

S8 Bodenprofil Bodio 2

S8.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

S8.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Das Bodenprofil ist in [Abb. S8.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb. S8.2](#). [Tab. S8.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Bodio 2 zusammen und [Tab. S8.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

S8.1.2 Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit V5 (alpine kristalline Berglandschaft (Granit, Orthogneis), steile Südhänge, Hangneigung >35%). 331 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 2.8% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

S8.1.3 Besonderheiten am Profilort

Am Profilort sind keine Besonderheiten erwähnenswert.

S8.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab. S8.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Der Boden ist von einer geringmächtigen Streuschicht bedeckt. Die überwiegend von Kastanien und Buchen und in geringen Mengen von Pflanzen der Krautschicht stammenden Rückstände werden innerhalb eines Jahres vollständig zersetzt. Mit der Horizontfolge L-Ah wird die Humusform als Mull klassiert.

Morphologisch lassen sich im Mineralboden unter der Streuschicht vier Horizonte unterscheiden. In 0 bis 2 cm Tiefe ist der Boden bräunlich schwarz gefärbt. Die in der braunen Matrix örtlich etwas hellere Farbe zwischen 2 und 15 cm Tiefe ist ein Hinweis auf eine Auswaschung. In 15 bis 65 cm Tiefe

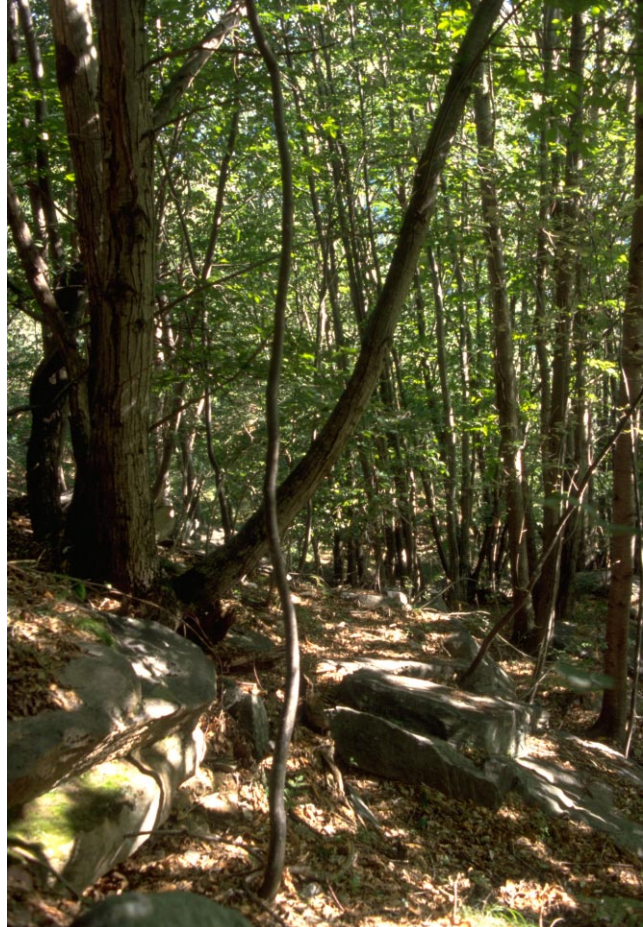


Abb. S8.1 (links) Bodenprofil Bodio 2

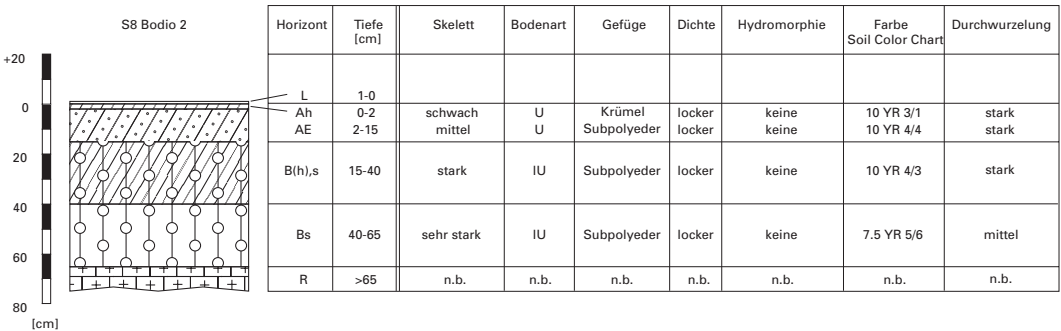
Abb. S8.2 (rechts) Bestand am Profilort Bodio 2

Tab. S8.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Bodio 2	
Lokalname	Bodio 2 (Kanton Tessin, Gemeinde Bodio)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1273, Biasca Koordinaten 714570/137460
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972)	Nr. 15: Bergseggen-Buchenwald (<i>Carici albae-Fagetum caricetosum montanae</i>)
Horizontfolge	L-Ah-AE-B(h),s-Bs-R
Humusform	Mull
Bodentyp	Braunerde, podsoliert
Bodentyp nach FAO (1988)	Humic Cambisol

Tab. S8.2 Bodenbildungsfaktoren am Profilort Bodio 2			
Relief	Höhe ü. M.	830 m	
	Exposition	SW	
	Neigung	50 %	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Penninikum; Metagranitoide (Granitgneise, vorwiegend Orthogestein)	
	Lithofazies (nach Tuchschnid 1995)	Nr.3: Orthogneise physikalische Verwitterbarkeit Gestein: mittel chemische Verwitterbarkeit Gestein: klein Tongehalt Gestein: sehr niedrig	
Klima	T/N Jahresmittel	10.3°C/1777 mm	
	T/N Januarmittel	2.5°C/83 mm	
	T/N Julimittel	19.8°C/141 mm	
	Tage mit Schneedecke	77	
	Wärmegliederung	mild	
	Länge der Vegetationsperiode	205–210 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (14 m Höhe)	100 %	80 % Edelkastanie (<i>Castanea sativa</i>) 3 % Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i>)
	Strauchschicht	5 %	–
	Krautschicht	25 %	Berg-Segge (<i>Carex montana</i>) Schneeweisse Hainsimse (<i>Luzula nivea</i>) Strand-Pfeifengras (<i>Molinia arundinacea</i>) Adlerfarn (<i>Pteridium aquilinum</i>) Salbeiblättriger Gamander (<i>Teucrium scorodonia</i>)
	Moosschicht	1 %	–

Tab. S8.3

Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Bodio 2
 Bodenart: U Schluff, IU Schluff-Lehm; n.b. nicht bestimmt



erscheint der Boden unregelmässig matt gelblich-braun bzw. hell braun gefärbt. Diese Farbe deutet eine Anreicherung an. In 65 cm Tiefe folgt das felsige, blockige Ausgangsgestein. Der Skelettgehalt nimmt mit der Profiltiefe rasch zu. Die Bodenart der Feinerde entspricht bis 15 cm Tiefe einem Schluff, darunter bis zum Fels einem Schluff-Lehm. Die oberste Zone weist eine Krümelstruktur auf, sonst hat die Feinerde des Bodens eine Subpolyederstruktur. Der Boden ist profilumfassend locker. Im ganzen Profil sind keine hydromorphen Merkmale zu erkennen.

Aufgrund der morphologischen Merkmale des Profils werden die Horizonte mit L-Ah-AE-B(h),s-Bs-R gekennzeichnet und der Boden als podsolierte Braunerde klassiert. Die Podsolierung ist morphologisch nur undeutlich zu erkennen.

Ergänzende Bodenmerkmale

Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde im ganzen Profil sehr sauer. Im Boden sind über dem R-Horizont keine Grenzen für das Wurzelwachstum sichtbar. Die Durchwurzelung ist bis 40 cm Tiefe stark, darunter bis zum Fels mittel.

S8.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

S8.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

Skelettgehalt

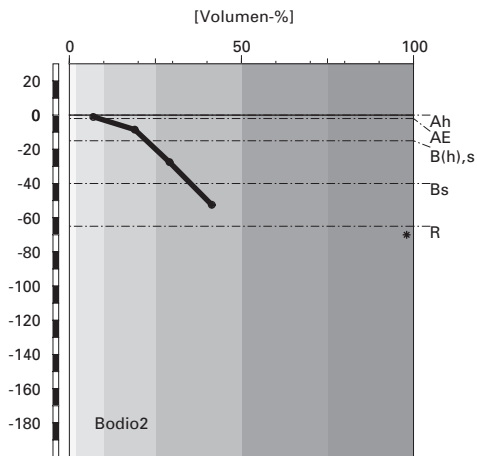
Der Skelettgehalt nimmt bis 65 cm Tiefe stark zu ([Abb. S8.3](#)). Der Ah-Horizont ist schwach, der AE-Horizont mittel und der Rest des Profils stark skeletthaltig. Die Gründigkeit des Bodens ist durch einen Gesteinsblock in 65 cm Tiefe begrenzt. Das Bestandesphoto ([Abb. S8.2](#)) deutet an, dass vielerorts grobe Blöcke im Boden vorhanden sind, so dass die Gründigkeit des Bodens kleinräumig variiert.

Bodenart

Die Feinerde ist im ganzen Profil sehr sandig. Schluff ist mit 17–30% mässig vertreten, während Ton nur in kleinen Anteilen vorhanden ist ([Abb. S8.4](#)). Der Sand- und Schluffanteil ist in allen Horizonten ziemlich konstant. Der Tongehalt ist in den obersten 15 cm etwa doppelt so gross wie in den darunter liegenden Horizonten. In Bezug auf den Tongehalt handelt es sich, je nach Horizont, um leichten bis sehr leichten Boden.

Bei der im Profil mittels Fingerprobe geschätzten Korngrössenverteilung (Feldmethode) wurde der Schluffanteil überschätzt ([Tab. S8.3](#)).

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

>75	extrem stark
50-75	sehr stark
25-50	stark
10-25	mittel
2-10	schwach
<2	sehr schwach

Bodenart

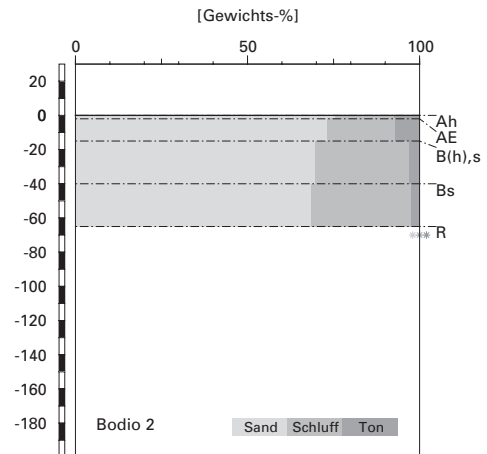


Abb. S8.3 (links) Skelettgehalt

Abb. S8.4 (rechts) Bodenart

Dichte der Feinerde

Die Dichte der Feinerde ist im gesamten Profil kleiner als 0.65 g/cm^3 (Abb. S8.5) und damit äusserst gering. Der Boden ist also ausserordentlich locker, was auch bei der morphologischen Beschreibung des Bodens protokolliert wurde (Tab. S8.3).

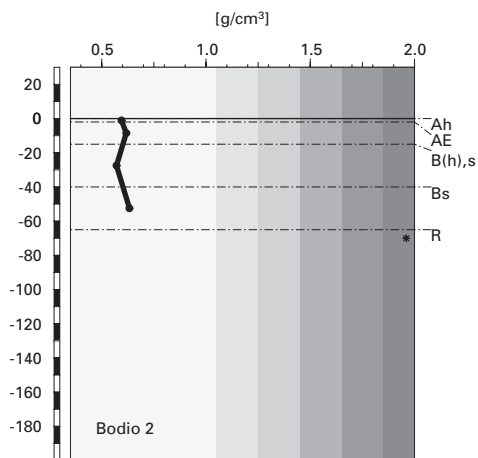
Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Alle Horizonte dieses überaus lockeren und tonarmen Bodens sind hoch durchlässig (Abb. S8.6). Beim Übergang zum Felsblock im Untergrund ist die Durchlässigkeit gehemmt, so dass das Wasser auf dem Fels seitwärts abfließt.

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität bis 65 cm Tiefe beträgt 115 l/m^2 . Damit wird die speicherbare Wassermenge als mittel klassiert (Abb. S8.7). Vor allem

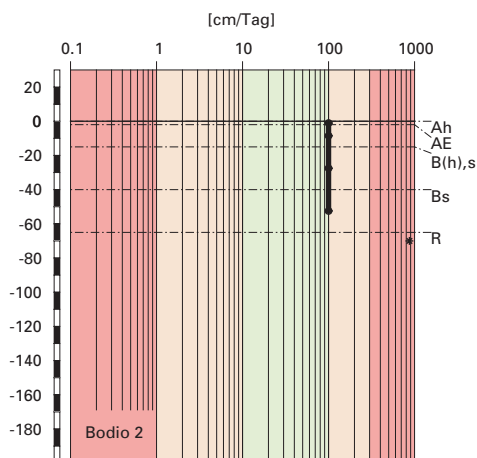
Feinerde-Dichte



Klassierung Dichte

>1.85	sehr hoch
1.65-1.85	hoch
1.45-1.65	mittel
1.25-1.45	gering
1.05-1.25	sehr gering
<1.05	äusserst gering

gesättigte Wasserleitfähigkeit (k_{sat})



Klassierung k_{sat}

>300	äusserst hoch
100-300	sehr hoch
40-100	hoch
10-40	mittel
1-10	gering
<1	sehr gering

Abb.S8.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb.S8.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

die begrenzte Gründigkeit des Bodens und der relativ grosse Skelettgehalt wirken sich negativ auf das Speichervermögen aus.

S8.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Diese Braunerde ist so stark durchlässig (Abb.S8.6), dass keine Ver-nässungsmerkmale vorkommen. Der Felsblock im Untergrund leitet das Sickerwasser anscheinend seitwärts ab, so dass es im Boden zu keinem Wasserstau kommt. Phasen mit Wassersättigung treten demnach höchst-ens für kurze Zeit auf.

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Der Felsblock in 65 cm Tiefe begrenzt den Wurzelraum aller Baumarten. Die vorhandene Gründigkeit von 65 cm wird als mittel klassiert. Die Gründigkeit variiert vermutlich kleinräumig stark.

pflanzenverfügbares Wasser

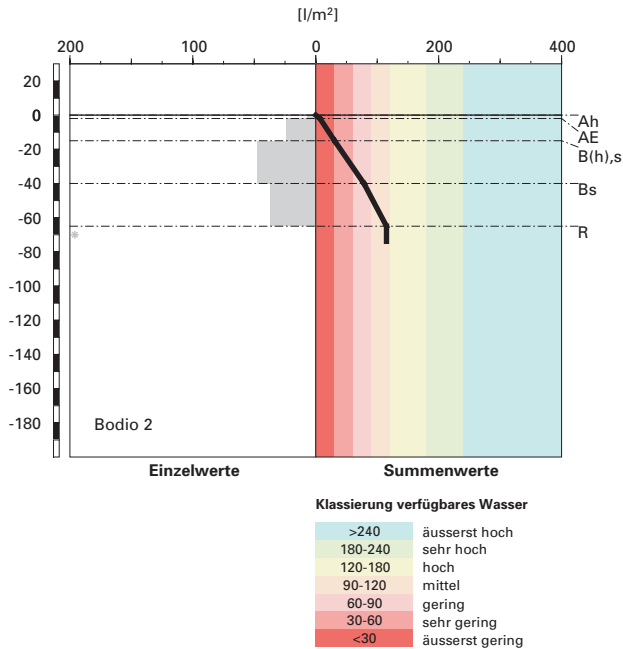


Abb. S8.7 Pflanzenverfügbares Wasser

Bis 65 cm Tiefe können die Wurzeln aus physikalischer Sicht jedoch ungehindert wachsen, weil der Boden sehr locker und die Durchlüftung stets ausreichend ist.

Baumwurzeln sind bis zur Profilsohle vorhanden. Wie tief die Bäume die zwischen den Felsblöcken vorhandenen Spalten durchwurzeln, ist nicht bekannt.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Nach unseren Berechnungen, welche sich auf einen Wurzelraum von 65 cm Mächtigkeit beziehen, beginnt der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 15 Tagen an Wassermangel zu leiden. Da die Bäume diesen heterogenen Boden stellenweise tiefer als 65 cm durchwurzeln, kann Trockenstress auch später eintreten. Das Risiko für Trockenstress beurteilen wir an diesem Buchenstandort (EK 15) unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen als mässig. Unter den vorhandenen Baumarten (Buche, Edelkastanie) ist besonders die Buche gefährdet.

Bodenbefahrbarkeit

Der Waldbestand kann nicht befahren werden, weil zu viele Gesteinsblöcke an der Bodenoberfläche liegen (Abb. S8.2) und der Hang mit einer Neigung von rund 50 % zu steil ist.

S8.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

S8.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Der Baumbestand in Bodio setzt sich praktisch zu 100 % aus Edelkastanie und einzelnen beigemischten Buchen zusammen. Der Deckungsgrad der Baumkronen erreicht 100 %. Trotzdem kann auf einem Viertel der Fläche eine Krautschicht vor allem aus Gräsern und einzelnen Adlerfarnen gedeihen. Die Streu stammt jedoch vor allem aus der Baumschicht und gilt als mässig bis schlecht abbaubar. Zur Zeit der Profilaufnahme war nur eine 1 cm dicke Streuschicht vorhanden.

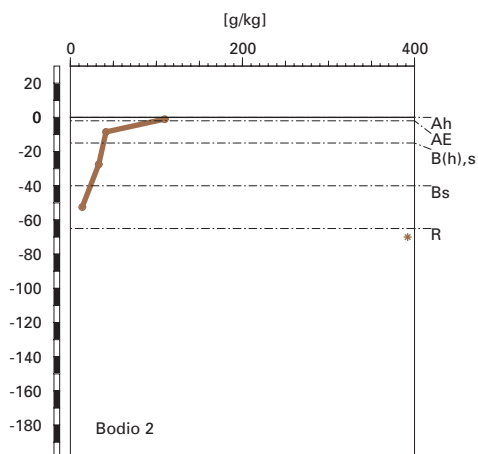
Der Ah-Horizont ist deutlich dunkler als der AE-Horizont, welcher seinerseits gegenüber dem B(h),s-Horizont etwas heller ist. Diese Farbunterschiede stehen aber nur teilweise im Einklang mit der Verteilung der organischen Substanz. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) nehmen vom Ah-Horizont (11 %) mit der Tiefe erst rasch, dann nur noch langsam ab (Abb. S8.8). Zu bemerken ist, dass der dunkel gefärbte B(h),s-Horizont weniger Corg besitzt (3.5 %) als der deutlich heller gefärbte AE-Horizont (4.1 %). In den tiefer liegenden Horizonten ist die Abnahme linear auf minimal 1.4 % im Bs-Horizont. Aus diesen Gehalten ergibt sich ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 85 t/ha (Abb. S8.9).

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt nimmt mit der Profiltiefe von rund 8 % im Ah- auf 2 % im Bs-Horizont ab (Abb. S8.4). Die Abnahme ist nicht kontinuierlich. Die Ah- und AE- sowie die B(h),s- und Bs-Horizonte haben jeweils einen ähnlichen Tongehalt.

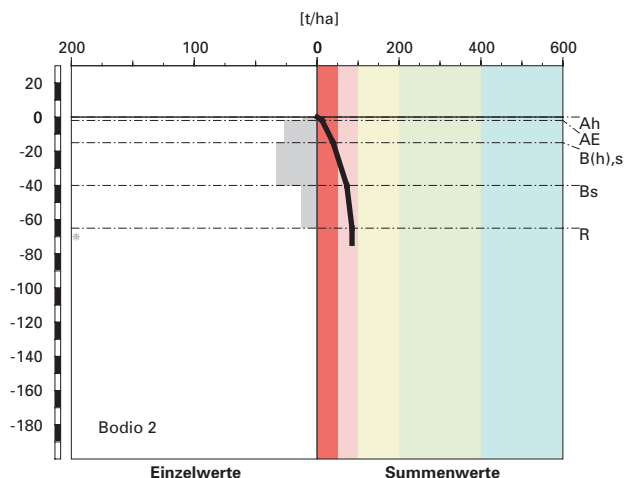
Das Dithionit- (Fe_d) und das Oxalat-extrahierbare Eisen (Fe_o) haben eine identische Tiefenverteilung (Abb. S8.10). Ihr Minimum befindet sich im Ah-Horizont. Unterhalb des Ah-Horizontes nehmen beide Gehalte bis zum Maximum im B(h),s-Horizont zu und dann in den Bs-Horizont wieder leicht ab. Bezieht man die Gehalte allerdings auf humusfreie Mineralerde, liegt

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})



Klassierung Vorrat

>400	sehr hoch
200-400	hoch
100-200	mittel
50-100	gering
<50	sehr gering

Abb. S8.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

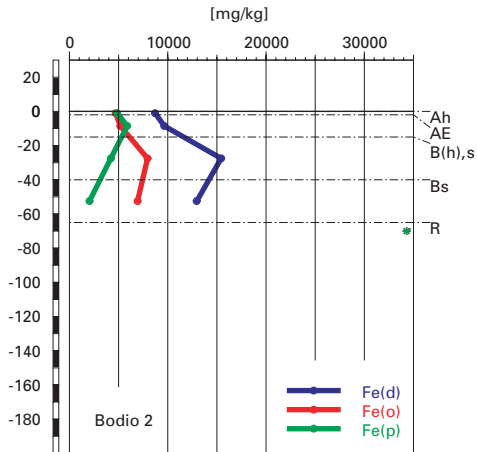
Abb. S8.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

das Minimum im AE-Horizont und die Gehalte im Ah-Horizont sind um 0.65 bzw. 0.38 g/kg grösser. Der Gehalt des Pyrophosphat-extrahierbaren Eisens (Fe_p) nimmt vom Ah- bis zum Maximum im AE-Horizont zu und in den tiefer gelegenen Horizonten bis zum Minimum im Bs-Horizont wieder ab (Abb. S8.10).

Das Oxalat- (Al_o) und das Pyrophosphat-extrahierbare Aluminium (Al_p) weisen eine ähnliche Tiefenverteilung ihrer Gehalte auf (Abb. S8.11). In den beiden obersten Horizonten sind diese praktisch gleich gross und nehmen vom Minimum im Ah-Horizont bis in den AE-Horizont zu. Danach ist die Zunahme beim Al_o ausgeprägter und sein Maximum befindet sich im Bs-Horizont. Beim Al_p hingegen ist die Zunahme vom Ah- bis zum Maximum im B(h),s-Horizont linear.

Das Fe_o/Fe_d-Verhältnis ist im ganzen Bodenprofil konstant bei rund 0.5. Die Al_p/Al_o- und Fe_p/Fe_o-Verhältnisse sind im Ah- und AE-Horizont am weitesten und haben Werte, die geringfügig grösser als 1 sind (Abb. S8.12). Unterhalb des AE-Horizontes werden beide Verhältnisse kleiner. Sie haben das Minimum im Bs-Horizont bei 0.4 bzw. 0.3.

Eisen-Oxide (Gehalte)



Aluminium-Oxide (Gehalte)

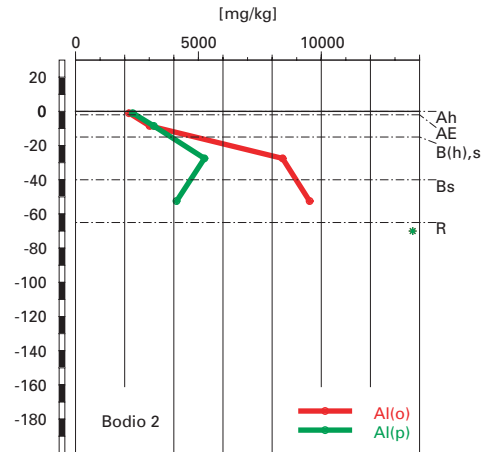


Abb.S8.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb.S8.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide (Verhältnisse)

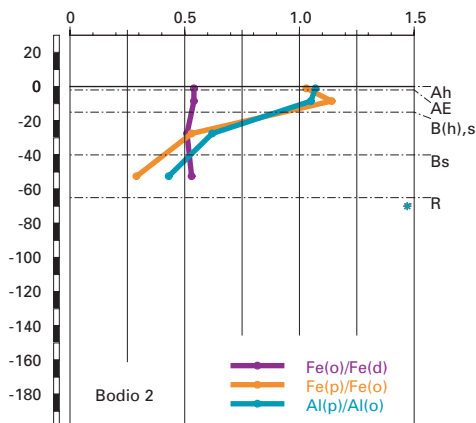


Abb.S8.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Die Streu am Profilort Bodio 2 ist nur mässig bis schlecht abbaubar. Trotzdem wird sie innerhalb eines Jahres praktisch vollständig abgebaut. Zur Zeit der Profilaufnahme war nur eine 1 cm dicke Streuschicht vorhanden. Zum schnellen Abbau trägt sicher das milde Klima mit durchschnittlichen jährlichen Niederschlägen von 1777 mm und einer Jahresdurchschnittstemperatur von 10.3°C bei. Allerdings ist der Standort SW-exponiert, was auf der Höhe von 830 m.ü.M. ein mässiges Trockenstressrisiko bedeutet. Die Edelkastanien sind zu einem grossen Teil relativ jung und sie bilden auf dieser Höhe nur wenige Früchte. Damit fallen mit der Streu nur kleine Mengen der extrem schwer abbaubaren Fruchtschalen an. Das C/N- bzw. C/P-Verhältnis im Ah-Horizont wird mit 20 bzw. 333 als mittel klassiert. Zusammen mit der Krümelstruktur im Ah-Horizont, welche Ausdruck einer regen biologischen Aktivität ist, kann im Ah-Horizont eine mittlere Mineralisierungsrate angenommen werden. Die nicht mineralisierte organische Substanz wird zu Humusstoffen aufgebaut. Zudem wird gelöste organische Substanz mit dem Sickerwasser in die Tiefe verlagert, fällt wieder aus und adsorbiert an mineralische Oberflächen. Damit wird sie stabilisiert und vor weiterem Abbau geschützt. Wie auf der Alpensüdseite häufig beobachtet, nimmt das C/N-Verhältnis der organischen Substanz bis in den B(h),s-Horizont auf den maximalen Wert zu. Damit dürfte die Mineralisierung in diesem Horizont nur noch niedrig sein und es kann sich organische Substanz akkumulieren, weil der Eintrag der verlagerten organischen Substanz grösser ist als die durch biologische Aktivität bedingte Konsumation. Trotz den mittleren C_{org} -Gehalten konnte sich ein im gesamtschweizerischen Vergleich nur geringer Vorrat an organischem Kohlenstoff von 85 t/ha aufbauen. Das liegt daran, dass der Boden viel Skelett enthält und in 65 cm Tiefe durch Fels begrenzt ist, also nur wenig Feinerde vorliegt.

Die Tiefenverteilungen von Al_o und Al_p weisen auf eine Verlagerung von Aluminium hin. Aluminium wird einerseits zusammen mit organischer Substanz verlagert, was am Maximum von Al_p im B(h),s-Horizont ersichtlich ist (Abb. S8.11). In der sehr sauren Feinerde ist aber auch eine Verlagerung in gelöster anorganischer Form möglich. Die mit der Profiltiefe grösser werdenden Differenzen zwischen Al_o und Al_p können unter anderem auf diese Weise erklärt werden. Der Verlagerungsindex von Al_o , gebildet aus dem Quotienten des Gehaltes im Bs- und jenem im Ah-Horizont, beträgt 3.5. Da ein eigentliches Maximum von Al_o im Profil fehlt, ist der Verlagerungsindex vermutlich noch grösser. Es muss angenommen werden, dass Aluminium bereits aus der erschlossenen Bodentiefe von 65 cm ausgewaschen wurde.

Bei den Eisenverbindungen sind die Anzeichen der Verlagerung etwas widersprüchlich. Der pH-Wert schwankt zwischen 3.7 im Ah-Horizont und 4.8 im Bs-Horizont (Abb. S8.13). Bei diesen pH-Verhältnissen kann Eisen nur an lösliche organische Verbindungen gebunden verlagert werden. Die Tiefenverteilung von Fe_p deutet eine schwach ausgeprägte Verlagerung von Eisen zusammen mit organischer Substanz im Oberboden an (Abb. S8.10). Hingegen lassen die Interpretation der Tiefenverteilungen von Fe_d und Fe_o eine tiefere, bis mindestens in den B(h),s-Horizont reichende Verlagerung von Eisen vermuten (Abb. S8.10). Werden die Fe_d - und Fe_o -Gehalte auf humusfreie Mineralerde bezogen, wird bei beiden Fraktionen eine Verarmung im AE-Horizont erkennbar. Da entsprechende Anzeichen einer derart tief reichenden Fe-Verlagerung bei Fe_p fehlen, muss angenommen werden, dass Eisen auch unabhängig von der organischen Substanz in gelöster anorganischer Form verlagert wird. Dies ist bei pH-Werten von 4.0 im AE- und 4.7 im B(h),s-Horizont schwer vorstellbar, weshalb die Interpretation der Tiefenverteilung von Fe_d und Fe_o nicht auf Verlagerung zurückgeführt werden kann und unsicher bleibt.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis liegt konstant zwischen 0.5 und 0.6 (Abb. S8.12) und ist damit im ganzen Boden relativ gross. Offensichtlich wird die Rekristallisation der amorphen Eisenverbindungen durch die profilumfassend vorhandenen Humusstoffe behindert. In den obersten beiden Horizonten sind alle Al- und Fe-Verbindungen der amorphen Fraktion mit der organischen Substanz assoziiert, was die sehr grossen Al_p/Al_o - und Fe_p/Fe_o -Verhältnisse von 1.0 bis 1.1 belegen (Abb. S8.12). Mit dem zur Tiefe hin abnehmenden Humusgehalt nimmt auch der Anteil der organischen, amorphen Al- bzw. Fe-Verbindungen bis in den Bs-Horizont auf 40 bzw. 30 % der gesamten amorphen Fraktion ab.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde der Boden als podsoliierte Braunerde klassiert. Die Interpretation der Tiefenverteilung der Al- und Fe-Verbindungen sowie der organischen Substanz bestätigen diese Klassierung grundsätzlich. Es bestehen allerdings Unsicherheiten bezüglich des Ausmasses der Eisenverlagerung. Aufgrund der Tiefenverteilung von Fe_p ist von einer schwachen, erst beginnenden Eisenverlagerung auszugehen, was für eine podsoliierte Braunerde aber durchaus charakteristisch ist.

S8.4 Themenbereich «Säurezustand»

S8.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Der pH-Wert nimmt in den obersten 40 cm Tiefe des Bodens von 3.7 auf 4.7 stark zu. In grösserer Tiefe ist die Zunahme auf 4.8 nur noch gering (Abb. S8.13). Der sehr stark saure Ah-Horizont befindet sich in der Säureklasse 5. Im stark sauren AE-Horizont liegt der pH-Wert im unteren Bereich der Säureklasse 4 und im mässig sauren Unterboden in der Säureklasse 3.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist im ganzen Boden zum überwiegenden Teil mit sauren Kationen, insbesondere mit Aluminium belegt (Abb. S8.14). Im Oberboden finden sich neben Aluminium auch austauschbare Protonen und geringe Mengen Eisen am Kationenaustauscher. Austauschbare Nährstoffkationen sind in grösseren Mengen nur im bloss 2 cm mächtigen Ah-Horizont gebunden. In allen anderen Horizonten sind nur noch sehr geringe Mengen an Nährstoffkationen in austauschbarer Form gebunden. Im Unterboden sind die austauschbaren K-Gehalte rund doppelt so gross wie die austauschbaren Mg-Gehalte.

Die Basensättigung beträgt im Ah-Horizont beinahe 50% und wird als mittel klassiert. In allen anderen Horizonten ist sie mit rund 10 bis 20% gering bis mässig (Abb. S8.15).

S8.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

Insgesamt sind rund 82% der Feinerde des gesamten Profils mit sauren Kationen belegt, womit der Boden stark versauert ist. Die Versauerungsfront hat den in 65 cm Tiefe anstehenden Fels erreicht. Diese starke Versauerung scheint für Böden in Kastanienwälder nicht aussergewöhnlich zu sein, insbesondere dann wenn die Böden aus einem schwer verwitterbaren Gestein entstanden sind. Der Standort befindet sich in einem Kastanienwald auf rund 830 m. ü. M. an einem SW-exponierten Hang und das Ausgangsgestein besteht aus einem schwer verwitterbaren Gneis. Obwohl ungleich weniger stark als der Boden in Pian d'Arf (S17) an einem vergleichbaren Standort entwickelt, erreicht die Versauerung in beiden Profilen ein beinahe identisches Ausmass.

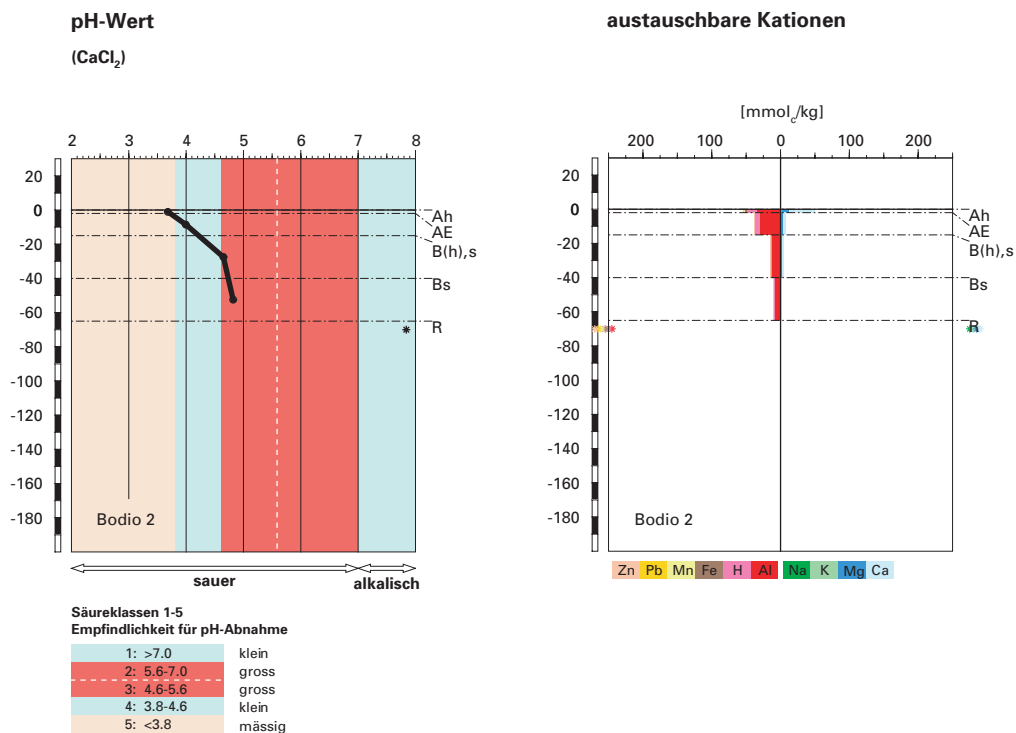


Abb.S8.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb.S8.14 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

Der Boden ist in den obersten 15 cm Tiefe stark bis sehr stark sauer und befindet sich im Eisen- oder Aluminium-Pufferbereich. Die Säurepufferung erfolgt im Ah-Horizont durch Auflösung von Eisen- und Aluminiumverbindungen, im AE-Horizont nur durch Auflösung von Aluminiumverbindungen. Trotzdem ist die Eisenbelegung des Kationenaustauschers im AE-Horizont mit 1.5% bedeutend. Dies ist eine Folge der Eisenverlagerung in dieser podsolierten Braunerde. Eisen wird im Ah-Horizont gelöst, verlagert und im AE-Horizont zumindest teilweise in austauschbarer Form gebunden. Obwohl die Pufferung im Oberboden durch Auflösung von Aluminium- und Eisenverbindungen erfolgt und diese dreiwertigen Kationen die Nährstoffkationen vom Austauscher zu verdrängen vermögen, ist die Basensättigung im Ah-Horizont mit rund 47% relativ gross. Das ist auf die periodische Rückführung von Nährstoffkationen mit der Streu zurückzuführen. Der Unterboden ist mässig sauer. Hier erfolgt die Säurepufferung durch Protonierung variabler Ladungen sowie durch Kationenaustausch.

Basensättigung

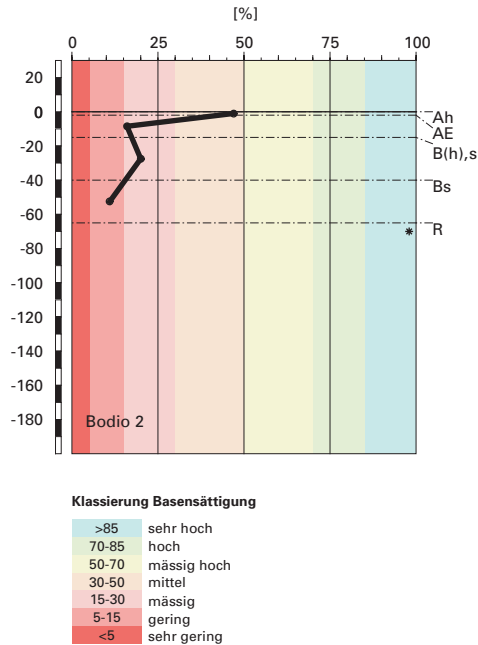


Abb. S8.15 Basensättigung

Auch die Silikatverwitterung spielt im Unterboden eine entscheidende Rolle, denn auf andere Weise lassen sich die im Vergleich zu Ca und Mg relativ grossen austauschbaren K-Gehalte nicht erklären.

Risiko für Boden und Pflanzen

Die Empfindlichkeit des Bodens für eine weiter gehende pH-Abnahme ist gross, denn rund 72% der gesamten Feinerde des Bodens befindet sich in der schlecht puffernden Säureklasse 3. Dies betrifft den gesamten Unterboden. Ein spezielles Augenmerk ist auf den Ah-Horizont zu richten, der dem grössten Versauerungsdruck ausgesetzt ist und sich in der mässig puffernden Säureklasse 5 befindet. Es ist zu erwarten, dass der pH-Wert besonders im Oberboden relativ rasch abnehmen wird. Die Säurezufuhr ist in diesen Horizonten am grössten, denn sie sind dem Säureeintrag mit den Niederschlägen sowie den Säuren, die bei der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen gebildet werden, am stärksten ausgesetzt. Bei einer nur ge-

ringfügigen pH-Abnahme wird auch der AE-Horizont, der sich heute im unteren Bereich der gut puffernden Säureklasse 4 befindet, in die Säureklasse 5 absinken, wodurch die Versauerung beschleunigt vor sich gehen wird. Zudem werden Säuren, die in den Unterboden gelangen, in den schlecht puffernden Unterbodenhorizonten eine pH-Abnahme verursachen. Diese Horizonte befinden sich aber nahe der Grenze zur gut puffernden Säureklasse 4. Sobald diese Säureklasse erreicht sein wird, verringert sich das Risiko einer weiteren pH-Abnahme deutlich.

Das Risiko für das Pflanzenwachstum aufgrund von Al-Toxizität ist im gegenwärtigen Zustand klein, denn etwas weniger als 33% der gesamten Feinerde des Profils hat ein BC/Al-Verhältnis im kritischen Bereich < 0.2 . Dies betrifft zudem nur den Bs-Horizont unmittelbar über dem anstehenden Fels. Die BC/Al-Verhältnisse liegen zwischen 0.16 im Bs- und 1.42 im Ah-Horizont (Tab. A286 in Blaser et al. 2005). Allerdings wird das Risiko für eine Beeinträchtigung des Wachstums sensibler Pflanzen bei nur geringer pH-Abnahme im AE-Horizont zunehmen. Das BC/Al-Verhältnis beträgt dort heute 0.24 und liegt nur unwesentlich über dem als kritisch erachteten Wert von 0.2. Als Folge des Nährstoffkreislaufes und der ständigen Zufuhr basischer Kationen mit dem Streufall ist nicht damit zu rechnen, dass der Ah-Horizont in absehbarer Zeit in den kritischen Bereich gelangen wird.

S8.5 Themenbereich «Schwermetalle»

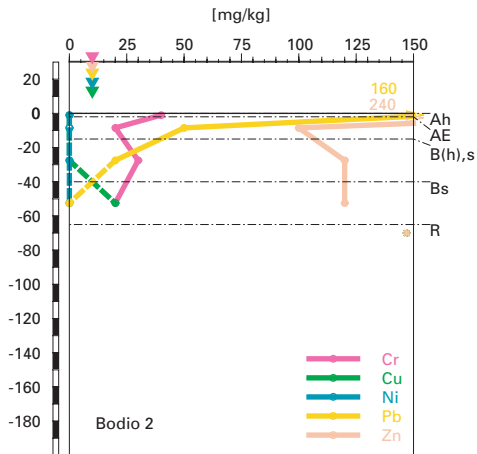
S8.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

In diesem mittelgründigen Boden nimmt der Cr-Gehalt übers ganze Profil betrachtet mit der Tiefe etwas ab, wobei der AE-Horizont ein zweites Minimum aufweist (Abb. S8.16). Zink nimmt vom Ah- zum AE-Horizont hin stark ab. Darunter wird der Gehalt wieder etwas höher. Der Pb-Gehalt nimmt mit der Profiltiefe kontinuierlich ab von einem sehr hohen Gehalt im Ah-Horizont zu einem Gehalt unter der Bestimmungsgrenze im Bs-Horizont. Kupfer ist nur im untersten Horizont nachweisbar, während Ni im ganzen Profil unter der Bestimmungsgrenze liegt.

S8.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Orthogneis (Lithofazies 3) liegt der Pb-Gehalt im BC-Horizont unterhalb, die Gehalte aller anderen Schwer-

Cr, Cu, Ni, Pb, Zn
(effektive Totalgehalte)



Cr, Cu, Ni, Pb, Zn
(HNO₃-extrahierbare Gehalte)

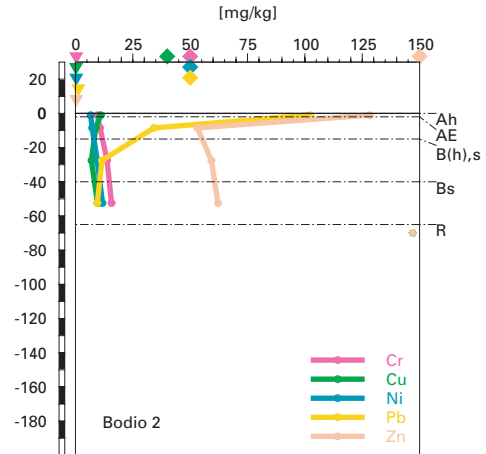


Abb. S8.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. S8.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

metalle oberhalb typischer Wertebereiche. Ein Grund für die vielen Gehalte oberhalb typischer Wertebereiche könnte in der Nähe des Profils zum ehemaligen Stahlwerk Monteforno liegen, ein anderer in den nachfolgend erwähnten Bodenbildungsprozessen.

Anmerkung: Weil der felsige Untergrund, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht beprobt werden konnte, werden für den geochemischen Vergleich die Schwermetallgehalte im Bs-Horizont beigezogen. Die Verteilung der Al-Oxide (Abb. S8.11) deutet darauf hin, dass in dieser podsolierten Braunerde Verlagerungen bis in den Bs-Horizont stattfinden. Deshalb dürften die auf diesem Horizont basierenden Bewertungen eher zu hoch sein.

S8.5.3

Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Für den Ah-Horizont wurden wegen seines hohen Humusgehaltes (Abb. S8.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm³; Tab. A289 in Blaser et al. 2005) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg; Abb. S8.17), da die Dichte kleiner ist als 1 g/cm³.

Bezogen auf die VBBo sind die Konzentrationen und Gehalte der meisten Schwermetalle profilumfassend sehr niedrig bis niedrig. Ausnahmen bilden der erhöhte Pb-Gehalt im AE-Horizont sowie der erhöhte Zn- und der sehr hohe Pb-Gehalt im Ah-Horizont. Letzterer bedeutet eine Überschreitung des Richtwertes der VBBo.

S8.5.4 **Anreicherungs-faktoren**

Weil der felsige Untergrund, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht beprobt werden konnte, wurden die Anreicherungs-faktoren relativ zum Bs-Horizont berechnet. Deshalb können keine Aussagen bezüglich Anreicherung oder Verarmung relativ zum Ausgangsgestein gemacht werden.

Der Ah-Horizont ist gegenüber dem Bs-Horizont deutlich an Cr und Zn angereichert (Tab. S8.4). Umgekehrt sind alle über ihm liegenden Horizonte gegenüber dem Bs-Horizont an Cu verarmt. Wegen des tiefen Ni- und Pb-Gehaltes im Bs-Horizont, konnten für diese Schwermetalle keine Anreicherungs-faktoren berechnet werden.

Die Zn-Anreicherung im Ah-Horizont dürfte vor allem auf die Rückführung dieses Mikronährstoffes mit der Streu im Nährstoffkreislauf zurückzuführen sein.

Die signifikante Cr-Anreicherung im Ah-Horizont hingegen lässt sich nur mit einer anthropogenen Belastung erklären. Die Quelle dürfte das ehemalige Stahlwerk Monteforno sein. Der Verlauf der Anreicherungs-faktoren und die Tiefenverteilung von Cr weisen darauf hin, dass das eingetragene Cr durch die Podsolierungsprozesse erfasst und teilweise vom AE- in den B(h),s-Horizont verlagert wurde.

Die deutliche Verarmung der 3 oberen Horizonte (Tab. S8.4) und die starke Zunahme des Cu-Gehaltes vom B(h),s zum Bs-Horizont (Abb. S8.16) lassen sich gut damit erklären, dass das durch eine besonders starke Affinität zu gelöster organischer Substanz gekennzeichnete Schwermetall mit dieser sehr intensiv verlagert und aus dem Profil ausgewaschen wurde.

Tab. S8.4 Anreicherungs-faktoren						
Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungs-faktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0 – 2	2.59	< 0.65	n.b.	n.b.	2.59
AE	2 – 15	1.16	< 0.58	n.b.	n.b.	0.96
B(h),s	15 – 40	1.32	< 0.44	n.b.	n.b.	0.88
Bs	40 – 65	1.00	1.00	n.b.	n.b.	1.00
R	> 65	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Schwermetallmobilität

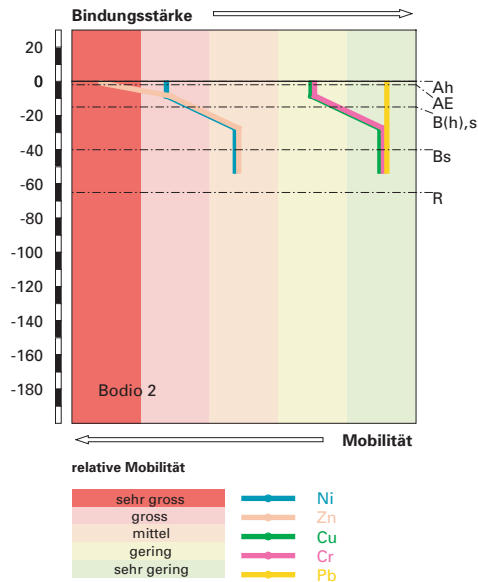


Abb. S8.18 Mobilität der Schwermetalle

Die gegenüber dem Unterboden stark erhöhten Pb-Gehalte im Oberboden (Abb. S8.16 und S8.17) sind ein deutlicher Hinweis auf anthropogene Einträge, die dann in der organischen Substanz im Oberboden angereichert wurden.

S8.5.5

Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

Die Mobilität von Ni und Zn wird im stark bis sehr stark sauren Oberboden als gross bis sehr gross eingestuft (Abb. S8.18). Im nur mässig sauren Unterboden ist sie mittel. Alle übrigen Schwermetalle werden im ganzen Boden als nur wenig mobil geschätzt, wobei die organische Substanz mobilitätsverringert wirkt. Aufgrund der Anreicherungsfaktoren (Tab. S8.4) und der Tiefenverteilung (Abb. S8.16) muss allerdings davon ausgegangen werden, dass die Mobilität von Cr und Cu durch Bindung an gelöste organische Substanz gegenüber der in Abb. S8.18 dargestellten Schätzung erhöht wird. Dadurch besteht ein potentielles Risiko einer entsprechenden Grundwasser-Belastung. Für Cu ist sie jedoch angesichts der tiefen Gehalte eher unbedeutend. Hingegen birgt der relativ hohe Zn-Gehalt im Bs-Horizont bei mittlerer Mobilität ein gewisses Risiko.

S8.5.6 **Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen**

Chrom, Ni und Cu liegen im ganzen Oberboden in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind. Im Ah-Horizont ist allerdings der Pb-Gehalt im Grenzbereich zur Toxizität für Mikroorganismen, und der Zn-Gehalt stellt ein Risiko für Mikroorganismen dar.

S8.6 **Themenbereich «Nährstoffe»**

S8.6.1 **Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden**

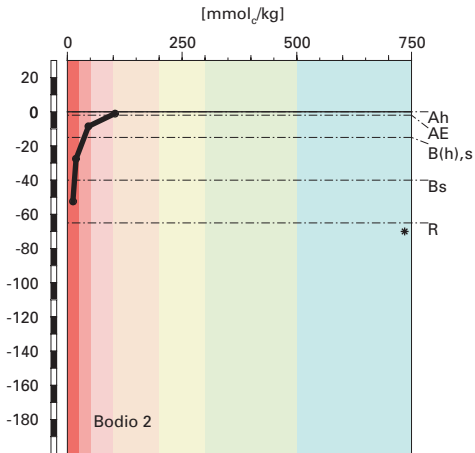
Das Klima wird in diesem SW-exponierten Kastanienbestand in 830 m.ü. M. als mild beurteilt. Allgemein liefert die Edelkastanie eine schwer abbaubare Streu, insbesondere dann, wenn viele Früchte produziert werden. Da mit zunehmender Höhenlage die Bäume aber nicht mehr so reichlich fruchten, wird an diesem Standort der Anteil der schwer zersetzbaren Fruchtschalen nicht übermässig gross sein. Trotz der relativ schwer abbaubaren Streu konnte sich aber unter den vorherrschenden Bedingungen ein Mull bilden, der ein Indiz für eine gute Nährstoffverfügbarkeit darstellt. Das mittlere C/N-Verhältnis von 20 im Ah-Horizont kommt allerdings in Humusformen im Übergang zwischen Mull und Moder vor und zeigt an, dass die Mineralisierungsrate der organischen Substanz nur mittel ist. Es besteht somit eine Tendenz zur Moderbildung und damit verbunden, zu einer nicht optimalen Nährstoffverfügbarkeit. Das ebenfalls als mittel klassierte C/P-Verhältnis von 333 bestätigt diese Aussage. Eine Krümelstruktur im zwar nur 2 cm mächtigen Ah-Horizont lässt trotzdem auf eine rege biologische Aktivität schliessen.

S8.6.2 **Nährstoffgehalte**

Der Boden ist relativ tonarm und der Gehalt an organischer Substanz ist bescheiden. Aus diesem Grund erstaunt es nicht, dass die Kationenaustauschkapazität nur gering bis extrem gering ist ([Abb. S8.19](#)). Der Kationenaustauscher ist mit Ausnahme des Ah-Horizontes im ganzen Profil zum grössten Teil mit Aluminium belegt ([Abb. S8.20](#)). Die Austauscherbelegung mit Nährstoffkationen ist nur im Ah-Horizont erhöht. In allen anderen Bodentiefen sind nur geringe Anteile von Nährstoffen in austauschbarer Form gebunden die im Tiefenverlauf nur wenig variieren. Zu bemerken ist

Kationenaustauschkapazität

(KAK)



Klassierung KAK

>500	extrem hoch
300-500	sehr hoch
200-300	hoch
100-200	mittel
50-100	gering
25-50	sehr gering
<25	extrem gering

Austauscherbelegung mit Ca, Mg, K und Al

(in % der KAK)

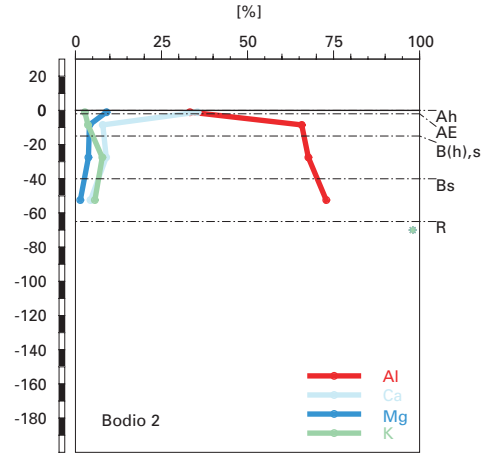


Abb. S8.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. S8.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

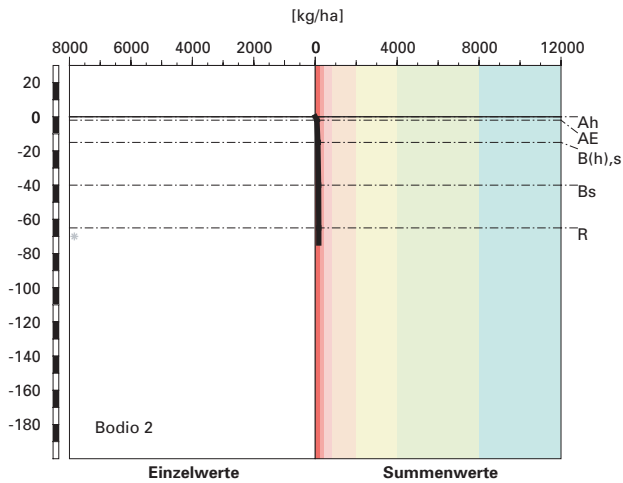
der vergleichsweise hohe Anteil von austauschbarem Kalium, der im Bs-Horizont sogar leicht grösser ist als der Anteil von austauschbarem Ca.

S8.6.3

Nährstoffvorräte

Die Vorräte an austauschbarem Ca, Mg und K sind in dieser nur 65 cm mächtigen podsolierten Braunerde alle als sehr gering zu bewerten (Abb. S8.21–S8.23). Da an diesem Standort mit einem mässigen Trockenstress zu rechnen ist, wird dieses sehr geringe Nährstoffangebot zeitweise nicht vollumfänglich verfügbar sein.

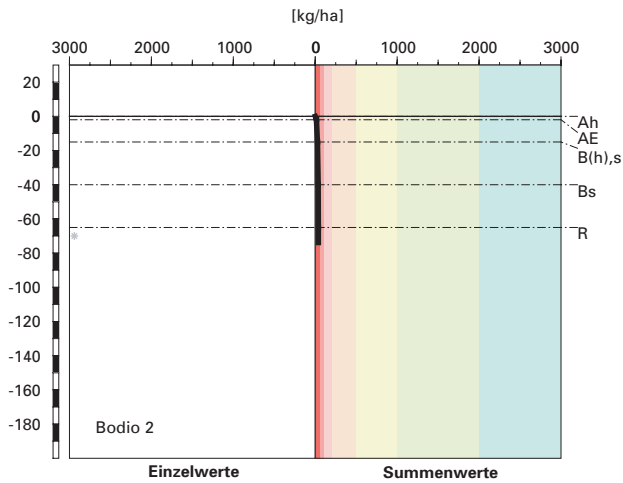
Kalzium-Vorrat



Klassierung Vorrat	
>8000	sehr hoch
4000-8000	hoch
2000-4000	mässig hoch
800-2000	mittel
400-800	mässig
200-400	gering
<200	sehr gering

Abb. S8.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat



Klassierung Vorrat	
>2000	sehr hoch
1000-2000	hoch
500-1000	mässig hoch
200-500	mittel
100-200	mässig
50-100	gering
<50	sehr gering

Abb. S8.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

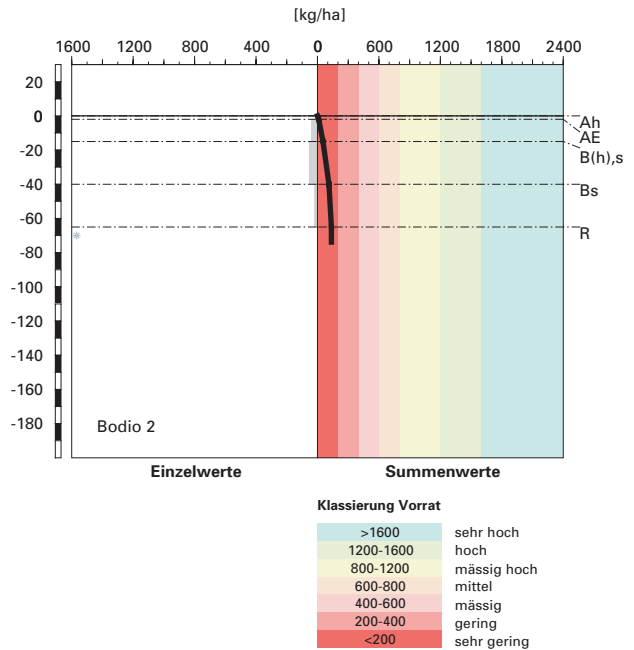


Abb. S8.23 Vorrat an Kalium

S8.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

S8.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. S8.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

S8.7.2 Baumartenwahl

Gemäss BUWAL (2005) kommt die Gesellschaft EK Nr.15 auf der Alpensüdseite nicht vor. Deshalb stützen wir die Baumartenwahl im vorliegenden Kapitel auf die nach BUWAL (2005) nächstverwandte Gesellschaft Nr.3 ab.

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand wird vor allem von Edelkastanien aber auch von einzelnen Buchen aufgebaut. Im Naturwald wäre die Buche stärker vertreten und es

Tab. S8.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Bodio 2)**Standortangaben**

Relief	Höhe	830 m
	Exposition	SW
	Neigung	50%
Klima	Jahresniederschlag	1777 mm
	Jahrestemperatur	10.3°C
Ausgangsgestein	Granitgneise	
Baumbestand	Struktur	meist einschichtiger Niederwald
	Schlussgrad	100%
	Baumarten (Deckung)	80 % Edelkastanie, 3% Rotbuche
	Oberhöhe	14 m
Waldgesellschaft	nach E&K 1972	Nr. 15: Bergseggen-Buchenwald
	nach BUWAL 2005	Nr. 3: Typischer Schneesimsen-Buchenwald

Bodenkennwerte

Bodensystematik	Bodentyp	Braunerde, podsoliert
	Humusform	Mull
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Im Boden sind keine Vernässungsmerkmale erkennbar, was zeigt, dass der Boden stets gut durchlüftet ist.
	Durchwurzelbarkeit	Da in 65 cm Tiefe ein Felsblock ansteht, ist der Wurzelraum für alle Baumarten begrenzt. Die Gründigkeit wird mit 65 cm als mittel klassiert. Wie tief die Bäume im Felsuntergrund vorhandene Spalten durchwurzeln, wissen wir nicht.
	pflanzenverfügbares Wasser	Das Risiko für Trockenstress ist unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen mässig.
	Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze
Säurezustand		Der Boden ist in den obersten 2 cm sehr stark, zwischen 2 und 15 cm Tiefe stark und weiter unten im Profil mässig sauer. Das Ausgangsgestein ist karbonatfrei.
	Aluminium-Toxizität	In 40 bis 65 cm Tiefe besteht ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Im Gegensatz zur Humusform Mull weist das mittlere C/N-Verhältnis auf eine gehemmte biologische Aktivität hin. Diese Einschätzung wird durch das ebenfalls bloss mittlere C/P-Verhältnis unterstützt. Die Mineralisierungsrate wird daher insgesamt als mittel klassiert.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der drei Nährstoffkationen sind sehr gering.
Verankerung	Obwohl das Profil aufgrund eines Felsblocks nur 65 cm mächtig ist, wird die Verankerung des Baumbestandes als gut bewertet. Die Bäume können diesen Boden in Spalten und Klüften tief durchwurzeln, und die Felsblöcke verleihen zusätzlichen Halt.	
Befahrbarkeit	Der Waldbestand kann nicht befahren werden, weil zu viele Gesteinsblöcke an der Bodenoberfläche liegen und der Hang mit einer Neigung von rund 50% zu steil ist.	

würden einige zusätzliche Baumarten vorkommen. Vermutlich ist die Kastanie durch die Niederwald-Bewirtschaftung stark gefördert worden, was ihren aktuell hohen Anteil erklärt. Wir gehen davon aus, dass an diesem Standort (EK Nr.15) sowohl Mull als auch Moder vorkommen kann. Die aktuelle Humusform Mull ist demnach standorttypisch.

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Buchenstandort (Nr.3) folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Buche, Traubeneiche, Flaum-eiche, Birke, Kastanie, Mehlbeere, Vogelbeere, Aspe, Linde, Fichte, Tanne und Lärche. An diesem Standort können also gemäss BUWAL viele Baumarten verjüngt werden.

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

■ **Durchwurzelbarkeit des Bodens**

Im Bereich des Bodenprofils ist der Wurzelraum nur 65 cm mächtig. Wir nehmen aber an, dass die Wurzeln in Spalten und Klüften tiefer in den Boden vordringen. Auf die Baumartenwahl hat die begrenzte Gründigkeit insofern Auswirkungen, als sich die Empfindlichkeit des Bodens für Austrocknung im Vergleich zu tiefgründigen Böden erhöht.

■ **Entwässerung des Bodens durch die Bäume**

Der Boden ist gut durchlüftet und sehr durchlässig. Daher kann das Kriterium der biologischen Entwässerung des Bodens bei der Baumartenwahl vernachlässigt werden.

■ **Trockenstress-Risiko für die Bäume**

Das mässige Risiko für Trockenstress ist durch das relativ kleine Wasserspeichervermögen des Bodens und durch das Klima bedingt. Es sollten nur Baumarten eingebracht werden, die Trockenperioden gut überstehen.

■ **Säurezustand und Aluminium-Toxizität**

Obwohl die Feinerde nur bis 15 cm Tiefe stark bis sehr stark sauer ist, besteht in 40–65 cm Tiefe ein Risiko für Al-Toxizität. Eine Verbesserung des Säurezustandes ist in diesem Boden erwünscht. Da die Humusform ein Mull ist, besteht jedoch keine Möglichkeit, den Säurezustand mit der Baumartenwahl wesentlich zu verbessern.

■ **Nährstoffangebot im Boden**

Die Mineralisierung der Nährstoffe ist trotz der Humusform Mull gehemmt. Die biologische Aktivität lässt sich durch eine noch naturnahere Baumartenmischung mit gut abbaubarer Streu leicht erhöhen. Da der aktuelle Bestand fast nur aus Kastanien besteht, ist ein Verbesserungspotential durch Einbringen zusätzlicher Laubbölzer gegeben.

Viele Baumarten haben bezüglich Nährstoffversorgung des Bodens eine weite ökologische Amplitude. Das Nährstoffangebot dürfte daher an diesem Standort für die meisten Baumarten ausreichend sein. Eine Ausnahme bilden die nährstoffbedürftigen Edellaubhölzer. Nach unserem Stand des Wissens sind die Vorräte von Kalzium, Magnesium und Kalium für ein konkurrenzfähiges Gedeihen der Edellaubhölzer zu gering.

S8.7.3 **Baumartenempfehlung**

Aus bodenkundlicher Optik ist die Baumartenempfehlung des BUWAL (Tab. S8.6) aufgrund des Trockenstress-Risikos, des Säurezustandes und des Nährstoffangebotes zu hinterfragen.

Aus bodenkundlicher Sicht ist eine vielfältige Baumartenmischung mit möglichst vielen Laubhölzern anzustreben. Dadurch lässt sich die biologische Aktivität etwas erhöhen und es werden mehr Nährstoffe mineralisiert. Die standorttypische Humusform Mull bleibt dabei erhalten.

Die Fichte und Lärche sollten wegen ihren schlecht abbaubaren Nadeln höchstens vereinzelt eingebracht werden. Für die Tanne sind die vielen Blöcke im Boden und dessen Neigung zu Trockenheit ungünstig.

Tab. S8.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand	
Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 3; BUWAL 2005)	Buche, Traubeneiche, Flaumeiche, Birke, Kastanie, Mehlbeere, Vogelbeere, Aspe, Linde, Fichte, Tanne, Lärche
Bodenkundliche Kriterien	Buche, Traubeneiche, Flaumeiche, Birke, Kastanie, Mehlbeere, Vogelbeere, Aspe, Winterlinde, (Fichte, Tanne, Lärche)

Blaser, P. / Zimmermann, S. / Luster, J. / Walthert, L. / Lüscher, P., 2005: Waldböden der Schweiz. Band 2. Regionen Alpen und Alpensüdseite. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag.

BUWAL, 2005: Nachhaltigkeit im Schutzwald und Erfolgskontrolle. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, in Vorbereitung.

Ellenberg, H. / Klötzli, F., 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Eidgenöss. Forschungsanst. Wald Schnee Landsch. 48, 4: 587–930.

FAO, 1988: FAO/Unesco Soil Map of the World, Revised Legend, with corrections and updates. World Soil Resources Report 60, FAO, Rome. Reprinted with updates as Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen, 1997. 140 S.

Tuchschrnid, M.P., 1995: Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluorgehalten bodenbildender Gesteine der Schweiz. Umweltmaterialien 32, BUWAL, Bern. 130 S.
