

S19 Bodenprofil Poschiavo 1

S19.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

S19.1.1 **Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren**

Das Bodenprofil ist in [Abb.S19.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.S19.2](#). [Tab.S19.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Poschiavo 1 zusammen und [Tab.S19.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

S19.1.2 **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.

S19.1.3 **Besonderheiten am Profilort**

An der Bodenoberfläche liegen unterschiedlich grosse Blöcke, die auf Stein-
schlag hinweisen.

Ein stark variierendes Standortsmosaik (Mulden, Kuppen) kennzeichnet
die Fläche in unmittelbarer Umgebung des Bodenprofils.

S19.1.4 **Profilmorphologie und Klassierung**

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in
[Tab.S19.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

An diesem Standort sind eine durchgehende Streuauflage, ein Fermentations- und ein Humusstoffhorizont vorhanden. Der Streueintrag besteht aus Fichtennadeln, teilweise aber auch aus Rückständen von der üppigen Krautschicht. Der Abbau der Vegetationsrückstände ist gehemmt. Mit der Horizontfolge L-F-H-AE wird die Humusform als Rohhumus klassiert.



Abb. S19.1 ([links](#)) Bodenprofil Poschiavo 1

Abb. S19.2 ([rechts](#)) Bestand am Profilort Poschiavo 1

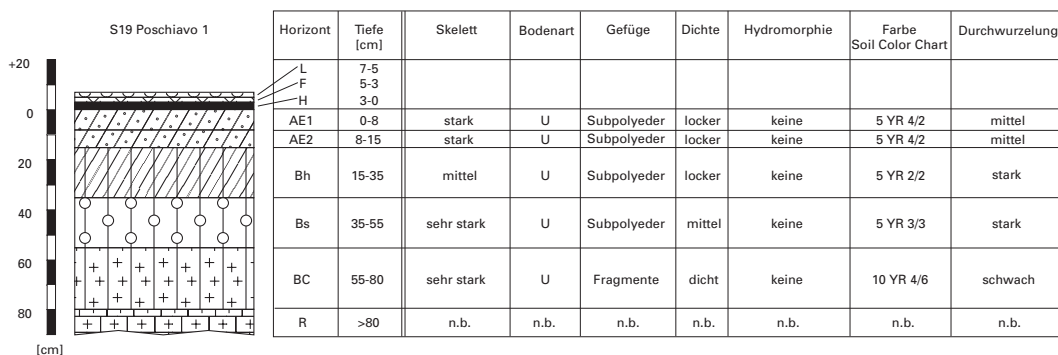
Tab. S19.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Poschiavo 1	
Lokalname	Costascia da Suasar (Kanton Graubünden Gemeinde Poschiavo)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1298, Lago di Poschiavo Koordinaten 802 000/129 000
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972)	Nr. 57: Torfmoos-Fichtenwald mit Landschilf (<i>Sphagno-Piceetum calamagrostietosum villosae</i>)
Horizontfolge	L-F-H-AE1-AE2-Bh-Bs-BC-R
Humusform	Rohhumus
Bodentyp	Eisen-Humuspodsol
Bodentyp nach FAO (1988)	Podzol

Tab. S19.2 **Bodenbildungsfaktoren am Profilort Poschiavo 1**

Relief	Höhe ü. M.	1852 m	
	Exposition	N	
	Neigung	50 %	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Ostalpin, Gneise, Gimmerschiefer und Phyllite (Blockschutt aus kristallinem Gestein)	
	Lithofazies (nach Tuchschnid 1995)	Nr. 31: Wildbachablagerungen und Gehängeschutt physikalische Verwitterbarkeit Gestein: klein chemische Verwitterbarkeit Gestein: sehr niedrig Tongehalt Gestein: niedrig–mittel	
Klima	T/N Jahresmittel	4.1 °C/1694 mm	
	T/N Januarmittel	– 1.7 °C/73 mm	
	T/N Julimittel	12.5 °C/153 mm	
	Tage mit Schneedecke	204	
	Wärmegliederung	sehr rau	
	Länge der Vegetationsperiode	120–135 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (25–30 m Höhe)	20 %	20 % Fichte (<i>Picea abies</i>)
	Strauchschicht	2 %	–
	Krautschicht	70 %	Wolliges Reitgras (<i>Calamagrostis villosa</i>) Himbeere (<i>Rubus idaeus</i>) Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>) Eichenfarn (<i>Gymnocarpium dryopteris</i>) Alpenlattich (<i>Homogyne alpina</i>)
	Mooschicht	10 %	–

Tab. S19.3 Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Poschiavo 1

Bodenart: U Schluff; n.b. nicht bestimmt



Morphologisch können im Mineralboden über dem Fels vier Horizonte unterschieden werden. Die Tiefenstufe 0 bis 15 cm wurde in zwei verschiedenen Tiefen (AE1 und AE2) beprobt, so dass sich insgesamt fünf Horizonte über dem felsigen Untergrund ergeben. In den obersten 15 cm ist der Boden dunkel (gräulich-braun) gefärbt, wobei mit zunehmender Tiefe eine Aufhellung festzustellen ist. Die fahleren Farbtöne sind Anzeichen von Verlagerungen (Sesquioxide und Humusstoffe) in tiefer gelegene Horizonte. In 15 bis 35 cm Tiefe ist der Boden bräunlich-schwarz und in 35 bis 55 cm Tiefe dunkel rötlich braun gefärbt. Der ganze Bereich von 15 bis 55 cm Tiefe gehört zur Anreicherungszone. Im Bereich von 55 cm bis zum Fels in 80 cm ist die Farbe rötlich braun. Der Boden ist stark bis sehr stark skeletthaltig. Nur der Bereich von 15 bis 35 cm Tiefe weist einen mittleren Skelettgehalt auf. Die Bodenart der Feinerde entspricht im ganzen Profil einem Schluff. Die Feinerde ist bis in 55 cm Tiefe in Subpolyeder strukturiert. In den tiefer gelegenen Bereichen bilden Fragmente das Gefüge. Der Boden ist bis 35 cm Tiefe locker, von 35 bis 55 cm mittel und darunter dicht gelagert. Im ganzen Profil sind keine hydromorphen Merkmale zu erkennen.

Die Horizonte werden mit L-F-H-AE1-AE2-Bh-Bs-BC-R gekennzeichnet und der Boden als Eisen-Humuspodsol klassiert.

Ergänzende Bodenmerkmale

Die Feinerde des Bodens ist gemäss pH-Hellige sehr sauer. Der Wurzelraum ist aufgrund des felsigen Untergrundes auf rund 80 cm beschränkt. Die Tiefe des anstehenden Ausgangsgesteins ist in unmittelbarer Umgebung des Profils sehr variabel. Die Durchwurzelung ist im Oberboden mittel, von 15 bis 55 cm Tiefe stark und von 55 bis 80 cm noch schwach.

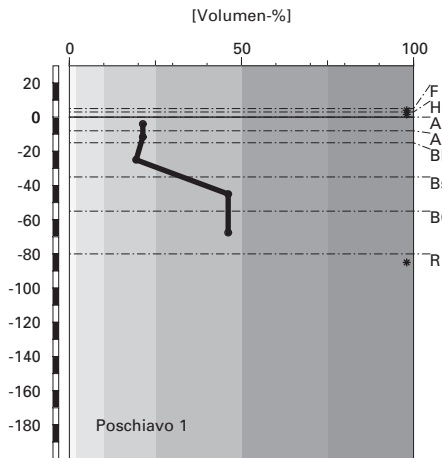
S19.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

S19.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

Skelettgehalt

Der Skelettgehalt wird bis 35 cm Tiefe als mittel klassiert ([Abb. S19.3](#)). Ab dieser Tiefe ist ein Steinblock vorhanden, der bewirkt, dass der Boden als stark skeletthaltig eingestuft wird ([Abb. S19.1](#)). Die Gründigkeit des Bodenprofils ist durch einen Gesteinsblock auf 80 cm beschränkt. Das Bestandesphoto ([Abb. S19.2](#)) lässt vermuten, dass der Skelettgehalt in diesem Boden kleinräumig stark variiert und dass vielerorts grobe Blöcke vorhanden sind.

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

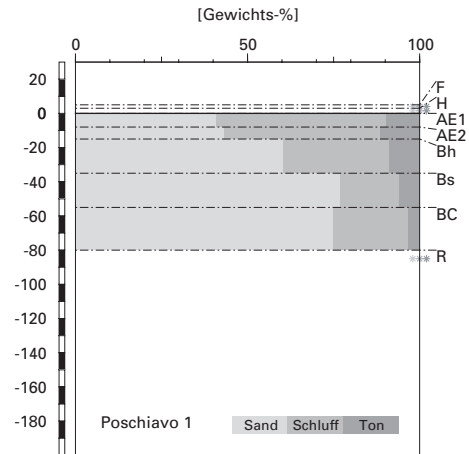


Abb. S19.3 (links) Skelettgehalt

Abb. S19.4 (rechts) Bodenart

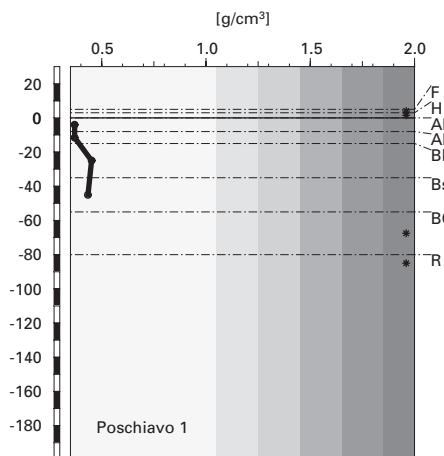
Der Boden dürfte in der Umgebung des Profils an manchen Stellen mächtiger als 80 cm sein.

Bodenart

Die Feinerde wird in diesem Boden mit zunehmender Tiefe auffallend grobkörniger (Abb. S19.4). Bis 15 cm Tiefe sind die Anteile von Sand und Schluff noch ausgewogen, tiefer im Profil überwiegt der Sandgehalt deutlich. Der Tonanteil nimmt mit der Tiefe stark ab, wobei nicht erklärt werden kann, weshalb die Eluvial-Horizonte (AE1 und AE2) am meisten Ton enthalten. In Bezug auf den Tongehalt handelt es sich bei der Mehrzahl der Horizonte um leichten Boden.

Bei der Bestimmung der Bodenart im Feld (Fingerprobe) wurde der Schluffanteil überschätzt (Tab. S19.3).

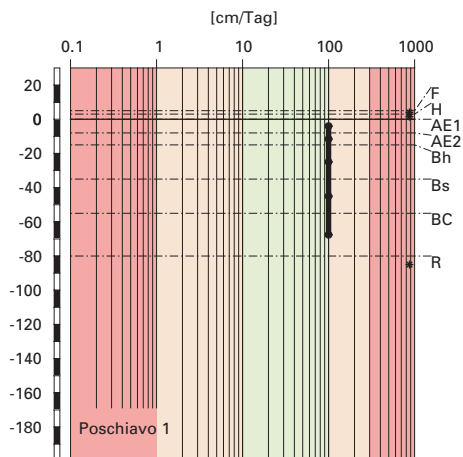
Feinerde-Dichte



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. S19.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb. S19.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Dichte der Feinerde

Die Dichte der Feinerde ist im gesamten Profil kleiner als 0.5 g/cm^3 (Abb. S19.5) und damit äusserst gering. Der Boden gilt damit als ausserordentlich locker.

Bei der Profilsprache im Feld wurde die Dichte der untersten Horizonte deutlich überschätzt (Tab. S19.3).

Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Alle Horizonte dieses überaus lockeren Bodens sind hoch durchlässig (Abb. S19.6). Beim Übergang zum Gesteinsblock ist die Durchlässigkeit gehemmt, so dass das Wasser auf dem Fels seitwärts abfließt.

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 80 cm Tiefe beträgt 152 l/m^2 . Damit wird die speicherbare Wassermenge als hoch klassiert (Abb. S19.7).

pflanzenverfügbares Wasser

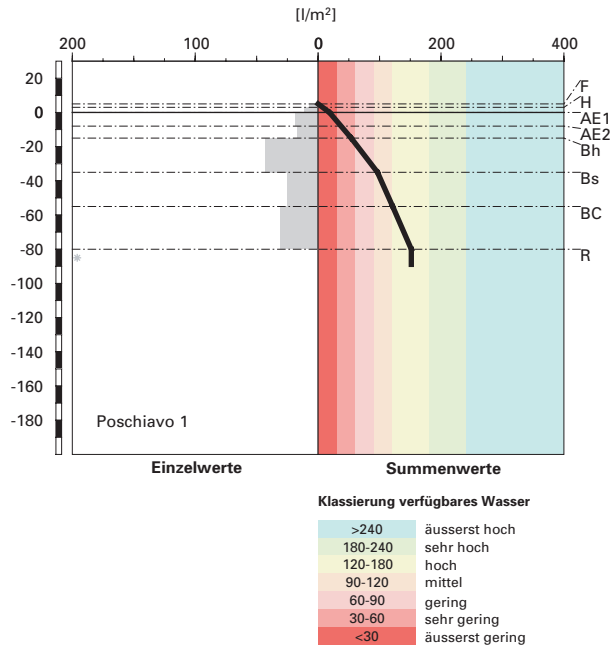


Abb. S19.7 Pflanzenverfügbares Wasser

S19.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Dieser Podsol ist derart durchlässig (Abb. S19.6), dass keine Vernässungsmerkmale vorkommen. Der Felsblock im Untergrund leitet das Sickerwasser offenbar rasch lateral ab, so dass im Boden kaum Wasser gestaut wird. Gesättigte Phasen sind somit höchstens von kurzer Dauer.

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Da in 80 cm Tiefe ein Felsblock ansteht, ist der Wurzelraum für alle Baumarten begrenzt. Der Boden wird aber dennoch als tiefgründig klassiert.

Bis 80 cm Tiefe ist das Wurzelwachstum nicht eingeschränkt, da der Boden sehr locker und die Durchlüftung stets ausreichend ist.

Fichtenwurzeln sind bis zur Profilssole vorhanden. Wie tief die Bäume die zwischen den Felsblöcken vorhandenen Spalten zu durchwurzeln vermögen, ist nicht bekannt.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Nach unseren Berechnungen, welche sich auf einen Wurzelraum von 80 cm Mächtigkeit beziehen, beginnt der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 20 Tagen an Wassermangel zu leiden. Da der Wurzelraum in diesem heterogenen Boden vielerorts mächtiger als 80 cm sein dürfte, kann Trockenstress auch später eintreten. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen ist an diesem subalpinen Fichtenstandort kaum je Trockenstress zu erwarten.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden würde selbst in nassem Zustand wenig empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen reagieren, da er relativ viel Skelett enthält. Ein Befahren des Bestandes wird allerdings durch die Steilheit des Hanges und lokal auch durch Gesteinsblöcke stark erschwert.

S19.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

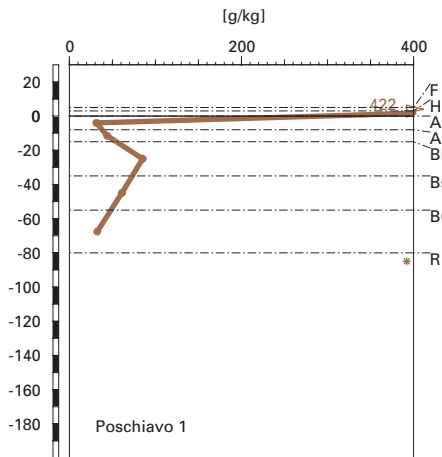
S19.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Das Profil befindet sich in einem reinen Fichtenbestand, welcher einen Deckungsgrad von nur 20% aufweist. Die günstigen Lichtverhältnisse lassen eine üppige Krautschicht gedeihen, welche 70% der Fläche bedeckt. Die Krautschicht besteht vor allem aus wolligem Reitgras, Heidelbeere, Himbeere und Alpenlattich. Die Streu fällt zur Hauptsache von den Fichten in der Baumschicht, aber auch aus der Krautschicht an. Da die Heidelbeere einen hohen Deckungsgrad aufweist, ist die Streu insgesamt als schwer abbaubar zu beurteilen. Es haben sich deshalb ein 2 cm dicker F- und ein 3 cm mächtiger H-Horizont gebildet.

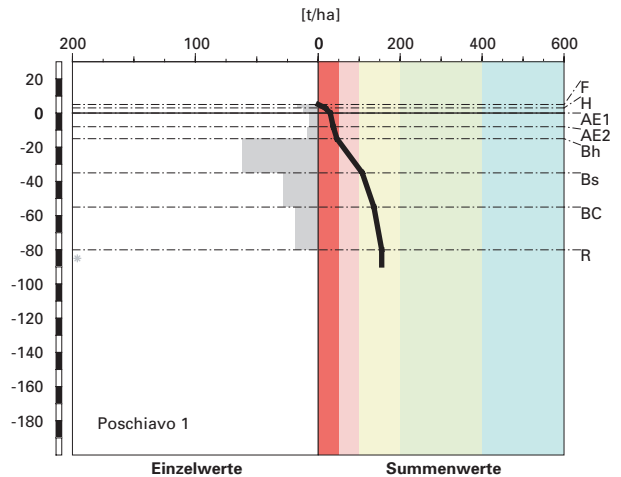
Der F- und H-Horizont haben entsprechend ihrer vorwiegend organischen Zusammensetzung einen Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) von 42 bzw. 39 % (Abb. S19.8). Unter der organischen Auflage folgt der AE-Horizont, welcher in zwei Tiefen beprobt wurde. Obwohl beide Subhorizonte eine gleiche Farbe haben, hat der AE2-Horizont mit 4.4% gegenüber dem AE1-Horizont (3.1%) den grösseren Gehalt an organischem Kohlenstoff. Die Feinerde ist bis in den BC-Horizont durch den Humus dunkel gefärbt. Es resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 155 t/ha (Abb. S19.9), wobei für die Vorratsberechnung in der organischen Auflage eine Dichte von 0.2 g/cm^3 angenommen wurde.

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})



Klassierung Vorrat

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

Abb. S19.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb. S19.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

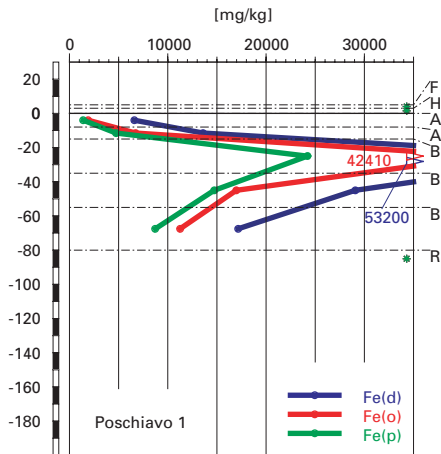
Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Das Maximum der Tonfraktion befindet sich mit 11.3% im Oberboden im AE2-Horizont (Abb. S19.4). Mit der Profiltiefe nimmt der Tongehalt stark ab und beträgt im BC-Horizont nur noch 3.2%.

Die Tiefenverteilungen der extrahierbaren Fe-Verbindungen sehen alle gleich aus. Sowohl das Dithionit- (Fe_d), das Oxalat- (Fe_o) als auch das Pyrophosphat-extrahierbare Eisen (Fe_p) nehmen vom Minimum im AE1-Horizont bis zum Maximum im Bh-Horizont sehr stark zu (Abb. S19.10). Vom Bh- bis in den BC-Horizont werden die Gehalte wieder kleiner.

Die Tiefenverteilung des Oxalat-extrahierbaren Aluminiums (Al_o) ist analog jener des Pyrophosphat-extrahierbaren (Al_p). Sowohl beim Al_o als auch beim Al_p nimmt der Gehalt vom Minimum im AE1-Horizont bis zum Maximum im BC-Horizont zu (Abb. S19.11). Die Zunahme ist nicht kontinuierlich. Die AE-Horizonte haben eindeutig die kleinsten Gehalte. Dann erfolgt eine sprunghafte Zunahme in den Bh-Horizont. Beim Al_p bleibt der

Eisen-Oxide (Gehalte)



Aluminium-Oxide (Gehalte)

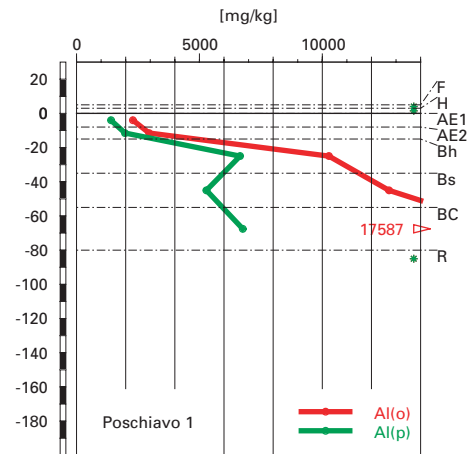


Abb.S19.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb.S19.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide (Verhältnisse)

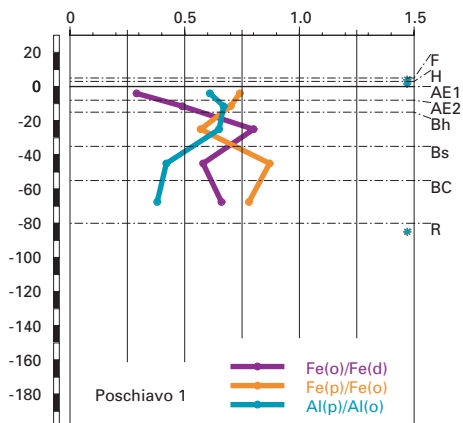


Abb.S19.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Gehalt vom Bh- bis in den BC-Horizont mehr oder weniger konstant, während Al_o in demselben Profilbereich nochmals um rund 7 g/kg zunimmt.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis ist im Oberboden relativ eng (0.3 bis 0.5), weist jedoch im Unterboden Werte von >0.6 auf (Abb. S19.12).

Das Al_p/Al_o -Verhältnis widerspiegelt die Tiefenverteilung der C_{org} -Gehalte recht gut (Abb. S19.8 und S19.12).

Das Fe_p/Fe_o -Verhältnis hingegen verhält sich genau umgekehrt. Es ist im Bh-Horizont, welcher den grössten C_{org} -Gehalt der Mineralbodenhorizonte hat, am engsten und nimmt in den über bzw. unter dem Bh-Horizont liegenden Profilbereichen zu.

S19.3.2 Bodenkundliche Interpretation

Das sehr rauhe Klima (durchschnittlicher jährlicher Niederschlag: 1694 mm; Jahresdurchschnittstemperatur: 4.1°C) am N-exponierten Profilort in einer Höhenlage von 1852 m.ü.M. ist zusammen mit der schwer abbaubaren Streu von der Fichte und den teilweise ebenfalls schwer abbaubaren Resten der Krautschicht (Heidelbeere) dafür verantwortlich, dass sich am Profilort eine organische Auflage von 7 cm Mächtigkeit und als Humusform ein Rohhumus gebildet haben. Die biologische Aktivität ist bei solchen Verhältnissen gering, weshalb in allen mineralischen Horizonten eine Subpolyederstruktur vorhanden ist. Im F- und im H-Horizont wird das C/N-Verhältnis mit jeweils 22 als mässig weit klassiert. Die geringe biologische Aktivität und das mässig weite C/N-Verhältnis lassen nur eine niedrige Mineralisierung der organischen Substanz zu. Der unvollständige Abbau der Streu unter Bildung organischer Säuren und Humus sind wichtige Prozesse in diesem Boden. Gelöste organische Substanzen werden mit dem durch die grossen Niederschlagsmengen reichlichen Sickerwasser in die Tiefe verlagert, was aus der Tiefenverteilung der C_{org} -Gehalte mit einer Verarmung in den AE-Horizonten und einer Anreicherung im Bh- und zum Teil im Bs-Horizont ersichtlich wird (Abb. S19.8). Im Mineralboden sind durch die intensive Gesteinsverwitterung grosse Mengen an amorphen Al- und Fe-Verbindungen vorhanden, welche diese verlagerte organische Substanz stabilisieren und vor weiterem Abbau schützen. In diesem nur 80 cm mächtigen Boden ergibt sich ein im gesamtschweizerischen Vergleich mittlerer Vorrat an organischem Kohlenstoff von 155 t/ha.

Die Tiefenverteilung der Tonfraktion lässt keine eindeutigen Schlussfolgerungen auf eine Tonverlagerung zu. Allenfalls hat oberflächennah eine leichte Anreicherung im AE2-Horizont stattgefunden. Ansonsten nimmt der Anteil der Tonfraktion mit der Profiltiefe, entsprechend einem abnehmenden Verwitterungsgrad, ab. Bei den herrschenden pH-Verhältnissen finden keine Tonverlagerung und auch keine Tonmineralneubildung statt.

Im Gegensatz zum Ton sind die Anzeichen einer Al- und Fe-Verlagerung eindeutig. Der Verlagerungsindex für Fe_o , gebildet aus dem Quotienten des Maximums (Bh-Horizont) und Minimums (AE1-Horizont) von Fe_o beträgt 25.1. Er ist damit deutlich grösser als die entsprechenden Werte in Kryptopodsolen. Für Al_o kann kein Verlagerungsindex berechnet werden, weil das Anreicherungsmaximum unbekannt ist. Die Tiefenverteilung von Al_o zeigt, im Gegensatz zum Fe_o , kein eindeutiges Maximum mit wiederum abnehmenden Gehalten in tieferen Profilbereichen (Abb. S19.11). Al_o nimmt mehr oder weniger kontinuierlich bis zum R-Horizont zu. Es kann angenommen werden, dass bereits beträchtliche Al-Mengen den mit dem Profil erschlossenen Boden verlassen haben und über dem anstehenden Felsblock talwärts oder weiter in die Tiefe verlagert wurden.

Die Fe-Fractionen zeigen eine analoge Tiefenverteilung wie der organische Kohlenstoff (Abb. S19.8 und S19.10). Offensichtlich erfolgt die Fe-Verlagerung vor allem in Form von Fe-organischen Verbindungen. Al hingegen ist bei den vorliegenden pH-Werten stärker löslich, weshalb es viel tiefer verlagert wird als Eisen.

Der Feststellung der Fe-Verlagerung in hauptsächlich komplexierter Form (mit gelöster organischer Substanz) widerspricht an und für sich der Verlauf des Fe_p/Fe_o -Verhältnisses mit einem Minimum im Bh-Horizont (Abb. S19.12), d.h. hier wären nach klassischer Interpretation die Fe-Verbindungen am wenigsten mit der organischen Substanz assoziiert. Eine Erklärung für dieses abweichende Verhalten des Fe_p/Fe_o -Verhältnisses konnte nicht gefunden werden, zumal die beiden anderen Verhältnisse klassisch interpretiert werden können. Der zum C_{org} -Gehalt analoge Tiefenverlauf des Al_p/Al_o -Verhältnisses verdeutlicht vor allem in jenen Horizonten mit grösserem C_{org} -Gehalt eine verstärkte Assoziation der amorphen Al-Verbindungen mit der organischen Substanz. Das weiteste Fe_o/Fe_d -Verhältnis im Bh-Horizont veranschaulicht die kristallisationshemmende Wirkung der organischen Substanz, indem der Anteil des amorphen Eisens (Fe_o) am Fe_d vor allem in den Anreicherungshorizonten besonders gross ist. In diesen Horizonten sind Humusstabilität, Fe-organische Verbindungen und ein weites C/N-Verhältnis ursächlich verknüpft (Martin und Haider 1986).

Die aufgrund morphologischer Kriterien vorgenommene Klassierung des Bodens als Eisen-Humuspodsol wird durch die Interpretation der Al- und Fe-Oxide bestätigt.

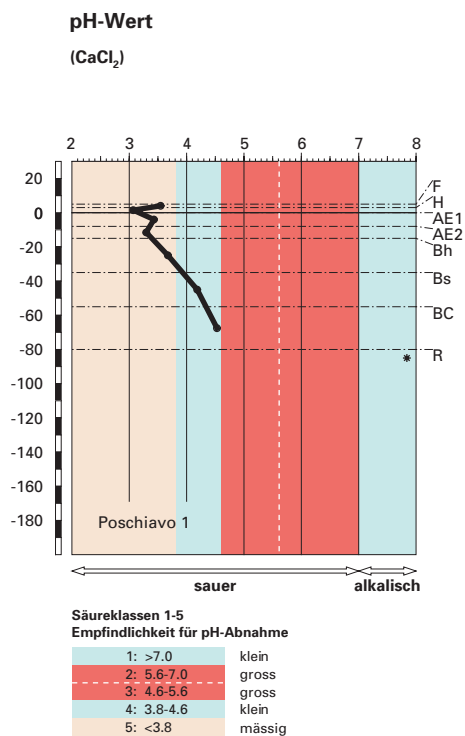


Abb. S19.13 pH-Wert und Säureklassen

S19.4 Themenbereich «Säurezustand»

S19.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

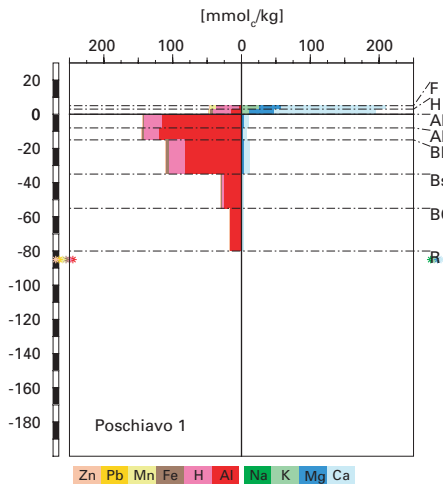
pH-Wert

Der pH-Wert beträgt in der organischen Auflage 3.5 im F- und 3.1 im H-Horizont (Abb. S19.13). Im Mineralboden nimmt der pH-Wert mit der Tiefe von 3.4 auf 4.5 zu. Bis in den Bh-Horizont ist die Feinerde sehr stark sauer und befindet sich in der Säureklasse 5. Die stark sauren Bs- und BC-Horizonte liegen in der Säureklasse 4.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Entsprechend der stark bis sehr stark sauren Feinerde ist der Kationenaustauscher mit Ausnahme der organischen Auflage überwiegend mit sauren Kationen belegt (Abb. S19.14). Nennenswerte Mengen von austauschbaren Nährstoffkationen sind nur im F- und H-Horizont zu finden. Der grösste Teil der Austauscherplätze ist mit Aluminium belegt. Zusätzlich sind bis in den

austauschbare Kationen



Basensättigung

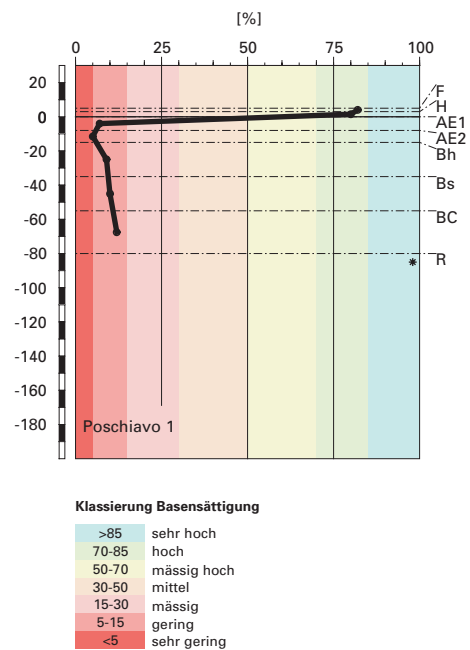


Abb.S19.14 (links) Belegung des Kationenaustauschers

Abb.S19.15 (rechts) Basensättigung

Bh-Horizont bemerkenswert hohe Anteile austauschbarer Protonen sowie bis in den Bs-Horizont nennenswerte Anteile von austauschbarem Eisen vorhanden. Die Basensättigung ist nur in der organischen Auflage als hoch zu klassieren. Im Mineralboden ist sie gering, wobei sie unterhalb des Minimums im AE-Horizont mit der Tiefe leicht zunimmt (Abb.S19.15).

S19.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

Dieser sehr saure Eisen-Humuspodsol befindet sich bis in den Bh-Horizont im Eisenpufferbereich, darunter im Aluminiumpufferbereich. Unter dem Einfluss des schlecht verwitterbaren, kristallinen Ausgangsgesteins, des sehr rauen Klimas auf rund 1900 m.ü.M. und der Nadelwaldvegetation ist die Versauerung weit fortgeschritten. Die Säurepufferung erfolgt in erster Linie durch die Auflösung von Aluminiumverbindungen, wobei in den

obersten 35 cm Tiefe auch die Auflösung von Eisenverbindungen eine Rolle spielt, wie das Vorhandensein von Eisen am Kationenaustauscher belegt (Abb. S19.14). Die Gesamtheit der Austauscherplätze des Bodens ist zu rund 91% mit sauren Kationen, insbesondere mit Aluminium, belegt, womit wir den Boden als sehr stark versauert beurteilen.

Im Vergleich zu ähnlich sauren Böden ist der Anteil austauschbarer Protonen sehr hoch. Die maximale Protonenbelegung befindet sich mit 20% im Bh-Horizont. Die schlechte Verwitterbarkeit des Blockschutts und der hohe Humusanteil mögen Ursache der grossen Protonenbelegung am Kationenaustauscher sein. Eisen befindet sich auch im Bs-Horizont am Kationenaustauscher, obwohl die Säurepufferung in diesem Horizont nicht durch die Auflösung von Eisenverbindungen erfolgt. Eisen wird durch die Podsolierung bis in den Bs-Horizont verlagert, wo es zumindest teilweise in austauschbarer Form gebunden wird.

Risiko für Boden und Pflanzen

Die Feinerde befindet sich in keinem Horizont in den schlecht puffernden Säureklassen 2 oder 3. Dementsprechend ist das Risiko für eine weitere pH-Abnahme sehr klein. Die Oberbodenhorizonte und der Bh-Horizont befinden sich allerdings in der mässig puffernden Säureklasse 5, wodurch in diesen Horizonten von einem erhöhten Risiko auszugehen ist. Die Versauerung wird deshalb auch in Zukunft vor allem in den obersten 35 cm des Bodens fortschreiten, was sich in einer Abnahme des pH-Wertes und der Verarmung an Nährstoffkationen manifestieren wird.

Die gesamte Feinerde des Mineralbodens weist ein kritisches BC/Al-Verhältnis von ≤ 0.2 auf. Es liegt zwischen 0.09 im AE1-, 0.06 im AE2- und 0.14 im BC-Horizont (Tab. A383 in Blaser et al. 2005). Das Risiko für eine Beeinträchtigung des Wachstums empfindlicher Pflanzen ist somit sehr gross. Durch eine zusätzliche Versauerung wird sich diese Gefährdung noch verstärken.

S19.5 Themenbereich «Schwermetalle»

S19.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Betrachtet man den Mineralboden ohne die organische Auflage, so nehmen die Gehalte von Ni, Cu und Zn mit der Tiefe stark zu und erreichen maximale Werte im Bs- (Cu) bzw. BC-Horizont (Ni, Zn) (Abb. S19.16). Der Cr-Gehalt variiert nur wenig mit der Tiefe mit einem wenig ausgeprägten Maximum im Bs-Horizont. Blei ist minimal im AE1-Horizont und zeigt ein ausgeprägtes Maximum im Bh-Horizont.

Die organische Auflage ist gegenüber dem direkt darunter liegenden AE1-Horizont durch erhöhte Cu-, Zn- und Pb-Gehalte und einen niedrigeren Cr-Gehalt gekennzeichnet.

S19.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus kristallinem Blockschutt besteht, liegen mit Ausnahme von Zn alle Schwermetallgehalte im BC-Horizont innerhalb typischer Wertebereiche. Der Zn-Gehalt liegt etwas über dem typischen Wertebereich. Da für Blockschutt (Lithofazies 31) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, wurde die geologisch nächstverwandte Lithofazies mit geochemischen Angaben (Lithofazies 6, Paragneise) für die Beurteilung beigezogen.

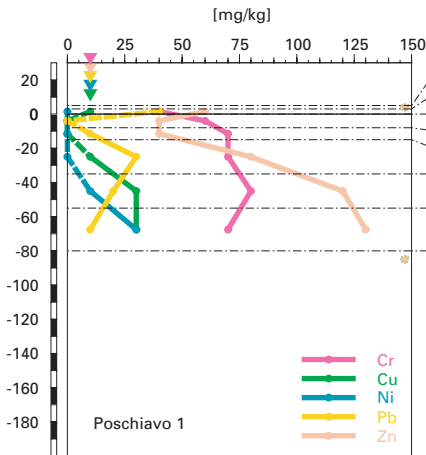
Anmerkung: Da der felsige Untergrund, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht beprobt werden konnte, werden für den geochemischen Vergleich die Schwermetallgehalte im BC-Horizont beigezogen. In wie weit die auf diesem Horizont basierenden Bewertungen realistisch sind, kann nicht festgestellt werden.

S19.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Für den F- und H-Horizont wurden wegen ihres hohen Humusgehaltes (Abb. S19.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm^3 ; Tab. A386 in Blaser et al. 2005) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg ; Abb. S19.17), da die Dichte kleiner ist als $1\text{ g}/\text{cm}^3$. Mangels Messwerten wurde für beide Horizonte eine Dichte von $0.2\text{ g}/\text{cm}^3$ angenommen.

Bezogen auf die VBBo liegen für alle Schwermetalle meist sehr niedrige bis niedrige Konzentrationen bzw. Gehalte vor (Abb. S19.17). Die Ausnah-

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



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

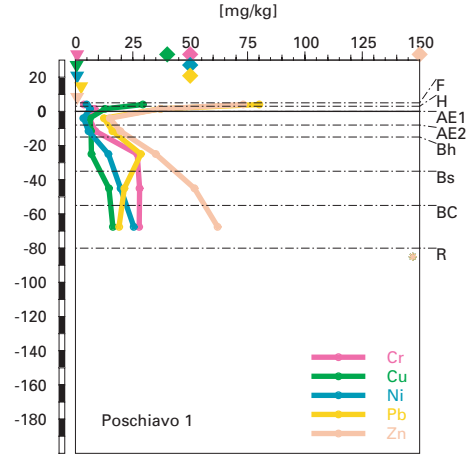


Abb. S19.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. S19.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

me bilden erhöhte Gehalte an Cr vom Bh- bis zum BC-Horizont, an Ni im BC-Horizont und an Pb im Bh-Horizont.

Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

S19.5.4 **Anreicherungsfaktoren**

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

Die Anreicherungsfaktoren (Tab. S19.4) wie auch die Tiefenverteilung der Schwermetallgehalte (Abb. S19.16 und S19.17) sind sehr stark durch die für eine intensive Podsolierung charakteristische Verlagerung geprägt. Dabei spielt neben dem tiefen pH-Wert die Bindung an gelöste organische Substanz eine sehr wichtige Rolle. Am wenigsten tief wird Cr verlagert. Einer vergleichsweise wenig ausgeprägten Verarmungszone in den AE-Horizonten steht eine ebenso wenig ausgeprägte Anreicherungszone vom Bh- bis zum Bs-Horizont gegenüber. Chrom wird also etwas tiefer verlagert als Eisen (Abb. S19.10).

Tab. S19.4 Anreicherungsfaktoren

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
AE1	0– 8	0.54	< 0.21	< 0.21	< 0.63	0.19
AE2	8–15	0.69	< 0.23	< 0.23	0.69	0.21
Bh	15–35	1.29	0.43	< 0.43	3.88	0.80
Bs	35–55	1.32	1.16	0.39	2.32	1.07
BC	55–80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
R	> 80	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Bei Ni, Cu und Zn nehmen sowohl die Gehalte als auch die Anreicherungs-faktoren im Mineralboden mit der Tiefe zu, wobei das Profil bis zum Bh- bzw. Bs-Horizont deutlich an Cu und Zn bzw. Ni verarmt ist. Dies kann mit einer sehr tiefen Verlagerung dieser drei Schwermetalle bzw. Auswaschung aus dem Boden interpretiert werden. Die im Vergleich zu den AE-Horizon-ten erhöhten Gehalte von Zn in der organischen Auflage ([Abb. S19.16](#) und [S19.17](#)) deuten auf Rückführung dieses Mikronährstoffes in den Oberboden mit der Streu hin.

Die ebenfalls erhöhten Pb-Gehalte in der organischen Auflage sind nur anthropogen erklärbar. Die Anreicherung von Pb im Bh- und Bs-Horizont ([Tab. S19.4](#)) zeigt dann, dass das eingetragene Pb im Boden von der Pod-solierungsdynamik erfasst wurde und bereits bis in den Unterboden ver-lagert wurde.

S19.5.5 Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

Die Mobilität von Zn wird in diesem stark bis sehr stark sauren Boden ([Abb. S19.13](#)) aufgrund der pH-Werte in der organischen Auflage sowie im obern Teil des Mineralbodens als sehr gross beurteilt und geht im unteren Teil bis zum BC-Horizont auf mittel zurück ([Abb. S19.18](#)). Die Mobilität von Ni wird aufgrund der hohen Gehalte an organischer Substanz ([Abb. S19.8](#)) in der organischen Auflage sowie im Bh- und Bs-Horizont etwas geringer eingestuft als diejenige von Zn. Bei Cr, Cu und Pb hat der Gehalt an orga-nischer Substanz im ganzen Profil einen mobilitätshemmenden Einfluss. In den AE-Horizonten ist die Mobilität aller drei Schwermetalle am grössten. Für Cr und Cu wird sie als gross, für Pb als mittel geschätzt. Unterhalb der AE-Horizonte geht die Mobilität dieser drei Schwermetalle bis auf sehr ge-ring im BC-Horizont zurück.

Allerdings dürfte wegen der intensiven Podsolierung in diesem Boden die effektive Mobilität der Schwermetalle durch Verlagerung zusammen mit gelöster organischer Substanz grösser sein als aufgrund der Eigen-

Schwermetallmobilität

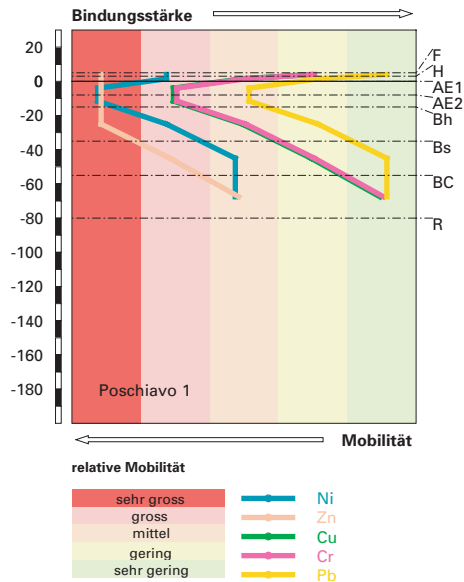


Abb. S19.18 Mobilität der Schwermetalle

schaften der Bodenfestphase (pH, Humus- und Tongehalt) geschätzt und in Abb. S19.18 dargestellt wird. Dies ist in diesem Profil für Cu und Pb besonders ausgeprägt. Die Verlagerung gebunden an gelöste organische Substanz ist zusammen mit den tiefen pH-Werten auch dafür verantwortlich, dass bei diesem Boden ein relativ grosses Risiko einer Belastung des Grundwassers mit allen untersuchten Schwermetallen besteht.

S19.5.6

Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den AE-Horizonten sind alle Schwermetalle in Gehalten vorhanden, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind. Hingegen bedeutet der Cr-Gehalt im H-Horizont ein Risiko für Mikroorganismen.

S19.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

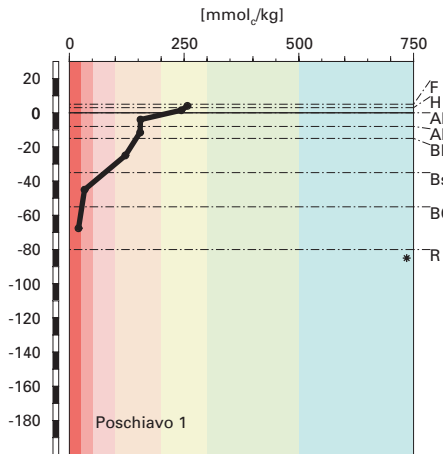
Die organische Auflage (Rohhumus) und die Subpolyederstruktur in den AE-Horizonten sind Anzeichen einer eingeschränkten Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden. Das mässig weite C/N-Verhältnis von 22 im F- und H-Horizont ist an und für sich typisch für die Humusform Moder. Der Rohhumus bei Poschiavo weist also ein relativ enges C/N-Verhältnis auf. Es steht jedoch im Zusammenhang mit einer niedrigen Mineralisierungsrate der organischen Substanz im F- und H-Horizont. Die mässig weiten bis weiten C/P-Verhältnisse von 427 bzw. 884 im F- bzw. H-Horizont bestätigen die relative Nährstoffarmut der organischen Substanz in der Auflage und die damit verbundene gehemmte Nährstoffumsetzung. Die Ursachen dafür sind das Klima, der pH-Wert und die Nadelstreu. Das Klima an diesem N-exponierten Nadelwaldstandort auf 1852 m.ü.M. ist sehr rau, die Feinerde ist bis in den Bh-Horizont sehr stark sauer und die Nadelstreu ist schwer abbaubar.

S19.6.2 Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität ist in der organischen Auflage hoch. Im Mineralboden folgt die Kationenaustauschkapazität nicht direkt dem Ton- bzw. Humusgehalt. Sie wird bis in eine Tiefe von 35 cm als mittel beurteilt ([Abb. S19.19](#)) und ist insbesondere im Bh-Horizont, trotz erhöhtem Humusgehalt, deutlich kleiner als in den AE-Horizonten. In den tiefer gelegenen Horizonten ist die Kationenaustauschkapazität sehr gering bis extrem gering.

Mit Ausnahme der organischen Auflage ist der Kationenaustauscher zum grössten Teil mit Aluminium belegt ([Abb. S19.20](#)). Im F- und H-Horizont hat es neben bedeutenden Anteilen austauschbarer Protonen auch eine hohe Belegung mit Nährstoffkationen, so dass in diesen Horizonten eine hohe Basensättigung resultiert ([Abb. S19.15](#)). Dies ist auf die Aufnahme der Nährstoffe durch die Pflanzen und die Anreicherung dieser Elemente durch die Streu zurückzuführen. Der Anteil austauschbarer Nährstoffkationen beträgt in allen Mineralerde-Horizonten weniger als 10% der Kationenaustauschkapazität. Die Belegung mit Kalziumionen nimmt ab dem AE2-Horizont mit der Tiefe leicht zu, wogegen die K- und Mg-Anteile unterhalb des H-Horizontes praktisch nicht variieren. Es hat profilumfassend um einen Faktor von rund drei mehr austauschbares Magnesium als Kalium.

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)

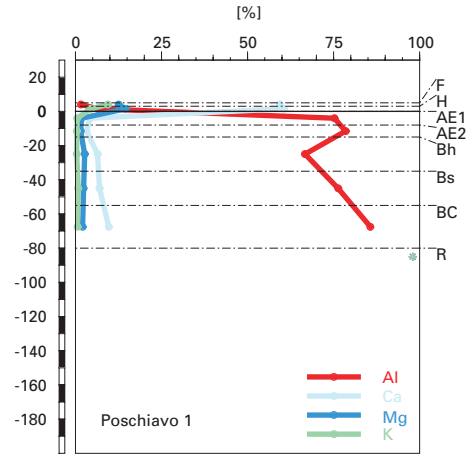


Abb. S19.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. S19.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

Erwähnenswert sind die grossen Gehalte an austauschbaren Protonen bis in den Bh-Horizont, obschon nur mittlere Humusgehalte vorliegen. Offensichtlich ist es die Humusqualität, welche eine Protonenbelegung des Austauschers von 11 bis 20% in der organischen Auflage und den obersten 35 cm des Mineralbodens bedingt (Abb. S19.14).

S19.6.3

Nährstoffvorräte

Als Folge der stark bis sehr stark sauren Feinerde und der mit Ausnahme der organischen Auflage geringen Basensättigung ist die Nährstoffversorgung dieses Bodens, trotz der mittleren Kationenaustauschkapazität bis 35 cm Tiefe, schlecht. Die Vorratsklassierung ist bis 60 cm Tiefe wie folgt (Abb. S19.21–S19.23):

Ca mässig
Mg gering
K sehr gering

In 80 cm Tiefe steht ein Felsblock an. Die Vorratsbeurteilung wird unter Berücksichtigung der gesamten aufgeschlossenen Profiltiefe nicht verändert. Dies vor allem deshalb, weil die Vorräte in der Profiltiefe von 60 bis 80 cm aufgrund des grossen Skelettgehaltes extrem klein sind.

Da der Boden gut durchwurzelbar ist und kein Risiko für Trockenstress besteht, ist die Nutzbarkeit dieser sehr geringen bis mässigen Vorräte für die Pflanzen kaum eingeschränkt. Allerdings gilt es zu beachten, dass in der organischen Auflage 68% des K-Vorrates und 61% des Ca-Vorrates gespeichert sind. Deshalb kann dies auch in kurzen Trockenphasen zu Problemen in der Nährstoffversorgung führen.

Kalzium-Vorrat

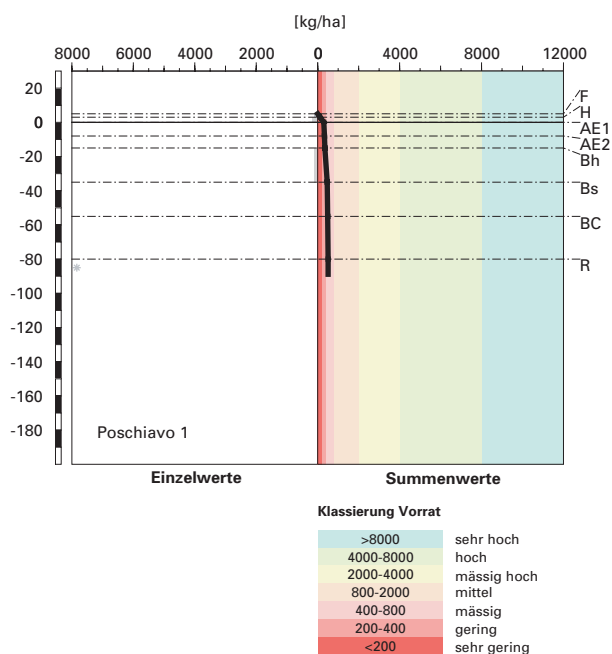


Abb. S19.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

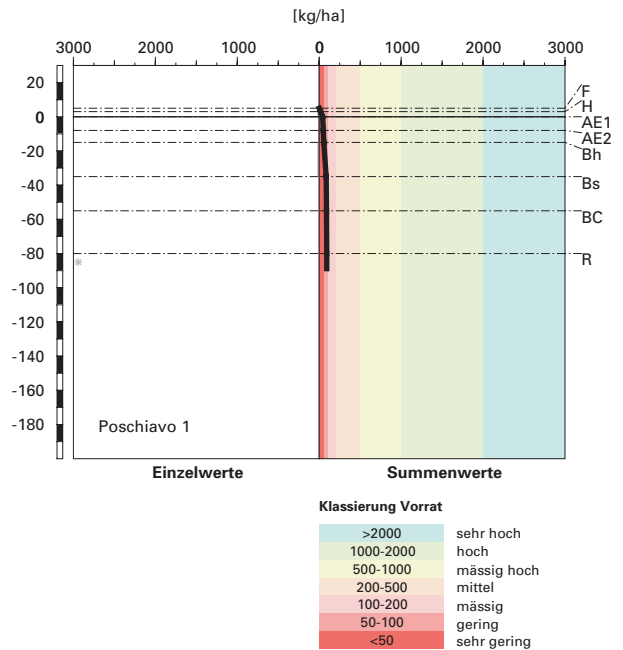


Abb. S19.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

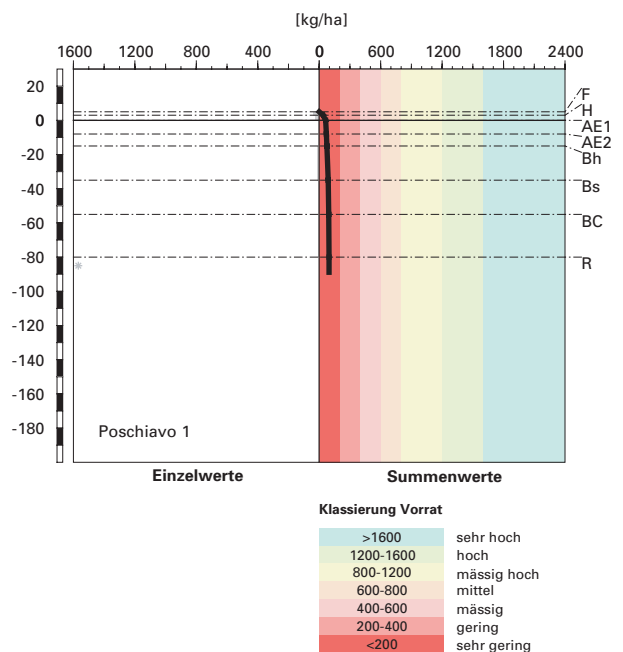


Abb. S19.23 Vorrat an Kalium

S19.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

S19.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. S19.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

S19.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand ist ein nahezu reiner Fichtenwald, was für die Höhenlage und den Standortstyp (EK Nr.57) natürlich ist. Nach Ott et al. (1997) trifft man an diesem Standort häufig Moder oder Rohhumus an. Die Humusform Rohhumus schätzen wir demnach als standorttypisch ein.

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Gemäss BUWAL (2005) kommen an diesem Fichtenstandort (Nr.57C) nur die Fichte und die Vogelbeere für die Waldverjüngung in Frage. Diese stark eingeschränkte Auswahl ist vor allem durch das sehr rauhe Klima bedingt.

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

An Waldstandorten mit rauhem bis kaltem Klima, wo aufgrund der kurzen Vegetationsperiode nur Fichten, Lärchen und Arven sowie Vogelbeeren und Grünerlen gedeihen, spielt der Boden bei der Baumartenwahl eine marginale Rolle. In den Regionen Alpen und Alpensüdseite findet man ein derartiges Klima an den subalpinen Waldstandorten Nr.57, 59 und 60 (Nr. nach Ellenberg und Klötzli 1972). An diesen Standorten werden die bodenkundlichen Kriterien für die Baumartenwahl nicht besprochen.

Tab.S19.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Poschiavo 1)**Standortangaben**

Relief	Höhe	1852 m
	Exposition	N
	Neigung	50%
Klima	Jahresniederschlag	1694 mm
	Jahrestemperatur	4.1°C
Ausgangsgestein	Gneise	
Baumbestand	Struktur	stufig und lückig
	Schlussgrad	20%
	Baumarten (Deckung)	20% Fichte
	Oberhöhe	25–30 m
Waldgesellschaft	nach E&K 1972	Nr.57: Torfmoos-Fichtenwald mit Landschilf
	nach BUWAL 2005	Nr.57C: Alpenlattich-Fichtenwald mit Wollreitgras

Bodenkennwerte

Bodensystematik	Bodentyp	Eisen-Humuspodsol
	Humusform	Rohhumus
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Im Boden sind keine Vernässungsmerkmale erkennbar, was zeigt, dass der Boden stets gut durchlüftet ist.
	Durchwurzelbarkeit	Da in 80 cm Tiefe ein Felsblock ansteht, ist der Wurzelraum für alle Baumarten begrenzt. Er wird mit 80 cm Mächtigkeit aber dennoch als tiefgründig klassiert. Wie tief die Bäume im felsigen Untergrund vorhandene Spalten durchwurzeln, wissen wir nicht.
	pflanzenverfügbares Wasser	Trotz begrenzter Gründigkeit besteht an diesem Standort unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen kein Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Der Boden ist bis 35 cm Tiefe sehr stark, weiter unten im Profil stark sauer. Das Ausgangsgestein ist karbonatfrei.
	Aluminium-Toxizität	Im Mineralboden besteht bis 80 cm Tiefe ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Rohhumus weist auch das mässig weite C/N-Verhältnis auf eine niedrige Mineralisierungsrate hin.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Der Ca-Vorrat ist mässig, der Mg-Vorrat gering und der K-Vorrat sehr gering.
Verankerung	Obwohl das Profil aufgrund eines Felsblocks nur 80 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 Boden würde selbst in nassem Zustand wenig empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen reagieren, da er relativ viel Skelett enthält. Ein Befahren des Bestandes wird allerdings durch die Steilheit des Hanges und lokal auch durch Gesteinsblöcke stark erschwert.	

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.

Martin, J.P. and Haider, K., 1986: Influence of Mineral Colloids on Turnover Rates of Soil Organic Carbon. In: Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes (Eds. P.M. Huang and M. Schnitzer), pp.283–304. Soil Science Society of America Special Publ. N° 17. Madison, Wisconsin.

Ott, E./Frehner, M./Frey, H.-U./Lüscher, P., 1997: Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für die standortgerechte Waldbehandlung. Haupt, Bern. 287 S.

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