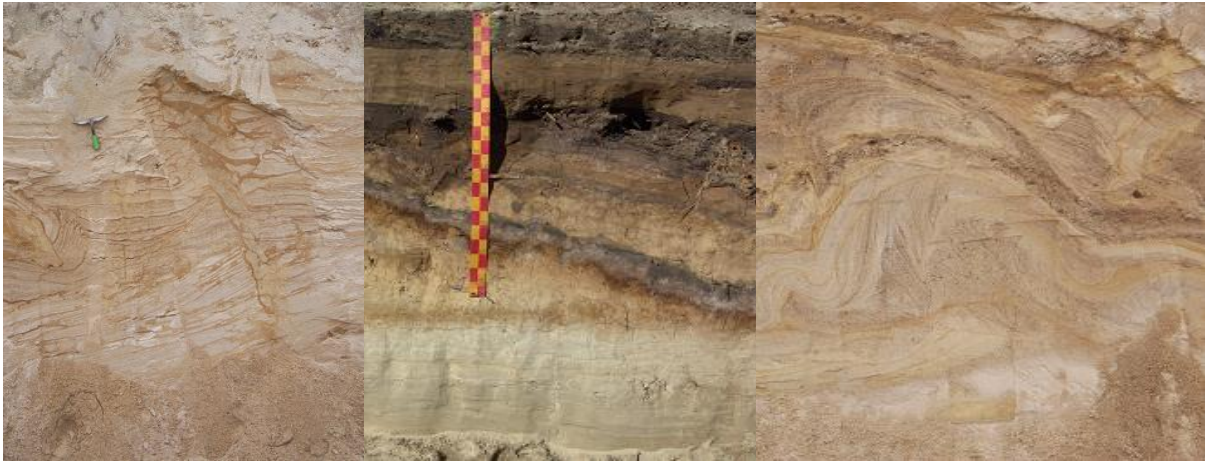


Boden macht Schule

A Sachinformation

Was ist Boden?

1. Annäherung an den Boden	2
2. Die Bedeutung des Bodens als Grundlage des Lebens	4
2.1 Bodenfunktion	4
2.2 Boden im Alltag	4
2.3 Die rechtliche Stellung des Bodens	5
3. Woraus Boden besteht	5
3.1 Mineralische Bestandteile	6
3.2 Organische Bestandteile	8
3.3 Bodenkolloide	12
3.4 Bodenwasser und Bodenluft	12
4. Wie Boden entsteht	13
4.1 Faktoren der Bodenbildung	13
4.2 Verwitterung als erster Schritt zur Bodenbildung	14
4.3 Abbau organischer Substanz im Boden	15
5. Physikalisch-chemische Eigenschaften des Bodens	16
5.1 Bodenreaktion und Kalkgehalt des Bodens	16
5.2 Ionenaustausch	18
6. Bodenaufbau und Bodentypen	18
Geologische Karte zu den Flächenanteilen der Böden in Mecklenburg-Vorpommern	28
7. Entstehung der Böden in Mecklenburg-Vorpommern	29



A11 Von links nach rechts: Eiskeil, Paläoboden-Podsol, Fließstrukturen in einer Bänderbraunerde (Fotos: G. Anders)

Was ist Boden?

Unsere Böden bilden ein komplexes Teilsystem der Geosphäre, in dem sich Bio-, Hydro-, Litho- und Atmosphäre in gemeinsamen Stoff- und Energiekreisläufen durchdringen. Das Zusammenwirken der einzelnen Sphären im Boden hat Einfluss auf Ausprägung und Eigenschaften der Böden, die in Zeiträumen von Jahrtausenden in großer Vielfalt entstanden sind. Bodeneigenschaften wie Wasserspeicherfähigkeit, Nährstoffversorgung, Bearbeitbarkeit und die für das Pflanzenwachstum günstige Bodenreaktion (pH-Wert der Bodenlösung) sind wichtige Kriterien zur Beurteilung der Bodenqualität in der Land- und Forstwirtschaft. Die Wirkungsgefüge im Boden zu verstehen, ist wichtige Voraussetzung dafür, den Stellenwert des Bodens nicht nur im Hinblick auf seine Nutzung durch den Menschen zu erkennen.

1. Annäherung an den Boden

Ein Bodenkundler wird auf die Frage: „Was ist Boden?“ nur selten eine zufrieden stellende Antwort von einem Nicht-Fachmann erhalten. Das ist nicht verwunderlich, da in den meisten Fällen beide den gleichen Begriff unterschiedlich benutzen. Für den Fachmann ist spätestens seit der ersten wissenschaftlichen Betrachtung des Bodens durch Frédéric Albert Fallou 1862 mit diesem Begriff der belebte Raum unter unseren Füßen gemeint und definiert (→ A2). Im alltäglichen Sprachgebrauch ist Boden dagegen meist die Fläche oder der feste Untergrund, auf dem man sich bewegt. Etymologisch leitet sich Boden von dem indogermanischen Wort bhudhm[e]n ab. Sprachverwandtschaften bestehen innerhalb der indogermanischen Sprachen zu den Wörtern Budhnáh (altindisch für Grund, Boden) und fundus (lat. Boden eines Gefäßes, Grund; vgl. Fundament). Die dem allgemeinen Sprachgebrauch entsprechende

Bedeutung von Boden im Sinne eines festen Untergrundes findet sich heute auch in verwandten Wörtern in anderen Sprachen, z. B. bottom (engl.; syn. ground, floor), botten (schwed.) oder bodem (niederl.). Für den Boden im Sinne des Fachmanns kennen diese Sprachen einen eigenständigen Ausdruck (engl., soil; schwed., jord.).

Boden im Sinne der Bodenkunde quer durch Europa

jordbund (dänisch), soil (englisch),
maa (finnisch), sol (französisch),
έδαφος (griechisch), bodem (holländisch)
suolo (italienisch), gleba (polnisch)
solo (portugiesisch), pamant (rumänisch)
jord (schwedisch), suelo (spanisch)
půda (tschechisch), toprak (türkisch)
föld (ungarisch).

Würde die eingangs genannte Frage „Was ist Erde?“ lauten, kämen sich Bodenkundler und Laie einer gemeinsamen Vorstellung über den Boden näher. Denn Erde bezeichnet in seiner ursprünglichen Bedeutung und auch im heutigen Sprachgebrauch den nassen, schwarzen Stoff, der in der Antike sogar eines der vier Elemente darstellte (Feuer, Wasser, Erde, Luft). Und auch im Gilgamesch-Epos Babylonien, im Alten Testament und im Islam begegnet uns die Erde (Limus = Lehm). Hier bildet sie den Baustoff unserer Urahnen. In der altägyptischen Mythologie schuf der widderköpfige Gott Chnum auf einer Töpferscheibe alle Geschöpfe aus Ton. (A2).

Wörter wie erdig, beerdigen, erden, Erdapfel oder Erdbeere sind Begriffe, die unzweifelhaft mit der lockeren Auflage auf dem festen Gesteinsuntergrund, eben dem Boden, verbunden sind. Synonym zu dem Begriff Erde sind allgemein verbreitet: Humus, Mutterboden oder Krume. Alle drei Bezeichnungen stehen vorwiegend für den fruchtbaren, meist vom Menschen landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Boden. Sie kennzeichnen damit den nährstoffreichen und humushaltigen Oberboden im Sinne des Bodenkundlers, vernachlässigen jedoch das tiefere Bodenstockwerk, den Unterboden. Dieser bleibt den meisten allerdings auch weitgehend verborgen, es sei denn, Erdarbeiten schließen diesen Teil des Bodens auf.

Es bestehen bisweilen selbst unter den Fachkundigen unterschiedliche Ansichten, wie Boden zu definieren ist. Das betrifft insbesondere seine Abgrenzung in die Tiefe. Streng genommen gehört nur derjenige Teil zum Boden, der sich durch bodenbildende Prozesse und durch biologische Aktivität im Strukturbild vom Ausgangsgestein unterscheidet. Dies gilt auch dann, wenn das Ausgangsgestein durch chemische und physikalische Prozesse bereits intensiv verwittert ist (Cv-Horizont). Sehr viel weitreichender hingegen definiert das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) von 1999 den Boden als „... die obere Schicht der Erdkruste, soweit sie Träger [...] von Bodenfunktionen ist, einschließlich der flüssigen [...] und der gasförmigen Bestandteile [...] ohne Grundwasser und Gewässerbetten. Zu den Bodenfunktionen gehört auch der Boden als Lieferant für Rohstoffe bzw. Bodenschätze (Steine, Kies, Kohle

etc.), wodurch der Begriff auch den geologischen Untergrund beinhaltet. Die vorliegende Handreichung will diesen Aspekt nicht ausklammern, doch Boden im Wesentlichen im Sinne der Definition von Schroeder (1992) betrachten: „Boden ist das mit Wasser, Luft und Lebewesen durchsetzte, unter dem Einfluss der Umweltfaktoren an der Erdoberfläche entstandene und im Ablauf der Zeit sich weiterentwickelnde Umwandlungsprodukt mineralischer und organischer Substanzen“.



A2 | Chnum ist eine uralte ägyptische Gottheit, ursprünglich eine Wassergottheit, welche mit der Überschwemmung des Nils in Verbindung gebracht wurde. Das Wort Chnum hieß "erschaffen". Als Erschaffer, Schöpfer, erschuf er die Götter und auch die Menschen, welche letztere formte er aus Ton. Chnum wurde mit einem Widderkopf dargestellt. Es gibt ihn seit mindestens 3.000 v. u. Z.. Sein Hauptkultort war auf der Insel Elephantine nahe der Stadt Assuan.

(Bild: A. Niegengerd)

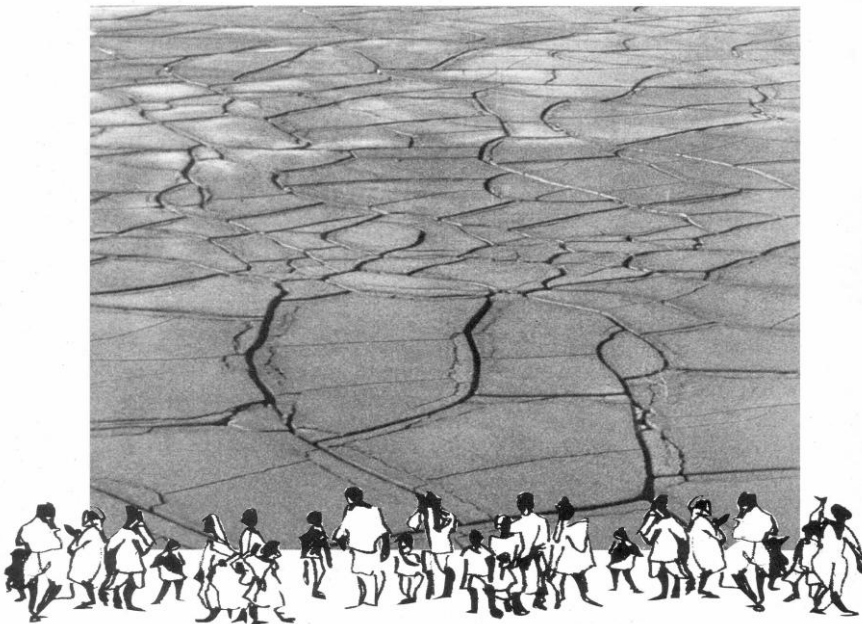
2. Die Bedeutung des Bodens als Grundlage des Lebens

2.1 Bodenfunktionen

Boden ist, ebenso wie Wasser und Luft, ein wichtiger Bestandteil des Naturhaushalts. Am Übergang zwischen Gesteinsuntergrund und Atmosphäre, Biosphäre und Hydrosphäre nimmt er innerhalb des ökologischen Systems sogar eine zentrale und verbindende Stellung ein. So überschneiden sich im Boden viele Stoffkreisläufe, deren Bestandteile hier verändert, gespeichert und neu verteilt werden. Neben den natürlichen Funktionen als Naturkörper (= ökologische Bodenfunktionen) kommen dem Boden weitere Funktionen zu, die er ausschließlich für den Menschen erfüllt. Diese Nutzungen, z. B. als Rohstoffquelle oder Baugrund, sind allerdings meist mit einer Inanspruchnahme verbunden, die den Boden in seiner natürlichen Funktionsfähigkeit beeinträchtigt oder auch zerstören kann. Seit dem Beginn der Industrialisierung, besonders aber seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts, werden die natürlichen Bodenfunktionen zudem durch den Eintrag von Schadstoffen aus der industriellen Produktion, dem Verkehr, der Abfallentsorgung oder dem landwirtschaftlichen Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln belastet.

2.2 Boden im Alltag

Täglich kommen wir mit dem Boden und seinen Funktionen in Berührung. Auf ihm wird der größte Teil der Nahrungs- und Futtermittel produziert, mit seiner Hilfe haben wir sauberes Trinkwasser, unsere Gebäude stehen auf ihm, die Rohstoffe für den Bau werden dem Boden entnommen und unsere Kinder spielen auf und mit ihm. Eher unbekannt ist, dass wir Bestandteile des Bodens im medizinischen Bereich nutzen. Dazu gehört die Heilerde, beispielsweise angewandt zur Pflege der Haut (► Schüleraktivität AA9) oder als Mittel gegen Durchfall. Dabei macht man sich die Wirkungsmechanismen der Tonminerale zunutze. Aufgrund ihres hohen Wärmespeicher- und Wasserbindungsvermögens sowie der chemischen Wirkung bei der Aufnahme durch die Haut werden Moorböden (Torf) bei Unterleibs- und rheumatischen Erkrankungen oder Erkrankungen des Bewegungsapparates angewendet. Auch im alltäglichen Gebrauch greifen wir auf Bodenbestandteile zurück. So besteht beispielsweise Porzellan u. a. aus dem Tonmineral Kaolinit (Porzellanerde) oder wird Kreide der Zahncreme als „Poliermittel“ zugesetzt.



A31

Bodendefinition nach Frédéric Albert Fallou

„Es gibt in der Natur keinen wichtigeren, keinen der Betrachtung würdigeren Gegenstand als den Boden!

Er allein ist es, welcher das zahllose Heer der Wesen erzeugt und ernährt, auf welchem die ganze belebte Schöpfung und Existenz letztlich beruhen.“

Frédéric Albert Fallou, 1862

Abbildung aus: Politische Ökologie, Sonderheft 10: Bodenlos – zum nachhaltigen Umgang mit Böden, S. 6.

2.3 Die rechtliche Stellung des Bodens

Am 01. März 1999 traten das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und am 17. Juli 1999 die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) in Kraft. Damit wird der Boden als elementarer Bestandteil der Natur und neben Wasser und Luft als drittes wichtiges Umweltmedium ausdrücklich geschützt. Zweck des Gesetzes ist es, die Bodenfunktionen zu sichern oder wieder herzustellen. Dazu werden Pflichten zur Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen und zur Sanierung von Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachter Gewässerverunreinigungen begründet.

Die BBodSchV konkretisiert die bundeseinheitlichen Anforderungen an den Bodenschutz und die Altlastensanierung. Die Verordnung ist für die Bodenschutzbehörden von großer Bedeutung unter anderem durch Regelungen über die maßgeblichen Schadstoffwerte (Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte) und Untersuchungsanforderungen für den Boden.

Mecklenburg-Vorpommern hat am 4. Juli 2011 das Gesetz über den Schutz des Bodens (Landesbodenschutzgesetz-LBodSchG M-V, erlassen GVOBl. M-V S. 759, das unter anderem die Zuständigkeit der Behörden im Bodenschutz sowie die Einrichtungen eines Altlastenkatasters und das Bodeninformationssystem regelt.

Bodenfunktionen nach dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG)

Natürliche Funktionen

- Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen
- Bestandteil des Naturhaushaltes, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen
- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkung aufgrund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers

Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte

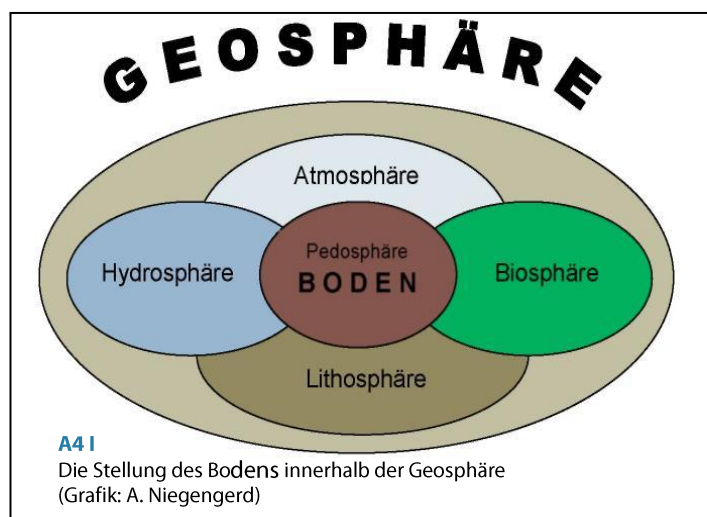
Nutzungsfunktionen

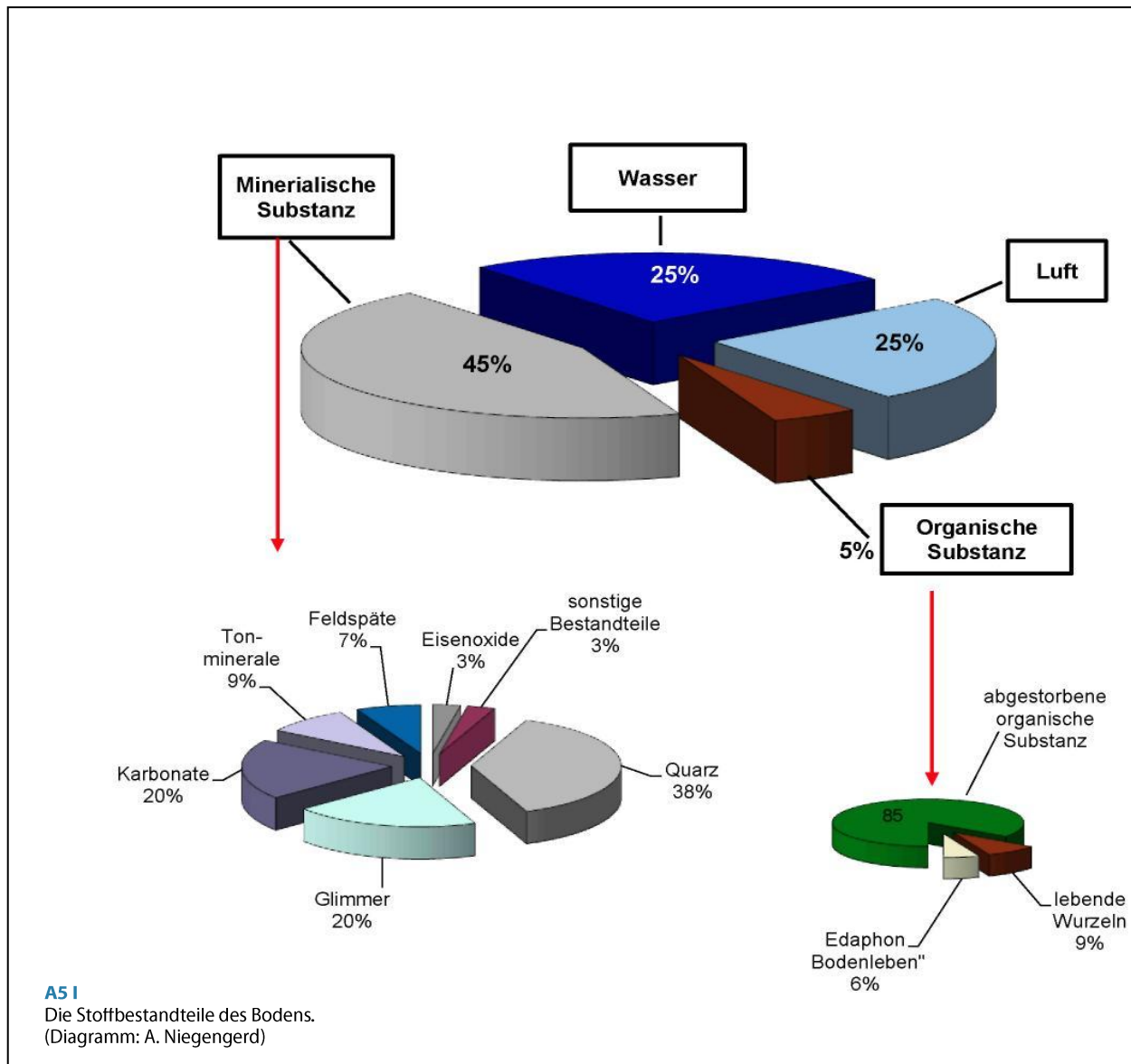
- Rohstofflagerstätte
- Fläche für Siedlung und Erholung
- Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung
- Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung

Definition der Bodenfunktionen.

3. Woraus Boden besteht

In der Bodenschicht (= Pedosphäre; von pedon, griechisch: Boden) überschneiden sich vier Bereiche der Natur: die Lithosphäre (bestehend aus Mineralen und Gesteinen), die Hydrosphäre (das Wasser), die Biosphäre (lebende und abgestorbene Pflanzen und Tiere) und die Atmosphäre (die Luft). Die Bausteine dieser Sphären bilden so auch die Bestandteile des Bodens, allerdings verändern biologische Aktivitäten und chemische Umsetzungen deren Zusammensetzung. Physikalisch gesehen besteht Boden aus festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen.

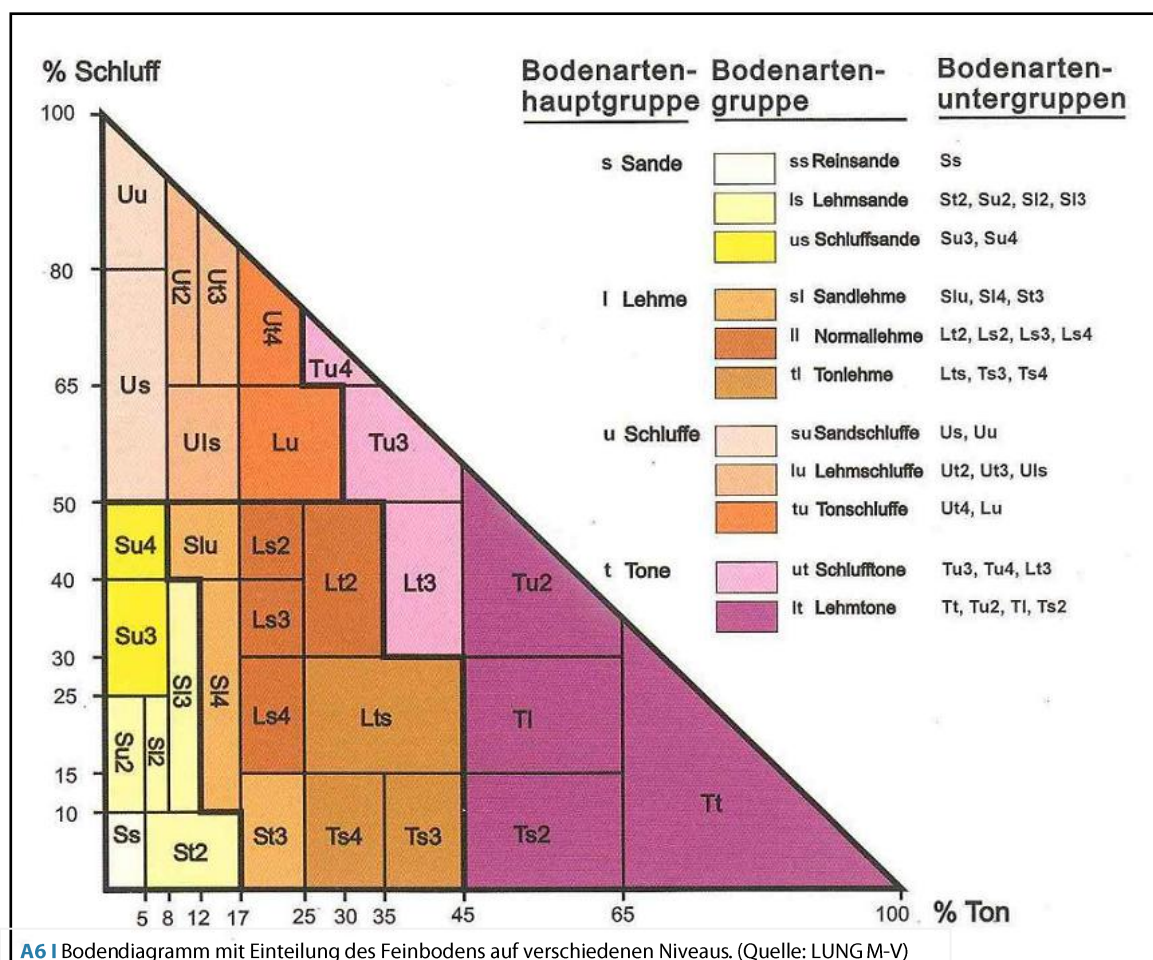




3.1 Mineralische Bestandteile

Die mineralischen Bestandteile des Bodens entstammen überwiegend den an der Erdoberfläche verwitterten festen und lockeren Gesteinen (→ Exkurs Gesteine). Durch Verwitterungsprozesse zerfallen diese in Gesteinsbruchstücke, bestehend aus Mineralaggregaten, und in die einzelnen Mineralkomponenten. Neben diesen gesteinsbürtigen (= lithogenen) Mineralen gehören aber auch die während der Bodenbildung neu gebildeten (= pedogenen) Minerale zum mineralischen Bodenkörper, wie beispielsweise die Tonminerale (→ Exkurs Tonminerale). Die mineralischen Bestandteile liegen im Boden in unterschiedlicher Korngröße vor. Eine Charakterisierung des Bodens

nach diesen Partikelgrößen gibt die so genannte Bodenart wieder. Danach unterscheidet man zwischen drei Größenklassen bzw. Hauptbodenarten: Ton (Korndurchmesser < 0.002 mm), Schluff (0.063 - 0.002 mm) und Sand (0.063 - 2 mm). Weitere Unterteilungen erfolgen durch die Begriffe sandig, schluffig und tonig (z. B. sandiger Ton). Die mineralischen Bodenbestandteile ≤ 2 mm rechnet man zum so genannten Feinboden, die größeren Bodenbestandteile bilden den Grobboden, das so genannte Bodenskelett. In Böden kommen häufig Gemische unterschiedlicher Korngrößen vor. Beispielsweise Lehm aus Anteilen aller drei Hauptbodenarten (→ A6).



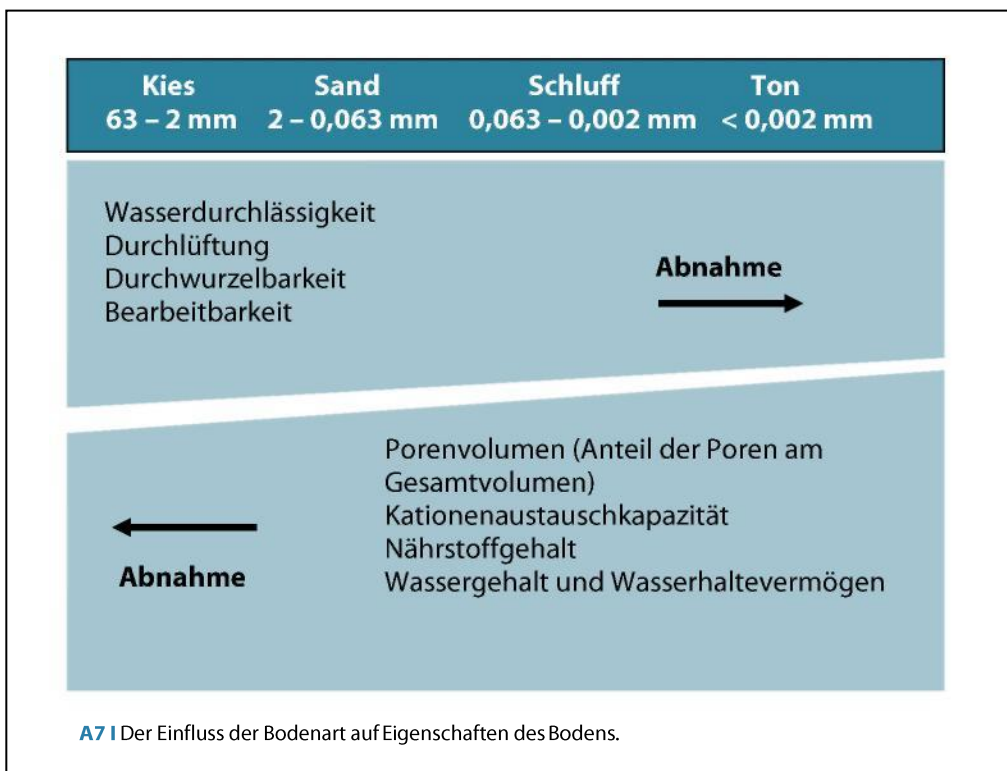
Die Bodenart kann mit Hilfe der Finger im Feld verhältnismäßig leicht bestimmt werden (►Schüleraktivität AB1+2). Dabei dienen als Kriterien die Plastizität, Rollfähigkeit, Schmierfähigkeit und Rauigkeit. Im bodenkundlichen Labor erfolgt die Bestimmung der Korngrößenanteile nach DIN-Normen durch eine Kombination von Sieb- und Sedimentationsverfahren (►Schüleraktivität AB3).

Die Bodenart hat Einfluss auf die Wasserführung, Wasserspeicherefähigkeit, Durchlüftung und Bearbeitbarkeit eines Bodens (7A7). Daher ist sie ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der Bodenqualität. So beruhen beispielsweise die günstigen ackerbaulichen Eigenschaften der Lehmböden auf ihrer Korngrößenzusammensetzung. Ein hoher Sandanteil im Boden bedeutet zwar eine gute Durchlüftung, Durchwurzelbarkeit, Wasserführung und leichte Bearbeitbarkeit. Die Fähigkeit, Wasser zu speichern, ist hingegen gering. Bei einem hohen Tonanteil sind aufgrund der geringen Porengröße die Wasserführung, Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit schlecht.

Nährstoff- und Wasserspeichervermögen dagegen sind hoch.

Bezeichnung des Bodens nach Gehalt an organischer Substanz	Gehalt an organischer Substanz in Gewicht-%	
	Schwere Böden (lehmig/tonig)	Leichte Böden (sandig)
sehr schwach bis schwach humos	< 3 - 5	< 1 - 2
mäßig humos	5 - 10	2 - 4
stark und sehr stark humos	10 - 20	4 - 15
anmoorig	20 - 35	15 - 25
Moorerde	25 - 80	25 - 60
Moor	> 80	> 60

Tabelle A1 I Abstufung des Humusgehaltes des Bodens

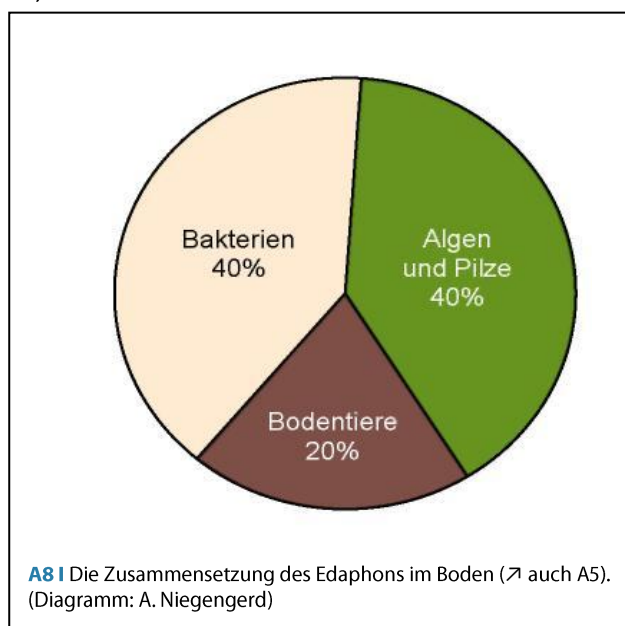


3.2 Organische Bestandteile

Zu den organischen Bestandteilen des Bodens gehören in erster Linie die abgestorbenen und umgewandelten Reste von Pflanzen und Tieren (= Humus; ↗ A5). Nicht von allen Autoren dagegen werden auch das Bodenleben (= Edaphon) und die lebenden Pflanzenwurzeln zur organischen Substanz des Bodens hinzugezählt. Beide sind jedoch ebenfalls wesentliche Bestandteile des Bodens (► Modul B Bodenleben). Die organischen Bestandteile tragen wesentlich zur Bodenfruchtbarkeit bei. Da Gesteine das für Pflanzen unverzichtbare Element Stickstoff überhaupt nicht enthalten, ist Humus für die allermeisten Pflanzen sogar der einzige Lieferant dieses Nährstoffes. Humus beeinflusst maßgeblich auch die Stabilität des Bodengefüges, z. B. des Krümelgefüges. Dieses ist nicht nur für die Fähigkeit, Wasser zu speichern, sondern auch für die Durchlüftung des Bodens wichtig.

Die abgestorbenen organischen Bestandteile des Bodens sind dem mineralischen Bodenkörper beigemischt. Der Humus des Bodens beeinflusst maßgeblich dessen Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt sowie das Angebot an lebenswichtigen Nährstoffen. Humus ist das Ergebnis der Verrottung bzw. komplexer biochemischer Zersetzungsprozesse der organischen Bodensubstanz. Durch den Vorgang der Humifizierung

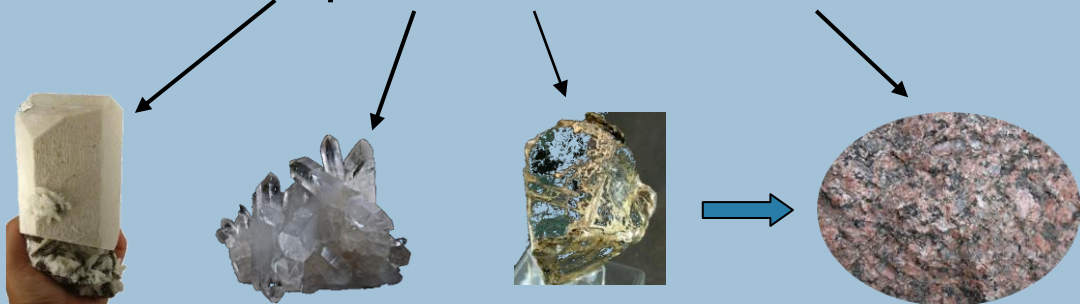
entstehen hochmolekulare Abbauprodukte, die Huminstoffe (↗ Tabelle A4, S. 15). Im Mikroskop oder mit der Lupe betrachtet, ist Humus eine strukturlose (= amorphe) Substanz aus sehr kleinen Partikeln, die leicht in den Fingerrillen kleben bleiben. Seine schwarze Farbe bestimmt je nach Verteilung und Menge maßgeblich die dunkle Färbung des Oberbodens. Je nach Humusgehalt lassen sich Böden in mehr oder weniger humose Böden unterscheiden (↗ Tabelle A1).



Gesteine

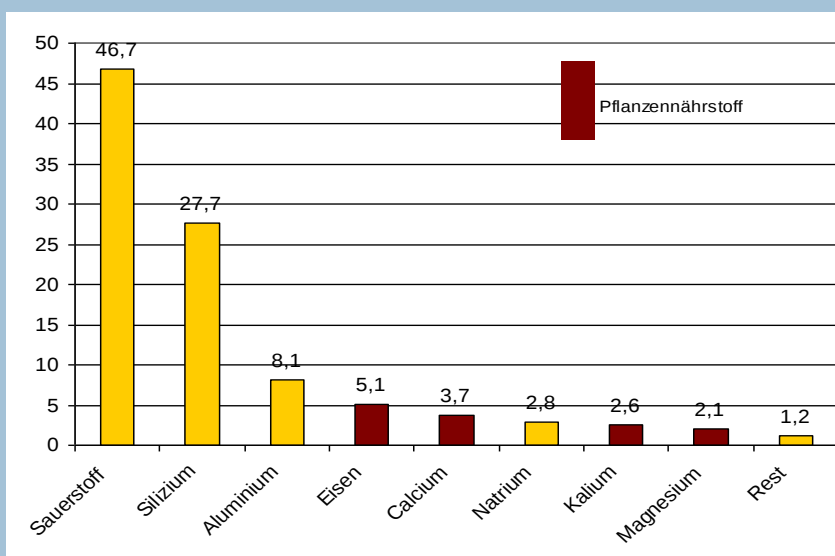
.... sind ein natürlicher Verband chemisch wie physikalisch homogener Bausteine, den Mineralen. Nach ihrer Herkunft unterscheidet man drei große Gesteinsgruppen: Magmatite (Erstarrungsgesteine aus glutflüssigen Gesteinsschmelzen, dem Magma, z. B. Granit oder Basalt), Sedimentite (= Ablagerungsgesteine aus den Verwitterungsprodukten aller drei Gesteinsgruppen, z. B. Sandsteine oder Kalksteine) und Metamorphite (= unter dem Einfluss von Gebirgsbildungen entstanden, z. B. Gneise, Glimmerschiefer). Alle drei Gruppen lassen sich weiter unterteilen, z. B. die Sedimentite in die klastischen Gesteine, die aus aufgearbeiteten Komponenten des Ausgangsgesteins bestehen (z. B. Sandstein). Die chemischen Sedimente, können unter Einwirkung von Organismen durch biologisch-chemische Ausfällung entstehen (z. B. Kalkstein oder Dolomit) und die organischen Gesteine, zu denen z. B. die Kohle gehört.

**Aus verschiedenen Mineralen bilden sich Gesteine.
z.B. aus Feldspat, Quarz, Glimmer bildet sich Granit**



A8 | Wie entsteht Boden – Gesteine verwittern durch Wasser (Regenwasser, Grundwasser, ...) und Klima und zerfallen durch:
Chemische Verwitterung (Bsp. Auflösen einzelner Teile)
Physikalische Verwitterung (Bsp. Frostsprengung) (Fotos: Dr. Böttcher, A. Niegengerd)

Gesteine sind in Abhängigkeit von ihrem Mineralbestand chemisch sehr unterschiedlich zusammengesetzt. Die bei der Verwitterung aus ihnen mobilisierten Elemente prägen damit entscheidend wesentliche Merkmale der chemischen Eigenschaften der Böden und ihres Nährstoffangebotes. Allerdings sind von den 92 natürlichen Elementen nur 8 zu mehr als 1 % am Aufbau der Gesteine vertreten, wovon nur vier Pflanzennährelemente sind (Eisen, Calcium, Kalium, Magnesium).

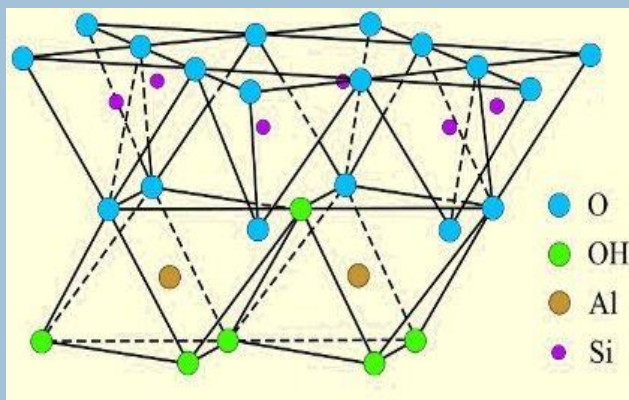


A9 |
Mittlere chemische Zusammensetzung der Lithosphäre. (Diagramm: A. Niegengerd)

Exkurs

Tonminerale

... sind kleiner als 0.002 mm (2 μm) mit hoher spezifischer Oberfläche und gehören zur Mineralgruppe der Schichtsilikate. In diesen Mineralen sind SiO_4^{4-} -Moleküle, deren Atome sich in Form eines Tetraeders anordnen, in Ebenen (= Schichten) miteinander vernetzt. Ebenfalls zu Ebenen zusammengeschlossen sind oktaedrisch angeordnete Molekülgruppen aus Aluminiumionen (Al^{3+}) und Hydroxidionen. Wie Verbundglas sind solche tetraedrischen SiO_4^{4-} - und oktaedrischen Aluminiumhydroxid-Schichten über Sauerstoffbrücken fest miteinander verbunden. In den so genannten **Zweischicht-Tonmineralen** sind die Tetraeder-Oktaeder-Doppelschichten über schwache Massenanziehungskräfte aneinander gelagert, sie besitzen nach außen keine Ladung. Die Abstände zwischen den Doppelschichten sind sehr klein und nicht veränderbar (< 14 nm), so dass keine Moleküle oder Ionen, also auch keine Wassermoleküle oder Nährstoffe, dazwischen eingelagert werden können. Das bekannteste Zweischicht-Tonmineral ist der Kaolinit (Kaolin, Porzellanerde). Es kommt in den Böden Mitteleuropas nur selten vor und ist typisch für chemisch intensiv verwitterte Böden, z. B. in den Tropen. Sein Vorkommen ist in unseren Breiten überwiegend an reliktsch erhaltene Böden und Sedimente der geologischen Zeit des Tertiärs gebunden (z. B. die wirtschaftlich bedeutsamen Kaolinlagerstätten der Oberpfalz).

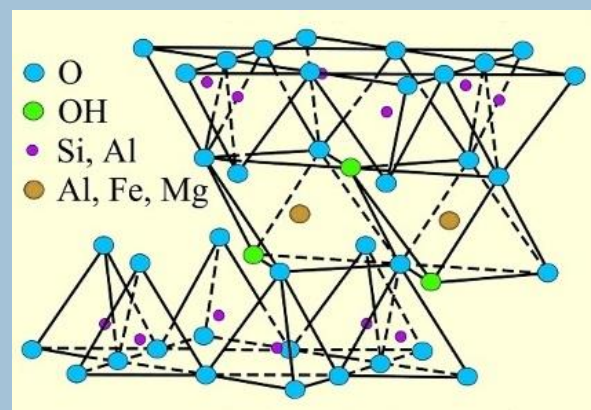


A101 Abbildungen links und rechts (Quelle: USGS)

Zweischichttonminerale bestehen aus einer Abfolge von einer Tetraeder- und einer Oktaederschicht.

O = Sauerstoff-Ion,
OH = Hydroxid-Ion,
Al = Aluminium-Ion,
Si = Silizium-Ion.

In den **Dreischicht-Tonmineralen** umschließen zwei Tetraederschichten eine Oktaederschicht. In diesem Falle besitzt der Schichtenverbund eine negative Ladung. Daher werden die „Schichtpakete“, bestehend jeweils aus Tetraeder-Oktaeder-Tetraeder-Lagen, über positive Ionen (meist Kaliumionen K^+) zusammen gehalten. Diese können jedoch leicht gegen andere Ionen ausgetauscht werden (Anionen- und Kationenaustauschkapazität). Aufgrund dieser Eigenschaft sind Böden mit einem hohen Anteil an Dreischicht-Tonmineralen sehr fruchtbar. Sie besitzen darüber hinaus auch die Fähigkeit, Wassermoleküle, aber auch Schadstoffe reversibel in die Zwischenschichten einzubauen und diese damit zu speichern (► Modul F Schadstoffe). Die Wassereinlagerung bedingt ein charakteristisches Quellen der Dreischicht-Tonminerale bzw. der daraus bestehenden Tone. Beim Austrocknen der Tone entstehen durch das Verdunsten des eingelagerten Wassers typische Schrumpfrisse im Boden (Trockenrisse). Dieses Schrumpfen macht Dreischicht-Tonminerale für eine Anwendung zum Töpfern oder zur Porzellanherstellung (Brennvorgang!) im Gegensatz zu Zweischicht-Tonmineralen ungeeignet. Dreischicht-Tonminerale sind die typischen Tonminerale der Böden in Mitteleuropa (z. B. Illit oder Montmorillonit).



Dreischichttonminerale bestehen aus einer Abfolge von einer Tetraeder-, einer Oktaeder- und einer Tetraederschicht.

O = Sauerstoff-Ion,
OH = Hydroxid-Ion,
Al = Aluminium-Ion,
Si = Silizium-Ion,
Fe = Eisen-Ion,
Mg = Mangan-Ion.

Si kann durch Al und Al durch Fe oder Mg ersetzt sein. Dadurch erhalten Dreischichttonminerale eine negative Ladung, die sie durch die Anlagerung von Kationen in ihre Zwischenschichten ausgleichen.

Bodenklima

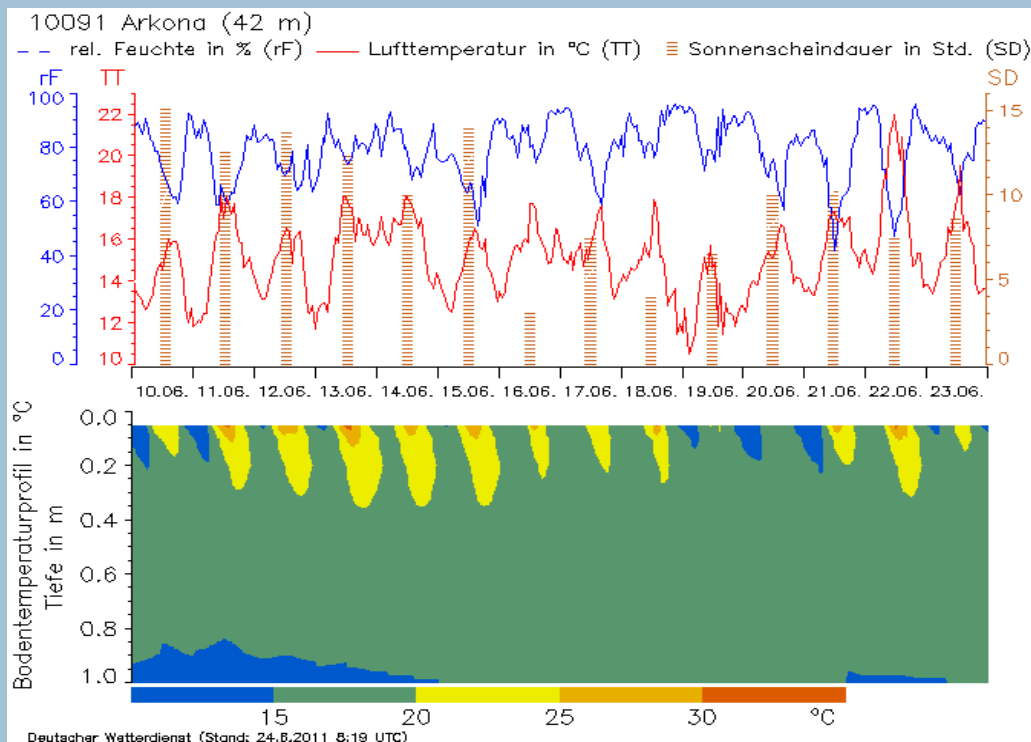
Bodenwasser und Bodenluft haben im Zusammenspiel mit der Bodentemperatur wesentlichen Einfluss auf das Bodenklima. Von diesem sind das Pflanzenwachstum, die Aktivität der Bodenorganismen und die Intensität der Verwitterung und die der weiteren bodenbildenden Prozesse abhängig. Zur Bodentemperatur trägt wesentlich die Sonneneinstrahlung bei. Somit sind geographische Lage, Hanglage und Hangneigung, Vegetationsbedeckung sowie Farbe und Beschaffenheit der Bodenoberfläche regulierende Faktoren der Erwärmung. Auch mikrobielle Zersetzungs Vorgänge können zu einem Temperaturanstieg im Boden führen. Bei einem frischen Komposthaufen kann die Erhöhung der Temperatur durch die Mikrobenaktivität gut beobachtet werden (► Schüleraktivität B7).

Die Temperatur und die Temperaturschwankungen der oberen Bodenschichten folgen in abgeschwächter Form weitgehend dem Verlauf der Lufttemperatur. Andererseits kann bei starker Sonneneinstrahlung und Wärmeabgabe durch den Boden eine Erwärmung der bodennahen Luftschichten erfolgen.

Da die festen Bodenbestandteile eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen, erfolgt die Ausbreitung der Wärme im Boden nur langsam. Wasser erhöht die Wärmeleitfähigkeit, wogegen Luft als schlechter Wärmeleiter sie verringert. Trockene, gut durchlüftete (Sand-) Böden leiten die Wärme daher schlechter als nasse, dichte und luftarme (Ton-) Böden. Streu- und Humusaufgabe, besonders aber eine geschlossene Pflanzendecke wirken wärmeregulierend. Sie schützen sowohl vor zu großer Erwärmung als auch zu hoher Wärmeabgabe.

Die im Boden über die Wärme gespeicherte Energie lässt besonders in den oberflächennahen Bodenschichten das Bodenwasser verdunsten. Dies kann zu einem nach oben gerichteten Verdunstungswasserstrom führen, über den Nährsalze an die Oberfläche transportiert und dort ausgefällt werden. In trockenen Gebieten führt dieser Prozess meist zur Versalzung des Bodens. Die Verdunstung des Bodenwassers entzieht dem Boden eine erhebliche Menge an Wärme und führt zu dessen Auskühlung. Dies betrifft feuchte Tonböden weit mehr als die eher trockenen Sandböden.

Exkurs



A11 I Informationen zum Bodenklima können im Internet beim Deutschen Wetterdienst eingeholt werden. (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Unter Wald reichert sich im Regelfall die organische Substanz in der sogenannten Humusauflage (= Streu), bestehend aus dem Laub oder den Nadeln der Vegetation, an. Nach ihrem Aufbau und Zersetzungsgrad lassen sich mehrere Humusformen unterscheiden (Rohhumus, Moder und Mull; ► Modul C Waldböden).

Humuspartikel (im Sinne von Huminstoffen) besitzen trotz ihres geringen spezifischen Gewichtes ($0,1 - 1 \text{ g/cm}^3$) sehr große Oberflächen: $600 - 1000 \text{ m}^2/\text{g}$, was bei 100 g Humus einer Oberfläche von 80.000 m^2 oder einer Fläche von ca. 16 Fußballfeldern entspricht. Auf diesen großen reaktiven Oberflächen beruht die hohe Speicherkapazität des Humus an Nährstoffen sowie sein hohes Rückhaltevermögen gegenüber organischen Schadstoffen wie Schwermetallen und polyaromatischen Kohlenwasserstoffen (► Modul F Schadstoffe).

3.3 Bodenkolloide

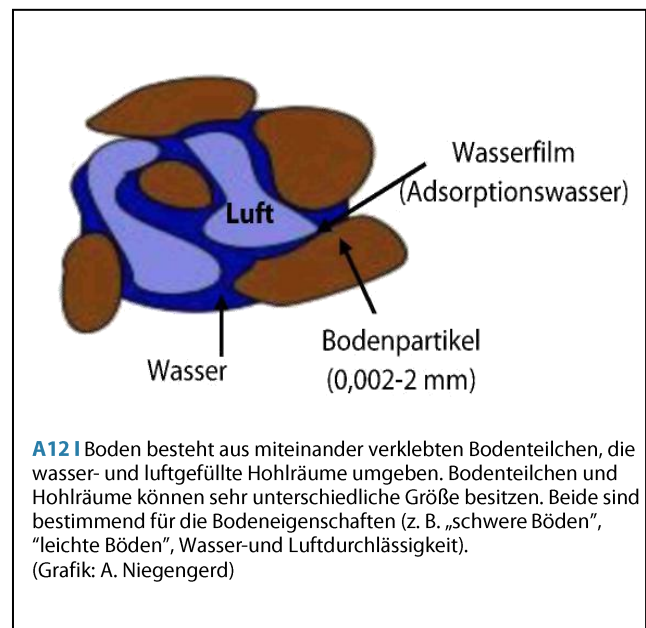
Bodenpartikel sowohl anorganischer als auch organischer Natur mit Durchmessern von 100 bis 10.000 nm ($= 10^{-6} - 10^{-4} \text{ mm}$) werden als Bodenkolloide bezeichnet. Sie besitzen aufgrund ihrer Größe und Beschaffenheit besondere physikalisch-chemische Eigenschaften. Durch ihre gleichen Oberflächenladungen stoßen sich Bodenkolloide gegenseitig ab und halten sich so in der Bodenlösung in der Schwebe. Im Boden sind Kolloide aus Ton oder Humus negativ, Kolloide aus Aluminium- oder Eisenverbindungen positiv geladen. Bodenkolloide besitzen sehr große Oberflächen, an denen eine Vielzahl von Reaktionen ablaufen. So können an die Bodenkolloide Ionen oder Mikroorganismen angelagert werden. Besondere Bedeutung hat die Anlagerung (Adsorption) von Nährstoffionen, da diese Ionen auch wieder abgegeben werden können. Bodenkolloide wirken somit als wichtiger Nährstoffspeicher im Boden. Sie können aber ebenso Schadstoffe im Boden binden und dadurch als Filter für sauberes Grundwasser wirken.

3.4 Bodenwasser und Bodenluft

Besonders die mineralischen Bestandteile des Bodens bilden ein locker gepacktes Gerüstwerk, das in Abhängigkeit von der Bodenart kleinere oder größere Hohlräume umschließt (A12). Zum Hohlraumsystem des Bodens gehören auch Grab- und Fraßbauten der

Bodenlebewesen oder durch Schrumpfungsprozesse entstandene Risse und Spalten. Die miteinander vernetzten Hohlräume sind entweder mit Wasser oder Luft gefüllt. Sie sind Lebensraum kleinster Bodenlebewesen, der Mikroorganismen (► Modul B Bodenleben).

Das Bodenwasser entstammt überwiegend dem Niederschlagswasser der Atmosphäre. Im Boden versorgt es die Pflanzen und die Bodenlebewesen mit dem für sie lebensnotwendigen Wasser und den darin transportierten Nährstoffen. Gleichzeitig ist es wesentliche Voraussetzung für alle Prozesse der Bodenentwicklung. Vergleichbar mit einem Schwamm, ist der Boden in der Lage, Wasser zu speichern (Wasserkapazität). Jedoch ist aufgrund der physikalischen Bindungskräfte zwischen Wassermolekülen und Bodenpartikeln nicht das gesamte im Boden gespeicherte Wasser für die Pflanzen verfügbar (► Modul D Wasser).



Alle Teile des Porenraumes im Boden, die nicht mit Wasser gefüllt sind, enthalten Bodenluft (► Schüleraktivität AB6). Deren Anteil schwankt mit dem Wassergehalt und kann beispielsweise bei stauender Nässe im Frühjahr oder durch Bodenverdichtung sehr gering sein. Da das Vorhandensein der Bodenluft jedoch eine wichtige Voraussetzung für die Atmung der Pflanzenwurzeln und der Mikroorganismen ist, wirkt sich ein dauerhaft hoher Wassergehalt oder ein verdichteter Boden nachteilig auf die Lebensbedingungen der Bodenlebewesen aus.

Die Zusammensetzung der Bodenluft wird durch die biologischen Vorgänge im Boden beeinflusst und weicht daher von derjenigen der atmosphärischen Luft ab (→ Tabelle A2). So kann aufgrund der Atmung der Mikroorganismen und der Pflanzenwurzeln der CO₂-Gehalt im Boden den der Atmosphäre um ein Vielfaches überschreiten.

	Atmosphäre [Vol %]	Bodenluft [Vol %]	
		gut durch- lüftet	schlecht durchlüftet
N ₂	79	79 – 83	
O ₂	20,95	18 – 21	0 – 5
CO ₂	0,035	1 – 2	5 – 12

Tabelle A2 | Hauptkomponenten der Atmosphäre und der Bodenluft im Vergleich.

4. Wie Boden entsteht

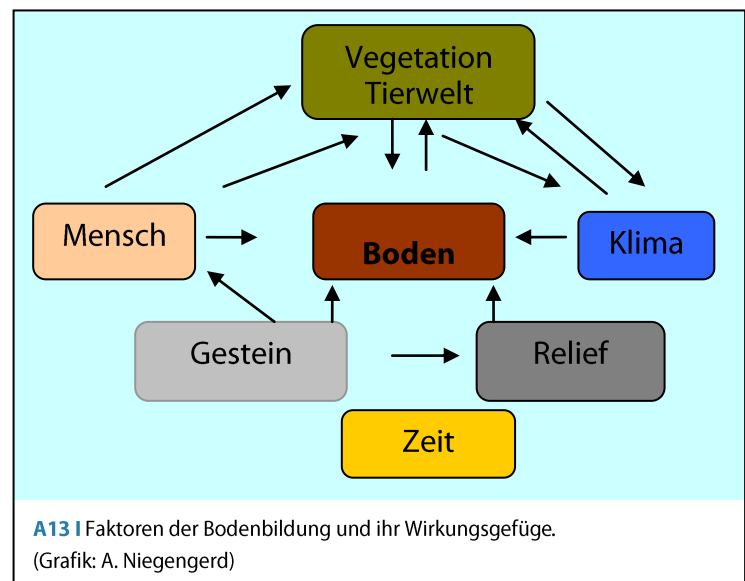
Boden entsteht und entwickelt sich in Zeiträumen, die wenige 100 Jahre bis mehrere 100.000 Jahre umfassen können (→ A14). In Mitteleuropa sind die meisten Böden jedoch nicht älter als 10.000 bis 16.000 Jahre, da durch die intensiven Abtragungsprozesse während der letzten Eiszeit ältere Böden weitgehend erodiert und umgelagert worden sind. Geschiebemergel, als bestimmendes Ausgangsgestein in Mecklenburg-Vorpommern, bildete sich an der Basis von Gletschern (Grundmoräne). Die Gletscher schoben sich über Festgestein und malten dieses gewissermaßen auf, bzw. nahmen bereits zerkleinertes Material auf. Aus diesem Ausgangsmaterial konnten sich mit dem Übergang in die jetzige Warmzeit, dem Holozän, unsere Böden entwickeln. Entstehung der Böden in Mecklenburg-Vorpommern (→ Kapitel 7).

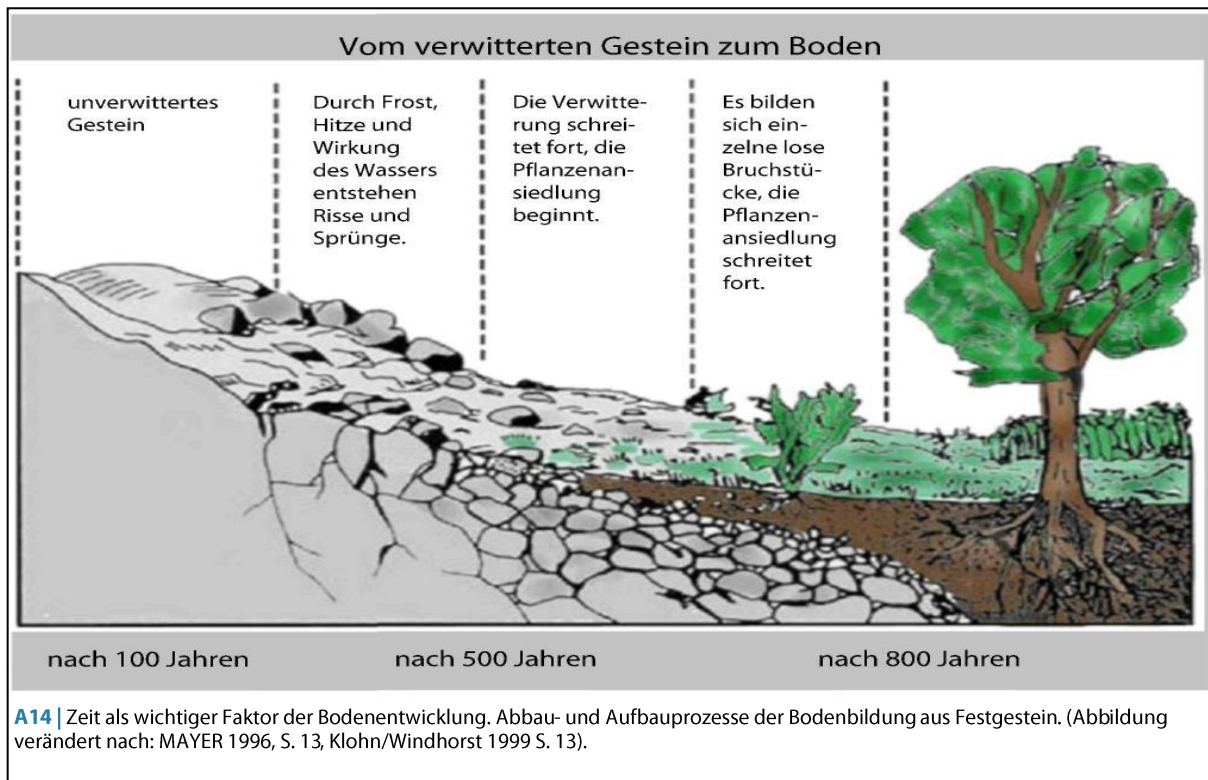
4.1 Faktoren der Bodenbildung

Die Eigenschaften, der Aufbau und die Entwicklung eines Bodens werden durch das Zusammenwirken einer Vielzahl von Faktoren bestimmt, die sich in einem komplexen Wirkungsgefüge wiederum gegenseitig beeinflussen (→ A13): Das Gestein ist das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung. Es prägt mit seiner chemischen und mineralogischen Zusammensetzung sowie seinem Gefüge und seiner Körnung den Boden. Bei jungen, wenig verwitterten Böden ist der mineralische Bodenkörper dem Ausgangsgestein noch sehr ähnlich. Mit fortschreitender Bodenentwicklung reichern sich die schwer verwitterbaren Minerale an, z. B. Quarz, während die leichter verwitterbaren der Um- und Neubildung unterliegen.

Für die bodenbildenden Prozesse, insbesondere für die chemischen und biologischen Vorgänge, sind die Temperatur und die Verfügbarkeit von Wasser wichtige Einflussgrößen. Diese werden entscheidend vom Klima kontrolliert,

doch spielen daneben lokale Gegebenheiten wie die Höhenlage oder die Lage eines Hanges zur Himmelsrichtung (Exposition) eine wichtige Rolle (Lokalklima). Die Exposition wird durch das Relief festgelegt, das zusätzlich die Lage zum Grundwasserspiegel sowie die Bodenerosion durch Wasser und Wind bestimmt. Alle bisher genannten Faktoren sind auch Einflussgrößen auf die Vegetation, die wiederum den Boden gegen Erosion schützt, den Wasserhaushalt reguliert und zugleich das organische Ausgangsmaterial liefert. Bodentiere sorgen für eine Durchmischung und Durchlüftung des Bodens. Durch unmittelbare Nutzung des Bodens und über den Eintrag von Schadstoffen wirkt der Mensch auf das komplexe Wirkungsgefüge der bodenbildenden Faktoren ein und nimmt damit Einfluss auf die Bodenbildung. Dies ist spätestens seit dem Mittelalter deutlich erkennbar (► Modul E Landwirtschaft) und hat sich mit dem Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert erheblich verstärkt.





4.2 Verwitterung als erster Schritt zur Bodenbildung

Voraussetzung für die eigentliche Bodenentwicklung ist die Verwitterung der Ausgangsgesteine, wobei man zwischen der physikalischen, chemischen und biochemischen Verwitterung unterscheidet (► Beschreibung einzelner Teilprozesse siehe Schüleraktivitäten AB7 und

AB8). Je nach Härte und Mineralzusammensetzung der Ausgangsgesteine verläuft die Verwitterung rascher oder langsamer. So verwittert grobkörniges Gestein (z. B. Granit) oder poröses Gestein (z. B. Sandstein, Tuff) schneller als sehr festes Gestein (z. B. Basalt).

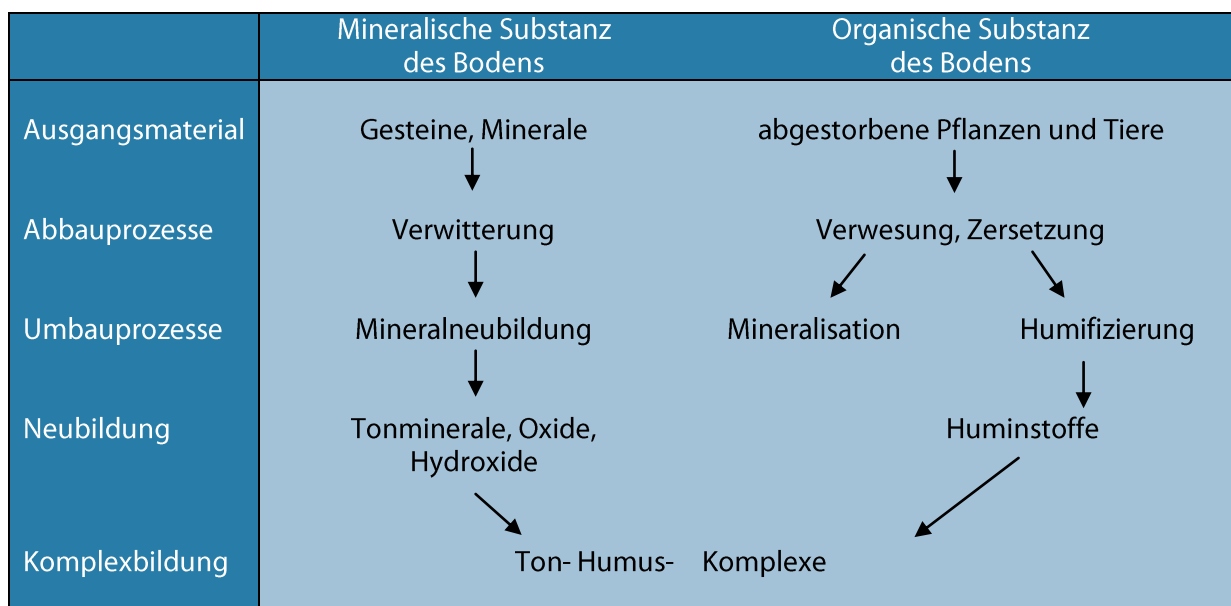


Tabelle A3 | Teilprozesse des Abbaus und der Neubildung mineralischer und organischer Substanz als Voraussetzung für die Bodenbildung.

Die physikalische Verwitterung bewirkt die mechanische Zerkleinerung des Ausgangsmaterials durch Druckentlastung, Kristallwachstum in Haarrissen (= Salzsprengung), Frostsprengung, Temperaturverwitterung oder den Wachstumsdruck von Pflanzenwurzeln in Spalten. Bei der chemischen Verwitterung erfolgt die stoffliche Umwandlung des Ausgangsgesteins. Der bedeutendste Wirkstoff ist dabei das Wasser (↗ Exkurs: „Das Wassermolekül“). Zu den wichtigsten Formen der chemischen Verwitterung gehören die Lösungsverwitterung, die Hydrolyse, die Wirkung von Säuren und die Oxidationsverwitterung.

Die Reaktionsstoffe der biochemischen Verwitterung stammen aus dem Stoffwechsel tierischer und pflanzlicher Organismen, insbesondere von Algen, Pilzen, Bakterien, Flechten, Moosen und höheren Pflanzen. Dazu gehören bei der Atmung freigesetztes Kohlendioxid (CO_2) sowie Wasserstoffionen (H^+ -Ionen), die von den Wurzeln bei der Nährstoffaufnahme im Austausch gegen Kationen abgegeben werden. Auch Schwefel- und Salpetersäure sowie organische Säuren wie Oxal-, Wein- oder Zitronensäure entstehen durch die mikrobielle Oxidation und wirken auf das Ausgangsgestein ein.

4.3 Abbau organischer Substanz im Boden

In Abhängigkeit von Intensität und Dauer der Verwitterung werden die Minerale der

Ausgangsgesteine in Abbaustufen mehr oder weniger rasch zerstört. Es entstehen dabei Zerfallsprodukte, aus denen sich wiederum neue sekundäre Minerale bilden können (↗ Tabelle A3). Zu den wichtigsten Mineralneubildungen gehören neben den Oxiden und den Hydroxiden die Tonminerale (↗ Exkurs).

Neben der Stoffumsetzung der mineralischen Bodenbestandteile werden auch die abgestorbenen organischen Substanzen im Boden abgebaut bzw. zersetzt (↗ Tabelle A4). Diese Zersetzung geschieht im Wesentlichen durch die Mikroorganismen (Bakterien und Pilze), aber auch durch kleinere Bodentiere (z. B. Regenwürmer; ► Modul B Bodenleben). Bei der Zersetzung der organischen Substanz unterscheidet man zwischen der Mineralisation und der Humifizierung. Bei der Mineralisation (oft auch als Verwesung bezeichnet) entstehen durch den mikrobiellen Abbau aus der organischen Substanz anorganische Verbindungen wie Kohlendioxid (CO_2), Wasser (H_2O) oder Ammoniak (NH_3). Hohe Temperaturen, mittlere Feuchtigkeitsverhältnisse und eine gute Durchlüftung, das heißt ein hohes Sauerstoffangebot, begünstigen den Mineralisationsprozess. Die nur schwer zersetzbaren Bestandteile der organischen Auflage werden durch den Prozess der Humifizierung durch die Mikroorganismen zunächst in reaktionsfähige Spaltprodukte umgewandelt, anschließend entstehen daraus hochmolekulare Verbindungen (Huminstoffe).

Aerobe Umwandlung der Streu des Bodens durch Atmosphärien und Bodenorganismen (Streuabbau)
1 Initialphase
Abbau hochpolymerer organischer Verbindungen zu niedermolekularen Stoffen (z. B. Eiweiße zu Aminosäuren)
Auswaschung wasserlöslicher Komponenten (Zucker, Peptide, Aminosäuren)
2 Zerkleinerungsphase
Weiche Streustoffe werden von den größeren Bodenlebewesen zerbissen, gefressen und wieder ausgeschieden
anschließend Einarbeitung in den Boden (z. B. durch Regenwürmer)
3 Ab- und Umbauphase (mikrobielle Verwesung)
Enzymatische Spaltung der organischen Fragmente durch mikrobielle Zersetzung unter Freisetzung von einfachen anorganischen Produkten (z.B. CO_2 , H_2O , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{2-}) = Mineralisation
Schwer abbaubare Stoffe (z. B. Cellulose, Lignin) reichern sich an und werden von Spezialisten (z. B. Weißfäulepilzen) zu hochmolekularen Huminstoffen ab- und umgebaut = Humifizierung



A15 I

Organische Substanz – wichtiger Bestandteil des Bodens, Besiedelung von Granit mit Moosen, Bakterien und Pilzen.
Foto: A. Niegengerd

Tabelle A4 I

Aerober Abbau der Streu.

5. Physikalisch-chemische Eigenschaften des Bodens

Zwischen den festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen des Bodens finden vielfältige Reaktionen statt. Art und Ausmaß dieser Reaktionen hängen von den jeweiligen Standort- und Bodeneigenschaften ab und bestimmen das Verhalten vieler Stoffe im Boden. Dadurch werden entscheidend die Verfügbarkeit von Nährstoffen, die Pufferkapazität gegenüber Schadstoffen und die Richtung der Bodenentwicklung geprägt. Zu den besonders wichtigen Eigenschaften des Bodens gehören die Bodenreaktion (pH-Wert), der Kalkgehalt und die Fähigkeit zum Ionenaustausch. Bodenreaktion und Verfügbarkeit von Nährstoffen lassen sich oft anhand von Zeigerpflanzen abschätzen.

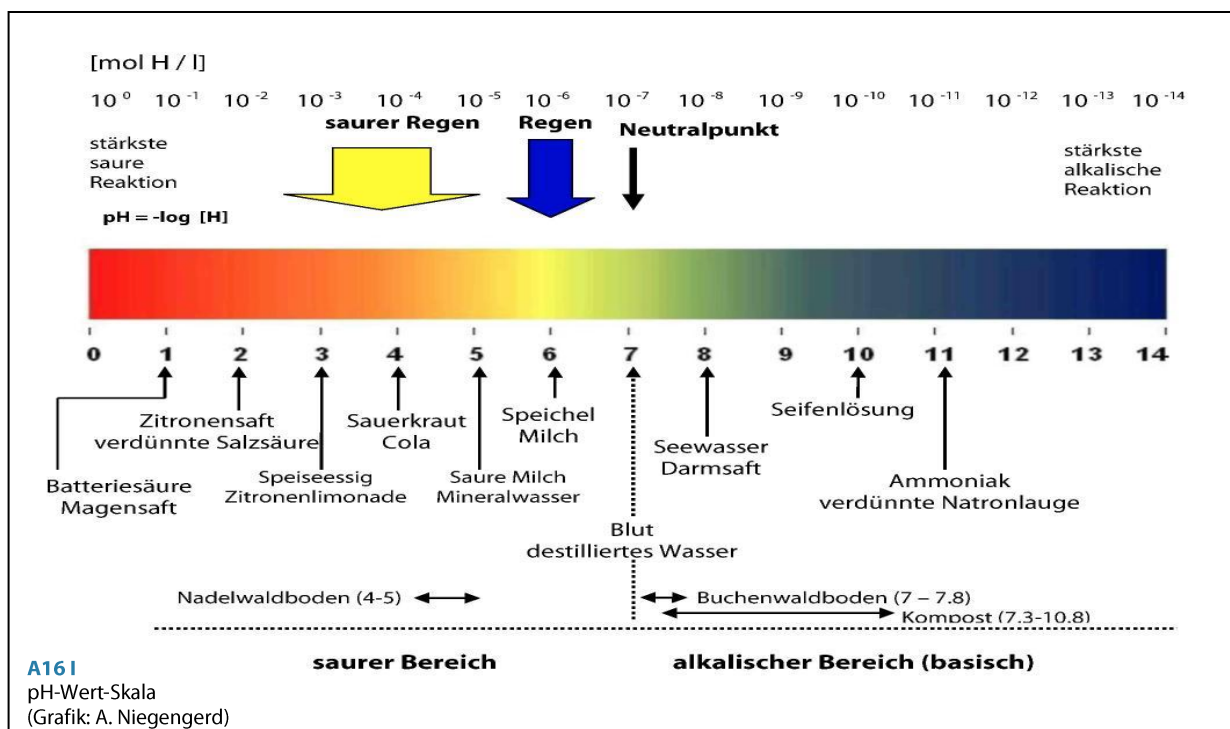
5.1 Bodenreaktion und Kalkgehalt des Bodens

Der pH-Wert (potentia hydrogenii) des Bodens, die Bodenreaktion, ist ein logarithmisches Maß für die Konzentration an Wasserstoffionen (H^+) in der Bodenlösung (→ A16). Diese Konzentration ist entscheidend für die Verwitterung der mineralischen Bodenpartikel und für die chemischen, biologischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens. So steigt in sauren Böden, also Böden mit niedrigem pH-Wert, die chemische Verwitterungsrate, wogegen die biologische Aktivität im Boden sinkt. Für die meisten Nutzpflanzen und viele Bodenprozesse liegt die optimale Bodenreaktion im mäßig

sauren bis schwach alkalischen Bereich (► Modul E Landwirtschaft).

Besonders in humusreichen Böden bleiben die pH-Werte auch bei Zugabe von Säure relativ lange stabil (► Schüleraktivität AB9b). Diese Säure-Pufferung liegt daran, dass die Wasserstoffionen an die Oberflächen der Bodenteilen (besonders der Kolloide) gebunden werden. Da die Anlagerung nur im Austausch gegen andere positiv geladene Ionen (Kationen) erfolgt (z. B. Kalium K^+), bedingt dies einen Nährstoffverlust im Boden. Die Nährstoffionen werden mit dem Sickerwasser ausgewaschen. Andererseits ist der Austausch reversibel, z. B. durch Zugabe kaliumhaltiger Düngemittel. Die Anlagerung von Wasserstoffionen an die Bodenpartikel mobilisiert nicht nur lebenswichtige Nährstoffe, sondern auch toxische, d. h. giftig wirkende Stoffe (Beispiel „Aluminiumtoxizität“ ► Modul C Waldboden).

Solange ein Bodenabschnitt Kalk (Calciumkarbonat) enthält, sinkt sein pH-Wert nicht unter den Wert 7. Grund dafür ist die Reaktion des Kalks mit den Wasserstoffionen. Zur Beurteilung der Bodenreaktion sind daher sowohl pH-Wert als auch Kalkgehalt wichtig. Während der pH-Wert mit Lackmus- oder vergleichbaren Teststreifen bestimmt werden kann, erfolgt die Beurteilung des Kalkgehaltes vor Ort durch Zugabe von verdünnter Salzsäure (Salzsäuretest ► Arbeitshilfe S.95).



Das Wassermolekül – wichtiges Agens¹⁾ im Boden

¹⁾ Agens [lat.] = treibende Kraft, wirksamer Stoff

Wasser (H₂O) besitzt den Charakter eines Dipols, d. h., im Molekül befinden sich eine positive und eine negative Teilladung. Wassermoleküle können sich daher als sogenannte Hydrathülle um positiv oder negativ geladene Ionen legen und diese aus einem Kristallgitter herauslösen. Diesen Vorgang bezeichnet man als Hydratation. Er ist eine wesentliche Voraussetzung für die Lösung von Stoffen in Wasser und damit auch für die Lösungsverwitterung.

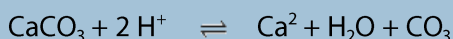
Zu einem geringen Anteil sind die Wassermoleküle in Wasserstoffionen (H⁺) und Hydroxidionen (OH⁻) aufgespalten (dissoziiert). Indem Wasser entweder das Wasserstoffion oder das Hydroxidion abgibt, reagiert es mit anderen Stoffen entweder als schwache Säure oder schwache Base. Diese Eigenschaft ist Grundlage der hydrolytischen Verwitterung (Hydrolyse), die auch schwerlösliche Minerale, z. B. die Silikate, angreift. Dabei erfolgt ein Austausch der Kationen des Minerals, z. B. Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Fe²⁺ gegen das Wasserstoffion des Wassers. Die Hydrolyse wird durch im Bodenwasser gelöste Säuren (insbesondere durch Huminsäuren) verstärkt.

Auch die Verwitterung von Kalkgesteinen (= Verkarstung) ist ein hydrolytischer Prozess. Die Wasserstoffionenkonzentration im Bodenwasser (pH 4 - 6) wird hier durch die Reaktion von CO₂ mit dem dissoziierten Wasser zur Kohlensäure (H₂CO₃) erhöht. Das schwer lösliche Kalkgestein (CaCO₃) reagiert mit der Kohlensäure zum wasserlöslichen Calciumhydrogencarbonat.

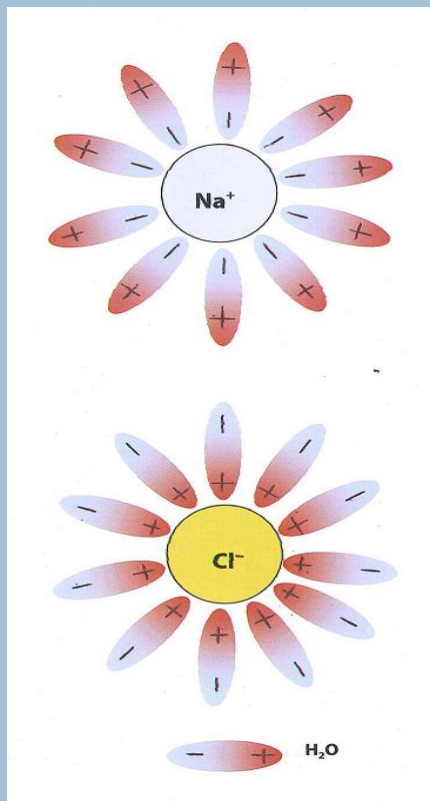


Kalkgehalt im Boden

In kalkhaltigen Böden werden Wasserstoffionen durch Reaktion mit dem Kalk neutralisiert.



Dieser Kalkgehalt im Boden kann mit Hilfe des Salzsäuretesters nach der optisch und akustisch erkennbaren Reaktion der CO₂-Entwicklung beurteilt werden:



A17 I

Das Wassermolekül und sein Dipolcharakter.
(Grafik: A. Niegengerd)

Exkurs

CO ₂ -Entwicklung	Kalkgehalt	Kalkgehalt in Masse %
keine Reaktion	karbonatfrei	0
nur hörbar	sehr karbonatarm	< 0.5
kaum sichtbar	karbonatarm	0.5 - 2
nicht anhaltendes Aufbrausen	karbonathaltig	2 - 10

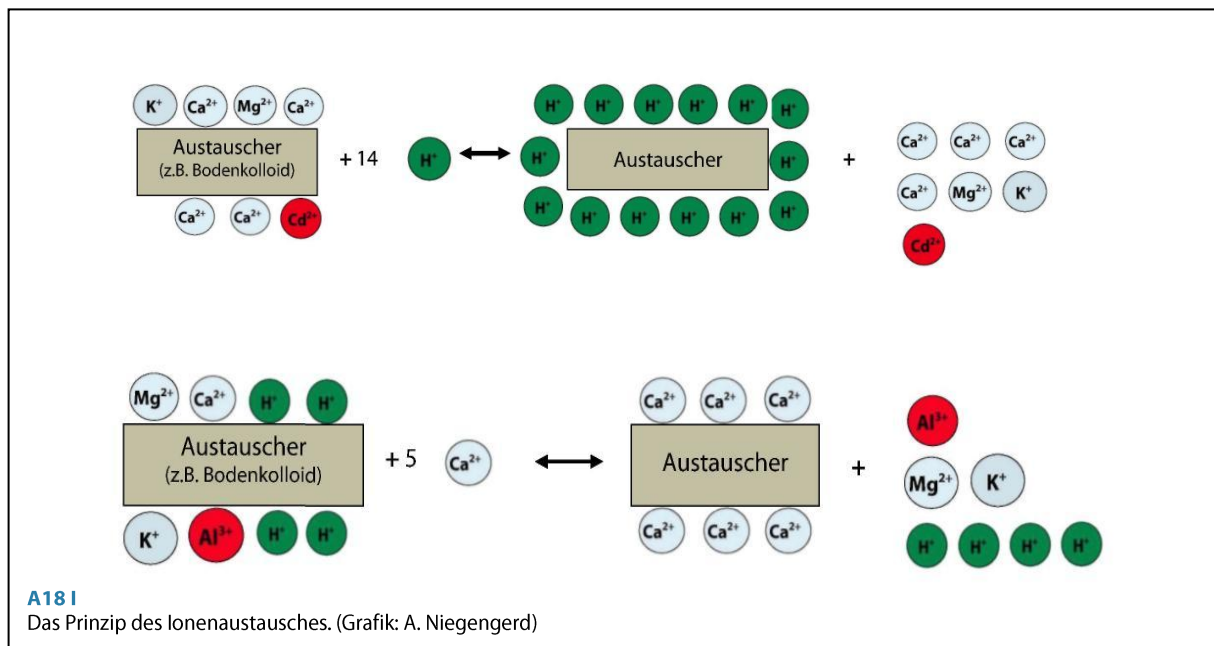
Tabelle A5 | Kriterien zur Abschätzung des Kalkgehaltes im Boden nach Zugabe von 10 %-iger Salzsäure.

5.2 Ionenaustausch

Nährstoffe liegen im Bodenwasser gelöst, d. h. dissoziiert in Kationen und Anionen vor. Die Kationen (z. B. Kalium K^+ , Calcium Ca^{2+}) können an negativ geladene, die Anionen (z. B. Nitrat NO_3^-) an positiv geladene Bodenkolloide angelagert bzw. an diesen gespeichert werden. Verfügt der Boden durch Mineraldüngung und Kalkung über ausreichend viele Kationen, besetzen diese alle freien Ladungen der negativ geladenen Bodenkolloide. Als Folge davon stoßen sich die nun neutralen Kolloide nicht mehr gegenseitig ab, sondern flocken aus, ein Vorgang, den man als Koagulation bezeichnet. Die ausgeflockten Kolloide bilden lockere Koagulate, die zur Krümelstruktur des Bodens und damit wesentlich zur Verbesserung der Bodenqualität beitragen (z. B. durch Kalkdüngung von feinkörnigen Tonböden).

Die an die Bodenkolloide angelagerten Ionen können gegen H^+ -Ionen des Bodenwassers ausgetauscht werden (A18), was eine große Bedeutung für die Nährstoffversorgung der

Pflanzen hat. Insbesondere binden organische Bodenkolloide Schwermetallionen, die durch die Bodenversauerung allerdings wieder freigesetzt werden (► Schüleraktivität F3; ► Modul F Schadstoffe). Ein Maß für die Menge an Ionen, die ein Boden austauschen kann, ist die so genannte Austauschkapazität. Die Ionenaustauschvorgänge an den Bodenkolloiden sind auch verantwortlich für die oben genannte Pufferwirkung des Bodens (► Schüleraktivität F1; ► Modul F Schadstoffe). Das Puffervermögen (Pufferkapazität) eines Bodens ist um so höher, je größer der Anteil austauschbarer Ca-, Mg-, K- und Na-Ionen an den Bodenkolloiden ist. Da diese Kationen bzw. ihr Austausch gegen die H^+ -Ionen eine basische Wirkung haben, werden sie gewöhnlich auch als austauschbare Basen bezeichnet, obwohl sie selbst keine Basen sind. Ein Maß für den Anteil basisch wirkender Kationen ist die so genannte Basensättigung. In diesem Zusammenhang wird auch häufig von der Basenausstattung eines Bodens gesprochen.



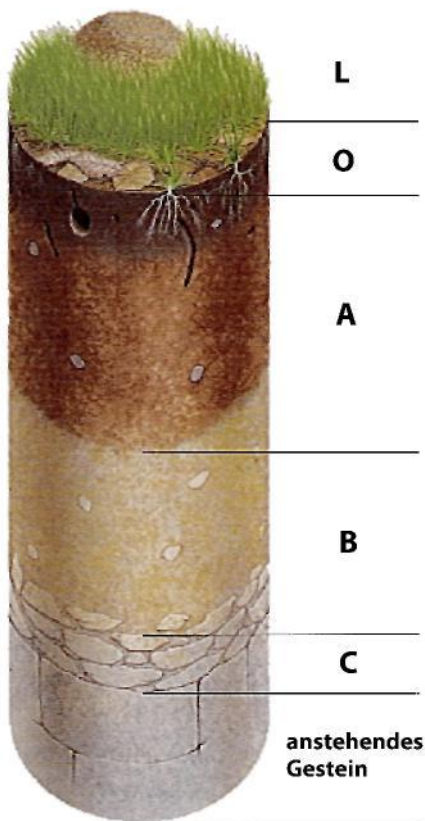
6. Bodenaufbau und Bodentypen

Unter dem Einfluss der bodenbildenden Faktoren findet im Boden neben der fortdauernden Verwitterung eine vorwiegend abwärts gerichtete Verlagerung von Substanzen, insbesondere von Ton, Eisen, Kalk und Humus statt. Durch diesen Prozess, an dem mineralische, organische und chemische Stoffumwandlungen

beteiligt sind, kommt es zur Ausprägung annähernd oberflächenparalleler Lagen mit jeweils gleichen Merkmalen und Eigenschaften (Farbe, Festigkeit, pH-Wert, Eisen- und Kalkgehalt, Körnigkeit, Skelettgehalt). Wie bei der Verwitterung spielt für die Stoffumsetzung und die Stoffverlagerung die Verfügbarkeit und

Verteilung des Wassers eine große Rolle. Zu den wichtigsten bodenbildenden Prozessen gehören in Mitteleuropa die Tonverlagerung (=Lessivierung), die Verbraunung und Verlehmung, die Podsolierung, die Vergleyung, die Pseudovergleyung und die Bodendurchmischung (→ Exkurs Prozesse der Bodenentwicklung). Alle Vorgänge laufen mehr oder weniger gleichzeitig ab, wobei in Abhängigkeit

von den Standortbedingungen und dem Entwicklungsstadium des Bodens der eine oder der andere Prozess dominieren kann. Bestimmte bodenbildende Prozesse sind auch durch bestimmte physikochemische Bedingungen charakterisiert. Lessivierung ist z.B. an Änderungen des pH-Wertes gebunden. Dort finden andere bodenbildende Prozesse dann nicht statt, z.B. die Vergleyung.



A19 I Die wichtigsten Merkmale des Bodenaufbaus im Überblick (Quelle: Tiere, Pflanzen, Phänomene. München: Mosaik, ©1993) ISBN 3-576-10331-7. – S. 30)

Streuschicht, weitgehend unzersetztes organisches Ausgangsmaterial (auf Waldböden v. a. Blattwerk und Nadeln).

Organischer Horizont, dem Mineralboden aufliegend; in die Tiefe zunehmende Zerstörung der Struktur der organischen Substanz (Humusbildung).

Oberer mineralischer, mit organischer Substanz vermischter Horizont (= **Oberboden**). Aus dem O-Horizont wird Humus über das Sickerwasser und die Bodenorganismen eingetragen. Aus dem A-Horizont werden Stoffe durch verschiedene Prozesse in den tieferen B-Horizont abgeführt (z. B. Ton- und Eisenverlagerung).

Mineralischer Horizont, durch Ver-/Umlagerungen mit Ton, freiem Eisen (Fe), Aluminium (Al) und/oder organischer Substanz angereichert (= **Unterboden**). Eintrag von Substanzen aus dem A-Horizont. Je nach den verlagernden Prozessen entstehen unterschiedlich geprägte B-Horizonte und damit unterschiedliche Bodentypen (z. B. Toneinlagerung, Verlehmung → Parabraunerde, Eisen- und Humusstoffe → Podsol).

Ausgangsgestein, chemisch und physikalisch teilweise bereits verwittert, Gesteinsstruktur vollständig erhalten.

Die durch die Bodenentwicklung entstandenen und meist gut voneinander abgrenzbaren Lagen oder Schichten bezeichnet man als Bodenhorizonte. Generell wird zwischen der organischen Auflage (Humusaufgabe, L- und O-Horizonte), dem mit organischer Substanz angereicherten Oberboden (A-Horizont), dem Unterboden (B-Horizont) und dem Ausgangsgestein (C-Horizont) unterschieden (→ A19). Die Bodenhorizonte werden mit lateinischen Großbuchstaben gekennzeichnet (→ Tabelle A6). Nachgestellte Kleinbuchstaben geben die besonderen Merkmale und Eigenschaften des Horizontes wieder, z. B. Ah für den humosen Oberboden oder Bv für den verbrauchten Unterboden. Die Art, Anzahl und Anordnung der

einzelnen Bodenhorizonte kennzeichnen die Zugehörigkeit eines Bodens zu einem bestimmten Bodentyp. Je länger und ungestörter die Bodenentwicklung voranschreitet, desto weiter ist ein Boden entwickelt und desto ausgeprägter sind seine bodentypischen Merkmale. Während seiner Entwicklung durchläuft ein Boden meist unterschiedliche Bodentypstadien. Durch Veränderung der Rahmenbedingungen der Bodenbildung (z. B. durch Absenkung des pH-Wertes durch den sauren Regen oder durch die Veränderung der Vegetation) kann sich die Richtung der Bodenentwicklung allerdings auch ändern. In den vergangenen 10.000 Jahren sind daher meist sehr komplexe Böden entstanden.

Prozesse der Bodenentwicklung in den wichtigsten Böden Mecklenburg-Vorpommerns



Tonverlagerung (Lessivierung): Durch das Sickerwasser werden bevorzugt Feinton-Partikel ($< 0.2 \mu\text{m}$) kolloidal (d. h., die Tonpartikel schweben im festen Zustand fein verteilt im Wasser) aus den oberen Bodenschichten herausgelöst und wandern in die Tiefe. Dort lagern sie sich bei verändertem chemischem Milieu (z. B. bei steigendem Gehalt an Calciumionen Ca^{2+}) und Abnahme der Porengröße wieder ab („chemisches und mechanisches Sieb“). Der Oberboden verarmt damit an Tonmineralen und nimmt dadurch eine fahlgraue Farbe an, während der Unterboden einen rötlich-bräunlichen Tonanreicherungshorizont erhält. Die Tonverlagerung findet bevorzugt in Böden mit einer schwach sauren Bodenreaktion statt (pH-Bereich: 5 - 6.5).

Typischer Bodentyp: Parabraunerde



Verbraunung: Viele Mineralien enthalten zweiwertige Eisenverbindungen. Bei der chemischen Verwitterung dieser wird das Eisen freigesetzt und zu Eisenhydroxiden oxidiert, die den Boden braun färben.

Typischer Bodentyp: Braunerde

Verlehmung: Durch die Neubildung von Tonmineralen nimmt der Tonanteil im Boden zu. Für die Böden unserer Region sind Dreischicht-Tonminerale typisch. Die Verlehmung geht mit der Verbraunung einher.

Typischer Bodentyp: Braunerde



Podsolierung: Bei stark saurer Bodenreaktion ($\text{pH} < 4.2$) und einem Wasserüberschuss findet eine abwärts gerichtete Verlagerung gelöster organischer Substanz zusammen mit Aluminium, Eisen und Mangan statt. Die saure Bodenreaktion und meist niedrige Luft- und Bodentemperaturen behindern durch ihre Wirkung auf die Bodenorganismen den mikrobiellen Abbau der organischen Substanz. Unvollständig abgebaute organische Verbindungen (u.a. Huminsäuren) bilden zusammen mit Aluminium und Eisen lösliche metallorganische Komplexe, die aus dem Oberboden ausgewaschen und im Unterboden durch die Änderung des chemischen Milieus wieder ausgefällt werden. Der an Aluminium, Eisen, Mangan und Humus verarmte Oberboden wird

gebleicht, wogegen die Anreicherungszone im Unterboden dunkel oder rot gefärbt wird. Das in Form der Ortserde im Unterboden angereicherte Eisen kann zu festem Ortstein altern, welcher im Mittelalter zur Eisengewinnung abgebaut wurde.

Typischer Bodentyp: Podsol

Vergleyung: Im vom Grundwasser beeinflussten Boden führt Sauerstoffmangel in Horizonten mit stehendem oder schwach fließendem Wasser zur Lösung von Eisen- und Manganverbindungen durch Reduktion. Dieser Bereich ist gräulich, grünlich oder bläulich gefärbt. Mit dem kapillar aufsteigenden Grundwasser werden die wasserlöslichen Stoffe in höhere Bodenabschnitte verlagert und fallen dort bei Zutretendem Sauerstoff als wasserunlösliche Stoffe aus. Typisch in diesen Horizonten sind Rostflecken durch Ausfällung rotbrauner Eisenoxide und Eisenhydroxide auf den Aggregatoberflächen.

Typischer Bodentyp: Gley

Pseudovergleyung: In Böden mit schwer wasserdurchlässigen Horizonten tritt zeitweilig Staunässe auf (z. B. über der Pflugschle; ► Modul E Landwirtschaft). Die mit dem Sickerwasser vertikal und mit dem Stauwasser langsam horizontal verlagerten wasserlöslichen Humus-, Eisen- und Manganverbindungen fallen im Kontakt mit eingeschlossenem Sauerstoff bzw. nach Abtrocknen der Staunässe als wasserunlösliche Oxide und Hydroxide aus (Rostflecken, braunrote Marmorierungen). Die Oxidationsmerkmale sind im Gegensatz zur Vergleyung unregelmäßig im Boden verteilt und treten häufig im Inneren von Bodenaggregaten auf.

Typischer Bodentyp: Pseudogley

Bodendurchmischung (Turbation):

Durch Mischungsprozesse, ausgelöst durch Bodentiere (Bioturbation), Quellung und Schrumpfung (Peloturbation) sowie durch Gefrier- und Auftauvorgänge (Kryoturbation) kann das Bodenmaterial eines oder verschiedener Bodenhorizonte vermischt werden. Dabei können sich die Grenzen der Horizonte verwischen. Auch der Mensch trägt auf landwirtschaftlichen Nutzflächen durch das Pflügen dazu bei.

Typischer Bodentyp: Schwarzerde

A20 I

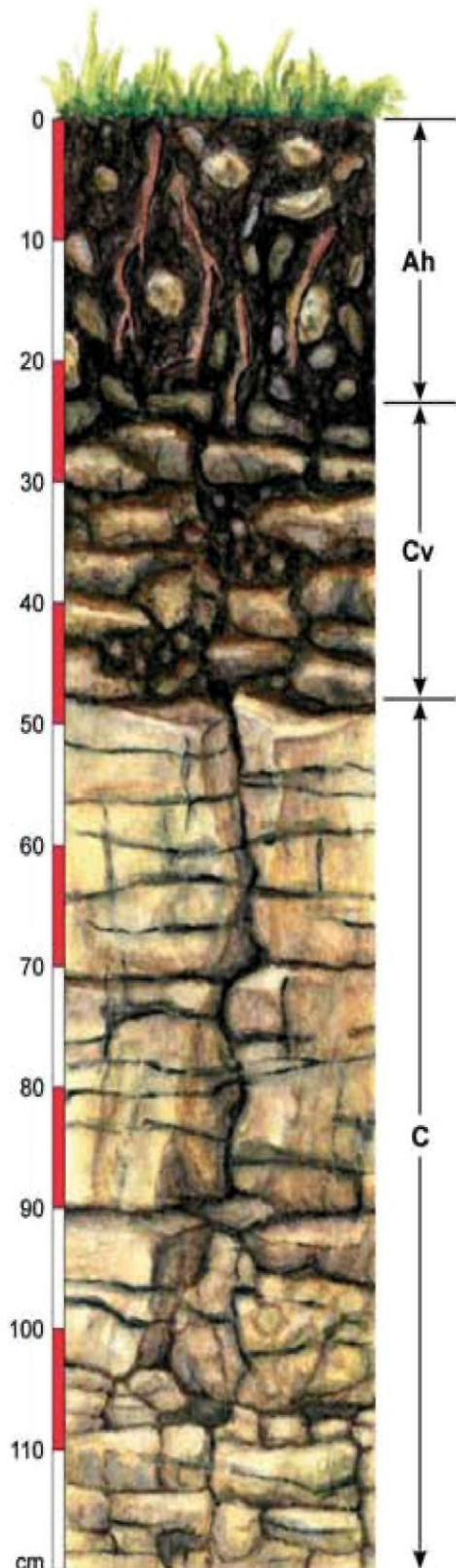
Oben: Parabraunerde
Mitte: Braunerde
Unten: Podsol
(Fotos: Prof. Dr. Klaus Mueller)

O	Organischer Horizont
L	Auflagestreu (engl.: litter), unzersetztes organisches Material (Laub- bzw. Nadelstreu)
Of	(f= „ fermentation layer “): grob zersetzte, geschwärzte Steureste
Oh	(h= humos): Auflage von stark zersetzter organischer Substanz
A	Mineralischer Oberboden
Ah	h umushaltig
Ae	E luvialhorizont, gebleicht („ podsoliert “). An Eisenverbindungen verarmt, meist Einzelkorngefüge, stark sauer
Al	L essivierungshorizont, Tonminerale ausgewaschen oder Horizont an diesen verarmt
Ap	durch P flügen veränderter A-Horizont
B	Mineralischer Unterboden außerhalb des Grundwasserbereichs
Bv	v ebraunt durch Umkrustung der Mineralteilchen mit Eisen-(III)-hydroxid; verlehmt, entkalkt
Bt	T onanreicherung durch Einwaschung, oft Wandbelege bildend
Bh	H umusanreicherung durch Einwaschung
Bs	Mit Aluminium- und Eisenverbindungen (Sesquioxiden) angereichert; rötlich-braun
P	Tonanteil mit mineralischen Unterboden > 45% (von Pelos = griech. für Ton)
C	Mineralisches Ausgangsgestein außerhalb des Grundwasserbereichs
Cv	v erwitterter oberer Abschnitt des C-Horizontes mit erhaltenen Strukturen des Ausgangsgesteins
G	Mineralbodenhorizonte mit Grundwassereinfluss
Go	(G= G ley), o xidierter Teil des G-Horizontes, rostbraune Eiseneinlagerungen, oft entlang von Wurzelbahnen; fleckig
Gr	r eduzierter Teil des G-Horizontes, blaugraue bis grünliche Farben; Eisenverbindungen im O ₂ -armen Grundwassermilieu reduziert
S	Mineralbodenhorizonte mit Stauwassereinfluss
Sw	S tau w asserhorizont
Sd	wasserstauender, d ichter Horizont, rostfleckig, mamoriert

**A 21 I**

Oben: Gley
Mitte: Pseudogley
Unten: Schwarzerde
(Fotos: Prof. Dr. Klaus Mueller)

Tabelle A6 I Bezeichnung der wichtigsten Bodenhorizonte).



Rendzina

Profilfolge

Ah – C

Entstehung

Durch physikalische und insbesondere chemische Verwitterung des Ausgangsgesteins (Kalklösung); Ton als Lösungsrückstand.

Kennzeichen der Horizonte

Humusreicher, krümeliger Ah-Horizont mit starker Bioturbation.

Ausgangsgesteine

Lockere oder feste Kalk- und Dolomitgesteine, Gips- oder Anhydridgesteine.

Verbreitung in Mecklenburg-Vorpommern

Kreidefelsen auf der Insel Rügen bei Sassnitz und Insel Usedom.

Name

Polnischer Bauernname, der das „Rauschen der vielen Steine am Streichblech des Pfluges“ kennzeichnen soll.

Bodeneigenschaften

Großes Porenvolumen mit günstigem Lufthaushalt und hoher Austauschkapazität; meist sehr flachgründig.

Nutzung

Oft als Trockenrasen oder für Weide- und Forstwirtschaft; für eine landwirtschaftliche Nutzung meist zu flachgründig und zu trocken.

Abb. 1

Quelle: E. Mückenhausen 1959

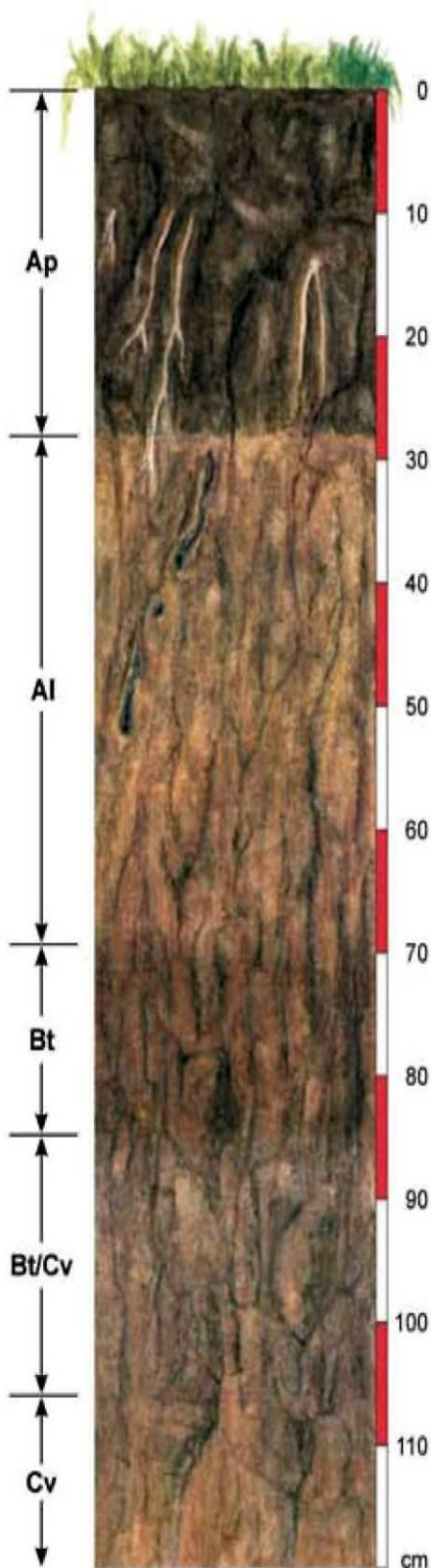


Abb. 2
Quelle: E. Mückenhausen 1959

Braunerde

Profilfolge

Ah* - Bv - C

Entstehung:

Aus Ranker, durch fortschreitende Bodenentwicklung (Verbraunung, Verlehmung).

Kennzeichen der Horizonte

Ah-Horizont meist nur mit geringer Mächtigkeit (meist ca. 20 cm); Bv-Horizont 20 - 150 cm mächtig. Anreicherung von Eisenverbindungen (v. a. Hydroxide) und Ton.

Ausgangsgesteine

Saure kristalline Gesteine, Sandsteine, eiszeitliche Lösslehme, Moränenmaterial.

Verbreitung in Mecklenburg-Vorpommern

Vorwiegend in den Landkreisen Ludwigslust-Parchim und Mecklenburgische Seenplatte.

Name

Von der charakteristischen Farbe des B-Horizontes.

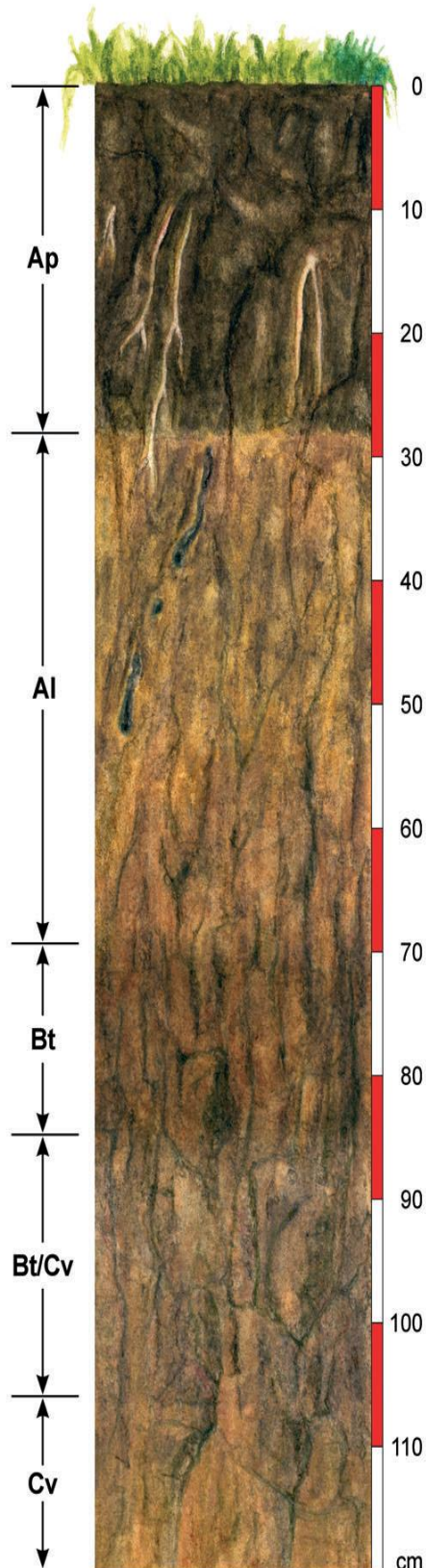
Bodeneigenschaften

Nährstoffgehalt sehr unterschiedlich und abhängig von der Bodenart, dem Ausgangsgestein und der Vegetation; hoher Nährstoffgehalt auf kalkhaltigen Ausgangsgesteinen.

Nutzung

Landwirtschaft; auf sehr sauren Ausgangsgesteinen vorwiegend Forstwirtschaft, da bei landwirtschaftlicher Nutzung trotz Düngung und Kalkung nur geringe Erträge möglich sind.

*/ Im dargestellten Profil aufgrund landwirtschaftlicher Bearbeitung als Ap ausgebildet.



Parabraunerde (auch Lessivè, Fahlerde)

Profilfolge

Ah* - Al - Bt - C

Entstehung

Aus Braunerden durch Tonverlagerung (Lessivierung) aus dem Ah- in den Bt-Horizont; gleichzeitige Verlagerung von Eisen und Huminstoffen, Voraussetzung ist die Entkalkung des Oberbodens, wodurch der pH-Wert abfällt und Ton verlagert wird. Das im Unterboden vorhandene Karbonat ist dort für einen höheren pH-Wert und das Wiederausfällen des Tons verantwortlich.

Kennzeichen der Horizonte

Infolge der Tonverarmung fahler Al-Horizont; Tonanreicherung im Bt-Horizont mit Tonhäuten und Tongefüge.

Ausgangsgesteine

Karbonathaltige Silikatgesteine, wie Löss oder Geschiebemergel.

Verbreitung in Mecklenburg-Vorpommern

Vorwiegend in den Landkreisen Vorpommern-Rügen, Ludwigslust-Parchim, Mecklenburgische Seenplatte, Landkreis Vorpommern-Greifswald und Nordwestmecklenburg.

Name

Durch nahe ökologische Verwandtschaft mit nährstoffreichen Braunerden.

Bodeneigenschaften

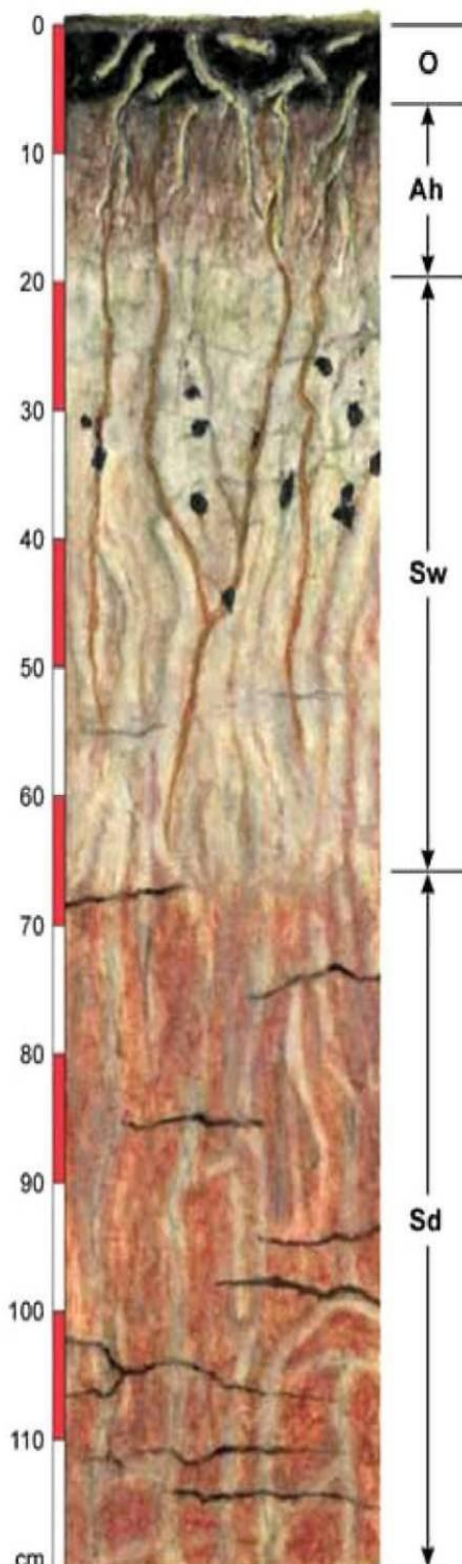
Häufige Staunässe durch Tonanreicherung im Bt-Horizont; hohe Erosionsanfälligkeit bei stärkerer Hangneigung und Löss als Ausgangsmaterial.

Nutzung

Fruchtbare Ackerböden mit hohen Nährstoffvorräten, günstigem Wasserhaushalt und guter Sauerstoffversorgung.

**) Im dargestellten Profil aufgrund landwirtschaftlicher Bearbeitung als Ap ausgebildet.*

Abb. 3
Quelle: E. Mückenhausen 1959



Pseudogley (Stauwasserboden)

Profilfolge

O - Ah - Sw - Sd

Entstehung

Primäre Pseudogleye entstehen aus tonreichen Gesteinen mit geringer Wasserleitfähigkeit und können geschichtet sein (z. B. Flugsand oder Lösslehm über Ton). Sekundäre Pseudogleye entwickeln sich häufig aus Parabraunerden (Bt-Horizont wirkt als Wasserstauer).

Kennzeichen der Horizonte

Durch den sprunghaften Wechsel der Wasserleitfähigkeit im Boden kommt es an ton-reichen Horizonten (Sd) zum Wasserstau. Im darüber liegenden ton-ärmeren Horizont (Sw) führt dies zur Ausbildung von mit Eisen angereicherten und verarmten Zonen.

Ausgangsgesteine

Aus geschichteten Substraten wie Löss über Ton oder (Flug-) Sand über Ton (primäre Pseudogleye); durch Weiterentwicklung aus Parabraunerden (sekundärer Pseudogley).

Verbreitung in Mecklenburg-Vorpommern

Vorwiegend in den Landkreisen Vorpommern-Rügen und Nordwestmecklenburg.

Name

Der Name Pseudogley wurde gewählt, weil dieser Boden in einer Reihe von Eigenschaften dem Gley ähnlich ist.

Bodeneigenschaften

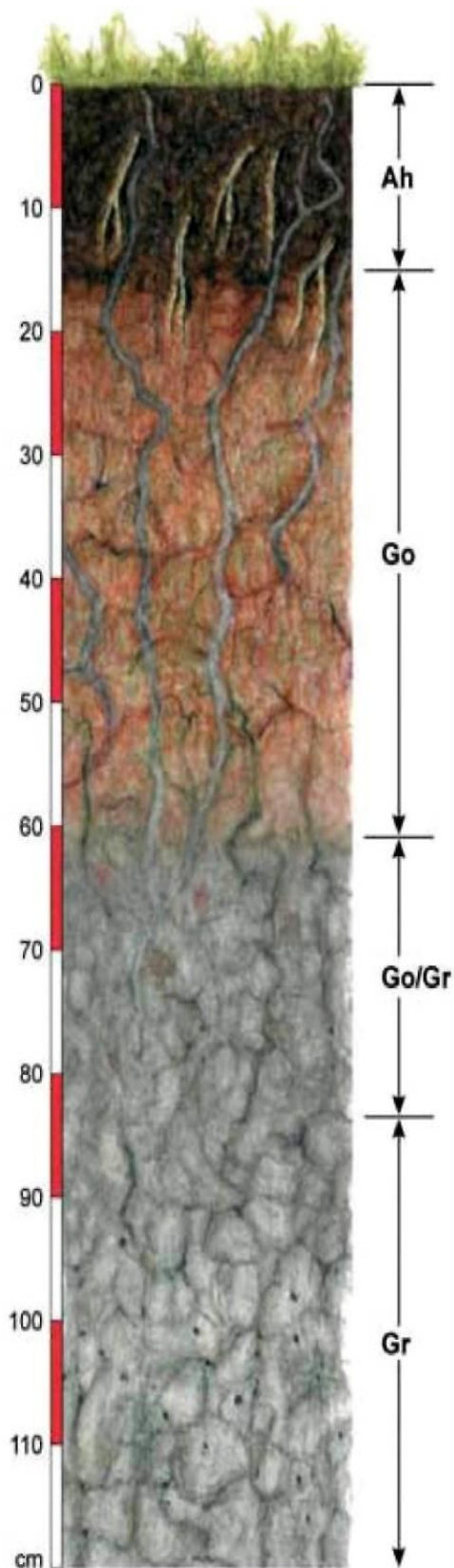
Staunasser Boden, typisch für Standorte mit Wechselfeuchte, d.h. saisonaler Trockenheit bzw. Vernässung (temporär luftarm); Ausbildung von Trockenrissen im Sommer.

Nutzung

Vielfach gute Wald- und Wiesenstandorte; wegen saisonaler Vernässung v.a. im Frühjahr (O_2 -Mangel) nicht befahrbar; als Ackerstandorte sehr oft nur bedingt geeignet.

Abb. 4

Quelle: E. Mückenhausen 1959



Gley

Profilfolge

Ah - Go - Gr

Entstehung

Unter reduzierenden Bedingungen des sauerstoffarmen Grundwassers (Vergleyung).

Kennzeichen der Horizonte

Stark humoser Ah-Horizont über Go-Horizont mit rostartigen, fleckigen Bändern durch Mn- und Fe-Hydroxide; Gr-Horizont gleichmäßig grün-blau-grau durch reduzierte Mn- und Fe-Verbindungen.

Ausgangsgesteine:

Vorwiegend quartäre und holozäne Lockersedimente.

Verbreitung in Mecklenburg-Vorpommern

Vorwiegend in den Landkreisen Ludwigslust-Parchim und Vorpommern-Rügen.

Bodeneigenschaften

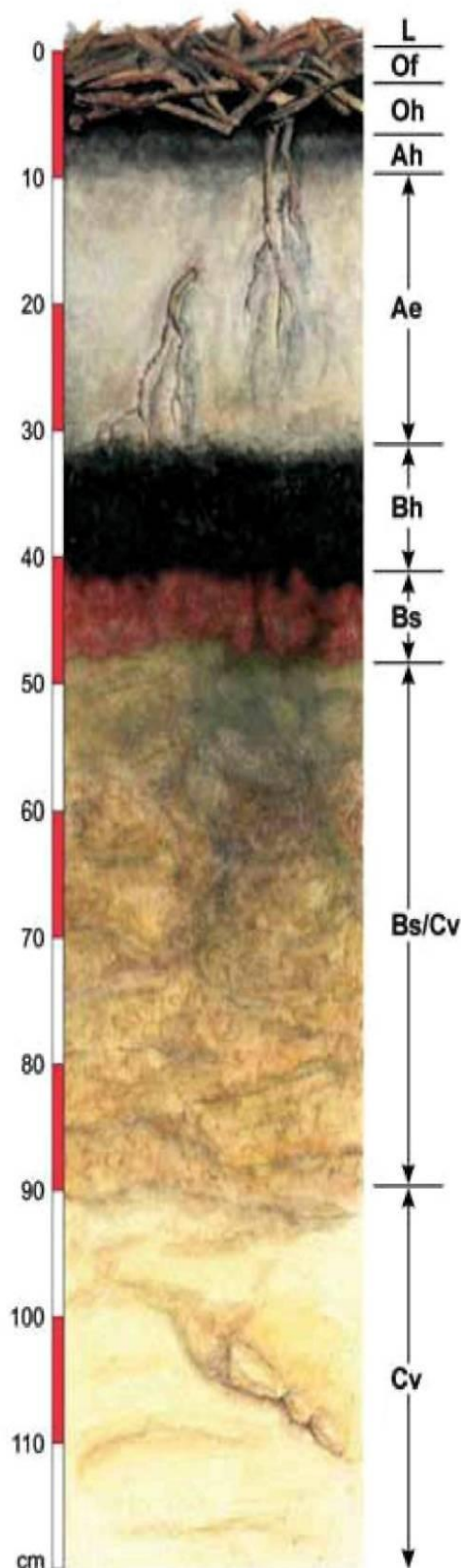
Meist gute Nährstoffausstattung durch ständige Zufuhr von Grundwasser.

Nutzung

Forstliche Nutzung von Baumarten mit hohem Wasserverbrauch; bei niedrigem Grundwasserstand als Wiesen und Weiden.

Abb. 5

Quelle: E. Mückenhausen 1959



Podsol

Profilfolge

L - O - Ah - Ae - Bh - Bs - C(v)

Entstehung

Aus Braunerden und Parabraunerden bei hohen Niederschlägen, saurem, wasserundurchlässigem Gestein und nährstoffarmen Vegetationsrückständen.

Kennzeichen der Horizonte

Rohhumus als typische Humusform; geringmächtiger Ah-Horizont; aschgrauer Ae-Horizont durch Auswaschung von organischer Substanz sowie von Eisen (Fe), Aluminium (Al) und Mangan (Mn); brauner bis rostbrauner, z. T. verfestigter B-Horizont infolge Ausfällung der aus dem A-Horizont ausgewaschenen Stoffe.

Ausgangsgesteine

Sandsteine, Granite.

Verbreitung in Mecklenburg-Vorpommern

Vorwiegend in den Landkreisen Vorpommern-Greifswald und Ludwigslust-Parchim.

Name

Russisch für aschefarbiger Boden.

Bodeneigenschaften

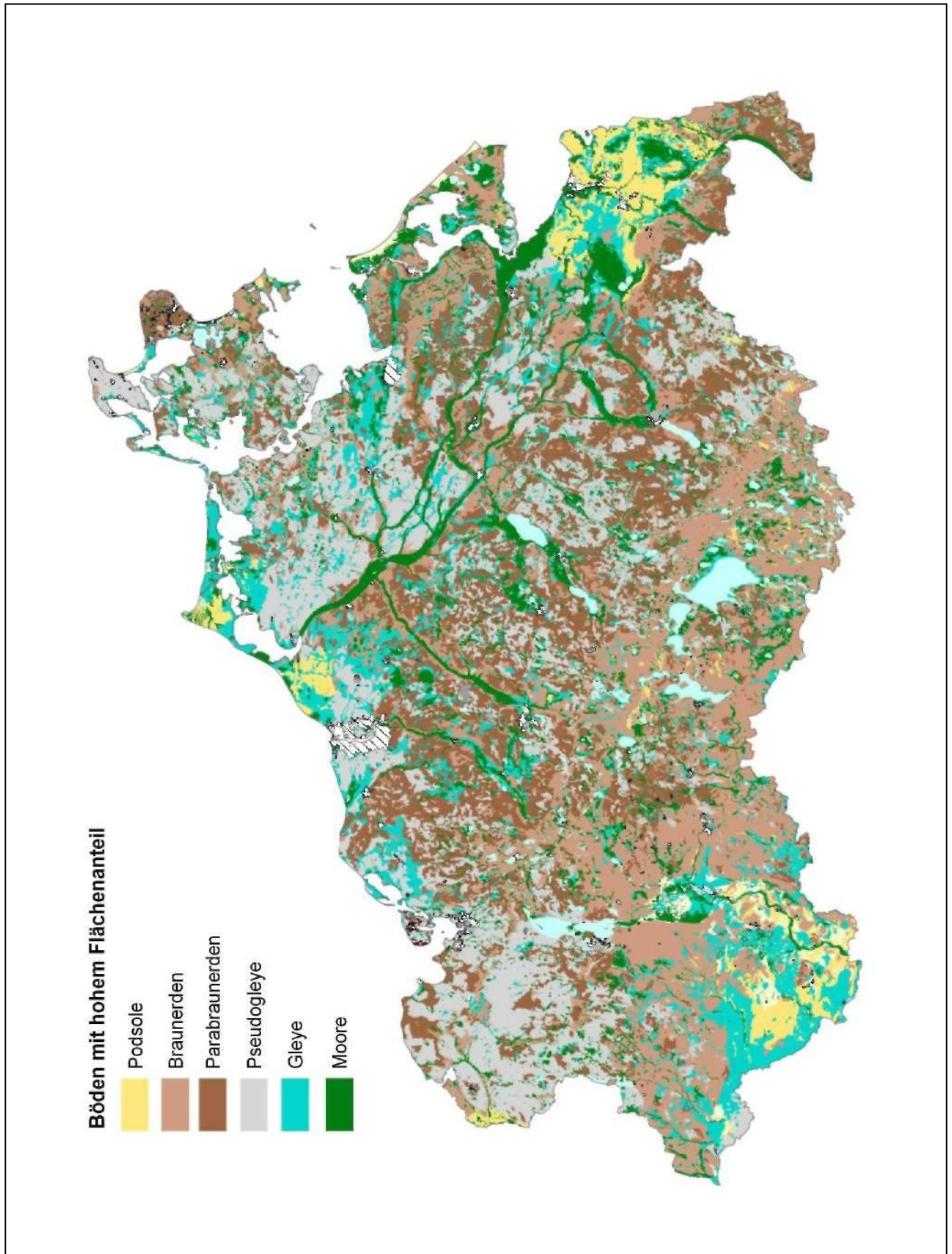
Stark saurer, nährstoffarmer Boden; häufiges Auftreten von Ortstein oder Orterde durch Verfestigung des B-Horizonts.

Nutzung

Vorwiegend Forstwirtschaft; relativ ungünstige Böden durch geringe Wasserspeicherleistung und niedrige Nährstoffausstattung.

Abb. 6

Quelle: E. Mückenhausen 1959

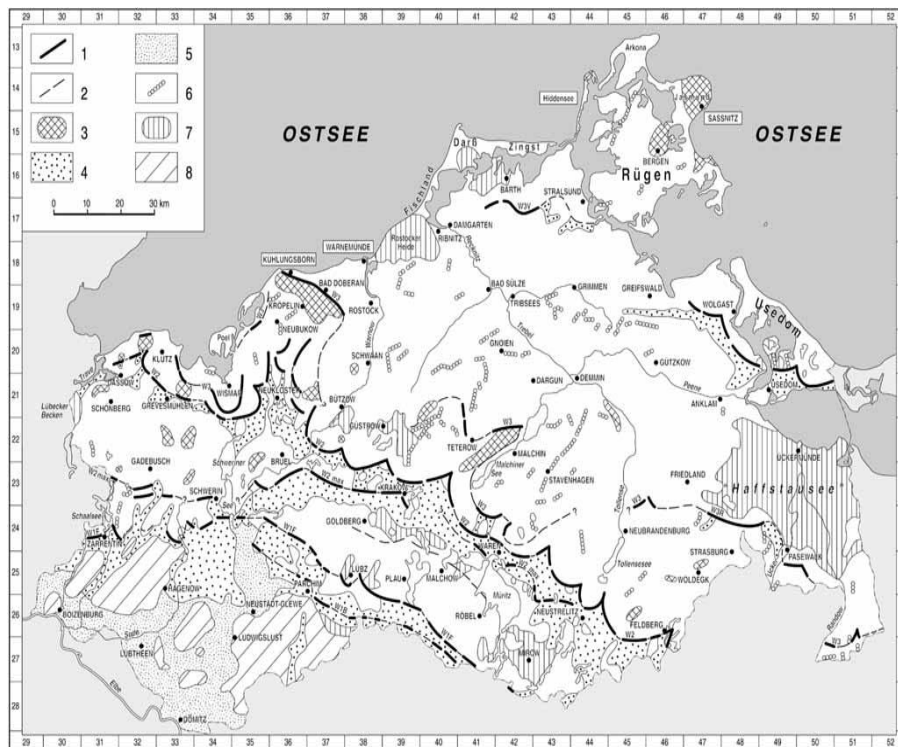


Karte: Böden in M-V, Quelle: LUNG M-V

7. Entstehung der Böden in Mecklenburg-Vorpommern

Die Böden in Mecklenburg-Vorpommern verdanken ihre Entstehung geologischen Vorgängen des Pleistozän und Holozän. Das landschaftsprägende Bild ist auf die **Saale- und Weichseleiszeit** zurückzuführen. Die ältere Saale-Eiszeit (Beginn vor ca. 250 000 Jahren) hinterließ im Südwesten des Landes das Altmoränengebiet. Es ist eine Hochfläche, die durch breite Schmelzwassertäler (zwischen Zarrentin und dem Grenzgebiet zu Brandenburg südöstlich von Parchim) zerteilt ist. Sie ist tiefgründig verwittert, mit deutlichen Spuren von Dauerfrosteinwirkungen (Eiskeile, auch

Frostkeil, ist ein mit Eis, Bodenpartikeln und z.T. organischem Material gefüllter Riss im Boden $\nearrow$ A1), Fließerden, (ein sich infolge starker Durchnässung bildender Bodenbrei $\nearrow$ A1) und periglaziäre Decken, die schon vor der darauffolgenden Eem-Warmzeit (Beginn vor ca. 120 000 Jahren) entstanden sind. Die jüngere Weichsel-Eiszeit (Beginn vor ca. 115 000 Jahren) hinterließ das Jungmoränengebiet, das ca. 90 % der Landesfläche einnimmt. Es ist durch mehrere, morphologisch hervortretende Endmoränenzüge (Eisrandlagen) deutlich gegliedert ($\nearrow$ A22).



A22 I

Geologische Strukturkarte Mecklenburg-Vorpommern (GÜK 500, 2000)

Legende

- 1 Eisrandlagen
- 2 dgl. wahrscheinlicher Verlauf
- 3 „Stauchkomplexe“
- 4 Sander
- 5 Urstromtal
- 6 Oser
- 7 Becken
- 8 saalezeitliche Hochflächen

Im nordöstlichen Jungmoränengebiet dominieren Grundmoränenflächen, die durch Becken, Täler und Oser (= ein Bestandteil der Grundmoränenlandschaft) gegliedert sind. Der nordwestliche Teil besteht aus dem Mecklenburgischen Landrücken mit der Seenplatte und wird im Norden von der Pommerschen Eisrandlage und im Süden von der Frankfurter Randlage begrenzt. Nach dem Rückschmelzen und dem Zerfall des Eises geriet auch die Jungmoränenlandschaft für einen relativ kurzen Zeitraum (ca. 5000 Jahre) unter Dauerfrostbedingungen. Hier sind jedoch im Gegensatz zum Altmoränengebiet die Dauerfrostspuren abgeschwächt und nicht durchgängig nachzu-

weisen. Mit der Klimaänderung am Ende der **Weichsel-Eiszeit** kam es mit Beginn des Holozän vor ca. 10 000 Jahren zur Auflösung des Dauerfrostbodens und zum Austauen des verschütteten Toteises. Es entstand der für Mecklenburg-Vorpommern typische eiszeitliche Formenreichtum – nahezu ebene Lehmplatten, flache, weite Sandgebiete, längere Hangstrecken und flache Bodenwellen, steile Kuppen, sanfte Hügel, kleine Senken, bahndammartig langgestreckte Oser, tiefe Rinnen und flache Täler. Die Wirkung spätglazialer bis holozäner äolischer Prozesse (Windverlagerung) zeigt sich in der Verbreitung von Flugsanddecken und Dünen (Südwest-Mecklenburg, Rostocker und

Ueckermünder Heide, Darß). Mit der deutlichen Klimaänderung entwickelte sich eine nahezu geschlossene Vegetations- und Bodendecke. Das führte zur fast vollständigen Bewaldung. Vor ca. 5000 Jahren (Subboreal) begann die Ostsee ihr gegenwärtiges Niveau durch die Litorina-Transgression (= nach der Salzwasser anzeigenden „Gemeinen Strandschnecke“ (*Littorina littorea*) benannt. Sie war eine Phase des nacheiszeitlichen Meeresspiegel-Anstiegs, der u.a. die Bildung der Ostsee in ihrer heutigen Form einleitete) zu erreichen. Der Grundwasserstand erhöhte sich, wodurch die Niederungen (Lewitz, Friedländer Große Wiese u. a.) und die Flusstäler (Warnow, Recknitz, Trebel, Peene, Tollense u. a.) großflächig vermoort. Eingriffe des Menschen, etwa ab dem Subboreal (vor ca. 5000 Jahren), beeinflussten die Landschaftsentwicklung nachhaltig. Mehrere Waldrodungsperioden legten die Bodenoberfläche bloß. Bodenerosion durch Wasser und Wind wurde verstärkt wirksam. Auch Wasserstandsregulierungen haben sich nachhaltig ausgewirkt. Insbesondere Wasserspiegelabsenkungen, die mit der Intensität der agrarischen Nutzung zunahmen, sind auf die Bodenentwicklung nicht ohne Folgen geblieben (Humusschwund, Vererdung, Vermulung der Moorböden u.a.).

In der Wechselwirkung mit der Atmosphäre, dem Wasser und der Vegetation entstanden durch Verwitterung und Verlagerung in den oberen Dezimetern unsere Böden.

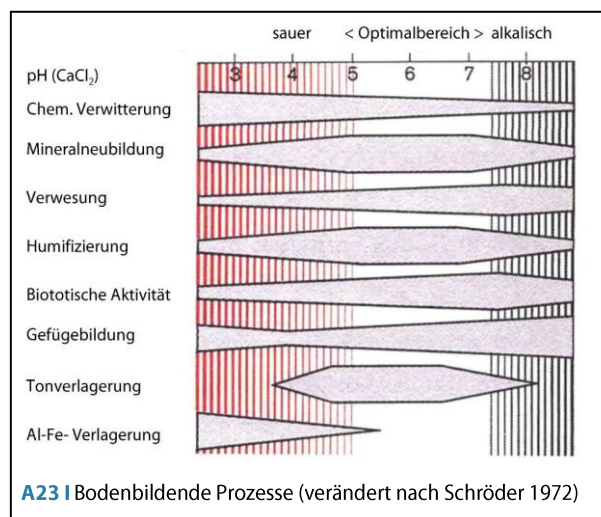
Die bestimmenden natürlichen Faktoren der Bodenbildung sind:

- das Ausgangsgestein,
- das Relief,
- das Wasser (Grund-, Stau- und Sickerwasser),
- das Klima (Lufttemperatur, Niederschlag, Verdunstung),
- die Vegetation,
- die Organistentätigkeit,
- die Zeit und
- die Einwirkungen des Menschen.

Unter den genannten Faktoren dominieren das Ausgangsgestein (Substrat), Relief und Wasser, worauf die Vielfalt der Bodenentwicklung zurückzuführen ist. Das Substrat und das Relief sind für die Bodenentwicklung von besonderer Bedeutung. Die Rodung der Wälder und die nachfolgende ackerbauliche Nutzung führten zu Bodenerosionen (► Modul D), die durch Abtragung (Denudation), Verlagerung und Ablagerung (Anhäufung) deutliche Spuren

hinterließen und die Heterogenität der Böden verstärkten. Insbesondere im Bereich des Mecklenburgischen Landrückens und in den flankierenden Randlagen mit kräftigem Relief hat sich ein typisches Hang-Senken-Bodengefüge entwickelt. Neben unveränderten Böden treten sowohl Abtragsböden (gekappte Parabraunerden, Pararendzinen, „Rumpf-Fahlerden“) als auch Auftragsböden (Kolluvisole) auf. Im Bereich der Pommerschen Randlage können die veränderten Böden einen Anteil von 50 % erreichen.

Das Klima Mecklenburg-Vorpommerns ist durch eine Abnahme der mittleren Niederschlagshöhen von West nach Ost von > 600 mm/Jahr auf < 600 mm/Jahr und einer Abnahme der Jahresmittel-Temperaturen von > 8° C auf < 8° C gekennzeichnet. Es lässt in West-Ost-Richtung einen Übergang vom atlantischen zum kontinentalen Klimabereich erkennen. Die klimatischen Unterschiede sind zwar gering, lassen jedoch großräumige Unterschiede in der Bodenentwicklung von Nordwesten nach Südosten erkennen, z. B. in der Abnahme der Stauvernässung. An der Ostseeküste ist ein Küstenstreifen von ca. 10 km Breite zwischen Wismar-Bucht und Insel Rügen durch Jahresniederschläge < 550 mm auffallend. Das Zusammenwirken der bodenbildenden Faktoren setzt eine Reihe ineinandergreifender Bodenentwicklungsprozesse in Gang (► A23).



Sie werden durch physikalisch-chemische Bedingungen in den Böden gesteuert die naturgemäß offene, sich selbstregelnde Systeme sind. Wichtige bodenbildende Prozesse sind:

- Verwitterung mit Entkalkung und Mineralneubildung,

- Verbraunung durch diffuse Eisenoxidfreisetzung, Tonverlagerung (Lessivierung),
- Podsolierung (Al-/Fe-Verlagerung),
- Vergleyung, als Folge von Grundwasser- bzw. Stauwassereinwirkungen,
- Humusbildung (Humifizierung),
- Gefügebildung und
- Kolluvisation.

Durch diese Prozesse entstanden die heutigen Böden, deren Entwicklungsprozesse andauern und zeitlos verlaufen. Die Bodenbildung setzt ein mit der **Humusakkumulation** im Oberboden. Es entstehen Böden mit einer geringen Entwicklungstiefe (A-C-Böden, z. B. Regosol). Mit fortschreitender Entkalkung vollzieht sich die chemische **Verwitterung** der Gesteine und Minerale und deren **Oxidation**, so dass ein brauner Unterboden (Bv-Horizont) zwischen dem A- und dem C-Horizont (Braunerde) entsteht. Nehmen die pH-Werte durch steigende **Versauerung** (Humussäuren beim Abbau organischer Substanz) ab, setzt bei abwärtsgerichtetem Bodenwasserstrom in sandigen Substraten eine Verlagerung von Sesquioxiden (Fe, Al) sowie von Humusstoffen ein (Podsolierung). Bei lehmigen Substraten erfolgt eine Verlagerung von Tonpartikeln (Lessivierung) profilabwärts. Humus- und Sesquioxidanreicherungen im Unterboden lassen Bh- und Bs-Horizonte der Podsole und Tonanreicherungen die Bt-Horizonte der Parabraunerden entstehen.

Die Oberböden bleichen aus (Ae- und Al-Horizonte). Bei schwer durchlässigem Untergrund und ungenügendem Oberflächenabfluss kommt es zu Staunässebildung (Pseudovergleyung). Durch Redoxbedingungen entstehen Rostflecken (sog. Marmorierung). Die Profile haben einen Stauwasserleiter (Sw)- und einen Stauwasserstauer (Sd)-Horizont. Darunter befindet sich meist der staunässefreie C-Horizont. Dagegen haben Böden im Grundwasserschwankungsbereich (Gleye) einen rostfleckigen Oxidationshorizont (Go) und einen grauen Reduktionshorizont (Gr), der unter ständigem Grundwassereinfluss steht (↗A24).

(Quelle Bodenbericht Phase 1 des Bodenschutzprogramms M-V)



A24 I
Pseudogley – Gley
nördlich von Anklam
(Foto: U. Ratzke)



A25 I Findling bei Müßelmow – ein gesetzlich geschützter Geotop (Foto: A. Niegengerd)

Wichtige Daten:

Länge:	3,1 m	Breite:	2,5 m
Höhe:	2,0 m	Volumen:	ca. 8,2 m ³
Gewicht:	ca. 21,9 t		

Gestein:

Findling, kristallines Geschiebe, grobkörniger (porphyrischer) Granit, Karlshamn-Granit oder „Augengranit“

Die Farbe wird durch einen grauen Grundton bestimmt, der durch graue Feldspäte und graue Quarze entsteht. Daneben enthält der Findling dunklen und hellen Glimmer (Biotit und Muskovit).

Herkunft und Alter:

Vor etwa 1,45 Mrd. Jahren in Südschweden, im Raum Karlshamn, Ronneby, Eringsboda und Rävemåla intrusiv* gebildet. Von Gletschern des Weichsel Hoch- Glazial im westlichen Raum Mittelschwedens mitgerissen und vor 17.000 Jahren 150 m westlich des Ortes Müßelmow abgelagert.

* Intrusion bezeichnet in der Geologie generell das Eindringen von fließfähigem Material in bereits existierende Gesteinskörper (z. B. auch von Salzstöcken oder weichen Tonen in den überlagernden Schichten).

Herausgeber

Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Verbraucherschutz
Mecklenburg-Vorpommern