

V8 Bodenprofil Rüschegg-Ramsigraben

V8.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

V8.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Das Bodenprofil ist in [Abb.V8.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.V8.2](#). [Tab.V8.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Rüschegg-Ramsigraben zusammen, und [Tab.V8.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

V8.1.2 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.

V8.1.3 Besonderheiten am Profilort

Im Schachtelhalm-Tannenmischwald wechseln sich saure Kuppen und vernässte, basenreiche Mulden ab. Das Bodenprofil und die Vegetationsaufnahme sind am vorliegenden Standort repräsentativ für die Muldenlage. Die in den Themenbereichen beschriebenen Bodeneigenschaften gelten nur für Muldenlagen. Auf den Kuppen ist der Boden weniger vernässt, stärker versauert und nährstoffärmer als in den Mulden. Zudem weist der Oberboden auf den Kuppen meistens eine kleinere biologische Aktivität mit einer entsprechend langsameren Umsetzung der organischen Substanz auf.

V8.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.V8.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

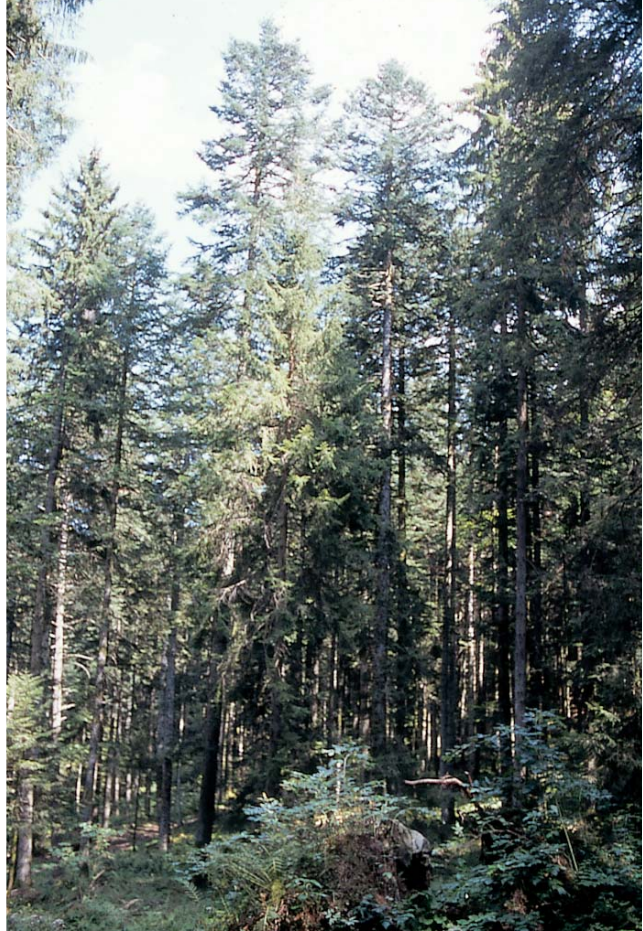


Abb. V8.1 ([links](#)) Bodenprofil Rüscheegg-Ramsigraben

Abb. V8.2 ([rechts](#)) Bestand am Profilort Rüscheegg-Ramsigraben

Tab. V8.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Rüscheegg-Ramsigraben	
Lokalname	Rüscheegg-Ramsigraben 5005 (Kanton Bern, Gemeinde Rüscheegg)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1206, Guggisberg Koordinaten 596200/179440
Waldgesellschaft (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 49: Schachtelhalm-Tannenmischwald (<i>Equiseto-Abietetum</i>)
Horizontfolge	L-Ah-AG-Go,r
Humusform	Mull
Bodentyp	Gley, sehr stark grundnass
Bodentyp (FAO 1988)	Eutric Gleysol

Tab. V8.2	Bodenbildungsfaktoren am Profilort Rüscheegg-Ramsigraben		
Relief	Höhe ü. M.	995 m	
	Exposition	N	
	Neigung	30%	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Molassebecken; Flysch (Flyschhangschutt über Molasseuntergrund)	
	Lithofazies (nach Tuchs Schmid 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	6.5°C/1620 mm	
	T/N Januarmittel	– 1.3°C/95 mm	
	T/N Julimittel	15.8°C/155 mm	
	Tage mit Schneedecke	112	
	Wärmegliederung	ziemlich rauh	
	Länge der Vegetationsperiode	150– 165 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (30 m Höhe)	60%	50% Fichte (<i>Picea abies</i>) 10% Weiss-Tanne (<i>Abies alba</i>) 2% Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i>)
	Strauchschicht	1%	–
	Krautschicht	100%	lockerährige Segge (<i>Carex remota</i>) gemeiner Waldfarn (<i>Athyrium filix-femina</i>) Waldsegge (<i>Carex sylvatica</i>) Wald-Schachtelhalm (<i>Equisetum sylvaticum</i>) wolliger Hahnenfuss (<i>Ranunculus lanuginosus</i>) Sumpf-Pippau (<i>Crepis paludosa</i>)
	Moosschicht	60%	–

Tab. V8.3 Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Rüscheegg-Ramsigraben
Bodenart: L Lehm, tL toniger Lehm



Die insgesamt mässig gut abbaubare Streu stammt vor allem von der Fichte und von der üppig gedeihenden Krautschicht. Die Streu wird innerhalb eines Jahres weitgehend zersetzt, so dass sie auf der Bodenoberfläche nur eine rund 1 cm dünne Schicht bildet. Die Horizontfolge des Oberbodens wird mit L-Ah bezeichnet und die Humusform als Mull klassiert.

Aufgrund der morphologischen Merkmale lassen sich im 80 cm tief aufgeschlossenen Mineralboden drei Horizonte erkennen. Das Profil ist stark hydromorph geprägt, was an der fehlenden Verbraunung und an den auffälligen Vernässungsmerkmalen erkennbar ist.

Die obersten 20 cm des Mineralbodens sind aufgrund ihres grossen Humusgehaltes nahezu schwarz gefärbt. Die farblich heterogene Zone in 20–35 cm Tiefe scheint infolge ihrer stellenweise dunklen Farbe ebenfalls ziemlich humusreich zu sein. Ab 35 cm Tiefe ist die Feinerde heller und zeichnet sich bis zur Profilsohle durch graue Farbtöne aus. Bis 20 cm Tiefe kommen keine Vernässungsmerkmale vor. Die ab 20 cm Tiefe vorhandenen Rostflecken fallen vor allem ab 35 cm Tiefe in der teilweise reduzierten, grauen Bodenmatrix auf. Der Skelettgehalt nimmt vom sehr schwach skeletthaltigen Oberboden bis zum stark skeletthaltigen Unterboden deutlich zu. Die profilumfassend tonreiche Feinerde hat bis 35 cm Tiefe ein Aggregat-, weiter unten im Profil ein Kohärentgefüge. Das unterschiedliche Gefüge wirkt sich auf die Dichte aus, welche bis 35 cm Tiefe gering, weiter unten im Profil mittel ist. Wurzeln wurden bis 50 cm Tiefe beobachtet.

Die Horizontfolge des Profils lautet L-Ah-AG-Go,r. Demnach wird der Boden als sehr stark grundnasser Gley klassiert. Die temporäre Vernässung erfolgt durch Hangwasser. Zum Zeitpunkt des Profilaushubs (7. 8. 1991) lag der Wasserspiegel in 30 cm Tiefe.

Ergänzende Bodenmerkmale

Die Kalkgrenze verläuft in 80 cm Tiefe. Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde oberhalb der Kalkgrenze schwach sauer. Trotz temporärer Vernässung sind im Profil keine unüberwindbaren Hindernisse für das Wurzelwachstum erkennbar.

Skelettgehalt

Der Boden enthält bis 35 cm Tiefe relativ wenig Skelett, weiter unten im Profil ist er stark skeletthaltig (Abb. V8.3).

Bodenart

In Abweichung zu vielen anderen Böden wird die Feinerde mit zunehmender Tiefe feinkörniger (Abb. V8.4). Wir vermuten, dass der erhöhte Sandanteil im Ah-Horizont methodisch bedingt ist, indem die organische Substanz dort zu einer Verkittung von kleinen Bodenpartikeln führt. Es ist also im ganzen Profil von recht ausgeglichenen Anteilen der drei Fraktionen Sand, Schluff und Ton auszugehen. In Bezug auf den Tongehalt handelt es sich im Ah-Horizont um mittelschweren, in den übrigen Horizonten um schweren Boden. Die Bestimmung der Bodenart im Feld stimmt gut mit den Messwerten überein (Tab. V8.3).

Bodendichte

In diesem Profil wurde ausnahmsweise die Bodendichte anstelle der Feinerde-Dichte gemessen. Da der Boden bis 35 cm Tiefe wenig Skelett enthält, entspricht die Boden-Dichte in dieser Tiefenstufe der Feinerde-Dichte. Im Go,r-Horizont können wir keine Angaben zur Feinerde-Dichte machen. Im humosen Ah-Horizont ist die Dichte äusserst gering (Abb. V8.5). In 20 cm Tiefe nimmt sie sprunghaft zu und erreicht im unteren Profilbereich Werte zwischen 1.30 und 1.36 g/cm³, welche allerdings nur einer geringen Dichte entsprechen.

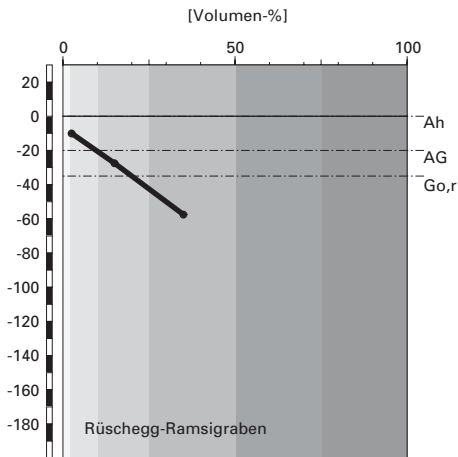
Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Während der lockere Ah-Horizont hoch durchlässig ist, wird die Leitfähigkeit im darunter liegenden Mineralboden als gering klassiert (Abb. V8.6).

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe beträgt 147 l/m², was als hoch klassiert wird (Abb. V8.7). Ab 35 cm Tiefe vermindert der beträchtliche Skelettanteil die Speicherleistung von pflanzenverfügbarem Wasser.

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

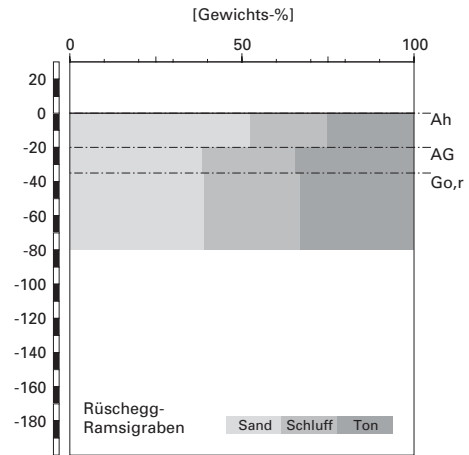


Abb. V8.3 (links) Skelettgehalt

Abb. V8.4 (rechts) Bodenart

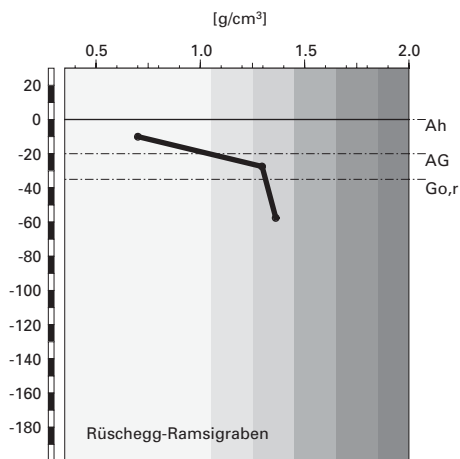
V8.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In diesem sehr stark grundnassen Gley sind Vernässungserscheinungen offensichtlich. So kommen unterhalb von 20 cm Tiefe Rostflecken und Reduktionsfarben vor. Aufgrund der Vernässungsmerkmale gehen wir davon aus, dass sich im Boden aerobe und anaerobe Phasen abwechseln. Bis zur Aufschlusstiefe von 80 cm wurde die über das gesamte Jahr sauerstofffreie Zone, in der stets reduzierende Verhältnisse herrschen, nicht erreicht. Die Vernässung erfolgt in diesem Boden durch Hangwasser. Dies wird unter anderem an der Belegung des Kationenaustauschers sichtbar, indem die Basensättigung im hydromorph geprägten und karbonatfreien Bereich des Bodens nahezu 100% beträgt (Abb. V8.15). Das periodisch bis nahe an die Bodenoberfläche ansteigende basenreiche Hangwasser verhindert eine Abnahme der Basensättigung im karbonatfreien Profilbereich. Als das Bodenprofil am 7. 8. 1991 ausgehoben wurde, lag der Wasserspiegel in 30 cm Tiefe.

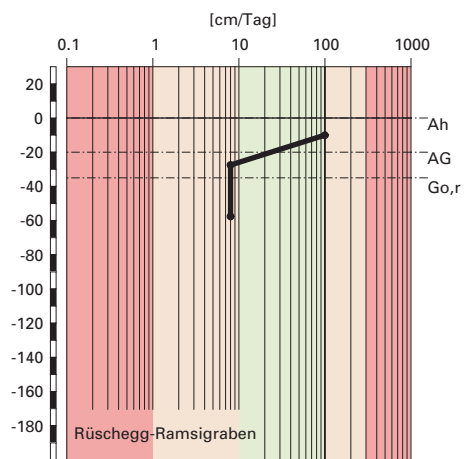
Boden-Dichte



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. V8.5 (links) Dichte des Bodens

Abb. V8.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Wir gehen davon aus, dass der Boden im hydromorph geprägten Bereich ab 20 cm Tiefe für empfindliche Baumarten wie Buche und Fichte eingeschränkt durchwurzelbar ist. Für die weniger empfindlichen Baumarten wie Tanne oder Bergulme dürfte der Wurzelraum mindestens 120 cm mächtig und damit sehr tiefgründig sein. Der Wurzelraum wird vom aktuellen Bestand aus Fichten, Tannen und Buchen nicht voll genutzt, denn Wurzeln konnten bloss bis 50 cm Tiefe beobachtet werden. Interessant ist die Beobachtung, dass Wurzeln des Schachtelhalmes bis zur Profilsohle und damit selbst im oft anaeroben Go,r-Horizont vorkommen.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Bei einer Referenztiefe von 120 cm kann gemäss unseren Berechnungen davon ausgegangen werden, dass der Bestand in Trockenperioden ohne

pflanzenverfügbares Wasser

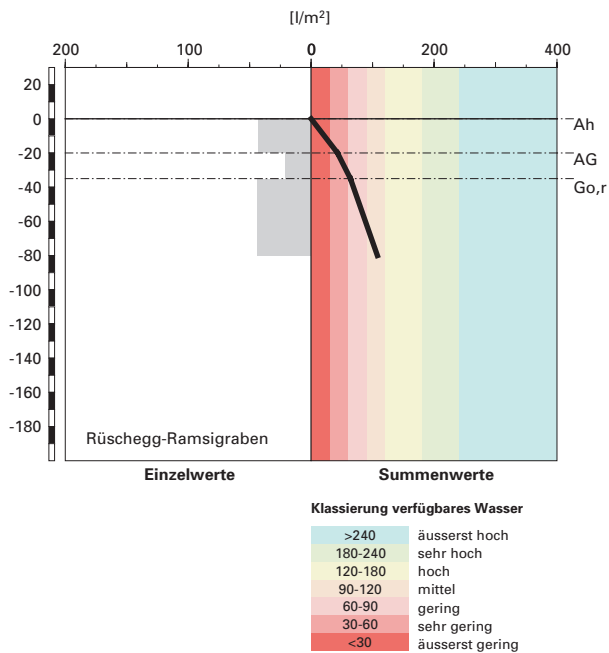


Abb. V8.7 Pflanzenverfügbares Wasser

nennenswerte Niederschläge nach rund 20 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnen würde. Trotz dem nicht optimalen Speichervermögen des Bodens besteht an diesem Tannen-Fichtenstandort (E & K 49) kein Risiko für Trockenstress, und zwar sowohl bei den tief wurzelnden Baumarten als auch bei den Arten mit oberflächlicherem Wurzelwerk. Wir kommen zu diesem Schluss, weil das Klima im Hinblick auf Trockenstress günstig ist und der Boden unter Fremdwasserzufuhr steht. In Trockenperioden wirkt kapillar in den Wurzelraum aufsteigendes Hangwasser dem Trockenstress-Risiko entgegen.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da er in den obersten 35 cm wenig Skelett enthält. Im Winter ist das Befahren aus der Sicht des physikalischen Bodenschutzes fast immer problematisch, weil der Boden dann oft bis nahe an die Bodenoberfläche mit Wasser gesättigt und daher höchstens oberflächlich gefroren ist.

Organische Substanz

Am Profilort Rüscheegg-Ramsigraben bilden vor allem Fichten sowie einige Tannen und einzelne Rotbuchen den Hauptbestand mit einem Deckungsgrad von 60%. Am Boden gedeiht flächendeckend eine Krautschicht aus lockerähriger Segge, gemeinem Waldfarn, Waldsegge, Wald-Schachtelhalm, wolligem Hahnenfuss und Sumpf-Pippau. Die Streu stammt vor allem von der Fichte und zu einem beträchtlichen Anteil aus der Krautschicht. Insgesamt ist sie mässig gut abbaubar. Trotzdem hat sich auf dem Boden nur eine dünne Streuschicht gebildet.

Der oliv schwarze Ah-Horizont hebt sich deutlich vom gefleckten AG- und Go,r-Horizont ab. Sein Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) beträgt 6.6% (Abb. V8.8). Im AG-Horizont ist nur noch 1.7% und im Go,r-Horizont 0.6% C_{org} vorhanden. Aus diesen Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 121 t/ha (Abb. V8.9).

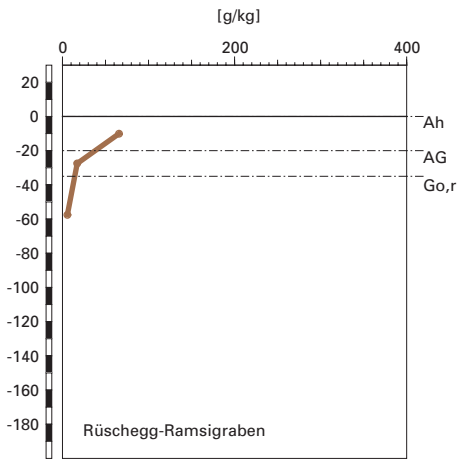
Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt ist im AG- und Go,r-Horizont relativ konstant um 35% (Abb. V8.4). Im Ah-Horizont ist er mit 25% etwas geringer.

Der Gehalt des Dithionit-extrahierbaren Eisens (Fe_d) nimmt mit der Tiefe linear ab (Abb. V8.10). Auch beim Oxalat- und Pyrophosphat-extrahierbaren Eisen (Fe_o und Fe_p) nimmt der Gehalt mit der Tiefe ab, wobei die Abnahme im Oberboden grösser ist als im Unterboden. Dasselbe gilt für das Oxalat-extrahierbare Aluminium (Al_o), und beim Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminium (Al_p) ist der Gehalt nur im Oberboden bestimmbar, wo er im Ah- grösser ist als im AG-Horizont (Abb. V8.11).

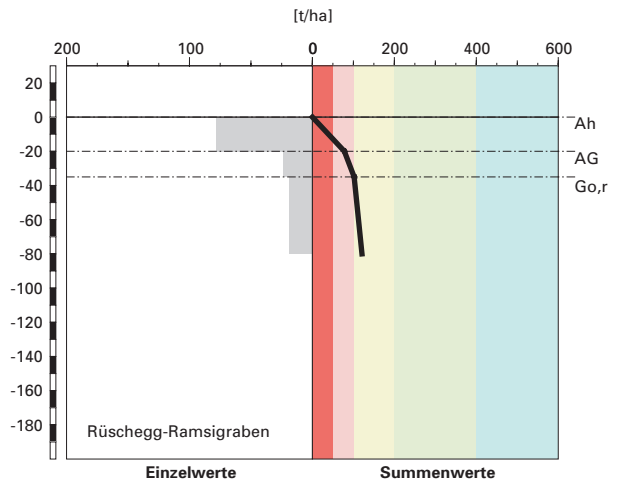
Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis ist mit Werten zwischen 0.65 und 0.87 sehr gross. Es ist im AG-Horizont minimal (Abb. V8.12). Das Fe_p/Fe_o -Verhältnis ist im Ah-Horizont 0.26, im AG- und Go,r-Horizont ist es mit 0.16 etwas kleiner. Das Al_p/Al_o -Verhältnis ist nur im Oberboden bestimmbar, wo es bei rund 0.6 liegt.

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})



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

Abb. V8.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb. V8.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

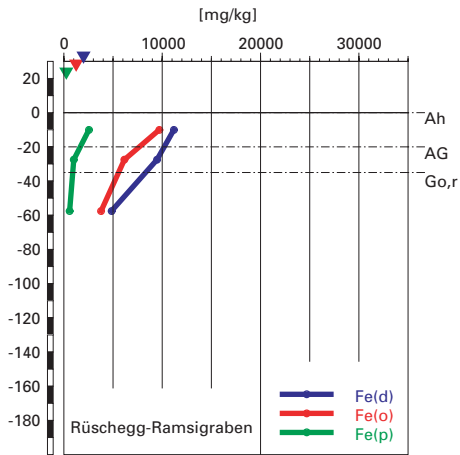
V8.3.2

Bodenkundliche Interpretation

Die mässig gut abbaubare Streumischung von Fichte, Tanne und den Pflanzen aus der Krautschicht wird innerhalb eines Jahres praktisch vollständig zersetzt. Es hat sich nur eine dünne Streuschicht gebildet und die Humusform wird als Mull klassiert. Zu diesem schnellen Streuabbau tragen das günstige Klima und die nur mässig bis schwach saure Feinerde des Bodens bei. Mit durchschnittlichen jährlichen Niederschlägen von 1620 mm und einer Jahresdurchschnittstemperatur von 6.5°C (durchschnittliche Julitemperatur: 15.8°C) sind die Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse für eine mittlere bis hohe biologische Aktivität ausreichend. Auch die pH-Werte, die grösser als 5.4 sind, begünstigen eine artenreiche, aktive Bodenflora und -fauna. Es sind zahlreiche Spuren von Regenwürmern zu beobachten. Die Regenwürmer sorgen für eine intensive Durchmischung von organischer Substanz und mineralischer Feinerde, was sich in einem 20 cm mächtigen Ah-Horizont äussert. Das mittlere C/N-Verhältnis im Ah-Horizont weist auf eine mittlere Mineralisierungsrate der organischen Substanz hin. Die nicht mineralisierte organische Substanz unterliegt einer Humifizierung. Die

Eisen-Oxide

(Gehalte)



Aluminium-Oxide

(Gehalte)

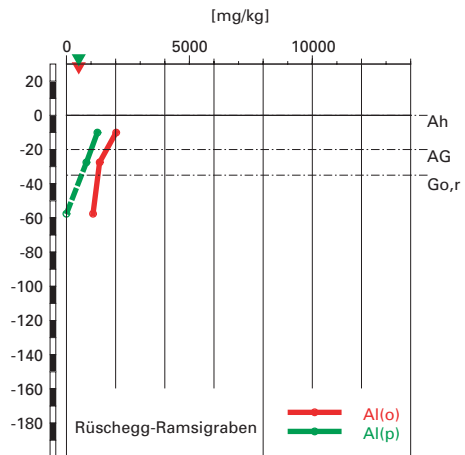


Abb. V8.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb. V8.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)

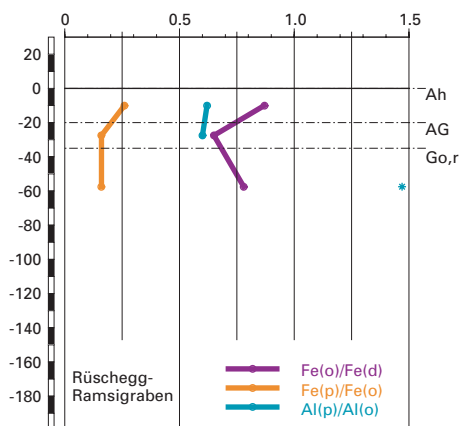


Abb. V8.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Humusstoffe werden durch die Verbindung mit mineralischen Bestandteilen wie Tonmineralen sowie Aluminium- und Eisenoxiden stabilisiert und vor weiterem Abbau geschützt. Auf diese Weise konnte sich ein im gesamtschweizerischen Vergleich mittlerer Vorrat an organischem Kohlenstoff von 121 t/ha bilden (Abb. V8.9).

Der Tongehalt ist entsprechend dem Ausgangsgestein, einem Flysch, mit über 30 % relativ hoch. Der im Ah-Horizont leicht geringere Wert ist vermutlich auf einen Artefakt der Messung zurückzuführen, indem stabile Aggregate vor der Messung nicht vollständig zerstört wurden und damit in die Sand- oder Schlufffraktion fallen.

Die Gehalte aller extrahierbaren Aluminium- und Eisenverbindungen nehmen mit der Tiefe ab (Abb. V8.10 und V8.11). Ob dies durch die mit der Tiefe abnehmende Verwitterungsintensität und -dauer erklärt werden kann ist zweifelhaft. An und für sich sind solche Tiefenverteilungen charakteristisch für eine Verbraunung, was aber in diesem stark hydromorphen Boden ausgeschlossen werden kann. Diese Tiefenverteilungen kommen vielmehr durch die Dynamik des Hangwasserspiegels zustande. Um dies schlüssig zu beurteilen, ist das Profil jedoch zu wenig tief gegraben worden. Wäre nämlich der Gr-Horizont erschlossen, könnten wir zeigen, dass die Gehalte in diesem Horizont wieder zunehmen. Der Go,r-Horizont liesse sich als Zone des häufig schwankenden Hangwasserspiegels betrachten. Solche Horizonte sind durch eine Verarmung vor allem an Eisenverbindungen geprägt. In Phasen von hoch anstehendem Hangwasser wird im Go,r-Horizont infolge Sauerstoffarmut Eisen reduziert und gelöst. Bei sinkendem Hangwasserspiegel werden die gelösten Eisenverbindungen aus dem Go,r-Horizont ausgewaschen. Umgekehrt führt ansteigendes Hangwasser gelöstes Eisen mit sich, welches im Bereiche des stehenden Wasserspiegels im AG- oder Ah-Horizont bei Sauerstoffkontakt oxidiert und ausfällt. Dabei spielt gelöste organische Substanz eine wichtige Rolle, indem sie mit zweiwertigem Eisen starke Komplexe bildet. Die Neigung der organischen Substanz zur Komplexbildung ist bei zweiwertigem Eisen viel grösser als bei Aluminium. Dies sowie die Tatsache, dass Aluminium nicht redoxsensitiv ist, sind die Gründe, weshalb Eisen stärker von der Verarmung im Go,r-Horizont betroffen ist als Aluminium (Abb. V8.10 und V8.11).

Die sehr grossen Fe_o/Fe_d -Verhältnisse sind charakteristisch für einen hydromorphen Boden. Durch die reduktive Lösung und oxidative Wiederausfällung von Eisen werden amorphe Eisenverbindungen gebildet, die infolge der grossen Feuchtigkeit im Boden nicht richtig auskristallisieren können. Damit ist der Anteil der amorphen Eisenverbindungen (Fe_o) am gesamthaft extrahierbaren Eisen (Fe_d) in diesem Boden gross.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als sehr stark grundnasser Gley klassiert. Die Interpretation der Bodenhauptbestandteile bestätigt diese Klassierung insofern, als die Abnahme der Gehalte der extrahierbaren Eisen- und Aluminiumverbindungen mit der Tiefe auf die Hangwasserdynamik zurückgeführt werden kann. Um dies jedoch einwandfrei belegen zu können, müsste der Gr-Horizont erschlossen und analysiert sein. Sollte der Eisengehalt, wie wir dies vermuten, im Gr-Horizont wieder zunehmen, wäre die für einen Gley charakteristische Tiefenverteilung gegeben.

V8.4 Themenbereich «Säurezustand»

V8.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Die Feinerde ist im ganzen Boden schwach bis mässig sauer (Abb. V8.13). Der pH-Wert nimmt von 5.4 im Ah- auf 6.4 im Go,r-Horizont zu. Bis in eine Tiefe von 35 cm befindet sich die Feinerde in der Säureklasse 3, im Go,r-Horizont in der Säureklasse 2.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist überwiegend mit basischen Kationen, insbesondere mit Kalzium und etwas Magnesium belegt (Abb. V8.14). Daneben kommen im Ah-Horizont geringe Mengen Protonen und erhöhte Mengen Mangan in austauschbarer Form vor. Austauschbares Aluminium konnte nicht nachgewiesen werden. Die Basensättigung ist im ganzen Profil sehr hoch (Abb. V8.15).

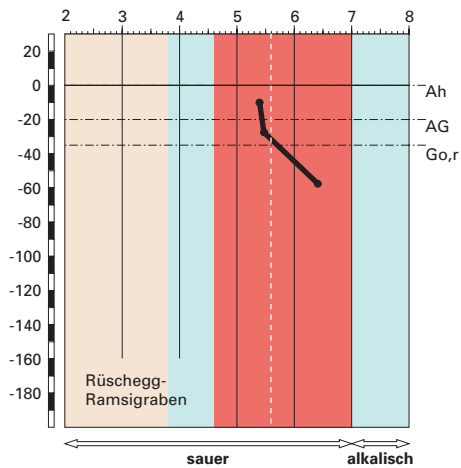
V8.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

Der Stand der Bodenversauerung dieses sehr stark grundnassen Gleys wird anhand des Tiefenverlaufs des pH-Wertes beurteilt. Die Kalkgrenze wurde in 80 cm Tiefe im Übergang zum Ausgangsgestein festgestellt. Unterhalb der Kalkgrenze befindet sich der Boden in der Säureklasse 1. Im Tiefenverlauf verteilen sich die pH-Werte somit über 3 Säureklassen wodurch dieser Boden als mässig versauert klassiert wird. Der ganze Boden befindet sich in den schwach puffernden Säureklassen 2 und 3, in denen die Säurepufferung durch Silikatverwitterung und durch Protonierung variabler Ladungen am Kationenaustauscher erfolgt. Bei den pH-Werten wie sie in diesem

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

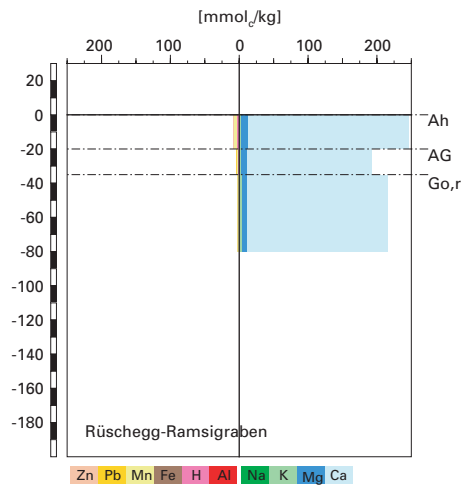
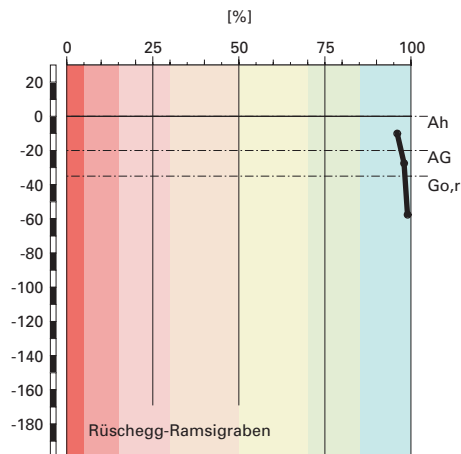


Abb. V8.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb. V8.14 (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. V8.15 Basensättigung

Boden gemessen wurden, ist Aluminium praktisch unlöslich weshalb es am Kationenaustauscher kaum nachgewiesen werden kann. Dagegen kommen vergleichsweise bemerkenswerte Mengen Mangan und Protonen in austauschbarer Form vor. Dies ist für den pH-Bereich der Säureklassen 2 und 3 nicht ungewöhnlich, weil bei der Silikatverwitterung 2-wertiges Mangan freigesetzt und austauschbar gebunden wird. Bei einer weiteren pH-Abnahme wird Mangan allerdings mehr und mehr durch das eintauschstarke, 3-wertige Aluminium am Kationenaustauscher verdrängt werden. Die Belegung des Kationenaustauschers mit sauren Kationen ist insgesamt so gering, dass die Basensättigung im ganzen Boden mehr als 96% beträgt. Der Grad der Versauerung dieses Bodens liegt zwischen jenem der Profile V6 und V7. Im Gegensatz zum Profil V6 sind hier bereits grössere Mengen von austauschbaren Protonen und Mangan aber noch kein austauschbares Aluminium wie im Profil V7 vorhanden.

Risiko für Boden und Pflanzen

Die Empfindlichkeit des Bodens für eine weitere Abnahme des pH-Wertes wird im ganzen erschlossenen Teil des Profils als gross beurteilt, weil die gesamte Feinerde in den schwach puffernden Säureklassen 2 und 3 liegt. Im Übergang zum karbonathaltigen Ausgangsgestein wird eine weitergehende pH-Abnahme blockiert, denn hier werden die Säuren durch Karbonatverwitterung sehr effizient neutralisiert. Eine weitere pH-Abnahme wird aber nicht automatisch von einer entsprechenden Abnahme der Basensättigung begleitet sein, weil mit dem basenreichen Grundwasser ständig Nährstoffkationen in die oberen Profilpartien nachgeliefert werden.

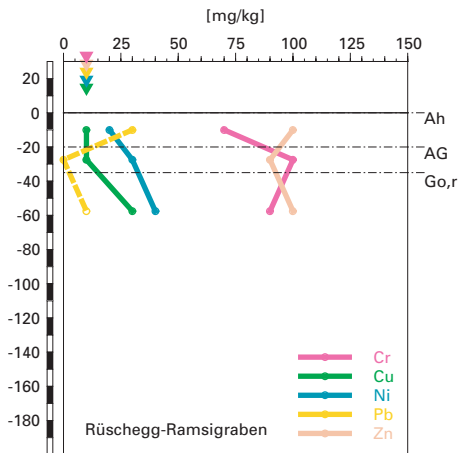
Beim aktuellen Säurezustand sowie auch bei einer allfällig weiter fortschreitenden Versauerung besteht kein Risiko für das Pflanzenwachstum. Das BC/Al-Verhältnis liegt im ganzen Boden weit über dem kritischen Wert von 0.2.

V8.5 Themenbereich «Schwermetalle»

V8.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

In diesem Gley nimmt der Cr-Gehalt vom Ah- zum AG-Horizont zu und darunter wieder etwas ab (Abb. V8.16). Nickel nimmt mit der Tiefe linear um etwa das doppelte zu. Der Cu-Gehalt ist im Oberboden konstant und steigt im Unterboden auf den dreifachen Wert an. Der Zn-Gehalt variiert im ganzen Profil nur wenig. Blei ist im Ah-Horizont maximal. Darunter liegt sein Gehalt unter oder an der Bestimmungsgrenze.

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



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

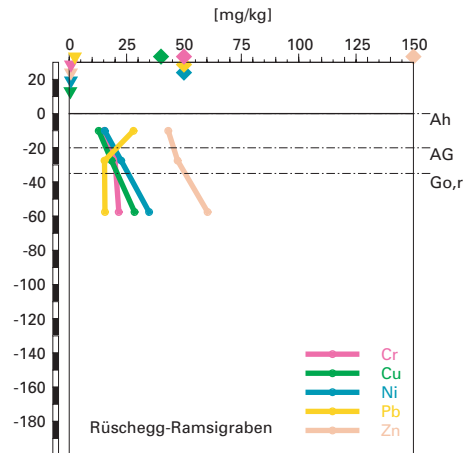


Abb. V8.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. V8.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

V8.5.2

Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Flysch (Lithofazies 11) liegen alle Schwermetall-Gehalte im Go,r-Horizont innerhalb typischer Wertebereiche.

Anmerkung: Aufgrund unserer Daten lässt sich nicht sagen, in wie weit der Go,r-Horizont das unveränderte Ausgangsgestein repräsentiert und die auf diesem Horizont basierende Beurteilung richtig ist.

V8.5.3

Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Bezogen auf die VBBo sind die Cr- und Zn-Gehalte im ganzen Profil sehr niedrig bis niedrig (Abb. V8.17). Nickel und Cu sind im Oberboden niedrig. Im Go,r-Horizont ist Ni erhöht und Cu hoch. Der Pb-Gehalt schliesslich ist im Ah-Horizont erhöht, darunter niedrig. Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

Tab. V8.4 Anreicherungsfaktoren						
Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0–20	0.78	0.33	0.50	3.00	1.00
AG	20–35	0.91	0.27	0.61	<0.81	0.73
Go,r	>35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

V8.5.4 Anreicherungsfaktoren

Da nicht bekannt ist, in wie weit der Go,r-Horizont das unveränderte Ausgangsgestein repräsentiert, können keine Aussagen bezüglich Anreicherung oder Verarmung relativ zum Ausgangsgestein gemacht werden.

Der Oberboden ist in diesem Profil deutlich an Ni und Cu und etwas an Cr verarmt (Tab. V8.4). Im Ah-Horizont dürfte die Mobilisierung durch gelöste organische Substanz hauptverantwortlich sein. Im AG-Horizont kommt die Auflösung von mit Eisenoxiden assoziierten Schwermetallen während der wassergesättigten Phasen dazu. Vertikaler oder lateraler, hangparalleler Transport mit dem zurückgehenden bzw. abfließenden Wasser führt die gelösten Schwermetalle weg. Bei Zn weist der gegenüber dem AG-Horizont erhöhte Anreicherungsfaktor im Ah-Horizont darauf hin, dass bei diesem Mikronährstoff die vernässungsbedingte Verlagerung durch Nährstoffrückführung mit der Streu in den Oberboden überlagert wird.

Die deutliche Pb-Anreicherung im Ah-Horizont ist ziemlich sicher auf anthropogenen Eintrag und Bindung in der organischen Bodensubstanz zurückzuführen.

V8.5.5 Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

In diesem mässig bis schwach sauren Boden (Abb. V8.13) wird die Mobilität von Ni und Zn als gering bis mittel eingestuft, diejenige der übrigen Schwermetalle als sehr gering (Abb. V8.18). Dabei verringert im Ah-Horizont der hohe Gehalt an organischer Substanz (Abb. V8.8) die Mobilität von Cr, Ni, Cu und Pb. Im AG-Horizont ist davon noch die Mobilität von Cr, Cu und Pb betroffen. Die Mobilität von Cr und Pb wird im AG- und Go,r-Horizont auch durch den hohen Tongehalt (Abb. V8.4) verringert.

Die in Abb. V8.18 dargestellten Mobilitätsschätzungen müssen aufgrund der im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Effekte gelöster organischer Substanz und der Redoxdynamik modifiziert werden. Mobilisierung

Schwermetallmobilität

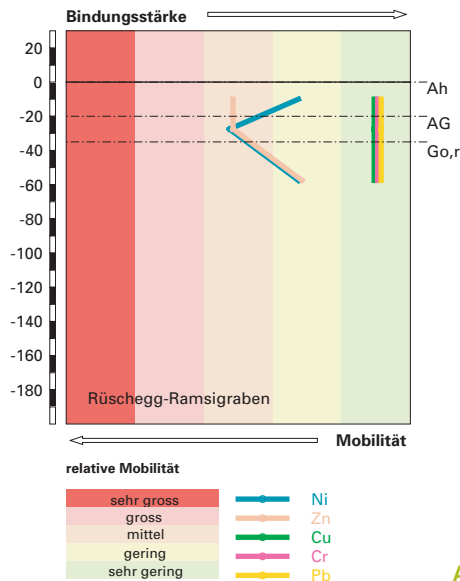


Abb. V8.18 Mobilität der Schwermetalle

durch gelöste organische Substanz dürfte insbesondere die Mobilität von Ni und Cu im Ah- und AG-Horizont gegenüber der auf Eigenschaften der Bodenfestphase basierenden Schätzung erhöhen. Im AG-Horizont dürfte zudem die Auflösung von mit Eisenoxiden assoziiertem Cr, Ni und Cu während wassergesättigter Phasen die Mobilität dieser Schwermetalle erhöhen. Umgekehrt dürfte die Bildung schwerlöslicher Sulfide die Mobilität von Cu und Pb im Go,r-Horizont erniedrigen.

Bei diesem Boden besteht vor allem ein Risiko der Auswaschung von Ni und Cu aus dem zeitweise wassergesättigten AG-Horizont durch lateralen, hangparallelen Abfluss. Das Risiko einer vertikalen oder horizontalen Auswaschung aus dem Go,r-Horizont wird als klein beurteilt.

V8.5.6

Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

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

V8.6.1 **Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden**

Die Streumischung von der Fichte, der Tanne und den Pflanzen aus der Krautschicht ist mässig gut abbaubar, wird aber trotzdem innerhalb eines Jahres praktisch vollständig zersetzt. Es hat sich nur eine dünne Streuschicht gebildet und die Humusform wird als Mull klassiert. Das lässt auf eine gute Nährstoffverfügbarkeit schliessen. Allerdings deutet die Subpolyederstruktur im Ah-Horizont eine leicht gehemmte biologische Aktivität an. Die Ursache für die Subpolyederstruktur ist jedoch die Wechselfeuchtigkeit im Oberboden, welche durch einen schwankenden Grundwasserspiegel bedingt ist. Es sind nämlich zahlreiche Spuren von Regenwürmern zu beobachten. Die biologische Aktivität ist also gross und die Regenwürmer sorgen für eine intensive Durchmischung von organischer Substanz und Mineralerde. Dies äussert sich in einem 20 cm mächtigen Ah-Horizont. Insgesamt wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden aufgrund von Humusform und Bodengefüge somit als gut beurteilt.

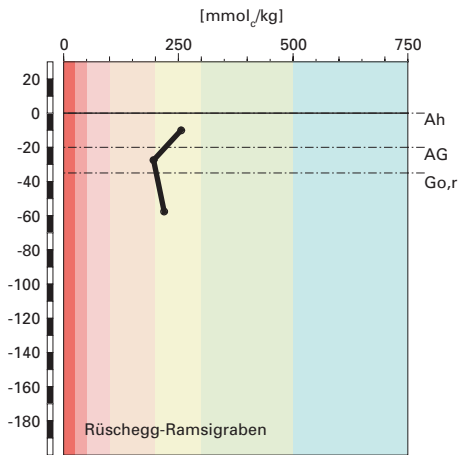
Das C/N-Verhältnis im Ah-Horizont beträgt 17 und ist gemäss Literaturangaben charakteristisch für einen Übergang von Mull zu Moder. Das mittlere C/N-Verhältnis ist mit einer mittleren Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Dies und die Übergangshumusform von Mull zu Moder deuten eine leicht gehemmte Nährstoffverfügbarkeit an. Das steht aber nicht im Widerspruch zu den morphologischen Beobachtungen, da das mittlere C/N-Verhältnis den relativ grossen Anteil der Fichtenstreu, welche schlecht abbaubar ist, widerspiegelt. Trotz der schlechten Abbaubarkeit der Fichtenstreu wird diese innerhalb eines Jahres vollständig zersetzt. Zudem befindet sich das C/N-Verhältnis von 17 an einer Klassengrenze: ein C/N-Verhältnis von 16 ist gemäss Literaturangaben charakteristisch für einen Mull und mit einer hohen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden.

Das mässig enge C/P-Verhältnis von 145 deutet ebenfalls eine grosse biologische Aktivität an.

V8.6.2 **Nährstoffgehalte**

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) ist im Ah-Horizont mit 256 mmol_c/kg Feinerde hoch (Abb. V8.19). Im AG- und Go,r-Horizont ist sie kleiner, im AG-Horizont knapp unter 200 mmol_c/kg Feinerde und damit als mittel klassiert sowie im Go,r-Horizont mit 219 mmol_c/kg Feinerde wieder als hoch be-

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)

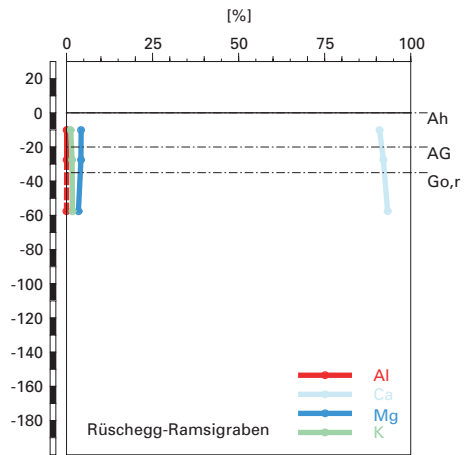


Abb. V8.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. V8.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

urteilt. Im Oberboden folgt die KAK dem Tiefenverlauf der organischen Substanz und die leichte Zunahme vom AG- in den Go,r-Horizont kann mit dem geringen Karbonatgehalt bei konstantem Tongehalt im Go,r-Horizont erklärt werden, welcher bei der Extraktion durch Karbonatauflösung zu einer Überschätzung der KAK führen kann.

Entsprechend der mässig bis schwach sauren Feinerde dominieren die Nährstoffkationen am Austauscher (Abb. V8.20). Die Ca-Belegung beträgt zwischen 91 und 93% und auch die Mg- und K-Belegung sind mit rund 4% bzw. rund 1.5% im ganzen Boden praktisch konstant. Aluminium hat bei pH-Werten, welche grösser als 5.4 sind, die Nährstoffkationen noch nicht vom Austauscher verdrängt. Zudem steigt der Grundwasserspiegel periodisch bis in den Oberboden und liefert ständig Nährstoff-Kationen nach. Dies sind gute Voraussetzungen, um den Austauscher mit Nährstoffkationen zu regenerieren und die Basensättigung hoch zu halten.

In den Abb. V8.21 bis V8.23 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 im ganzen Boden linear, jedoch weniger stark als bei Ca. Im Hauptwurzelaum (bis 60 cm Tiefe) wird das Angebot an Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

Ca sehr hoch

Mg mittel

K mässig

Da der Boden bis mindestens 80 cm durchwurzelt ist, werden der Mg- und K-Vorrat optimistischer beurteilt. Bis in 80 cm Tiefe bleibt die Klassierung des Ca-Vorrates unverändert sehr hoch. Der Mg- und K-Vorrat werden hingegen als mässig hoch bewertet. 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 Rüschegg-Ramsigraben kein Risiko für Trockenstress. Damit dürften die mässig hohen Vorräte an Nährstoffkationen den Pflanzen praktisch uneingeschränkt zur Verfügung stehen.

Kalzium-Vorrat

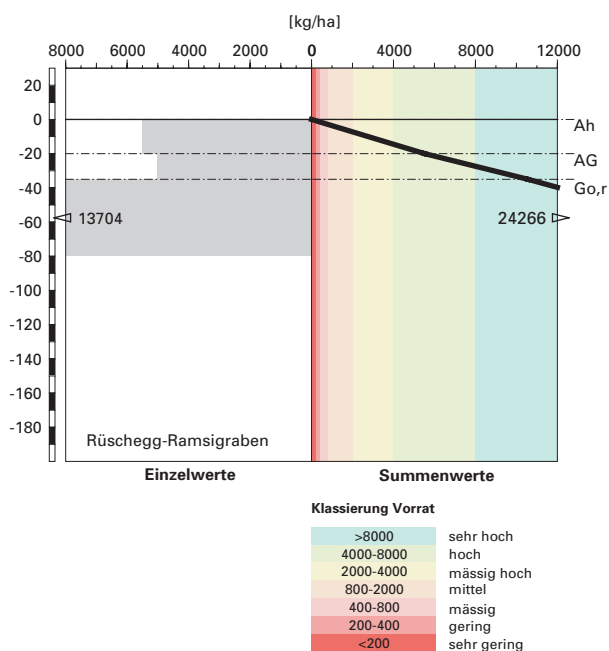


Abb. V8.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

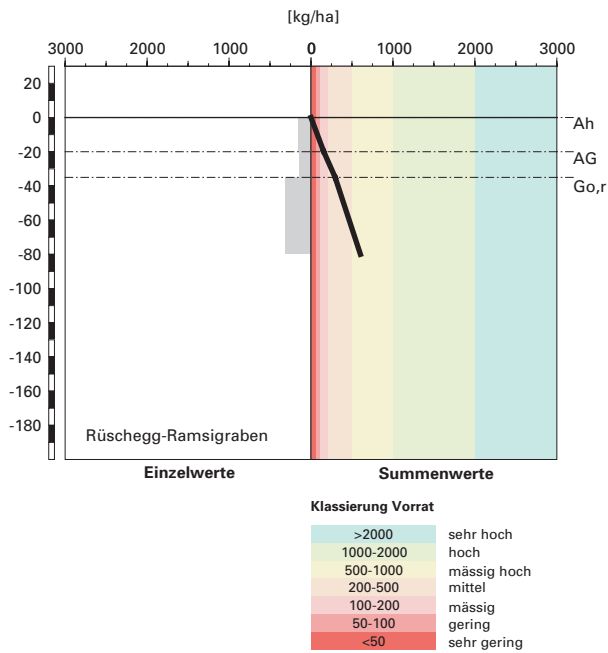


Abb. V8.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

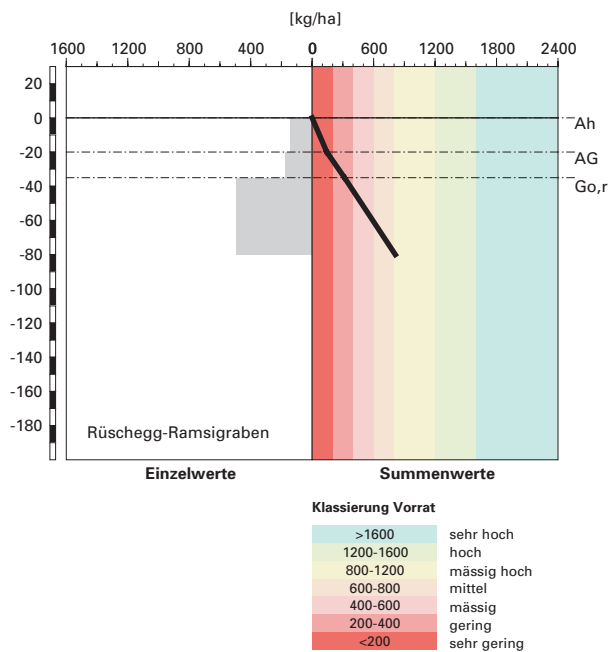


Abb. V8.23 Vorrat an Kalium

V8.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

V8.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. V8.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

V8.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand setzt sich vor allem aus Fichten, aber auch aus einigen Tannen und aus einzelnen Buchen zusammen. Diese Baumartenmischung bewerten wir als naturnah. Nach Ott et al. (1997) trifft man an diesem Tannen-Fichten-Standort (E & K 49) in Abhängigkeit vom Kleinstandort unterschiedliche Humusformen an. Auf Kuppen kommt meistens Moder oder Rohhumus vor, und in Muldenlagen sind Mull, Feuchtmull oder Anmoor häufig. Das Bodenprofil repräsentiert die Muldenlage. Die beim Profil vorliegende Humusform Mull ist demnach standorttypisch.

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Tannen-Fichten-Standort (Einheit 49) folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Tanne, Fichte, Vogelbeere, Bergahorn, Weisslerle und Esche. Diese relativ kleine Auswahl ist unter anderem durch das ziemlich rauhe Klima bedingt. Aber auch ungünstige Bodeneigenschaften schränken die Baumartenauswahl ein, wie wir gleich anschliessend erläutern werden.

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

■ Durchwurzelbarkeit des Bodens

Dieser sehr stark grundnasse Gley lässt sich nur eingeschränkt durchwurzeln. Dies gilt vor allem für empfindliche Baumarten wie beispielsweise 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 kann den Boden umfassender nutzen und verbessert die Verankerung des Bestandes.

■ Entwässerung des Bodens durch die Bäume

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

Tab. V8.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Rüschegg-Ramsigraben)		
Standortangaben		
Relief	Höhe	995 m ü. M.
	Exposition	N
	Neigung	30 %
Klima	Jahresniederschlag	1620 mm
	Jahrestemperatur	6.5°C
Ausgangsgestein	Hangschutt aus Flysch	
Baumbestand	Struktur	mehrschichtig
	Schlussgrad	60 %
	Baumarten (Deckung)	50 % Fichte, 10 % Weiss-Tanne, 2 % Rotbuche
	Oberhöhe	30 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr. 49: Schachtelhalm-Tannenmischwald
	nach BUWAL 2005	Einheit 49: Typischer Schachtelhalm-Tannen-Fichtenwald
Bodenkennwerte		
Bodensystematik	Humusform	Mull
	Bodentyp	Gley
	Vernässungsgrad	sehr stark grundnass
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Die Durchlüftung ist in diesem sehr stark hydromorph geprägten Boden ab 20 cm Tiefe zeitweise ungenügend. Die Vernässung erfolgt durch Hangwasser.
	Durchwurzelbarkeit	Das Wachstum der Wurzeln wird ab 20 cm Tiefe durch die zeitweise ungenügende Durchlüftung erschwert. Trotz dieser Einschränkung dürfte der Wurzelraum zumindest für die wenig empfindlichen Baumarten mehr als 120 cm mächtig und damit sehr tiefgründig sein. Die in Bezug auf Sauerstoffarmut empfindlichen Baumarten durchwurzeln den Boden vor allem oberflächlich. Wurzeln wurden bis 50 cm Tiefe beobachtet.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besteht sowohl für die tief wurzelnden Baumarten als auch für jene mit oberflächlicherem Wurzelwerk kein Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Der Boden ist bis 35 cm Tiefe mässig sauer und in 35–80 cm Tiefe schwach sauer. Die Kalkgrenze verläuft in 80 cm Tiefe.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Das mittlere C/N-Verhältnis im Ah-Horizont weist auf eine leicht gehemmte Mineralisierung hin. Das mässig enge C/P-Verhältnis im Ah-Horizont und die Humusform Mull sind dagegen Anzeichen einer hohen biologischen Aktivität. Diese wird gesamthaft als mittel bis hoch bewertet.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen bis 120 cm Tiefe sind insgesamt gross. Der Ca-Vorrat ist sehr hoch, der K-Vorrat hoch und der Mg-Vorrat mässig hoch.
Verankerung	Die Verankerung der Tiefwurzler wird als gut, jene der oberflächlicher wurzelnden Baumarten als mässig bewertet.	
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen.	

■ Trockenstress-Risiko für die Bäume

Es besteht kein Risiko für Trockenstress. Im Boden dürfte sowohl für die tief wurzelnden 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 nahe an die Bodenoberfläche mit basenreichem 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 mittel bis hoch. Eine Erhöhung der Mineralisierung durch Einbringen geeigneter Baumarten ist nicht nötig. Im Hinblick auf die Nährstoffumsetzung im Oberboden können sich waldbauliche Eingriffe auf den Erhalt der aktuell naturnahen Baumartenmischung beschränken.

Die in allen Horizonten relativ ausgeglichenen Gehalte an Nährstoffkationen und deren bis 120 cm Tiefe insgesamt 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.

V8.7.3

Baumartenempfehlung

Aufgrund des ziemlich rauen Klimas lässt sich an diesem Tannen-Fichten-Standort nur eine begrenzte Anzahl Baumarten einbringen. Zudem schränken zwei der von uns betrachteten bodenkundlichen Kriterien, die beide vom Klima abhängig sind, die Baumartenauswahl ein. Die beiden kritischen Eigenschaften sind die Durchwurzelbarkeit und die biologische Entwässerung des Bodens. Die in [Tab.V8.6](#) enthaltene Baumartenempfehlung vom BUWAL (2005) ist hinsichtlich dieser einschränkenden Kriterien zu hinterfragen.

Aus bodenkundlicher Sicht sind an diesem Waldstandort Baumarten zu fördern, die den Boden tief durchwurzeln, wie etwa die Tanne oder Bergulme. Diese Baumarten können die von uns als kritisch erachteten Bodeneigenschaften ertragen. Sie nutzen den temporär vernässten Boden tiefgründig und erhöhen mit ihrem tief verankerten Wurzelwerk die Bestandesstabilität. Ihre tief greifenden Wurzeln bringen eine wirkungsvolle Drainage mit entsprechender Bodenverbesserung.

Tab. V8.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand	
Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 49; BUWAL 2005)	Tanne, Fichte, Vogelbeere, Bergahorn, Weisslerle, Esche
Bodenkundliche Kriterien	Tanne, Fichte, Vogelbeere, Bergahorn, Esche (Weisslerle)

Von den in Tab. V8.6 empfohlenen Baumarten (BUWAL 2005) erscheint uns aus bodenökologischer Sicht vor allem die Tanne geeignet zu sein. Der Bergahorn, die Esche und die Fichte sind aufgrund ihrer oberflächlichen Durchwurzelung weniger geeignet. Da sie aber gemäss BUWAL (2005) auf diesem Standort von Natur aus vorkommen, sind auch sie zu fördern. Die Vogelbeere dürfte in diesem relativ wüchsigen Bestand kaum in die Baumschicht einwachsen und die Weisslerle ist nicht konkurrenzfähig. Aus bodenkundlicher Sicht kann als Ergänzung zum BUWAL (2005) die Bergulme eingebracht werden.

V8.8 Literatur

BUWAL, 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S.

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.

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

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