

S18 Bodenprofil Prebonella

S18.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

S18.1.1 **Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren**

Das Bodenprofil ist in [Abb.S18.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.S18.2](#). [Tab.S18.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Prebonella zusammen und [Tab.S18.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

S18.1.2 **Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz**

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit V7 (alpine kristalline Berglandschaft, steile Nordhänge, Hangneigung > 35 %). 354 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 3.0 % der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

S18.1.3 **Besonderheiten am Profilort**

Der Profilaufschluss liegt bergwärts an einer Strassenböschung. Der Profilaufbau ist jedoch ungestört.

S18.1.4 **Profilmorphologie und Klassierung**

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.S18.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

An der Bodenoberfläche ist eine geringmächtige Streuschicht vorhanden. Die überwiegend von der Kastanie stammende Streu wird innerhalb eines Jahres nahezu vollständig zersetzt. Mit der Horizontfolge L-AE wird die Humusform als Mull klassiert.



Abb. S18.1 (links) Bodenprofil Prebonella

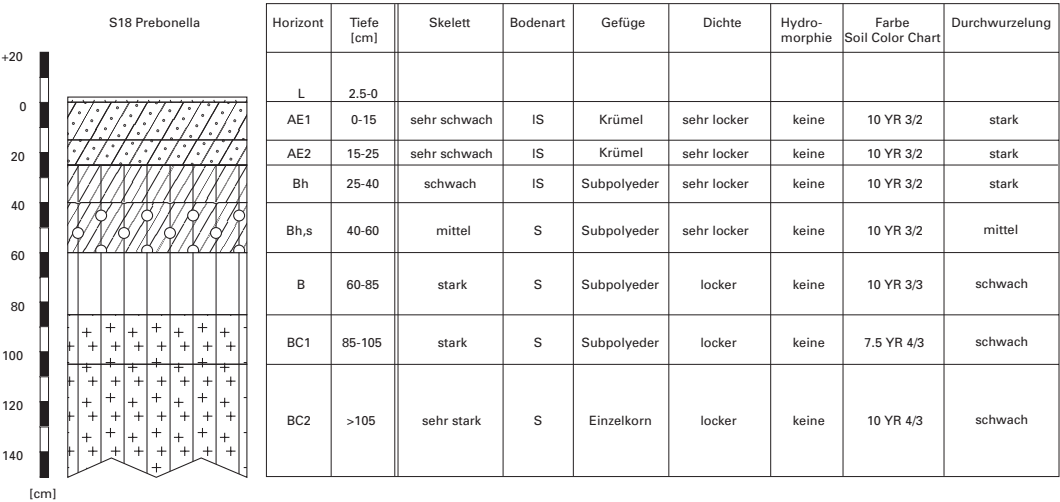
Abb. S18.2 (rechts) Bestand am Profilort Prebonella

Tab. S18.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Prebonella	
Lokalname	Prebonella (Kanton Graubünden, Gemeinde Roveredo)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1314, Passo S. Jorio Koordinaten 730500/119500
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972)	Nr. 3: Typischer Schneesimsen-Buchenwald (<i>Luzulo niveae-Fagetum typicum</i>)
Horizontfolge	L-AE1-AE2-Bh-Bh,s-B-BC1-BC2
Humusform	Mull
Bodentyp	Kryptopodsol
Bodentyp nach FAO (1988)	Podzol

Tab. S18.2	Bodenbildungsfaktoren am Profilort Prebonella		
Relief	Höhe ü. M.	950 m	
	Exposition	E	
	Neigung	56 %	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Penninikum, Moräne inkl. rezente Moränen (aus Gneis)	
	Lithofazies (nach Tuchschnid 1995)	Nr. 29: Moräneablagerungen (grobklastisch) physikalische Verwitterbarkeit Gestein: variabel chemische Verwitterbarkeit Gestein: variabel Tongehalt Gestein: sehr niedrig – mittel	
Klima	T/N Jahresmittel	8.3°C/1844 mm	
	T/N Januarmittel	–0.2°C/80 mm	
	T/N Julimittel	18.0°C/150 mm	
	Tage mit Schneedecke	35	
	Wärmegliederung	ziemlich mild	
	Länge der Vegetationsperiode	200 – 205 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (30 – 35 m Höhe)	80 %	60 % Edelkastanie (<i>Castanea sativa</i>) 20 % Fichte (<i>Picea abies</i>)
	Strauchschicht	5 %	–
	Krautschicht	10 %	Rohr-Reitgras (<i>Calamagrostis arundinacea</i>) Strand-Pfeifengras (<i>Molinia littoralis</i>) Schneeweisse Hainsimse (<i>Luzula nivea</i>)
	Mooschicht	1 %	–

Tab. S18.3
Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Prebonella

Bodenart: IS lehmiger Sand, S Sand



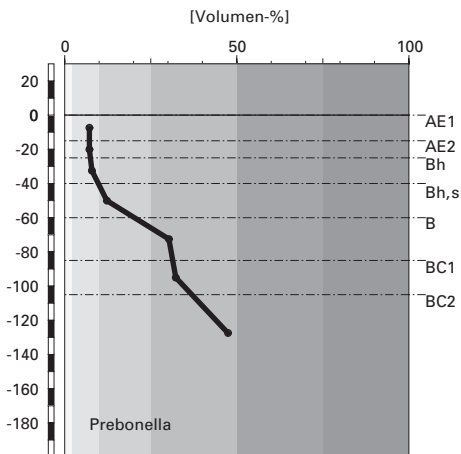
Unter der Streuauflage lassen sich im Bodenprofil aufgrund der morphologischen Merkmale sechs Horizonte unterscheiden. Die obersten 25 cm des Profils wurden in zwei Tiefen beprobt (AE1 und AE2), sodass sich im Mineralboden gesamthaft sieben Horizonte ergeben. Die obersten 60 cm des Profils heben sich durch die bräunlich-schwarz gefärbte Feinerde von den tiefer gelegenen Bereichen ab. Eine weitere Unterteilung der obersten 60 cm Tiefe aufgrund der Farbe ist nur schwer möglich. Spuren der Auswaschung sind kaum zu erkennen. Hinweise auf eine Podsolierung ergeben sich aus der Anreicherungszone zwischen 25 und 40 cm Tiefe. Die etwas dunkleren Farben sind verlagerte Humusstoffe. In 40 bis 60 cm Tiefe überprägen die dunkeln Humusstoffe die ebenfalls verlagerten und angereicherten Sesquioxide. Von 60 bis 85 cm Tiefe ist die Farbe dunkel-braun und in den tiefer gelegenen Horizonten matt gelblich-braun. Der Skelettgehalt nimmt mit der Profiltiefe zu. Die obersten 25 cm sind sehr schwach skeletthaltig. Von 25 bis 40 cm Tiefe ist der Skelettgehalt schwach, von 40 bis 60 cm mittel, darunter stark und unterhalb 105 cm Tiefe sehr stark. Der Tongehalt wird allgemein als klein eingeschätzt. In den obersten 40 cm des Profils entspricht die Bodenart einem lehmigen Sand, in den tiefer gelegenen Horizonten einem Sand. Die Struktur der Feinerde ist in den obersten 25 cm krümelig. Von 25 bis 105 cm Tiefe liegt eine Subpolyederstruktur vor und unterhalb 105 cm Tiefe ist die Feinerde mit einem Einzelkorngefüge kaum strukturiert. Der Boden ist bis 60 cm Tiefe sehr locker, darunter locker. Im ganzen Profil sind keine hydromorphen Merkmale zu erkennen.

Aufgrund der morphologischen Merkmale werden die Horizonte mit L-AE1-AE2-Bh-Bh_s-B-BC1-BC2 bezeichnet und der Boden als Kryptopodsol klassiert.

Ergänzende Bodenmerkmale

Die Feinerde des Bodens ist gemäss pH-Hellige sehr sauer. Es ist festzuhalten, dass im Profil keine unüberwindbaren Hindernisse für das Wurzelwachstum vorhanden sind. Die Durchwurzelung ist bis 40 cm Tiefe stark. Ab 60 cm Tiefe bis zur Profilssole ist die Feinerde schwach durchwurzelt.

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

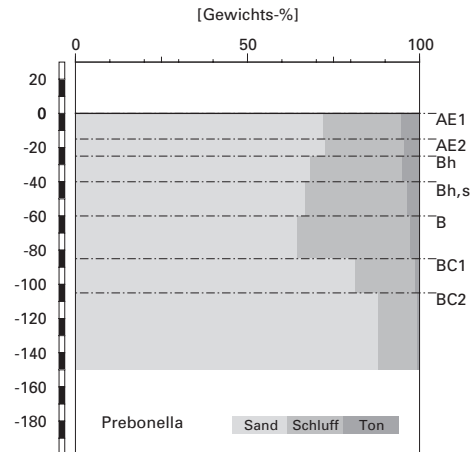


Abb.S18.3 (links) Skelettgehalt

Abb.S18.4 (rechts) Bodenart

S18.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

S18.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

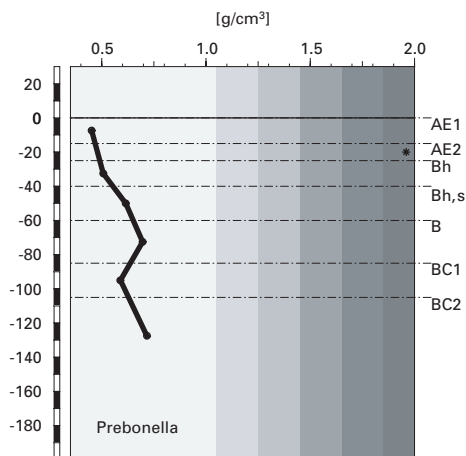
Skelettgehalt

Der Boden ist bis 40 cm Tiefe schwach skeletthaltig. Darunter nimmt der Skelettgehalt mit der Tiefe kontinuierlich zu, so dass der Boden bereits ab 60 cm Tiefe stark skeletthaltig ist ([Abb.S18.3](#)).

Bodenart

Sand ist die dominierende Korngrößenfraktion in diesem Boden ([Abb.S18.4](#)), wobei in den obersten 85 cm zusätzlich ein ansehnlicher Schluffanteil vorhanden ist. In Einklang mit dem zur Profilssole hin zunehmend roheren Zustand des Bodens ist die Feinerde in den BC-Horizonten besonders sandreich. In Bezug auf den Tongehalt handelt es sich, je nach Horizont, um leichten bis sehr leichten Boden.

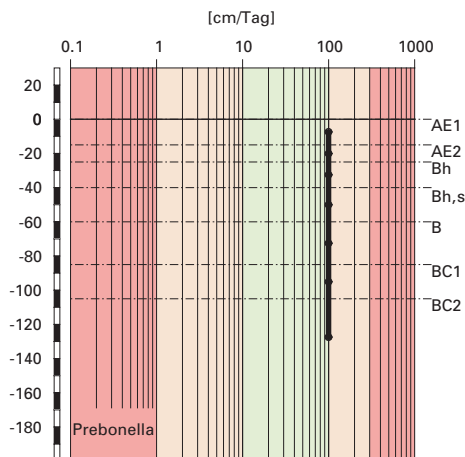
Feinerde-Dichte



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.S18.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb.S18.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Die im Bodenprofil mit der Fingerprobe ermittelte Bodenart stimmt gut mit den Werten der Laboranalyse überein (Tab. S18.3).

Dichte der Feinerde

Die Feinerde-Dichte nimmt mit der Tiefe leicht zu (Abb. S18.5), abgesehen von einer Unregelmässigkeit im BC1-Horizont. Sie beträgt im AE1-Horizont rund 0.5 g/cm^3 und im BC2-Horizont 0.7 g/cm^3 . Sie ist damit durchwegs äusserst gering. Die an der Profilwand mittels Eindringwiderstand eines Messers geschätzten Dichtewerte bestätigen die tiefen Laborwerte (Tab. S18.3).

Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Dieser sehr lockere und tonarme Boden ist profilumfassend hoch durchlässig (Abb. S18.6).

pflanzenverfügbares Wasser

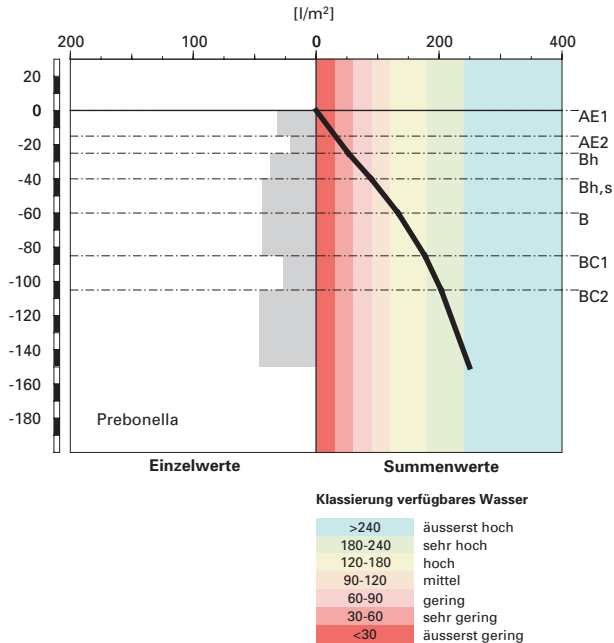


Abb. S18.7 Pflanzenverfügbares Wasser

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe wird mit 219 l/m² als sehr hoch klassiert (Abb. S18.7). Der relativ niedrige Skelettgehalt ist für das grosse Speichervermögen hauptverantwortlich.

S18.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Im gesamten Profil lassen sich keine Vernässungsmerkmale erkennen, was angesichts der hohen Durchlässigkeitswerte nicht erstaunt (Abb. S18.6). Gesättigte Phasen sind in diesem Boden höchstens von sehr kurzer Dauer.

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Der Boden kann von allen Baumarten mindestens profilumfassend durchwurzelt werden, da die Dichtewerte die kritische Grenze von 1.4 g/cm³ nicht

erreichen und die Durchlüftung in allen Horizonten stets ausreichend ist. Die Gründigkeit des Bodens ist nicht eingeschränkt und wird mit >120 cm als sehr tiefgründig klassiert. Der Wurzelraum wird vom aktuellen Bestand, der überwiegend aus Edelkastanien und Fichten besteht, gut genutzt. Wurzeln sind bis zur Profilssole (150 cm) vorhanden und dringen bestimmt noch tiefer in den Unterboden ein.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Bei einer Referenztiefe von 120 cm ist gemäss unseren Berechnungen davon auszugehen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 25 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Da der Boden tiefer als 120 cm durchwurzelt werden kann, dürfte Trockenstress noch später einsetzen. Das Risiko für Trockenstress wird an diesem Buchenstandort unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen als klein beurteilt.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er bis 60 cm Tiefe wenig Skelett enthält. Der Wald liegt aber an einem steilen Hang, so dass ein Befahren des Bestandes nicht möglich ist.

S18.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

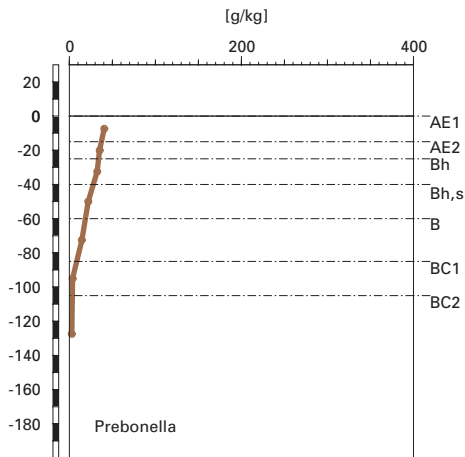
S18.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Die Baumschicht in Prebonella hat einen Deckungsgrad von 80 % und besteht hauptsächlich aus Kastanien mit einzelnen beigemischten Birken und Fichten. Die spärliche Krautschicht ist vor allem aus Gräsern zusammengesetzt (Rohr- Reitgras, schneeweisse Hainsimse, Strand-Pfeifengras). Die anfallende Streu ist deshalb nur schwer abbaubar. Am Profilort hat sich eine 2.5 cm mächtige Schicht aus Kastanienstreu gebildet.

Unter der Streuschicht folgen ein 25 cm mächtiger AE-Horizont sowie ein 15 cm dicker Bh-Horizont. Diese obersten 40 cm des Mineralbodens sind deutlich dunkler gefärbt als die darunter liegenden Horizonte. Hier ist der Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) zwar am höchsten ([Abb. S18.8](#)). Es wurden jedoch nur mittlere C_{org} -Gehalte von 3 bis 4 % gemessen. Sie nehmen mit der Profiltiefe linear ab bis 0.4 % im BC1-Horizont. Der daraus

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})

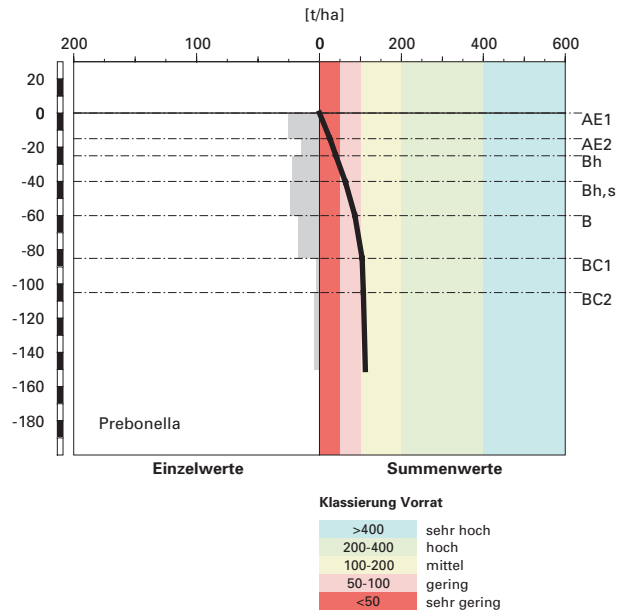


Abb.S18.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb.S18.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

resultierende Vorrat an organischem Kohlenstoff beträgt im gesamten Profil 112 t/ha (Abb.S18.9).

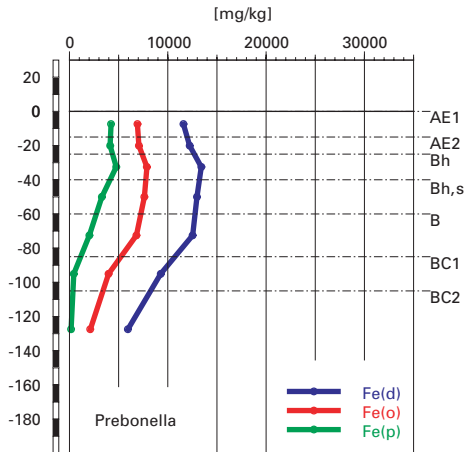
Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt ist im gesamten Profil gering. Er nimmt von 5.3% im AE1-Horizont auf 0.9% im BC2-Horizont kontinuierlich ab (Abb.S18.4).

Das Dithionit-extrahierbare Eisen (Fe_d) nimmt vom AE1-Horizont bis in den Bh-Horizont linear von 11.6 auf 13.4 g/kg zu (Abb.S18.10). Auch im Bh,s- und B-Horizont bleiben die Gehalte mit 13.0 bzw. 12.5 g/kg hoch, nehmen dann aber bis in den BC2-Horizont auf rund 6 g/kg ab.

Die Tiefenverteilung des Oxalat-extrahierbaren Aluminiums und Eisens (Al_o bzw. Fe_o) ist ähnlich. Al_o weist jedoch mit Ausnahme des BC1-Horizontes überall um rund 1.5 bis 2 g/kg höhere Werte auf (Abb.S18.10 und S18.11). Die Oxalat-extrahierbaren Gehalte sind in den AE-Horizonten konstant und nehmen dann bis zum Maximum im Bh- (Fe_o) bzw. Bh,s-Horizont

Eisen-Oxide (Gehalte)



Aluminium-Oxide (Gehalte)

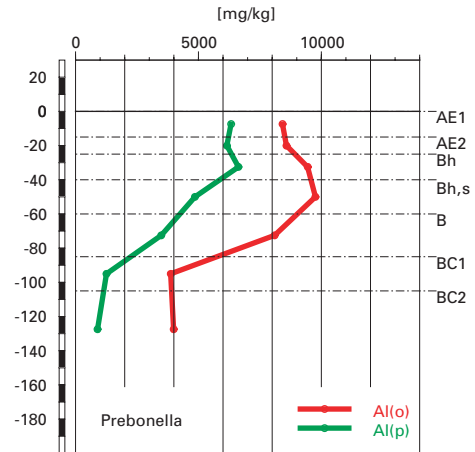


Abb.S18.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb.S18.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide (Verhältnisse)

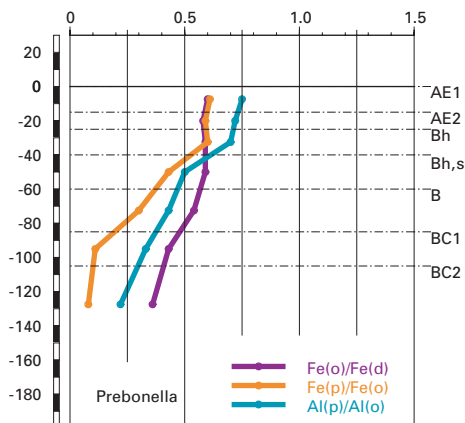


Abb.S18.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

(Al_o) zu. Darunter erfolgt eine fast lineare Abnahme bis zum Minimum im BC2-Horizont.

Auch das Pyrophosphat-extrahierbare Aluminium und Eisen (Al_p bzw. Fe_p) sind sich in ihrer Tiefenverteilung sehr ähnlich und auch hier besitzt Aluminium vor allem in den obersten Horizonten die grösseren Gehalte (Abb. S18.10 und S18.11).

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis zeigt grundsätzlich eine lineare Abnahme mit der Profiltiefe von 0.6 im AE1- auf 0.36 im BC2-Horizont (Abb. S18.12). Die Tiefenverteilung weicht im Bh-, Bh,s- und B-Horizont mit einer konvexen Ausbuchtung von der perfekten Linearität ab.

Die Verhältnisse der Pyrophosphat- zu den Oxalat-extrahierbaren Gehalten gleichen sich für die beiden Elemente Aluminium und Eisen. Für Eisen ist das Verhältnis in den obersten drei Horizonten konstant um 0.6 und nimmt dann kontinuierlich bis auf rund 0.1 ab. Das Al_p/Al_o -Verhältnis ist im AE1-Horizont 0.75 und nimmt auf 0.7 im Bh-Horizont ab. In grösserer Profiltiefe erfolgt eine lineare Abnahme bis zum Minimum von rund 0.2 im BC2-Horizont.

S18.3.2

Bodenkundliche Interpretation

Die Bedingungen für den Abbau der organischen Substanz sind am Profilort Prebonella grundsätzlich gut. Das ziemlich milde Klima mit hohen durchschnittlichen Jahresniederschlägen von 1844 mm und hohen Jahresdurchschnittstemperaturen von 8.3°C (Juli: 18°C) bietet für den Streuabbau ausreichende Feuchtigkeit und Wärme, zumal die E-Exposition die Gefahr einer Austrocknung im Sommer verringert. Die schlecht abbaubare Kastanienstreu hat aber zur Folge, dass sich am Profilort eine 2.5 cm dicke Streuschicht gebildet hat. Im Gegensatz zum tiefer gelegenen Profilort Pian d'Arf hat sich aber kein F-Horizont gebildet, weshalb die Humusform als Mull klassiert wird.

Das C/N- bzw. C/P-Verhältnis im AE1-Horizont wird mit 14 bzw. 90 als mässig eng bzw. eng beurteilt. Organische Substanz mit derart engen Verhältnissen ist für die Mikroorganismen eine attraktive und ergiebige N- und P-Quelle, weshalb im Oberboden mit einer hohen Mineralisierung der organischen Substanz gerechnet werden kann. Der intensive Humusabbau ist auch der Grund, dass die Humusbildung und Humusstabilisierung nicht sehr ausgeprägt sind. Deshalb konnte sich im Mineralboden ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von bloss 112 t/ha aufbauen, was im gesamtschweizerischen Vergleich einem knapp mittleren Vorrat entspricht.

Der Anteil der Tonfraktion ist mit Werten zwischen 0.9 und 5.3% sehr gering. Er nimmt mit der Profiltiefe entsprechend dem geringer werdenden

Verwitterungsgrad ab und widerspiegelt die gesteinsbürtig kleinen Tonmineralgehalte. Bei den tiefen pH-Werten werden keine Tonminerale neu gebildet.

Anhand der Tiefenverteilung der Al- und Fe-Oxide lässt sich im Profil eine Verlagerung von Al und Fe interpretieren. Selbst beim Fe_d ist eine Verarmung in den AE-Horizonten und eine Anreicherung im Bh-, Bh,s- und B-Horizont zu erkennen (Abb. S18.10). Noch deutlicher ist diese Verlagerung anhand von Fe_o und Al_o sichtbar. Diese verhalten sich bis in den B-Horizont mehr oder weniger analog. Aluminium wurde allerdings bereits etwas stärker verlagert als Eisen. Dies ist unter anderem daran zu erkennen, dass Al_o sein Maximum im Bh,s-Horizont hat, Fe_o hingegen im darüber liegenden Bh-Horizont. Auch der Verlagerungsindex, als Quotient aus dem Al_o - bzw. Fe_o -Maximum im Bh,s- bzw. Bh-Horizont und dem Minimum im AE1-Horizont, ist für Al_o etwas grösser.

Die Al- und Fe-Verlagerung erfolgt in Form von löslichen Metall-organischen Komplexen. Deshalb ist bei Al_p und Fe_p in den AE-Horizonten eine deutliche Abweichung von der prinzipiell linearen Abnahme mit der Profiltiefe zu beobachten. Gelöste organische Substanzen aus dem unvollständigen Abbau der tanninhaltigen Kastanienstreu komplexieren in den AE-Horizonten Al und Fe und verlagern sie in die Tiefe. Dabei bildet die gelöste organische Substanz bevorzugt Bindungen mit Eisen, weshalb sie schneller mit Eisen als mit Aluminium gesättigt ist und wieder aus der Lösung ausfällt (Mokma and Buurman 1982). Ungesättigte gelöste organische Substanzen sättigen sich erst in tieferen Schichten mit Al, weshalb die Al-Verlagerung bis in grössere Tiefe reicht als die Fe-Verlagerung.

Auch das Fe_o/Fe_d -Verhältnis lässt sich bezüglich der Verlagerungsprozesse interpretieren. Das verlagerte Fe und Al erscheint vor allem in den amorphen, Oxalat-extrahierbaren Bindungsformen. Darum wird in den Horizonten mit Al- und Fe-Anreicherung das Fe_o/Fe_d -Verhältnis weiter (Abb. S18.12). Es sind deshalb genau der Bh-, Bh,s- und B-Horizont, welche ein weiteres Verhältnis aufweisen, als der linear abnehmende Trend, der aufgrund einer Bodenbildung ohne Verlagerungsprozesse erwartet würde.

Die Al_p/Al_o - und Fe_p/Fe_o -Verhältnisse widerspiegeln die Tiefenverteilung des organischen Kohlenstoffes. Obwohl die geschilderten Verlagerungsprozesse anhand der Al- und Fe-Oxide erkannt werden können, ist ihre Ausprägung insgesamt nicht sehr stark. Die Verlagerungsindizes sind geringfügig grösser als 1, was für Kryptopodsol typisch ist (Blaser et al. 1997). Deshalb stimmt die aufgrund der morphologischen Kriterien vorgenommene Klassierung des Bodens als Kryptopodsol gut mit der Interpretation der bodenchemischen Daten überein.

S18.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Bis in den B-Horizont ist die Feinerde des Bodens stark sauer. Der pH-Wert liegt hier in der Säureklasse 4 (Abb. S18.13). Darunter nimmt der pH-Wert langsam zu. Ab 85 cm Tiefe ist die Feinerde nur noch mässig sauer und der pH-Wert liegt in der Säureklasse 3.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Entsprechend den tiefen pH-Werten ist der Kationenaustauscher im ganzen Profil überwiegend mit Aluminium belegt (Abb. S18.14). In Abweichung zu vielen anderen Böden trifft dies auch auf die Oberbodenhorizonte zu, obschon mit dem Streufall laufend Nährstoffkationen an die Bodenoberfläche gelangen. Dies widerspiegelt sich in einer lediglich geringen Zunahme der Basensättigung vom Bh,s- bis zum AE1-Horizont (Abb. S18.15). Die Basensättigung ist in diesen obersten 60 cm gering. In den tiefer gelegenen Horizonten steigt sie an und wird im B- und BC1-Horizont als mässig sowie im BC2-Horizont als mittel klassiert.

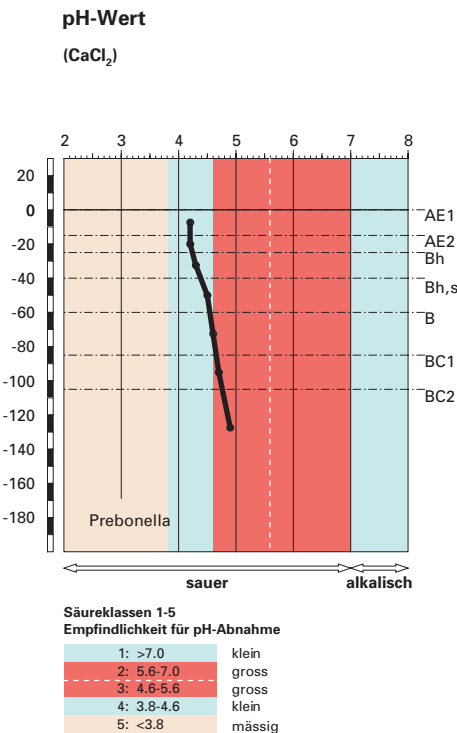
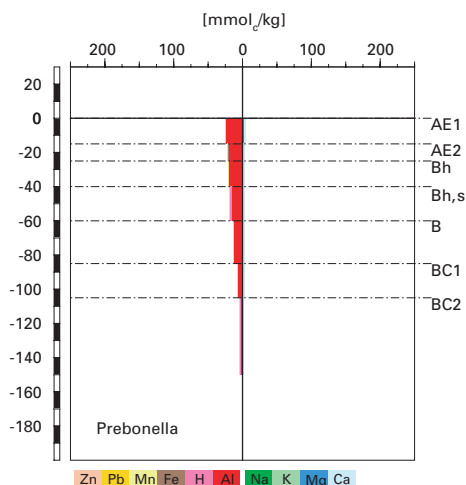


Abb. S18.13 pH-Wert und Säureklassen

austauschbare Kationen



Basensättigung

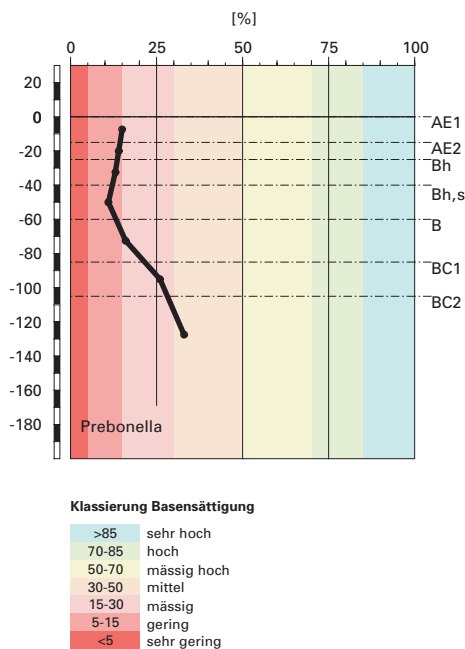


Abb.S18.14 (links) Belegung des Kationenaustauschers

Abb.S18.15 (rechts) Basensättigung

S18.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

Die pH-Werte variieren im ganzen Profil nur wenig und liegen im mässig bis stark sauren Bereich. Sie betragen zwischen 4.2 im Oberboden und 4.9 im BC2-Horizont. Die Versauerung ist sehr weit fortgeschritten. Die Säurepufferung erfolgt bis 85 cm Tiefe durch Auflösung von Aluminiumverbindungen, darunter durch Austauschprozesse sowie Protonierung variabler Ladungen. Entsprechend ist die Basensättigung gering bis mittel. Der Boden hat sich aus einer gneisführenden Moräne entwickelt. Die Standortbedingungen sind am ehesten mit denjenigen von Pian d'Arf (S17) vergleichbar. Prebonella liegt auf nicht ganz 1000 m.ü.M. an einem E-exponierten Hang in einem Kastanienwald mit ziemlich mildem Klima. Der Tiefenverlauf von pH-Wert und Basensättigung ist in beiden Böden sehr ähnlich, weshalb wir deren Versauerung als beinahe identisch bewerten. Es scheint, dass die

Feinerde zu Beginn der Bodenentwicklung auf diesem basenarmen Ausgangsgestein im pH-Bereich der schlecht puffernden Säureklasse 3 (pH-Wert 4.61–5.60) lag. Es überrascht, dass auch unter klimatisch moderaten Standortbedingungen und unter Laubwald die Böden stark versauern. Dennoch befinden sich beide Böden in den untersten Horizonten noch immer in der Säureklasse 3, die nur schwach puffert.

Die Gesamtheit aller Austauschplätze der Feinerde im Boden Prebonella ist zu rund 83% mit sauren Kationen besetzt, wovon der Hauptteil mit 77% auf Aluminium entfällt. Deshalb wird dieser Boden als stark versauert beurteilt.

Risiko für Boden und Pflanzen

Der Boden ist mässig empfindlich für eine weitere pH-Abnahme, denn nur die untersten beiden Horizonte liegen in der schlecht puffernden Säureklasse 3. Diese beiden Horizonte machen 34% der Feinerde des gesamten Bodens aus. Bei anhaltendem Säureeintrag werden die pH-Werte auch in den BC-Horizonten in die Säureklasse 4 gelangen, in welcher die Säurepufferung in erster Linie durch Auflösung von Aluminiumverbindungen erfolgt. Dadurch wird die Basensättigung in diesem Teil des Bodens weiter abnehmen. In der Tiefe bis 85 cm besteht ebenfalls das Risiko der Abnahme der Basensättigung, vor allem weil die laufende Rückführung von Nährstoffkationen an die Bodenoberfläche durch die Pflanzenstreu sich nicht in höheren Basensättigungen niederschlägt. Offensichtlich sind die Selektivitätsverhältnisse bereits derart ungünstig, dass ein Eintausch von Nährstoffkationen gegen Aluminium nur noch schwer möglich ist.

Das Risiko für das Wachstum empfindlicher Pflanzen ist im aktuellen Zustand mittel, denn die BC/Al-Verhältnisse befinden sich im Hauptwurzelraum bis in eine Tiefe von 85 cm und damit in 66% der Feinerde des gesamten Bodens im kritischen Bereich (<0.2). Nur in den BC-Horizonten ist das BC/Al-Verhältnis unkritisch (Tab. A375 in Blaser et al. 2005). Es ist zu erwarten, dass sich die Situation relativ rasch verschlechtern wird, weil im pH-Bereich, in welchem der Kationenaustauscher als Puffer wirkt, Al-Hydroxokomplexe aus der Silikatverwitterung Nährstoffkationen am Austauscher verdrängen und damit das BC/Al-Verhältnis auch in den BC-Horizonten in den kritischen Bereich gelangt.

S18.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Der Cr-Gehalt nimmt mit der Tiefe kontinuierlich bis zu einem maximalen Wert im B- und BC1-Horizont leicht zu ([Abb. S18.16](#)). Im BC2-Horizont ist er wieder etwas niedriger. Nickel verhält sich ähnlich. Allerdings zeigt die Verteilung ein Minimum im Bh,s-Horizont und das Maximum im BC1-Horizont ist ausgeprägter als bei Cr. Kupfer ist maximal im Oberboden sowie im untersten Horizont und weist ein sekundäres Maximum im Bh,s-Horizont auf. Im oberen Teil des Profils verhält sich Zn ähnlich wie Cu mit maximalen Gehalten im AE1- und im Bh,s-Horizont. Unterhalb des Bh,s-Horizontes nimmt Zn allerdings kontinuierlich stark ab und zeigt einen minimalen Gehalt im BC2-Horizont. Blei schliesslich hat sein Maximum im AE2-Horizont und ist minimal in den beiden untersten Horizonten.

S18.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

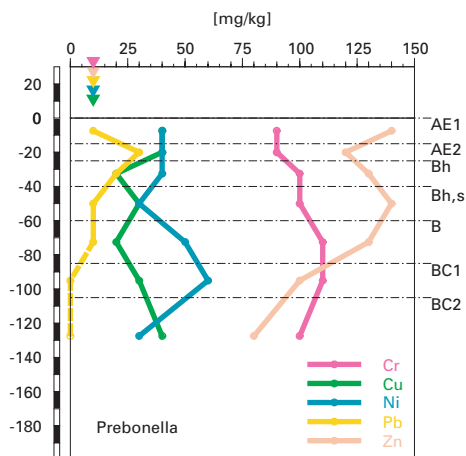
Bezogen auf das Ausgangsgestein, einer Moräne aus Gneis, liegen der Cr-, Cu- und Zn-Gehalt im BC2-Horizont oberhalb, der Ni-Gehalt innerhalb und der Pb-Gehalt unterhalb typischer Wertebereiche. Da für Moräne (Lithofazies 29) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, wurde die geologisch nächstverwandte Lithofazies mit geochemischen Angaben (Lithofazies 24, Glaziallehme) für die Beurteilung beigezogen.

Anmerkung: Da das Ausgangsgestein, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht aufgeschlossen wurde, werden für den geochemischen Vergleich die Schwermetallgehalte im BC2-Horizont beigezogen. In wie weit die auf diesem Horizont basierenden Bewertungen realistisch sind, kann nicht beurteilt werden.

S18.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Bezogen auf die VBBo liegen für Pb profilumfassend sehr niedrige bis niedrige Gehalte vor ([Abb. S18.17](#)). Der Zn-Gehalt im BC1- und BC2-Horizont ist ebenfalls niedrig, während er in allen anderen Horizonten erhöht ist. Die Ni- und Cu-Gehalte sind profilumfassend erhöht bis hoch. Die Cr-Gehalte sind hoch mit Ausnahme des BC1-Horizontes. Hier ist der Cr-Gehalt sehr hoch und überschreitet damit den Richtwert der VBBo.

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



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

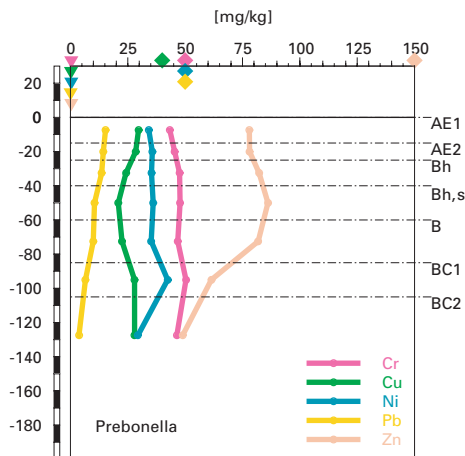


Abb. S18.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. S18.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

S18.5.4 **Anreicherungsfaktoren**

Da das Ausgangsgestein, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht aufgeschlossen ist, wurden die Anreicherungsfaktoren relativ zum BC2-Horizont berechnet. Deshalb können keine Aussagen bezüglich Anreicherung oder Verarmung gegenüber dem Ausgangsgestein gemacht werden.

Im AE1-Horizont sind alle Schwermetalle, für die Anreicherungsfaktoren berechnet werden können, gegenüber dem BC2-Horizont mehr oder weniger stark angereichert (Tab. S18.4). In den darunter liegenden Horizonten ist Cr tendenziell abgereichert mit einer maximalen Abreicherung im Bh,s-Horizont. Nickel ist im AE1-Horizont stark angereichert, etwas abgereichert im Bh,s-Horizont und wieder stark angereichert im BC1-Horizont. Bezüglich Cu ist das Profil im grössten Teil, d.h. vom Bh- bis zum BC1-Horizont verarmt. Zink ist im ganzen Profil angereichert, wobei der Anreicherungsfaktor von 2.5 im obersten Horizont auf 1.2 im BC1-Horizont abnimmt.

Die Anreicherungsfaktoren variieren mit der Tiefe sehr ähnlich wie die Schwermetallgehalte (Abb. S18.16 und S18.17). Mit Ausnahme der erhöhten Anreicherungsfaktoren und Zn-Gehalte im AE1-Horizont lässt sich dies gut mit der für die Podsolierung charakteristischen Verlagerung der

Tab. S18.4**Anreicherungs faktoren**

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungs faktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
AE1	0– 15	1.26	1.40	1.87	n.b.	2.45
AE2	15– 25	0.86	0.95	1.27	n.b.	1.43
Bh	25– 40	0.91	0.46	1.22	n.b.	1.48
Bh,s	40– 60	0.78	0.58	0.78	n.b.	1.36
B	60– 85	0.89	0.40	1.35	n.b.	1.31
BC1	85–105	1.05	0.72	1.91	n.b.	1.19
BC2	> 105	1.00	1.00	1.00	n.b.	1.00

Schwermetalle erklären. Neben den tiefen pH-Werten spielt hierbei die Bindung an gelöste organische Substanz eine entscheidende Rolle. Zink wird aufgrund seiner Gehalte (Abb. S18.16) ähnlich tief verlagert wie Aluminium (Abb. S18.11). Mit Ausnahme von Pb werden die übrigen Schwermetalle weiter in die Tiefe verlagert. Kupfer wird am tiefsten verlagert, bzw. aus dem Profil ausgewaschen. Chrom und Ni werden bis in den BC1-Horizont verlagert.

Die Anreicherung von Ni, Cu und Zn im AE1-Horizont ist mit Rückführung dieser Mikronährstoffe mit der Streu innerhalb des Nährstoffkreislaufes zu erklären. Auch die Anreicherung von Zn im ganzen Profil dürfte darauf zurückzuführen sein. Bei Ni ist ein anthropogener Beitrag allerdings nicht auszuschliessen, und die Anreicherung von Cr ist ziemlich sicher anthropogen. Anthropogenes Pb wurde höchstwahrscheinlich auch in diesen Boden atmo gen eingetragen und im Oberboden angereichert. Verlagerung mit gelöster organischer Substanz dürfte dann zur Tiefenverteilung mit maximalem Gehalt im AE2-Horizont geführt haben (Abb. S18.16).

S18.5.5**Schätzung der Mobilität der Schwermetalle**

Die Mobilität von Ni und Zn wird in diesem mässig bis stark sauren Boden (Abb. S18.13) aufgrund des pH-Wertes als mittel bis gross eingestuft (Abb. S18.18). Bei Cr, Cu und Pb wird die Mobilität vom AE1- bis zum B-Horizont durch die feste organische Substanz verringert und demzufolge profilumfassend als sehr gering bis gering geschätzt. Aufgrund der podsolierungsbedingten Verlagerung der Schwermetalle (siehe oben), ist davon auszugehen, dass die effektive Mobilität von Cr, Cu und Pb durch Bindung an gelöste organische Substanz deutlich grösser ist, als dies aufgrund von Eigenschaften der Bodenfestphase (pH, Humus- und Tongehalt) geschätzt und in Abb. S18.18 dargestellt wird.

Schwermetallmobilität

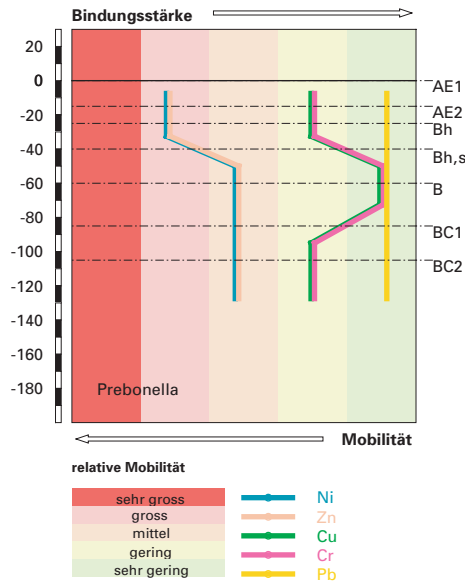


Abb. S18.18 Mobilität der Schwermetalle

Aufgrund der geschätzten Mobilität, der gemessenen Tiefenverteilungen sowie der Anreicherungsfaktoren besteht das Risiko einer Grundwasserbelastung mit Cr, Ni, Cu und Zn. Blei stellt wegen des sehr tiefen Gehaltes in den BC-Horizonten kurzfristig noch kein Risiko dar. Langfristig könnte aber auch dieses Schwermetall ins Grundwasser ausgewaschen werden.

S18.5.6

Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

Im AE1-Horizont sind die meisten Schwermetalle in Gehalten vorhanden, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind. Der Cr-Gehalt liegt im Grenzbereich zur Toxizität für Mikroorganismen.

S18.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

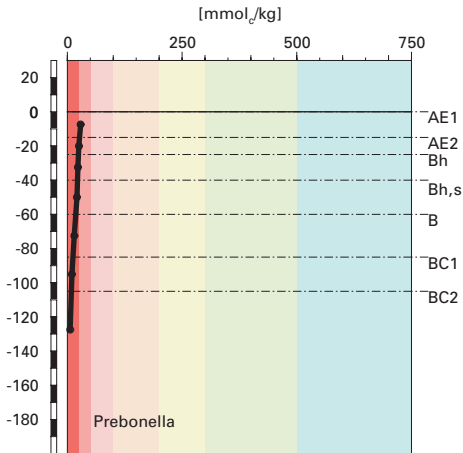
Die Humusform Mull und die Krümelstruktur in den AE-Horizonten sind Hinweise auf eine gute Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden. Auch das mässig enge C/N-Verhältnis von 14 im AE1-Horizont, welches für die Humusform Mull typisch ist, sowie das enge C/P-Verhältnis von 90 sind Anzeichen für eine hohe Mineralisierung der organischen Substanz. Das Klima an diesem auf rund 1000 m. ü. M. gelegenen E-exponierten Standort ist vergleichbar mit jenem von Pian d'Arf (S17). In Prebonella ist das Wärmeangebot günstig für einen raschen Abbau der organischen Substanz. Vor allem die Feuchtigkeit dürfte hier ausgeglichener sein als in Pian d'Arf. Bei sehr ähnlicher Baumartenmischung an beiden Profilorten (v. a. geprägt durch Kastanie), hat sich in Prebonella ein Mull gebildet, wogegen die Humusform im tiefer gelegenen Pian d'Arf ein Moder ist. Dies liegt vermutlich an den ausgeglichenen Feuchtigkeitsverhältnissen im ziemlich milden Klima von Prebonella.

S18.6.2 Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität ist in Übereinstimmung mit den eher bescheidenen Mengen an organischer Substanz und Ton im AE1-Horizont sehr gering, in den tiefer gelegenen Horizonten extrem gering ([Abb. S18.19](#)). Im Tiefenverlauf nimmt sie monoton von rund 30 auf 6 mmol_c/kg ab. Die in anderen Böden beobachtbare deutliche Zunahme der Kationenaustauschkapazität in den obersten Mineralerdehorizonten fehlt hier.

Der Kationenaustauscher ist im ganzen Profil mehrheitlich mit Aluminium belegt ([Abb. S18.20](#)). Ab 85 cm Tiefe nimmt der Anteil von austauschbarem Aluminium zugunsten austauschbarer Nährstoffkationen rasch ab. Unter den Nährstoffkationen dominiert Ca in allen Horizonten. Auffallend ist die verglichen mit Magnesium profilumfassend grössere K-Belegung des Austauschers ([Abb. S18.20](#)).

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)

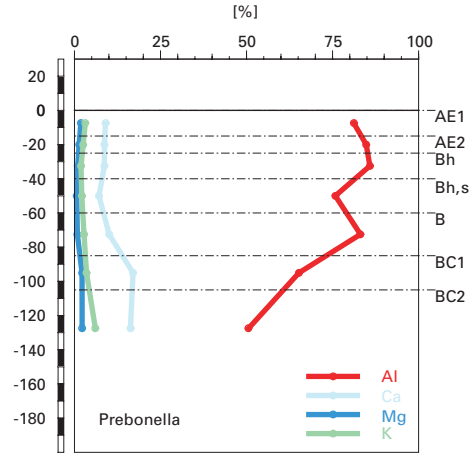


Abb. S18.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. S18.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

S18.6.3

Nährstoffvorräte

Vor allem die sehr kleine Kationenaustauschkapazität ist Ursache der Nährstoffarmut dieses Bodens. Bis 60 cm Tiefe sind die Vorräte von Ca, Mg und K allesamt sehr gering ([Abb. S18.21–S18.23](#)). Unter Berücksichtigung der Tiefgründigkeit und der uneingeschränkten Durchwurzelbarkeit des Bodens fällt die Vorratsbeurteilung für Ca etwas günstiger aus. Sein Vorrat ist bis in den BC2-Horizont mit 209 kg/ha als knapp gering einzuschätzen, jener für Mg und K bleibt sehr gering. Da der Boden uneingeschränkt durchwurzelbar ist und nur ein kleines Risiko für Trockenstress besteht, ist die Nutzung dieser sehr geringen bis geringen Vorräte durch die Pflanzen nicht limitiert.

Kalzium-Vorrat

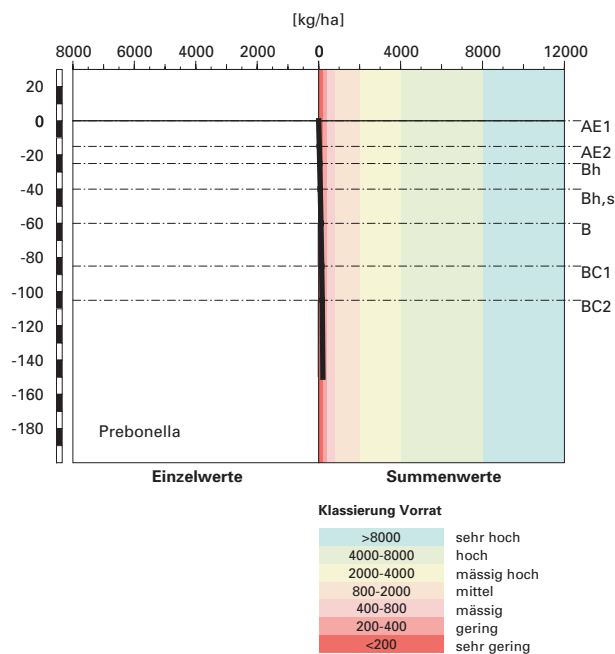


Abb.S18.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

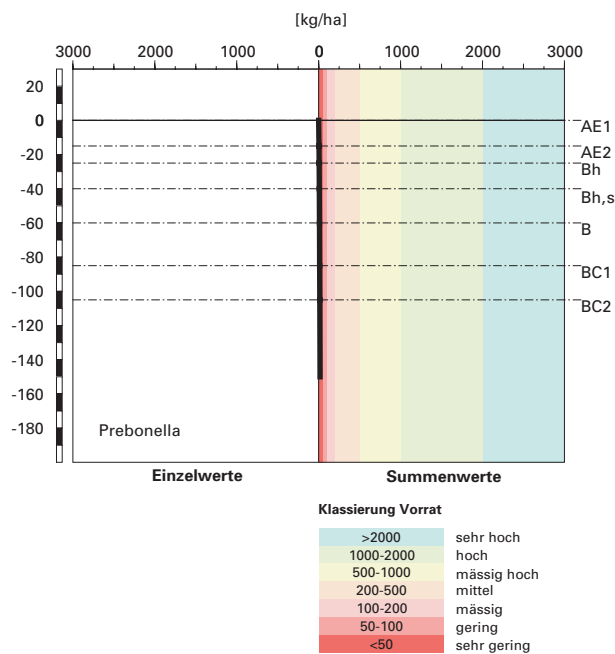


Abb.S18.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

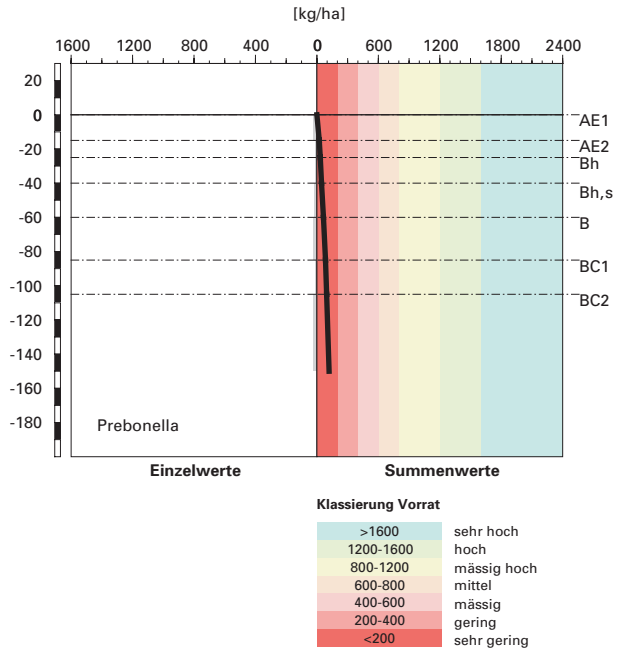


Abb. S18.23 Vorrat an Kalium

S18.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

S18.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. S18.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

S18.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand setzt sich vor allem aus Kastanien und Fichten zusammen. Die Fichte hat einen Deckungswert von 20%. Sie wurde vermutlich durch den Menschen gefördert. Im Naturwald wäre die Buche herrschend, begleitet von einigen anderen Baumarten, insbesondere der Kastanie. Nach Frey et al. (2000) kommt an diesem Standort (EK Nr.3) Moder als typische Humusform vor. Die aktuelle Humusform Mull ist also nicht standorttypisch.

Tab.S18.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Prebonella)**Standortangaben**

Relief	Höhe	950 m
	Exposition	E
	Neigung	56%
Klima	Jahresniederschlag	1844 mm
	Jahrestemperatur	8.3°C
Ausgangsgestein	karbonatfreie Moräne	
Baumbestand	Struktur	einschichtig
	Schlussgrad	80%
	Baumarten (Deckung)	60% Edelkastanie, 20% Fichte
	Oberhöhe	30–35 m
Waldgesellschaft	nach E&K 1972	Nr.3: Typischer Schneesimsen-Buchenwald
	nach BUWAL 2005	Nr.3: Typischer Schneesimsen-Buchenwald

Bodenkennwerte

Bodensystematik	Bodentyp	Kryptopodsol
	Humusform	Mull
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Im Boden sind keine Vernässungsmerkmale erkennbar, was zeigt, dass die Durchlüftung stets gut ist.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden ist für alle Baumarten mindestens profilumfassend durchwurzelbar. Der Wurzelraum wird mit mehr als 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Wurzeln sind bis zur Profilsohle vorhanden.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen schätzen wir das Risiko für Trockenstress als klein ein.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Der Boden ist bis 85 cm Tiefe stark, weiter unten im Profil mässig sauer. Das Ausgangsgestein ist karbonatfrei.
	Aluminium-Toxizität	Bis 85 cm Tiefe besteht ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Mull weist auch das mässig enge C/N-Verhältnis auf eine hohe Mineralisierungsrate hin.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen sind sehr gering (Mg, K) bis gering (Ca).
Verankerung	Da der Boden sehr tiefgründig ist, wird die Verankerung des Baumbestandes als gut bewertet.	
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er bis 60 cm Tiefe wenig Skelett enthält. Der Wald liegt aber an einem steilen Hang, so dass ein Befahren des Bestandes nicht möglich ist.	

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**

Da dieser Boden von allen Baumarten tief durchwurzelt werden kann, schränkt dieses Kriterium die Baumartenauswahl nicht ein.

■ **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 Risiko für Trockenstress ist klein. Im Boden dürfte für alle Baumarten ein stets ausreichender Wasservorrat verfügbar sein. Dieses Kriterium schränkt die Baumartenauswahl nicht ein.

■ **Säurezustand und Aluminium-Toxizität**

Die Feinerde ist derart sauer, dass bis 85 cm Tiefe ein Risiko für Al-Toxizität besteht. 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**

An diesem Standort ist untypischerweise ein Mull vorhanden. Normalerweise würde man einen Moder antreffen (Frey et al. 2000). Aufgrund der offenbar untypisch hohen biologischen Aktivität drängt sich keine Verbesserung der Nährstoffumsetzung im Oberboden auf. Allenfalls liesse sich die Mineralisierungsrate durch eine naturnahere Bestockung geringfügig erhöhen.

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. Trotz biologisch aktivem Oberboden schätzen wir die Vorräte von Kalzium, Magnesium und Kalium für ein konkurrenzfähiges Gedeihen der Edellaubhölzer als ungenügend ein.

Für den vorliegenden Waldstandort werden die in **Tab. S18.6** ersichtlichen Baumarten empfohlen. Aus bodenkundlicher Optik ist die Baumartenempfehlung des BUWAL (2005) aufgrund des Säurezustandes und des Nährstoffangebotes zu hinterfragen.

Wie auf allen Laubholzstandorten ist aus bodenkundlicher Sicht eine vielfältige Baumartenmischung mit möglichst vielen Laubhölzern anzustreben. Dadurch bleibt die Mineralisierungsrate der Nährstoffe im Oberboden hoch und die Humusform ein Mull.

Die Fichte und Lärche haben eine derart schlecht abbaubare Streu, dass wir sie auf diesem stark sauren Boden nicht empfehlen können.

Aus standortkundlicher Sicht sei abschliessend erwähnt, dass das BUWAL (2005) für diesen Buchenstandort Baumarten mit recht unterschiedlicher ökologischer Verbreitung empfiehlt. Wer diese Baumarten in einem Mischwald aufwachsen lassen will, muss mit einem erheblichen Pflegeaufwand rechnen.

Tab. S18.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand	
Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 3; BUWAL 2005)	Buche, Traubeneiche, Flaumeiche, Birke, Kastanie, Mehlebeere, Vogelbeere, Aspe, Linde, Fichte, Tanne, Lärche
Bodenkundliche Kriterien	Buche, Traubeneiche, Flaumeiche, Birke, Kastanie, Mehlebeere, Vogelbeere, Aspe, Winterlinde, Tanne, (Fichte, Lärche)

Blaser, P./Kernebeek, P./Tebbens, L./VanBreemen, N. and Luster, J., 1997: Cryptopodzolic Soils in Switzerland. *European Journal of Soil Science*, 48: 411–423

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.

Mokma, D.L. and Buurman, P., 1982: Podzols and podzolization in temperate regions. *ISM Monograph 1*, ISRIC, Wageningen, 126 pp.

Frey, H.U./Bichsel, M./Preiswerk, Th., 2000: Waldgesellschaften und Waldstandorte Graubündens, 8. Teil Südtäler. Hrsg.: Amt für Wald Graubünden, Chur. Ringordner.

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