

A7 Bodenprofil Stalden

A7.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

A7.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Das Bodenprofil ist in [Abb. A7.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb. A7.2](#). [Tab. A7.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Stalden zusammen und [Tab. A7.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

A7.1.2 Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit T2 (Bündnerschiefer im Bereich des oberen Rhonetals und Tessin, tiefer gelegene Hänge (unter 1000 m.ü.M.), Hangneigung < 35%). 5 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 0.04 % der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

A7.1.3 Besonderheiten am Profilort

Das Profil befindet sich auf einer terrassenförmigen Hangverflachung.

A7.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab. A7.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Der Boden ist von einer Streuschicht und einem Fermentationshorizont bedeckt. Die überwiegend von Wald-Föhren und in geringen Mengen von Pflanzen der Krautschicht stammenden Rückstände werden nicht innerhalb eines Jahres zersetzt. Der Abbau verläuft demnach gehemmt und unvollständig. Mit der Horizontfolge L-F-Ah wird die Humusform als Xeromoder klassiert. Die periodische Trockenheit schränkt den Abbau der organischen Substanz stark ein.



Abb. A7.1 (links) Bodenprofil Stalden

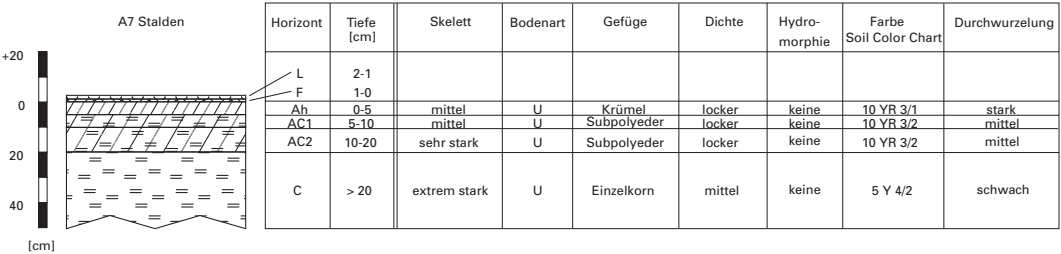
Abb. A7.2 (rechts) Bestand am Profilort Stalden

Tab. A7.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Stalden	
Lokalname	Telwald (Kanton Wallis, Gemeinde Stalden)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1308, St. Niklaus Koordinaten 634000/121000
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972)	Nr.65: Schneeheide-(Wald-)Föhrenwald (<i>Erico-Pinetum silvestris</i>)
Horizontfolge	L-F-Ah-AC1-AC2-C
Humusform	Xeromoder
Bodentyp	Pararendzina
Bodentyp nach FAO (1988)	Calcaric Regosol

Tab. A7.2 Bodenbildungsfaktoren am Profilort Stalden			
Relief	Höhe ü. M.	857 m	
	Exposition	WSW	
	Neigung	25 %	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Penninikum; Mesozoische Sedimente (grobskelettige Mischgesteinsmoräne, reich an Bündnerschiefer)	
	Lithofazies (nach Tuchschnid 1995)	Nr.29: Moräneablagerungen (grobklastisch) physikalische Verwitterbarkeit Gestein: variabel chemische Verwitterbarkeit Gestein: variabel Tongehalt Gestein: sehr niedrig–mittel	
Klima	T/N Jahresmittel	8.4°C/653 mm	
	T/N Januarmittel	–0.4°C/45 mm	
	T/N Julimittel	18.3°C/30 mm	
	Tage mit Schneedecke	90	
	Wärmegliederung	sehr mild	
	Länge der Vegetationsperiode	210–215 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (12–14 m Höhe)	50 %	45 % Wald-Föhre (<i>Pinus sylvestris</i>)
	Strauchschicht	60 %	–
	Krautschicht	20 %	Sefistrauch (<i>Juniperus sabina</i>) Aufrechte Trespe (<i>Bromus erectus</i>) Walliser Schwingel (<i>Festuca valesiaca</i>) Edel-Gamander (<i>Teucrium chamaedrys</i>) Thymian (<i>Thymus spec.</i>)
	Mooschicht	5 %	–

Tab. A7.3

Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Stalden
 Bodenart: U Schluff



Im Mineralboden lassen sich morphologisch vier Horizonte unterscheiden. Der nur bis 50 cm Tiefe aufgeschlossene Boden ist durch die organische Substanz bis 20 cm Tiefe dunkel gefärbt. Darunter dominieren gräulich-olive Farbtöne. Der bräunlich-schwarz gefärbte Oberboden ist mittel bis sehr stark skeletthaltig und locker gelagert. Unterhalb 20 cm Tiefe nimmt der Skelettgehalt stark zu und die Dichte des Bodens ist mittel. Der gesamte Oberboden weist ein Aggregatgefüge auf, wobei die Feinerde bis 5 cm eine Krümelstruktur und von 5–20 cm eine Subpolyederstruktur besitzt. Im Ausgangssubstrat ab 20 cm Tiefe ist ein Einzelkornggefüge zu beobachten. Die Bodenart ist im ganzen Profil Schluff und es sind keine hydromorphen Merkmale zu erkennen.

Die Horizonte werden als L-F-Ah-AC1-AC2-C bezeichnet und der Boden als Pararendzina klassiert.

Ergänzende Bodenmerkmale

Die Kalkgrenze verläuft in 5 cm Tiefe. Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde des Bodens oberhalb der Kalkgrenze schwach sauer. Die Durchwurzelung ist in den obersten 5 cm stark, in den AC-Horizonten von 5–20 cm Tiefe mittel und im C-Horizont noch schwach. Im Boden ist kein unüberwindbares Hindernis für das Wurzelwachstum erkennbar. Die Wurzeln können zwischen den Steinen in die Tiefe wachsen. Wie tief sie dabei vordringen können und wie gross die Gründigkeit tatsächlich ist, kann kaum abgeschätzt werden. Kalkausfällungen unterhalb 20 cm deuten darauf hin, dass das Sickerwasser im Untergrund häufig vollständig verdunstet. Der im Wasser gelöste Kalk fällt dabei als Kalkflaum aus. Der Untergrund wirkt in Trockenzeiten nur bedingt als Wasserspeicher.

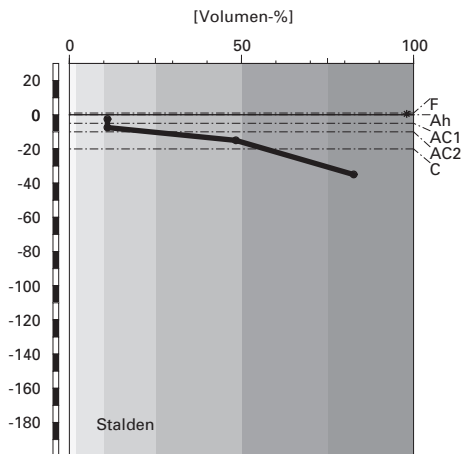
A7.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

A7.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

Skelettgehalt

Der Skelettgehalt nimmt mit der Tiefe stark zu ([Abb. A7.3](#)). Bereits die obersten 10 cm sind mittel und die Tiefenstufe 10–20 cm stark skeletthaltig. Ab 20 cm Tiefe ist extrem viel Skelett vorhanden, welches ein tieferes Ausgraben des Bodenprofils verhinderte.

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

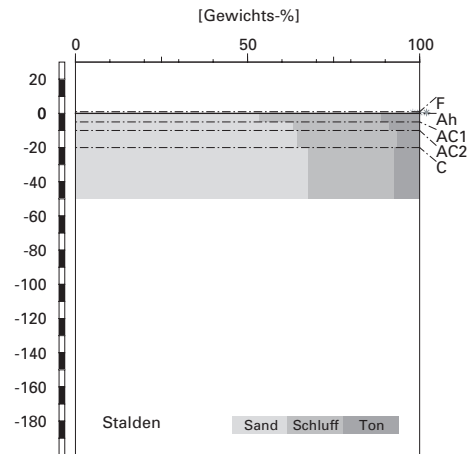


Abb. A7.3 (links) Skelettgehalt

Abb. A7.4 (rechts) Bodenart

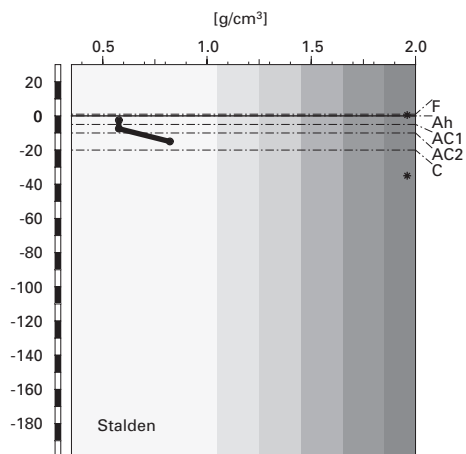
Bodenart

Die Feinerde besteht im gesamten Profil überwiegend aus Sand (**Abb. A7.4**), wobei sie mit zunehmender Tiefe grobkörniger wird, was in Einklang steht mit dem Verwitterungszustand des Bodens. In Bezug auf den Tongehalt handelt es sich im Ah-Horizont um mittelschweren, in allen übrigen Horizonten um leichten Boden. Bei der Bestimmung der Bodenart im Feld wurde der Schluffanteil überschätzt (**Tab. A7.3**).

Dichte der Feinerde

Die Dichte der Feinerde ist bis 20 cm Tiefe äusserst gering (**Abb. A7.5**). Im C-Horizont ist der Skelettgehalt mit rund 85% so gross, dass keine Dichteproben entnommen werden konnten. Aufgrund der Dichtebestimmung im Feld wissen wir, dass die Feinerde im C-Horizont eine mittlere Dichte aufweist (**Tab. A7.3**).

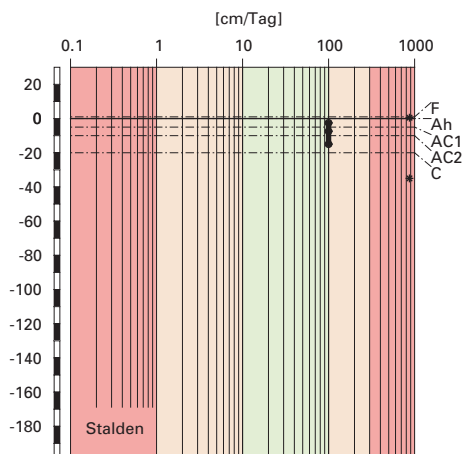
Feinerde-Dichte



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. A7.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb. A7.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Alle Horizonte sind aufgrund der geringen Dichte und des kleinen Tongehaltes hoch durchlässig (Abb. A7.6).

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe wird mit 73 l/m² als gering klassiert (Abb. A7.7). Der geringe Wert ist vor allem durch den extrem grossen Skelettgehalt bedingt.

A7.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In dieser Pararendzina kommen aufgrund der hohen Durchlässigkeit (Abb. A7.6) und der geringen Niederschläge keine Vernässungsmerkmale vor. Gesättigte Phasen mit ungenügender Durchlüftung sind somit inexistent oder höchstens von sehr kurzer Dauer.

pflanzenverfügbares Wasser

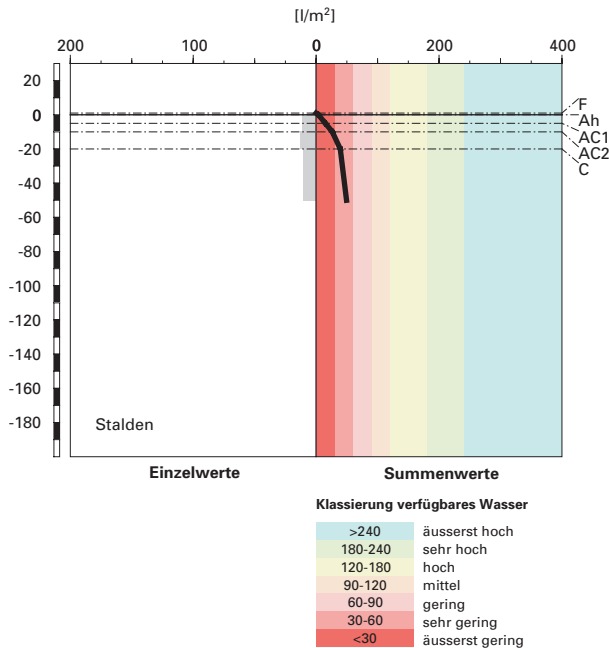


Abb. A7.7 Pflanzenverfügbares Wasser

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Der Boden ist für alle Baumarten mindestens profilumfassend durchwurzelbar, da die Dichtewerte weniger als 1.4 g/cm^3 betragen und die Durchlüftung in allen Horizonten stets ausreichend ist. Der Wurzelraum ist nicht eingeschränkt und wird mit >120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Es ist zu beachten, dass wir mit Gründigkeit die Tiefe des durchwurzelbaren Bodens meinen. Die Gründigkeit bis mindestens 120 cm Tiefe ist weder in der Profilskizze noch im Profilphoto ersichtlich, weil das Profil nur bis 50 cm Tiefe ausgehoben werden konnte. Da es an diesem Profilort keinen Hinweis auf felsigen Untergrund gibt, scheint uns die Annahme, dass der Wurzelraum nach unten offen ist, vertretbar zu sein. Der Boden wird vom aktuellen Waldföhren-Bestand gut genutzt. Wurzeln sind, wenn auch nur in geringer Anzahl, bis zur Profilssole (50 cm) vorhanden und dringen mit Sicherheit noch tiefer in den C-Horizont ein.

Ab 20 cm Tiefe ist der Boden extrem stark skeletthaltig, was die Durchwurzelbarkeit erschweren dürfte.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Bei einer Referenztiefe von 120 cm ist gemäss unseren Berechnungen davon auszugehen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne bedeutende Niederschläge nach rund 10 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Der Boden kann zwar tiefer als 120 cm durchwurzelt werden, jedoch zeigt Kalkflaum ab 15 cm Tiefe, dass die Niederschläge oft nur oberflächlich in den Boden einsickern, der Unterboden in Trockenzeiten also nur beschränkt als Wasserlieferant wirkt. Das Risiko für Trockenstress wird an diesem Waldföhren-Standort (EK 65) aufgrund der geringen Wasserspeicherkapazität des Bodens und der ungünstigen klimatischen Verhältnissen insgesamt als sehr gross beurteilt. Der Bestand dürfte während der Vegetationszeit häufig unter Trockenstress leiden, wobei die Waldföhre Wassermangel im Vergleich zu anderen Baumarten relativ gut erträgt.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert selbst in nassem Zustand nicht empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er viel Skelett enthält.

A7.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

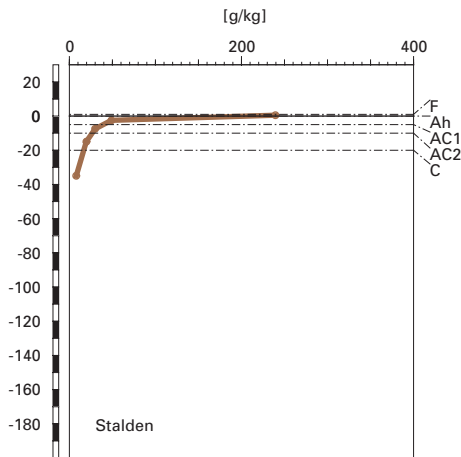
A7.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Der Baumbestand am Profilort bei Stalden besteht praktisch vollständig aus Waldföhren und überschirmt 50% des Bodens. Die üppige Strauch- und Krautschicht hat einen Deckungsgrad von 60% bzw. 20%. Diese werden vor allem vom Sefistrauch, von Gräsern wie aufrechter Tresse und Walliser Schwingel sowie vom Edel-Gamander und Thymian gebildet. Zusammen mit den Waldföhren liefern sie eine schwer abbaubare Streu, weshalb sich unter einer 1 cm dicken Streuschicht ein Fermentationshorizont von 1 cm Mächtigkeit gebildet hat.

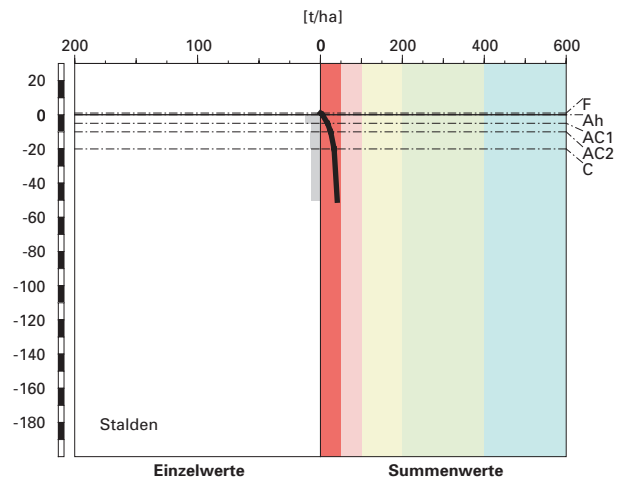
Der F-Horizont hat entsprechend seiner überwiegend organischen Zusammensetzung einen Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) von rund 24% (Abb. A7.8). Der Ah-Horizont hebt sich durch seine sehr dunkle Farbe vom AC1- und AC2-Horizont ab, welche sich ihrerseits deutlich vom gräulich-olivenen C-Horizont unterscheiden. Der Gehalt an organischem Kohlen-

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})



Klassierung Vorrat

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

Abb. A7.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb. A7.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

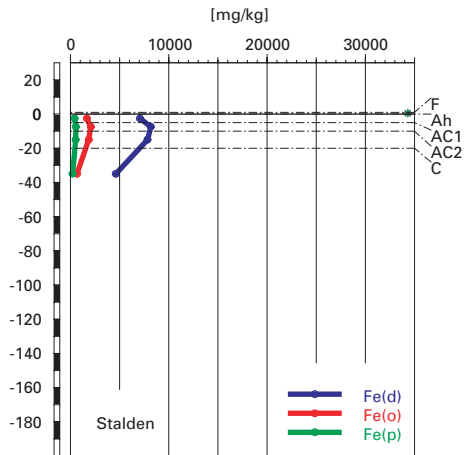
stoff beträgt im Ah-Horizont 4.9%, nimmt in den AC-Horizonten auf 3 bzw. 2% ab und ist im C-Horizont nur noch 0.8%. Aus diesen Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 41 t/ha (Abb. A7.9), wobei für die Vorratsberechnung im F-Horizont eine Dichte von 0.2 g/cm³ angenommen wurde.

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt variiert im gesamten Boden nur wenig zwischen 11% im Ah-Horizont und 7% im C-Horizont (Abb. A7.4). Er nimmt also mit der Tiefe leicht ab.

Die Gehalte aller extrahierbaren Eisenverbindungen sind über die erschlossene Bodentiefe ähnlich verteilt (Abb. A7.10). Das Dithionit-extrahierbare Eisen (Fe_d) nimmt vom Ah-Horizont von 7 g/kg auf das Maximum im AC1-Horizont von 8.2 g/kg zu. Das Minimum liegt mit 4.6 g/kg im C-Horizont. Auch die Oxalat- und Pyrophosphat-extrahierbaren Eisengehalte (Fe_o bzw. Fe_p) haben ihr Maximum im AC1-Horizont und das Minimum im

Eisen-Oxide (Gehalte)



Aluminium-Oxide (Gehalte)

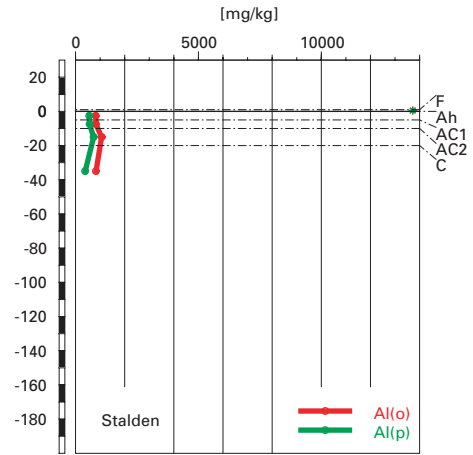


Abb. A7.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb. A7.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide (Verhältnisse)

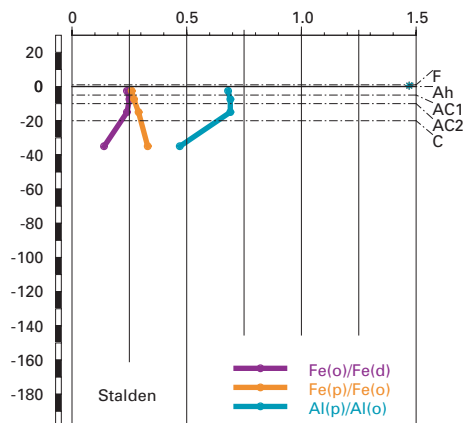


Abb. A7.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

C-Horizont. Im Vergleich mit anderen Böden in der Region Alpen sind die Fe_o - und Fe_p -Gehalte gering.

Das Oxalat-extrahierbare Aluminium (Al_o) hat mit Ausnahme des AC2-Horizontes im gesamten Boden einen ähnlichen Gehalt von 0.8 g/kg. Im AC2-Horizont findet sich mit 1.1 g/kg das Maximum (Abb. A7.11). Das Pyrophosphat-extrahierbare Aluminium (Al_p) hat im Ah- und AC1-Horizont einen Gehalt von rund 0.6 g/kg, besitzt im AC2-Horizont mit 0.7 g/kg das Maximum und nimmt im C-Horizont auf den minimalen Gehalt von 0.4 g/kg ab. Im regionalen Vergleich sind auch die Al_o - und Al_p -Gehalte eher gering.

Werden die Gehalte auf humusfreie Mineralerde bezogen, ändert sich am Verlauf der Tiefenverteilung nichts. Die Maxima und Minima sind immer noch in denselben Horizonten wie oben beschrieben.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis ist im gesamten Boden sehr klein (Abb. A7.12). Es hat in den obersten drei Horizonten ähnliche Werte mit einem schwach ausgeprägten Maximum von 0.25 im AC1-Horizont. Im C-Horizont ist es mit 0.14 am kleinsten. Auch das Fe_p/Fe_o -Verhältnis ist im ganzen Boden relativ klein. Es nimmt von 0.26 im Ah-Horizont auf 0.33 im C-Horizont linear zu. Das Al_p/Al_o -Verhältnis schliesslich ist in den obersten drei Horizonten mit Werten um 0.7 relativ gross und im C-Horizont mit 0.5 etwas kleiner (Abb. A7.12).

A7.3.2

Bodenkundliche Interpretation

Die Streu von Waldföhren und Pflanzen aus der Strauch- und Krautschicht wird nicht innerhalb eines Jahres abgebaut, so dass sich ein Fermentationshorizont von 1 cm Mächtigkeit gebildet hat. Dies ist vor allem auf die schwer abbaubare Streu und die klimatischen Bedingungen am Profilort bei Stalden zurückzuführen. Am WSW-exponierten, auf 857 m.ü.M. gelegenen Standort mit durchschnittlichen jährlichen Niederschlägen von 653 mm und einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8.4°C ist der Boden oft stark ausgetrocknet, vor allem während der Vegetationszeit. Das sehr milde und trockene Klima verzögert den Abbau der an sich schon schwer abbaubaren Streu zusätzlich, weshalb sich als Humusform ein Xeromoder gebildet hat.

Das C/N- bzw. C/P-Verhältnis im F-Horizont ist mit 20 bzw. 251 mittel. Die Mineralisierungsrate der organischen Substanz wird aufgrund des C/N-Verhältnisses im F-Horizont als mittel eingeschätzt. Im Ah-Horizont beträgt das C/N-Verhältnis 18 und das C/P-Verhältnis 328. Das C/N-Verhältnis ist damit im Mineralboden etwas enger, womit die Mineralisierungsrate der organischen Substanz im Mineralboden, zumindest bei feuchtem Boden,

erhöht sein dürfte. Im Ah-Horizont ist die biologische Aktivität aufgrund der Krümelstruktur und der Spuren von Wurmtätigkeit relativ hoch. Nach Regenfällen dürfte bei feuchtem Boden die biologische Aktivität besonders hoch sein. Dabei wird die organische Substanz tiefgreifend mit der Mineralerde vermischt, was typisch für die Humusform Xeromoder ist.

Der Abbau der organischen Substanz ist verzögert, die Mineralisierung ist zumindest im Mineralboden während Feuchtphasen jedoch relativ hoch. Die Humusbildung ist nicht sehr ausgeprägt und die C_{org} -Gehalte sind gering bis mittel. Zu den kleinen C_{org} -Gehalten trägt auch die geringe Produktivität des Standortes bei. Die Waldföhren erreichen eine Höhe von 12 bis 14 m. Dies ist ein Ausdruck der geringen Biomasseproduktion an diesem Standort. Aufgrund der tiefen C_{org} -Gehalte und des hohen Skelettanteils ist der Vorrat an organischem Kohlenstoff mit 41 t/ha (Abb. A7.9) im gesamtschweizerischen Vergleich sehr gering.

Der Tongehalt ist mit 7 bis 11% relativ gering und dürfte dem entsprechen, was das verwitternde Ausgangsgestein dem Boden vererbt. Eine Tonmineralneubildung ist wenig wahrscheinlich. Die leichte Zunahme des Tongehaltes gegen den Ah-Horizont kann mit der grösseren Verwitterungsintensität in den obersten Bodenschichten erklärt werden.

Alle extrahierbaren Eisenverbindungen haben im Oberboden im Vergleich zum C-Horizont deutlich grössere Gehalte. Dies kann analog wie bei der Interpretation des Tongehaltes auf eine grössere Verwitterungsintensität im Oberboden zurückgeführt werden. Es könnte aber auch mit Inhomogenitäten im Ausgangsgestein zusammenhängen. Das schwach ausgeprägte Maximum im AC1-Horizont bei allen drei Eisenfraktionen ist schwierig zu interpretieren. Es ist nur schwer vorstellbar, dass es sich dabei um das Resultat einer Verlagerung handelt, da die Niederschlagsmengen sehr gering sind und der pH-Wert im ganzen Boden alkalisch ist. Selbst wenn nach einer längeren Trockenperiode bei einsetzendem Regen ein Mineralisierungsschub der organischen Substanz ausgelöst wird, werden bei einem pH-Wert von 7.1 im Ah-Horizont kaum Eisenverbindungen mit gelöster organischer Substanz gebildet, welche dann verlagert werden könnten. Vielmehr ist die Zunahme der Eisengehalte vom Ah- in den AC1-Horizont vermutlich durch Inhomogenitäten im Ausgangsgestein bedingt.

Der Al_o -Gehalt ist mit Ausnahme des Maximums im AC2-Horizont im gesamten Boden konstant. Solange es keine Differenzierung zwischen Ober- und Unterboden im Oxalat-extrahierbaren Gehalt gibt, kann auf eine rohe Bodenentwicklung geschlossen werden. Das schwach ausgeprägte Maximum im AC2-Horizont muss wie beim Eisen mit Inhomogenitäten im Ausgangsgestein erklärt werden. Der Al_p -Gehalt nimmt entsprechend dem C_{org} -Gehalt mit der Tiefe ab. Dies widerspiegelt sich im Al_p/Al_o -Verhältnis,

gemäss welchem im Oberboden 70 % der amorphen Aluminiumverbindungen mit der organischen Substanz assoziiert sind. Im C-Horizont, welcher nur noch 0.8 % organischen Kohlenstoff enthält, ist dieses Verhältnis mit 0.5 immer noch relativ gross. Vermutlich werden mit dem Pyrophosphat-Extrakt nicht nur Aluminiumverbindungen mit der organischen Substanz extrahiert, sondern zusätzlich amorphe Verbindungen dispergiert und mitgemessen. Das Fe_p/Fe_o -Verhältnis nimmt mit der Tiefe sogar leicht zu, was ebenfalls mit dem dispergierenden Effekt des Extraktes erklärt werden kann.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis ist im gesamten Boden klein und deutet damit den hohen Kristallinitätsgrad der Eisenoxide an. Dieses Bild ist typisch für wenig entwickelte Böden auf karbonathaltigem Gestein, in denen noch keine Verbraunungsprozesse mit Sekundärbildung von amorphen Eisenverbindungen stattgefunden haben.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als Pararendzina (Rohboden auf karbonathaltigem Mischgestein) klassiert. Die Interpretation der Bodenhauptbestandteile bestätigt diese rohe, nicht weit fortgeschrittene Bodenentwicklung. Insbesondere die im regionalen Vergleich relativ kleinen Oxalat-extrahierbaren Gehalte sind typisch für einen Rohboden.

A7.4 Themenbereich «Säurezustand»

A7.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

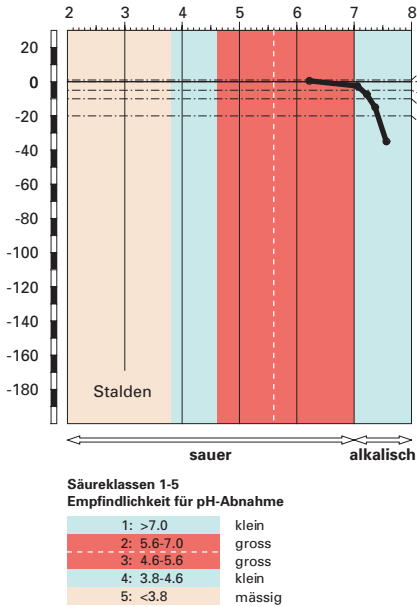
pH-Wert

Der pH-Wert liegt mit Ausnahme des F-Horizontes im ganzen Profil im alkalischen Bereich und nimmt mit der Tiefe von 7.1 im Ah-Horizont auf 7.6 im C-Horizont nur wenig zu (Abb. A7.13). Alle Mineralerdehorizonte befinden sich in der Säureklasse 1. Der F-Horizont ist schwach sauer und hat einen pH-Wert von 6.2.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Entsprechend den hohen pH-Werten ist der Kationenaustauscher im ganzen Boden vollständig mit Nährstoffkationen, zum grössten Teil mit Kalzium belegt. Die Belegung mit Magnesium und Kalium ist von untergeordneter Bedeutung (Abb. A7.14). Die Basensättigung beträgt im ganzen Profil 100 % und wird als sehr hoch klassiert (Abb. A7.15).

pH-Wert (CaCl₂)



austauschbare Kationen

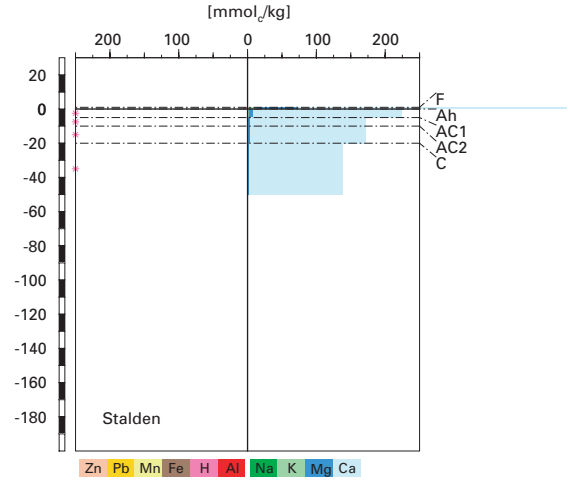


Abb. A7.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb. A7.14 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

A7.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

Unter dem Einfluss der Bodenbildungsfaktoren am Profilort bei Stalden hat sich aus dem karbonathaltigen Ausgangsgestein eine Pararendzina entwickelt. Der Stand der Bodenversauerung wird in diesem Profil anhand des pH-Gradienten, des Tiefenverlaufs der Basensättigung sowie der Tiefe der Kalkgrenze beurteilt. Aufgrund dieser Beurteilungskriterien ist diese Pararendzina nur sehr schwach versauert. Der pH-Wert liegt im ganzen Profil im alkalischen Bereich und die pH-Differenz zwischen dem Ah- und dem C-Horizont beträgt nur 0.5 pH-Einheiten. Die Feinerde befindet sich profilumfassend in der Säureklasse 1 und enthält überall Karbonat, so dass eine sehr effiziente Säurepufferung durch Kalkgesteinsverwitterung erfolgt. Dies widerspiegelt sich in der Belegung des Kationenaustauschers, welche durch Kalzium dominiert wird. Aluminium tritt am Austauscher noch nicht

Basensättigung

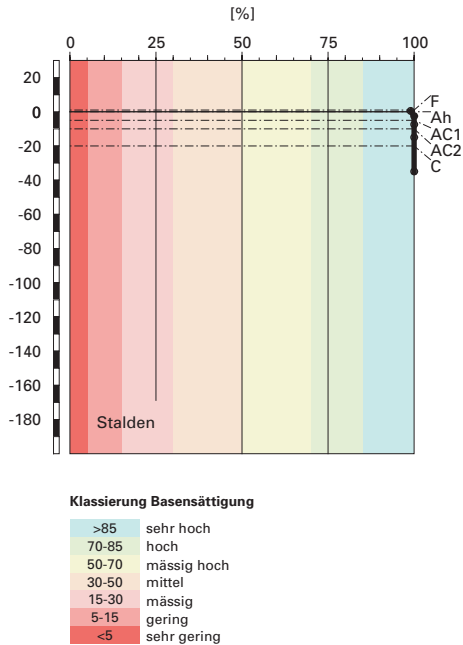


Abb. A7.15 Basensättigung

auf, womit keine Nährstoffkationen verdrängt werden und im Mineralboden keine Versauerungsfront ersichtlich ist. Die Kalkgrenze befindet sich an der Bodenoberfläche, das heisst, dass selbst der Ah-Horizont Karbonat aufweist. Deshalb beträgt die Basensättigung im gesamten Mineralboden 100 % und ist als sehr hoch zu bezeichnen.

Risiko für Boden und Pflanzen

Die Empfindlichkeit des Bodens für eine weitere pH-Abnahme ist sehr klein, weil sich die Feinerde überall in der gut puffernden Säureklasse 1 befindet. Eine weitergehende Versauerung des Mineralbodens wäre erst bei vollständiger Entkarbonatung gegeben. Dies ist aber in absehbarer Zeit wenig wahrscheinlich, weil der Boden viel karbonathaltiges Skelett enthält. Dementsprechend wird sich auch die Basensättigung noch lange im sehr hohen Bereich halten können. Eine gewisse Gefahr einer pH-Abnahme besteht höchstens für den geringmächtigen Ah-Horizont, welcher von allen Horizonten am wenigsten Karbonat in der Feinerde enthält und dessen pH-Wert sich im Übergangsbereich zur schlecht puffernden Säureklasse 2 befindet.

Für säureempfindliche Pflanzen besteht auch in Zukunft keine Gefahr einer Wachstumsbeeinträchtigung, denn das BC/Al-Verhältnis wird den kritischen Bereich von <0.2 auch in Zukunft nicht erreichen. Zurzeit findet sich das kleinste BC/Al-Verhältnis mit 486 im AC1-Horizont.

A7.5 Themenbereich «Schwermetalle»

A7.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

In diesem Boden variieren der Cr- und Cu-Gehalt mit der Tiefe nur wenig (Abb. A7.16). Der Ni-Gehalt ist im Oberboden doppelt so hoch wie im C-Horizont. Zink nimmt vom Ah- zum AC2-Horizont stark, darunter nur noch wenig ab. Blei ist im ganzen Profil in der Nähe oder unterhalb der Bestimmungsgrenze.

A7.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein, einer Mischgesteins-Moräne reich an Bündnerschiefer, liegen der Ni-, Zn- und Pb-Gehalt im C-Horizont unterhalb, der Cr- und Cu-Gehalt innerhalb typischer Wertebereiche. Da für Moräne (Lithofazies 29) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, wurde die geologisch nächstverwandte Lithofazies mit geochemischen Angaben (Lithofazies 11, Mergel und Tonschiefer) für die Beurteilung beigezogen.

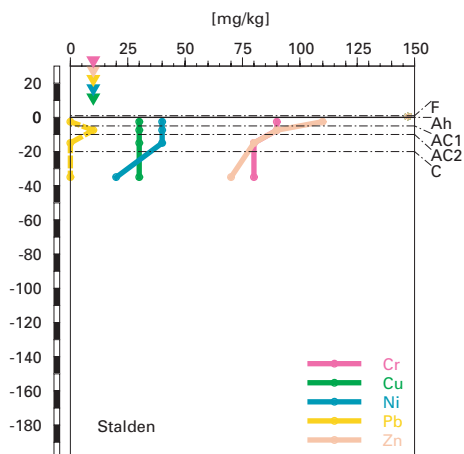
A7.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Für den F-Horizont wurden wegen seines hohen Humusgehaltes (Abb. A7.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm^3 ; Tab. A58 in Blaser et al. 2005) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg ; Abb. A7.17), da die Dichte kleiner ist als $1 \text{ g}/\text{cm}^3$. Mangels Messwert wurde eine Dichte von $0.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ angenommen.

Bezogen auf die VBBo sind die Konzentrationen aller Schwermetalle in der organischen Auflage sehr niedrig. Die Gehalte an Zn und Pb sind im ganzen Mineralboden sehr niedrig, die Gehalte an Cr sehr niedrig bis niedrig (Abb. A7.17). Der Ni-Gehalt ist im Oberboden erhöht, im C-Horizont niedrig. Der Cu-Gehalt ist im Ah- und AC1-Horizont erhöht, darunter hoch.

Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

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



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

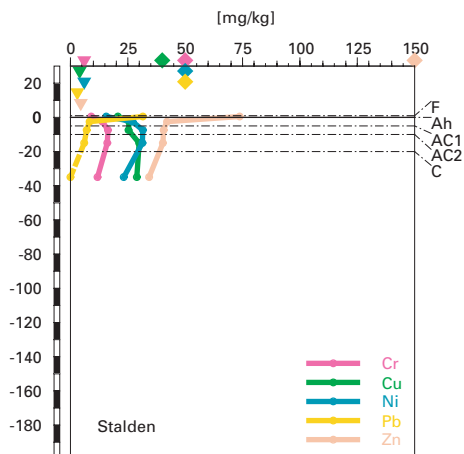


Abb. A7.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. A7.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

A7.5.4 Anreicherungs-faktoren

Der Oberboden ist gegenüber dem C-Horizont deutlich an Nickel angereichert (Tab. A7.4). Der Ah- und AC1-Horizont sind zudem etwas an Zn angereichert. Diese Anreicherungen dürften unterschiedliche Ursachen haben. Beim Pflanzen-Mikronährstoff Zn ist dafür ziemlich sicher die Rückführung mit der Streu auf den Boden innerhalb des Nährstoffkreislaufes verantwortlich. Da auch Ni ein Mikronährstoff ist, wird dieser Mechanismus auch einen Teil der Ni-Anreicherung erklären. Das im Vergleich zu Zn starke Ausmass der Anreicherung weist aber auf anthropogenen Eintrag als Hauptquelle hin. Dies steht im Einklang mit der Nähe des Profils zum In-

Tab. A7.4 Anreicherungs-faktoren

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungs-faktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0 – 5	1.01	0.89	1.79	n.b.	1.41
AC1	5 – 10	1.13	1.00	2.00	n.b.	1.29
AC2	10 – 20	0.94	0.94	1.89	n.b.	1.08
C	> 20	1.00	1.00	1.00	n.b.	1.00

dustrie-Standort Visp sowie mit den Ni-Anreicherungen, welche in den im zentralen Wallis gelegenen Böden bei Lens und Visp gemessen wurden.

A7.5.5 **Schätzung der Mobilität der Schwermetalle**

Dieser Boden ist profilumfassend alkalisch (Abb.A7.13) und hat mittlere Gehalte an organischer Substanz (Abb.A7.8). Die Mobilität der meisten Schwermetalle wird deshalb im ganzen Profil als sehr gering eingestuft (Abb.A7.18). Ausnahmen sind eine geringe Pb-Mobilität und eine mittlere Cu-Mobilität im C-Horizont, welche auf die Bildung löslicher Karbonat-Komplexe zurückzuführen sind.

Unterhalb dieses Bodens besteht ein sehr kleines Risiko für eine Belastung des Grundwassers mit Schwermetallen. Allenfalls wird etwas Cu aus dem Boden ausgewaschen, jedoch sind dessen Gehalte im Boden vergleichsweise gering. Zudem ist ab einer Tiefe von 20 cm Kalkflaum zu beobachten, was auf eine oft vollständige Verdunstung des Sickerwassers im Unterboden hindeutet.

A7.5.6 **Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen**

Im Ah- und AC1-Horizont liegen die meisten Schwermetalle in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind. Der Cr-Gehalt liegt allerdings in beiden Horizonten im Grenzbereich zur Toxizität für Mikroorganismen.

A7.6 **Themenbereich «Nährstoffe»**

A7.6.1 **Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden**

Die Föhrennadeln sind schwer abbaubar und der WSW-exponierte Hang in 857 m.ü.M. neigt bei durchschnittlichen jährlichen Niederschlägen von 653 mm zur Austrocknung. Die Streu wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig abgebaut, weshalb sich ein Xeromoder als Humusform gebildet hat. Die C/N- und C/P-Verhältnisse im F-Horizont werden mit rund 20 bzw. 251 als mittel klassiert. Dieses C/N-Verhältnis ist charakteristisch für eine Übergangshumusform von Mull zu Moder und für eine mittlere Mineralisierungsrate der organischen Substanz mit entsprechend leicht gehemmter Nährstoffumsetzung in der organischen Auflage. Wie aber die Klassierung der Humusform als Xeromoder bereits andeutet, ist es vielmehr die

Schwermetallmobilität

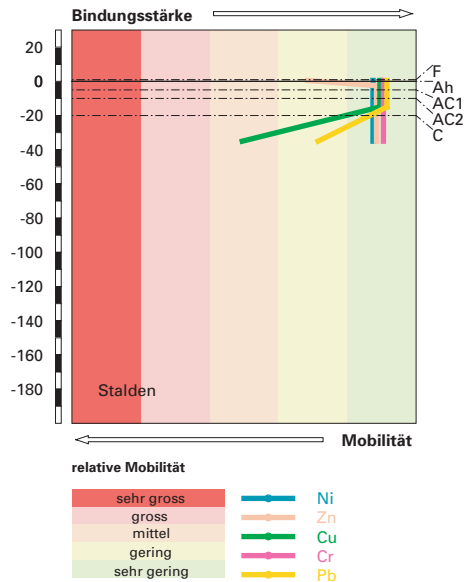


Abb. A7.18 Mobilität der Schwermetalle

Trockenheit als die Streuqualität, welche für einen verzögerten Abbau verantwortlich ist.

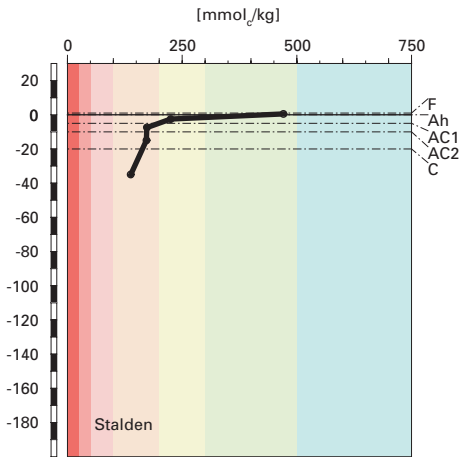
Die Krümelstruktur im Ah-Horizont zeigt an, dass im mineralischen Oberboden die biologische Aktivität mindestens zeitweise höher als in der organischen Auflage ist. Auch das zwar ebenfalls mittlere, aber leicht kleinere C/N-Verhältnis von 18 im Ah-Horizont weist auf die besseren Verhältnisse hin. Die Nährstoffverfügbarkeit verbessert sich im Mineralboden, welcher bezüglich Wärme und Feuchtigkeit die ausgeglicheneren Bedingungen für die Bodenorganismen bietet.

A7.6.2

Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität der Feinerde ist im nur 5 cm mächtigen Ah-Horizont hoch. Sie nimmt mit der Tiefe entsprechend dem Ton- und C_{org} -Gehalt stetig ab und ist in allen anderen Bodenhorizonten als mittel zu bewerten (Abb. A7.19).

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)

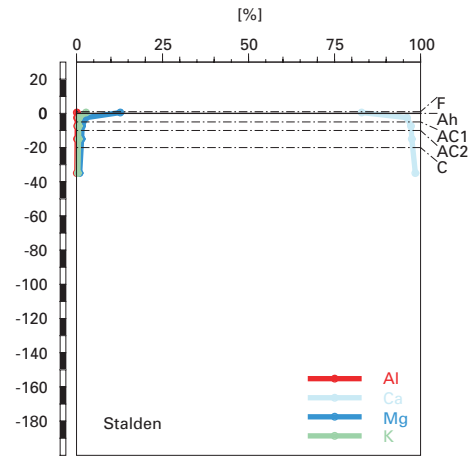


Abb. A7.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. A7.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

Der Kationenaustauscher ist vollständig aber sehr einseitig mit Nährstoffkationen belegt (**Abb. A7.20**). Austauschbares Kalzium herrscht in der Austauschergarnitur bei weitem vor, wogegen Magnesium und Kalium, wie so oft in karbonathaltigen Rohböden, untervertreten sind.

A7.6.3 Nährstoffvorräte

Die **Abb. A7.21 bis A7.23** zeigen die Vorräte an austauschbarem Ca, Mg und K. Im Tiefenverlauf nimmt das austauschbare Kalzium stetig und rasch zu. Für die beiden anderen Nährstoffe ist keine nennenswerte Vorratzzunahme mit der Tiefe zu verzeichnen. Die Flachgründigkeit dieser Pararendzina, zusammen mit dem extrem hohen Skelettanteil bewirken, dass die Nährstoffvorräte trotz der vollständigen Belegung des Kationenaustauschers mit Nährstoffen insgesamt niedrig sind. Die Ca-, Mg- und K-Vorräte bis zur Aufschlusstiefe von 60 cm werden wie folgt beurteilt:

Ca hoch
Mg gering
K sehr gering

Da der Wurzelraum gegen unten grundsätzlich offen und aufgrund der Feinerdedichte von den Wurzeln zwischen den Gesteinsblöcken erschlossen werden kann, werden die Vorräte bis zur Referenztiefe von 120 cm berechnet. Ihre Beurteilung ändert sich dadurch aber nicht, weil infolge des sehr grossen Skelettgehaltes zwischen 60 und 120 cm Tiefe die Vorratzzunahme nur sehr gering ist.

Das Nährstoffangebot ist sehr unausgewogen und es besteht ein grosses Risiko für Trockenstress, weshalb besonders im Sommer die Nährstoffe temporär nicht optimal genutzt werden können.

Kalzium-Vorrat

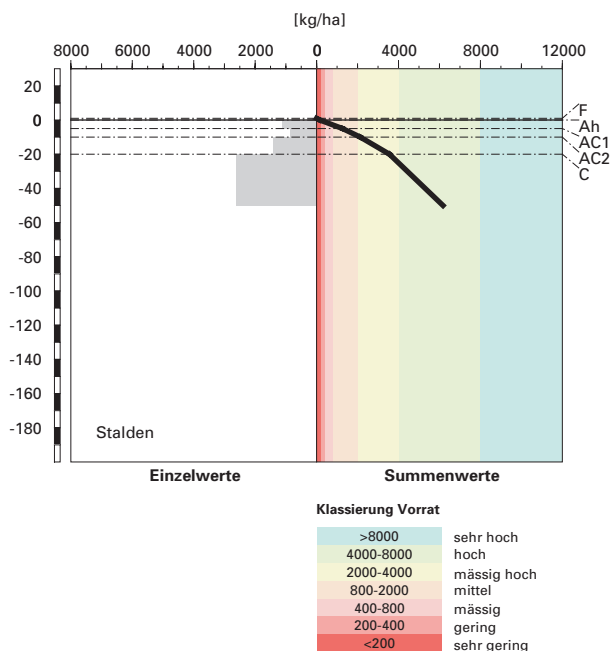


Abb. A7.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

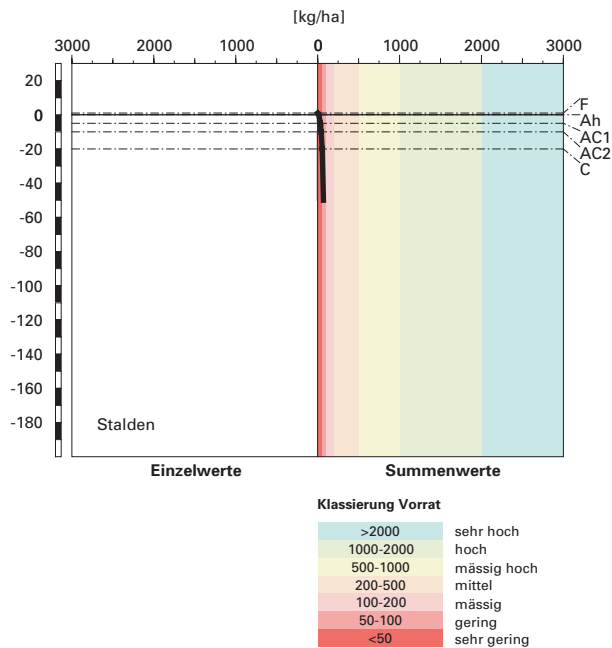


Abb. A7.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

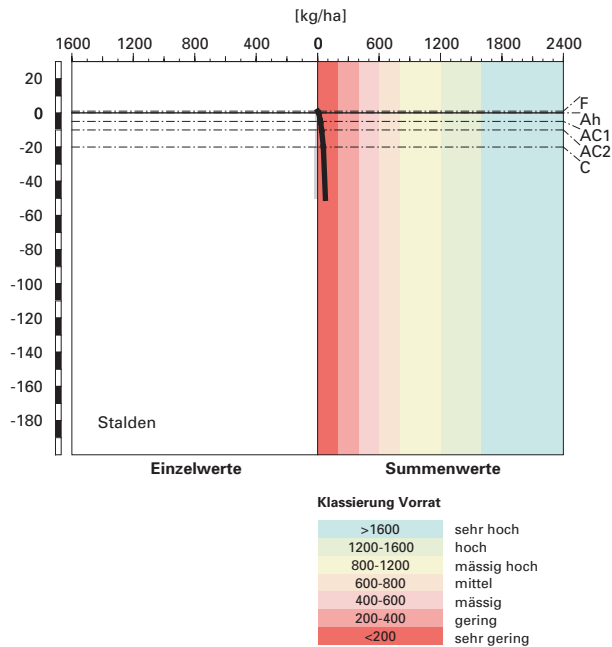


Abb. A7.23 Vorrat an Kalium

A7.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

A7.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. A7.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

A7.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand ist stark aufgelichtet und besteht vor allem aus Waldföhren und einzelnen Laubhölzern. Die Baumartenmischung wird als naturnah bezeichnet. Nach Ott et al. (1997) trifft man an diesem Standort (EK Nr. 65) häufig Moder oder Xeromoder an. Der vorhandene Xeromoder dürfte demnach standorttypisch sein.

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Waldföhrenstandort (Nr.65*) folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Waldföhre, Fichte, Lärche, Flaumeiche, Birke, Esche und Kirsche. Diese relativ kleine Auswahl ist durch die zeitweilige Trockenheit des Standortes bedingt.

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

■ Durchwurzelbarkeit des Bodens

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

■ Entwässerung des Bodens durch die Bäume

Der Boden ist gut durchlüftet und sehr durchlässig. Daher kann das Kriterium der biologischen Entwässerung des Bodens bei der Baumartenwahl vernachlässigt werden.

■ Trockenstress-Risiko für die Bäume

Das Risiko für Trockenstress ist sehr gross, und zwar sowohl aus klimatischen Gründen als auch aufgrund des geringen Wasserspeichervermögens des Bodens. Es sollten nur Baumarten eingebracht werden, die Trockenheit gut ertragen.

■ Säurezustand und Aluminium-Toxizität

Der Mineralboden ist alkalisch und es besteht kein Risiko für Al-Toxizität. Die Basensättigung beträgt profilumfassend nahezu 100%. Der Boden gilt insgesamt als sehr schwach versauert. Trotz der organischen Auf-

Tab. A7.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Stalden)**Standortangaben**

Relief	Höhe	857 m
	Exposition	WSW
	Neigung	25%
Klima	Jahresniederschlag	653 mm
	Jahrestemperatur	8.4°C
Ausgangsgestein	Mischgesteinsmoräne reich an Bündnerschiefer	
Baumbestand	Struktur	mehrheitlich stufig
	Schlussgrad	50%
	Baumarten (Deckung)	45% Waldföhre
	Oberhöhe	12–14 m
Waldgesellschaft	nach E&K 1972	Nr.65: Schneeheide-(Wald-)Föhrenwald
	nach BUWAL 2005	Nr.65*: Hauhechel-Föhrenwald

Bodenkennwerte

Bodensystematik	Bodentyp	Pararendzina
	Humusform	Xeromoder
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Im Boden sind keine Vernässungsmerkmale erkennbar, was auf eine stets gute Durchlüftung hinweist.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden ist für alle Baumarten mindestens profilumfassend durchwurzelbar. Der Wurzelraum wird mit mehr als 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Wurzeln sind bis zur Profilsohle vorhanden.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen besteht ein sehr grosses Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Der Mineralboden reagiert profilumfassend alkalisch, weil die Feinerde bis an die Bodenoberfläche Karbonat enthält.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Die Humusform Xeromoder und das mittlere C/N-Verhältnis in der organischen Auflage weisen auf eine mittlere Mineralisierungsrate hin. Das ebenfalls mittlere C/P-Verhältnis in der organischen Auflage kann in gleichem Sinne interpretiert werden. Die biologische Aktivität wird gesamthaft als mittel beurteilt.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen sind ziemlich unausgewogen. Der Ca-Vorrat ist hoch, der Mg-Vorrat gering und der K-Vorrat sehr gering.
Verankerung	Da der Boden sehr tiefgründig ist, wird die Verankerung des Baumbestandes als gut bewertet.	
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert selbst in nassem Zustand nicht empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er viel Skelett enthält.	

lage besteht kein Bedarf, den Säurezustand mit gezielter Baumartenwahl zu verbessern, weil die Auflage geringmächtig und nur schwach sauer ist. Die beim Humusabbau entstehenden Säuren werden offenbar ausreichend gepuffert.

■ Nährstoffangebot im Boden

Die Nährstoffumsetzung im Oberboden ist gehemmt. Da die Baumartenmischung naturnah ist und die organische Auflage vor allem durch die zeitweilige Trockenheit mit gehemmter biologischer Aktivität verursacht wird, kann die Mineralisierungsrate mit waldbaulichen Massnahmen kaum beeinflusst werden.

Viele Baumarten haben bezüglich Nährstoffversorgung des Bodens eine weite ökologische Amplitude. Das Nährstoffangebot dürfte daher an diesem Standort für die meisten Baumarten ausreichend sein.

A7.7.3 **Baumartenempfehlung**

An diesem zeitweise sehr trockenen Standort hat der Waldbauer eine stark eingeschränkte Baumartenauswahl. Die in **Tab. A7.6** enthaltene Baumartenempfehlung des BUWAL (2005) ist aus bodenkundlicher Sicht einzig aufgrund des Trockenstress-Risikos zu hinterfragen.

Der Boden trocknet zeitweise so stark aus, dass wir nur die Waldföhre und die Flaumeiche empfehlen. Für die Fichte und die Lärche ist der Standort zu trocken. Kirsche, Birke und Mehlbeere erreichen Baumhöhen von nur wenigen Metern und sollten deshalb höchstens im Nebenbestand eingebracht werden. Auf diesem unproduktiven Standort ist keine Holzproduktion anzustreben.

Tab. A7.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand	
Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 65*; BUWAL 2005)	Waldföhre, Fichte, Lärche, Flaumeiche, Birke, Esche, Kirsche
Bodenkundliche Kriterien	Waldföhre, Flaumeiche, (Fichte, Lärche, Birke, Esche, Kirsche)

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.

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

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