

Den Waldboden verstehen – Vielfalt und Funktion der Waldböden in der Schweiz

Marco Walser, Roger Köchli, Lorenz Walthert, Stephan Zimmermann und Ivano Brunner



Abb. 1. Zur forstlichen Aus- und Weiterbildung gehört das Verständnis, wie Waldböden entstehen, wie sie charakterisiert werden und welche Funktionen sie erfüllen.

Waldböden sind im Gegensatz zu vielen landwirtschaftlich genutzten Böden weitgehend ungestört und natürlich aufgebaut, da sie weder gepflügt noch gedüngt werden. Ihre charakteristischen Bodenmerkmale erlauben einerseits Rückschlüsse auf die abgelaufenen Prozesse der Bodenbildung, und andererseits geben Bodenmerkmale wichtige Hinweise auf Eigenschaften von Waldböden und die Funktionen, welche die Böden erbringen. Dadurch kann der Boden, auf dem forstwirtschaftlich gearbeitet wird (Abb. 1), eingeordnet und interpretiert werden.

Der Waldboden – ein Wunder der Natur

Der Waldboden ist die äusserste Schicht der Erdkruste, die sich im Laufe der Zeit unter dem Einfluss von Klima, Gestein, Relief und Lebewesen bildet. Der Boden ist das Verbindungselement zwischen der Atmosphäre (Luft), der Biosphäre (Lebensraum der Organismen), der Hydrosphäre (Wasser) und der Lithosphäre (Ausgangsgestein).

Er besteht aus festen Bestandteilen und Hohlräumen. Das Grundgerüst des Waldbodens wird durch mineralische Komponenten und abgestorbene organische Stoffe (Humus) gebildet, die sich oft zu neuen räumlichen Gebilden (Aggregaten) verbinden und so dem Boden eine Struktur verleihen. In und vor allem zwischen diesen Aggregaten existiert ein verzweigtes Porensystem, das je nach Wassergehalt des Bodens unterschiedlich stark mit Wasser oder Luft gefüllt ist. Aus diesem Porensystem beziehen die Pflanzen ihre Ressourcen – Wasser, Nährstoffe und Sauerstoff. Das Porensystem ist zugleich Lebensraum für unzählige Bodenorganismen wie Bodentiere, Pilze und Bakterien (siehe Merkblatt «Der Waldboden lebt – Vielfalt und Funktion der Bodenlebewesen»).

Entstehung von Waldböden

Die Entwicklung eines Waldbodens benötigt viel Zeit (Abb. 2). Die meisten Waldböden im Schweizer Mittelland entwickeln sich seit rund 10- bis 12-tausend Jahren, dem Ende der letzten Eiszeit. Auf Felsen, Moränenmaterial oder Flussschottern wirkten nach dem Rück-

zug der letzten Gletscher sowohl physikalische als auch chemische und biologische Prozesse, die das Gestein zerkleinerten und die mineralischen Partikel teilweise auflösten und umgestalteten. Erste Pflanzen konnten sich ansiedeln. Diese Bodenbildungsprozesse sind seit dem Gletscherrückzug bis heute wirksam. Durch das natürlicherweise leicht saure Regenwasser und die von Wurzeln abgegebene Säuren verwittert das Muttergestein und Mineralien werden aufgelöst. Aus den Lösungsprodukten bilden sich neue Mineralien sowie Tone und Eisen- und Aluminiumoxide. Je nach Verfügbarkeit des Wassers und Durchlässigkeit des Substrats werden die Stoffe im Boden in die Tiefe verlagert. Sobald sich auf einem sehr jungen Boden Vegetation entwickelt, fällt abgestorbenes Pflanzenmaterial an, das durch biologische Prozesse abgebaut wird. Ein Teil des Pflanzenmaterials wird nur unvollständig abgebaut und neu zu Humus aufgebaut (Humifizierung; siehe Merkblatt «Der Waldboden lebt – Vielfalt und Funktion der Bodenlebewesen»).

Dieser Humus wird hauptsächlich im Oberboden angereichert. Zusätzlich verbindet sich die organische Substanz mit mineralischen Partikeln im Boden zu Bodenaggregaten. Diese Aggregate geben dem Boden eine Struktur, bestehend aus einem Gerippe fester Bodenbestandteile und einem intensiv verzweigten Porensystem mit unterschiedlichen Durchmesser. Ein Teil des Humus wird vollständig abgebaut und dadurch in seine mineralischen Bestandteile zerlegt (Mineralisierung). Die dabei freigesetzten Nährstoffe können von der Pflanze aufgenommen werden. Die Intensität der Bodenbildungsprozesse (Verwitterung, Mineralneubildung, Gefügebildung, Verlagerung und Humusbildung) nimmt mit der Bodentiefe ab, was zur Ausbildung von morphologisch unterscheidbaren Schichten, den sogenannten Bodenhorizonten, führt. Die Bildung des Waldbodens verläuft sehr langsam, über Jahrhunderte bis Jahrtausende. Dies legt einen schonenden Umgang mit dem Boden nahe, da sich Schäden nicht innerhalb weniger Jahre korrigieren lassen.

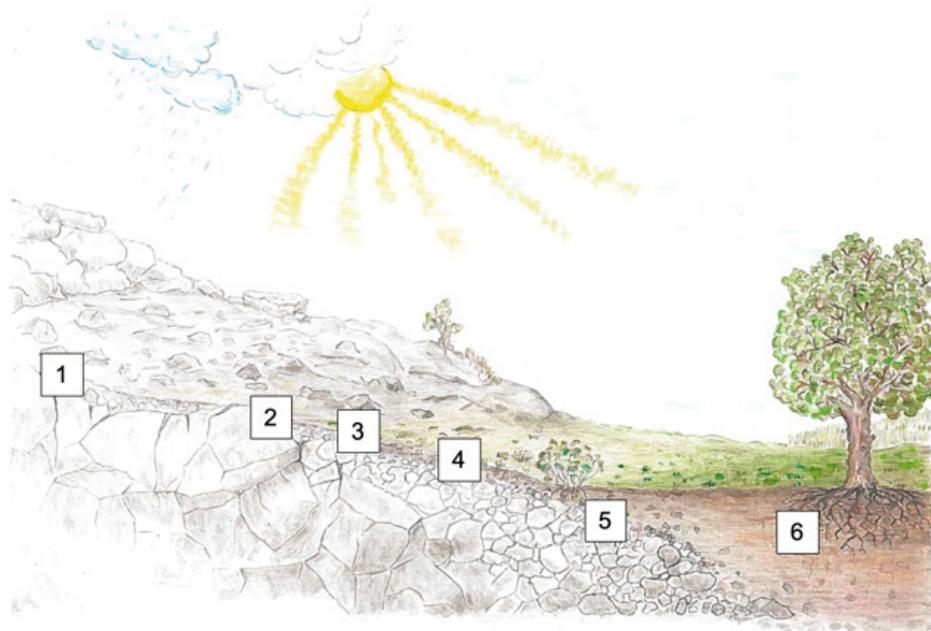


Abb. 2. Entstehung eines Waldbodens. 1) Die Bodenbildung beginnt an der Oberfläche und schreitet im Laufe der Zeit in die Tiefe fort. 2) Festes Gestein zerfällt und es entstehen Klüfte und Spalten. 3) Moose und Flechten siedeln sich an. 4) Es entwickelt sich allmählich eine Humusschicht, auf der mit der Zeit anspruchsvollere Pflanzen wachsen. 5) Bodenbildungsprozesse wandeln das Gestein mehr und mehr zu lockerer Erde um, in der schliesslich Sträucher und Bäume wurzeln und überleben können. 6) Die Vegetationsdecke schützt den einmal entstandenen Boden vor Erosion durch Wind und Regen. Die Pflanzen liefern nun reichlich organisches Material, welches zu Humus umgebildet wird und so zu einer Bodenverbesserung führt.

Bodenbildungsfaktoren

Bei der Bodenbildung (Pedogenese) entwickeln sich die Böden je nach Einfluss der verschiedenen Bodenbildungsfaktoren sehr unterschiedlich. Grundsätzlich unterscheidet man fünf Faktoren, die für die Bodenbildung verantwortlich sind (Tab. 1).

Bodenbildungsprozesse

Böden entstehen in der Regel sehr langsam und über mehrere tausend Jahre. Die Bodenbildung ist nie ganz abgeschlossen, weil Bodenbildungsprozesse (Tab. 2) die Böden stetig verändern.

Die an einem Waldstandort wirksamen Bodenbildungsfaktoren und -prozesse lassen als Resultat der Bodenbildung jeweils einen standortstypischen Boden entstehen, der durch verschiedene Tiefenbereiche (Horizonte) mit spezifischen Merkmalen und Eigenschaften charakterisiert ist.

Bodenmerkmale und -eigenschaften

Der Boden ist «fast» wie ein Buch, aus dem viel herausgelesen werden kann. Beim «Lesen» des Bodens (sogenannte Bodenansprache), werden die charakteristischen Bodenmerkmale (Tab. 3) an der Stirnseite eines ausgehobenen Bodenprofils bestimmt. Diese Bodenmerkmale lassen Rückschlüsse auf Prozesse der Bodenbildung zu und weisen auf standortkundlich relevante Bodeneigenschaften wie Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt hin.

Je nach Boden verändert sich mit der Tiefe das Aussehen und damit die Bodenmerkmale mehr oder weniger deutlich. In der Bodenklassierung werden solche unterschiedliche Schichten mit spezifischen Merkmalskombinationen zu genetischen Horizonten klassiert. Spezifische Horizontabfolgen wiederum lassen sich in Bodentypen zusammenfassen.

Tab. 1. Bodenbildungsfaktoren.

Geologie:	Ausgangsgestein (z. B. Kalke, Granite, Gneise, Mischgesteine)
Klima:	Niederschlag (feucht, trocken), Temperatur (kalt, warm)
Relief:	Exposition (Nord, Süd), Neigung, Geländeform (Ebene, Hanglage, Kuppe, Mulde)
Organismen:	Pflanzen, Tiere, menschliche Tätigkeit
Zeit:	Zeit, die ein Boden zur Verfügung hat, um sich zu entwickeln (z. B. vom Ende der letzten Vergletscherung bis heute oder nach Erosionsvorgängen bzw. Flussablagerungen)

Tab. 2. Wichtige Bodenbildungsprozesse.

Humusbildung:	Zersetzung von totem organischen Material und Umwandlung zu Humus unter Mitwirkung von Bodenlebewesen
Verwitterung:	Physikalische Zersetzung des Ausgangsgesteins in kleinere Bestandteile (Gesteinspartikel, Sand, Schluff, Ton und Mineralien) und chemische Zersetzung der festen Bestandteile
Mineralneubildung:	Neuaufbau von Mineralien aus den Zersetzungsprodukten
Gefügebildung:	Zusammenschluss von Bodenteilchen durch Aggregation (z. B. Verklebung der Bodenpartikel im Darm der Regenwürmer) und durch Schrumpfen und Quellen von tonhaltigem Material, und dadurch Bildung von vernetzten Hohlraumssystemen mit Poren unterschiedlicher Grösse
Verlagerung:	Verlagerung von Tonmineralien, Humus oder Eisen aus dem Oberboden in tiefere Bodenschichten

Tab. 3. Charakteristische Bodenmerkmale.

Bodenfarbe:	Charakterisierung der Farbtöne der Feinerde mittels Farbtafeln; dient zur Identifikation und Abgrenzung der Horizonte, zur Abschätzung des Humusgehaltes sowie zur Erkennung von Hydromorphie
Bodenart (Textur):	Schätzung der Korngrößenverteilung der mineralischen Feinerde (<2 mm) mittels Fühlprobe (Sand 2,0–0,05 mm, Schluff 0,05–0,002 mm, Ton <0,002 mm)
Bodengefüge (Struktur):	Visuelle Erfassung: Einzelkorngefüge (unstrukturiert, Bodenteilchen liegen lose nebeneinander, z. B. Sandkörner), Kohärentgefüge (unstrukturiert, kompakte Masse), Aggregatgefüge (strukturiert, lockere teils stabile Gruppierung der Bodenteilchen, z. B. Krümel)
Skelettgehalt:	Visuelle Erfassung: Volumenanteil und Grössenverteilung der Steine (Partikel >2 mm)
Bodendichte:	Bestimmung des Widerstands beim Einstechen eines Messers in die Profilwand; je dichter desto grösser der Eindringwiderstand
Vernässungsmerkmale:	Visuelle Erfassung der Vernässungsmerkmale: Mangankonkretionen (schwarze Punkte), Rostflecken, Marmorierungen (Fahl-Rot-Färbung), Reduktionsfarben (grau oder blau; Abb. 3)
Porenraum:	Visuelle Erfassung der Porosität (Durchlüftung des Bodens): Anzahl der Poren und der Hohlräume
Säuregrad:	Bestimmung des pH-Wertes mit Indikatorlösung und pH-abhängigem Farbumschlag (pH-Hellige); Bestimmung des Kalkgehalts von Feinerde und Gestein (Schäumungs-Test mit 10%iger Salzsäure)
Durchwurzelung:	Visuelle Erfassung der Anzahl Wurzeln, getrennt nach drei Durchmesserklassen (Feinwurzeln <2 mm, Grobwurzeln 2–5 mm, Starkwurzeln >5 mm)

	Vernässungsmerkmal	Vernässungsgrad	Sauerstoffverfügbarkeit	
Stauwasser	Mangan-Konkretionen – schwarze Punkte in brauner Matrix	schwach	selten und nur lokal eingeschränkt	
	Diffuse-Rostflecken – rostige Flecken von oxidiertem Eisen	mittel	manchmal eingeschränkt	
	Marmorierung Fahl-Rot-Färbung – fahle Stellen mit rost-roten Rändern	stark	oft eingeschränkt	
	Nassbleichung – hellgrauer Horizont unter organischer Auflage	stark	oft eingeschränkt	
Grundwasser	Kontrast-Rostflecken – Rost von oxidiertem Eisen entlang von Rissen und Wurzelkanälen	stark	oft eingeschränkt	
	Reduktionsfarben – grau-blaue Färbung	sehr stark	immer eingeschränkt	

Abb. 3. Vernässungsmerkmale von Waldböden.

Das kleine Boden-ABC – Klassierung in Horizonte

Die Klassierung der Bodenhorizonte unterscheidet zwischen organischen Auflagehorizonten und mineralischen Bodenhorizonten (Abb. 4). Die Auflage- und Mineralerde-Horizonte werden je nach Merkmalskombinationen einem bestimmten Horizont zugeteilt und mit einem Buchstaben gekennzeichnet: L, F, H sind Auflagehorizonte, A, B, C sind mineralische Horizonte:

L-Streuhorizont: besteht mehrheitlich aus einjährigen, weitgehend unzersetzten Pflanzenresten (Laub, Nadeln usw.)

F-Fermentationshorizont: besteht aus mehrjähriger und nur teilweise zersetzter organischer Feinsubstanz. Die Pflanzenrückstände sind zum Teil noch erkennbar.

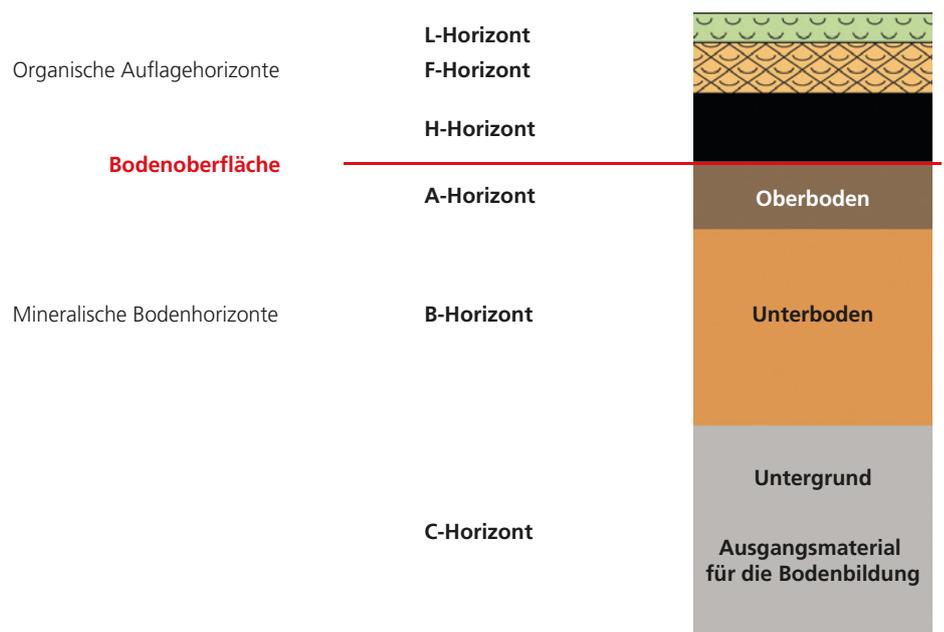


Abb. 4. Schematischer Aufbau eines Bodens mit organischen Auflagehorizonten und mineralischen Bodenhorizonten.

H-Humusstoffhorizont: besteht aus organischer, stark zersetzter Feinsubstanz, die eine dunkle bis schwarze Farbe aufweist. Die Pflanzenrückstände sind nicht mehr erkennbar.

A-Horizont (Oberboden): Der humushaltige, oberste Teil des Mineralbodens, der unter einer allfällig vorhandenen organischen Auflage liegt, wird als Oberboden (A-Horizont) bezeichnet. Er ist dunkel gefärbt. Je dunkler er ist, desto grösser ist sein Humusgehalt. Es handelt sich dabei um den biologisch aktivsten und nährstoffreichsten Teil des Bodens.

B-Horizont (Unterboden): Unterhalb des A-Horizontes ist die Mineralerde oft braun bis braun-rot gefärbt und wird als B-Horizont bezeichnet. Es handelt sich um die Hauptverwitterungszone, in welcher durch Verwitterung chemische Elemente freigesetzt werden und neue Verbindungen entstehen. In gut durch-

lüfteten Böden oxidiert Eisen zu Oxiden und Hydroxiden, welche die charakteristische Braunfärbung der Feinerde verursachen. Der B-Horizont bildet zusammen mit dem A-Horizont den Hauptwurzelraum und damit die nährstoffreichste Zone in vielen Bodenprofilen.

C-Horizont (Untergrund): Der unterste, oft durch die Eigenfarbe des Gesteins gefärbte Teil des Bodens ist von der Bodenbildung noch nicht stark beeinflusst und wird als C-Horizont bezeichnet. Hier stehen den Pflanzen weniger Nährstoffe zur Verfügung. Die Durchwurzelung ist weniger intensiv und dient in der Regel vor allem der Verankerung und Wasserversorgung der Bäume.

Je nach Bedingungen des Standortes (Geologie, Klima, Relief, Organismen, Entwicklungszustand) können weitere mineralische Bodenhorizonte vorhanden sein (Tab. 4).

Anwendung des kleinen Boden-ABC

Die Abfolge der Bodenhorizonte (A, B, C, usw.) ergibt den Bodentyp (nach WALTHERT *et al.* 2004).

Rohböden: A-C

Rohböden sind junge, wenig entwickelte A-C Böden. Unter einer allfälligen organischen Auflage folgt meistens ein dunkel gefärbter, skelettreicher A-Horizont, gefolgt vom Ausgangsgestein, dem C-Horizont.

Ranker: Aus kalkfreiem Festgestein entstanden, meist flach- bis mittelgründig 15–70 cm (keine Reaktion mit Salzsäure).

Regosol: Aus lockerem Mischgestein entstanden (Abb. 5a). Er enthält vor allem Silikate sowie geringe Anteile von kalkhaltigem Gestein. Geringer Karbonatgehalt.

Pararendzina: Aus karbonathaltigem, festem oder lockerem Mischgestein, zum Beispiel Löss, Mergel, Schotter, Kalksandstein (schäumt schwach mit Salzsäure, mittlerer Karbonatgehalt).

Rendzina: Aus karbonathaltigem Ausgangsmaterial entstanden (Abb. 5b). A-Horizont kann leicht sauer sein, sonst ist die Feinerde im neutralen bis alkalischen Bereich. Hoher Karbonatgehalt.

Braunerde: A-B-C

Die Braunerde (Abb. 5c) hat meistens eine sattbraune Farbe, ist schwach bis stark sauer, wobei die Horizontgrenzen A-B-C nicht immer sehr deutlich zu erkennen sind. Braunerden haben einen ausgewogenen Luft- und Nährstoffhaushalt. Den Bäumen ist es oft möglich, auch tiefe Bodenbereiche zu durchwurzeln. Dementsprechend sind die Böden auch tiefgründig.

Parabraunerde: A-EIB-Bt-C

Parabraunerden (Abb. 5d) sind Braunerden, bei denen Ton aus dem Oberboden in den Unterboden verlagert wird. Durch diese Tonverlagerung ist der Oberboden fahl (EIB-Horizont) und der Unterboden intensiv braun (Bt-Horizont). Der nach unten verlagerte Ton erhöht in tieferen Bereichen des Profils das Nährstoff- und Wasserspeichervermögen, was jedoch auch die Gefahr für Staunässe im Wurzelraum erhöht.

Tab. 4 Kurzbeschreibung wichtiger mineralischer Bodenhorizonte (nach WALTHERT *et al.* 2004).

A	Humushaltiger nährstoffreicher mineralischer Oberbodenhorizont. Ah: Stark humushaltiger, gut strukturierter Oberboden (oft mit Krümelgefüge) Aa: Unter Wassereinfluss an der Oberfläche entstanden, meist ohne erkennbares Gefüge, zum Teil mit Vernässungsmerkmalen, anmoorig
E	Eluvial-Horizont: Durch Auswaschung gebleichter heller Horizont, Verlagerung von Eisen und organischer Substanz (Podsolierung). El: Durch Tonverlagerung (Lessivierung) entstandener Auswaschungshorizont, tonverarmt, über einem tonangereicherten Horizont (Bt) liegend. Meist heller als der Bt-Horizont
B	Mineralerdeverwitterungshorizont (Unterboden) braun bis braunrot gefärbt. Veränderung der Farbe und des Stoffgehaltes im Vergleich zum Ausgangsgestein durch Verwitterung und/oder Tonneubildung. Bt: Durch Einwaschung mit Ton angereicherter Unterboden: Der Ton stammt vom darüber liegenden El-Horizont, der Tongehalt ist mindestens 3–5 % grösser als im El-Horizont. Bh: Durch Verlagerung mit Humusstoffen angereicherter Unterboden: Die Humusstoffe stammen vom darüber liegenden E-Horizont. Bs: Durch Verlagerung von Eisenoxiden bzw. Sesquioxiden angereicherter Unterboden: Die Oxide stammen vom darüber liegenden E-Horizont.
S	Stauwasser-Horizont: periodisch durch Stauwasser beeinflusster Horizont, mit gehemmter Wasserdurchlässigkeit. Sw: Stauwasser leitender Horizont, grössere Wasserdurchlässigkeit als der darunter liegende Sd-Horizont Sd: Dichter, Wasser stauender Horizont
G	Durch Grund- oder Hangwasser beeinflusster Horizont. Go: Entstanden unter oxidierenden Verhältnissen. Mit Rostflecken im Schwankungsbereich eines Grund- oder Hangwasserspiegels. Gr: Entstanden unter reduzierenden Verhältnissen. Nahezu ständig wassergesättigter Horizont (grau-blaue Färbung).
C	Ausgangsgestein (Lockergestein) oft angewittert, von der Bodenbildung noch nicht stark beeinflusst.
R	Fels: Unverwittertes Ausgangsgestein

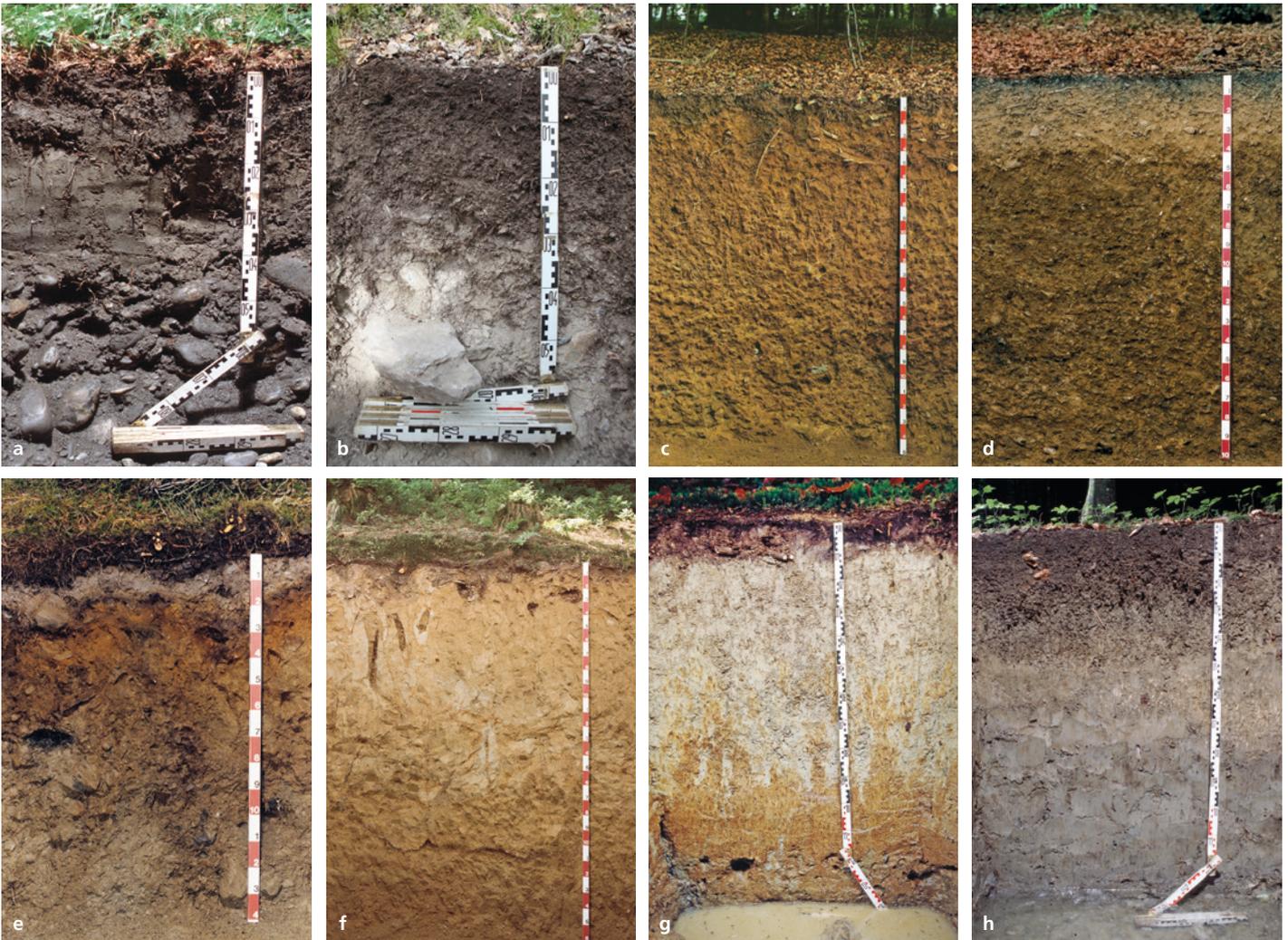


Abb. 5. a) Regosol, b) Rendzina, c) Braunerde, d) Parabraunerde, e) Podsol, f) Pseudogley, g) Stagnogley, h) Gley.

Podsol: A-E-Bh-Bs-B-C

Podsole (Abb. 5e) verfügen über einen hellgrauen, durch Verlagerung gebleichten (an organischer Substanz und Eisen verarmten) Auswaschungshorizont (E-Horizont) weshalb sie auch Bleicherde-Böden genannt werden. Unter dem Auswaschungshorizont folgen die Anreicherungshorizonte, erst der Horizont mit Humusanreicherung (Bh-Horizont, dunkel gefärbt), dann der Horizont mit Anreicherung von Eisen- und Aluminiumoxiden (Bs-Horizont, rost-braun gefärbt). Podsole entstehen oft auf quarzreichen, stark durchlässigen Substraten (meist auf Sandstein, Graniten, Gneisen) und weisen meist die Humusform Rohhumus auf.

Pseudogley: A-Sw-Sd

Pseudogleye (Abb. 5f) sind Stauwasserböden und entwickeln sich vielfach aus Parabraunerden. Von Pseudovergleyung spricht man, wenn Sickerwasser in dichten

teren Schichten im Unterboden gestaut wird und die weniger dichten darüber liegenden Horizonte durch das gestaute Wasser beeinflusst werden. Die Böden sind oft durch den Wechsel von winterlichen Nass- und sommerlichen Trockenphasen geprägt. Im wasserbeeinflussten Stauwasserleiter (Sw-Horizont) entstehen dabei vorrangig schwarze Punkte, sogenannte «Mangan-Konkretionen», während der Staukörper (Sd-Horizont) eine grau-rostfarbene Marmorierung aufweist. Staukörper entstehen, wenn feine Bodenpartikel (Tonteilchen) von oberen Schichten in tiefere Bodenbereiche verlagert werden, wodurch die Durchlässigkeit des Unterbodens abnimmt. Dadurch werden die Poren im Staukörper durch Sickerwasser gesättigt und schlecht durchlüftet. Dies führt dazu, dass die Baumwurzeln diese Bodenbereiche wegen Sauerstoffmangel kaum erschließen können. Die Verdichtung des Bodens durch die verlagerten

Tonteilchen hemmt das Wurzelwachstum zusätzlich.

Stagnogley: A-ES

Ein Stagnogley (Abb. 5g) ist ein Pseudogley mit einem stark ausgebleichten Horizont (ES-Horizont). Diese Bleichung entsteht bei lang andauernder Wassersättigung, welche die organische Auflage erreicht. Dadurch reichert sich das Bodenwasser in der Auflage mit organischen Säuren an, die bei sinkendem Wasserspiegel die farbgebenden Oxide und Hydroxide in den Mineralerdehorizonten binden und in die Tiefe oder seitwärts verlagern. Dieser Prozess wird Nassbleichung genannt und darf trotz Ähnlichkeiten der Verlagerung nicht mit einer Podsolierung verwechselt werden.

Gley: A-Go-Gr

Gleye (Abb. 5h) sind von Hang- beziehungsweise Grundwasser beeinflusste Böden. Gleye entwickeln sich oft in der

Nähe von Flüssen oder auch in Mulden und Hanglagen mit hoch anstehendem Grund- oder Hangwasser. Gleye haben einen dunkeln Oberboden gefolgt von einer wechselfeuchten rostfleckigen Oxidationszone (Go-Horizont). Darunter befindet sich eine dauernd im Grundwassereinfluss liegende blau-graue Reduktionszone (Gr-Horizont). Hier verhindert der Sauerstoffmangel jegliches Wurzelwachstum.

Moorböden, Aueböden

Aueböden und Moorböden sind wie die Gleye oft mit Wasser gesättigt. Aueböden befinden sich in der Nähe von Flussläufen und werden periodisch überflutet und mit Sedimenten bedeckt. Moorböden bilden sich oft in Geländemulden oder auf Ebenen, wo das Wasser nicht abfließen kann.

Humusformen

Im Gegensatz zu landwirtschaftlich genutzten Böden, wo eine organische Auflage meistens fehlt, interessiert man sich im Wald nicht nur für den Bodentyp (Abfolge der mineralischen Bodenhorizonte), sondern auch für die Humusform. Wie der Bodentyp ist die Humusform das Spiegelbild der an einem Waldstandort wirkenden Bodenbildungsfaktoren und hängt damit auch vom Waldbestand und seiner Bewirtschaftung ab. Die Humusform gibt Auskunft über die biologische Aktivität im Oberboden, die von der Temperatur, der Feuchtigkeit, der Art und Zusammensetzung der Streu sowie von den chemischen Bodenverhältnissen beeinflusst wird. Bei der Naturverjüngung bilden die Humusformen das Keimbeet für die nächste Baumgeneration.

Im Schweizer Wald bilden sich in normal durchlässigen Böden die typischen Humusformen Mull, Moder oder Roh-

humus. Diese entstehen unter vorwiegend aeroben Bedingungen, also bei guter Durchlüftung und ausreichender Versorgung mit Sauerstoff. An Standorten mit langanhaltenden Vernässungsphasen und oft anaeroben Verhältnissen bis an die Oberfläche bilden sich die Nasshumusformen Anmoor und Torf (anaerob = ungenügende Versorgung mit Sauerstoff). Die Klassierung der Humusformen richtet sich nach der Mächtigkeit und Abfolge sowohl der organischen Auflagehorizonte als auch der darunter liegenden A-Horizonte (siehe auch Merkblatt «Der Waldboden lebt – Vielfalt und Funktion der Bodenlebewesen»). Die Humusformen setzen sich aus dem Oberboden und den dazugehörenden organischen Auflagehorizonten zusammen (Abb. 6).

Mull: L-A

Mull ist eine biologisch aktive Humusform. Charakteristisch sind eine meist nur einjährige Streuschicht (L-Horizont) und ein mächtiger Oberboden (A-Horizont > 8 cm) wo die organische Substanz innig mit der Mineralerde vermischt ist. Durch diese Vermischung ist der A-Horizont dunkel gefärbt. Es dominieren Bodenwühler, insbesondere Regenwürmer, aber auch Asseln, Tausendfüßler und andere Gliederfüßer. Je nach Jahreszeit kann durch die rege biologische Aktivität der L-Horizont fehlen. Durch die Vermischung von Humusstoffen und Mineralerde entstehen Ton-Humus-Verbindungen, die gute Nährstoffspeicher sind. Die pH-Verhältnisse im A-Horizont reichen, je nach Standort, von sauer bis alkalisch. Ausgeglichene Witterungsverhältnisse und leicht abbaubare Streu sind förderlich für Mull und die damit einhergehende hohe biologische Aktivität (Mineralisierung). Je besser Streu abbaubar ist, desto nährstoffreicher ist sie. Dies kann unter anderem mit dem C/N-Verhältnis ausge-

drückt werden. Je mehr Nährstoffe wie zum Beispiel Stickstoff (N) im Vergleich zu Kohlenstoff (C) vorhanden sind, desto kleiner ist das C/N-Verhältnis. Die Humusform Mull hat typischerweise C/N-Verhältnisse zwischen 9 und 18. Nährstoffreiche Streu wird vor allem von Edel- und Pionierlaubholzarten auf nährstoffreichen Böden produziert. Deshalb sind Oberböden mit der Humusform Mull allgemein gut mit Nährstoffen versorgt.

Moder: L-F-A

Moder ist eine saure Humusform mit starkem Pilzvorkommen, was den charakteristischen Modergeruch hervorruft. Die Aktivität der Regenwürmer und anderer Bodenwühler ist vor allem aufgrund der sauren Bedingungen gehemmt. Die Streuzersetzung verläuft langsam, so dass sich unter der Streuschicht (L-Horizont) ein mehrjähriger Fermentationshorizont (F-Horizont) bildet. Die Mächtigkeit des A-Horizonts beträgt meistens weniger als 8 cm. Beim Moder handelt es sich um eine Zwischenform zwischen Mull und Rohhumus. Der Moder ist biologisch weniger aktiv als der Mull. Moder hat im Vergleich zu Mull typischerweise die weiteren C/N-Verhältnisse von 17 bis 25.

Rohhumus: L-F-H-A

Rohhumus besteht aus schwer zersetzbaren Vegetationsrückständen (Streu) (L-Horizont) und entsteht in der Regel auf sauren Böden. Der Abbau der organischen Substanz ist durch die stark saure Bodenreaktion und den ungünstigen Chemismus der Streu gehemmt, dabei entsteht ein Fermentationshorizont (F-Horizont). Unter stark sauren Bedingungen fehlen ebenfalls die für einen weitgehenden Abbau der organischen Substanz verantwortlichen Bodenlebewesen. Selbst die oft reichlich vorhandenen säureresistenten Pilzarten

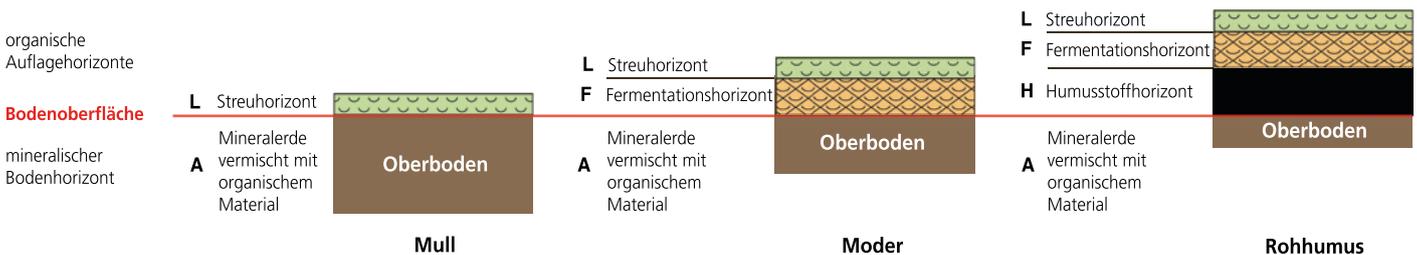


Abb. 6. Schematischer Aufbau der drei häufigsten Humusformen im Wald, Mull, Moder und Rohhumus: Oberboden mit organischen Auflagehorizonten.

erbringen nur einen limitierten Abbau der organischen Substanz. Deshalb bildet sich, im Gegensatz zum Moder, zusätzlich ein Humusstoffhorizont (H-Horizont) und die organische Auflage ist insgesamt mächtiger als beim Moder. Die Durchmischung des organischen Materials mit der mineralischen Feinerde findet meist nur durch Regenwasser statt. Der A-Horizont ist daher in der Regel sehr geringmächtig. Durch die nährstoffarme Streu und die ungünstigen Abbaubedingungen ergeben sich C/N-Verhältnisse zwischen 20 und 33.

Anmoor: Aa-G

Anmoor entsteht beim Anfall von gut abbaubarer Streu, deren vollständige Mineralisierung jedoch durch lange hoch anstehendes Wasser verhindert wird. Dadurch bilden sich nasse, schwarz gefärbte A-Horizonte mit sehr viel feiner

unstrukturierter organischer Substanz, sogenannte anmoorige A-Horizonte (Aa-Horizont). Die schwarze Farbe wird gebildet durch organische Stoffe, die bei der unvollständigen Zersetzung durch anaerobe Mikroorganismen entstehen.

Torf: T

Torf besteht aus einer Anhäufung von nur teilweise zersetzten Pflanzenrückständen, überwiegend Torfmoosen (*Sphagnum* sp.), welche in wassergesättigtem Milieu nur sehr langsam abgebaut werden. Torf hat häufig einen faserigen, schwammigen Aufbau ohne mineralische Anteile und kann sehr mächtig werden. Im Gegensatz zu Anmoor ist Torf stets sehr stark sauer.

Der Humusformen-Schlüssel (Abb. 7) erlaubt eine schematische und rasche Bestimmung der Humusform von Waldböden.

Die Keimlinge und Sämlinge der verschiedenen Baumarten stellen in deren Verjüngungsphase sehr unterschiedliche Ansprüche an ihr Keimbeet. Die Lärche und die Waldföhre keimen typischerweise auf mineralischen Bodenhorizonten (A-, B-, C-Horizonte) und meiden organische Auflagen (F-, H-Horizonte). Sie sind sogenannte «Mineralbodenkeimer». Edellaubhölzer wie Bergahorn, Esche, Ulme und Linde verjüngen sich am besten bei Verhältnissen, wie sie die Humusform Mull bietet. Die Eiche und die Buche verjüngen sich auf den Humusformen Mull und Moder, meiden aber einen ausgeprägten Rohhumus. Die Arve hingegen verjüngt sich sehr gut auf einem Rohhumus. Sie kommt mit einem stark humosen und sauren Keimbeet gut zurecht. Die Bergföhre und die Fichte dagegen können sich auf Mull, Moder oder Rohhumus etablieren.

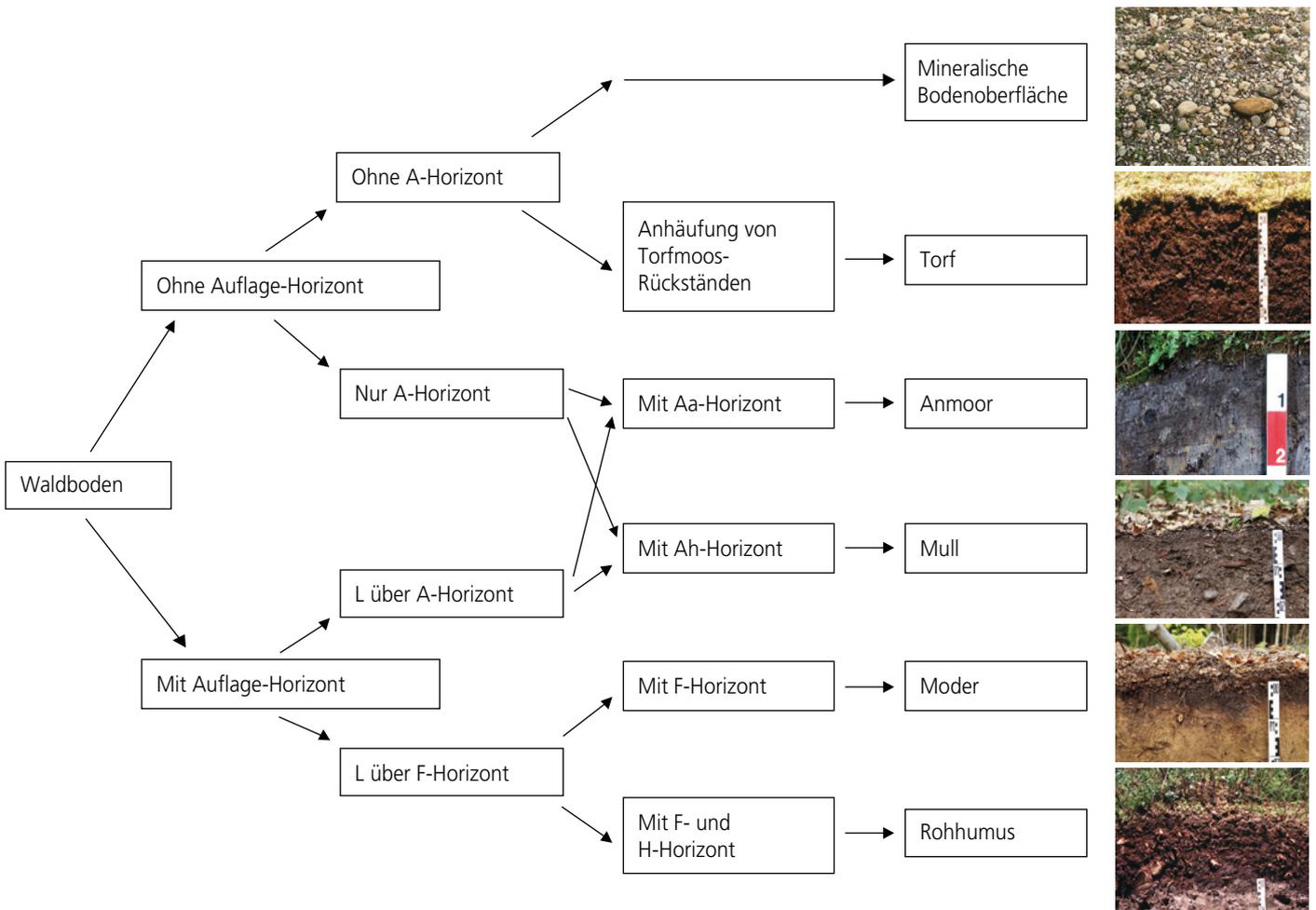


Abb. 7. Humusformen-Schlüssel – vereinfachte Bestimmung der Humusform von Waldböden. L: Streu-Horizont (deutlich erkennbare Pflanzenreste), F: Fermentations-Horizont (mehrjährige, fermentierte, teilweise zersetzte Streu, Pflanzenrückstände z.T. noch erkennbar), H: Humusstoff-Horizont (humifiziertes, rein organisches Material, Herkunft der Pflanzenrückstände nicht mehr erkennbar), A: humoser, mineralischer Oberboden, Aa: stark humoser, mineralischer Oberboden (anmoorig, meist nass, strukturlos), Ah: humoser mineralischer Oberboden (meist krümelig).

Entwicklung und Verbreitung der Waldböden

In der Schweiz mit ihren vielfältigen Geländeformen und geologischen Formationen haben sich auf engstem Raum unterschiedliche Waldbodentypen entwickelt. Je nach Kombination der Bodenbildungsfaktoren entsteht als Resultat der Bodenbildung entweder ein Rohboden (A-C), ein entwickelter Boden (A-B-C) oder ein durch Wasser beeinflusster Boden (A-G, A-S) (Abb. 8).

Rohböden sind kaum entwickelt und werden in Abhängigkeit des Ausgangsgesteins unterschiedlich benannt. Bei kalkfreien Ausgangsgesteinen wird der Rohboden als Ranker, auf Mischgesteinen als Regosol und auf kalkhaltigen Ausgangsgesteinen als Rendzina bezeichnet. Rohböden findet man in der Schweiz vor allem in den Alpen und im Jura (Abb. 9).

Nach dem Rohbodenstadium ist die weitere Bodenentwicklung auf karbonathaltigen Ausgangsgesteinen durch die

Entkalkung der Feinerde geprägt. Kalk ist die primäre Substanz, die der im Verlauf der Bodenentwicklung zunehmenden natürlichen Versauerung entgegenwirkt. Solange Kalk vorhanden ist, bleibt der pH-Wert des Bodens im neutralen Bereich, weil die Säuren durch den Kalk neutralisiert werden. Nachdem der Kalk vollständig aufgelöst ist, reagieren die Säuren mit den Silikaten, wobei der pH-Wert in den leicht sauren Bereich fällt.

Bei karbonatfreien Ausgangsgesteinen erfolgt die Reaktion der Säuren mit

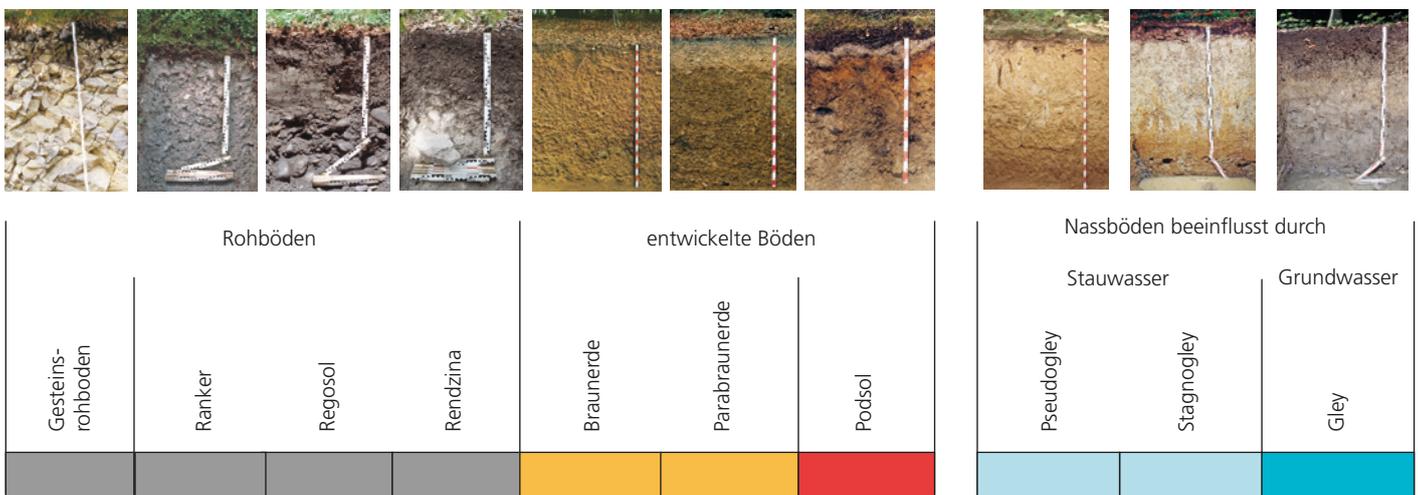


Abb. 8. Übersicht von Waldbodentypen in der Schweiz.

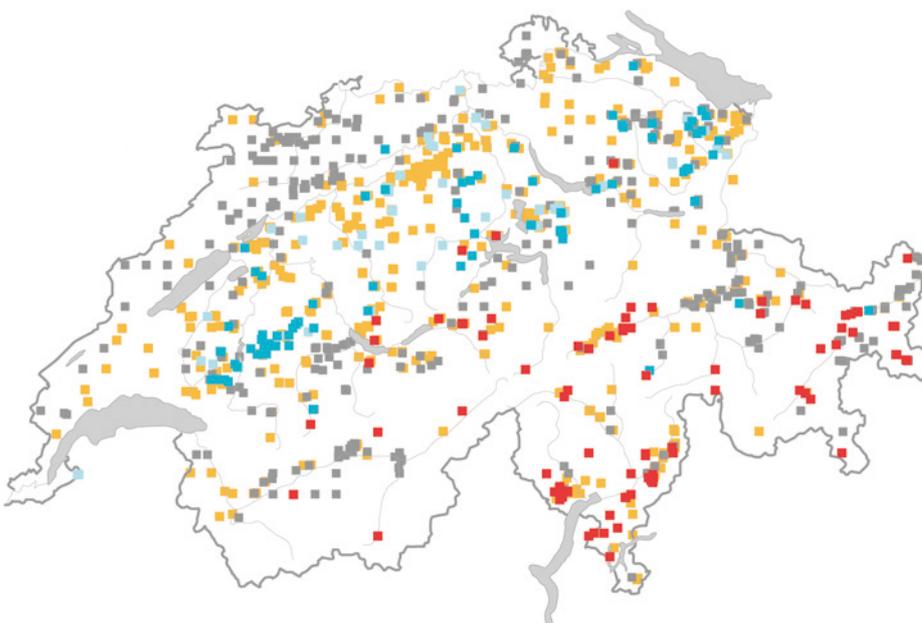


Abb. 9. Verbreitung häufiger Waldbodentypen in der Schweiz (gemäss der WSL-Bodendatenbank). Grau: Rohböden, braun: Braun- und Parabraunerden, rot: Podsole; hellblau: Pseudogleye, dunkelblau: Gleye.

den Silikaten unmittelbar nach dem Rohbodenstadium. Durch diese Silikatverwitterung wird unter anderem Eisen freigesetzt, welches in aeroben Böden oxidiert und die Mineralerde des Bodens braun färbt (Verbraunung). Eine Verbraunung beinhaltet immer auch eine Mineralneubildung (Tonminerale und Oxide/Hydroxide) sowie eine Gefügebildung. Dadurch entstehen die Braunerden. Im weiteren Verlauf der Bodenentwicklung wird im Oberboden ein pH-Bereich durchschritten, in welchem Tonminerale in einzelne Tonplättchen zerfallen. Diese Tonplättchen werden mit dem Sickerwasser verlagert und fallen in tieferen Bodenhorizonten aus. Dieser Bodentyp wird als Parabraunerde bezeichnet. Parabraunerden und Braunerden sind die häufigsten Bodentypen in den Wäldern des Mittellandes (Abb. 9). Durch die Tonanreicherung in den tie-

feren Horizonten werden Poren verstopft, wodurch die Wasserleitfähigkeit abnimmt. Dies führt zu Stauwasser, welches periodische Luftarmut (Anaerobie) verursacht, so dass hydromorphe Merkmale gebildet werden (hydromorph = wasserbeeinflusst). Diese Böden werden als Pseudogleye bezeichnet. Die charakteristischen hydromorphen Merkmale von Pseudogleyen entstehen durch die anaerobe Lösung von Mangan und Eisen sowie deren Transport zu aeroben Zonen, wo sie wieder oxidieren und ausfallen. Dies führt zu dunklen «Mangankonkretionen» (Mineralgefüge aus Eisen- und Manganoxiden, schwarze Punkte), Rostflecken und Fahlot-Färbungen, wo Porenwände und Aggregatoberflächen fahl ausgebleicht sind und die Eisenoxide ins Aggregatinnere transportiert werden. Es gibt jedoch auch Nassböden, deren Vernässung nicht durch Stauwasser, sondern durch hoch anstehendes Grund- bzw. Hangwasser verursacht wird. Diese Böden werden als Gleye bezeichnet. Ihre charakteristischen Merkmale sind oft grau-blau gefärbte Unterböden, wo durch ständige Vernässung Eisen reduziert und somit nicht mehr in der rostfarbenen oxidierten Form, sondern in reduzierten grau-blauen Farbtönen vorliegt. Die darüber liegenden Horizonte weisen oft Rostflecken auf. Im Gegensatz zu den Pseudogleyen finden sich diese in Gleyen jedoch an den Aggregatoberflächen. Bei permanent hoch anstehendem Wasser, kühl-nassem Klima und entsprechender Vegetationszusammensetzung bilden sich organische Böden (Moore), wo der Abbau der nährstoffarmen Vegetationsrückstände durch Sauerstoffarmut so stark verzögert wird, dass sich mächtige Torfschichten bilden. Nassböden (Pseudogleye, Gleye, Moore) kommen in der Schweiz vor allem am Alpennordhang und in Senken des Mittellandes vor, oft auf dichten oder tonreichen geologischen Formationen wie Grundmoränen oder Flyschsedimenten (Abb. 9).

Auf sauren, durchlässigen Substraten bei kühl-nassem Klima und schwer abbaubarer, nährstoffarmer Streu von Nadelhölzern und Zwergsträuchern bilden sich vorzugsweise in den Alpen Podsole (Abb. 9). Hier kommen mächtige Rohhumusaufgaben vor, in welchen sich das Sickerwasser mit organischen Säuren anreichert und zu einer Auswaschung

von farbgebenden Substanzen wie Eisen, Mangan und Humus im Mineralboden führt. Deshalb weisen diese Böden einen hellen Auswaschungshorizont auf. Darunter befinden sich Anreicherungshorizonte von Humus und von Eisen- und Aluminiumoxiden.

Funktionen von Waldböden

Wichtige Kriterien, die zur Bewertung eines Waldbodens beigezogen werden, sind die Regulation des Nährstoff- und Wasserhaushalts, Filter- und Pufferfunktionen, sowie die Lebensraumfunktion für Bodenlebewesen (vergleiche auch GREINER *et al.* 2017).

Regulation des Nährstoffkreislaufs

Der Waldboden speichert Nährstoffe in pflanzenverfügbarer Form und erfüllt damit eine wichtige Funktion im Nährstoffkreislauf der Bäume. Im Waldboden werden abgefallene Blätter, Nadeln, Ästchen und Wurzeln durch die Bodenorganis-

men zuerst zerkleinert und dann zersetzt. So werden wichtige Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor aus den organischen Materialien herausgelöst (mineralisiert) und den Wurzeln wieder als Nährstoffe zur Verfügung gestellt. Phosphor sowie auch andere Nährstoffe stammen auch aus dem Muttergestein, wo sie durch organische Säuren, die von Wurzeln und Mikroorganismen abgegeben werden, aus dem Gestein herausgelöst werden.

Regulation des Wasserkreislaufs

Im gesamten Wasserkreislauf ist der Wald und insbesondere der Waldboden ein wichtiger Zwischenspeicher. Der Waldboden speichert das Wasser und gibt es allmählich wieder an die Vegetation oder das Grundwasser ab. Wir Menschen beziehen es dann vom Grundwasser als Trinkwasser.

Kohlenstoffspeicherung

Der Waldboden speichert Kohlenstoff in Form von Humus. In der Schweiz speichert ein Waldboden durchschnittlich

Das WSL-Bodenprobenarchiv

Das WSL-Bodenarchiv (Pedothek) beherbergt gegen 12 000 Oberbodenproben vom ersten Schweizerischen Landesforstinventar (1982 bis 1986, im 1 km-Netz) und Proben von über 1600 Waldbodenprofilen mit durchschnittlich 1,2 m Bodenproftiefe und rund sechs Bodenproben pro Bodenprofil (Abb. 10).

Sowohl morphologische als auch physikalische und chemische Kennwerte dieser Bodenprofile sind in der WSL-Bodendatenbank gespeichert. Zusätzliche geologische, klimatische und vegetationskundliche Angaben machen diese Datenbank zu einem wertvollen Instrument, beispielsweise für die Abschätzung des Kohlenstoffvorrates in Schweizer Waldböden (NUSSBAUM *et al.* 2014) oder für die Vorhersage der Baumartenverbreitung in Schweizer Wäldern (WALTHERT und MEIER 2017).

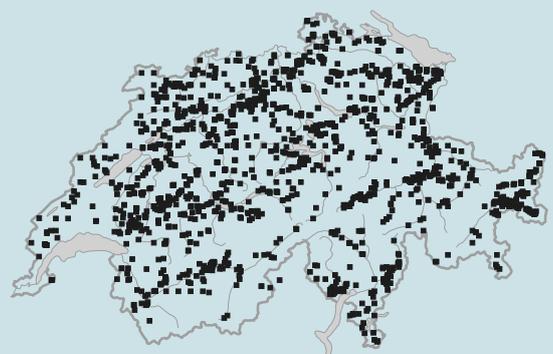


Abb. 10. WSL-Bodenarchiv und Verteilung der rund 1600 Waldbodenprofile in der Schweiz, deren Bodenproben im Bodenarchiv aufbewahrt werden.

rund 140 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar. Dies sind etwa 20 Prozent mehr als die Kohlenstoffmenge welche die Bäume – in Baumstämmen, Blättern, Nadeln und Wurzeln – speichern (HAGEDORN *et al.* 2018). Durch das Speichern des Kohlenstoffs bindet der Boden klimawirksame Treibhausgase, z. B. Kohlendioxid.

Filterfunktion

Der Waldboden dient als Filter, denn er reinigt das Regenwasser und andere Einträge, indem die darin gelösten Stoffe sowie Schwebstoffe (Staub) an die Bodenmatrix (Humus, Mineralerde) gebunden werden. Im Falle von Schwermetallen können diese Schadstoffe im Waldboden angereichert werden, da sie sich von der Bodenmatrix nur schwerlich wieder ablösen lassen.

Lebensraum für Lebewesen

Der Waldboden bietet unzähligen Mikroorganismen, Bodentieren und Waldpflanzen einen Lebensraum (siehe auch Merkblatt «Der Waldboden lebt – Vielfalt und Funktion der Bodenlebewesen»). Viele Organismen kommen nur im Wald vor, ohne Wald und seinen Boden könnten diese Organismen nicht überleben.

Regulation des Klimas durch klimawirksame Treibhausgase

Durch den Abbau von organischem Material im Waldboden werden klimawirksame Gase wie Kohlendioxid, Lachgas und Methan produziert. Die hochwirksamen Treibhausgase Lachgas und Methan entstehen im Wald nur dann, wenn der Boden sauerstoffarm ist, das heisst, wenn der Boden mit Wasser gesättigt ist, zum Beispiel am Rand von Hochmooren.

Nahrungsquelle

Wurzeln und Pilze werden nicht nur von Bodenorganismen, sondern auch von Menschen verzehrt. Besonders zu erwähnen sind Steinpilze, Pfifferlinge und Trüffel, die nur bei bestimmten Baumarten wachsen und mit den Baumwurzeln eine Vergesellschaftung eingehen, die sogenannte Mykorrhiza (siehe auch Merkblatt «Mykorrhiza – eine faszinierende Lebensgemeinschaft im Wald»)

Nicht alle Waldböden erfüllen die Bodenfunktionen gleich gut. Hierfür entscheidend sind die Eigenschaften der einzelnen Böden.

Der Waldboden – ein Spiegel unserer Gesellschaft

Die Ressource Boden ist eine wichtige Lebensgrundlage und in menschlichen Zeitmassstäben nicht erneuerbar (BAFU 2017). Unsere Waldböden sind jedoch vielfältigen Belastungen ausgesetzt, wodurch ihre natürliche Funktionsfähigkeit gefährdet wird. Die Spannweite der Belastungen reicht von Verdichtung über Versauerung durch übermässige Stickstoffeinträge bis zur Belastung mit Schwermetallen.

Verdichtung

Bodenverdichtung entsteht, wenn bei ungünstigen Bedingungen, zum Beispiel in Nässeperioden, auf empfindlichen Waldböden mit schweren Forstmaschinen gearbeitet wird. Es muss zumindest lokal mit Einbussen der Bodenfunktionen und der Bodenfruchtbarkeit aufgrund der Bodenverdichtung gerechnet werden (siehe Merkblatt «Physikalischer Bodenschutz im Wald. Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen»). Dank gezielter Schulung des Forstpersonals sind die Betriebsleiter und die Maschinenführer für diese Problematik heutzutage sensibilisiert und sie können dadurch dem Boden mit geeigneten Massnahmen besser Sorge tragen.

Versauerung

Die Versauerung der Böden durch übermässigen Stickstoffeintrag beeinträchtigt nicht nur die Bäume, sondern auch die Waldböden, insbesondere deren Biodiversität und deren Funktionen. Gemäss dem Bundesamt für Umwelt BAFU konnte die anthropogene Versauerung der Waldböden bis zum heutigen Tag zwar gebremst aber nicht gestoppt werden (BAFU 2017).

Schwermetalle

Schwermetalle werden hauptsächlich von der Industrie emittiert und gelangen über die Luft in die Waldböden. Dieser Umstand hat dazu geführt, dass es in der Schweiz praktisch keine unbelasteten Waldböden mehr gibt (BAFU 2017). Auch heute werden weiterhin Schwermetalle, wie z. B. Quecksilber, in die Waldböden eingetragen – dank strengerer Luftreinhaltevorschriften jedoch in deutlich geringeren Mengen als früher.

Bodenschutz: Den Waldboden schützen

Der Schutz der Böden in der Schweiz ist seit dem Inkrafttreten des Umweltschutzgesetzes im Jahr 1985 rechtlich geregelt. Das Gesetz bezweckt insbesondere die langfristige Erhaltung der biologischen Vielfalt und der Fruchtbarkeit der Böden, sowie die Reduktion von Belastungen und Gefährdungen. Die Bodenfunktionen sind zwar nicht explizit erwähnt, der Begriff «Bodenfruchtbarkeit» ist jedoch untrennbar mit den Bodenfunktionen verbunden (BAFU 2017).

Der Schutz der Böden vor physikalischen (z. B. Verdichtung, Erosion) und chemischen Belastungen (z. B. übermässiger Eintrag von Stickstoff, Schwefel und Schwermetall) ist im Umweltschutzgesetz explizit erwähnt. In den vergangenen Jahren konnten durch gezielte Massnahmen (z. B. durch den Einsatz von Katalysatoren bei Autos, Einsatz von Filtern in Verbrennungsanlagen) die Einträge von Schadstoffen in die Wälder stark reduziert werden (BAFU 2017). Problematisch sind aber die nach wie vor zu hohen Stickstoffeinträge (GUNTERN *et al.* 2020).

Weiterführende Literatur

- BAFU (Hrsg.) 2017: Boden in der Schweiz. Zustand und Entwicklung. Stand 2017. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand 1721: 86 S.
- BLASER, P.; ZIMMERMANN, S.; LUSTER, J.; WALTER, L.; LÜSCHER, P., 2005: Waldböden der Schweiz. Band 2. Regionen Alpen und Alpensüde. Hep Verlag, Bern.
- EGLI, S.; BRUNNER, I., 2011: Mykorrhiza. Eine faszinierende Lebensgemeinschaft im Wald. 3. Aufl. Merkbl. Prax. 35:8 S.
- FREY, H.U.; DOUTAZ, J.; LÜSCHER, P.; SCIACCA, S., 2010: Überblick über typische Waldstandorte der Schweiz – Exkursionsführer. 4. Auflage, Zürich und Birmensdorf.
- GREINER, L.; KELLER, A.; GRÉT-REGAMEY, A.; PAPRITZ, A., 2017: Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services. Land Use Policy 69: 224–237.
- GUNTERN, J.; EICHLER, A.; HAGEDORN, F.; PELLISIER, L.; SCHWIKOWSKI, M.; SEEHAUSEN, O.; STAMM, C.; VAN DER HEIJDEN, M.; WALDNER, P.; WIDMER, I.; ALTERMATT, F., 2020: Übermässige Stickstoff- und Phosphoreinträge schädigen Biodiversität, Wald und Gewässer. Swiss Academies Factsheet 15: 8 S.
- HAGEDORN, F.; KRAUSE, H.-M.; STUDER, M.; SCHELLENBERGER, A.; GATTINGER, A., 2018:

- Boden und Umwelt. Organische Bodensubstanz, Treibhausgasemissionen und physikalische Belastung von Schweizer Böden. Thematische Synthese TS2 des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (nfp 68), Bern.
- LÜSCHER, P.; FRUTIG, F.; SCIACCA, S.; SPIJEVAK, S.; THEES, O., 2019: Physikalischer Bodenschutz im Wald. Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen. 3. überarbeitete Aufl. Merkbl. Prax. 45: 12 S.
- LÜSCHER, P.; FRUTIG, F.; THEES, O., 2016: Physikalischer Bodenschutz im Wald. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen 1607: 159 S.
- NUSSBAUM, M.; PAPRITZ, A.; BALTENSWEILER, A.; WALTHERT, L., 2014: Estimating soil organic carbon stocks of Swiss forest soils by robust external-drift kriging. *Geosci. Model Dev.* 7:1197–1210.
- BLUME, H.-P.; BRÜMMER, G.W.; HORN, R.; KANDELER, E.; KÖGEL-KNABNER, I.; KRETZSCHMAR, R.; STAHR, K.; WILKE, B.-M., 2010: Schef-fer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. Springer Verlag, Berlin.
- WALSER, M.; SCHNEIDER MATHIS, D.; KÖCHLI, R.; STIERLI, B.; MAEDER, M.; BRUNNER, I., 2018: Der Waldboden lebt – Vielfalt und Funktion der Bodenlebewesen. Merkbl. Prax. 60. 12 S.
- WALSER, M., 2003: Bodenkunde – Kursunterlagen für Standortkunde (Vers. 3.4). Einführung in die Bodenkunde. Bodenverdichtung durch Maschineneinsatz. Bodenkunde, WSL. Internes Dokument.
- WALTHERT, L.; ZIMMERMANN, S.; BLASER, P.; LUSTER, J.; LÜSCHER, P., 2004: Waldböden der Schweiz. Band 1. Grundlagen und Region Jura. Hep Verlag, Bern.
- WALTHERT, L.; MEIER, E.S., 2017: Tree species distribution in temperate forests is more influenced by soil than by climate. *Ecol. Evol.* 7:9473–9484.
- ZIMMERMANN, S.; LUSTER, J.; BLASER, P.; WALTHERT, L.; LÜSCHER, P., 2006: Waldböden der Schweiz. Band 3. Regionen Mittelland und Voralpen. Hep Verlag, Bern.

Weiterführende Informationen

www.wsl.ch/waldboden

Kontakt

Marco Walser
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Zürcherstrasse 111
8903 Birmensdorf
marco.walser@wsl.ch

Abbildungen und Fotos

Hanspeter Läser (Abb. 2), Marco Walser (Abb. 1, 3–8), Lorenz Walthert (Abb. 9, 10)

Zitierung

WALSER, M.; KÖCHLI, R.; WALTHERT, L.; ZIMMERMANN, S.; BRUNNER, I., 2021: Den Waldböden verstehen – Vielfalt und Funktion der Waldböden in der Schweiz. Merkbl. Prax. 68.12 S.

Merkblatt für die Praxis ISSN 1422-2876

Konzept

Im **Merkblatt für die Praxis** werden Forschungsergebnisse zu Wissenskonzentratoren und Handlungsanleitungen für Praktikerinnen und Praktiker aufbereitet. Die Reihe richtet sich an Forst- und Naturschutzkreise, Behörden, Schulen und interessierte Laien.

Französische Ausgaben erscheinen in der Schriftenreihe **Notice pour le praticien** (ISSN 1012-6554). Italienische Ausgaben erscheinen in loser Folge in der Schriftenreihe **Notizie per la pratica** (ISSN 1422-2914).

Die neuesten Ausgaben (siehe www.wsl.ch/merkblatt)

- Nr. 67: Natürliche Feinde von Borkenkäfern. B. WERMELINGER *et al.* 2021. 12 S.
- Nr. 66: Der Götterbaum in Schweizer Wäldern – Ökologie und Managementoptionen. S. KNÜSEL *et al.* 2020. 12 S.
- Nr. 65: Feuerökologie montaner Buchenwälder. Waldleistungen und waldbauliche Massnahmen nach Waldbrand. J. MARINGER *et al.* 2020. 12 S.
- Nr. 64: Habitatbäume kennen, schützen und fördern. R. BÜTLER *et al.* 2019. 12 S.
- Nr. 63: Die Roten Waldameisen – Biologie und Verbreitung in der Schweiz. B. WERMELINGER *et al.* 2019. 12 S.
- Nr. 62: Verbissprozent – eine Kontrollgrösse im Wildmanagement. O. ODERMATT 2018. 62: 8 S.
- Nr. 61: Zyklen und Bedeutung des Lärchenwicklers. B. Wermelinger *et al.* 2018. 12 S.
- Nr. 60: Der Waldboden lebt – Vielfalt und Funktion der Bodenlebewesen. M. Walser *et al.* 2018. 12 S.
- Nr. 59: Der Schweizer Wald im Klimawandel: Welche Entwicklungen kommen auf uns zu? B. Allgaier Leuch *et al.* 2017. 12 S.

Managing Editor

Martin Moritzi
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
martin.moritzi@wsl.ch
www.wsl.ch/merkblatt

Die WSL ist ein Forschungsinstitut des ETH-Bereichs.

Layout: Jacqueline Annen, WSL

Druck: Rüegg Media AG

