit begrenzter Infiltrationskapazität sind Oberflächenabflüsse eine wesentliche Ursache für die Erosion der Böden. Weitere Faktoren sind die Hangneigung, die Hanglänge, die Niederschlagsintensität, die Bodenart und die Nutzung.

Die Bodenerosion kann linien- und flächenhaft ausgeprägt sein. Der flächenhafte Abtrag verläuft langsam und wird daher oft kaum erkannt. Meist geht er über flache Eintiefungen (Rillen) nicht hinaus, die durch die nachfolgende Bearbeitung wieder verwischt werden. Dagegen richtet die linienhafte Erosion durch den konzentrierten Oberflächenabfluss plötzliche und spektakuläre Schäden an. Durch Starkregenereignisse können bis über 150 Tonnen Boden pro Hektar abgetragen werden. Das abgespülte Material wird entweder an anderer Stelle wieder akkumuliert oder geht endgültig verloren. Bodenerosion ist in Mitteleuropa besonders ein Problem bestimmter landwirtschaftlicher Anbauprodukte (z. B. Mais) und einiger Sonderkulturen (z. B. Weinbau) (► Modul E Landwirtschaft).



7 Die unsichtbare Reinigung – Der Boden als Filter für verschmutztes und belastetes Wasser

D13 | Die wichtigsten Elemente eines modernen Trinkwasserbrunnens. Sperrrohr und Abdichtung verhindern den raschen Zutritt von Oberflächenwasser. Dem Filterrohr fließt das durch den Boden und den geologischen Untergrund gereinigte Grundwasser zu. 

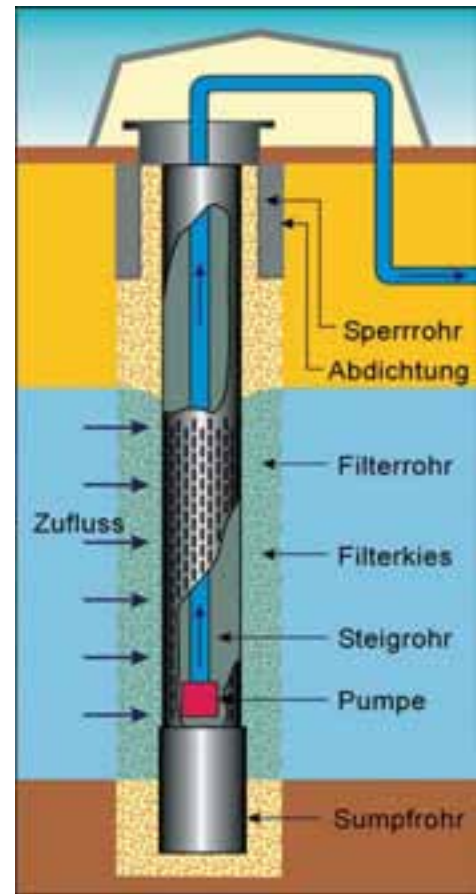
Boden ist unter natürlichen Bedingungen das wichtigste Glied im Reinigungsprozess des Niederschlags auf seinem Weg in das Grundwasser oder zur Quelle und trägt damit wesentlich zur Qualität unseres Trinkwassers bei. Die Reinigung des Sickerwassers geschieht dabei auf biologischem, chemischem oder mechanischem Wege. Die Aufnahmekapazität des Bodens für Schmutzpartikel und besonders auch für Schadstoffe ist allerdings begrenzt (► Modul F Schadstoffe). Ist diese überschritten oder ist durch Bodenerosion und Flächenversiegelung die Fähigkeit zur Reinigung des Sickerwassers generell reduziert oder sogar verloren, gelangen Schadstoffe ungehindert in den weiteren Wasserkreislauf.

Exkurs

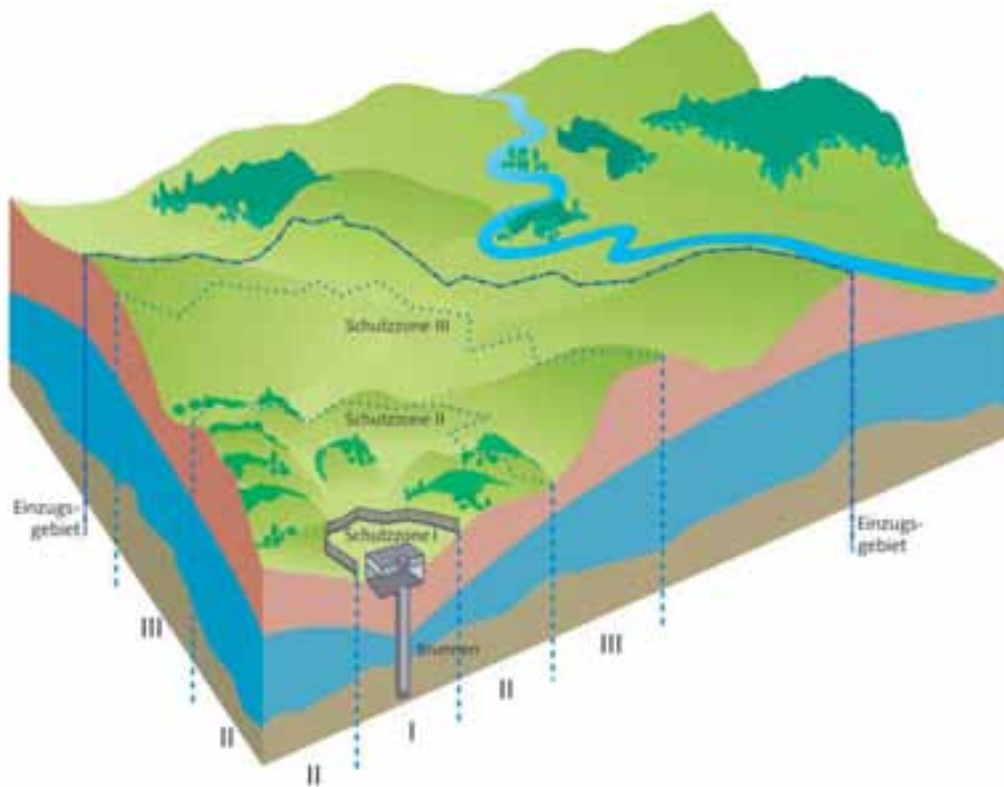
Trinkwasser aus Uferfiltrat

Zur Deckung des Wasserbedarfs werden in flussnahen Städten und Gemeinden Förderbrunnen in der Uferzone offener Gewässer angelegt, um das vorhandene Grundwasser durch unterirdisch zufließendes Fluss- oder Seewasser anzureichern. Wenn das verschmutzte Oberflächenwasser in den Untergrund eindringt und diesen durchsickert, wird es auf natürliche Weise im Kies oder im Sand von den meisten Schadstoffen gereinigt.

In manchen Gebieten geht man noch einen Schritt weiter: Man leitet das Flusswasser ab, klärt es durch Rechen und Absetzbecken grob vor und führt es in 25 bis 50 Meter breite, 1,5 Meter tiefe und 100 bis 300 Meter lange Infiltrationsbecken. Diese in der Flussaue angelegten Sickerbecken sind mit einer Sandschicht ausgekleidet. Das Wasser versickert und wird auf dem Weg zu den Brunnen durch die Kiese und Schotter im Untergrund gereinigt. Dort vermischt es sich mit dem natürlichen Grundwasser. Die Sandschicht des Beckens muss von Zeit zu Zeit ausgetauscht werden.

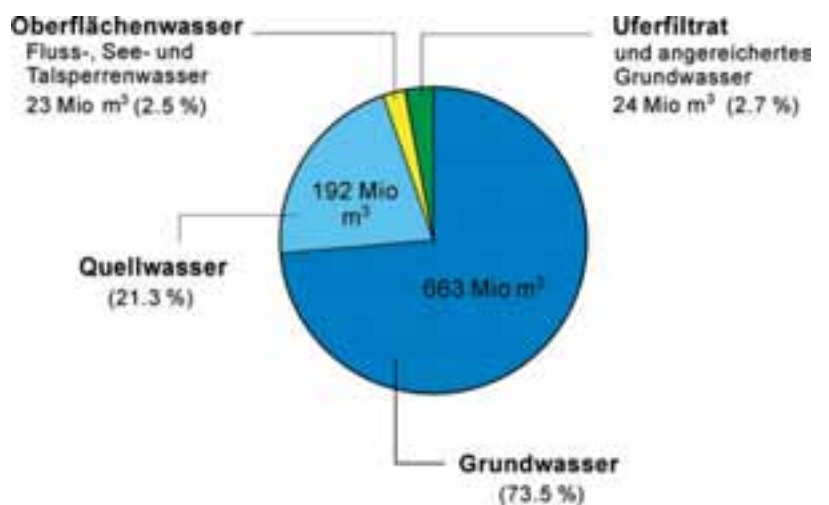


Aufgrund seines mechanischen Filtervermögens („Siebfunktion“) bindet der Boden feinste Schmutz- und Schadstoffpartikel des Sickerwassers. Selbst allerfeinste Partikel ($< 0,2 \mu\text{m}$) können in feinporenreichen Böden aus dem Sickerwasser herausgefiltert werden. Die Filterleistung eines Bodens kennzeichnet die Menge an Wasser (Niederschlagswasser oder → Uferfiltrat), die pro Zeiteinheit den jeweiligen Boden passiert und dabei gereinigt wird. Die mechanische Filterleistung wird vor allem durch den Porendurchmesser der Wasserleitbahnen und deren Kontinuität bestimmt. Sand- und kiesreiche Böden besitzen in der Regel eine hohe, ton- und schluffreiche Böden meist eine geringe Filterleistung. Sie nimmt stark ab, wenn die Leitbahnen im Laufe der Zeit durch die zurückgehaltenen Substanzen gefüllt werden. Das mechanische Filtervermögen des Bodens macht man sich bei der Trinkwassergewinnung aus sogenanntem Uferfiltrat zunutze (↗ Exkurs Trinkwasser aus Uferfiltrat).




D14 | Zum Schutz des Trinkwassers – Ausweisung von Schutz-zonen mit unterschiedlich strengen Auflagen für die Nutzung des Bodens: Zone I schützt die Grundwassergewinnungszone; Zone II reicht von Zone I bis zu einer Linie, von der aus das Grundwasser etwa 50 Tage bis zur Fassungsanlage benötigt. Sie bietet damit Schutz vor allem vor gesundheitsgefährdenden Mikroorganismen; Zone III schützt das Grundwasser vor weitreichenden Beeinträchtigungen, insbesondere vor nicht oder schwer abbaubaren chemischen Stoffen, die demnach innerhalb der Zonen I bis III nicht eingesetzt werden dürfen. Derzeit beträgt der Anteil der Wasserschutzgebiete an der Landesfläche in Bayern etwa 3.5 Prozent. CD

Das chemisch-physikalische Filtervermögen der Böden ermöglicht, dass gasförmige und vor allem gelöste Nährstoffe, aber auch Schadstoffe durch → Adsorption an bestimmte Bodenpartikel, die → Ionenaustauscher, gebunden oder nach Reaktion mit bodeneigenen Substanzen chemisch gefällt und im Boden fixiert werden. Sich ändernde chemische Rahmenbedingungen im Boden können diese jedoch auch wieder freisetzen (→ Bodenversauerung ► Modul C Waldböden). Böden mit hohen Gehalten an organischer Substanz und Ton sowie Eisen- (Fe-), Aluminium- (Al-) und Mangan- (Mn-)Oxiden zeigen in der Regel ein großes chemisch-physikalisches Filtervermögen, sandreiche Böden dagegen ein geringes.



D15 | Die Herkunft des Trinkwassers in Bayern. CD



D16 | Reservoir und Filter – Der Beitrag des Bodens zur Trinkwasserversorgung. 

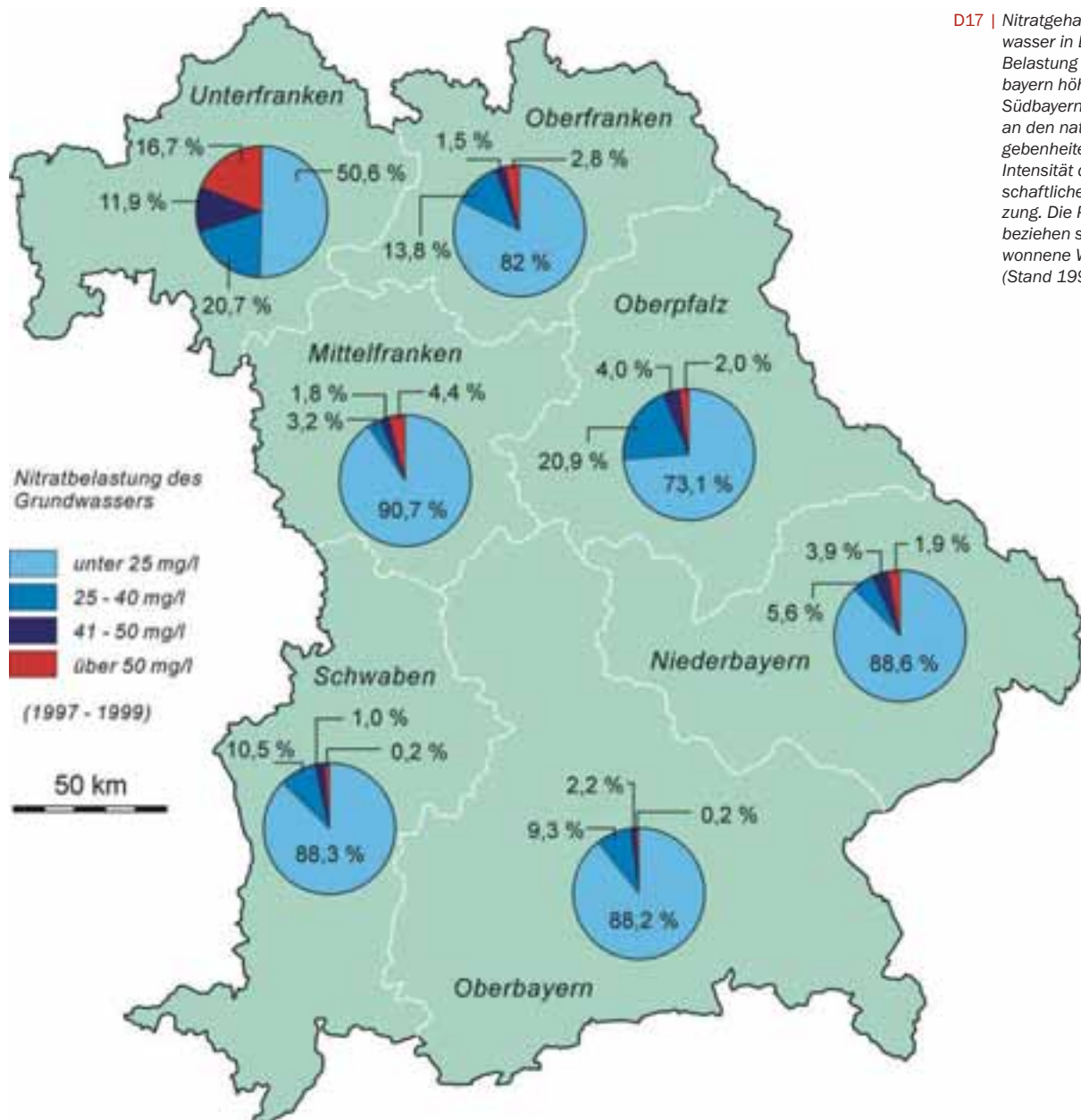
Eine besondere Rolle spielt auch das biologische Filtervermögen des Bodens. So halten die Bodenbakterien unter anderem Eisen, Mangan und organische Stoffe zurück (► Modul B Bodenleben). Im landwirtschaftlichen Bereich sorgen sie für den Abbau von chemischen Pflanzenschutzmitteln, bei einigen Substanzen können dabei allerdings auch unerwünschte Spaltprodukte entstehen (► Modul E Landwirtschaft). Andererseits ist wiederum die mechanische und chemisch-physikalische Filterwirkung des Bodens für das Rückhalten und den Abbau bakterieller Krankheitserreger verantwortlich, die damit ebenfalls nicht in das Trinkwasser gelangen.

Böden sind aufgrund ihrer genannten Fähigkeiten in der Lage, die chemischen Eigenschaften des Sickerwassers und damit auch die Einflüsse, die von außen auf sie einwirken, abzuschwächen (zu puffern). Von besonderer Bedeutung ist dabei die Pufferung von Säureinträgen aus der Atmosphäre. Sie wirkt der natürlichen und der durch den Menschen bedingten → Bodenversauerung entgegen. Böden enthalten verschiedene potenzielle Puffersubstanzen (► Modul F Schadstoffe).

8 Chemischer Stempel für das Wasser

Der Boden hat einen wesentlichen Einfluss auf die chemische Zusammensetzung des Bodenwassers sowie zusammen mit dem geologischen Untergrund auch auf die des Grund- und Trinkwassers sowie der Oberflächenwässer. Aufgrund seiner geringen Kontaktzeit mit dem Boden ähnelt der Oberflächenabfluss in seiner chemischen Zusammensetzung in viel stärkerem Maße dem Niederschlags- als dem Bodenwasser. Zwischen- und Grundwas-

serabflüsse haben hingegen einen länger andauernden und intensiven Kontakt mit dem Boden und dem Untergrundgestein und spiegeln deswegen die Boden- und Gesteinsbeschaffenheit sehr deutlich wider. Besonders prägend sind die gut löslichen Substanzen im Boden und im Untergrund, die sich unter anderem in der Wasserhärte niederschlagen (↗ Exkurs Wasserhärte). In Waldböden gut löslich sind die Huminstoffe der Humusaufgaben.



D17 | Nitratgehalte im Grundwasser in Bayern. Die Belastung ist in Nordbayern höher als in Südbayern. Dies liegt an den natürlichen Gegebenheiten und an der Intensität der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Die Prozentzahlen beziehen sich auf die gewonnene Wassermenge (Stand 1999). **CD**

Wasserhärte

Die Wasserhärte kennzeichnet die Konzentrationen der gelösten Erdalkalimetallsalze im Wasser, wobei es sich hauptsächlich um Calcium- (Ca^{2+}) oder Magnesiumionen (Mg^{2+}) handelt. Die Gesamthärte des Wassers setzt sich dabei aus zwei Anteilen zusammen: Der temporäre (vorübergehende) Anteil ist z. B. der Gehalt an Calcium-Hydrogencarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Das zunächst im Wasser gelöste Calcium-Hydrogencarbonat geht beim Erhitzen nach der Reaktionsgleichung



in Kohlendioxid und Karbonat (den sogenannten Kesselstein) über. Die permanente (bleibende) Härte des Wassers beruht auf Salzen mit anderen Anionen

wie z. B. Sulfat (SO_4^{2-}), Chlorid (Cl^-) oder Phosphat (PO_4^{3-}), die beim Erhitzen in Lösung bleiben.

Im technischen Bereich wird die Härte des Wassers in Grad der Deutschen Härte (Symbol $^\circ\text{d}$) gekennzeichnet. 1°d entspricht hierbei der Menge an Ionen pro Liter, die in 10 Milligramm Calciumoxid (CaO) enthalten sind. Leitungswasser wird durch die Wasserwerke in die Bereiche weich („1“, $< 7^\circ\text{d}$), mittelhart („2“, 7 bis 14°d), hart („3“, 14 bis 21°d) und sehr hart („4“, $> 21^\circ\text{d}$) eingestuft. Für die richtige Dosierung von Waschmitteln ist die Kenntnis der Wasserhärte wichtig, da die in den Waschmitteln enthaltenen Seifen durch Anwesenheit von Erdalkalimetallionen inaktiviert werden.



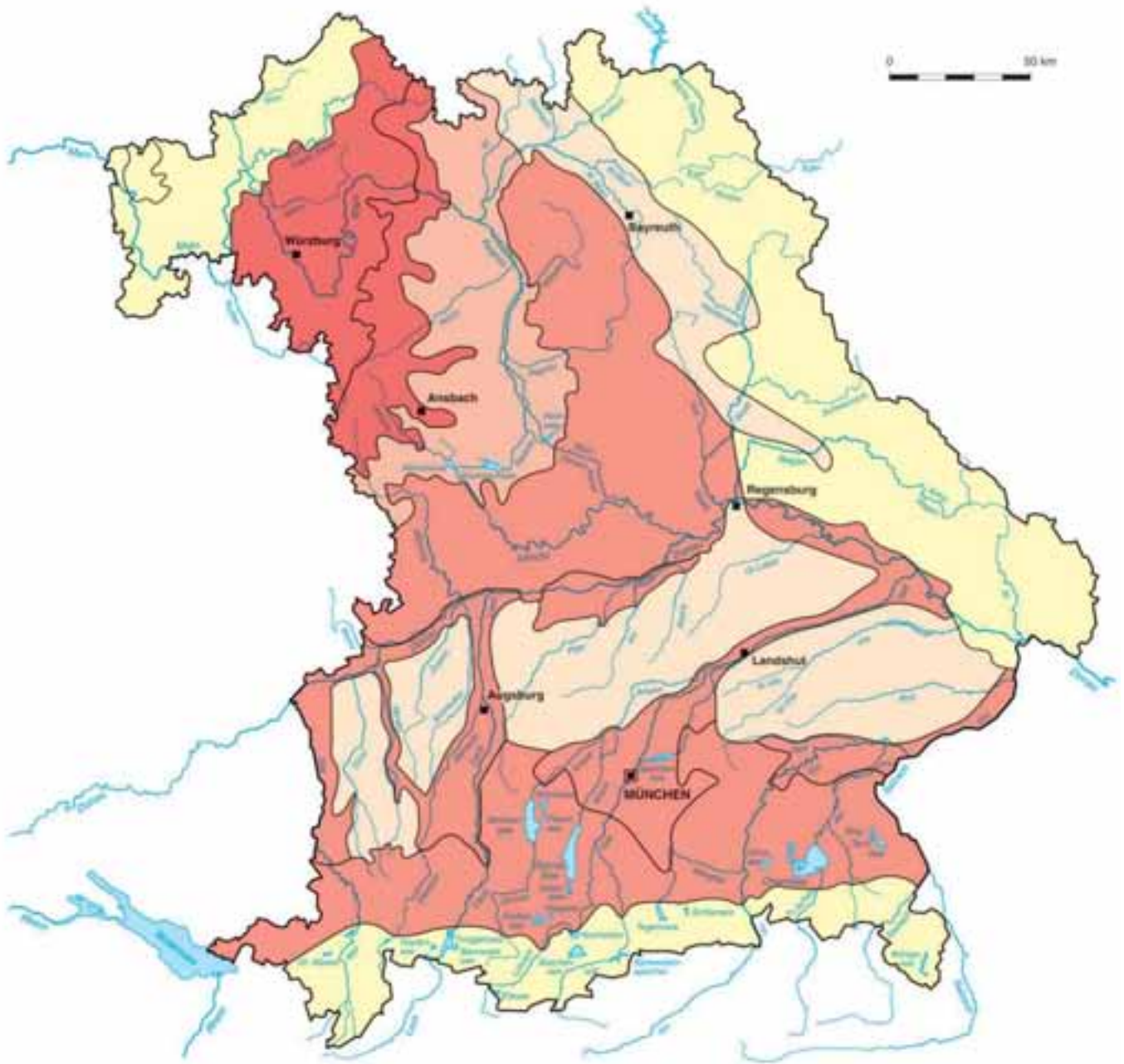
D18 | Grund- und Trinkwasser aus Kalkgebieten haben stets eine hohe Wasserhärte.

Besonders nach starken Niederschlägen ist dies durch die schwarzbräunliche („Cola“) Färbung von Waldbächen besonders gut zu beobachten (► Modul C Waldboden).

Die Karbonatlösung ist unter natürlichen Bedingungen der Hauptprozess, der die chemische Wasserbeschaffenheit prägt. Er wirkt der natürlichen und der anthropogen verursachten Versauerung von Flüssen, Seen und Grundwasser entgegen, führt aber gleichzeitig dazu, dass die Pufferkapazität eines Bodens auf natürliche Weise ständig abnimmt. Die damit gegebene Bodenversauerung ist

im industriellen Zeitalter erheblich beschleunigt worden. Sie wiederum ist Ursache für die Mobilisierung von giftig wirkenden Schwermetallen (► Modul C Waldboden).

Im landwirtschaftlichen Bereich kann Wasser bei seinem Durchgang durch den Boden eine breite Palette an löslichen Nährstoffen wie Nitrat (NO_3^-), Sulfat (SO_4^{2-}) oder organische Rückstände aufnehmen, die dann eine Gefährdung für das Oberflächen- und das Trinkwasser bedeuten können (► Modul E Landwirtschaft).



	Härtebereich (WRMG)	Grundwasserleiter	Härte in mmol / l
	1-2	Alpen, Kristallin, Buntsandstein	0,1 - 1,8
	1-3	Tertiär, Triashügelland	1,0 - 2,7
	2-4	Sandsteinkeuper	1,8 - 3,9
	3-4	Jura, Moränen, Quartär	2,6 - 3,4
	4	Muschelkalk, Gipskeuper	3,8 - 21,9

D19 | Verteilung der Wasserhärte in Bayern – Spiegelbild des geologischen Untergrundes und der Böden. [GD](#)

Weiterführende Literatur (Auswahl):

Baumgartner, A., Liebscher, H.-J. (1996): Allgemeine Hydrologie. Band 1. – 2. Aufl., 694 S., Berlin, Stuttgart (Gebr. Borntraeger).

Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (2000): Lernort Gewässer. Eine Handreichung für den projektorientierten Unterricht in den Jahrgangsstufen 5 – 10 und den Einsatz in Umweltbildungsstätten und in der Umwelterziehung. – München.

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2004) (Hrsg.): Hochwasser. Naturereignis und Gefahr. – SpektrumWasser, Heft 1, 2. Aufl., 84 S., München.

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2004) (Hrsg.): Grundwasser. Der unsichtbare Schatz. – SpektrumWasser, Heft 2, 98 S., 2. Aufl., München.

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2004) (Hrsg.): Aus gutem Grund. Trinkwasser aus Wasserschutzgebieten. – Themenhefte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 24. S., 2. Aufl., München.

Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (2002) (Hrsg.): Wasserland Bayern. Nachhaltige Wasserwirtschaft in Bayern. – 95 S., 4. Aufl., München.

Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (1998) (Hrsg.): Naturnaher Umgang mit Regenwasser. – Arbeitsblätter für die Bauleitplanung, Nr. 15, 64 S., München (► www.stmi.bayern.de).

Scheffer, F., Schachtschabel, P. (2002) (Hrsg.): Lehrbuch der Bodenkunde. – 15. Aufl., 528 S., Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag).

Schroeder, D. (1992): Bodenkunde in Stichworten. – 5. Aufl., bearb. von W.E.H. Blum, Berlin, 175 S., Stuttgart (Ferdinand Hirt).

Vereinigung Deutscher Gewässerschutz e.V. (2000)(Hrsg.): Naturstoff Wasser. – 64 S., 11. Aufl., Bonn.

Herausgeber

Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV)
Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB)