

*Umwelt und Energie, Kanton Luzern,
Bodenschutzfachstelle
Geografisches Institut der Universität Zürich*

Broschüre

DER

zum

BODEN

Bodenlehrpfad

LEBT

Meggerwald





*Umwelt und Energie, Kanton Luzern,
Abteilung Boden und Abfall,
Bodenschutzfachstelle*

Geografisches Institut der Universität Zürich

PROJEKTLEITUNG BODENLEHRPFAD

Matthias Achermann, Umwelt und Energie, Kanton Luzern

KONZEPT UND TEXT

Judith Burri, Umwelt und Energie, Kanton Luzern

FACHLICHE BERATUNG

Prof. Peter Fitze, Universität Zürich

Dr. Markus Egli, Universität Zürich

Jules Schärli, Umwelt und Energie, Kanton Luzern

ILLUSTRATION

Silvan Oehen, Luzern

GESTALTUNG

Max Wettach, Luzern

DRUCK

Brunner AG, Druck und Medien, Kriens

BEZUGSQUELLE

Umwelt und Energie, Kanton Luzern

Telefon 041 228 60 60

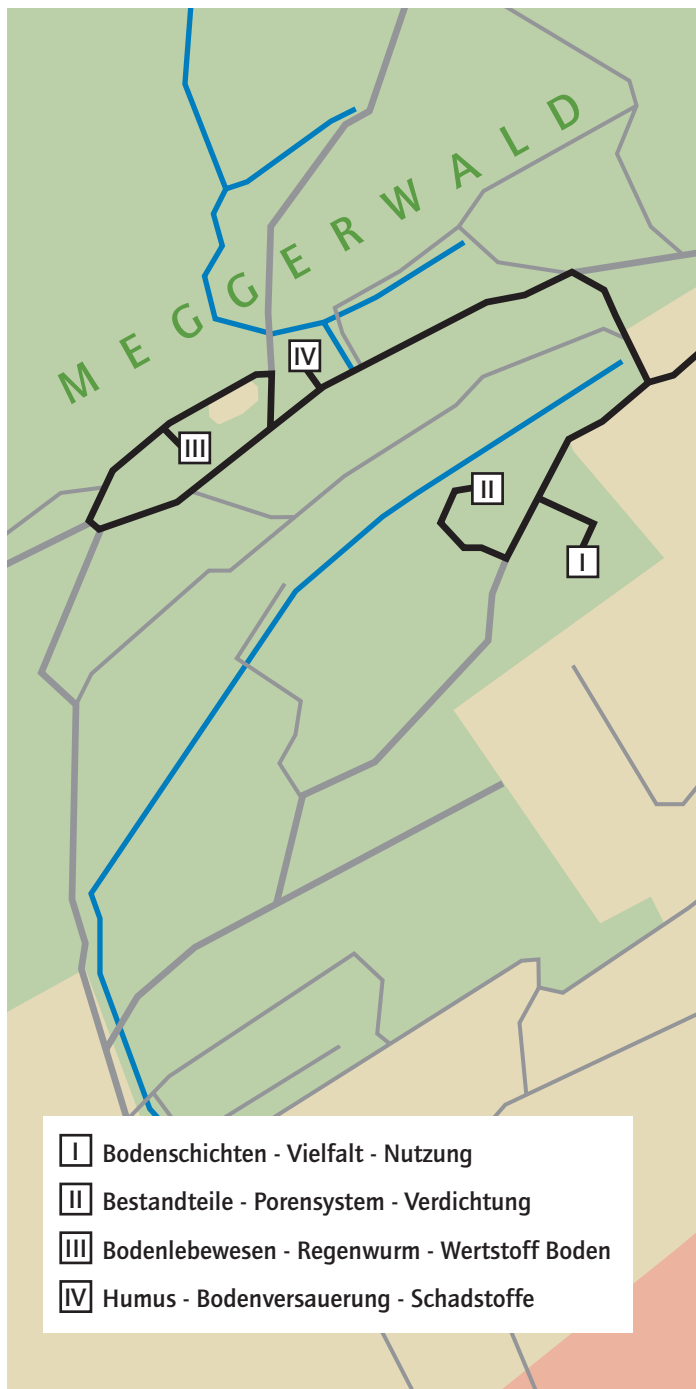
Telefax 041 228 64 22

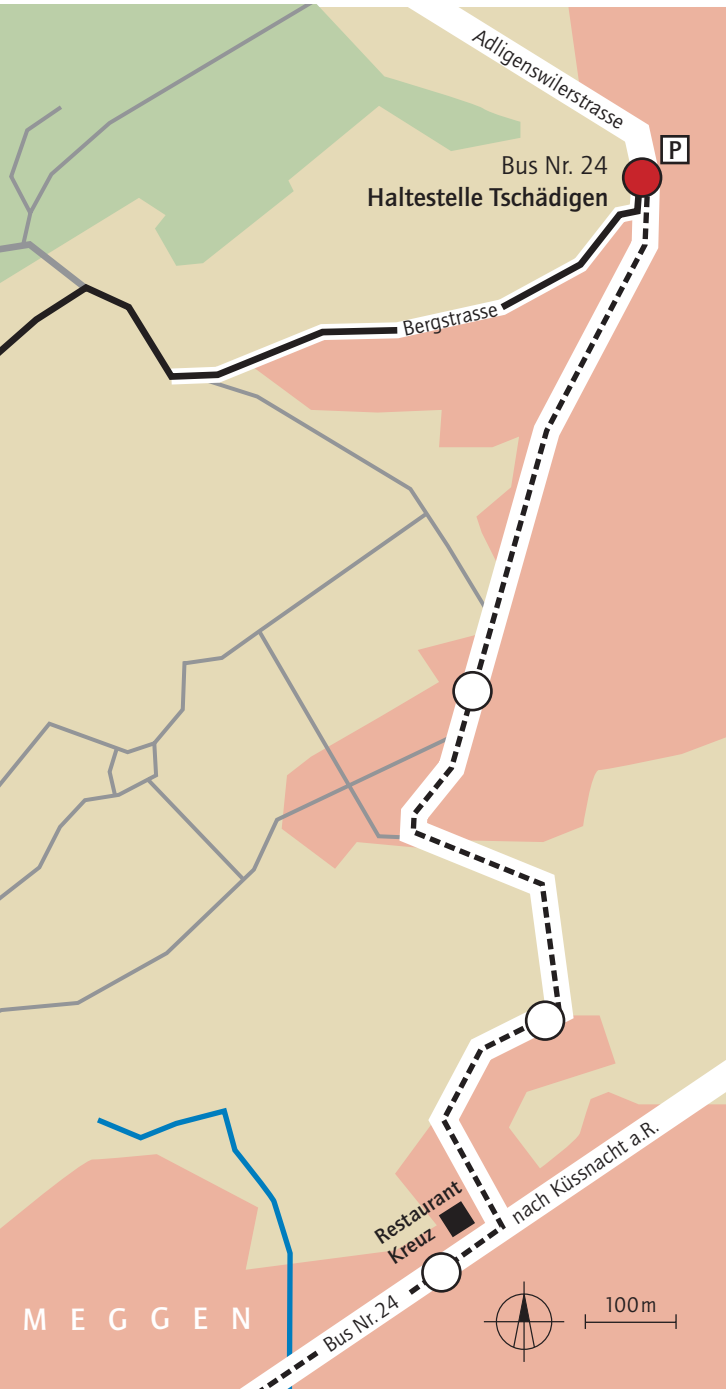
uwe@lu.ch

1. Auflage, Juli 2000, 2500 Exemplare

2. Auflage, April 2009, 2500 Exemplare

Preis Fr. 5.–





**Folgenden Personen/Institutionen
danken wir für ihre Mitarbeit am Projekt
Bodenlehrpfad**

CHRISTOPH BÜNTER
Revierförster bis 2000

KLAUS BURCH
Luzern

ANDREAS BURRI
Luzern

SONJA GEHRIG
Universität Zürich

ALOISIA HOFER
Waldbesitzerin

GEMEINDE MEGGEN
Waldbesitzerin

NATURFORSCHENDE GESELLSCHAFT LUZERN

WALTER SCHNIDER
Revierförster bis 1997

ADRIAN SCHNYDER
Waldbesitzer

RETO SPIESS
Universität Zürich

ROBI STALDER
Landwirt

JOSEF WALDIS
Revierförster ab 2000

DER BODEN LEBT

Broschüre zum Bodenlehrpfad Meggerwald

*Haben Sie schon einmal tief in
den Boden hineingeschaut?
Wenn nicht, möchten wir Ihnen
dies im Meggerwald anhand von
vier Bodenprofilen ermöglichen.*

*Umwelt und Energie, Kanton Luzern,
Bodenschutzfachstelle*

Geografisches Institut der Universität Zürich

EINLEITUNG

- 5 Auch Menschen sind Bodenlebewesen
- 6 Der Bodenlehrpfad Meggerwald
- 8 4 km Alpenschutt unter Ihren Füßen
- 9 Unsere Böden sind 10'000 Jahre alt

STANDORT I

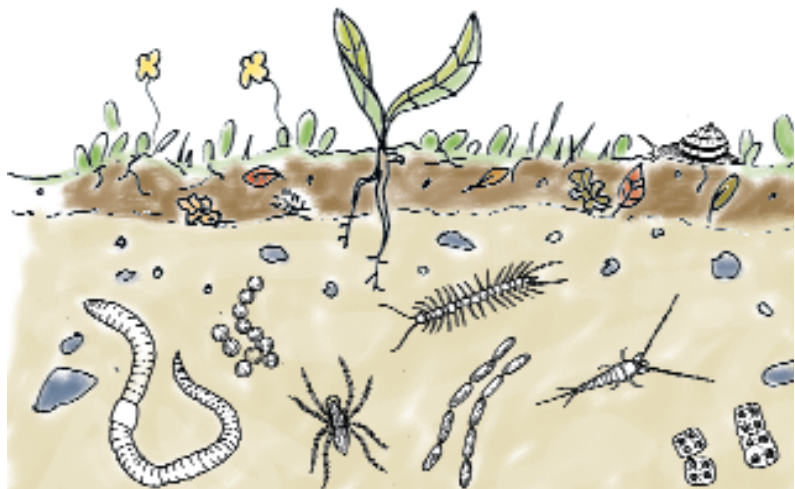
Bodenschichten - Vielfalt - Nutzung

- 12 Haben Sie schon einmal tief in den Boden hineingeschaut?
- 14 Boden hat viele Gesichter
- 16 Wir Menschen haben die Landschaft zu dem gemacht, was sie heute ist
- 18 Profil: Saure Braunerde

STANDORT II

Bestandteile - Porensystem - Verdichtung

- 20 Boden besteht zur Hälfte aus Hohlräumen
- 22 Über Poren gelangen Luft und Wasser in den Boden
- 24 Schwere Fahrzeuge und Maschinen zerstören die Bodenstruktur
- 26 Profil: Pseudogleyige Braunerde

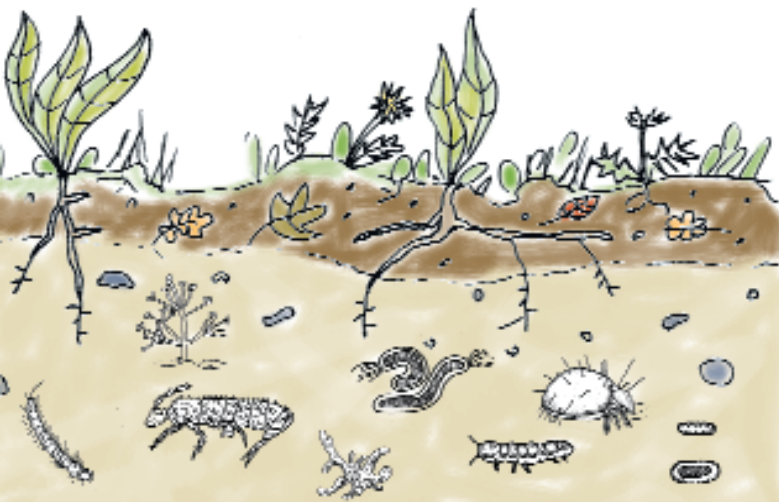


STANDORT III**Bodenlebewesen - Regenwurm - Wertstoff Boden**

- 28 In 1 kg Bodenkrume leben mehr Organismen als Menschen auf dieser Erde
- 30 Regenwürmer leisten Schwerarbeit zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit
- 32 Boden ist Lebensraum – kein Abfall
- 34 Profil: Gley

STANDORT IV**Humus - Bodenversauerung - Schadstoffe**

- 36 Humus besteht aus abgestorbenen Pflanzen und Tieren
- 38 Böden werden im Alter sauer
- 40 Vergiften wir allmählich unsere Böden?
- 42 Profil: Podsol

45 **GLOSSAR**47 **ADRESSEN / LITERATUR**48 **BILDNACHWEIS**



Ein naturnaher
Buchenwald

Auch Menschen sind Bodenlebewesen

*Wir leben und bewegen uns auf dem Boden.
Wir bauen und wohnen auf Boden.
Unsere Nahrung wächst auf Boden.
Viele Rohstoffe gewinnen wir aus dem Boden.
Boden ist unsere Lebensgrundlage.*

Wissen wir aber auch, was Boden genau ist? Wie unsere Böden entstanden sind? Wie alt sie sind? Wie sehr sie uns und unsere Umgebung beeinflussen? Und warum es wichtig ist, sorgfältig mit unseren Böden umzugehen? In dieser Broschüre finden Sie Antworten.



Über die Hälfte der Fläche des Kantons Luzern (55%) wird landwirtschaftlich genutzt.



Bei Bauprojekten soll mit dem Boden, der «Haut der Erde», sorgfältig umgegangen werden.

Der Bodenlehrpfad Meggerwald

Die meisten Menschen kennen von unseren Böden nur die Oberfläche. Deshalb möchten wir Ihnen beim Bodenlehrpfad Meggerwald einen etwas tieferen Einblick in den Boden ermöglichen.

An vier Standorten lernen Sie anhand von Bodenprofilen verschiedene Bodentypen und viel Interessantes mehr rund um den Boden kennen. Folgende Themen werden behandelt:

STANDORT I: Bodenschichten - Vielfalt - Nutzung

Bodentyp: Saure Braunerde

STANDORT II: Bestandteile - Porensystem - Verdichtung

Bodentyp: Pseudogleyige Braunerde

STANDORT III: Lebewesen - Regenwurm - Wertstoff Boden

Bodentyp: Gley

STANDORT IV: Humus - Bodenversauerung - Schadstoffe

Bodentyp: Podsol

Die Bodenprofile sind sehr empfindlich. Bitte tragen Sie Sorge dazu. Sie wurden 1995 von der Bodenschutzfachstelle des Kantons Luzern und dem Geografischen Institut der Universität Zürich geöffnet, damit StudentInnen der Universität Zürich bei einer jährlichen Exkursion einen Einblick in typische Böden der Innerschweiz erhalten.

Standort 4 des
Bodenlehrpfads
Meggerwald:
Profil eines Podsol



Mit dieser Broschüre möchten wir die Bodenprofile auch Ihnen zugänglich machen und Sie zu einem Besuch des Bodenlehrpfads Meggerwald einladen:

- Zu jedem Standort werden auf je zwei Doppelseiten grundsätzliche theoretische Bodenthemen dargestellt.
- Dann folgt eine weitere Doppelseite mit Beispielen aus der Praxis.
- Auf der letzten Doppelseite wird der jeweilige Bodentyp anhand des Bodenprofils detailliert vorgestellt.

Auf Seite 45 findet sich ein Glossar mit den wichtigsten bodenkundlichen Begriffen.

Für Mittelschulen haben wir ein Leitprogramm für den Unterricht im Meggerwald erarbeitet. Es kann bei uns bezogen werden (Adresse Seite 47).

Sie erreichen den Bodenlehrpfad Meggerwald ab Bahnhof Luzern mit dem Bus Nr. 24 (Kurs nach Tschädigen). Von der Haltestelle Tschädigen benötigen Sie rund 10 Minuten zum Standort 1 des Pfades. Die Karte im Umschlag weist Ihnen den Weg. Kleine Wegweiser helfen Ihnen zusätzlich, die Standorte zu finden.

Für einen Rundgang brauchen Sie ein bis zwei Stunden, je nachdem wie viel Zeit Sie bei den Profilen verbringen. Mit guten Schuhen, wetterfester Kleidung und dieser Broschüre sind Sie perfekt ausgerüstet. Wir wünschen Ihnen viel Vergnügen.

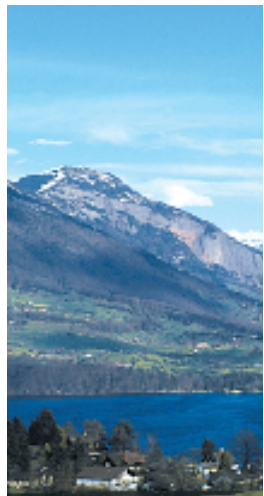
4 km Alpenschutt unter Ihren Füßen

Würden Sie hier ein 4-Kilometer-tiefes Loch bohren, fänden Sie eine mächtige Schicht aus Molasse (Alpenschutt), die teilweise von Moränen (Gletschergeschiebe) überlagert ist. Wie ist es dazu gekommen?

Noch während der Alpenfaltung wurden die entstehenden Gebirge bereits wieder abgetragen. Das von Flüssen und Bächen im Alpenvorland abgelagerte Gesteinsmaterial nennt man Molasse.

Die «Untere Süsswassermolasse» entstand vor etwa 25 Millionen Jahren und ist hier über 4'000 m mächtig. Sie setzt sich zusammen aus silikatreichen Sandsteinen und Mergeln, durchzogen von Nagelfluhbänken. Sandstein entstand aus Sandablagerungen, Mergel aus feinem Schlamm und Nagelfluh aus Kies und Geröll. Diese abgelagerten Schichten wurden bei einem letzten Schub der alpinen Gebirgsbildung, vor ca. 1,5 Mio Jahren, gefaltet.

Während den Eiszeiten, vor 1,5 Mio bis 10'000 Jahren, lag das Mittelland unter dem mächtigen Eispanzer des Reuss/Aare-Gletschers. Dieser formte die heutige Landschaft. Die vom Gletscher transportierten Gesteine wurden als Moränen abgelagert, die heute vielerorts die Molasse überdecken.



Unsere Böden sind 10'000 Jahre alt

Die Bodenbildung im Mittelland hat nach der letzten Eiszeit, vor über 10'000 Jahren, begonnen. Seit damals sind unsere Böden zu ihrer heutigen Form herangewachsen.

Gegen Ende der Eiszeit wird der Gesteinsuntergrund vom Eis freigegeben. Fels, Moränen oder Schotter sind das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung. Sie beginnen unter dem Einfluss von Temperaturveränderungen, Wind und Regen zu verwittern. In den entstehenden Klüften und Ritzen des Urbodens wachsen erste Pflanzen. Nachdem die Pflanzen absterben, werden sie von Bodentieren, Bakterien und Pilzen zersetzt und teilweise zu Humusstoffen umgewandelt. Die allmählich wachsende Humusschicht bietet immer mehr und grösseren Pflanzen Lebensraum, wodurch auch die Humusschicht weiter wächst. Wühlende Bodentiere vermischen den Humus mit der darunterliegenden Verwitterungsschicht. Nach und nach bildet sich ein humushaltiger Oberboden. Weiter unten erfasst die Gesteinsverwitterung immer grössere Tiefen, ein Unterboden entsteht.



Der Meggerwald liegt auf einem Hügelzug zwischen Luzern und Küsnacht. Vom Waldrand hat man eine wunderschöne Aussicht auf den Vierwaldstättersee und die Alpen.

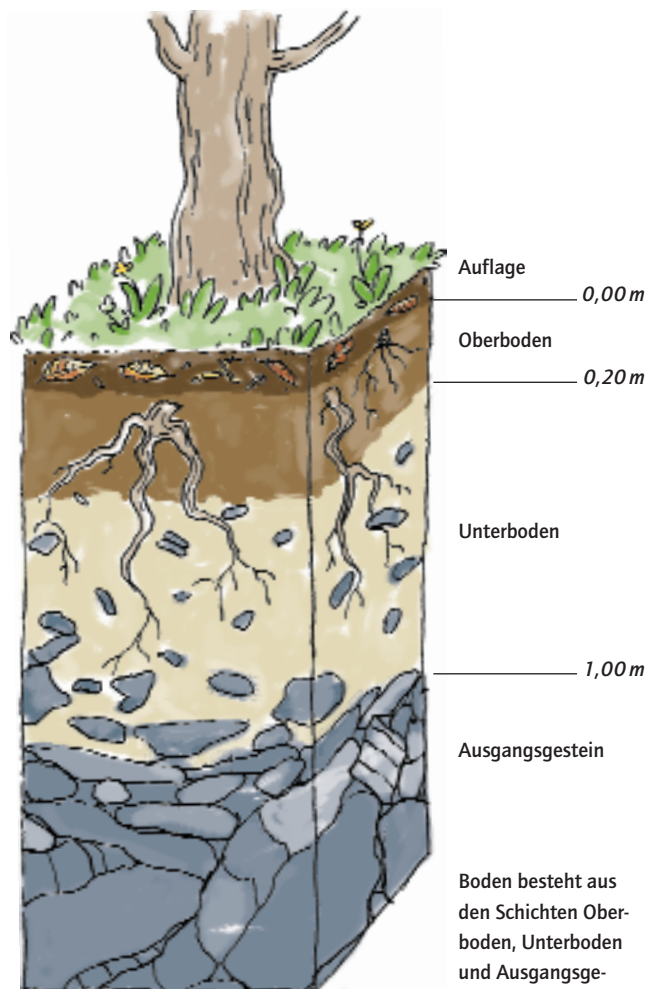




Intensiv landwirtschaftlich genutzte Landschaft. Strukturen und vielfältige Lebensräume für Pflanzen und Tiere fehlen.

Haben Sie schon einmal tief in den Boden hineingeschaut ?

Beim Blick in den Boden erkennt man einen geschichteten Aufbau. Dieser erzählt uns auch seine Entstehungsgeschichte.



Boden besteht aus den Schichten Oberboden, Unterboden und Ausgangsgestein. Auf dem Oberboden liegt die Auflagegeschicht.



In der Auflage (O-Horizont) sind die abgestorbenen Pflanzenteile wie Laub, Äste und Tannennadeln zum Teil noch gut erkennbar. Sie werden aber allmählich von Bodentieren und Mikroorganismen zerkleinert und zersetzt. Die Auflage ist typisch für Waldböden.



Im Oberboden (A-Horizont) wandeln Bakterien und Pilze die zersetzten Pflanzenreste teilweise zu Humusstoffen um. Diese werden von Bodentieren mit Material des Unterbodens vermischt. Durch den hohen Humusstoffanteil ist der Oberboden dunkelbraun gefärbt.



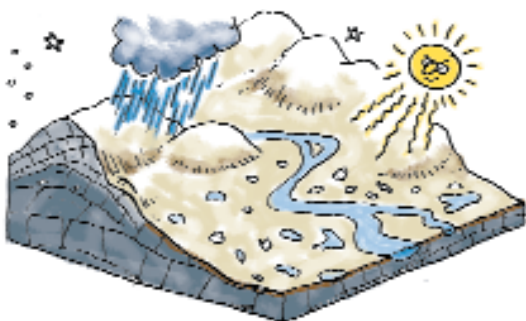
Der Unterboden (B-Horizont) besteht aus verwittertem Gestein. Er ist häufig durch Eisenverbindungen, die bei der Verwitterung freigesetzt werden, braunrot gefärbt. Wasser- und Nährstoffspeicherung sind von den Bestandteilen des Unterbodens abhängig.



Das unverwitterte Ausgangsmaterial (C-Horizont) erreicht man in einer Tiefe von ein bis zwei Metern. Aus ihm ist der eigentliche Boden entstanden. Im Meggerwald besteht der Untergrund aus Molasse, teilweise von Moränen der letzten Eiszeit überlagert.

Boden hat viele Gesichter

Je nach Standort und Umweltbedingungen entsteht ein anderer Boden. In der Schweiz gibt es über 30 verschiedene Bodentypen.



Ausgangsmaterial, Gelände, Klima, Alter des Bodens, Pflanzen, Bodelebewesen und die Menschen beeinflussen die Entwicklung eines Bodens zu einem bestimmten Bodentyp.

Im Zusammenspiel bestimmen verschiedene Faktoren den Ablauf der Bodenbildung und damit das Aussehen des Bodens an einem bestimmten Standort:

Die Art und Zusammensetzung des Ausgangsmaterials ist für die Bodenentwicklung entscheidend. Böden auf Granit werden sauer. Böden über lockerem Gestein sind tiefgründiger als auf Fels.

Lage und Form des Geländes beeinflussen den Bodenabtrag, das kleinräumige Klima und die Pflanzendecke. An Hängen ist der Bodenabtrag erhöht, in Mulden findet man vernässte Böden.

Das Klima ist ein sehr wichtiger Faktor bei der Bodenentwicklung. Häufige Temperaturwechsel und hohe Temperaturen fördern die Verwitterung. Niederschläge beschleunigen die Auswaschung und Verlagerung von Bodenbestandteilen.

Das Alter eines Bodens entspricht seinem Entwicklungszustand. Der ursprüngliche Gesteinsboden entwickelt sich über verschiedene Stadien in Jahrhunderten bis Jahrtausenden zu einem an die vorherrschenden Umweltbedingungen angepassten Bodentyp.

Pflanzen halten mit ihren Wurzeln den Boden zusammen und schützen ihn so vor Erosion. Durch Wurzelgänge kann Wasser schneller versickern und Luft in den Boden gelangen. Abgestorbene Pflanzenteile liefern das Material für den Humus.

Bodentiere, Pilze und Bakterien zerkleinern und zersetzen abgestorbene Pflanzenteile. Nährstoffe gelangen so in den Boden zurück. Wühlende Bodentiere (z. B. Würmer) mischen dieses organische Material in den Unterboden ein und verbessern insgesamt die Bodenstruktur.

Der Mensch beeinflusst die Prozesse im Boden durch die Bodennutzung und -bewirtschaftung.

Wir Menschen haben die Landschaft zu dem gemacht, was sie heute ist

Nach der Eiszeit entstand im Mittelland eine bewaldete Naturlandschaft. Menschen begannen diese vor etwa 2'500 Jahren zu verändern.

Waldrodungen und extensive Landnutzung schufen eine artenreiche Kulturlandschaft. Magerwiesen, Riedwiesen, kleine Äcker, Weiden, Hecken und Obstgärten boten verschiedensten Pflanzen und Tieren Lebensraum.

Ab dem 19. Jahrhundert führten Bevölkerungswachstum und moderne Technik zu einer starken Zunahme von Industrie, Verkehr, Siedlungsgebieten und der intensiven Landwirtschaft. Unsere Landschaft ist dadurch monotoner geworden. Ein enormer Artenverlust hat eingesetzt.



Extensiv genutzte
Wiese an der Rigi.

Nur ein Drittel der Schweiz ist bewohnt. Gewässer, Wald und Gebirge sind für uns Menschen nicht bewohnbar. Die Fläche, auf der sich unser tägliches Leben abspielt, ist beschränkt. Deshalb geraten unsere Böden immer mehr unter Druck.



Die Nutzung der Fläche der Schweiz.

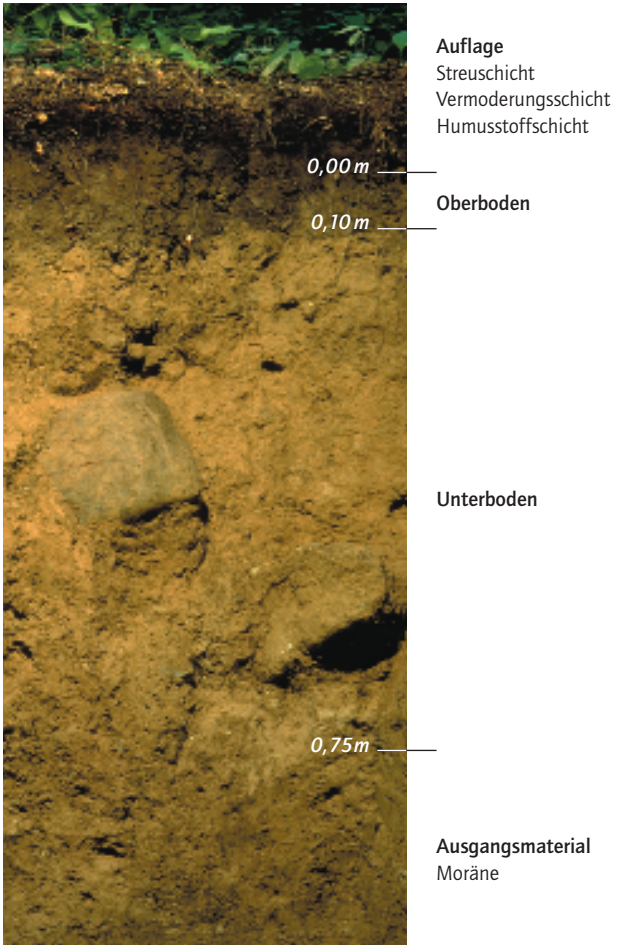
Die überbaute Fläche hat sich in der Schweiz seit 1950 verdoppelt. Immer noch wird jede Sekunde ein Quadratmeter fruchtbarer Boden überbaut.

Intensive Landwirtschaft verändert die Böden. Zuviel Dünger und Pflanzenbehandlungsmittel sowie der Einsatz schwerer Maschinen mindern die Bodenfruchtbarkeit. Probleme wie Verdichtung, Erosion und Schadstoffbelastung nehmen zu.

Luftschadstoffe aus Industrie, Gewerbe, Haushalten und Verkehr fallen schlussendlich zu Boden. Sie reichern sich dort an, vermindern die Bodenfruchtbarkeit oder gelangen in die Nahrungskette.

Die saure Braunerde erkennt man am braunroten Unterboden

Massgebliche Prozesse bei der Bildung von Braunerden sind die Verlehmung und Verbraunung.



Verbreitung

Braunerden sind typische Böden unserer Klimaregion. Sie entstehen in kühlen und feuchten Gebieten auf kalkarmen Gesteinen (z. B. Nagelfluh). In der Schweiz findet man sie häufig im Hügelland der Voralpen.

Entstehung

Der Kalk im Ausgangsmaterial wird mit dem Bodenwasser gelöst und wegtransportiert. Sobald aller Kalk entfernt ist, sinkt der pH-Wert im Boden in den schwach sauren Bereich. Erst jetzt beginnt die Verwitterung der anderen Gesteine: Verlehmung und Verbraunung setzen ein.

Verlehmung: Bei der Verwitterung der Gesteine werden Tonteilchen gebildet. Diesen Prozess nennt man Verlehmung.

Verbraunung: Bei der Verwitterung wird auch Eisen freigesetzt. Beim Kontakt mit der Bodenluft reagiert es mit dem Sauerstoff und wird in Eisenoxid (= Rost) umgewandelt. Aufgrund dieser Verbraunung ist der Unterboden braunrot gefärbt.

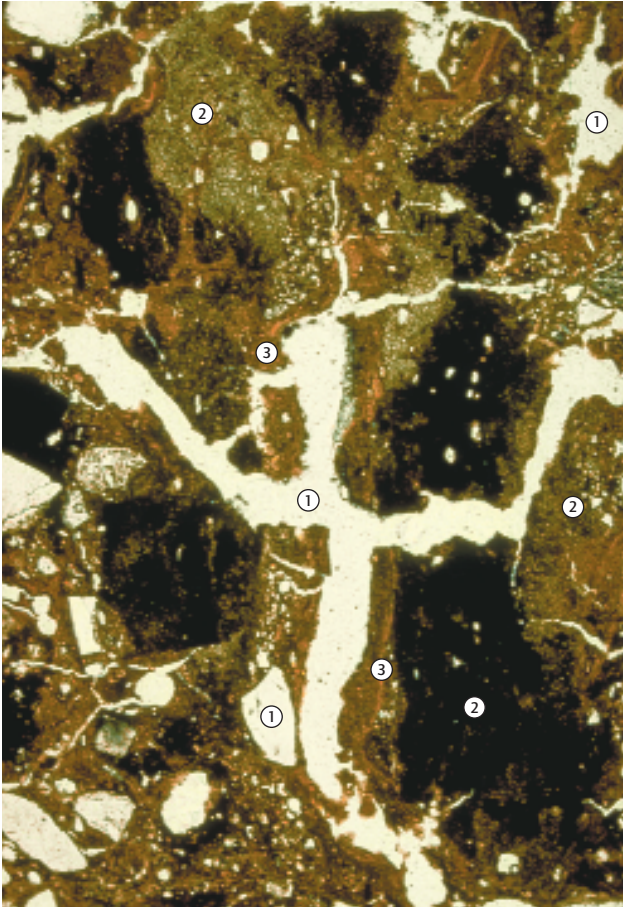
Besonderes

Braunerden mit einem Tongehalt von ca. 25% sind fruchtbare Böden mit guter Wasserspeicherung. Im nassen Zustand sind sie jedoch verdichtungsgefährdet und sollten nicht mit schweren Maschinen befahren werden.

Stark saure Braunerden können sich weiterentwickeln zu Podsolen. Bei Einfluss von Stau- oder Grundwasser entstehen aus Braunerden die Böden Pseudogley und Gley. Diese Bodentypen werden Sie an den anderen drei Standorten des Bodenlehrpfads noch kennenlernen.

Boden besteht zur Hälfte aus Hohlräumen

Die Anordnung der Bodenteilchen ergibt ein bestimmtes Gefüge. Dazwischen hat es Hohlräume (Poren). Diese Struktur bestimmt massgeblich die Bodenfruchtbarkeit.

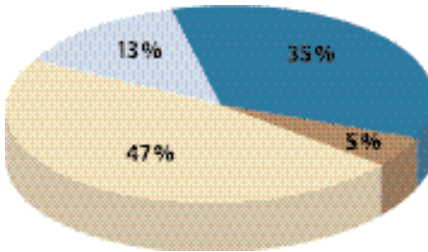


0,1 mm

Ein Schnitt durch einen Unterboden (Dünnschliff): Zwischen den festen Bestandteilen bildet sich ein vielfältiges Porensystem aus.

- 1 Poren
- 2 mineralisches Material
- 3 Eisenoxid/Ton-Partikel

Die Bodenteilchen setzen sich zusammen aus organischen und anorganischen Bestandteilen. Die Poren sind entweder mit Wasser oder mit Luft gefüllt.



Zusammensetzung eines Bodens:	Poren:	Bodenteilchen:
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 13% Luft ■ 35% Wasser 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 5% organisches Material ■ 47% mineralisches Material

Organisches Material findet man vor allem in der Auflage und im Oberboden. Es umfasst den Humus (abgestorbene Pflanzenteile und ihre Umwandlungsprodukte), Pflanzenwurzeln, Bodentiere sowie Mikroorganismen.

Mineralisches Material ist verwittertes und unverwittertes Gestein wie Steine, Sand, Schluff, Ton. Der Unterboden der meisten Böden besteht fast zu hundert Prozent aus mineralischem Material.

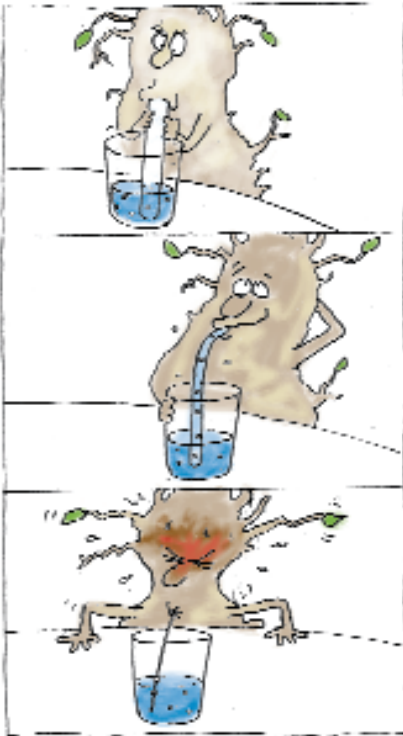
Krümelig Boden ist fruchtbar. Bodenteilchen aus verkitteten Ton-, Humus- und Sandteilchen nennt man Bodenkrümel. Sie bilden eine stabile aber lockere Bodenstruktur mit einem vielfältigen Porensystem (Krümelgefüge).



Krümelig Boden kann viel Wasser, Luft und Nährstoffe speichern. Durch den guten Zusammenhalt der Bodenteilchen ist die Gefahr von Erosion gering und die mechanische Belastbarkeit bei trockenem Boden gross.

Über Poren gelangen Luft und Wasser in den Boden

Das Porensystem im Boden besteht aus verschieden grossen Hohlräumen. Je nach ihrer Grösse haben diese Poren eine unterschiedliche Funktion im Boden.



Wasser in Grobporen versickert schnell ins Grundwasser.

Pflanzen ernähren sich mit Wasser aus den Mittelporen.

Wasser in Feinporen ist für Pflanzen nicht verfügbar.

In den Grobporen (grösser als 50 Mikrometer) versickert das Wasser nach Regenfällen innert zwei Tagen ins Grundwasser. Es kann daher von Pflanzen kaum genutzt werden.

Dafür dringt durch diese Poren Luft in den Boden ein. Eine gute Durchlüftung des Bodens ist wichtig, da Pflanzenwurzeln und Bodenlebewesen Sauerstoff zum Atmen brauchen und auch verschiedene chemische Reaktionen bei der Bodenbildung auf Sauerstoff angewiesen sind.

In den Mittelporen (0,2 bis 50 Mikrometer) bleibt das Wasser über längere Zeit im Boden gespeichert. Es ist daher für die Pflanzen mehrere Tage oder Wochen lang verfügbar.

In den Feinporen (kleiner als 0,2 Mikrometer) wird das Wasser sehr stark festgehalten. Pflanzenwurzeln haben nicht genügend Saugkraft, um es aufzunehmen. Dieses Wasser ist also für die Pflanzen nicht verfügbar.

Dieser Boden kann pro Quadratmeter 300 Liter Wasser speichern. Im Boden, den Sie vor sich sehen, machen die Mittelporen etwa 20% des Bodenvolumens aus. Nach starken Regenfällen ist daher 20% des Bodenvolumens mit pflanzenverfügbarem Wasser gefüllt. Bei einer Tiefe von 1,5 m sind das 300 Liter Wasser pro Quadratmeter Bodenfläche. Die hier auf einem Quadratmeter wachsenden Pflanzen brauchen pro Tag ca. 5 Liter Wasser. Der Boden kann die Pflanzen also 60 Tage lang mit Wasser versorgen.

Schwere Fahrzeuge und Maschinen zerstören die Bodenstruktur

In der Forst-, Land- und Bauwirtschaft wurden in den letzten Jahrzehnten zunehmend schwere Fahrzeuge und Maschinen eingesetzt. Bodenverdichtungen sind die Folge.

Bei Druckbelastung durch ein schweres Gefährt werden die grossen Hohlräume (Groporen) im Boden zusammengepresst. Dadurch wird der Boden weniger durchlässig für Wasser und Luft. Besonders problematisch ist eine Verdichtung im Unterboden, weil in der Tiefe eine maschinelle Lockerung des Bodens nicht möglich ist.

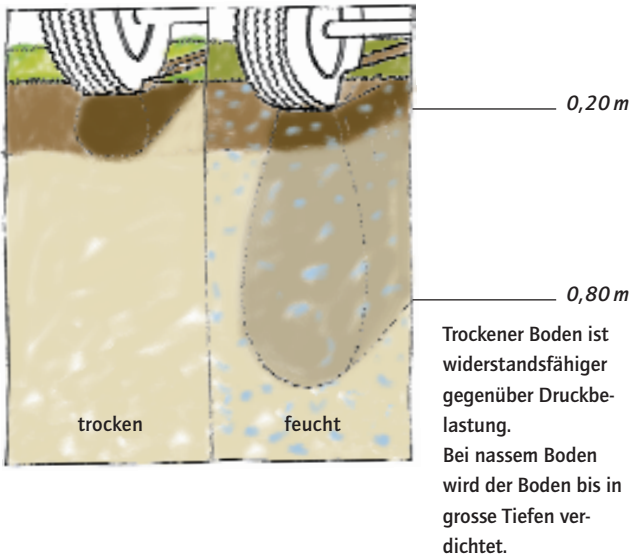
Nach Regenfällen fließt das Wasser auf verdichteten Böden langsamer ab. Die Böden bleiben über längere Zeit vernässt. Bei langanhaltenden Regenfällen steigt die Gefahr von Überschwemmungen.



Durch schwere Fahrzeuge verdichteter Ackerboden: Nach starkem Regen fließt das Wasser nur noch langsam ab.

Die Luftversorgung im Boden ist behindert, da weniger Grobporen vorhanden sind und der Boden länger wassergesättigt bleibt. Bodenlebewesen und Pflanzenwurzeln leiden unter Sauerstoffmangel. Der Ertrag in der Landwirtschaft nimmt ab. In stark verdichteten Waldböden ist die Verjüngung des Baumbestandes gefährdet.

Nasser Boden ist verdichtungsanfällig. Die Belastbarkeit eines Bodens hängt stark von seinem Wassergehalt, aber auch von der Grösse und Zusammensetzung der Bodenbestandteile bzw. dem Gefüge ab. Das Krümelgefüge trocknet schnell ab und ist dann sehr tragfähig.

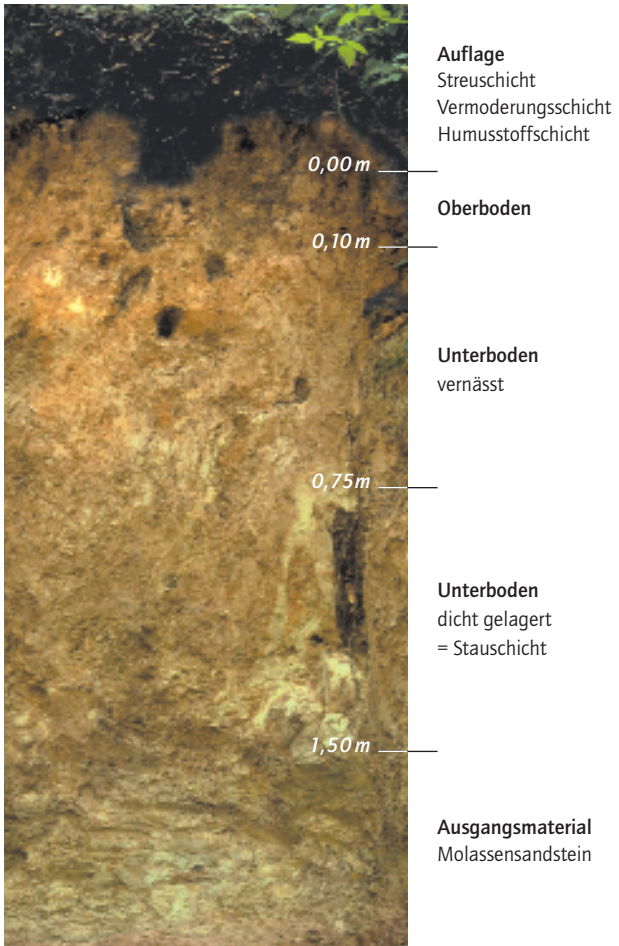


Ein Viertel der Ackerböden in der Schweiz ist stark verdichtungsgefährdet. Um Ertragseinbussen und grössere Hochwasserschäden zu vermeiden, ist ein sorgfältiger Umgang mit dem Boden notwendig.

- Der Boden soll nur im trockenen Zustand befahren werden, da er dann tragfähiger ist.
- Der Einsatz von möglichst leichten Fahrzeugen mit breiten Reifen, noch besser Raupen, verkleinert den Druck pro Fläche und vermindert damit die Gefahr von Verdichtungen.

Die pseudogleyige Braunerde ist von gestautem Wasser geprägt

Typisch für die pseudogleyige Braunerde sind marmorierte Vernässungszeichen im Unterboden: braunrote und graue Flecken.



Verbreitung

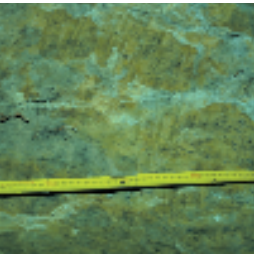
Ein natürlich entstandener Pseudogley tritt dort auf, wo im Unterboden eine verdichtete oder tonreiche Schicht vorhanden ist, so dass das Regenwasser gestaut wird. Bei diesem Profil ist diese Schicht geologisch bedingt, das heisst, durchlässiges Material wurde über undurchlässigerem abgelagert.

Je nach Intensität der Vernässung eines Unterbodens spricht man von einem Pseudogley oder pseudogleyigen Bodentyp. Hier handelt es sich um eine pseudogleyige Braunerde.

Entstehung

Nach Regenfällen kann über der Stauschicht im Unterboden das Wasser nicht schnell genug abfließen. Der Boden bleibt längere Zeit vernässt.

Pseudovergleyung: Im nassen Zustand gelangt kein Sauerstoff mehr in den Boden. Unter diesen Bedingungen beginnt sich das Eisenoxid im Wasser zu lösen, wodurch sich der Unterboden fahlgrau verfärbt.



Wenn das Wasser abfließt und Luft in den Boden eindringt, fällt das gelöste Eisen als Eisenoxid wieder aus. Dadurch bilden sich rostige Eisen-Flecken. Dort wo das Eisen herausgelöst wurde, bleiben hellgraue Flecken zurück.

Besonderes

Pseudogleyige Böden haben eine Stauschicht mit einem hohen Anteil an Feinporen im Unterboden. Viele Pflanzenwurzeln können diese Schicht nicht durchstossen. Kräftige Pflanzen mit Pfahlwurzeln, wie zum Beispiel die Weisstanne, können aber nicht nur tief in den Boden eindringen, sondern dadurch auch die verdichtete Schicht auflockern und so auf natürliche Weise drainieren.

In 1 kg Bodenkrume leben mehr Organismen als Menschen auf dieser Erde

Jeden Herbst fallen vor allem in Laubwäldern tonnenweise Blätter auf den Boden. Wenige Wochen oder Monate später sieht man kaum mehr etwas davon. Wer vollbringt die Gewaltsleistung dieser Aufräumarbeit?



Boden ist Lebensraum für eine Vielzahl von Bodenlebewesen, die alle eine bestimmte Aufgabe erfüllen.

- | | |
|------------------|-------------|
| 1 Insektenlarven | 7 Asseln |
| 2 Regenwürmer | 8 Bakterien |
| 3 Schnecken | 9 Pilze |
| 4 Springschwänze | 10 Algen |
| 5 Milben | |
| 6 Spinnen | |

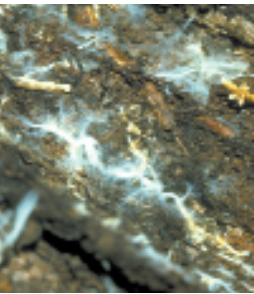
Drei Viertel der abgestorbenen Pflanzenteile werden von den Bodenbewohnern in kurzer Zeit zu Nährstoffen abgebaut, die die Pflanzen direkt wieder aufnehmen können. Der Rest wird in Humusstoffe umgewandelt.

Die Bodenbewohner arbeiten im Team. Denn um das stetig anfallende tote Material zu Nährstoffen und Humusstoffen umzuwandeln, ist die Zusammenarbeit verschiedener Bodenorganismen nötig. Jede Gruppe und jede Art hat eine ganz bestimmte Aufgabe.



Tausendfüßler

Zur *Makrofauna* gehören grosse, von Auge sichtbare Bodentiere wie Regenwürmer, Insektenlarven, Springschwänze, Milben, Tausendfüßler, Asseln, Spinnen und Schnecken. In einer grossen Artenfülle zerlegen sie die abgestorbenen Pflanzenteile der organischen Auflage.

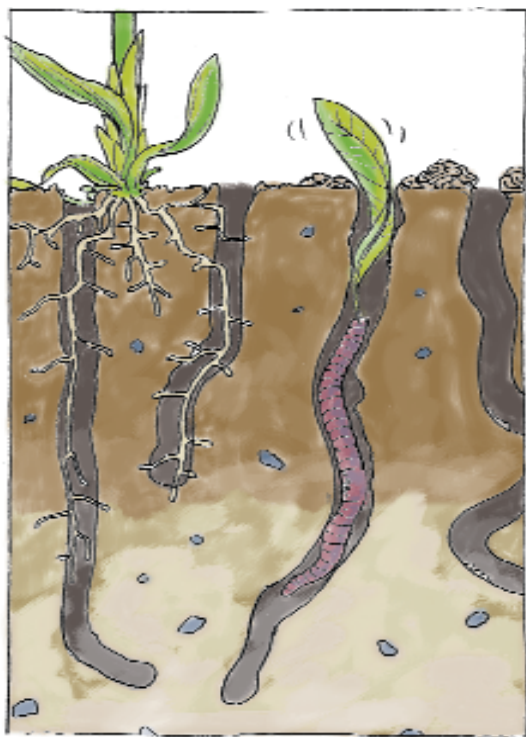


Abbauender
Bodenpilz

Mikroorganismen sind so klein, dass man sie erst im Mikroskop bewundern kann. Dennoch sind Bakterien und Pilze die häufigsten Bodenbewohner. Sie zersetzen abgestorbene Pflanzen und Tiere und den Kot grösserer Tiere. Es gibt kein natürliches Material, das nicht von Bakterien und Pilzen abgebaut werden kann.

Regenwürmer leisten Schwerarbeit zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit

In Laubwald- und Wiesenböden kann man pro Hektare bis zu 30 Tonnen Lebewesen nachweisen. Etwa 3 Tonnen davon sind Regenwürmer. Zusammen mit anderen Bodentieren leisten sie einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Bodenstruktur.



Regenwürmer wandeln Pflanzenreste in fruchtbaren Boden um. Mit ihren Wohnröhren drainieren sie den Boden und verbessern den Wasser- und Lufthaushalt.

Weltweit gibt es etwa 3'000 Regenwurm-Arten, in der Schweiz um die 40. Sie werden zwischen 2 bis 30 cm lang. Ein australischer Regenwurm wird sogar 2 m lang.

Regenwürmer leben im Boden und sind sehr lichtempfindlich. Nur bei starkem Regen kommen sie an die Oberfläche. Sie flüchten dann aus ihren mit Wasser gefüllten Wohnröhren, um nicht darin zu ersticken.

Regenwurm Kot ist fruchtbarer Boden. Unermüdlich frisst sich ein Regenwurm durch die Erde. Zusammen mit den darin enthaltenen Algen und Pflanzenresten nimmt er auch mineralische Erde auf. Im Darm wird die Mineralerde mit dem organischen Material und Bakterien zum Kot vermischt. Regenwürmer fressen jedes Jahr das 250-fache ihres Körpergewichts. Sie sind daher angewiesen auf genügend Nahrung in Form von Ernterückständen.



Seinen Kot setzt der Regenwurm an der Bodenoberfläche oder an den Wänden der Wohnröhren ab. In Wiesen sind das bis zu 600 Tonnen pro Hektare und Jahr. Dieser Regenwurm Kot ist sehr nährstoffreich. An seiner Oberfläche finden weitere Abbauprozesse durch Mikroorganismen statt.

Dabei entsteht eine Humushülle und schliesslich zusammen mit Tonteilchen einzelne Bodenkrümel. Regenwürmer sind wichtige und unersetzliche Baumeister eines fruchtbaren krümeligen Bodens.

Regenwürmer drainieren den Boden. Durch ihre Lebensweise legen Regenwürmer ein umfangreiches Röhrensystem im Boden an. Diese Röhren lockern den Boden und verbessern seinen Wasser- und Lufthaushalt. Zudem können Pflanzenwurzeln durch diese Gänge leichter in den Boden eindringen, sie gelangen so schneller an Wasser und Nährstoffe in tieferen Bodenschichten.

Boden ist Lebensraum – kein Abfall

Der Boden lebt. Und ist während Jahrtausenden zu seiner heutigen Form gewachsen. Auch bei Bauprojekten muss daher der Boden möglichst erhalten bleiben.



Baustelle Transitgas:
Bei der Verlegung von Gasleitungen muss sorgfältig gearbeitet werden, damit das Land nachher wieder landwirtschaftlich genutzt werden kann.

Boden ist nur beschränkt vorhanden und nicht erneuerbar. Es ist deshalb nicht sinnvoll, Boden, der bei Bauarbeiten anfällt, als Abfall «wegzuwerfen». Unbelasteter und fruchtbarer Boden ist ein Wertstoff und muss als Boden wiederverwendet werden. Um aber bei Bodenbewegungen im Rahmen von Bauarbeiten die Struktur des Bodens, seine Schichtung und die Bodenlebewesen nicht zu zerstören, ist ein sehr sorgfältiges Vorgehen angesagt.

Boden ist nicht Aushub. Früher hat man bei Bauprojekten Ausgangsgestein, Unter- und Oberboden zusammen als Aushubmaterial behandelt. Damit hat man aber den Boden mit all seinen Eigenschaften zerstört.

Heute trennt man den Ober- und Unterboden vom mineralischen Aushub aus unverwittertem Ausgangsmaterial einzeln ab. Je nach Eigenschaften werden Ober- und Unterboden wieder einer geeigneten Nutzung zugeführt.

Ist eine Wiederverwendung des Bodens vor Ort oder anderswo nicht sofort möglich, können Ober- und Unterboden in Zwischenlagern, wiederum getrennt, aufbewahrt werden. Diese Zwischenlager müssen locker geschüttet und sofort begrünt werden.



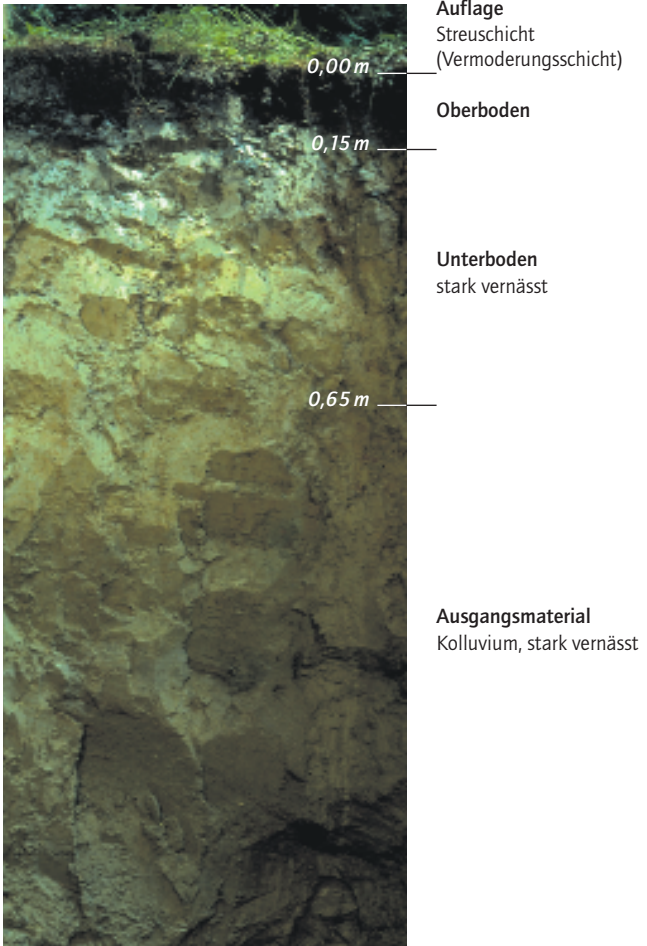
Unterboden-
Zwischenlager

Aufgerissene Böden können rekultiviert werden. Beim Kiesabbau oder bei der Verlegung von Leitungen werden grosse Wunden in Boden und Untergrund gerissen. Eine landwirtschaftliche Nutzung ist vorübergehend nicht mehr möglich. Damit diese Flächen für die Landwirtschaft aber wieder uneingeschränkt verfügbar werden, sollen sie nach der Beanspruchung in einen bewirtschaftbaren Zustand zurückgeführt werden.

Dies wird mit einer Rekultivierung erreicht, bei welcher der Boden in seiner ursprünglichen Schichtung wieder aufgebaut wird.

Der Gley ist vom Grundwasser geprägt

Gley stammt aus dem Russischen und heisst Matsch. Es bezeichnet also Böden die fast das ganze Jahr über im Grundwasser «stehen».



Verbreitung

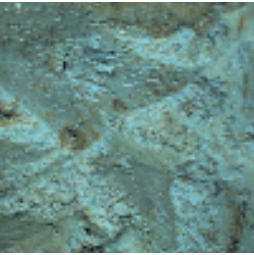
Gleye bilden sich in Senken und Mulden oder an Hangfüßen mit Wasseraustritt. Das Grund- bzw. Hangwasser beeinflusst das Bodenprofil. Im Gegensatz zu den Pseudogleyen liegen hier keine stauenden Schichten im Profil vor.

Entstehung

Grundwasser strömt von den benachbarten Hängen in dieser Geländemulde zusammen. Der unterste Bodenbereich liegt dauernd im Wasser. Im Schwankungsbereich des Grundwassers kommt es zur Vergleyung.

Vergleyung: Durch ähnliche Prozesse wie beim Pseudogley wird Eisen verlagert.

Beim Ansteigen des Grundwasserspiegels wird unter sauerstofflosen Bedingungen Eisen gelöst und mit dem Wasser verlagert.



Sinkt später das Wasser wieder ab, dringt Luft in den Boden. Das gelöste Eisen oxidiert und fällt als rostige Flecken (Eisenoxid) aus. Hellgraue Flecken kennzeichnen die eisenarmen Zonen.

Besonderes

Die Nutzung der Gleye ist von der Tiefe des Grundwasserspiegels abhängig. Stark vernässte Standorte sind landwirtschaftlich nur bedingt nutzbar, z. B. als Streuwiesen (Riede).

Natürlicherweise wachsen an nassen Standorten an diese Bedingungen angepasste Pflanzen, wie Erlen, Pappeln und Eschen.

Humus besteht aus abgestorbenen Pflanzen und Tieren

Humus umfasst das gesamte tote organische Material eines Bodens. Humusstoffe, die schwarze Substanz im Boden, sind Umwandlungsprodukte des organischen Ausgangsmaterials.



Blätter werden von vielen Bodelebewesen schnell abgebaut. Nadeln mögen nur wenige Bodenlebewesen, sie werden deshalb nur langsam abgebaut.

Man unterscheidet drei Humusformen. Je nach Ausgangsmaterial und Umweltbedingungen wird das organische Material schneller oder langsamer abgebaut. Deshalb hat jeder Boden einen bestimmten Humusgehalt und eine charakteristische Humusform.

Die Humusform ergibt sich aus der Menge und Schichtung des organischen Materials: Streuschicht (lose Blätter und Nadeln), Vermoderungsschicht (halb zerfallene und lagig verfilzte Blätter und Nadeln) und Humusstoffschicht (schwarz gefärbte, strukturlose Substanz). Darunter liegt der mit Humusstoffen vermischte Oberboden.



Beim Rohhumus sind die drei mächtigen Aufgeschichten deutlich abgegrenzt, ein Oberboden fehlt. Rohhumus entsteht bei niedrigen Temperaturen, sauren Bodenverhältnissen und schwer abbaubarer Streu (Nadeln). Für land- und gartenbauliche Nutzung ist er schlecht geeignet. Da typisch für einen Podsol, sehen Sie diese Humusform direkt vor sich.



Beim Mull wird die Streuschicht rasch abgebaut und zu Oberboden vermisch. Diese Humusform findet man vor allem bei Laubwäldern, Wiesen und Äckern. Mull ist aufgrund der Vermischung des Humus mit dem mineralischen Unterboden krümelig und daher ideal für Garten- und Ackerbau.

Moder ist eine Zwischenform. Die Schichten der Auflage sind weniger mächtig als beim Rohhumus. Ein Oberboden ist nur schwach entwickelt.

Böden werden im Alter sauer

Der pH ist ein wichtiges chemisches Merkmal eines Bodens. Er sagt aus, wieviel Säuren bzw. Protonen $[H^+]$ im Boden vorhanden sind. Viele Eigenschaften des Bodens sind direkt vom pH abhängig.



Luftschadstoffe von Industrie, Gewerbe, Heizungen und Verkehr beschleunigen über den sauren Regen die Bodenversauerung.

Die Bodenversauerung ist an sich ein natürlicher Vorgang. Denn bei vielen Vorgängen im Boden werden Säuren bzw. Protonen $[H^+]$ freigesetzt, weshalb ein Boden im Verlauf der Zeit immer saurer wird:

- Bei der Verwitterung im Boden, zum Beispiel der Oxidation von Eisen, werden Protonen frei.
- Beim Abbau der Streu durch Mikroorganismen entstehen unter anderem starke Säuren.
- Bei der Atmung der Bodenlebewesen und Pflanzenwurzeln wird Kohlendioxid freigesetzt, das mit dem Bodenwasser zu Kohlensäure reagiert.
- Wurzeln geben positiv geladene Protonen ins Bodenwasser ab, um sie gegen positive Nährstoffe auszutauschen.

Menschengemachter saurer Regen beschleunigt heute aber die natürliche Bodenversauerung in ungesundem Ausmass.

Bodenversauerung durch sauren Regen. Einige Luftschadstoffe wirken als Säurebildner. Sie machen den Regen sauer.

- Die Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas in Industrie und Haushalten setzt Schwefeldioxid $[SO_2]$ frei.
- Abgase von Autos und Lastwagen enthalten zusätzlich Stickstoffoxide $[NO_x]$.

Diese Luftschadstoffe reagieren mit der Luftfeuchtigkeit zu Schwefelsäure $[H_2SO_3]$ und Salpetersäure $[HNO_3]$. Sie werden mit dem Regen ausgewaschen und gelangen als saurer Regen auf den Boden.

Auch die Landwirtschaft macht Böden sauer. Die grossen Bestände an Kühen und Schweinen setzen mit ihrem Harn Ammoniak $[NH_3]$ frei, welches direkt, beim Güllen oder über die Luft auf die Böden gelangt. Ammoniak wird im Boden über mehrere Stufen in Salpetersäure umgewandelt.

Durch Kalkgaben ist es möglich, der Bodenversauerung entgegenzuwirken. Im Wald sind solche Kalkgaben jedoch nicht praktikierbar.

Vergiften wir allmählich unsere Böden?

Wasser und Luft kann man reinigen – Boden kann man nicht reinigen, ohne seine über Jahrtausende gewachsene Struktur zu zerstören.



Bei stark sauren Bedingungen leiden Pflanzen an Nährstoffmangel. Schwermetalle werden löslich und schädigen die Pflanzen. Bodentiere wandern aus.

Luftschadstoffe werden weiträumig transportiert und großflächig auf die Böden verteilt. *Schwermetalle* (Blei, Cadmium, Kupfer, Zink) sind ab einer gewissen Konzentration für Bodenlebewesen und Pflanzen schädlich. Sie kommen vor allem durch Industrie und Gewerbe, den Verkehr und die Landwirtschaft in die Umwelt. Über die Pflanzen können sie zudem in den Nahrungskreislauf gelangen und bei Tieren und Menschen Schädigungen hervorrufen.

Säurebildende Schadstoffe haben vielfältige Auswirkungen auf den Boden und seine Fruchtbarkeit.

Die Auswaschung von Nährstoffen nimmt in stark sauren Böden zu. Sie fehlen dann den Pflanzen. Zudem geht Aluminium vermehrt in Lösung. Es wirkt hemmend auf die Nährstoff-Aufnahme und kann das Wurzelwachstum beeinträchtigen. Dadurch leiden die Pflanzen unter Nährstoffmangel und werden anfällig gegenüber Krankheiten und Schädlingen.

Die Aktivität der Bodenlebewesen nimmt bei sehr sauren Bedingungen rapide ab. Viele wandern aus. Die Regeneration der Bodenstruktur ist nicht mehr gewährleistet.

Die Löslichkeit von Schadstoffen, insbesondere der Schwermetalle, ist bei sauren pH-Werten deutlich grösser. Die giftige Wirkung auf Pflanzen und Bodentiere nimmt dann zu.



Fichte ohne Kronenverlichtung



Fichte mit 75% Kronenverlichtung

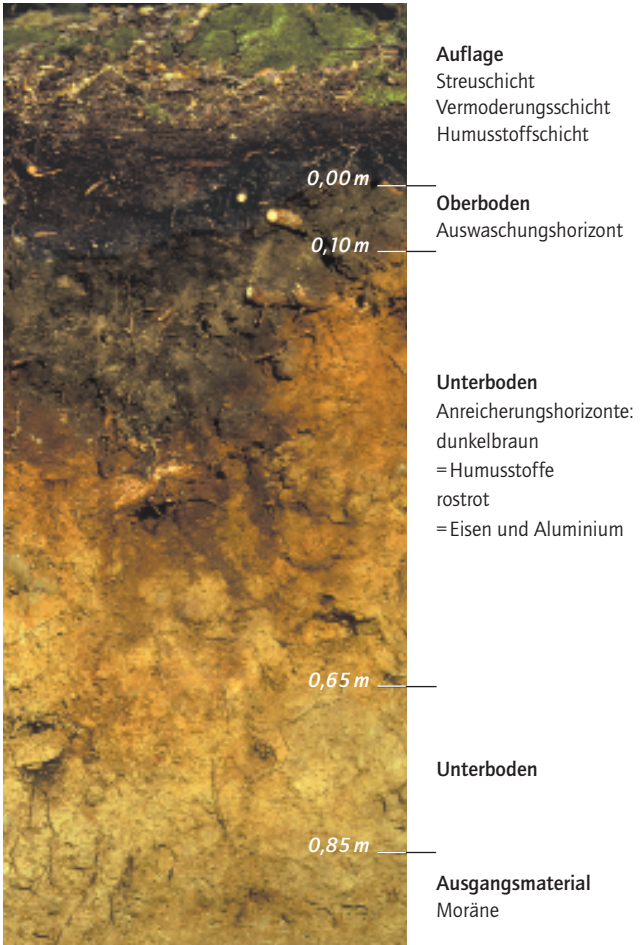
Macht saurer Regen die Wälder krank?

Vor bald 20 Jahren sprach man vom Waldsterben. Heute betrachtet man das Problem der Kronenverlichtung von Waldbäumen differenzierter. Dennoch, der Anteil betroffener Bäume hat sich seit den 80er Jahren verdoppelt. Schuld daran ist das Zusammenspiel verschiedener Faktoren wie Alter der Bäume, Trockenperioden und höhere Ozonbelastung.

Aber auch die zunehmende Bodenversauerung durch sauren Regen schwächt den Gesundheitszustand der Wälder. Langfristig könnte dieser Faktor sogar noch an Bedeutung gewinnen.

Bei stark sauren Bedingungen entsteht ein Podsol

Podsol ist russisch und bedeutet Asche-Boden. Der Name bezieht sich auf den hellen Auswaschungshorizont im Oberboden.



Verbreitung

Podsole entstehen bei sehr sauren Bodenverhältnissen. Man findet sie bei kühlen und feuchten Klimaverhältnissen auf kalkarmem, gut durchlässigem, sandigem Gestein und unter Nadelwäldern. In der Schweiz sind Podsole vor allem in den Alpen und Voralpen verbreitet. Der Standort hier liegt erstaunlich tief für einen Podsol.

Entstehung

Die Nadeln der Nadelbäume sind schwerer abbaubar als die Blätter von Laubbäumen. Zusammen mit dem sauren Ausgangsgestein führt dies hier zu sehr sauren Bedingungen im Boden.

Podsolierung: Bei stark sauren Bedingungen wird die Streu fast nur noch durch Pilze abgebaut. Dabei entstehen leicht verlagerbare organische Säuren (Fulvosäuren).

Gebunden an diese organischen Säuren verlagern sich Aluminium und Eisen in die Tiefe. Der Oberboden bleicht aus. Nur der schwer verwitterbare Quarz bleibt zurück und verursacht die charakteristische graue Farbe des sogenannten Auswaschungshorizontes.

Im Unterboden werden Humusstoffe und Eisen in den zwei Anreicherungshorizonten wieder abgelagert. Der dunkle Streifen enthält die Humusstoffe und der darunterliegende rostrote Streifen das Eisen und Aluminium.

Besonderes

Bodentiere meiden sehr saure Verhältnisse. Die Umwandlung von organischem Material zu Humusstoffen geschieht sehr langsam und fast nur noch durch Pilze. Deshalb bildet sich eine mächtige organische Auflage, meistens, wie hier, ein Rohhumus.

Da Nährstoffe vermehrt ausgewaschen werden, ist der Boden nährstoffarm. Pflanzen haben Mühe, ihren Nährstoffbedarf zu decken. Es wachsen an saure Bedingungen angepasste Pflanzen, wie zum Beispiel die Heidelbeere.



Kugelspringschwanz
(Vergrößerung 680x)

Glossar

ALPENFALTUNG

Auffaltung von Gesteinsmassen während der Kreide- und Tertiärzeit (vor 100 bis 1,5 Mio Jahren) zu einem bogenförmig verlaufenden Hochgebirge (Alpen)

BASISCH

pH grösser als 7; basische Gesteine sind kalkhaltig

BODENFRUCHTBARKEIT

Fähigkeit des Bodens, seine ökologischen Funktionen zu erfüllen und ein ertragsreiches, gesundes Wachstum von Pflanzen zu ermöglichen

EISZEIT

(vor 1,5 Mio bis 10'000 Jahren) Zeitraum der Erdgeschichte, der infolge weltweiter Klimaschwankungen zu wiederholt grossräumigen Vergletscherungen auf dem Festland führte

EROSION

Erdabtragung und Verlagerung durch Eis, Meer, Wind und Wasser

HUMUS

Gesamtheit des toten organischen Materials im Boden

HUMUSSTOFFE

Umwandlungsprodukte von organischem Material; schwarzer Bodenbestandteil, der durch Zersetzung abgestorbener Pflanzen und Tiere in einem ständigen Prozess entsteht

KLIMA

Gesamtheit der Witterungen (v. a. Temperatur und Niederschlag)

KOHLENDIOXID

[CO₂] Farbloses Gas, das bei der Atmung und bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Materialien entsteht

MERGEL

Sedimentgestein aus Ton und Kalk

MIKROORGANISMEN

mikroskopisch kleine, einzellige Organismen (Bakterien, Blaualgen, tierische Einzeller, ein Grossteil der Algen und Pilze)

MINERALISCHES MATERIAL

anorganische Stoffe aus der Erdkruste, Gesteine und deren Verwitterungsprodukte

MOLASSE

Ablagerungen im Vorland eines sich faltenden Gebirges

MORÄNE

von einem Gletscher bewegtes und abgelagertes Gestein und Geröll

NAGELFLUH

Sedimentgestein aus verkitteten Geröllen, das in der Molasse vorkommt

NÄHRSTOFFE

für die pflanzliche Ernährung wichtige Stoffe

ORGANISCHES MATERIAL

der belebten Natur angehörend, Verbindungen des Kohlenstoffs

OXID

Verbindung eines chemischen Elements mit Sauerstoff

OXIDATION

Vorgang, bei dem Elektronen frei werden, die von einer anderen Substanz (dem Oxidationsmittel, das damit reduziert wird) aufgenommen werden; das häufigste natürliche Oxidationsmittel ist der Sauerstoff

PH-WERT

Masszahl für die in Lösungen enthaltene Konzentration an Wasserstoffionen (H^+ -Ionen); der pH-Wert ist definiert als der negative Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration

PROTON

Wasserstoffion (H^+), positiv geladenes Elementarteilchen

SANDSTEIN

Sedimentgestein, entstanden aus Sand durch Verkittung der Mineralkörner

SAUER

pH kleiner als 7; saure Gesteine sind kalkarm

SCHLUFF

Feinkörnige Bodenbestandteile mit Mineralkörnchen von 0,063 bis 0,002 mm Durchmesser

SCHOTTER

Von Flüssen abgelagerte Steine

SCHWEFELDIOXID

Verbindung des Schwefels mit Sauerstoff, farbloses, stechend riechendes, ätzend wirkendes Gas, das beim Verbrennen von Heizöl, Kohle und Erdgas freigesetzt wird

SCHWERMETALLE

Metalle mit einer Dichte über $5,6 \text{ g/cm}^3$, z. B. Eisen, Silber, Gold, Platin sowie die giftigen Metalle Cadmium, Blei und Quecksilber

SILIKATGESTEIN

Kieselsäurehaltiges Gestein, z. B. Quarz

STICKOXIDE

Verbindungen des Stickstoffs mit Sauerstoff

STOFFWECHSEL

Aufbau, Umbau und Erhaltung der Körpersubstanz von Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren sowie Aufrechterhaltung der Körperfunktionen

TON

Tonminerale, Quarz, Feldspat, Glimmer, biogene Reste etc. mit einer Teilchengröße kleiner als 0,002 mm

UNTERE SÜSSWASSERMOLASSE

Im Tertiär abgelagerte Schichten (Sandsteine, Konglomerate); Überschwemmungsablagerungen auf dem Festland

VERWITTERUNG

Zerfall von Gesteinen an oder nahe der Erdoberfläche. Man unterscheidet mechanische V. (z.B. Wirkungen großer Temperaturschwankungen), chemische V. (Lösung durch Wasser), biogene V. (z.B. Sprengwirkung von Wurzeln, grabende Tätigkeit vieler Organismen)

Adressen

UMWELT UND ENERGIE, KANTON LUZERN

Bodenschutzfachstelle, Libellenrain 15, Postfach 3439, 6002 Luzern

Telefon 041 228 60 60 Telefax 041 228 64 22

E-Mail: uwe@lu.ch, www.umwelt-luzern.ch

GEOGRAFISCHES INSTITUT DER UNIVERSITÄT ZÜRICH

Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich

Telefon 044 635 51 11 Telefax 044 635 68 48

www.geo.uzh.ch

Literatur / Weitere Informationen

DER BODEN LEBT

Ein Leitprogramm zum Bodenlehrpfad Meggerwald. Mittelschulunterlagen.

Umwelt und Energie, Kanton Luzern, 80 S.

BODENLEHRPFAD MEGGERWALD

Diplomarbeit. R. Spiess (1997), Geografisches Institut der Universität

Zürich, 63 S.

VORLESUNG ANGEWANDTE BODENKUNDE

M. Schmidt und M. Egli, Geografisches Institut der Universität Zürich

VORLESUNG BODENGEOGRAFIE

M. Schmidt und A. Heim, Geografisches Institut der Universität Zürich

www.geo.uzh.ch/fileadmin/files/content/abteilungen/phys2b/Vorlesungsunterlagen/211/SkriptGEO211_2_2007.pdf

MEDIENPAKET BODEN

(Bodenkiste), ökomobil luzern. Die Bodenkiste enthält verschiedenste Unterlagen zum Thema Boden (Grundlagenbücher und -hefte, Unterrichtseinheiten, Animationsunterlagen, Spielanleitungen, Bilder- und Lesebücher, Diaserien, Videos, Poster). Sie kann bei der Bodenschutzfachstelle des Kantons Luzern ausgeliehen werden.

BODENKUNDE IN STICHWORTEN

D. Schroeder und W. E. Blum (1992), Hirt-Verlag, 175 S.

BODENÖKOLOGIE

U. Gisi (1997), Georg Thieme Verlag Stuttgart, 350 S.

BODENKUNDE

R. Fluckiger, J. Rösch, W. Sturmy und U. Vökt, (1993) Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, Zollikofen, 96 S.

BODEN IN NOT:

DIE GEFÄHRDUNG DER BÖDEN IN DER SCHWEIZ

T. Mosimann (1996), WWF Schweiz, 28 S.

BODEN – DER LETZTE DRECK

Panda Magazin (2/95), WWF Schweiz, 31 S.

REGENWURM: FÜHRER ZUR SONDERAUSSTELLUNG

F. Vetter (1996), Natur-Museum Luzern, 48 S.

Bildnachweis

Seite 4

LORENZ A. FISCHER

Vision Bild und Text

Seite 5 (unten), 16, 32

MATTHIAS ACHERMANN

Umwelt und Energie, Kanton Luzern

Seite 5 (oben), 24, 33

Fachstelle Bodenschutz, Kanton Zürich

Titelbild gross und Seite 6, 9, 11

JUDITH BURRI

Umwelt und Energie, Kanton Luzern

Seite 14/15, 29 (oben)

Eidgenössische Forschungsanstalt FAL

Seite 18, 26, 34, 42

RETO SPIESS

Seite 20

PHILIPPE RENTZEL

Universität Basel

Seite 21, 27, 35, 37

PETER FITZE

Universität Zürich

Seite 29 (unten)

SIMON EGLI

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL

Seite 41

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL

Seite 31

FREDY VETTER

Zentrum für angewandte Ökologie

Titelbild klein und Seite 44

REM-LABOR

Universität Basel