

V6 Bodenprofil Rotenbach

V6.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

V6.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Das Bodenprofil ist in [Abb. V6.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb. V6.2](#). [Tab. V6.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Rotenbach zusammen, und [Tab. V6.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

V6.1.2 Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit S6 (alpine Flysch-Berglandschaft, Bündnerschiefer; tiefergelegene Nordhänge (unter 1500 m.ü.M.), Hangneigung <35%). 163 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 1.4% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

V6.1.3 Besonderheiten am Profilort

Bei diesem Bodenprofil handelt es sich um die Lokalform Rotenbach (Richard und Lüscher 1987). Zur Auswahl haben die grosse Verbreitung von Gleyböden im Flyschgebiet der Voralpen und auch die Aufforstungsmöglichkeiten ohne begleitende Entwässerungsmassnahmen beigetragen. Dieses trockene Braunseggenried wird in Richard und Lüscher (1987) als waldfähig beurteilt. Das ehemalige Ried ist heute bewaldet ([Abb. V6.2](#)), allerdings sind die Bäume zurzeit noch klein.

V6.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab. V6.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.



Abb. V6.1 ([links](#)) Bodenprofil Rotenbach

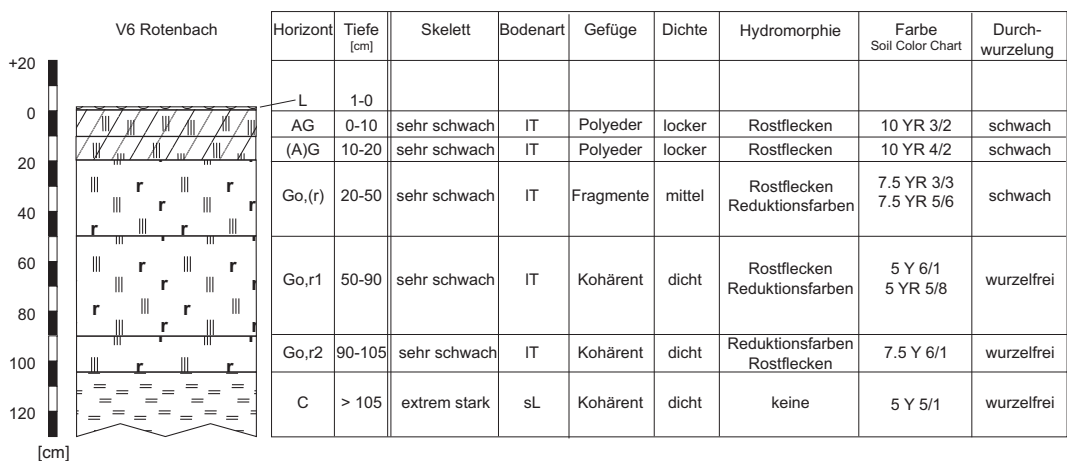
Abb. V6.2 ([rechts](#)) Bestand am Profilort Rotenbach

Tab. V6.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Rotenbach		
Lokalname	Rotenbach (Kanton Freiburg, Gemeinde Plaffeien)	
Lokalform	20, Band 4 (Richard und Lüscher 1987)	
Lage	Landeskarte 1:25000	Blatt 1206, Guggisberg
	Koordinaten	587550/170025
Pflanzengesellschaft (Berset 1969)	eher trockenes Braunseggenried (<i>Viola Juncetum effusi</i>)	
Horizontfolge	L-AG-(A)G-Go,(r)-Go,r1-Go,r2-C	
Humusform	Feuchtmull	
Bodentyp	Gley, sehr stark grundnass	
Bodentyp (FAO 1988)	Mollic Gleysol	

Tab. V6.2	Bodenbildungsfaktoren am Profilort Rotenbach		
Relief	Höhe ü. M.	1405 m	
	Exposition	NNW	
	Neigung	25%	
	Geländeform	Hangfuss	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Penninikum; Wildflysch der Gurnigelzone (Wechsellagerungen von Sandstein- und Mergelschichten)	
	Lithofazies (nach Tuchschnid 1995)	Nr. 11: Mergel- und Tonschiefer (Flysch, Bündnerschiefer und Lias) physikalische Verwitterbarkeit Gestein: gross chemische Verwitterbarkeit Gestein: klein – mittel Tongehalt Gestein: mittel	
Klima	T/N Jahresmittel	5.4°C/1877 mm	
	T/N Januarmittel	– 1.4°C/119 mm	
	T/N Julimittel	14.0°C/171 mm	
	Tage mit Schneedecke	155	
	Wärmegliederung	rauh	
	Länge der Vegetationsperiode	135– 150 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Krautschicht	80%	Ruchgras (<i>Anthoxanthum odoratum</i>) Gemeines Straussgras (<i>Agrostis capillaris</i>) Igelfrüchtige Segge (<i>Carex echinata</i>)
	Moosschicht	90%	–

Tab. V6.3 Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Rotenbach

Bodenart: IT lehmiger Ton, sL sandiger Lehm



Das Braunseggenried liefert mit seinen zahlreichen krautigen Pflanzenarten eine gut abbaubare Streu, so dass diese die Bodenoberfläche nur wenig bedeckt. Die Rostflecken im fast schwarzen, polyedrisch strukturierten Oberboden zeigen, dass die Vernässung zeitweise bis an die Bodenoberfläche reicht. Die Horizontfolge des Oberbodens wird mit L-AG bezeichnet und die Humusform als Feuchtmull klassiert.

Aufgrund der morphologischen Merkmale lassen sich im 1.3 m tief aufgeschlossenen Mineralboden sechs Horizonte unterscheiden. Das Profil ist auffallend stark hydromorph geprägt, was sich an der fehlenden Verbraunung und den vielen Vernässungsmerkmalen erkennen lässt.

Die obersten 10 cm des Mineralbodens sind aufgrund des grossen Humusgehaltes bräunlich schwarz gefärbt und selbst in 10–20 cm Tiefe deuten gräulich gelbbraune Farbtöne einen noch moderaten Humusgehalt an. In 20–50 cm Tiefe wechseln sich gräuliche und rostige Stellen kleinflächig ab. Die grauen Bereiche kommen durch reduktive und die rostigen durch oxidative Prozesse zustande. In 50–105 cm Tiefe werden sowohl die rostigen Flecken als auch die gräulichen Stellen grossflächiger. In 105 cm Tiefe vollzieht sich ein abrupter Farbwechsel zu einer mehrheitlich grau gefärbten, grosse Steine enthaltenden Schicht. Der Boden ist bis 105 cm Tiefe nahezu skelettfrei und sehr tonreich, darunter jedoch extrem stark skeletthaltig und sandreich. Im lockeren Oberboden äussert sich der hohe Tongehalt in der Polyederstruktur der Feinerde, tiefer im Profil ist das Gefüge kohärent und die Dichte entsprechend gross. Die Wurzeln der krautigen Pflanzen erschliessen den Boden bis rund 50 cm Tiefe.

Die Horizontfolge des Profils lautet L-AG-(A)G-Go,(r)-Go,r1-Go,r2-C und der Boden wird als sehr stark grundnasser Gley klassiert. Die temporäre Vernässung erfolgt durch Grund- und Hangwasser.

Ergänzende Bodenmerkmale

Die Kalkgrenze verläuft in 90 cm Tiefe. Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde oberhalb der Kalkgrenze sehr sauer. Trotz Vernässung und recht grosser Dichte sind im Profil keine unüberwindbaren Hindernisse für das Wurzelwachstum erkennbar.

Skelettgehalt

Während die obersten 105 cm des Profils kaum Skelett enthalten, wird der Boden in grösserer Tiefe mit einem Skelettanteil von rund 90 % als extrem stark skeletthaltig klassiert (Abb. V6.3). Die Zerteilung des Profils in eine nahezu skelettfreie und in eine extrem skelettreiche Zone ist geologisch bedingt. Am Profilort Rotenbach ist das Ausgangsgestein ein Flysch, in dem sich Schichten aus Sandstein und Mergel abwechseln. Bis 105 cm Tiefe ist stark verwitterter, nahezu skelettfreier Mergel, weiter unten im Profil wenig verwitterter Sandstein mit entsprechend grossem Skelettanteil vorhanden.

Bodenart

Wie der Skelettgehalt lässt auch die Bodenart einen geschichteten Aufbau des Bodens vermuten (Abb. V6.4). Die in den einzelnen Horizonten recht unterschiedliche Korngrössenzusammensetzung der Feinerde ist einerseits als Resultat der Verwitterung zu interpretieren, andererseits aber auch durch die unterschiedliche Zusammensetzung des Flyschgesteins bedingt. Auffällig im Profil ist zudem der hohe Tongehalt bis 105 cm Tiefe gefolgt von einem abrupten Wechsel von toniger zu sandiger Feinerde. In Bezug auf den Tongehalt handelt es sich bis 105 cm Tiefe um sehr schweren und im C-Horizont um mittelschweren Boden. Die Bestimmung der Bodenart im Feld stimmt gut mit den Messwerten überein (Tab. V6.3).

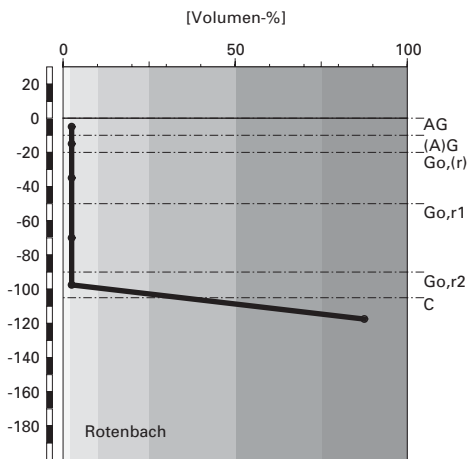
Bodendichte

In diesem Profil wurde ausnahmsweise die Bodendichte anstelle der Feinerde-Dichte gemessen. Da der Boden bis 105 cm Tiefe kaum Skelett enthält, entspricht die Boden-Dichte in dieser Tiefenstufe der Feinerde-Dichte. Die Dichte nimmt mit der Tiefe stetig zu (Abb. V6.5). Im Oberboden ist sie sehr gering bis gering und erreicht im Go,r2-Horizont mit 1.53 g/cm³ den maximalen Wert, welcher allerdings bloss einer mittleren Dichte entspricht. Der C-Horizont ist derart stark skeletthaltig, dass keine Dichteproben entnommen werden konnten.

Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Der lockere AG-Horizont und der sandreiche C-Horizont sind hoch durchlässig, in allen übrigen Horizonten ist die Leitfähigkeit gering (Abb. V6.6).

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

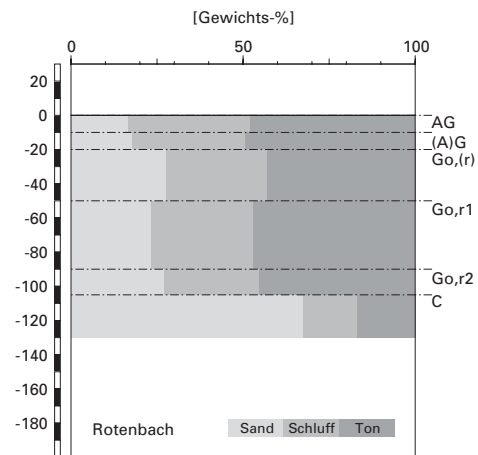


Abb. V6.3 (links) Skelettgehalt

Abb. V6.4 (rechts) Bodenart

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe beträgt 191 l/m², was als sehr hoch klassiert wird (Abb. V6.7). Der hohe Tongehalt führt dazu, dass die Speicherleistung für pflanzenverfügbares Wasser nicht noch grösser ist.

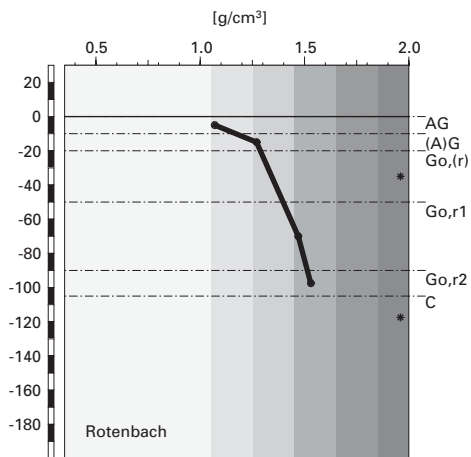
V6.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In diesem sehr stark grundnassen Gley sind Vernässungserscheinungen offensichtlich. So kommen bis an die Bodenoberfläche Rostflecken vor und ab 20 cm Tiefe sind zusätzlich reduktive Zonen erkennbar. Aufgrund der Vernässungsmerkmale gehen wir davon aus, dass sich im Boden aerobe und anaerobe Phasen abwechseln. Bis zur Aufschlusstiefe von 130 cm wurde

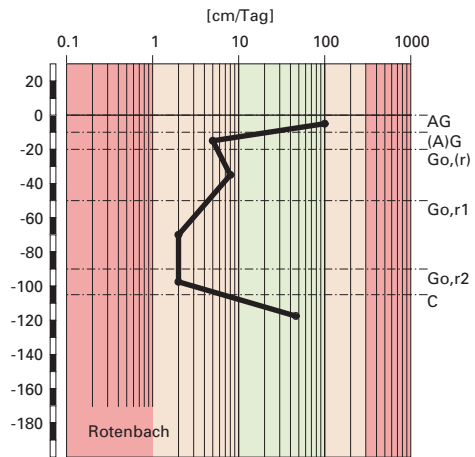
Boden-Dichte



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. V6.5 (links) Dichte des Bodens

Abb. V6.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

die über das gesamte Jahr sauerstofffreie Zone, in der stets reduzierende Verhältnisse herrschen, nicht erreicht. Die Vernässung erfolgt in diesem Boden durch Grund- oder durch Hangwasser. Dies wird unter anderem an der Belegung des Kationenaustauschers sichtbar, wo die Basensättigung im karbonatfreien Bereich des Bodens nahezu 100% beträgt (Abb. V6.15). Das periodisch bis an die Bodenoberfläche ansteigende basenreiche Fremdwasser wirkt einer Abnahme der Basensättigung im karbonatfreien Profilbereich entgegen.

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Als das Bodenprofil bei Rotenbach im Jahre 1981 ausgehoben und beschrieben wurde, wuchs am Profilort ein Braunseggenried. Da der Standort heute bewaldet ist, beurteilen wir den Boden im Hinblick auf seine Durchwurzelbarkeit mit Baumwurzeln.

pflanzenverfügbares Wasser

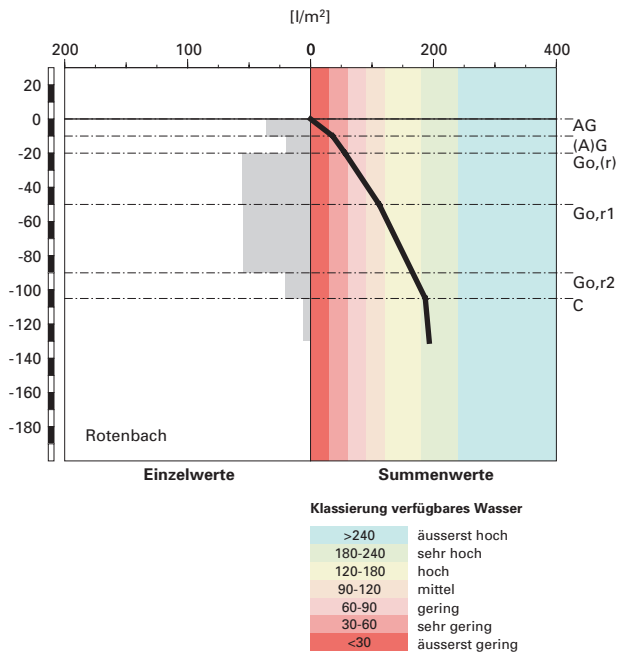


Abb. V6.7 Pflanzenverfügbares Wasser

Wir gehen davon aus, dass der Boden aufgrund seiner relativ hohen Dichte von mehr als 1.4 g/cm^3 und seiner zeitweise starken Vernässung für empfindliche Baumarten wie Buche und Fichte eingeschränkt durchwurzelbar ist. Für die weniger empfindlichen Baumarten wie die Tanne dürfte der Wurzelraum mindestens 120 cm mächtig und damit sehr tiefgründig sein. Ab 105 cm Tiefe wird das Wurzelwachstum der tief wurzelnden Baumarten jedoch nicht nur durch temporäre Sauerstoffarmut und erhöhte Dichte, sondern auch durch den extrem hohen Skelettgehalt beeinträchtigt. Im Jahre 1981 wurde der Boden von den Krautpflanzen des Braunseggenrieds nicht voll genutzt, denn Wurzeln waren bloss bis 50 cm Tiefe vorhanden.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Bei einer Referenztiefe von 120 cm kann gemäss unseren Berechnungen davon ausgegangen werden, dass die Bäume in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 25 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnen würden. Trotz dem nicht optimalen Speichervermögen des

Bodens besteht kein Risiko für Trockenstress, weder bei den tief wurzelnden Baumarten noch bei den Arten mit oberflächlicherem Wurzelwerk. Wir kommen zu diesem Schluss, weil ein günstiges Klima herrscht und dem Boden Fremdwasser zugeführt wird. In Trockenperioden wirkt kapillar in den Wurzelraum aufsteigendes Wasser dem Trockenstress-Risiko entgegen.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettgehalt gering und der Tongehalt gross sind. Im Winter ist das Befahren aus bodenökologischer Sicht fast immer problematisch, weil der Boden dann meistens wassergesättigt ist und höchstens oberflächlich gefriert.

V6.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

V6.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Der Profilort Rotenbach liegt in einem Braunseggenriet, welches zum Zeitpunkt der Erstellung des Bodenprofils waldfrei war. Heute wird das Riet langsam von Fichten besiedelt. Die Streu stammt aber vor allem von den Pflanzen aus der Krautschicht. Dies sind zahlreiche Grasarten, unter anderem Ruchgras und gemeines Straussgras. Daneben ist die igelfrüchtige Segge stark verbreitet. Die Streu dieser Gräser und Seggen ist gut abbaubar, weshalb sich auf dem Boden nur eine dünne Streuschicht gebildet hat.

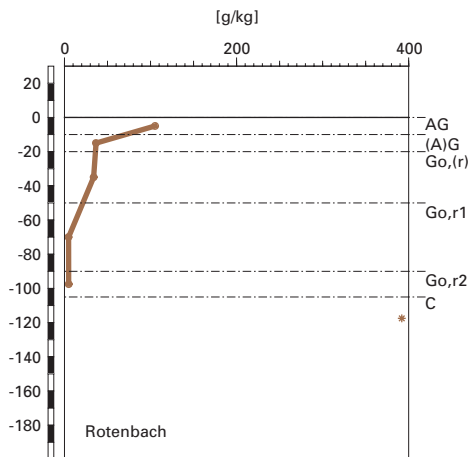
Der AG-Horizont hat durch einen grossen Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) eine bräunlich schwarze Farbe. Sein C_{org} -Gehalt beträgt 10.5% (Abb. V6.8). Im (A)G- und Go,(r)-Horizont geht der C_{org} -Gehalt auf rund 3.5% zurück. Im weiteren Tiefenverlauf nimmt er auf 0.5% im Go,r1- und Go,r2-Horizont ab. Aus diesen C_{org} -Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 278 t/ha (Abb. V6.9).

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt liegt bis zum Go,r2-Horizont zwischen 43% und 50% (Abb. V6.4). Im C-Horizont nimmt er sprunghaft auf 17% ab.

Der Gehalt des Dithionit-extrahierbaren Eisens (Fe_d) hat im (A)G- und im Go,r2-Horizont je ein Maximum (Abb. V6.10). Im Go,r1-Horizont ist er am kleinsten. Beim Oxalat- und Pyrophosphat-extrahierbaren Eisen (Fe_o bzw. Fe_p) sind die Gehalte sehr ähnlich über die Tiefe verteilt, mit der Aus-

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

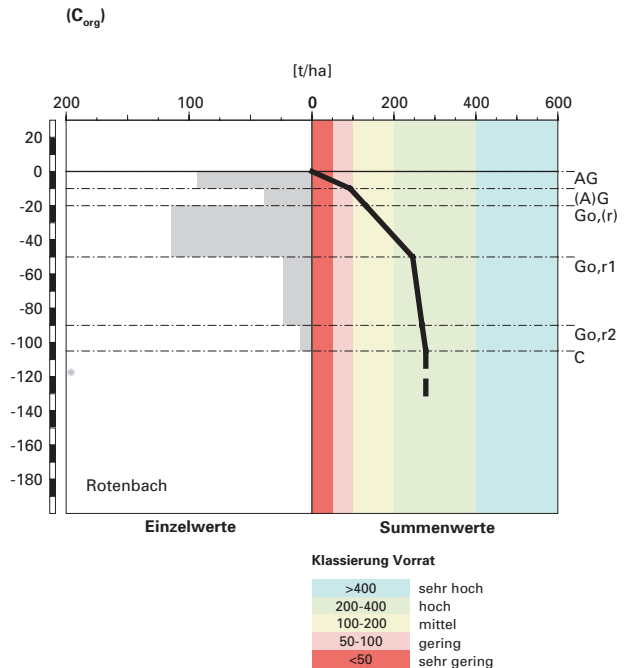


Abb. V6.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

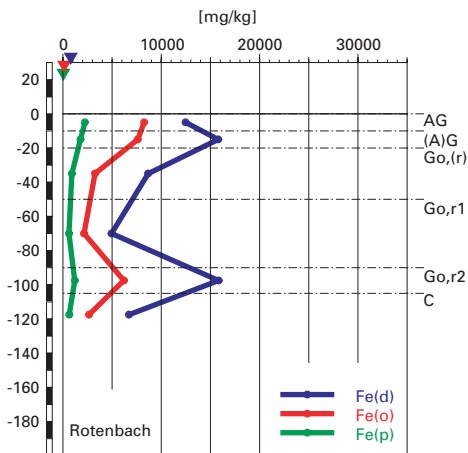
Abb. V6.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

nahme, dass im Oberboden nicht erst eine Zunahme zu beobachten ist, sondern das Maximum im Ah-Horizont liegt, von wo der Gehalt bis zum Minimum im Go,r1-Horizont abnimmt. Bei Fe_p ist der Gehalt allerdings wenig differenziert. Auch der Gehalt des Oxalat-extrahierbaren Aluminiums (Al_o) zeigt dieses Muster in der Tiefenverteilung (Abb. V6.11). Beim Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminium (Al_p) hingegen nimmt der Gehalt mit der Tiefe stetig ab und ist im Go,r2-Horizont nicht mehr bestimmbar. Auffallend ist, dass alle extrahierbaren Aluminium- und Eisenverbindungen im C- gegenüber dem Go,r2-Horizont deutlich kleinere Gehalte aufweisen.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis nimmt vom Ah-Horizont von rund 0.7 auf rund 0.4 im Go,(r)-Horizont ab (Abb. V6.12). Im weiteren Tiefenverlauf schwankt es um diesen Wert. Die Fe_p/Fe_o - bzw. Al_p/Al_o -Verhältnisse sind im ganzen Boden mehr oder weniger konstant, Fe_p/Fe_o schwankt um den Wert 0.25, das Al_p/Al_o -Verhältnis um 0.6.

Eisen-Oxide

(Gehalte)



Aluminium-Oxide

(Gehalte)

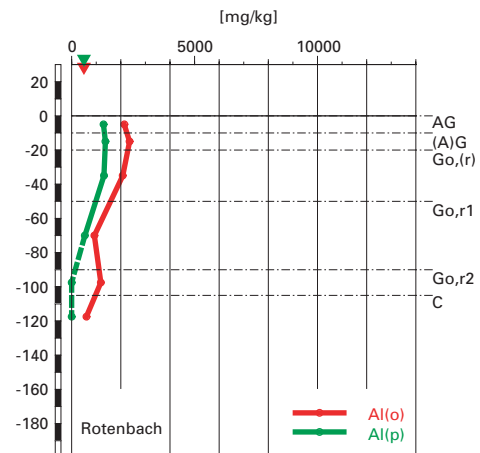


Abb. V6.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb. V6.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)

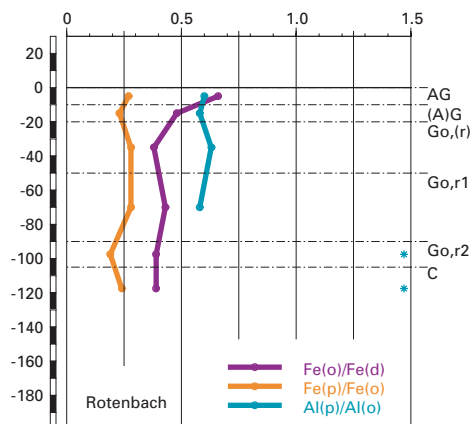


Abb. V6.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Die Gräser und Seggen liefern eine gut abbaubare Streu, welche innerhalb eines Jahres praktisch vollständig zersetzt wird. Am Profilort hat sich nur eine dünne Streuschicht gebildet und die Humusform wird als Feuchtmull klassiert. Ein Grund für diesen schnellen Abbau ist das Klima, welches mit durchschnittlichen jährlichen Niederschlägen von 1877 mm und einer Jahresdurchschnittstemperatur von 5.4°C (durchschnittliche Julitemperatur: 14°C) genügend Wärme und Feuchtigkeit für eine aktive Bodenfauna und -flora liefert. Zudem ist die Feinerde nur mässig bis schwach sauer, was eine grosse biologische Aktivität begünstigt. Die Regenwurmaktivität ist in diesem Boden allerdings eher gering, weshalb die Durchmischung von organischer Substanz und Mineralerde nicht so intensiv und der AG-Horizont nur 10 cm mächtig ist. Vermutlich gelangt ein Grossteil der organischen Substanz durch das Sickerwasser und nicht durch Bioturbation in den Mineralboden. Dort wird es durch die Bindung an Aluminium- und Eisenoxide sowie an Tonminerale vor weiterem Abbau geschützt. Zudem wirkt die zeitweise bis in den Oberboden reichende Vernässung hemmend auf die biologische Aktivität. Unter anaeroben Bedingungen geht die Mineralisierung der organischen Substanz stark zurück, was eine weitere Erklärung für die grossen C_{org} -Gehalte bis in 50 cm Tiefe ist. Im gesamtschweizerischen Vergleich enthält der Boden einen hohen Vorrat an organischem Kohlenstoff von 278 t/ha (Abb. V6.9).

Der Tongehalt ist bis in eine Tiefe von 105 cm mehr oder weniger konstant. Im C-Horizont nimmt er markant ab. Das ist vermutlich durch das Ausgangsgestein, einen Wildflysch mit Wechsellagerungen von Sandstein- und Mergelschichten, bedingt. In den obersten 105 cm bildet eine Mergelschicht das Ausgangsgestein und im C-Horizont findet der Wechsel in eine Sandsteinschicht statt. Dies wird aufgrund der Korngrössenverteilung (Abb. V6.4) geschlossen, hat doch der C-Horizont einen Sandanteil von rund 70% gegenüber 20% bis 30% in den darüber gelegenen Horizonten.

Dieser Schichtwechsel erklärt die durchwegs geringeren Gehalte an extrahierbaren Aluminium- und Eisenverbindungen im C-Horizont. Die Tiefenverteilung der extrahierbaren Eisengehalte oberhalb des C-Horizontes kommt durch den Wasserhaushalt, bzw. die Grundwasserdynamik zustande. Vermutlich schwankt der Grundwasserspiegel vor allem zwischen dem Go,r2- und dem (A)G-Horizont. In wassergesättigten, anaeroben Phasen wird Eisen reduziert und als Metall-organische Verbindung gelöst. Mit ansteigendem Grundwasser gelangt gelöstes, reduziertes Eisen in die oberen Profilpartien. Dort fällt es nach Oxidation wieder aus und wird so angereichert. Dies dürfte vielfach im (A)G- und AG-Horizont der Fall sein.

Andererseits hat der sprunghaft grössere Sandanteil im C-Horizont eine Porendiskontinuität zur Folge. Dadurch bildet sich im Go,r2-Horizont auch in Phasen, in welchen der C-Horizont entwässert ist, hängendes, gestautes Bodenwasser. Der Go,r2-Horizont ist somit vielfach anaerob und Eisen fällt in diesem Horizont in reduzierter, schwer löslicher Form als Sulfid bzw. Phosphat aus. Dies ist auch an den in diesem Horizont grossen HNO_3 -extrahierbaren S- und P-Gehalten erkennbar (Tab. A201 in Zimmermann et al. 2006). Auf diese Weise kommt das sekundäre Maximum der extrahierbaren Eisengehalte im Go,r2-Horizont zustande.

Fe_p folgt nicht der Tiefenverteilung des organischen Kohlenstoffes, wie dies in anderen Böden zu beobachten ist, sondern ist absolut identisch mit der Tiefenverteilung von Fe_o . Deshalb ist das Fe_p/Fe_o -Verhältnis im ganzen Boden mehr oder weniger konstant um 0.25 (Abb. V6.12). Das grosse Fe_o/Fe_d -Verhältnis zeigt den grossen Anteil amorpher Eisenoxide an den gesamthaft extrahierbaren Eisenverbindungen, was für hydromorphe Böden typisch ist, denn die grosse Feuchtigkeit wirkt einer Kristallisation entgegen.

Aluminium ist nicht redoxsensitiv weshalb die Tiefenverteilung seiner Gehalte durch diese Prozesse nicht beeinflusst wird. Die Tiefenverteilung von Al_o ist deshalb viel weniger differenziert als jene von Eisen. Bei Al_o ist nur eine kleine Verarmung im Go,r1-Horizont festzustellen. Dies ist vermutlich die Folge einer geringen Verlagerung von organischen Al-Komplexen beim Rückzug des Grundwassers aus diesem Horizont. Das Ausmass ist aber nur sehr gering, da Al_p , das heisst das mit der organischen Substanz assoziierte Aluminium, unterhalb dem Go,r1-Horizont kleiner als die Bestimmungsgrenze von 500 mg/kg Boden ist.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als sehr stark grundnasser Gley klassiert. Die Interpretation der Bodenhauptbestandteile bestätigt diese Klassierung. Insbesondere lässt sich die Verteilung des Eisens oberhalb des C-Horizontes sehr gut mit der Grundwasserdynamik und der aus der Korngrössenzusammensetzung der Feinerde interpretierten Porengrössenverteilung erklären. Der C-Horizont liegt aufgrund seiner Körnung vermutlich in einer sandsteinreichen Schicht des Flysches, während die oberen 105 cm eher aus mergeligem Ausgangsgestein entstanden sind.

V6.4.1 **Charakterisierung des Säurezustandes**

pH-Wert

Die Feinerde ist im ganzen Profil schwach bis mässig sauer (Abb. V6.13). Die pH-Werte liegen zwischen 5.3 im Go,(r)-Horizont und 6.7 im Go,r2-Horizont. Zwischen 10 und 50 cm Tiefe befindet sich die Feinerde in der Säureklasse 3, in allen anderen Horizonten in der Säureklasse 2.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist im ganzen Boden vollständig mit basischen Kationen, allerdings sehr einseitig mit Kalzium belegt (Abb. V6.14). Auch in der mässig sauren Zone zwischen 10 und 50 cm Tiefe kommt praktisch kein austauschbares Aluminium vor. Die Basensättigung ist im ganzen Profil mit rund 100% sehr hoch (Abb. V6.15).

V6.4.2 **Interpretationen zum Säurezustand**

Stand der Bodenversauerung

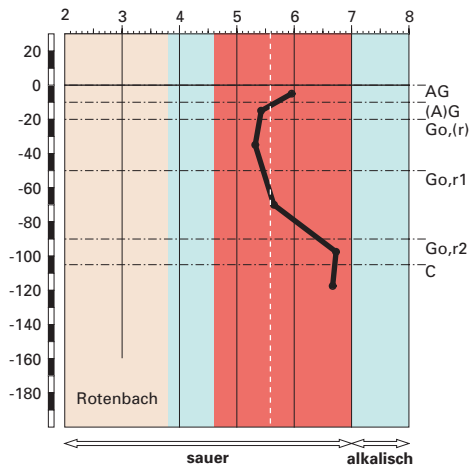
Dieser sehr stark grundnasse Gley wird auf Grund des Tiefenverlaufes des pH-Wertes als mässig versauert klassiert. Karbonathaltiges Gestein wurde bei der Feldansprache vereinzelt bereits in 90 cm Tiefe festgestellt. Daraus lässt sich schliessen, dass sich das Ausgangsgestein unterhalb des C-Horizontes in der Säureklasse 1 befindet, wodurch die pH-Werte im Profil in drei Säureklassen verteilt sind. Das Ausmass der Bodenversauerung wird in diesem Boden wesentlich durch den Wasserhaushalt bestimmt. Bei hohem Grundwasserstand, der selbst den obersten Horizont erreicht, ist die Tiefenverlagerung von ausgetauschten Kationen stark gehemmt. Ausserdem ist das Grundwasser sehr nährstoffreich, wodurch dem Boden ständig basische Kationen zugeführt werden.

Risiko für Boden und Pflanzen

Der Boden befindet sich vollumfänglich in den Säureklassen 2 und 3, die beide gegen Versauerung nur schwach gepuffert sind. Das Risiko einer weiteren pH-Abnahme bei anhaltender Säurezufuhr wird deshalb als gross beurteilt. Allerdings ist diese Beurteilung vermutlich etwas zu negativ, denn das karbonathaltige Ausgangsgestein sowie das bis in den AG-Horizont aufsteigende Grundwasser wirken einer Versauerung stark entgegen. Dies bedeutet, dass auch bei einer allfälligen weiteren pH-Abnahme die Basen-

pH-Wert

(CaCl₂)



Säureklassen 1-5

Empfindlichkeit für pH-Abnahme

1: >7.0	klein
2: 5.6-7.0	gross
3: 4.6-5.6	gross
4: 3.8-4.6	klein
5: <3.8	mässig

austauschbare Kationen

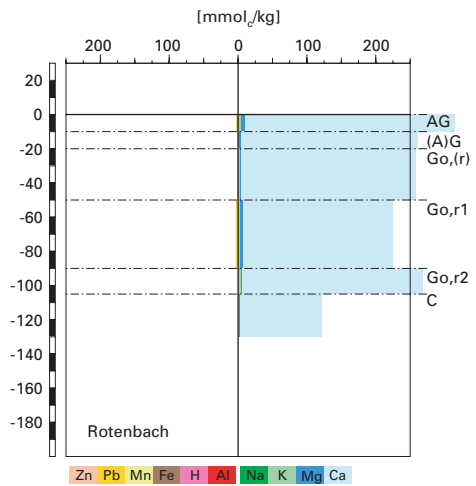
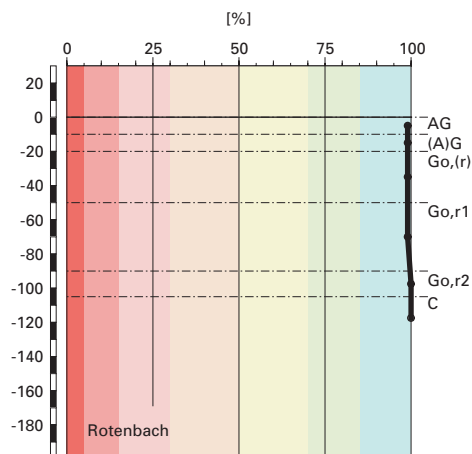


Abb. V6.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb. V6.14 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

Basensättigung



Klassierung Basensättigung

>85	sehr hoch
70-85	hoch
50-70	mässig hoch
30-50	mittel
15-30	mässig
5-15	gering
<5	sehr gering

Abb. V6.15 Basensättigung

sättigung sehr hoch bleiben wird und sich das Ausmass der Versauerung nur im pH-Wert, nicht aber in der Basensättigung manifestieren wird.

Für das Pflanzenwachstum besteht kein Risiko einer Beeinträchtigung durch toxisch wirkendes Aluminium, denn das BC/Al-Verhältnis liegt im ganzen Profil weit über dem als kritisch erachteten Grenzwert von 0.2. Dies wird sich auch bei einer weiteren pH-Abnahme nicht ändern, weil die Basensättigung in Folge des basenreichen Grundwassers hoch bleiben wird.

V6.5 Themenbereich «Schwermetalle»

V6.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Die Tiefenverteilungen der Cr- und Ni-Gehalte verlaufen in diesem Boden parallel zueinander (Abb. V6.16). Mit einer ersten Zunahme vom AG- zum (A)G-Horizont wird ein sekundäres Maximum erreicht. Nach einem Rückgang der Gehalte im Go,(r)-Horizont erfolgt ein starker Anstieg bis zu maximalen Werten im Go,r2-Horizont. Im C-Horizont sind der Cr- und Ni-Gehalt wieder deutlich niedriger. Der Cu-Gehalt ist in den Go,r-Horizonten drei mal so gross wie in allen anderen Horizonten. Der Zn-Gehalt ist im AG-Horizont maximal und nimmt darunter stark ab bis zu einem sekundären Minimum im Go,(r)-Horizont. Darunter nimmt der Zn-Gehalt wieder zu bis zu einem sekundären Maximum im Go,r2-Horizont. Im C-Horizont ist er wieder deutlich niedriger. Blei schliesslich weist im Oberboden den höchsten Gehalt auf. Im Unterboden liegt Pb in der Nähe oder unterhalb der Bestimmungsgrenze.

V6.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Flysch (Lithofazies 11) liegen der Ni-, Cu- und Zn-Gehalt im sandigen C-Horizont unterhalb, der Cr- und Pb-Gehalt innerhalb typischer Wertebereiche. Im mergeligen Go,r2-Horizont liegen der Pb-Gehalt unterhalb, der Ni-, Cu- und Zn-Gehalt innerhalb und der Cr-Gehalt oberhalb typischer Wertebereiche.

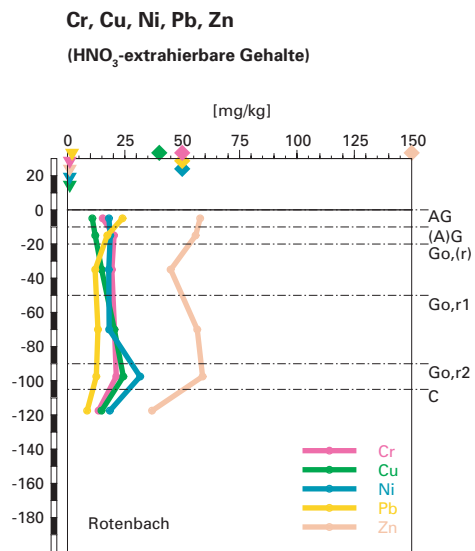
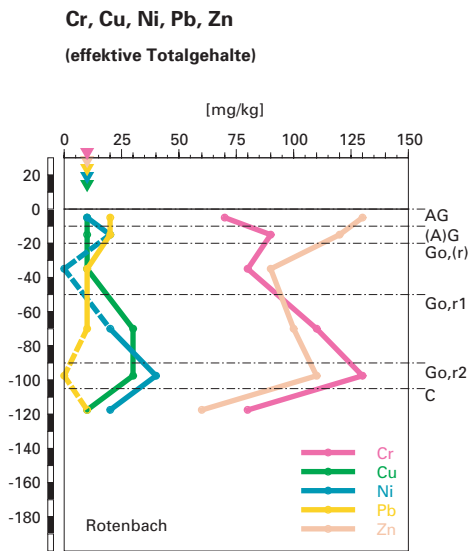


Abb. V6.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. V6.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

Anmerkung: Das Profil entwickelte sich aus einem Wildflysch mit Wechsel-lagerungen von Sandstein- und Mergelschichten. Zwischen dem Go,r2-Horizont und dem C-Horizont befindet sich eine entsprechende Schicht-grenze. Die Beurteilungen werden für beide Schichten durchgeführt.

V6.5.3

Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Bezogen auf die VBBo sind die Gehalte der Schwermetalle in diesem Boden meist sehr niedrig bis niedrig. Die Ausnahmen bilden ein erhöhter Ni-Gehalt im Go,r2-, erhöhte Cu-Gehalte in beiden Go,r-, und ein erhöhter Pb-Gehalt im AG-Horizont (Abb. V6.17). Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

Die Anreicherungs-faktoren wurden nur für den mergeligen Teil des Bodens berechnet und interpretiert. Da nicht bekannt ist, in wie weit der Go,r2-Horizont unverändertes Ausgangsgestein repräsentiert, können keine Aussagen bezüglich Anreicherung oder Verarmung relativ zum Ausgangsgestein gemacht werden.

Der Oberboden und der Go,(r)-Horizont sind deutlich an Cr, Ni und Cu verarmt (Tab.V6.4). Zudem ist der Go,r1-Horizont an Ni verarmt. Diese Verarmungen lassen sich mit der Auflösung von mit Eisenoxiden assoziierten Schwermetallen im oberen Teil des Profils während der wasser-gesättigten Phasen erklären. Durch lateralen oder vertikalen Abfluss des Wassers werden die aufgelösten Schwermetalle aus den betroffenen Horizonten wegtransportiert. Eine zusätzliche Mobilisierung durch gelöste organische Substanz ist wahrscheinlich. Die sekundären Maxima des Anreicherungs-faktors für Ni sowie des Cr- und Ni-Gehaltes im (A)G-Horizont haben vermutlich mit der Anreicherung von Eisenoxiden im Oberboden (Abb.V6.10) zu tun. Mit ansteigendem Grundwasser gelangt gelöstes, reduziertes Eisen in die oberen Profilpartien und fällt dort nach Oxidation wieder aus. Dabei werden gelöstes Cr und Ni teilweise mit ausgefällt.

Beim Zn weisen die im Vergleich zu den Go,r-Horizonten höheren Anreicherungs-faktoren im Oberboden auf eine Überlagerung der vernäsungsbedingten Prozesse durch Nährstoffrückführung mit der Streu in den Oberboden hin. Der gegenüber dem Unterboden erhöhte Pb-Gehalt im Oberboden (Abb.V6.16 und V6.17) weist auf anthropogenen Eintrag hin.

Tab. V6.4**Anreicherungs-faktoren**

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungs-faktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
AG	0– 10	0.65	0.40	0.30	n.b.	1.44
(A)G	10– 20	0.69	0.33	0.50	n.b.	1.09
Go,(r)	20– 50	0.60	0.32	<0.24	n.b.	0.79
Go,r1	50– 90	0.85	1.00	0.50	n.b.	0.91
Go,r2	90–105	1.00	1.00	1.00	n.b.	1.00
C	> 105	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Schwermetallmobilität

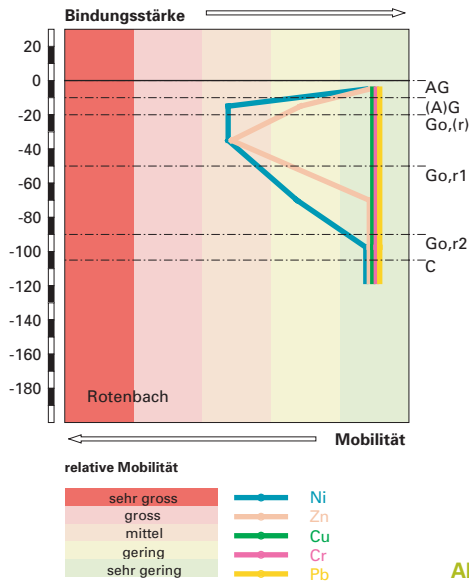


Abb. V6.18 Mobilität der Schwermetalle

V6.5.5

Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

In diesem mässig bis schwach sauren Boden (Abb. V6.13) wird die Mobilität der Schwermetalle mit wenigen Ausnahmen als sehr gering bis gering eingestuft (Abb. V6.18). Dabei verringert im AG-Horizont der hohe Gehalt an organischer Substanz (Abb. V6.8) die Mobilität aller Schwermetalle mit Ausnahme von Zn. Im (A)G- und Go,(r)-Horizont wirkt sich die organische Substanz noch auf die Mobilität von Cr, Cu und Pb verringern aus. Auch der hohe Tongehalt in der mergeligen Schicht bis 105 cm hemmt die Mobilisierung der Schwermetalle mit Ausnahme von Ni.

Die in Abb. V6.18 dargestellten Mobilitätsschätzungen müssen aufgrund der im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Auswirkungen der Redoxdynamik und gelöster organischer Substanz in diesem Profil modifiziert werden. Im oberen Teil vom AG- bis zum Go,(r)-Horizont dürfte die Auflösung von mit Eisenoxiden assoziierten Schwermetallen während wasser-gesättigter Phasen die Mobilität der Schwermetalle erhöhen. Bindung an gelöste organische Substanz dürfte vor allem die Mobilität von Ni und Cu erhöhen. Umgekehrt dürfte die Bildung schwerlöslicher Sulfide die Mobilität von Cu in den Go,r-Horizonten gegenüber der Schätzung verringern.

Bei diesem Boden besteht vor allem ein Risiko der Schwermetallauswaschung aus den zeitweise wassergesättigten AG- bis Go,(r)-Horizonten durch lateralen, hangparallelen Abfluss. Das Risiko einer vertikalen oder lateralen Auswaschung aus den Go,r-Horizonten wird als klein beurteilt.

V6.5.6 Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

Im AG-Horizont liegen alle Schwermetalle in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind.

V6.6 Themenbereich «Nährstoffe»

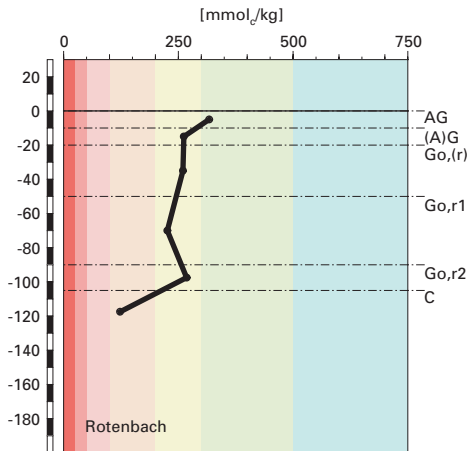
V6.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Aufgrund der Humusform und des Bodengefüges wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden am Profilort Rotenbach als gut beurteilt. Die Streu der Gräser und Seggen wird innerhalb eines Jahres praktisch vollständig zersetzt. Es hat sich nur eine dünne Streuschicht gebildet und die Humusform ist ein Feuchtmull. In der mässig bis schwach sauren Feinerde ist die biologische Aktivität gross. Allerdings ist vermutlich aufgrund des zeitweise hoch anstehenden Grundwasserspiegels die Regenwurmaktivität etwas gehemmt, weshalb die Durchmischungszone von organischer Substanz und Mineralerde nur 10 cm mächtig und relativ scharf gegen den (A)G-Horizont abgegrenzt ist. Die Feinerde ist im AG-Horizont in Polyeder strukturiert. Dies darf nicht als Folge einer geringen biologischen Aktivität interpretiert werden, sondern ist eine Folge des grossen Tongehaltes und den wechselnden Feuchtigkeitsverhältnissen verbunden mit schrumpfen und quellen der Feinerde. Dies fördert die Bildung von Polyedern.

Das C/N-Verhältnis beträgt im AG-Horizont 14 und ist gemäss Literaturangaben typisch für die Humusform Mull. Das mässig enge C/N-Verhältnis ist mit einer hohen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Das heisst, dass die Streu nicht nur schnell zersetzt wird, sondern dass die organische Substanz auch schnell mineralisiert wird und die Nährstoffe damit den Pflanzen wieder zur Verfügung stehen. Die Interpretation des C/N-Verhältnisses steht im Einklang mit den morphologischen Beobachtungen. Das mässig enge C/P-Verhältnis von 183 im AG-Horizont deutet ebenfalls eine grosse biologische Aktivität an.

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)

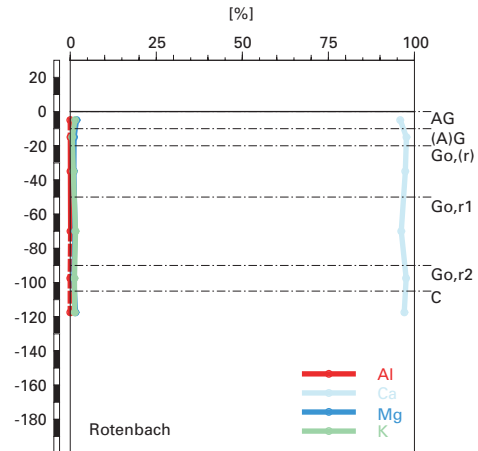


Abb. V6.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. V6.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

V6.6.2

Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) ist im AG-Horizont mit 317 mmol_c/kg Feinerde sehr hoch (Abb. V6.19). Der sehr hohe Wert im AG-Horizont kommt durch den grossen C_{org}-Gehalt in diesem Horizont zustande. Im Tiefenbereich von 10 cm bis 105 cm schwankt die KAK in einem relativ engen Bereich zwischen 226 und 268 mmol_c/kg Feinerde und wird als hoch klassiert. Ursache ist der konstant grosse Tongehalt in diesen Horizonten. Entsprechend dem vom Go,r2- in den C-Horizont abnehmenden Tongehalt ist die KAK im C-Horizont mit 123 mmol_c/kg Feinerde nur noch mittel.

Der Kationenaustauscher ist entsprechend der mässig bis schwach sauren Feinerde praktisch vollständig mit Nährstoffkationen belegt (Abb. V6.20). Bei pH-Werten unterhalb 5.6 beginnt Aluminium die Nährstoffkationen vom Austauscher zu verdrängen, was in diesem Boden allerdings nicht zu beobachten ist. Unter dem Grundwassereinfluss bleibt die Feinerde vollständig basengesättigt. Demzufolge sind im (A)G-, Go,(r)- und

Go,r1-Horizont erst Spuren von Aluminium vorhanden. Sonst dominiert Ca die Austauscherbelegung mit Werten zwischen 96% und 98%. Die Mg- und K-Belegung sind im Gegensatz zu anderen Böden, wo die Mg-Belegung meistens grösser ist, praktisch gleich gross. Ihre Anteile am Austauscher sind im AG-Horizont mit 1.4% bzw. 1.8% am grössten.

V6.6.3

Nährstoffvorräte

In den Abb.V6.21 bis V6.23 sind die Vorräte an Ca, Mg und K dargestellt. Der Ca-Vorrat steigt mit der Tiefe sehr stark an. Bei Mg und K ist die Vorratszunahme bis in den Go,r2-Horizont linear. Im C-Horizont nehmen die Vorräte aufgrund des grossen Skelettgehaltes nur noch wenig zu. Im Hauptwurzelsraum (bis 60 cm Tiefe) wird das Angebot an Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

Ca sehr hoch
Mg mittel
K mittel

Kalzium-Vorrat

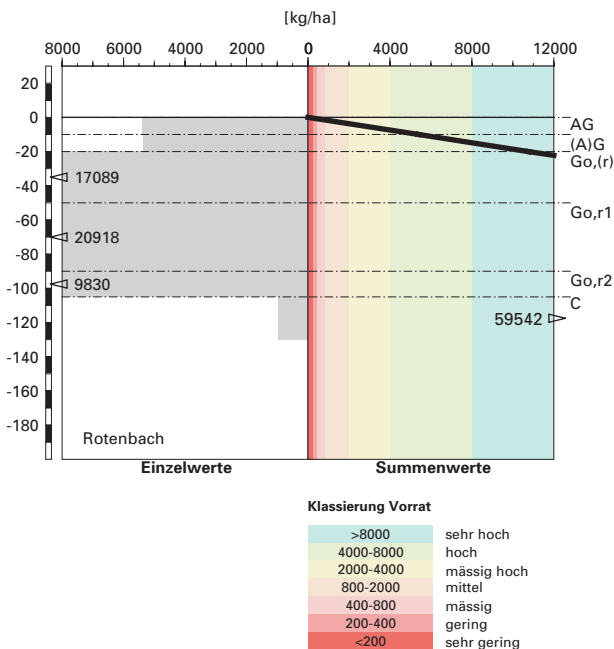


Abb.V6.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

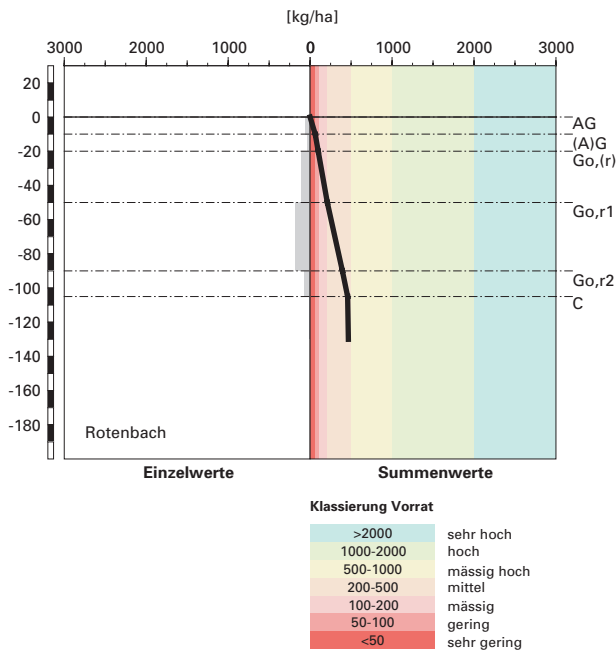


Abb. V6.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

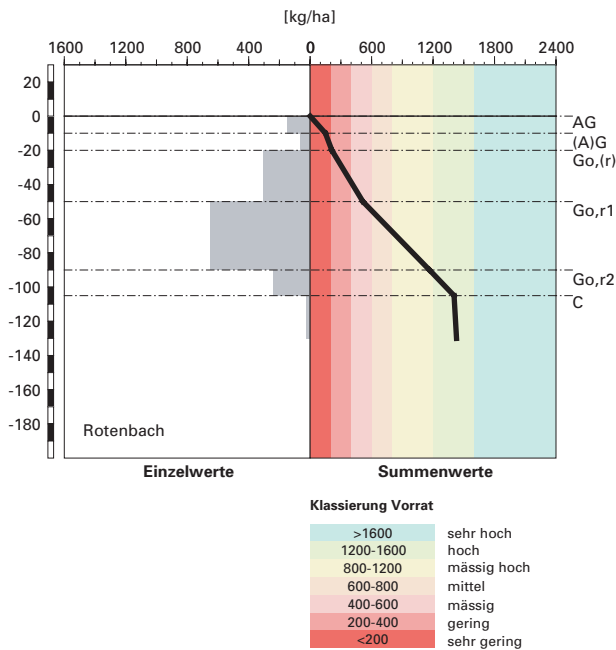


Abb. V6.23 Vorrat an Kalium

Da der Boden bis mindestens 130 cm durchwurzelbar ist, wird der K-Vorrat günstiger beurteilt und als hoch klassiert, wogegen die Klassierung des Ca- und des Mg-Vorrates nicht ändert. Insgesamt werden die Vorräte an Nährstoffkationen als mässig hoch klassiert.

Es gilt zu beachten, dass die Versorgung mit Nährstoffen stark vom Wasserhaushalt abhängig ist. Diesbezüglich herrscht am Profilort Rotenbach kein Risiko für Trockenstress, so dass die mässig hohen Vorräte an Nährstoffkationen den Pflanzen praktisch uneingeschränkt zur Verfügung stehen.

V6.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

Nachfolgend wird beurteilt, welche Baumarten an diesem waldfähigen Riedstandort im Klimaxstadium zu erwarten sind. Diese Baumarten lassen sich bei Bedarf auf dem Ried einbringen. Wir möchten keinesfalls dazu ermuntern, das Ried aufzuforsten. Es geht uns lediglich darum, den Riedboden wie die Waldböden im Hinblick auf die Baumartenwahl zu beurteilen, und zwar mit möglichst denselben Kriterien, wie an den bewaldeten Profilorten.

Da für die Baumartenwahl auf Riedstandorten keine standortkundlichen Grundlagenwerke verfügbar sind, beruhen unsere Angaben zum Vorkommen der Baumarten auf den untersuchten Bodenkriterien und auf den eigenen standortkundlichen Erfahrungen.

V6.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. V6.5) orientiert über verschiedene Standortfaktoren am Riedstandort Rotenbach.

V6.7.2 Beurteilung des Riedbodens im Hinblick auf die Baumartenwahl

■ Durchwurzelbarkeit des Bodens

Dieser sehr stark grundnasse Gley ist nur eingeschränkt durchwurzelbar. Dies gilt vor allem für empfindliche Baumarten wie zum Beispiel die Fichte, welche in diesem zeitweise vernässten Boden ein oberflächliches Wurzelwerk bildet. Wir empfehlen, vor allem jene Baumarten einzubringen, welche den Boden tief durchwurzeln können, wie beispielsweise die Tanne. Ihr tief greifendes Wurzelwerk vermag den Boden umfassender zu nutzen und verbessert die Verankerung des Bestandes.

Tab. V6.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Rotenbach)		
Standortangaben		
Relief	Höhe	1405 m ü. M.
	Exposition	NNW
	Neigung	25%
Klima	Jahresniederschlag	1877 mm
	Jahrestemperatur	5.4°C
Ausgangsgestein	Wildflysch (Wechsellagerungen von Sandstein- und Mergelschichten)	
Vegetationstyp	Braunseggenried (eher trocken)	
Bodenkennwerte		
Bodensystematik	Humusform	Feuchtmull
	Bodentyp	Gley
	Vernässungsgrad	sehr stark grundnass
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Die Durchlüftung ist in diesem sehr stark hydromorph geprägten Boden zeitweise ungenügend, und zwar in allen Horizonten. Die Vernässung erfolgt durch Grund- bzw. Hangwasser.
	Durchwurzelbarkeit	Der gesamte Boden dieses Rieds ist aufgrund der zeitweise ungenügenden Durchlüftung eingeschränkt durchwurzelbar. Der Wurzelraum würde für tief wurzelnde Baumarten mehr als 120 cm betragen und wäre damit sehr tiefgründig. Die in Bezug auf Sauerstoffarmut empfindlichen Baumarten dürften den Boden vor allem oberflächlich durchwurzeln. Wurzeln wurden bis 50 cm Tiefe beobachtet. Es handelt sich dabei allerdings um Wurzeln von krautigen Pflanzen.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen würde sowohl für tief wurzelnde Baumarten als auch für jene mit oberflächlicherem Wurzelwerk kein Risiko für Trockenstress bestehen.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Die Kalkgrenze liegt bei 90 cm Tiefe. Die Feinerde ist in 0–50 cm Tiefe schwach bis mässig sauer, weiter unten im Profil schwach sauer.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Feuchtmull weist auch das mässig enge C/N-Verhältnis im AG-Horizont auf eine hohe Mineralisierungsrate hin. Unterstützt wird diese Aussage durch das mässig enge C/P-Verhältnis im AG-Horizont. Die biologische Aktivität wird gesamthaft als hoch klassiert.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen bis 120 cm Tiefe sind insgesamt recht gross. Der Ca-Vorrat ist sehr hoch, der K-Vorrat hoch und der Mg-Vorrat ist mittel.
Verankerung		Die Tiefwurzler können sich gut, die oberflächlicher wurzelnden Baumarten dagegen nur mässig gut im Boden verankern.
Befahrbarkeit		Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen.

- **Entwässerung des Bodens durch die Bäume**

Die Entwässerung dieses häufig vernässten Bodens durch tief wurzelnde Baumarten bewirkt eine Bodenverbesserung.

- **Trockenstress-Risiko für die Bäume**

Es besteht kein Risiko für Trockenstress. Im Boden dürfte sowohl für tief wurzelnde Baumarten als auch für jene mit einem oberflächlicheren Wurzelwerk stets ein ausreichender Wasservorrat verfügbar sein. Dieses Kriterium schränkt die Baumartenauswahl nicht ein.

- **Säurezustand und Aluminium-Toxizität**

Dieser bloss schwach bis mässig saure Boden ist periodisch bis an die Bodenoberfläche mit basenreichem Grund- bzw. Hangwasser gesättigt. Dadurch wird eine weitere Abnahme des pH-Wertes und der Basensättigung stark gedämpft. Eine Verbesserung des Säurezustandes durch entsprechende Baumartenwahl ist nicht nötig. Der Säurezustand schränkt damit die Baumartenauswahl nicht ein.

- **Nährstoffangebot im Boden**

Die biologische Aktivität im Oberboden ist hoch. Bei einer allfälligen Aufforstung des Rieds sollte darauf geachtet werden, die derzeit hohe Mineralisierung durch geeignete Baumartenwahl möglichst zu erhalten. Die in allen Horizonten relativ ausgeglichenen Gehalte an Nährstoffkationen und deren bis 120 cm Tiefe insgesamt recht grosser Vorrat dürften allen Baumarten ein konkurrenzkräftiges Wachstum erlauben. Dies gilt selbst für die nährstoffbedürftigen Edellaubhölzer. Die Nährstoffvorräte für sich allein betrachtet schränken die Baumartenauswahl nicht ein.

V6.7.3

Potentielle Baumarten

Unter Berücksichtigung der Bodeneigenschaften und weiterer Standortfaktoren wäre ein Klimaxwald am heutigen Riedstandort bei Rotenbach aus den folgenden Baumarten zusammengesetzt: Tanne, Fichte, Vogelbeere, Bergahorn und Weisslerle.

Berset, J., 1969: Pâturages, prairies et marais montagnards et subalpins des préalpes fribourgeoises. SIGMA communication No 183, Editions Universitaires Fribourg: 1–55.

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.

Richard, F./Lüscher, P., 1987: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz (Lokalformen). Hrsg. Eidg. Anst. für das forstl. Versuchsw. und Eidg. Techn. Hochschule Zürich, Inst. für Wald- und Holzforschung, Fachbereich Bodenphysik. Band 4.

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

Zimmermann, S./Luster, J./Blaser, P./Walthert, L./Lüscher, P., 2006: Waldböden der Schweiz. Band 3. Regionen Mittelland und Voralpen. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag. 848 S.
