

**Zeitschrift:** Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen  
**Herausgeber:** Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen  
**Band:** 62 (2010)

**Artikel:** Der Boden : ein Grenzphänomen  
**Autor:** Capaul, Urs  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-584658>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 08.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

### 3. Der Boden – ein Grenzphänomen

*Urs Capaul*

Böden sind eine wesentliche Grundlage für menschliches Leben und die gesellschaftliche Entwicklung. Daher werden heute praktisch alle nutzbaren Areale bewirtschaftet und die Erde verfügt nur noch über wenige ungenutzte Flächen. Schon seit dem Beginn des Ackerbaus und der Entstehung der ersten Siedlungen im Neolithikum (in Europa ca. 5000 bis 1800 v. Chr.) wurde Boden gezielt zur Produktion von Nahrungsmitteln, Heilkräutern und zur Gewinnung von nachwachsenden Rohstoffen bewirtschaftet. Die lange Verbundenheit des Menschen mit dem irdisch-materiellen Bereich offenbart sich auch etymologisch; zum Beispiel heisst Mensch auf hebräisch «adam» und «adamah» ist der Ackerboden. Ganz deutlich verweisen der lateinische Begriff «homo», das französische «homme», das italienische «uomo» und das spanische «hombre» auf das Erdhafte, den «Humus»; Homo und Humus haben denselben indogermanischen Wortursprung. Die Erdverbundenheit unserer

Vorfahren drückt sich in verschiedenen Umschreibungen aus, mit denen sie die Menschen benannten: Erdenkind, Erdensohn, Erdenvolk, Erdengast, Erdengeschöpf. Sie redeten von Erdreich, von Muttererde oder Mutterboden. Heute hat sich der Mensch aus diesem engen Bezug gelöst, und das Erkennen, dass Boden der Träger allen Lebens auf dem Festland und somit Basis aller materiellen Kultur ist, ging bei vielen verloren. Doch was ist überhaupt ein Boden?



10 Humusmensch, Gemälde von Erwin Gloor, Schaffhausen (2009)

#### 3.1 Entstehung der Böden (Pedogenese)

Während den Eiszeiten brachten Gletscher und Flüsse riesige Mengen Sand, Geröll und Steinblöcke aus dem Alpenraum ins Mittelland und lagerten sie dort als Schotter oder Moränen ab. Diese Ablagerungen sowie die anstehenden nackten Felsen bilden das Aus-

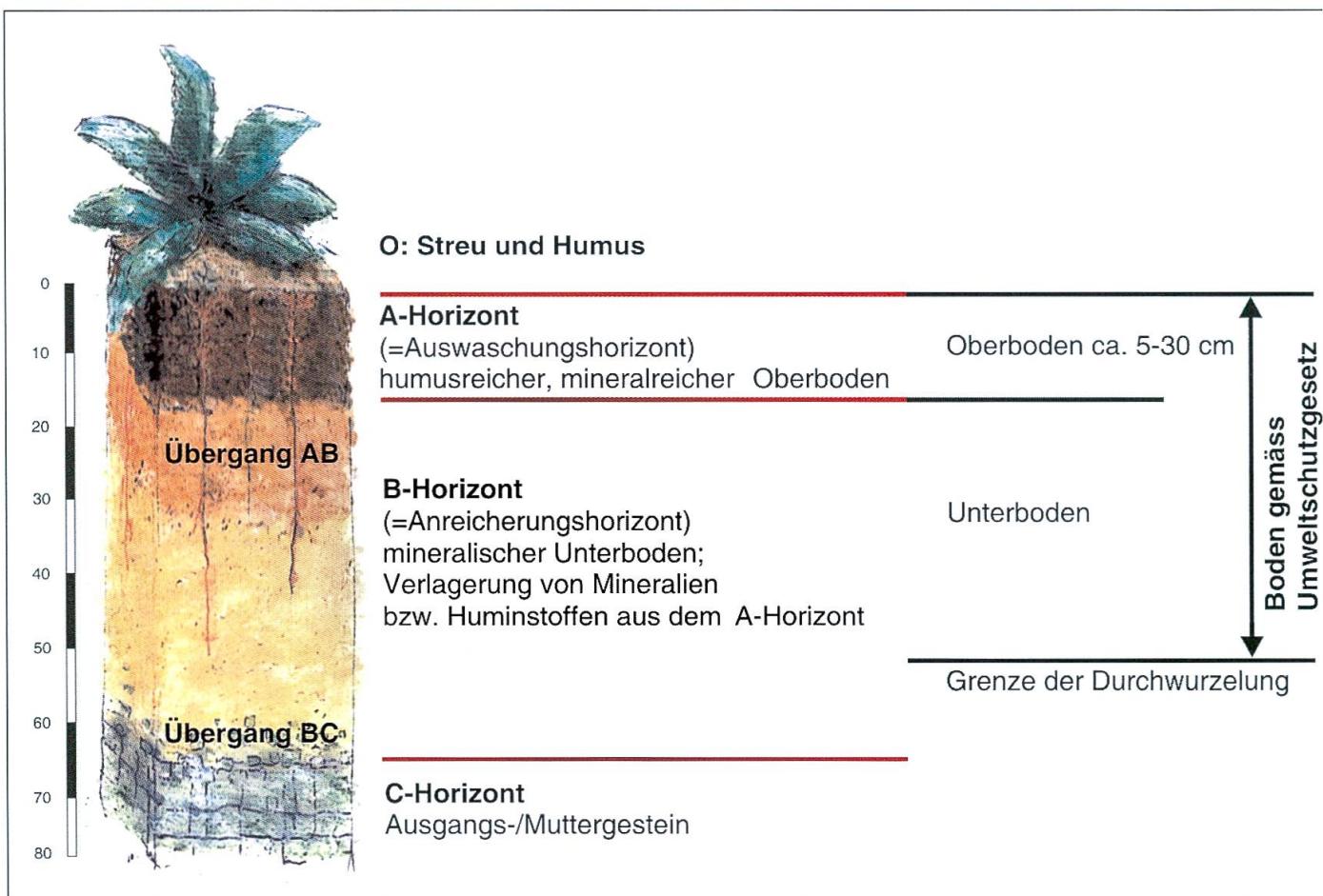
gangsmaterial für unsere Böden. Mit dem Rückzug der Eismassen erfolgte eine Besiedlung des rohen Schotters und Gesteins mit Flechten, Moosen und einigen spezialisierten Pflanzen. Doch schon nach wenigen Jahren finden wir im Wurzelbereich dieser Pflanzen feines, dunkles Material. Pilze und Bakterien haben die abgestorbenen Pflanzenteile zu Humus umgewandelt. Und je mächtiger diese Humusschicht wird, desto mehr Pflanzenarten lassen sich nieder, bis sich in unsren Lagen mit der Zeit eine Waldvegetation einstellt. Obwohl der Wald jährlich beim herbstlichen Laubfall enorme Mengen an Biomasse abgibt, häuft sich die Streu auf dem Boden aber nicht an.

Was geschieht im Boden? Im Boden finden zahlreiche Prozesse statt. Das Gestein zerfällt. Durch Temperaturschwankungen und Frostwirkung werden die Gesteinsbrocken in immer kleinere Stücke zerlegt. Dieser Vorgang verläuft umso schneller, je grösser die Temperaturschwankungen sind. Auch Pflanzenwurzeln, welche in Spalten und Risse eindringen, können die Gesteine durch Dickenwachstum auseinander sprengen. Selbst Wasser und Wind zertrümmern und zermahlen Gesteinsbrocken. Das alles wird als physikalische Verwitterung bezeichnet. Wenn die gesteinsbildenden Minerale in ihre Bausteine aufgelöst werden, so spricht man von chemischer Verwitterung. Bei diesem chemischen Ab- und Umbau entstehen Tonminerale und Oxide sowie Hydroxide. Tonminerale sind feinstkörnige Schichtsilikate (Korngrösse < 2 µm), die nach ihrer schichtartigen Kristallstruktur aus Silizium und Sauerstoff sowie Wasserstoff und meist Magnesium und Aluminium benannt sind. Bei den Oxiden und Hydroxiden handelt es sich vor allem um Verbindungen aus Eisen, Mangan oder Aluminium. Im Boden zeigt sich die Oxidbildung in Form einer rostähnlichen Farbe. Die rotbraune Farbe ist deshalb typisch für die Verwitterungsschicht des Bodens, der Prozess wird «Verbraunung» genannt. Bei der Verwitterung werden Nährstoffe wie Kalium, Magnesium oder Kalzium freigesetzt, und diese können von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden. Die Tonminerale wiederum speichern Wasser und Nährstoffe (Kationen), weil sie partielle negative Ladungen tragen. Selbstverständlich laufen die Verwitterungsprozesse sehr langsam ab. Bis aus Kies und Sand ein tiefgründiger Ackerboden entstanden ist, vergehen einige tausend Jahre.

Die Bodenschicht, welche über der Verwitterungsschicht liegt, ist dunkelbraun bis gräulich gefärbt und enthält meist wenig Steine. Sie ist mit Pflanzenwurzeln und Poren durchdrungen. Es handelt sich um die Humusschicht, wo Bakterien, Pilze, Würmer und unzählige Kleintiere wie Milben, Spring-

schwänze, Asseln und Tausendfüsser leben. In einer Handvoll Humus leben bis zu 100'000 Kleintiere (Details dazu in Kapitel 4). Sie alle sorgen gemeinsam dafür, dass sich der Laubfall und abgestorbene Pflanzenreste von Jahr zu Jahr nicht anhäufen. Durch ihre Tätigkeiten bleibt das biologische Gleichgewicht im Boden erhalten, und es entsteht durch Umbau der organischem Materialien Humus. Humus besitzt wie ein Schwamm eine riesige Oberfläche und kann deshalb grosse Mengen an Wasser und Nährstoffen aufnehmen und langsam an die Pflanzenwurzeln abgeben. Bei der Zersetzung des organischen Materials werden organische Säuren frei, die zur weiteren Zersetzung des Gesteins führen und die zugleich organisches Material für Lebewesen liefern. Entweder zersetzen die Lebewesen dieses organische Material («Mineralisierung») oder sie bilden organische Umbauproducte («Humifizierung»). Auch die organischen Stoffe können Kationen anlagern und diese wieder an die Bodenlösung abgeben.

Bei Niederschlag können gelöste Stoffe und selbst Schwebstoffe mit dem Bodenwasser verlagert werden. In unserm eher niederschlagsreichen Klima werden Stoffe in tiefere Bodenschichten transportiert. Deshalb können Böden im oberen Teil verarmt sein (Auswaschungsschicht) und im untern Teil eine Anreicherungsschicht aufweisen. Wenn Tonminerale verlagert werden, so spricht man auch von einer «Lessivierung», das Resultat ist eine Tonmineralschicht im Untergrund. Auch die Bodentiere, und hier insbesondere die Regenwürmer, sorgen für eine gute Durchmischung des Oberbodens. In den von Wurzeln und Bodentieren geschaffenen Poren zirkuliert Wasser und befindet sich die Bodenluft. Hohlräume entstehen aber auch durch Form und Lagerung der einzelnen Bodenpartikel. Typisch für unsere Böden ist eine Art Schichtaufbau (siehe Abb. 11): Unter der Streuauflage mit abgestorbenem organischem Material (O) befindet sich die Humusschicht; diese Schicht (Horizont) wird mit dem Buchstaben A bezeichnet. Darunter die Verwitterungsschicht (B-Horizont) und daran anschliessend das unverwitterte Ausgangsmaterial, das Muttergestein (C-Horizont). Der senkrechte Aufschluss von der Terrainoberfläche bis zum Ausgangsmaterial (C-Horizont) wird als Bodenprofil bezeichnet. Interessant ist, wie die schweizerische Umweltschutzgesetzgebung die Bodenhorizonte unterteilt. Sie orientiert sich in erster Linie am biologisch aktiven Boden und unterscheidet den humusreichen Oberboden vom mineralischen Unterboden, der bis zur Durchwurzelungsgrenze reicht.



11 Bodenkundliches Profil mit den Horizonten A, B und C sowie Bezeichnung gemäss schweizerischer Umweltschutzgesetzgebung.

Diese Bodenprofile unterscheiden sich je nach Standort. Massgebend für den Profilaufbau sind die Faktoren Gestein (Lithosphäre), Relief, Klima (Atmosphäre), Wasserhaushalt (Hydrosphäre), Bodentiere, Vegetation sowie Mensch (Biosphäre):

- Muttergestein:** Auf lockerem Material sind die Böden meist tiefgründiger als auf Fels. Saures Gestein (z.B. Granite) verwittert anders basisches (z.B. Kalke).
- Relief:** Auf Kuppen sind die Böden meist flachgründiger als in den Senken. In Tallagen entstehen vermehrt Stauwasserböden, in Gipfellagen sind die Böden dagegen oft ausgewaschen.
- Hydrosphäre:** In niederschlagsreichen Gebieten sind die Böden meist weiter entwickelt als in Trockenazonen.
- Klima:** In den kalten Gebieten (z.B. Tundra) verläuft die chemische Verwitterung langsamer als in den heißen Zonen (z.B. Innertropen).

- e) **Pflanzen und Tiere:** Blätter der Laubbäume werden wesentlich rascher abgebaut als Nadelstreu.
- f) **Mensch:** Einfluss durch Bewirtschaftung, Ablagerung von Schadstoffen, Zerstörung durch Überbauung und Versalzung.

Die bodenbildenden Faktoren wirken in einem Bereich, wo sich die verschiedenen Sphären überschneiden, also im Grenzbereich von Gesteinen, Luft, Wasser und Biosphäre.

### 3.2 Bodengefüge und Bodenwasser

Ein Boden besteht durchschnittlich aus 40 bis 60 Volumen-Prozenten Feststoffen und entsprechend aus 60 bis 40 Volumen-Prozenten Poren. Das Muttergestein ist fast immer aus mehreren Mineralien zusammengesetzt. Die chemische und mineralogische Zusammensetzung des Gesteins beeinflusst den Verlauf der Bodenbildung sowie die physikalischen, chemischen und ökologischen Eigenschaften der Böden. Die Bodenpartikel werden je nach ihrer Grösse in Feinerde (< 2 mm) und Bodenskelett (> 2 mm) unterteilt. Diese grobe Unterteilung wird noch feiner gegliedert (Tabelle 1):

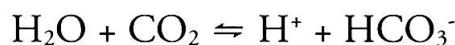
**Tabelle 1:** Bezeichnung der Bodenpartikel nach Korngrösse

Bodenskelett	Feinerde
Kies (2 bis 63 mm)	Ton (< 2 µm)
Steine (63 bis 200 mm)	Schluff (2 bis 63 µm)
Blöcke, Geschiebe (> 200 mm)	Sand (63 bis 2000 µm)

Die verschiedenen Böden einer Landschaft können sich in den Anteilen an Steinen, Sand, Schluff und Ton unterscheiden, ebenso wie die einzelnen Schichten eines Bodens. Doch sind diese Einzelkörner für sich nicht stabil, und sie würden zerfliessen wie Sand in einer Sanduhr. Dass dies nicht geschieht, ist das Verdienst der Bodenlebewesen und insbesondere der Regenwürmer, der Pilze und Bakterien. Die Einzelkörner werden nämlich mit der organischen Substanz durchmischt und miteinander verkittet. Es entstehen Krümel, in denen die organischen und anorganischen Bestandteile in Form von Ton-Humus-Komplexen durch starke Bindungskräfte zusammengehalten werden. Zudem sind die Krümel durch Schleimstoffe der Bodenorganis-

men zu grösseren Aggregaten locker verklebt oder durch Feinwurzeln und Pilzhypfen miteinander vernetzt. Dank diesem Aufbau sind die Bodenaggregate sehr stabil. Krümel sind das Bauelement einer intakten Bodenstruktur und als solche wichtig für Tragfähigkeit, Stabilität und Stoffhaushalt und folglich für die Fruchtbarkeit eines Bodens. Im Laufe der Zeit, also mit Zunahme der Bodenentwicklung, entsteht eine zusehends stabilere Bodenstruktur. Umgekehrt führt eine Abnahme des Humusgehaltes zu einem Zerfallen der Krümel in Einzelteilchen. Diese können die Bodenporen verstopfen, und der Boden wird dadurch verdichtet. Im verdichteten Boden staut sich das Sickerwasser, und die Wurzeln leiden unter Luftmangel.

Bodenluft und Bodenwasser füllen die Hohlräume aus: die Luft die grösseren, das Wasser die kleineren. Grundwasserböden sind überwiegend mit Wasser und Wüstenböden vorwiegend mit Luft gefüllt. In unserm humiden Klima – der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt im schweizerischen Mittelland ca. 1000 Liter pro  $m^2$ , in Schaffhausen etwas weniger – enthalten sandige Böden mehr Luft, tonige und folglich feinporenreiche Landböden mehr Wasser. Das Bodenwasser weist auch gelöste Gase und Ionen auf. Die Ionen stehen dabei im Gleichgewicht mit Ionen an den Tonmineralen und den Huminstoffen. Die Bodenlösung enthält zunächst einmal Ionen, die bereits im Regenwasser vorhanden waren. Von grosser Bedeutung ist zudem die Protonen-Konzentration der Bodenlösung. Die Protonen fördern die chemische Verwitterung und die Versauerung des Bodens. Hauptprotonenquellen sind die Kohlensäure des Regens und das Kohlendioxid aus der Atmung der Bodenlebewesen. Wasser verbindet sich mit Kohlendioxid zur Kohlensäure, welche ein Proton ( $H^+$ ) in die Bodenlösung abgibt.



Auch Pflanzenwurzeln scheiden Protonen aktiv aus. Dabei werden die an der Tonmineralen und Huminstoffen adsorbierten Nährstoffionen durch die Protonen eingetauscht und von der Pflanze aufgenommen. Relativ humusreiche und tonreiche Bodenhorizonte weisen deshalb höhere Austauschkapazitäten auf; sie sind im allgemeinen fruchtbarer. Wasser hat demzufolge zwei unterschiedliche Wirkungen im Boden: Einerseits ist es Voraussetzung für alle Prozesse der Bodenentwicklung wie Verwitterung, Verlagerung und Humusanreicherung. Anderseits besitzt das Wasser eine ökologische Komponente, indem es Träger der darin gelösten Nährstoffionen ist und den Lebewesen für ihre Lebenstätigkeit zur Verfügung steht.

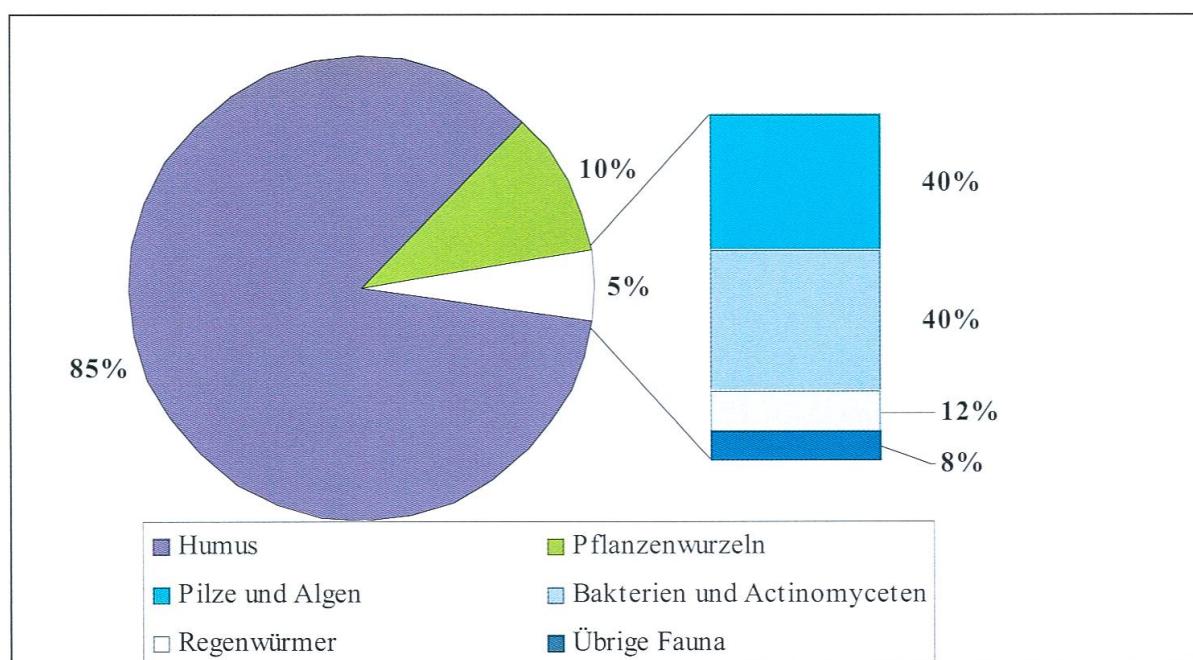
Sandige und tonige Böden lassen sich deshalb wie folgt charakterisieren:

- Böden mit hohem Sandanteil: Gute Wasserführung (Drainage), geringes Wasserspeichervermögen, meist geringer Nährstoffgehalt, geringes Adsorptionsvermögen, gute Durchwurzelbarkeit, eher leicht zu bearbeiten.
- Böden mit hohem Tonanteil: Schlechte Wasserführung, hohes Wasserspeichervermögen, meist hoher Nährstoffanteil, hohes Adsorptionsvermögen, schlechte Durchwurzelbarkeit, eher schwer zu bearbeiten.

Böden mit einseitiger Körnung sind deshalb ungünstig, während Böden mit ausgeglichener Körnung erwünscht sind.

### 3.3 Organische Bodenbestandteile

Die organische Bodensubstanz umfasst sämtliche lebenden Organismen, lebenden Pflanzenwurzeln, abgestorbene und mehr oder weniger zersetzte Lebewesen sowie neu gebildete Substanzen pflanzlicher oder tierischer Herkunft. Unter dem Begriff «Humus» versteht der Bodenkundler die Gesamtheit der abgestorbenen organischen Bodensubstanz. Dies sei an einem Beispiel für die Zusammensetzung der organischen Substanz eines Grünlandbodens erläutert (siehe Abb. 12).



12 Organische Substanz eines Grünbodens (Angaben in Gewichts-%, nach D. Schröder, 1978)



13 Abgeerntetes Getreidefeld.

Wichtigste Quelle der organischen Bodensubstanz sind die grünen Pflanzen. Die Ausgangssubstanzen gehören in Form von Pflanzenwurzeln bereits zum Boden oder gelangen als Abfall (z.B. Blätter, Nadeln, Äste usw.), als Vegetations- und Ernterückstand (z.B. Getreidestoppeln) auf und in den Boden. Hinzu kommt die Körpersubstanz aller Bodenorganismen. Eine weitere Quelle stellt die menschliche Zufuhr von Gründüngern, Stallmist, Kompost oder Torf dar.

Die organischen Substanzen des Bodens umfassen folgende Komponenten:

**Tabelle 2: Zusammensetzung der organischen Substanz des Bodens**

Inhaltsstoff	Erläuterung
Biomasse	Lebende Organismen
Streustoffe	Nicht oder nur schwach umgewandelte Ausgangsstoffe mit morphologisch sichtbaren Gewebestrukturen
Humus	Gesamtheit der toten organischen Substanzen ohne Streustoffe
Huminstoffe	Sie werden in Humine, Huminsäuren und Fulvosäuren unterteilt. Es sind stark umgeformte, dunkle, mehr oder weniger hochmolekulare Produkte des Ab- und Umbaus (Humifizierung) der Streustoffe durch Mikroorganismen.
Nicht-Huminstoffe	Chemische Verbindungen mit bekannter Struktur wie Aminosäuren, Proteine, Zucker, Polysaccharide, Lignin, organische Säuren, Fette, Wachse usw.

Die organischen Ausgangssubstanzen werden durch die Bodenorganismen zersetzt. Dabei können die Materialien bis zu ionaren Endprodukten abgebaut werden; dies wird als «Verwesung» der organischen Substanz bezeichnet. Oder es entstehen neue Huminstoffe, was mit «Humifizierung» umschrieben wird. Im Verlaufe der Verwesung und Humifizierung entstehen zahlreiche Zwischenprodukte wie Proteine, Zucker, Fette usw.

Die Huminstoffe sind dunkelgefärbte Kolloide. Sie besitzen eine relativ grosse Oberfläche und haben die Fähigkeit, Wasser und Ionen anzulagern. Das Wasser- und Ionenspeichervermögen übertrifft jenes der Tonminerale erheblich. Sie sind an der Gefügebildung des Bodens ganz wesentlich mitbeteiligt. Ausserdem beeinflussen sie dank der dunklen Färbung den Wärmehaushalt des Bodens. Die Huminstoffe werden je nach Farbe, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt, Molekülgrösse und Löslichkeit in drei Gruppen unterteilt: Fulvosäuren, Huminsäuren und Humine.

Der Humus besteht aus einer Vielzahl von Verbindungen, die nach dem Absterben der organischen Materie freigesetzt werden. Sie können sowohl spontan als auch enzymatisch durch Bodenorganismen chemisch umgewandelt werden. Die chemischen Verbindungen unterscheiden sich sehr in ihrer Abbaubarkeit: Proteine und Kohlenhydrate werden schneller zersetzt, Lignin und Zellulose langsamer. Jede Humusform ist definiert durch eine charakteristische Abfolge von Horizonten in der organischen Bodenauflage und im mineralischen Oberboden. Die Horizonte werden aufgrund morphologischer Merkmale festgelegt. Beim terrestrischen Humus lassen sich drei Humusformen unterscheiden:

- Der «rasche» **Mull** als günstigste Humusform. Vegetationsrückstände werden rasch zersetzt, humifiziert und durch das Bodenleben, insbesondere durch Regenwürmer, mit dem Mineralkörper vermischt. Der humose Mineralboden weist eine deutliche Krümelstruktur auf. Die im Mullhumus gebildeten Huminstoffe sind hochpolymer und daher kaum mobil.
- Der «bedächtige» **Moder** entsteht durch den Abbau der organischen Substanz durch kleinere Bodentiere und Pilze, weniger durch Regenwürmer. Die Feinfraktion der Auflage (organische Teilchen < 2 mm) ist meist scharf vom Mineralboden abgegrenzt. Häufiger Humustyp der krautarmen Nadel-/Laubmischwälder der montanen Stufe.
- Der «träge» **Rohhumus** ist die Folge von nährstoffarmen, biotisch wenig aktiven Böden. Der Abbau der Streu ist verzögert und geschieht meist

durch Pilze. Unter der frischen (Nadel-)Streu liegt ein mächtiger, kaum durchmischter Horizont von teilweise zersetzten, jedoch noch deutlich erkennbaren Pflanzenteilchen. Humustyp der subalpinen Nadelwaldstufe.

Humus kann im Boden verloren gehen. Die Gründe dafür sind:

- Zu häufige Bodenbearbeitung. Dadurch wird der Humus von den Bodenorganismen schneller abgebaut.
- Fehlende Pflanzendecke und folglich keine abgestorbenen Wurzeln. Die Bodenorganismen hungrern und bauen den Humus ab.

Mögliche Gegenmassnahmen sind die Gründüngung, das Mulchen, die Einsetzung von tiefwurzelnden Pflanzen und Gaben von Mist oder Kompost.

### 3.4 Böden zeigen ihr Gesicht: Bodenentwicklung und Bodentypen

Zwischen den Umwandlungsprozessen der mineralischen Komponenten und der organischen Komponenten bestehen auffällige Analogien.

**Tabelle 3:** Analogien zwischen mineralischen und organischen Bodenbestandteilen

	Mineralische Bodenbestandteile	Organische Bodenbestandteile
«Primäre» Ausgangssubstanzen	Gesteine und Mineralien	Organe der Pflanzen, Bodenlebewesen
Prozesse des Abbaus	Verwitterung	Verwesung
Prozesse des Um- und Aufbaus	Mineralneubildung	Humifizierung
«Sekundäre» Neubildungen	Tonminerale, Oxide, Hydroxide	Huminstoffe

Sämtliche Prozesse (Abbau, Aufbau, Verlagerungen und Neubildungen) können im gleichen Boden stattfinden. Unter dem Einfluss der bodenbildenden Faktoren (Gestein, Relief, Wasser, Klima, Pflanzen und Tiere, Mensch) entwickelt sich der Bodenkörper im Laufe der Zeit weiter zu einem Bodentyp mit einer bestimmten Abfolge von Bodenhorizonten. Unter einem bestimmten Bodentyp fasst man diejenigen Böden zusammen, die sich im gleichen oder sehr ähnlichen Entwicklungszustand befinden und in denen auch ähnli-

che Prozesse ablaufen. Die Bodenbildung verläuft auf Lockergesteinen ähnlich wie auf Festgesteinen, jedoch meist bedeutend schneller. Lockergesteine sind von Anfang an poröser und besitzen dadurch eine grosse spezifische Oberfläche. Solche Böden besitzen eine recht hohe Kapazität für die Speicherung von Wasser und Nährstoffen im Wurzelraum. Das Bodenprofil kann auf Kalkgestein geringmächtig und auf Lockergesteinen oder bei speziellen klimatischen Bedingungen sehr tiefgründig sein. Aber generell gilt für unsere Klimazone, dass im Laufe der Zeit ein Boden humusreicher und saurer (das heisst, der pH-Wert sinkt) wird, die Horizonte werden ausgeprägter und die Farben intensiver. Dies ist nicht zuletzt auch aus Sicht des Klimaschutzes relevant, weil mit der Kohlenstoff-Speicherung im Boden der Atmosphäre das Treibhausgas Kohlendioxid entzogen wird. So unterschiedlich die einzelnen Standorte sind, so gross ist auch die Vielfalt der verschiedenen Böden. Dennoch sollen im Folgenden einige Bodentypen näher vorgestellt werden, vor allem aber solche, die auch im Kanton Schaffhausen zu finden sind.

### 3.4.1. Böden aus festen Karbonat-Gesteinen



14 Rendzina auf Malmkalken des Randens (Weisser Jura).

Karbonat-Gesteine bestehen zu > 75 % (oft sogar aus > 95 %) aus  $\text{CaCO}_3$  (Kalksteine) oder  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (Dolomit). Der wichtigste bodenbildende Prozess ist die Auflösung der Karbonate. Die Lösungsprodukte (die Ionen Kalzium, Magnesium und Hydrogenkarbonat) werden mit dem Sickerwasser ausgewaschen. Übrig bleiben die silikatischen Bestandteile des Karbonat-Gesteins, und es entsteht eine tonig-lehmige Feinerde. Die Entkarbonatisierung ist der einzige bodenbildende Prozess, der stattfindet. Die Umwandlung von Karbonat-Gestein zu kalkfreiem Oberboden dauert in unsrern Breiten sehr lange. Deshalb sind Böden auf Kalkgestein in Mitteleuropa fast immer flachgründige und

ehler karge Böden (z.B. die Böden auf dem Randen). Die Böden bestehen aus einem A<sub>h</sub>-Horizont (h bedeutet humifizierte organische Substanz, also reich an Humus) und unmittelbar daran anschliessend der C-Horizont, kurz: A<sub>h</sub>-C-Boden. Solche Böden werden als Rendzina bezeichnet. Die Rendzina ist der einzige Boden, bei dem keine sekundären Mineralien gebildet werden. Natürlichlicherweise stocken auf Rendzinen meist trockene Buchenwälder, in höheren Lagen herrschen Föhre oder Fichte vor. Rendzinen werden landwirtschaftlich meist extensiv als Grünland genutzt.

### 3.4.2 Böden aus silikatischen, kalkfreien Festgesteinen

Silikatgesteine sind kalkfreie, magmatische (z.B. Granit) oder metamorphe Gesteine (z.B. Gneiss) mit unterschiedlicher Mineralzusammensetzung. Da die Nährstoffgehalte der Gesteine und die Verwitterbarkeit der Mineralien sehr unterschiedlich sind, entwickeln sich auch Böden mit verschiedenen Standorteigenschaften. Durch die fortschreitende Gesteinsverwitterung und Humusablagerung entstehen schwach entwickelte A<sub>h</sub>-C-Böden, die als Ranker bezeichnet werden. Sie sind meist geringmächtig und ertragsarm. Große Flächen alpiner Rasen grünen auf Rankerböden, ebenso manche Föhrenwälder, und in den Südalpen auch Kastanien-, Eichen- oder Buchenwälder. Landwirtschaftlich nutzbar sind sie höchstens als Weiden. Im Kanton Schaffhausen fehlt der Ranker.



15 Ranker auf saurem Ausgangsgestein

### 3.4.3 Böden des gemässigten Klimabereichs

#### 3.4.3.1 Braunerden

Die Böden entwickeln sich in unserm Klimabereich weiter. Aus den A<sub>h</sub>-C-Böden entstehen Böden mit einem ausgeprägten Verwitterungshorizont B. Sie werden als Braunerden bezeichnet und besitzen eine typische Horizont-Abfolge A<sub>h</sub>-B<sub>w,fe</sub>-C. Dabei steht «w» für verwittert/verbraunt und wird verwendet, wenn Eisenhydroxid vorwiegend an Tone gebunden ist (ergibt gelblichbraune bis braunrote Färbung = verbraunt). Die Bezeichnung «fe» wird gesetzt, wenn es sich zumeist um freie Eisenhydroxide handelt (meist intensiv rötlich oder orangerot gefärbt = eisenhüllig). Im Verwitterungshorizont B findet also eine Anreicherung von Ton durch die Neubildung von Tonmineralen und eine Verbraunung durch die Eisenoxid-Bildung statt. Es werden drei Typen von Braunerden unterschieden:



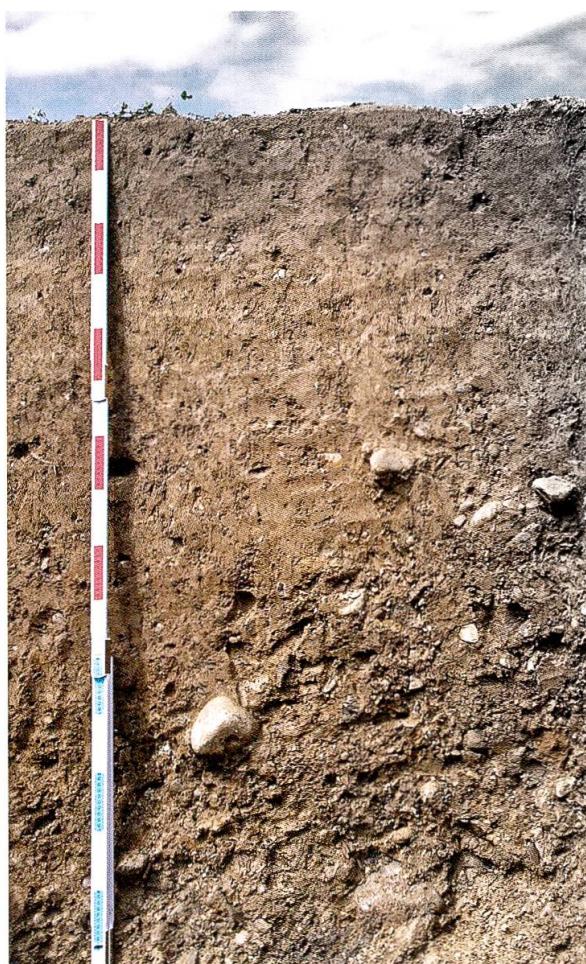
- **Kalkbraunerde**, welche bis zur Oberfläche karbonathaltig ist
- **Braunerde**, wo der Humus- und Verwitterungshorizont teilweise oder ganz karbonatfrei ist. Sie reagiert neutral bis schwach sauer und besitzt eine hohe Basensättigung.
- **Saure Braunerde** mit pH-Werten unter 5 und einer geringen Basensättigung im B-Horizont.

Die Braunerde-Böden sind im gesamten gemässigt-humiden Klimabereich verbreitet. Häufig sind sie die landwirtschaftlich besten Böden. Das Bodenleben ist bis in einige Dezimeter Tiefe aktiv. Die hiesigen Braunerdeböden waren einst vollständig von Buchen- oder Buchen-Tannen-Wäldern bestockt.

16 Braunerde auf Grundmoräne

### 3.4.3.2 Parabraunerde (Lessivé)

Im pH-Bereich von ca. 5–7 sind Tone verlagerungsfähig. Wasser löst sie im Oberboden und spült sie durch die Grobporen hinab, bis sie im Unterboden als Folge der vorhandenen Kationen (Kalzium, Magnesium, Eisen, Aluminium) in der Bodenlösung wieder ausflocken. Daher ist die Tonverlagerung in der Regel nur in mässig versauerten Böden nach vorangegangener Entkalzung und vor Einsetzung der Silikatverwitterung möglich. Die Tonverlagerung führt zu charakteristisch zweigeteiltem Verwitterungshorizont, oben aufgehellt und unten intensiv braunrot. Der zugehörige Boden heisst Parabraunerde (Abb. 17) und ist folglich nur schwach sauer, hat oben grosse Poren und kann unten Wasser speichern.



17 Parabraunerde über Schotter

Solche Böden sind bei ausreichernder Düngung ebenfalls fruchtbar und bilden in der Schweiz wertvolle Ackerstandorte. Wegen der Tonverlagerung besteht aber die Gefahr von Staunässe. Die typische Horizontabfolge einer Parabraunerde ist:  $A_h-E_t-I_t-B_{w,fe}-C$ . Hier bedeuten die Buchstaben E = Auswaschung (Eluvial) und I = Anreicherung (Illuvial).  $I_t$  steht, wenn der tonreichere Horizont tatsächlich durch Einwaschung entstanden ist (also genetisch mit einem E-Horizont in Verbindung steht).

### 3.4.3.3 Podsol

Auf sauren kristallinen Gesteinen oder Sedimenten (z.B. Quarzsande) entsteht bei kühlfeuchten Bedingungen und unter schwer abbaubarer Streu (Nadelwald) ein Boden mit ausgeprägtem bleichem Horizont und meist mächtiger und wenig zersetzerter Rohhumus-Auflage: der Podsol (Abb. 18). Der Name stammt aus dem Russischen und bedeutet frei übersetzt Ascheboden. Dies deshalb, weil der Bleichhorizont aschähnlich gefärbt ist. Der namensgebende Horizont ist eine Folge des abwärts gerichteten sauren Sickerwasserstroms (vor allem Fulvosäuren), mit dem die organische Substanz und im Bodenwasser gelöste Ionen (auch Aluminium, Eisen und Mangan) verlagert werden. Sie fallen oberhalb des B-Horizontes wieder aus. Diese im Unterboden angerei-



18 Podsol mit aschefarbenem Bleichhorizont, gefolgt vom dunklen Huminstoff-Anreicherungshorizont und daran angrenzend der rostfarbene Horizont mit Sesquioxiden.

cherten Stoffe verlieren nach häufigem Austrocknen ihre Wanderungsfähigkeit und werden stabilisiert. Dabei wandeln sich die organischen Stoffe in grössere Moleküle um (Eisen- und Aluminium-Humate). Es entsteht ein verhärteter Illuvialhorizont, der auch Ortstein genannt wird. Der Podsol ist aufgrund der wenig zersetzen organischen Auflage meist nährstoffarm, mit wenig biologischer Aktivität, geringer Wasserspeicherfähigkeit und daher wenig fruchtbar. Die typische Horizontabfolge eines Podsolos ist: O-A<sub>h</sub>-E<sub>h,s</sub>-I<sub>h,s</sub>-B<sub>fe,al</sub>-C. Hier bedeutet E<sub>h,s</sub> die Auswaschung von Humus (h) und Sesquioxiden (s). Unter Sequioxiden werden Metalloxide mit einem Verhältnis von Metall zu Sauerstoff von 1,5 verstanden (z.B. Eisen, Aluminium, Mangan). Die natürliche Vegetation bilden Fichten-, Lärchen- und Arvenwälder sowie Zwergstrauchheiden. Diese sauren Böden fehlen im Kanton Schaffhausen.

#### 3.4.3.4 Hydromorphe Böden

Böden können im Einflussbereich von Grundwasser oder Stauwasser stehen. Dies etwa in Senken, Tälern oder bei einem undurchlässigem Staukörper (z.B. Tonablagerungen) in einem an sich durchlässigen Boden. Weil der Wasserspiegel schwankt, entstehen wechselfeuchte, zeitweise belüftete Bodenhorizonte. Bei Vernässung wird das Redoxpotenzial gesenkt und dadurch schwer lösliches Fe<sup>3+</sup> zu mobilem Fe<sup>2+</sup> reduziert. Dies zeigt sich auch farblich, indem statt der Rostfarbe eher ein blaugrauer Farbton vorherrscht. Böden mit Staunässe werden als Pseudogley und solche mit Grundwassereinfluss als Gley bezeichnet. Im folgenden sind die wichtigsten Unterschiede kurz zusammengestellt:

- **Pseudogley:** Wasser wirkt von oben (Niederschlag) und versickert zuerst über die Grobporen, dann über die Matrix. Wird an einem Stauhorizont rückgestaut. Mit Wechseln von nassen und trockenen Phasen. Beim Trocknen oxidiert das Eisen wieder, und es gibt ein Nebeneinander von Eisenanreichungs- und Eisenverarmungszonen, was eine Art Marmorisierung der Matrix zur Folge hat. Nutzung: in der Regel als Wald oder Weide, wobei als Folge der Staunässe keine tiefen Pflanzenwurzeln vorhanden sind (Gefahr des Windwurfs). Typische Horizontabfolge: O-A<sub>h</sub>-B<sub>g</sub>-C.

- Gley (Abb. 19): Das Wasser wirkt von unten (Grundwassereinfluss). Zuerst werden die Kapillaren mit Wasser gefüllt (Kapillarkräfte), dann die sauerstoffhaltigen Grobporen. Dabei wird Eisen oxidiert und es entstehen rostige Porenwände. Auf den blaugrauen Gleyböden entwickeln sich Erlen-, Weiden- oder Eschenwälder. Manche wurden trockengelegt und unter den Pflug genommen. Die typische Horizontabfolge lautet:  $A_h$ - $G_o$ - $G_r$ . Dabei steht G für Grundwasser, o für oxidiert (periodisch durchlüftet) bzw. r für reduziert (Sauerstoffarmut).



19 Gley – ein vom Grundwasser beeinflusster Boden

### 3.5 Böden als Filter und Puffer

In die Böden gelangen Säuren (z.B. durch saure Niederschläge). Säuren entstehen auch als Folge der Verwitterung und von Ab- und Umbauprozessen. Eine wichtige Eigenschaft der Böden besteht darin, den Säurehaushalt selbst zu regulieren und Säureeinträge bis zu einem gewissen Mass auszugleichen bzw. abzupuffern. Dabei wird der pH-Wert (= Säureindikator) des Bodens in einem bestimmten Bereich so lange konstant gehalten, bis der Puffer aufgebraucht ist. Böden verfügen über verschiedene Puffersysteme, die in jeweils unterschiedlichen pH-Bereichen wirken:

- **Kalkpuffer:** Durch die Reaktion mit Kalk werden die Säuren neutralisiert. Der Pufferbereich wirkt bei ca. pH 8,3 bis ca. 7,0. Ist der Kalk aufgebraucht, sinkt der pH-Wert weiter ab. In der Landwirtschaft kann durch Kalkdüngung der Puffer jeweils erneuert werden.
- **Austauscher-Puffersystem:** Die Protonen lagern sich an die Austauscher (Tonminerale, Huminstoffe, Eisen-/Aluminiumoxidehydroxide) an und setzen dafür Nährstoffe (z.B. Kalzium, Magnesium) frei. Diese werden in tiefere Bodenschichten ausgewaschen. Daher tritt in diesem Bereich mit zunehmender Bodenversauerung ein Nährstoffmangel bei den Pflanzen auf. Der Pufferbereich liegt bei pH 7,0 bis ca. 5,0.
- **Silikatpuffer:** Er wirkt in einem pH-Bereich von ca. 5,0 bis 4,2. Dabei werden die Protonen ins Kristallgitter der Silikatminerale aufgenommen und dafür andere Kationen wie Kalium freigesetzt.
- **Aluminium-/Eisen-Pufferbereich:** Unterhalb pH 4,2 werden Aluminium- und Eisenoxidhydroxide abgebaut und dabei Aluminium-Ionen freigesetzt. Diese wirken als Zellgifte und können Pflanzenwurzeln und Bodenorganismen schädigen. Bei diesen pH-Werten ist eine Umkehrung des Zustandes (zurück zu basischen Verhältnissen) praktisch unmöglich.

Sämtliche Bodenprozesse laufen für menschliche Begriffe sehr langsam ab. Die nacheiszeitliche Bodenbildung hat zu einer Braunerde von knapp 1 Meter Mächtigkeit geführt, bei Rendzinen liegt die Bodenmächtigkeit eher bei 20 cm. Das entspricht in unsrern Breiten einer mittleren Bodenbildungsrate von etwa 0,08 mm pro Jahr während den vergangenen 12'000 Jahren. Der Übergang von einem Puffersystem zum andern dauert entsprechend lang. Dies zeigt die «Geduld» unserer Böden mit menschlichem Fehlverhalten, wenn beispielsweise Schwermetalle in den Boden gelangen. Diese Fremdstoffe werden an die Bodenpartikel angelagert und dadurch im Oberboden festgehalten. Mit zunehmender Versauerung gelangen diese Stoffe aber wieder in die Bodenlösung und werden von Pflanzen aufgenommen oder ins Grundwasser eingetragen. Intakte Böden filtrieren und reinigen das Niederschlagswasser, indem sie organische Substanzen abbauen oder umbauen, atmosphärische Säuren neutralisieren, Kolloide ausflocken und Metalle adsorbieren (hierzu Kapitel 7). Die Filtereigenschaften unserer Böden sind deshalb für die Trinkwasserversorgung unentbehrlich.

### 3.6 Spiel mit doppeltem Boden

Boden ist nicht bloss ein Gefüge von mineralischem und organischem Material, in dem sich zufälligerweise einige Bodenlebewesen tummeln. Vielmehr ist der Boden sowohl ein Produkt als auch Grundlage von Leben. In diesem Sinne ist der Boden ein lebendes System, eine Art Haut der Erde. Eine Hand voll Boden enthält mehr Lebewesen als es Menschen auf der Erde gibt. Das eigentliche Wunder des Bodens ist offensichtlich seine Lebewelt. Unsere Böden entwickeln sich in sehr langen Zeiträumen. Die Bodendecke der Erde ist durch eine ausserordentliche Vielfalt gekennzeichnet. Dies hängt nicht zuletzt mit den globalen Klimaunterschieden und -entwicklungen zusammen. Diese Vielfalt ist als Teil der Natur ebenso schützenswert wie Pflanzen- und Tierarten. Dennoch werden die Böden im Gegensatz zu Schmetterlingen, Fledermäusen oder Orchideen trotz ihrer ausserordentlich hohen ökologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bedeutung wenig beachtet. Sie erscheinen deshalb nur ganz selten in den Listen der Naturinventare von schützenswerten Biotopen. Besonders wertvoll sind Böden mit einem ausgebreiteten, tiefgründigen Profil, die natürlich fruchtbar sind. Solche Böden sind rar. Sie liegen in der Schweiz meist in den tieferen, ebenen bis leicht geneigten Lagen. Es sind aber auch die Standorte für Wohnraum, Arbeitsplätze oder

Verkehrsflächen. Doch der Boden ist endlich und kann nicht vermehrt werden. Und trotzdem geht die Menschheit damit um, als hätte unser Planet einen doppelten Boden. Pro Sekunde werden in der Schweiz ein Quadratmeter Boden versiegelt. Vollständig versiegelte Böden verlieren ihre Funktion als Pflanzenstandort, Lebensraum für Organismen, Puffer oder Wasserfilter. Das Wissen um die Bedeutung der Böden ist leider noch zu wenig verbreitet, und es fehlt nach wie vor am haushälterischen, nachhaltigen Umgang mit diesem so wichtigen Gut. Der Boden (Pedosphäre) ist ein «Grenzphänomen», sowohl was seine Entstehung als auch seine Nutzung anbelangt. Nur sind diese Grenzen längst noch nicht allen bewusst, weil wir den Boden unter den Füßen verloren haben.