

S16 Bodenprofil Rodas

S16.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

S16.1.1 **Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren**

Das Bodenprofil ist in [Abb.S16.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.S16.2](#). [Tab.S16.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Rodas zusammen und [Tab.S16.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

S16.1.2 **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.

S16.1.3 **Besonderheiten am Profilort**

An der Bodenoberfläche sind grössere und kleinere Blöcke vorhanden, die auf einen alten Bergsturz hinweisen. Der Bestand ist lückig mit einem Deckungsgrad der Baumschicht von 50%.

S16.1.4 **Profilmorphologie und Klassierung**

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.S16.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Die überwiegend von Fichte und Lärche aus der Baumschicht, aber auch von der Krautschicht stammende Streu wird in dieser Höhenlage nur langsam abgebaut, so dass die organische Auflage aus einer Streuschicht, einem Fermentations- und einem mächtigen Humusstoffhorizont besteht. Mit der Horizontfolge L-F-H-Ah wird die Humusform als Rohhumus klassiert.



Abb. S16.1 (links) Bodenprofil Rodas

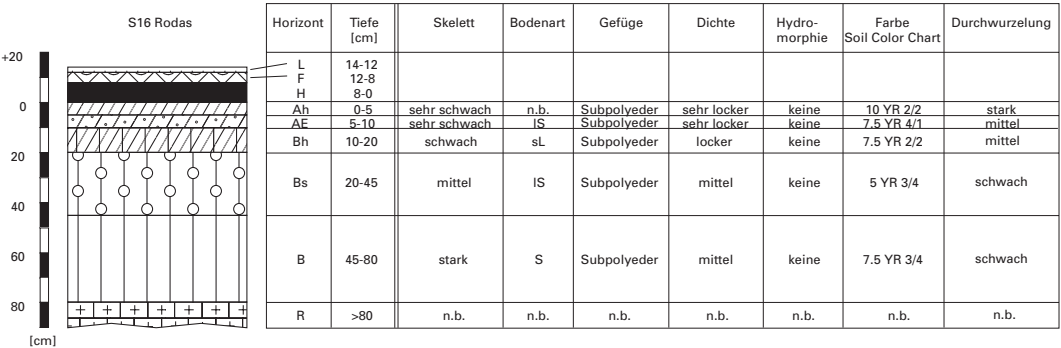
Abb. S16.2 (rechts) Bestand am Profilort Rodas

Tab. S16.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Rodas	
Lokalname	Rodas (Kanton Graubünden, Gemeinde Roveredo)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1314, Passo S. Jorio Koordinaten 729625/118450
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972)	Nr. 57: Torfmoos-Fichtenwald mit Landschilf (<i>Sphagno-Piceetum calamagrostietosum villosae</i>)
Horizontfolge	L-F-H-Ah-AE-Bh-Bs-B-R
Humusform	Rohhumus
Bodentyp	Humuspodsol
Bodentyp nach FAO (1988)	Podzol

Tab. S16.2 Bodenbildungsfaktoren am Profilort Rodas			
Relief	Höhe ü. M.	1650 m	
	Exposition	N	
	Neigung	45 %	
	Geländeform	Mulde	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Penninikum, Gneise, Glimmerschiefer und Phyllite, (Biotit- und Zweiglimmer-Orthogneis)	
	Lithofazies (nach Tuchschnid 1995)	Nr.3: Orthogneise physikalische Verwitterbarkeit Gestein: mittel chemische Verwitterbarkeit Gestein: klein Tongehalt Gestein: sehr niedrig	
Klima	T/N Jahresmittel	4.5°C/1853 mm	
	T/N Januarmittel	– 1.7°C/79 mm	
	T/N Julimittel	13.3°C/148 mm	
	Tage mit Schneedecke	181	
	Wärmegliederung	sehr rauh	
	Länge der Vegetationsperiode	120 – 135 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (29 m Höhe)	50 %	35 % Fichte (<i>Picea abies</i>) 3% Lärche (<i>Larix decidua</i>)
	Strauchschicht	5 %	–
	Krautschicht	95 %	Wolliges Reitgras (<i>Calamagrostis villosa</i>) Alpenlattich (<i>Homogyne alpina</i>) Schattenblume (<i>Maianthemum bifolium</i>) Gemeiner Sauerklee (<i>Oxalis acetosella</i>) Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>)
	Mooschicht	20 %	–

Tab. S16.3

Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Rodas
 Bodenart: IS lehmiger Sand, sL sandiger Lehm, S Sand; n.b. nicht bestimmt



Morphologisch lassen sich im Bodenprofil unter der organischen Auflage bis zum Fels fünf Horizonte unterscheiden. Die ersten 5 cm des Mineralbodens sind bräunlich schwarz gefärbt. Von 5 bis 10 cm Tiefe hebt sich die Feinerde farblich ab (bräunlich-grau). Die hellere Farbe ist ein Hinweis auf Verlagerungsprozesse aus dem Oberboden in darunter liegende Horizonte. Die Spuren der Podsolierung sind auch in der Anreicherungszone von 10 bis 45 cm Tiefe zu erkennen. Auf den durch Einwaschung von Humusstoffen bräunlich schwarz gefärbten Horizont (10–20 cm, [Abb. S16.1](#)) folgt von 20 bis 45 cm eine dunkel rötlich-braun gefärbte Zone. Die Farbe ist auf die Einwaschung von Sesquioxiden zurückzuführen. Die Farbverteilung im Anreicherungsbereich ist heterogen. Der unterste Horizont ist dunkelbraun.

Der Skelettgehalt nimmt vom Oberboden bis zum Fels an der Profilsohle von sehr schwach bis stark zu. Der Anteil der Tonfraktion nimmt mit der Profiltiefe ab. In den obersten 20 cm entspricht die Bodenart einem sandigen Lehm bzw. lehmigen Sand und im untersten Horizont über dem Fels ist ein Sand vorhanden. Über alle Horizonte hinweg ist eine Subpolyederstruktur zu beobachten. Der Boden ist bis 20 cm Tiefe sehr locker bis locker gelagert, weiter unten hat er eine mittlere Dichte. Im ganzen Profil sind keine hydromorphen Merkmale zu erkennen.

Mit der Horizontfolge L-F-H-Ah-AE-Bh-Bs-B-R wird der Boden als Humuspodsol klassiert. Die Auswaschungszone ist zu wenig stark ausgeprägt, als dass das Profil als Eisen-Humuspodsol klassiert werden könnte.

Ergänzende Bodenmerkmale

Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde profilumfassend sehr sauer. Der Wurzelraum ist in 80 cm Tiefe durch Fels abgeschlossen. Im darüberliegenden Boden sind für das Wurzelwachstum keine Grenzen sichtbar. Die ersten 5 cm im Profil sind stark durchwurzelt. Im Bereich zwischen 5–20 cm ist die Durchwurzlung mittel und darunter noch schwach.

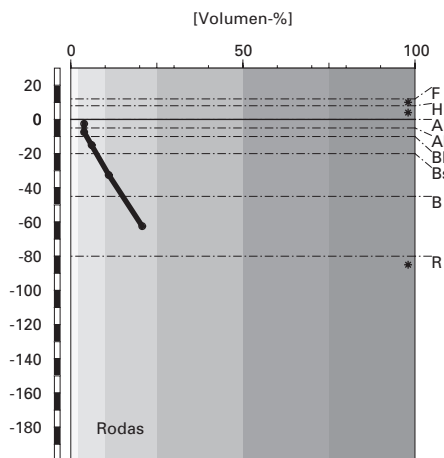
S16.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

S16.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

Skelettgehalt

Der Skelettgehalt nimmt mit der Tiefe stetig zu ([Abb. S16.3](#)). Er ist im B-Horizont mit rund 20% maximal. Insgesamt ist der Boden relativ skelettarm. In rund 80 cm Tiefe bildet ein Felsblock die Profilsohle. Aus dem Bestandes-

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

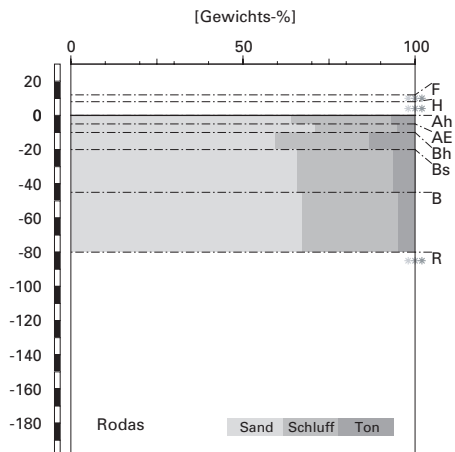


Abb. S16.3 (links) Skelettgehalt

Abb. S16.4 (rechts) Bodenart

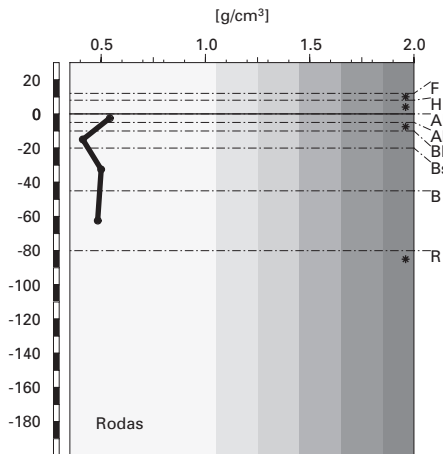
photo (Abb. S16.2) leiten wir ab, dass Felsblöcke nur lokal vorkommen, der Boden aber vielerorts mächtiger als 80 cm sein dürfte.

Bodenart

Die Feinerde ist im gesamten Profil sehr sandig, Schluff und Ton kommen in deutlich kleineren Anteilen vor (Abb. S16.4). Mit Ausnahme des Bh-Horizontes ist die Korngrößenverteilung im Profil ziemlich konstant. Im Bh-Horizont scheint neben organischer Substanz auch Ton angereichert zu sein. In Bezug auf den Tongehalt handelt es sich in den meisten Horizonten um leichten bis sehr leichten Boden. Im Bh-Horizont ist er mittelschwer.

Die im Bodenprofil mit der Fingerprobe bestimmte Bodenart stimmt gut mit den Laborwerten überein (Tab. S16.3).

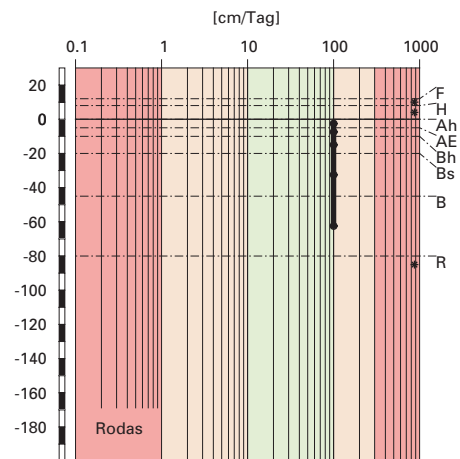
Feinerde-Dichte



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. S16.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb. S16.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Dichte der Feinerde

Die Dichte der Feinerde ist im gesamten Mineralboden äusserst gering (Abb. S16.5).

Die an der Profilwand mittels Eindringwiderstand eines Messers bestimmten Dichtewerte wurden im Bs- und B-Horizont im Vergleich zu den Laborwerten etwas überschätzt (Tab. S16.3).

Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Der Boden ist aufgrund seiner äusserst geringen Dichte und infolge des bescheidenen Tonanteils hoch durchlässig (Abb. S16.6). Beim Übergang zum Felsblock im Untergrund ist die Durchlässigkeit gehemmt, so dass das Wasser auf dem Fels seitwärts abfließt

pflanzenverfügbares Wasser

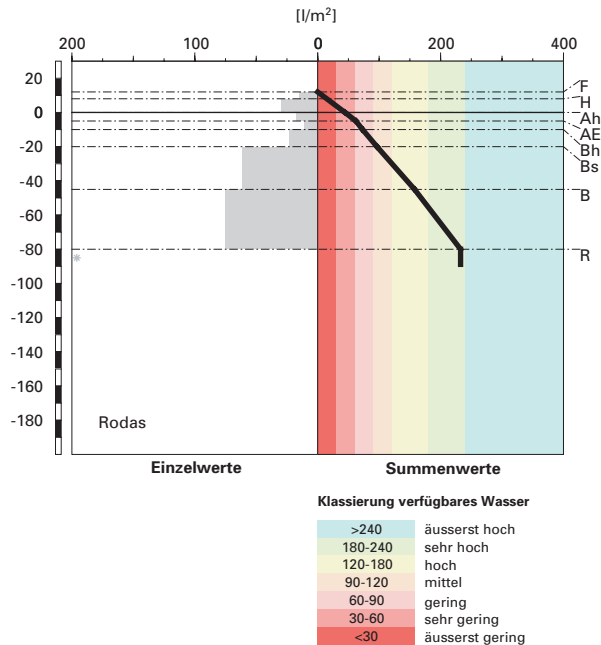


Abb. S16.7 Pflanzenverfügbares Wasser

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 80 cm Tiefe beträgt 233 l/m². Damit wird die speicherbare Wassermenge als sehr hoch klassiert (Abb. S16.7). Das grosse Speichervermögen kann mit der mächtigen organischen Auflage und dem geringen Skelettgehalt erklärt werden.

S16.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In diesem Podsol kommen aufgrund der hohen Durchlässigkeit (Abb. S16.6) keine Vernässungsmerkmale vor. Der Felsblock im Untergrund leitet das Sickerwasser offenbar rasch seitwärts ab, so dass es im Boden kaum zu Wasserstau kommt. Gesättigte Phasen sind somit höchstens von kurzer Dauer.

Durchwurzelbarkeit des Bodens

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

Bis 80 cm Tiefe ist das Wurzelwachstum nicht eingeschränkt, da die Dichtewerte weit unter dem kritischen Wert von 1.4 g/cm^3 liegen und die Durchlüftung in allen Horizonten stets ausreichend ist.

Fichtenwurzeln sind bis zur Profilsohle vorhanden. Wie tief die Bäume ihre Wurzeln in die zwischen den Felsblöcken vorhandenen Spalten vortreiben, ist nicht feststellbar.

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 30 Tagen an Wassermangel zu leiden. Da der Wurzelraum in diesem heterogenen Boden mancherorts mächtiger als 80 cm sein dürfte, kann Trockenstress auch später eintreten. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen besteht an diesem subalpinen Fichtenstandort kein Risiko für Trockenstress.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er relativ wenig Skelett enthält. Ein Befahren des Bestandes wird allerdings durch die Steilheit des Hanges und durch mächtige Gesteinsblöcke stark erschwert.

S16.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

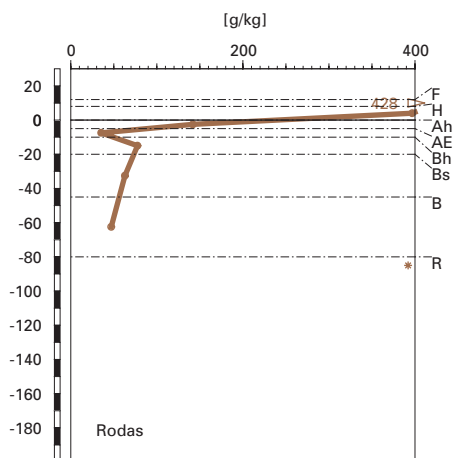
S16.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Der Bestand aus Fichte und Lärche liefert eine schwer abbaubare Streu. Die Abbaubarkeit wird durch die üppige Krautvegetation nicht verbessert, da in der Krautschicht Arten mit ebenfalls schwer abbaubarer Streu gedeihen (z. B. Heidelbeere). Beim Profil haben sich eine 2 cm mächtige Streuschicht, ein 4 cm dicker F- und ein 8 cm mächtiger H-Horizont gebildet. Die Humusform ist ein Rohhumus.

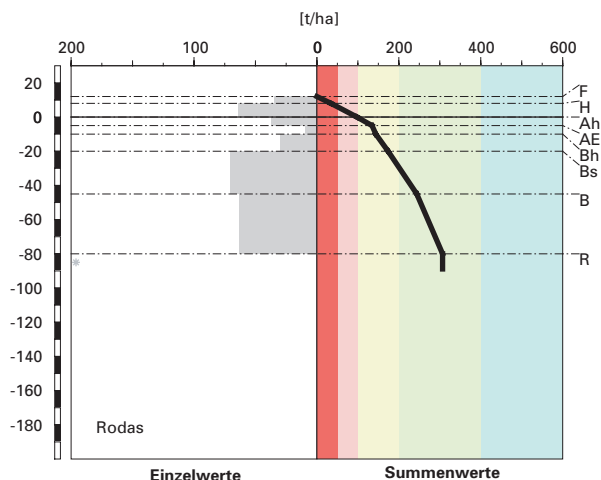
Unter der organischen Auflage schliesst ein bräunlich-schwarzer Ah-Horizont an. Er enthält einen sehr hohen Anteil an organischem Kohlenstoff

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})



Klassierung Vorrat

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

Abb.S16.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb.S16.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

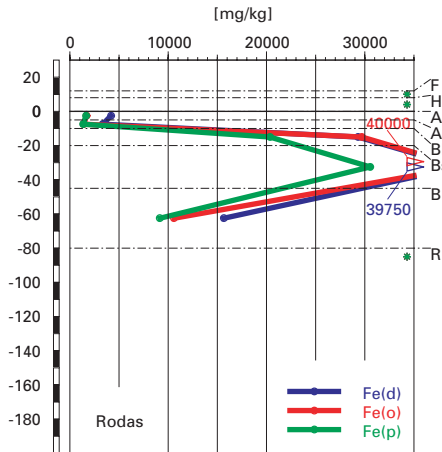
(C_{org}) von 14.2% (Abb.S16.8). Der AE-Horizont besitzt einen deutlich geringeren C_{org}-Gehalt von 3.5%, was sich in seiner helleren Färbung äussert. Im Bh-Horizont steigt der C_{org}-Gehalt wieder auf 7.8% an und nimmt dann mit zunehmender Tiefe linear auf 4.7% ab. Aufgrund dieser Gehalte an C_{org} resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 307 t/ha (Abb.S16.9), wobei für die Vorratsberechnung im F- und H-Horizont jeweils eine Dichte von 0.2 g/cm³ angenommen wurde.

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Anteil der Tonfraktion ist im ganzen Profil mit Ausnahme des Bh-Horizontes kleiner als 7% (Abb.S16.4). Das Minimum liegt im B-Horizont, unmittelbar über dem anstehenden Fels.

Der maximale Dithionit-extrahierbare Eisengehalt (Fe_d) ist im Bs-Horizont zu finden und das Minimum liegt im AE-Horizont (Abb.S16.10). Fe_d variiert über einen weiten Bereich von 3 bis 40 g/kg.

Eisen-Oxide (Gehalte)



Aluminium-Oxide (Gehalte)

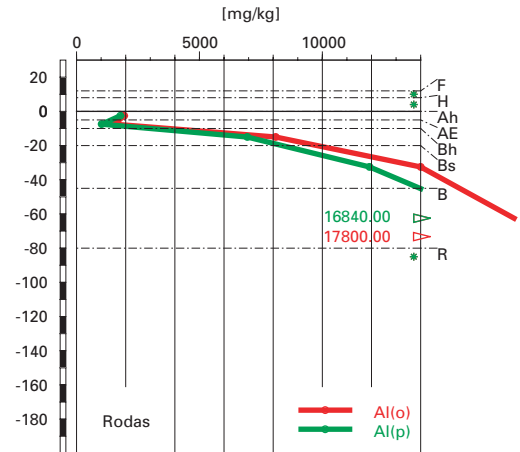


Abb.S16.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb.S16.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide (Verhältnisse)

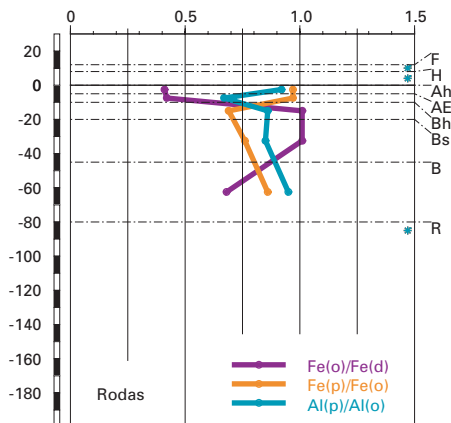


Abb.S16.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Die Tiefenverteilungen des Oxalat- und Pyrophosphat-extrahierbaren Eisens (Fe_o bzw. Fe_p) gleichen sich sehr und verlaufen sehr ähnlich wie jene von Fe_d (Abb. S16.10). Im Ah-, AE- und B-Horizont sind die Gehalte von Fe_o und Fe_p praktisch gleich gross (Abb. S16.10) weshalb ihr Verhältnis (Fe_p/Fe_o) in diesen Horizonten nahezu 1 beträgt (Abb. S16.12). Im Bh- und Bs-Horizont ist der Fe_o -Gehalt um 9 bis 10 g/kg grösser als der entsprechende Fe_p -Gehalt, womit das Verhältnis auf ca. 0.7 abnimmt.

Ebenso gleichen sich die Tiefenverteilungen des Oxalat- und Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminiums (Al_o bzw. Al_p ; Abb. S16.11). Die Al-Gehalte weisen aber im Gegensatz zum extrahierbaren Eisen kein Maximum im Bs-Horizont auf, sondern nehmen nach dem Minimum im AE-Horizont bis zum Maximum im B-Horizont zu (darunter steht der Fels an). Das Verhältnis (Al_p/Al_o) ist mit Ausnahme des AE-Horizontes mehr oder weniger konstant um 0.9, während es im AE-Horizont nur 0.7 beträgt (Abb. S16.12).

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis beträgt im Bh- und Bs-Horizont 1 und ist im Ah- und AE-Horizont minimal (0.4; Abb. S16.12).

S16.3.2 Bodenkundliche Interpretation

Das Profil liegt auf 1650 m.ü.M. an einem N-exponierten Hang. Das sehr rauhe Klima (durchschnittliche jährliche Niederschläge: 1853 mm und durchschnittliche Jahrestemperatur: 4.5°C) und die schwer abbaubare Streu von Fichte, Lärche und Heidelbeere liessen als Humusform einen Rohhumus entstehen. Eine 2 cm dicke Streuschicht, gefolgt von einem 4 cm mächtigen F- und einem 8 cm mächtigen H-Horizont bilden die organische Auflage und widerspiegeln die sehr schlechten Abbaubedingungen am Profilort. Im Mineralboden sind keine Anzeichen einer hohen biologischen Aktivität zu beobachten. Im gesamten Profil dominiert eine Subpolyederstruktur. Das C/N-Verhältnis im F- bzw. H-Horizont wird mit 19 bzw. 21 als mittel bzw. mässig weit klassiert, womit die Mineralisierung der organischen Substanz mittel bis niedrig ist. Auch das mässig weite C/P-Verhältnis im F- bzw. H-Horizont von 560 bzw. 632 deutet auf eine relative Nährstoffarmut, konkret auf eine Phosphorarmut hin. Der pH-Wert im Oberboden ist kleiner als 3, weshalb der Abbau der organischen Substanz vor allem durch Pilze erfolgt und daher unvollständig ist. Es werden organische Säuren und Humusstoffe gebildet, welche bei den zeitweise ergiebigen Niederschlagsereignissen im Boden in die Tiefe verlagert werden. Einerseits können diese organischen Substanzen Eisen und Aluminium verlagern. Andererseits werden die organischen Verbindungen im Mineralboden an aktive Oberflächen von anorganischen Verbindungen adsorbiert und so vor Auswaschung und weiterem Abbau geschützt. Der AE-Horizont ist die Zone, in welcher die

Auswaschung besonders stark ist. Hier findet sich denn auch der kleinste C_{org} -Gehalt. Im tiefer liegenden Bh- und Bs-Horizont wird die organische Substanz adsorbiert. Dadurch sind in diesen Horizonten die C_{org} -Gehalte gegenüber dem AE-Horizont erhöht. Da die Mineralisierung der organischen Substanz eher gering ist und die Humusstoffe durch Adsorption gebunden und stabilisiert werden, resultiert im Mineralboden ein im gesamtschweizerischen Vergleich hoher Vorrat an organischem Kohlenstoff von 307 t/ha.

Der Anteil der Tonfraktion ist im Profil gesteinsbedingt klein und bei den sauren Verhältnissen werden keine Tonminerale gebildet. Es fällt der relativ hohe Wert im Bh-Horizont auf. Ob es sich dabei um verlagerte und im Bh-Horizont angereicherte Tonpartikel oder um einen Artefakt der Korngrößenbestimmung handelt, ist nicht sicher.

Das Profil Rodas ist durch intensive Verlagerung von Eisen und Aluminium gekennzeichnet, wobei Al aufgrund der Tiefenverteilung mit einem Maximum im B-Horizont offensichtlich tiefer verlagert wird (Abb. S16.11). Alle Eisenfraktionen dagegen haben ein ausgeprägtes Maximum im Bs-Horizont und ihre Gehalte nehmen in grösserer Tiefe gegen den B-Horizont wieder ab (Abb. S16.10). Der Verlagerungsindex, als Quotient zwischen dem maximalen Al_o - bzw. Fe_o -Gehalt im Unterboden und dem minimalen Al_o - bzw. Fe_o -Gehalt im AE-Horizont, ergibt für Eisen einen Wert von 31 und für Aluminium 12. Normalerweise würde man eine quantitativ stärkere Verlagerung von Al gegenüber Fe erwarten, da Al bei höheren pH-Werten löslich wird und gelöste organische Substanz eine grössere Affinität für Eisen hat, weshalb sie bereits in geringer Profiltiefe mit Fe gesättigt ist und ausfällt (Mokma and Buurman 1982). Die Sättigung mit Aluminium hingegen erfolgt erst in grösserer Profiltiefe. Der Verlagerungsindex deutet aber auf eine quantitativ stärkere Eisenverlagerung hin. Dieser scheinbare Widerspruch kann damit erklärt werden, dass Aluminium bereits tiefer als 80 cm verlagert und aus der von uns erschlossenen Profiltiefe ausgewaschen wurde und somit die Zone mit maximaler Al-Anreicherung nicht bekannt ist.

Die starke Podsolierung steht im Einklang mit der Vegetation und der durch sie anfallenden Streu. Die schwer abbaubare Streu von Fichte, Lärche und Heidelbeere hat zur Bildung eines Rohhumus geführt, welcher aus dem unvollständigen Abbau organische Säuren freisetzt. Zudem bedeckt das wollige Reitgras über 75% der Fläche am Profilort. Blaser (1980) hat nachgewiesen, dass Extrakte der Reitgrasstreu ein sehr grosses Podsolierungspotential haben.

Bemerkenswert ist das weite Fe_o/Fe_d -Verhältnis von 1 im Bh- und Bs-Horizont. Das bedeutet, dass in diesen Horizonten alles extrahierbare Eisen in amorpher Form vorliegt. Hier wird eine Kristallisation von sekundären

Eisenhydroxiden durch die hohen Gehalte an organischer Substanz vollständig unterbunden.

Die Al_p/Al_o - und Fe_p/Fe_o -Verhältnisse sind profilumfassend sehr weit. Amorphe Al- und Fe-Phasen sind offensichtlich zu einem grossen Teil mit der organischen Substanz assoziiert. Dabei scheint Aluminium im Unterboden und Eisen im Oberboden stärker mit der organischen Substanz verbunden zu sein, wie dies von Mokma und Buurman (1982) postuliert wurde.

Aufgrund der morphologischen Profilmerkmale wurde dieser Boden als Humuspodsol klassiert, da kein reiner E-Horizont angesprochen wurde. Die mit Hilfe der Extraktionen festgestellte starke Verlagerung von Eisen würde aber eine Klassierung des Bodens als Eisen-Humuspodsol nahelegen.

S16.4 Themenbereich «Säurezustand»

S16.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Der Boden ist bis in eine Tiefe von 20 cm sehr stark sauer und befindet sich in der Säureklasse 5 (Abb. S16.13). In den tiefer gelegenen Horizonten ist er stark sauer und befindet sich im unteren Bereich der Säureklasse 4.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

In der organischen Auflage dominieren die Nährstoffkationen am Austauscher, insbesondere Kalzium. Aber auch der Anteil austauschbarer Protonen ist gross. Im ganzen Mineralboden ist der Kationenaustauscher überwiegend mit sauren Kationen, insbesondere mit Aluminium belegt (Abb. S16.14). Nennenswerte Mengen austauschbarer Nährstoffkationen wurden nur im Ah-Horizont gemessen. In den obersten 20 cm des Profils, wo sich der Boden im Eisenpufferbereich befindet, wurden vergleichsweise grosse Anteile an Protonen und Eisen am Kationenaustauscher festgestellt. Der grösste Anteil an austauschbarem Eisen ist im Bh-Horizont zu finden. Er beträgt etwas mehr als 5% der Kationenaustauschkapazität. Die Basensättigung ist in der organischen Auflage hoch, im Ah-Horizont mittel, im AE-Horizont gering und in den darunter liegenden Horizonten mehr oder weniger konstant auf der Grenze zwischen gering und sehr gering (Abb. S16.15).

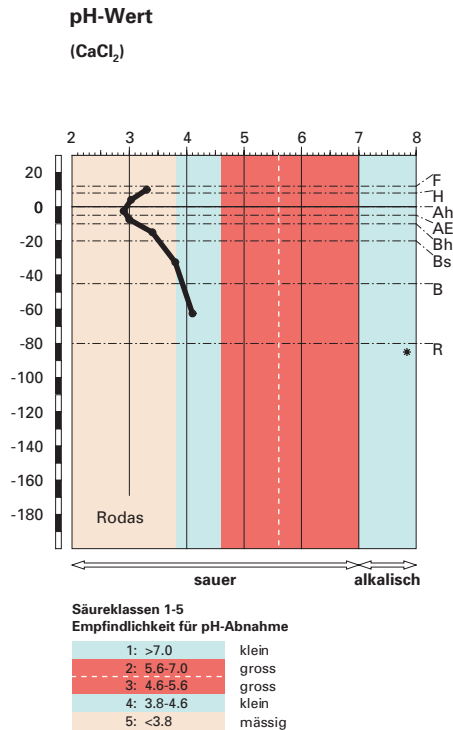


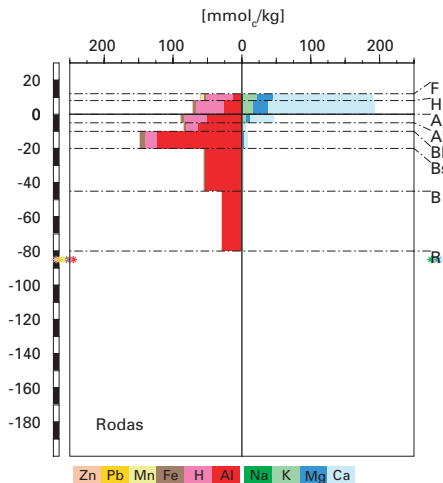
Abb. S16.13 pH-Wert und Säureklassen

S16.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

Dieser Podsol hat sich auf Gneis in 1650 m. ü. M. in N-Exposition entwickelt. Das saure Ausgangsgestein, das sehr rauhe Klima zusammen mit dem Nadelholzbestand liessen den Boden sehr stark versauern. Die Tiefe der Versauerungsfront kann nicht festgestellt werden, da selbst der unterste Horizont über dem Fels eine Al-Belegung von rund 95% aufweist. Die pH-Werte sind sehr tief und liegen zwischen 2.90 und 4.10. Die Säurepufferung erfolgt zur Hauptsache durch Auflösung von Aluminium- und Eisenverbindungen, was sich in der Belegung des Austauschers widerspiegelt. Aufgrund des mittleren bis grossen Humusgehaltes sind bis in den Bh-Horizont nennenswerte Anteile an austauschbaren Protonen vorhanden. Trotz tiefem pH-Werten ist im Ah-Horizont eine Basensättigung von 35% zu beobachten. Dies ist auf die dauernde Nachlieferung von Nährstoffkationen durch die Streu zurückzuführen. Da aber der Ah-Horizont nur 5 cm mächtig ist und die Basensättigung in den anderen Mineralbodenhorizonten deut-

austauschbare Kationen



Basensättigung

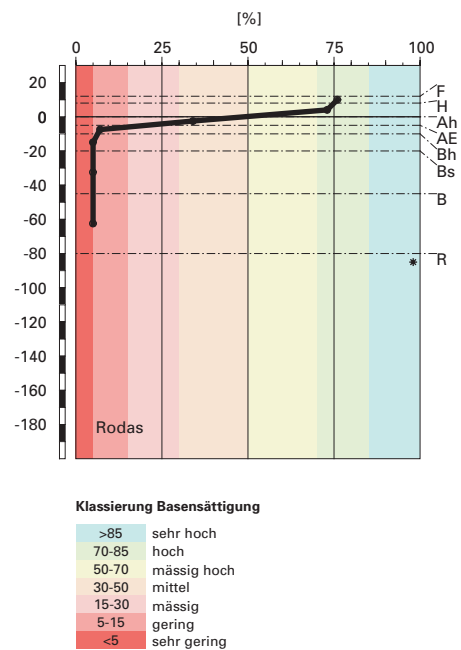


Abb. S16.14 (links) Belegung des Kationenaustauschers

Abb. S16.15 (rechts) Basensättigung

lich kleiner ist, sind rund 94% der gesamten Kationenaustauschkapazität des Mineralbodens mit sauren Kationen belegt. Deshalb wird dieser Boden als sehr stark versauert beurteilt.

Risiko für Boden und Pflanzen

Da der grösste Teil des Bodens in der mässig puffernden Säureklasse 5 liegt, wird das Risiko einer weiteren pH-Abnahme als mässig beurteilt. Der pH-Gradient ist relativ steil. Er beträgt in den obersten 45 cm des Mineralbodens 0.9 pH-Einheiten, was bedeuten könnte, dass der Säureeintrag die Pufferkapazität übersteigt. Es ist mit einer weiter gehenden Verarmung an austauschbaren Nährstoffkationen zu rechnen. Eine Ausnahme bildet der Ah-Horizont, in welchem der Austauscher durch ständige Nachlieferung von Nährstoffkationen mit der Streu relativ basenreich gehalten wird.

Mit Ausnahme der organischen Auflage und des geringmächtigen Ah-Horizontes sind die BC/Al-Verhältnisse kleiner als 0.1 (Tab. A357 in Blaser et al. 2005), was bedeutet, dass der kritische Wert zum aktuellen Zeitpunkt unterschritten ist. Betrachtet man die gesamte Menge der Feinerde des Profils, so ist das BC/Al-Verhältnis in 93% der Feinerde < 0.2 und damit unterhalb des kritischen Wertes. Eine Hemmung des Wurzelwachstums, eine Schädigung der Wurzeln oder eine Beeinträchtigung der Nährstoffaufnahme kann bei empfindlichen Baumarten nicht ausgeschlossen werden und das Risiko für Al-Toxizität wird als gross beurteilt. Durch eine weitere Bodenversauerung wird sich dieser Zustand noch verschlechtern.

S16.5 Themenbereich «Schwermetalle»

S16.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Der Cr-Gehalt ist im Oberboden minimal und nimmt darunter bis zum Bs-Horizont stark zu (Abb. S16.16). Der Zn-Gehalt ist im Bs-Horizont maximal und im Ah-Horizont erhöht. Blei nimmt mit der Tiefe beinahe kontinuierlich ab, allerdings mit einem sekundären Minimum im AE-Horizont. Die Ni- und Cu-Gehalte sind im ganzen Profil unter der Bestimmungsgrenze. Die Salpetersäure-extrahierbaren Ni- und Cu-Gehalte (Abb. S16.17) legen allerdings eine dem Zn ähnliche Tiefenverteilung dieser beiden Metalle nahe.

S16.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

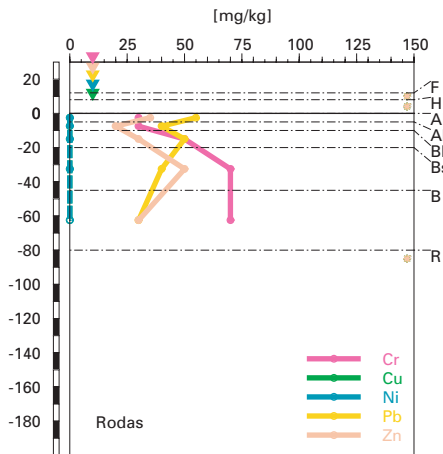
Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus Orthogneis (Lithofazies 3) besteht, liegen der Cr- und Ni-Gehalt im B-Horizont oberhalb und alle übrigen Schwermetallgehalte innerhalb typischer Wertebereiche.

Anmerkung: Da der felsige Untergrund, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht beprobt werden konnte, werden für den geochemischen Vergleich die Schwermetallgehalte im B-Horizont beigezogen. Da es sich dabei in diesem Boden um einen Anreicherungshorizont handelt, dürften die auf dem B-Horizont beruhenden Beurteilungen eher zu hoch sein.

S16.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Für den F-, H- und Ah-Horizont wurden wegen ihres hohen Humusgehaltes (Abb. S16.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm^3 ; Tab. A360

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



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

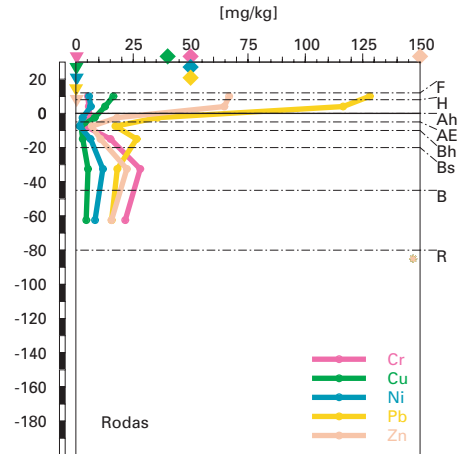


Abb. S16.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. S16.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

in Blaser et al. 2005) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg; [Abb. S16.17](#)), da die Dichte kleiner ist als 1 g/cm³. Mangels Messwerten wurde für den F- und H-Horizont eine Dichte von 0.2 g/cm³ angenommen.

Bezogen auf die VBBo liegen für Ni, Cu und Zn profilumfassend sehr niedrige Konzentrationen bzw. Gehalte vor ([Abb. S16.17](#)). Der Cr-Gehalt im Bs-Horizont ist erhöht. Ebenfalls erhöht sind die Pb-Konzentration im F- und der Pb-Gehalt im Bh-Horizont. Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

S16.5.4 **Anreicherungsfaktoren**

Da der felsige Untergrund, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht beprobt werden konnte, wurden die Anreicherungsfaktoren relativ zum B-Horizont berechnet. Da es sich dabei um einen Anreicherungshorizont handelt, können keine Aussagen bezüglich Anreicherung oder Verarmung gegenüber dem Ausgangsgestein gemacht werden.

In diesem stark bis sehr stark sauren Boden ([Abb. S16.13](#)) ist die Schwermetallverteilung durch die unterschiedliche Verlagerung im Zuge der Podsolierung geprägt, wobei neben dem tiefen pH-Wert Bindung an gelöste

Tab. S16.4 Anreicherungsfaktoren						
Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0– 5	0.38	n.b.	n.b.	1.62	1.03
AE	5– 10	0.31	n.b.	n.b.	0.98	0.49
Bh	10–20	0.67	n.b.	n.b.	1.56	0.94
Bs	20–45	1.07	n.b.	n.b.	1.43	1.79
B	45–80	1.00	n.b.	n.b.	1.00	1.00
R	>80	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

organische Substanz wichtig ist. Bei Cr ist dies an der gegenüber dem B-Horizont ausgeprägten Verarmung vom Ah- bis zum Bh-Horizont (Tab. S16.4) und an den bis zum Bs-Horizont stark zunehmenden Gehalten deutlich erkennbar (Abb. S16.16 und S16.17). Eine Verlagerung von Zn ist durch eine deutliche Verarmung im AE-Horizont und eine Anreicherung im Bs-Horizont sowie eine entsprechend verlaufende Tiefenverteilung (Abb. S16.16) angezeigt. Der im Vergleich zum AE-Horizont grössere Anreicherungsfaktor im Ah-Horizont und der entsprechend grössere Gehalt sind ein Hinweis auf die ständige Nachlieferung von Zn durch den Streueintrag in den Oberboden im Rahmen des Nährstoffkreislaufes. Ein ähnliches Verhalten von Ni und Cu wird durch die Tiefenverteilung der Salpetersäure-extrahierbaren Gehalte angedeutet (Abb. S16.17).

In diesem Boden scheint sogar Pb bereits von der Podsolierungsdynamik erfasst worden zu sein. Dies wird sowohl durch die Gehalte (Abb. S16.16 und S16.17) als auch durch die Anreicherungsfaktoren mit Minima im AE-Horizont angedeutet. Dies ist deshalb bemerkenswert, weil der erhöhte Pb-Gehalt im Oberboden (Abb. S16.16) ziemlich sicher auf Anreicherung anthropogener Einträge der letzten 100 Jahre, einer bodengenetisch sehr kurzen Zeit, zurückzuführen ist.

Die Verlagerungstiefe aller Schwermetalle liegt zwischen derjenigen der Eisen- und Aluminiumoxide (Abb. S16.10 und S16.11).

S16.5.5 **Schätzung der Mobilität der Schwermetalle**

In diesem profilumfassend stark bis sehr stark sauren Boden (Abb. S16.13) wird die Mobilität von Zn aufgrund der pH-Werte als gross bis sehr gross beurteilt (Abb. S16.18). Der profilumfassend hohe Gehalt an organischer Substanz (Abb. S16.8) erniedrigt die Mobilität von Ni gegenüber Zn etwas in der organischen Auflage sowie im Bh- und Bs-Horizont. Insgesamt wird sie aber auch als gross bis sehr gross geschätzt. Der Gehalt an fester organischer Substanz beeinflusst die geschätzte Mobilität von Cr, Cu und Pb im

Schwermetallmobilität

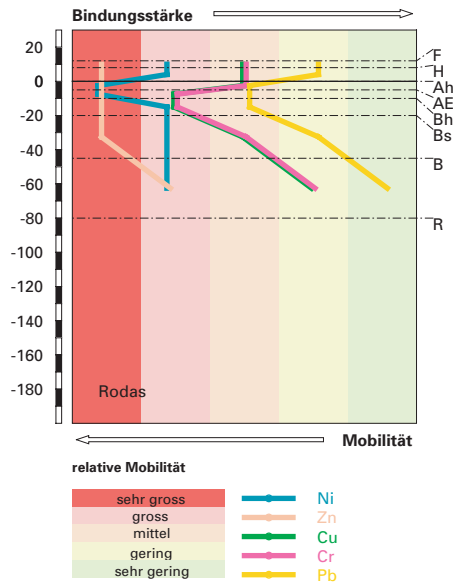


Abb. S16.18 Mobilität der Schwermetalle

ganzen Profil. Chrom und Cu weisen demgemäss im AE- und Bh-Horizont eine grosse, in den übrigen Horizonten eine geringe bis mittlere Mobilität auf. Die Mobilität von Pb ist vom Ah- bis zum Bh-Horizont mittel, im Rest des Profils sehr gering bis gering.

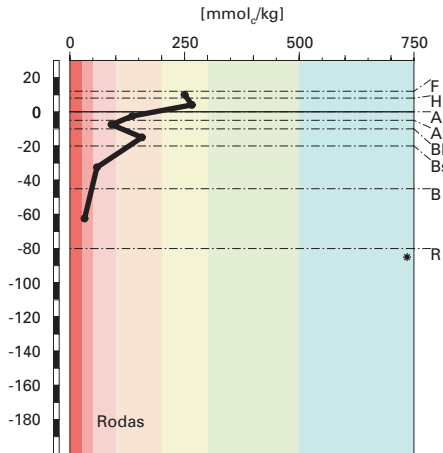
Andererseits deutet die durch Podsolierung stark beeinflusste Tiefenverteilung der Schwermetalle (siehe oben) an, dass die effektive Mobilität insbesondere von Cr, Cu und Pb durch Bindung an gelöste organische Substanz deutlich grösser ist als aufgrund der Eigenschaften der Bodenfestphase (pH, Humus- und Tongehalt) geschätzt und in Abb. S16.18 dargestellt. Deshalb besteht bei diesem Boden potentiell das Risiko einer Belastung des Grundwassers mit allen untersuchten Schwermetallen. Allerdings sind die Ni- und Cu-Gehalte im Profil derart gering, dass von diesen beiden Schwermetallen kein Risiko ausgeht.

S16.5.6

Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

Im Ah- und AE-Horizont sind alle Schwermetalle in Gehalten vorhanden, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind.

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)

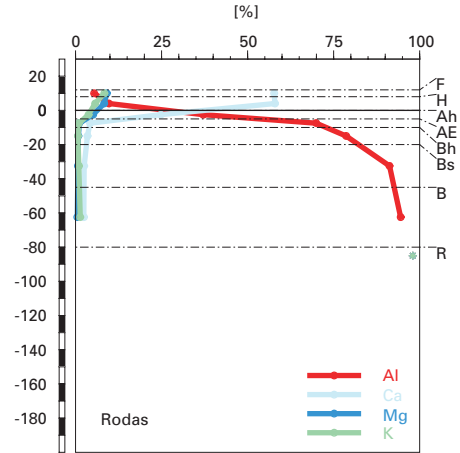


Abb.S16.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb.S16.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

S16.6 Themenbereich «Nährstoffe»

S16.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Unter dem Einfluss des sehr rauen Klimas auf 1650 m.ü.M. in N-Exposition sowie der sehr tiefen pH-Werte im Oberboden und der schwer abbaubaren Streu hat sich eine 14 cm mächtige organische Auflage (Rohhumus) gebildet, die anzeigt, dass der Streuabbau gehemmt und die Nährstoffverfügbarkeit ungünstig sind. Das C/N-Verhältnis im F- und H-Horizont ist mit 19 bzw. 21 mittel bzw. mässig weit und damit untypisch klein für einen Rohhumus. Das C/N-Verhältnis im H-Horizont ist eher für einen Moder typisch. Aufgrund der C/N-Verhältnisse in der organischen Auflage wird die Mineralisierungsrate der organischen Substanz als mittel bis niedrig

eingeschätzt. Die C/P-Verhältnisse betragen im F- und H-Horizont 560 bzw. 632 und werden als mässig weit klassiert.

S16.6.2 Nährstoffgehalte

In den Auflagehorizonten ist die Kationenaustauschkapazität hoch. Im Ah- und im Bh-Horizont wird sie dank des grossen Humusgehaltes als mittel klassiert (Abb. S16.19). Im AE-, Bs- und B-Horizont ist sie gering bis sehr gering und folgt im Wesentlichen der Tiefenverteilung der organischen Substanz (Abb. S16.8). Der Kationenaustauscher ist mit Ausnahme der organischen Auflage im ganzen Boden zum grössten Teil mit sauren Kationen belegt (Abb. S16.20). Trotz dem sehr tiefen pH-Wert von 2.90 enthält die Feinerde im nur 5 cm mächtigen Ah-Horizont rund 35% austauschbare Nährstoffkationen.

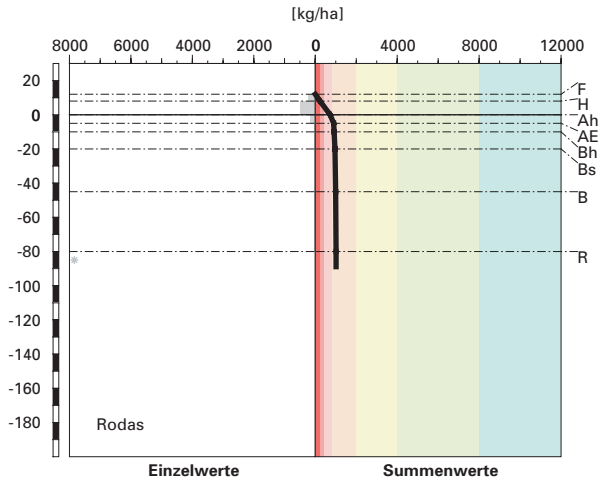
S16.6.3 Nährstoffvorräte

In diesem Boden sind die Nährstoffvorräte vor allem in der organischen Auflage konzentriert. Im Mineralboden ist die Basensättigung unterhalb 5 cm Tiefe sehr gering und die Kationenaustauschkapazität in den mächtigsten Horizonten sehr gering bis gering. Bis zur Vergleichstiefe von 60 cm werden die Vorräte wie folgt bewertet (Abb. S16.21–S16.23):

Ca mittel
Mg mässig
K gering

Der Wurzelraum ist in 80 cm Tiefe durch einen Fels begrenzt. Auch wenn die Vorräte bis 80 cm Tiefe berücksichtigt werden, ändert sich an der Beurteilung der Nährstoffvorräte nichts. Die Durchwurzelbarkeit des Bodens ist über dem Felsblock nicht eingeschränkt und am Profilort Rodas besteht kein Risiko für Trockenstress. Damit ist die Nutzbarkeit der Vorräte prinzipiell nicht eingeschränkt. Es gilt allerdings zu beachten, dass in der organischen Auflage 63% des Mg-Vorrates und 72% des Ca-Vorrates gespeichert sind. Dies kann selbst in kurzen Trockenphasen zu Problemen in der Nährstoffversorgung führen.

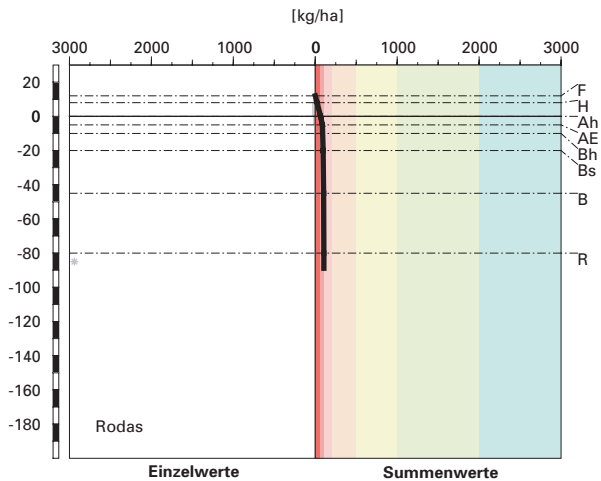
Kalzium-Vorrat



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. S16.21 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. S16.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

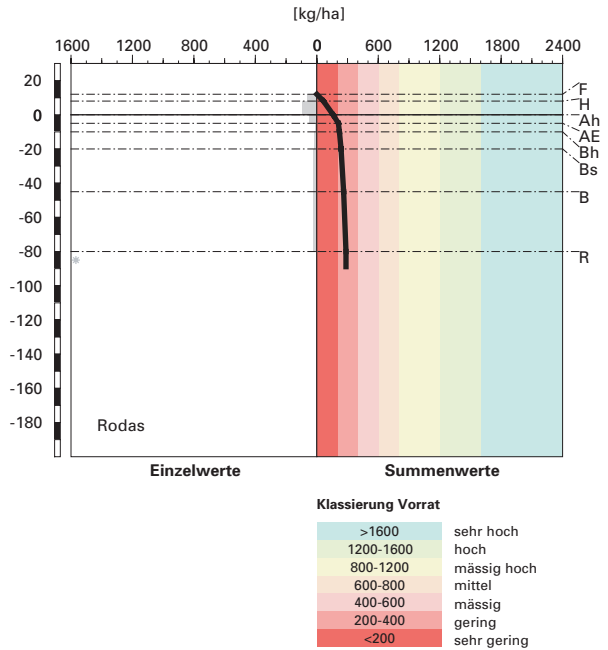


Abb. S16.23 Vorrat an Kalium

S16.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

S16.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. S16.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

S16.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand setzt sich vor allem aus Fichten und einzelnen Lärchen zusammen, 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 standortstypisch ein.

Tab.S16.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Rodas)**Standortangaben**

Relief	Höhe	1650 m
	Exposition	N
	Neigung	45%
Klima	Jahresniederschlag	1853 mm
	Jahrestemperatur	4.5°C
Ausgangsgestein	Gneise	
Baumbestand	Struktur	mehrheitlich einschichtig
	Schlussgrad	50%
	Baumarten (Deckung)	35% Fichte, 3% Lärche
	Oberhöhe	29 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr.57: Torfmoos-Fichtenwald mit Landschilf
	nach BUWAL 2005	Nr.57C: Alpenlattich-Fichtenwald mit Wollreitgras

Bodenkennwerte

Bodensystematik	Bodentyp	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 Felsuntergrund vorhandene Spalten durchwurzeln, wissen wir nicht.
	pflanzenverfügbares Wasser	Trotz begrenzter Gründigkeit besteht unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen kein Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Der Boden ist bis 20 cm Tiefe sehr stark, weiter unten im Profil stark sauer. Das Ausgangsgestein ist karbonatfrei.
	Aluminium-Toxizität	Unterhalb 5 cm Tiefe besteht 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)	Die Nährstoffkationen sind vor allem in der organischen Auflage gespeichert. Der Ca-Vorrat ist mittel, der Mg-Vorrat mässig und der K-Vorrat 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 reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er relativ wenig Skelett enthält. Ein Befahren des Bestandes wird allerdings durch die Steilheit des Hanges und durch mächtige Gesteinsblöcke stark erschwert.	

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.

S16.8

Literatur

Blaser, P., 1980: Der Boden als Standortsfaktor bei Aufforstungen in der subalpinen Stufe (Stillberg, Davos). Mitt. Eidg. Anst. für das forstl. Versuchsw. 56 (3): 529–611.

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.

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

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