

A13 Bodenprofil Somvix

A13.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

A13.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Das Bodenprofil ist in [Abb.A13.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.A13.2](#). [Tab.A13.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Somvix zusammen und [Tab.A13.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

A13.1.2 Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit W7 (alpine kristalline Berglandschaften (Paragneis), steile Nordhänge, Hangneigung >35%). 424 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 3.6% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

A13.1.3 Besonderheiten am Profilort

Am Profilort fehlt der Baumbestand zur Zeit, da er vor einigen Jahren durch einen Sturm stark aufgelichtet wurde. In der Folge war ein starker Käferbefall zu beobachten, dem Zwangsnutzungen und eine vollständige Räumung der Fläche folgten.

A13.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.A13.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

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



Abb. A13.1 (links) Bodenprofil Somvix

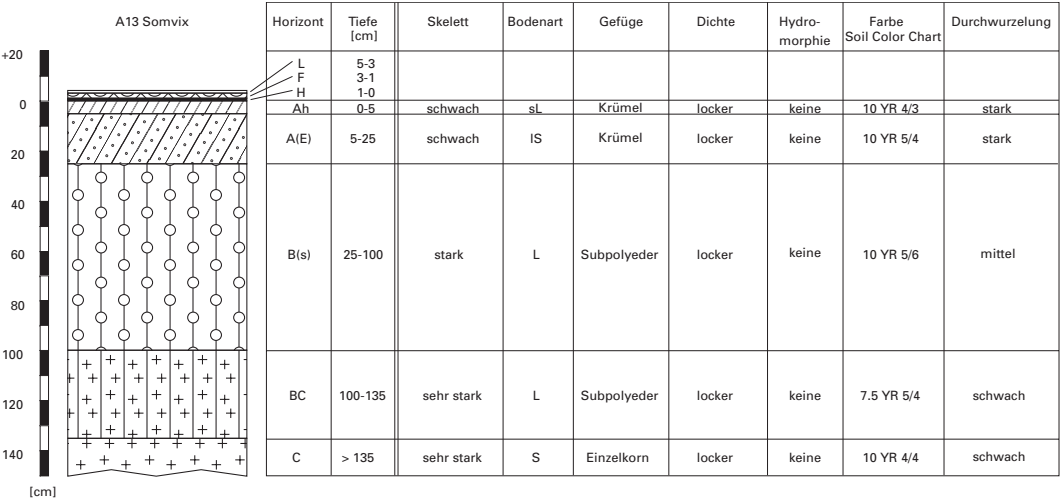
Abb. A13.2 (rechts) Bestand am Profilort Somvix

Tab. A13.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Somvix	
Lokalname	Clavadias (Kanton Graubünden, Gemeinde Sumvitg)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1213, Trun Koordinaten 716000/173000
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972)	Nr. 57: Torfmoos-Fichtenwald mit Landschilf (<i>Sphagno-Piceetum calamagrostietosum villosae</i>)
Horizontfolge	L-F-H-Ah-A(E)-B(s)-BC-C
Humusform	Rohhumus
Bodentyp	Braunerde, podsoliert
Bodentyp nach FAO (1988)	Dystric Cambisol

Tab. A13.2 Bodenbildungsfaktoren am Profilort Somvix			
Relief	Höhe ü. M.	1230 m	
	Exposition	E	
	Neigung	92 %	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Helvetikum; Sericit-Phyllite und Gneise	
	Lithofazies	Nr. 6: Paragneise	
	(nach Tuchschnid 1995)	physikalische Verwitterbarkeit Gestein: mittel chemische Verwitterbarkeit Gestein: klein Tongehalt Gestein: sehr niedrig	
Klima	T/N Jahresmittel	5.7 °C/1438 mm	
	T/N Januarmittel	–3.2 °C/89 mm	
	T/N Julimittel	15.2 °C/141 mm	
	Tage mit Schneedecke	142	
	Wärmegliederung	ziemlich rau	
	Länge der Vegetationsperiode	150–165 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (30 m Höhe)	70 %	70 % Fichte (<i>Picea abies</i>)
	Strauchschicht	3 %	–
	Krautschicht	30 %	Gemeiner Sauerklee (<i>Oxalis acetosella</i>) Gemeiner Waldfarn (<i>Athyrium filix-femina</i>) Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>) Wolliges Reitgras (<i>Calamagrostis villosa</i>) Schneeweisse Hainsimse (<i>Luzula nivea</i>)
	Moosschicht	30 %	–

Tab. A13.3

Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Somvix
 Bodenart: sL sandiger Lehm, IS lehmiger Sand, L Lehm, S Sand



Morphologisch lassen sich im Mineralboden unterhalb der organischen Auflage fünf Horizonte unterscheiden. Der Skelettgehalt wurde bis 25 cm Tiefe als schwach beurteilt. Er nimmt aber mit der Bodentiefe rasch zu. Bereits die Zone von 25 bis 100 cm ist stark skeletthaltig. Der Bereich unterhalb 100 cm Tiefe bis zur Profilsohle ist sehr stark skeletthaltig. In 0 bis 25 cm Tiefe ist der Boden matt gelblich-braun. Die örtlich etwas hellere Farbe in 5 bis 25 cm Tiefe (Abb. A13.1) weist auf eine beginnende Podsolierung hin. Von 25 bis 100 cm Tiefe ist die Farbe gelblich-braun. Spuren einer Anreicherung sind nur undeutlich und kleinflächig zu erkennen. Ab 100 cm wechselt die Farbe wieder zu matt braun. Das Ausgangsgestein ist unterhalb von 135 cm Tiefe braun. Die Feinerde entspricht bis 5 cm Tiefe einem sandigen Lehm, von 5 bis 100 cm mit weniger Ton einem lehmigem Sand und bis zur Profilsohle einem Sand. Bis 25 cm ist das Gefüge krümelig, dann folgt im Profil bis 135 cm Tiefe eine Subpolyederstruktur. Darunter schliesst ein Einzelkorngefüge an. Der Boden ist durchwegs locker gelagert, sodass im ganzen Profil keine hydromorphen Merkmale vorhanden sind.

Aufgrund der morphologischen Merkmale des Profils werden die Horizonte mit L-F-H-Ah-A(E)-B(s)-BC-C gekennzeichnet und der Boden als podsolierte Braunerde klassiert. Die Podsolierung ist morphologisch nur undeutlich erkennbar.

Ergänzende Bodenmerkmale

Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde im ganzen Profil sehr sauer. Im Boden sind keine Hindernisse für das Wurzelwachstum sichtbar. Die Durchwurzelung ist bis 25 cm Tiefe stark und nimmt mit zunehmender Profiltiefe ab.

A13.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

A13.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

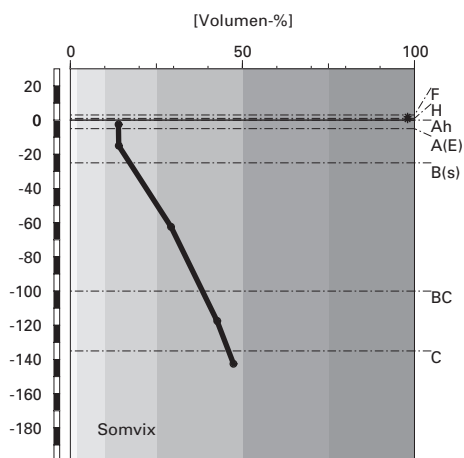
Skelettgehalt

Der grösste Teil des Profils ist stark skeletthaltig (Abb. A13.3). Nur gerade der 25 cm mächtige Oberboden ist durch einen etwas geringeren aber immer noch mittleren Skelettgehalt charakterisiert. Im Unterboden nimmt der Skelettgehalt kontinuierlich zu.

Bodenart

In der Feinerde überwiegt im gesamten Profil die Sandfraktion, wobei in 5 bis 100 cm Tiefe zusätzlich ein ansehnlicher Schluffanteil vorhanden ist

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

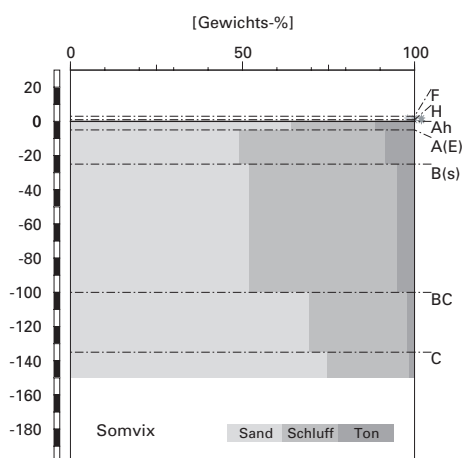


Abb. A13.3 (links) Skelettgehalt

Abb. A13.4 (rechts) Bodenart

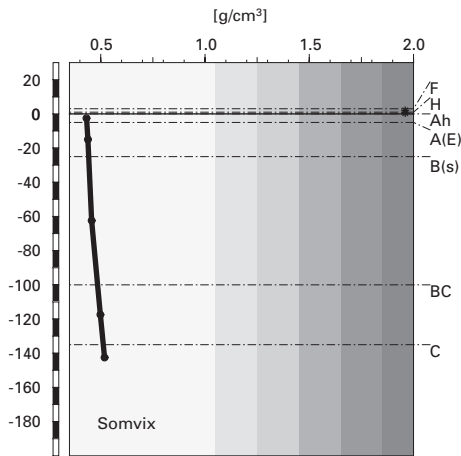
(Abb. A13.4). Im kaum verwitterten C-Horizont ist der Sandanteil mit rund 75% maximal. Der Tonanteil nimmt mit der Tiefe in Einklang mit dem Verwitterungsgrad des Bodens von 12 auf 2% ab. In Bezug auf den Tongehalt ist der Oberboden leicht bis mittelschwer, der Unterboden leicht bis sehr leicht.

Die im Bodenprofil mit der Fingerprobe ermittelte Bodenart stimmt gut mit den Werten der Laboranalyse überein. In einzelnen Horizonten wurde der Tonanteil überschätzt (Tab. A13.3).

Dichte der Feinerde

Die Feinerde ist im ganzen Profil ausserordentlich locker gelagert. Ihre Dichte beträgt im Oberboden rund 0.4 und im Unterboden etwa 0.5 g/cm³, was einem äusserst geringen Wert entspricht (Abb. A13.5). Ursachen der geringen Dichte sind der grosse Skelettanteil, der stützend wirkt sowie die deutlich ausgeprägte Struktur der Feinerde und der relativ hohe Humus-

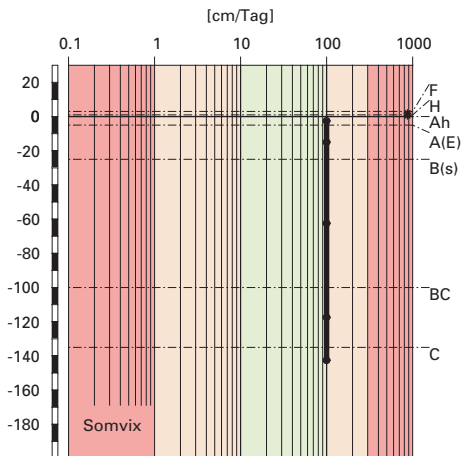
Feinerde-Dichte



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. A13.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb. A13.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

gehalt. Die mit der Feldmethode an der Profilwand geschätzten Dichtewerte bestätigen die niedrigen Laborwerte (Tab. A13.3).

Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Dieser sehr lockere und tonarme Boden ist profilumfassend hoch durchlässig (Abb. A13.6).

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe wird mit 248 l/m² als äusserst hoch klassiert (Abb. A13.7).

pflanzenverfügbares Wasser

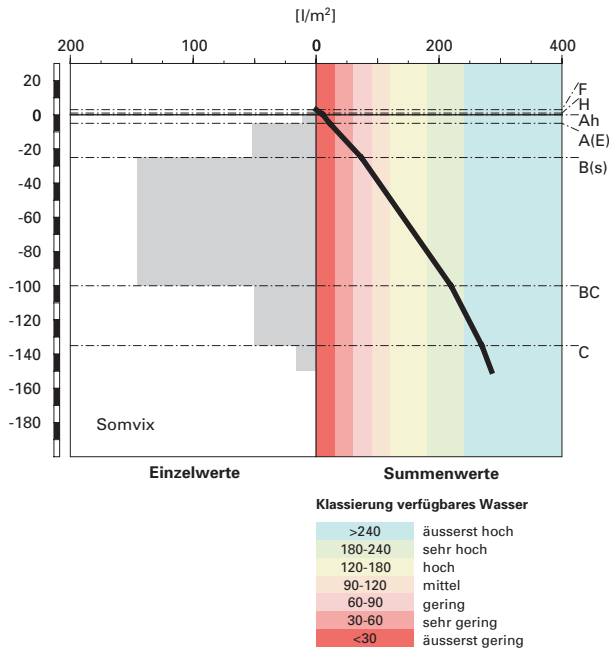


Abb. A13.7 Pflanzenverfügbares Wasser

A13.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In dieser podsolierten Braunerde sind keine Vernässungsmerkmale vorhanden, was angesichts der hohen Durchlässigkeitswerte nicht erstaunlich ist (Abb. A13.6). Gesättigte Phasen sind somit höchstens von sehr kurzer Dauer und schränken die Durchlüftung des Bodens nur unwesentlich ein.

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Der Boden kann von allen Baumarten mindestens profilumfassend durchwurzelt werden, da die Dichtewerte die kritische Grenze von 1.4 g/cm^3 nicht erreichen und die Durchlüftung in allen Horizonten stets ausreichend ist. Der Wurzelraum ist nicht eingeschränkt und wird mit >120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Der Boden wird vom aktuellen Fichtenbestand gut genutzt, denn Wurzeln sind bis zur Profilsohle (150 cm) vorhanden und dringen sicher noch tiefer in den Unterboden ein.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Bis zur Referenztiefe von 120 cm ergeben unsere Berechnungen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 30 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnen würde. Da der speicherstarke Boden sogar noch tiefer als 120 cm durchwurzelbar ist und zudem ein günstiges Klima herrscht, besteht an diesem subalpinen Fichtenstandort (EK 57) kein Risiko für Trockenstress.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden würde selbst in nassem Zustand wenig empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen reagieren, weil er ab 25 cm Tiefe stark skeletthaltig ist. Der Wald liegt jedoch an einem derart steilen Hang, dass er nicht mit schweren Maschinen befahren werden kann.

A13.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

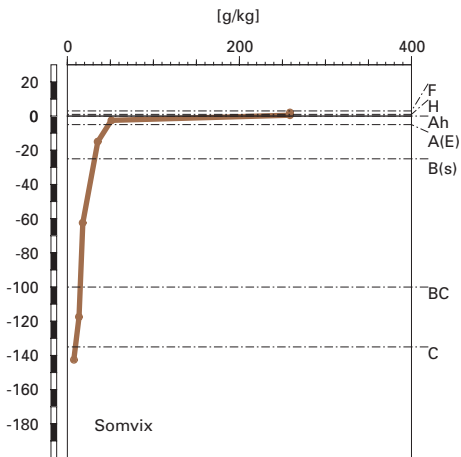
A13.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Am Profilort bei Somvix bildeten zum Zeitpunkt der Bodenprobenahme Fichten den Baumbestand, der damals 70% des Bodens überschrmmte. Die Krautschicht, welche vor allem aus gemeinem Sauerklee, gemeinem Waldfarn, Heidelbeere, wolligem Reitgras und schneeweisser Hainsimse bestand, wies einen Deckungsgrad von 30% auf. Heute fehlt der Baumbestand infolge eines Sturmereignisses und anschliessendem Käferbefall. Es hat sich eine üppige Schlagflora entwickelt (Abb. A13.1 und A13.2). Da die Bodenproben aber 1989 vor diesen Schadenereignissen entnommen wurden, besprechen wir die Bestandessituation wie sie 1989 war. Die Streu stammte vor allem von der Fichte und zu einem kleineren Teil von den Krautpflanzen und war schlecht abbaubar. Es hatten sich unter einer 2 cm dicken Streuschicht ein 2 cm mächtiger F- und ein 1 cm dicker H-Horizont gebildet.

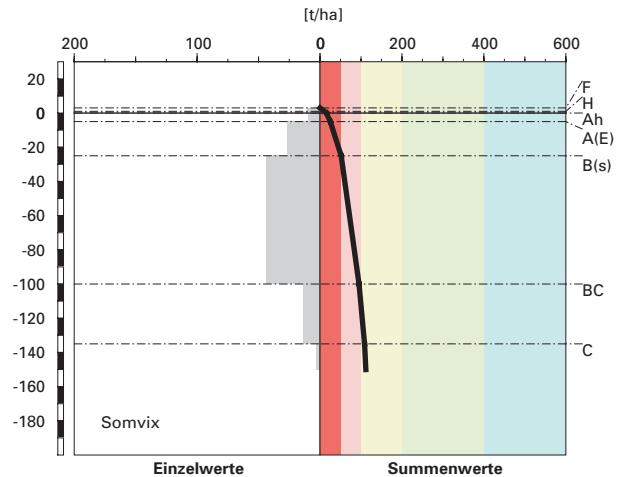
Der F- und der H-Horizont wurden als Mischprobe entnommen. Diese Mischprobe enthält entsprechend ihrer vorwiegend organischen Zusammensetzung rund 26% organischen Kohlenstoff (Abb. A13.8). Der Ah-Horizont ist etwas dunkler gefärbt als der A(E)-Horizont. Zusammen heben sie sich deutlich vom gelblich braunen Unterboden ab. Ihr Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) beträgt 5.1% bzw. 3.5%. Im B(s)-Horizont nimmt der C_{org} -Gehalt auf 1.8% und bis in den C-Horizont weiter auf 0.8% ab. Der

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})



Klassierung Vorrat

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

Abb. A13.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb. A13.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

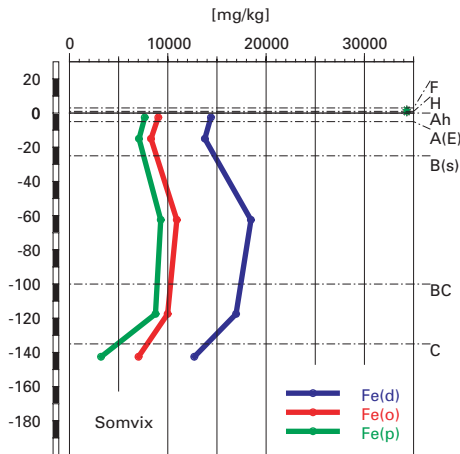
Vorrat an organischem Kohlenstoff im Mineralboden und in der organischen Auflage beträgt 112 t/ha (Abb. A13.9), wobei für die Vorratsberechnung im F- und H-Horizont eine Dichte von 0.2 g/cm³ angenommen wurde.

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt nimmt entsprechend des abnehmenden Verwitterungsgrades mit der Tiefe ab (Abb. A13.4). Das Maximum befindet sich mit rund 12% im Ah-Horizont und das Minimum liegt mit rund 2% im C-Horizont.

Die Gehalte aller drei extrahierbaren Eisenfraktionen sind über den gesamten Boden ähnlich verteilt (Abb. A13.10). Beim Dithionit-extrahierbaren Eisen (Fe_d) nimmt der Gehalt vom Ah- in den A(E)-Horizont zuerst leicht ab, bevor er bis zum Maximum im B(s)-Horizont ansteigt. Danach sinkt er auf den minimalen Wert im C-Horizont. Die Oxalat- bzw. Pyrophosphat-extrahierbaren Eisengehalte (Fe_o bzw. Fe_p) verhalten sich gleich und haben Minima und Maxima in denselben Horizonten.

Eisen-Oxide (Gehalte)



Aluminium-Oxide (Gehalte)

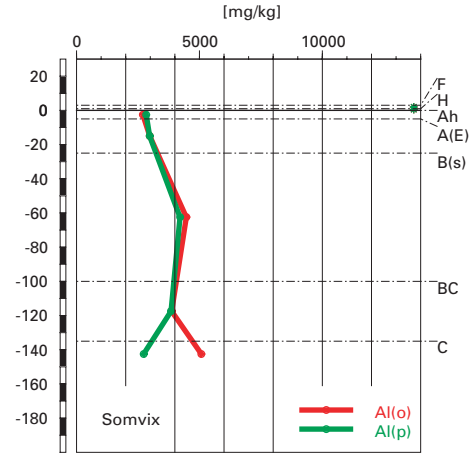


Abb. A13.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb. A13.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide (Verhältnisse)

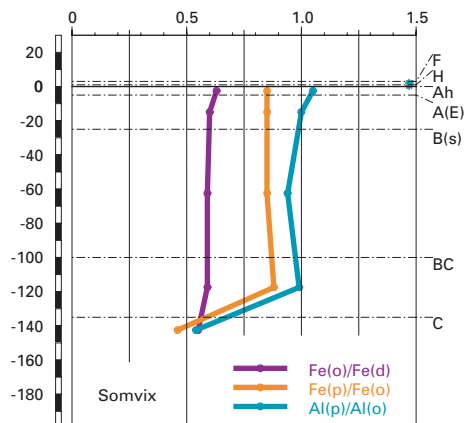


Abb. A3.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Das Oxalat-extrahierbare Aluminium (Al_o) nimmt vom Minimum im Ah-bis in den B(s)-Horizont kontinuierlich zu. Im BC-Horizont ist sein Gehalt wieder etwas kleiner und im C-Horizont findet sich das Maximum (Abb. A13.11). Das Pyrophosphat-extrahierbare Aluminium (Al_p) hat mit Ausnahme des C-Horizontes praktische identische Gehalte wie Al_o . Im C-Horizont nimmt der Al_p -Gehalt auf das Minimum ab und das Maximum befindet sich im B(s)-Horizont. Damit ist es ähnlich verteilt wie die Eisenfraktionen.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis variiert im Boden nur sehr wenig (Abb. A13.12). Es nimmt mit der Tiefe kontinuierlich von 0.63 im Ah-Horizont auf 0.55 im C-Horizont ab. Die Al_p/Al_o - bzw. Fe_p/Fe_o -Verhältnisse sind vom Ah- bis in den BC-Horizont mehr oder weniger konstant bei einem Wert von 1 bzw. 0.85 (Abb. A13.12). Im C-Horizont nehmen beide Verhältnisse markant ab.

A13.3.2 Bodenkundliche Interpretation

Zur Zeit der Profilaufnahme im Jahr 1989 wurde die Streu innerhalb eines Jahres nicht vollständig abgebaut. Unter einer Streuschicht haben sich ein 2 bzw. 1 cm mächtiger F- bzw. H-Horizont gebildet und die Humusform wurde als Rohhumus klassiert. Die Gründe für die Verzögerung im Abbau lagen an der Streuqualität, an der sehr stark sauren Feinerde im Oberboden sowie am Klima. Die Streu stammte vorwiegend von der Fichte, welche in ihren Nadeln viele phenolische Substanzen enthält und damit eine stickstoffarme Nahrung für die Bodenorganismen liefert. Das C/N-Verhältnis im F- und H-Horizont wird mit 20 als mittel klassiert und die daraus abgeleitete Mineralisierungsrate der organischen Substanz ist ebenfalls mittel. Das mittlere C/P-Verhältnis von 281 deutet eine relative Phosphorarmut an und bestätigt die mässige Streuqualität. Der sehr tiefe pH-Wert fördert das Vorkommen von Pilzen, welche die organische Substanz nur unvollständig abbauen und als Nebenprodukte organische Säuren produzieren. Das ziemlich rauhe Klima mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 5.7°C bot vor allem in einem zu 70% geschlossenen Fichtenbestand in E-Exposition relativ wenig Wärme für einen vollständigen Abbau der organischen Substanz. Heute fehlt der Baumbestand und auf der Profilphoto, welche nach den Schadenereignissen entstand, ist ersichtlich, dass die organischen Auflagehorizonte weitgehend verschwunden sind. Die erhöhte Sonneneinstrahlung und damit die lokal besseren Wärmeverhältnisse sowie die Änderung im Streueintrag und in der Streuqualität haben zu diesem beschleunigten Abbau geführt.

Im Mineralboden ist die biologische Aktivität trotz der sehr stark sauren Feinerde und dem Fehlen von Regenwürmern relativ hoch. Der Oberboden weist eine Krümelstruktur auf und das C/N-Verhältnis ist im Ah-Horizont

mit 17 mittel, was ebenfalls eine mittlere Mineralisierung der organischen Substanz nach sich zieht. Es werden allerdings nicht alle organischen Substanzen vollständig mineralisiert. Organische Säuren, welche bei den Abbauprozessen entstehen, werden aus der organischen Auflage in den Mineralboden eingewaschen. Die organische Substanz geht mit den im regionalen Vergleich relativ grossen Gehalten an Oxalat- und Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminium- und Eisenfraktionen Verbindungen ein und wird damit vor weiterer Mineralisierung geschützt. Diese metall-organischen Verbindungen werden im Boden in die Tiefe verlagert, weshalb der C_{org} -Gehalt selbst im BC-Horizont unterhalb 100 cm Tiefe noch 1.4% beträgt. Aufgrund dieser bis in grosse Tiefen vorhandenen organischen Substanz ist der Vorrat an organischem Kohlenstoff mit 112 t/ha im gesamtschweizerischen Vergleich mittel (Abb. A13.9).

Die Tiefenverteilungen der Eisenfraktionen lassen eine Verlagerung von Eisen vermuten (Abb. A13.10). Die organischen Substanzen binden auf ihrem Weg durch den Mineralboden immer mehr Aluminium und Eisen und verlagern diese Metalle in die Tiefe. Während diesem Transport nimmt das Metall/Kohlenstoff-Verhältnis zu, womit die Löslichkeit der metall-organischen Verbindungen abnimmt bis sie schliesslich ausfallen. Im Bodenprofil in Somvix erfolgt die Verlagerung von Eisen, ersichtlich aus der Tiefenverteilung von organischem Kohlenstoff und Eisenfraktionen, bis in den BC-Horizont. Das belegt das konstant grosse Fe_p/Fe_o -Verhältnis bis in diesen Horizont (Abb. A13.12), unterhalb dessen es markant abnimmt.

Auch Aluminium wird mit der organischen Substanz bis in den BC-Horizont verlagert, was die Tiefenverteilung von Al_p und das konstant grosse Al_p/Al_o -Verhältnis vom Ah- bis in den BC-Horizont belegen. Nahezu alles amorphe Aluminium ist in diesem Teil des Bodenprofils mit der organischen Substanz assoziiert. Obwohl der Gehalt an organischem Kohlenstoff im C-Horizont stark zurückgeht, nimmt der Al_o -Gehalt in diesem Horizont nochmals zu. Das kann mit einer weitergehenden Verlagerung von Aluminium in amorpher, anorganischer Form, welche bei den stark bis sehr stark sauren pH-Verhältnissen möglich ist, erklärt werden. Aluminium wird also tiefer verlagert als Eisen. Es muss sogar angenommen werden, dass es tiefer als das ausgehobene Bodenprofil verlagert wird. Die Verlagerung erfolgt zudem in grösseren Mengen als jene von Eisen, da der Verlagerungsindex von Aluminium rund 1.7 gegenüber 1.3 von Eisen beträgt. Der Verlagerungsindex wird für beide Metalle aus dem Quotienten der Oxalat-extrahierbaren Gehalte im B(s)- und im Ah-Horizont gebildet.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis ist im ganzen Bodenprofil relativ gross. Selbst im C-Horizont liegt mehr als die Hälfte der extrahierbaren Eisenverbindungen in amorpher Form vor. Der C-Horizont ist stark durch Verwitterungsproduk-

te geprägt. Wäre das Profil tiefer gegraben worden, so wäre das Fe_o/Fe_d -Verhältnis vermutlich noch kleiner geworden. Die Al- und Fe-Fractionen haben zwar mit Ausnahme von Al_o das Minimum im C-Horizont, die Differenz zum Gehalt im Ah-Horizont ist jedoch gering und damit ist ein typischer, roher C-Horizont noch nicht erreicht.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als podsolierte Braunerde klassiert. Dies kann durch die Interpretation der Bodenhauptbestandteile bestätigt werden. Die beginnende Podsolierung hat sowohl den Humus als auch die Aluminium- und Eisenverbindungen erfasst. Das Ausmass der Verlagerung ist allerdings noch gering, was durch die kleinen Verlagerungsindices von Aluminium und Eisen angedeutet wird. Es hat sich denn auch noch kein morphologisch eindeutig erkennbarer Auswaschungshorizont gebildet und der Anreicherungshorizont ist morphologisch ebenfalls schwach ausgeprägt.

A13.4 Themenbereich «Säurezustand»

A13.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

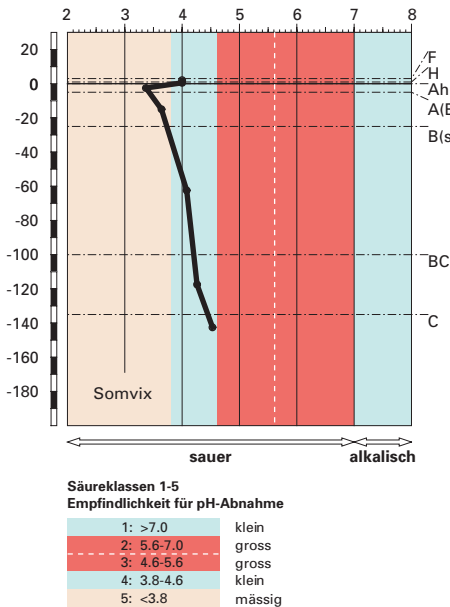
pH-Wert

In der organischen Auflage beträgt der pH-Wert 4 (Abb. A13.13). Im Mineralboden nimmt der pH-Wert vom Oberboden, der sehr stark sauer ist, mit der Tiefe stetig zu. Ab 25cm Tiefe sind alle Horizonte stark sauer. Der Ah- und der A(E)-Horizont befinden sich in der Säureklasse 5, die tiefer gelegenen Horizonte in der Säureklasse 4.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist im ganzen Mineralboden zum grössten Teil mit Aluminiumionen und Protonen belegt. Bis in 25cm Tiefe kommen ausserdem geringe Mengen Eisen in der Austauschergarnitur vor. (Abb. A13.14). Austauschbare Nährstoffkationen sind bis in den BC-Horizont nur in kaum messbaren Mengen vorhanden. Sie sind vor allem in der organischen Auflage gebunden, wo die Basensättigung rund 90% beträgt. Die meist geringe bis sehr geringe Basensättigung am Kationenaustauscher des Mineralbodens geht mit den tiefen pH-Werten einher (Abb. A13.15). Mit rund 3% ist die Basensättigung im A(E)-Horizont am kleinsten und im C-Horizont mit rund 20% am grössten.

pH-Wert (CaCl₂)



austauschbare Kationen

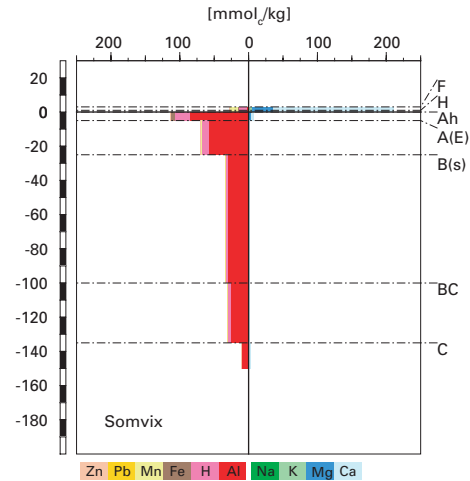


Abb. A13.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb. A13.14 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

A13.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

Diese podsolisierte Braunerde ist sehr stark versauert. Die Gesamtheit aller Austauscherplätze der Feinerde ist zu 96% mit sauren Kationen belegt. Entsprechend den Säureklassen 4 und 5 findet die Säurepufferung primär durch Auflösung von Aluminium- und Eisenverbindungen statt, was sich an der Belegung des Kationenaustauschers widerspiegelt. Durch die Säurepufferung wurden die Nährstoffkationen bis in den C-Horizont zum grössten Teil von den Austauscherplätzen verdrängt, was zu einer sehr geringen Basensättigung führte. Dementsprechend liegt die Versauerungsfront bereits tiefer als die Aufschlusstiefe. Im weniger stark verwitterten C-Horizont ist die Versauerung noch nicht ganz so weit fortgeschritten. Die sehr starke Bodenversauerung ist für Böden an solchen Standorten nicht aussergewöhnlich. Das ziemlich rauhe Klima auf 1230 m.ü.M., das basenarme Ausgangsgestein, sowie die zur Rohhumusbildung neigende Vegetation sind wohl deren Hauptursachen.

Basensättigung

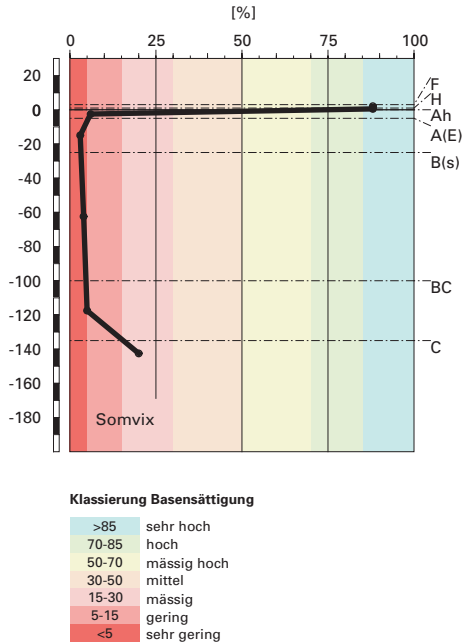


Abb. A13.15 Basensättigung

Risiko für Boden und Pflanzen

Die Empfindlichkeit für eine weitere Abnahme der pH-Werte ist insgesamt sehr klein, denn der weitaus grösste Teil der Feinerde befindet sich in der gut puffernden Säureklasse 4, in der die Säuren durch Auflösung von Aluminiumverbindungen sehr wirkungsvoll neutralisiert werden. Im Ah- und A(E)-Horizont ist die Versauerungsempfindlichkeit am grössten, weil sich die Feinerde dieser Horizonte in der nur mässig puffernden Säureklasse 5 befinden und weil aus der organischen Auflage (Rohhumus) ständig starke Säuren in den Mineralboden eingewaschen werden. Es muss deshalb davon ausgegangen werden, dass der pH-Wert in diesen Horizonten weiter abnehmen und dadurch der Abbau der organischen Substanz noch stärker verzögert wird.

Das Risiko für das Wachstum säureempfindlicher Pflanzen ist bereits im gegenwärtigen Zustand des Bodens gross. Mit Ausnahme des C-Horizontes ist das BC/Al-Verhältnis im gesamten Boden kritisch. Die Werte liegen zwischen 0.03 und 0.08 und sind somit erheblich enger als der als kritisch erachtete Grenzwert von 0.2.

A13.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Die Gehalte aller Schwermetalle mit Ausnahme von Pb variieren im entwickelten Teil des Bodens vom Ah- bis zum BC-Horizont wenig, wobei Ni überall und Cu mit Ausnahme des A(E)-Horizontes unter der Bestimmungsgrenze liegen (Abb. A13.16). Im C-Horizont ist der Ni-, Cu- und Zn-Gehalt maximal. Der Cr-Gehalt ist in diesem Horizont etwas kleiner als weiter oben. Blei ist im Ah-Horizont maximal, nimmt dann bis zum BC-Horizont ab und ist im C-Horizont wieder etwas höher.

A13.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Gneis (Lithofazies 6) liegen die Gehalte aller Schwermetalle im C-Horizont innerhalb typischer Wertebereiche.

A13.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Für den F- und H-Horizont wurden wegen ihres hohen Humusgehaltes (Abb. A13.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm^3 ; Tab. A112 in Blaser et al. 2005) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg ; Abb. A13.17), da die Dichte kleiner ist als $1 \text{ g}/\text{cm}^3$. Mangels Messwerten 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 gering. Die Gehalte an Cr und Zn sind im ganzen Mineralboden sehr niedrig bis niedrig (Abb. A13.17). Der Ni- und Cu-Gehalt sind vom Ah- bis zum BC-Horizont sehr niedrig, im C-Horizont hingegen erhöht. Der Pb-Gehalt ist im ganzen Mineralboden erhöht, mit Ausnahme des BC-Horizontes, wo er niedrig ist.

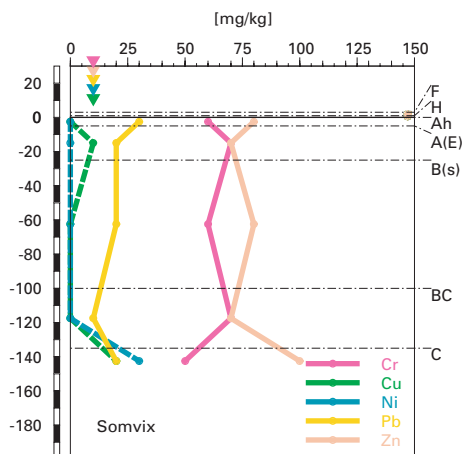
Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

A13.5.4 Anreicherungsfaktoren

Diese podsoliierte Braunerde ist im entwickelten Teil stark an Cu und Ni und etwas an Zn verarmt (Tab. A13.4). Blei ist im Ah-Horizont angereichert und im BC-Horizont abgereichert.

Die Verarmung an Ni und Zn dürfte vorwiegend durch die hohe Mobilität bei den stark bis sehr stark sauren Verhältnissen in diesem Boden verur-

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



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

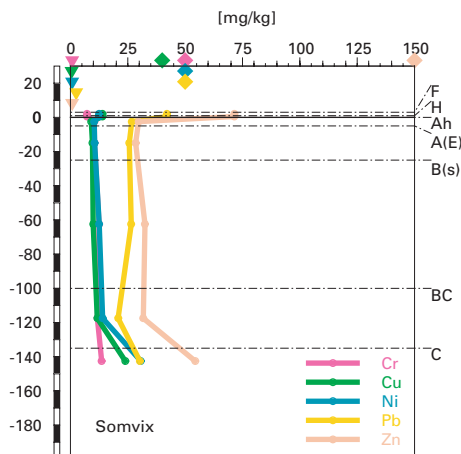


Abb. A13.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. A13.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

sacht sein. Die im Vergleich zu Ni weniger stark ausgeprägte Verarmung an Zn ist durch die Rückführung dieses Mikronährstoffes mit der Pflanzenstreu in den Oberboden erklärbar. Für die starke Verarmung des Profils an Cu ist neben den sauren Verhältnissen die Verlagerung und Auswaschung mit gelöster organischer Substanz, mit der Cu besonders stabile Komplexe bildet, verantwortlich.

Die Pb-Anreicherung im Ah-Horizont ist auf Anreicherung von anthropogenem Eintrag in der organischen Bodensubstanz zurückzuführen. Die starke Affinität dieses Schwermetalls zu gelöster organischer Substanz führte dann zur starken Verlagerung und Auswaschung aus dem Profil, die durch die Verarmung des BC-Horizontes angezeigt wird.

A13.5.5

Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

Dieser Boden ist profilumfassend stark bis sehr stark sauer (Abb. A13.13). Die Mobilität von Ni und Zn wird vom Ah- bis zum BC-Horizont als gross bis sehr gross beurteilt (Abb. A13.18). Im C-Horizont wird für diese beiden Schwermetalle nur eine mittlere Mobilität geschätzt. In der organischen

Schwermetallmobilität

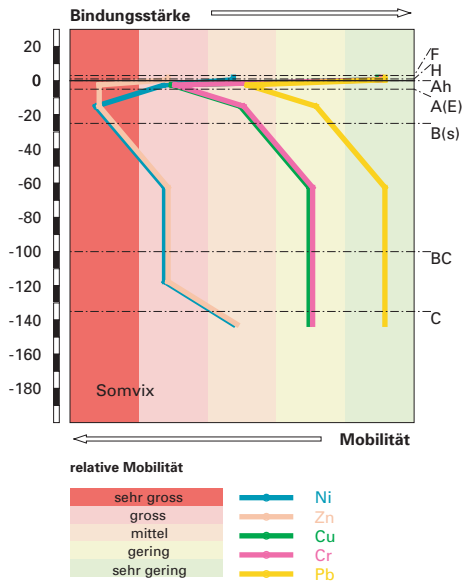


Abb. A13.18 Mobilität der Schwermetalle

Auflage ist die Mobilität von Zn gross, diejenige von Ni mittel. Der hohe Gehalt an organischer Substanz erniedrigt dabei die Ni-Mobilität. Sehr stark erniedrigt durch die organische Substanz wird in der Auflage auch die Mobilität von Cr, Cu und Pb. Sie wird dort als sehr gering beurteilt. Im mineralischen Oberboden ist die pH-bedingte Mobilität von Cr und Cu mittel bis gross, im Unterboden gering. Die Mobilität von Pb ist im Oberboden gering bis mittel, im Unterboden sehr gering. Im ganzen entwickelten Teil des Bodens wird bei den Schätzungen für Cr, Cu und Pb die auf dem pH-Wert basierende Mobilität durch die hohen Gehalte an organischer Substanz (Abb. A13.8) verringert. Die Anreicherungsfaktoren (Tab. A13.4) legen nahe, dass die effektive Mobilität der Schwermetalle, insbesondere diejenige von Cu und Pb, durch Komplexbildung und Verlagerung mit gelöster organischer Substanz vergrössert wird.

Infolge der sauren Verhältnisse und der Verlagerungen mit gelöster organischer Substanz besteht eine Gefahr, dass das Grundwasser durch Auswaschung mit allen Schwermetallen belastet wird.

Tab. A13.4**Anreicherungsfaktoren**

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0– 5	1.31	<0.55	<0.37	1.64	0.88
A(E)	5– 25	1.29	0.46	<0.31	0.92	0.64
B(s)	25–100	1.15	<0.48	<0.32	0.96	0.77
BC	100–135	1.29	<0.46	<0.31	0.46	0.64
C	> 135	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

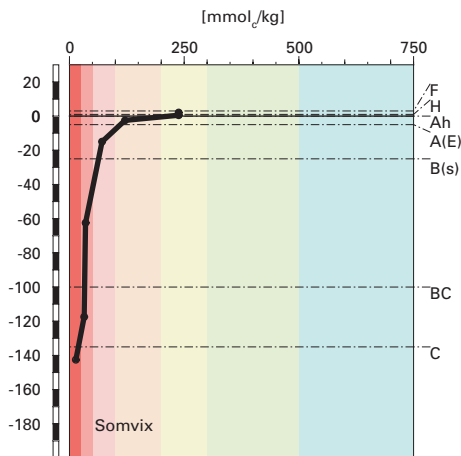
A13.5.6**Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen**

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

A13.6**Themenbereich «Nährstoffe»****A13.6.1****Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden**

Der rund 5 cm mächtige Rohhumus macht deutlich, dass die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden infolge gehemmter Umsetzungsprozesse der organischen Substanz ungünstig ist. Allerdings wurde bis in 25 cm Tiefe eine Krümelstruktur beobachtet, was auf eine rege Aktivität der Bodenfauna schließen lässt. Auch das mittlere C/N-Verhältnis von 20 im F- und H-Horizont, das charakteristisch für eine Übergangshumusform von Mull zu Moder ist, lässt vermuten, dass die Mineralisierung der organischen Substanz besser ist, als dies die organische Auflage (Rohhumus) vermuten lässt. Dies ist jedoch eine Folge der durch die Schadenereignisse verursachten Auflichtung des Bestandes, welche die Licht- und Wärmeverhältnisse an der Bodenoberfläche stark verbesserte. Die Nährstoffverfügbarkeit wird deshalb aufgrund des früher beobachteten Rohhumus etwas zu pessimistisch beurteilt. Die Rohhumusbildung war vermutlich eine Folge der sehr stark sauren pH-Verhältnisse im Oberboden sowie des ehemals dichten Fichtenbestandes, der eine nur wenig üppige Krautschicht mit leicht abbaubarer Streu aufkommen lässt. Heute hingegen sind die Verhältnisse ganz anders.

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)

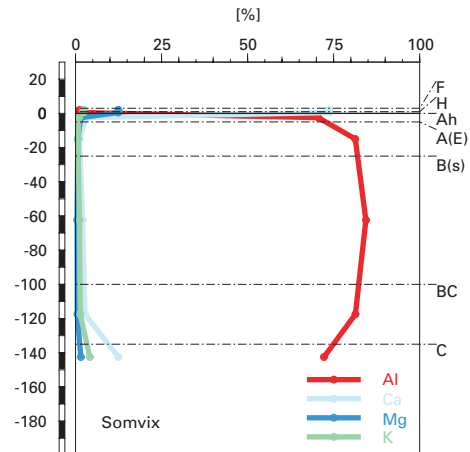


Abb. A13.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. A13.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

A13.6.2 Nährstoffgehalte

In der organischen Auflage ist die Kationenaustauschkapazität hoch und die Austauscherplätze sind zu rund 90% mit Nährstoffkationen belegt. Die mittlere Kationenaustauschkapazität im Ah-Horizont nimmt im Tiefenverlauf stetig ab (Abb. A13.19). In den B-Horizonten ist sie gering und im C-Horizont in 135 cm Tiefe fällt sie in die Klasse sehr gering. Die Austauscherplätze sind im ganzen Boden zum weitaus grössten Teil mit Aluminium belegt (Abb. A13.20). Die kleinsten Anteile in der Grössenordnung von 70% wurden im nur 5 cm mächtigen Ah- sowie im C-Horizont gemessen, wo der Anteil an austauschbarem Kalzium leicht erhöht ist. In allen anderen Bodentiefen ändert die Austauscherbelegung praktisch nicht.

Diese stark bis sehr stark saure podsolierte Braunerde, die überdies sehr viel Skelett enthält, ist insgesamt arm an Nährstoffen. Mit zunehmender Bodentiefe nimmt nur der Kaliumvorrat leicht, aber unwesentlich zu (Abb. A13.21 bis A13.23). Die Vorratsbeurteilung für den Hauptwurzelaum bis 60 cm Tiefe lautet:

- Ca gering
- Mg sehr gering
- K sehr gering

Obschon der Boden mindestens bis zur Aufschlusstiefe in 150 cm durchwurzelbar ist, ändert sich an dieser Vorratsbeurteilung unter Berücksichtigung der gesamten Aufschlusstiefe nichts, denn der Boden ist sehr skelettreich und die Kationenaustauschkapazität der Feinerde sowie die Belegung des Kationenaustauschers mit Nährstoffen sind sehr gering. Am Profilort herrscht kein Risiko für Trockenstress, so dass die Nutzung dieser geringen bis sehr geringen Vorräte durch die Pflanzen während der gesamten Vegetationsperiode uneingeschränkt möglich ist.

Kalzium-Vorrat

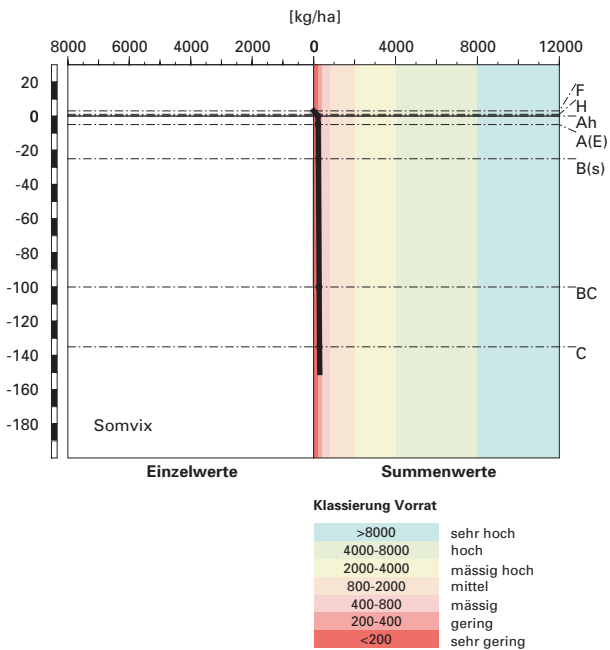


Abb. A13.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

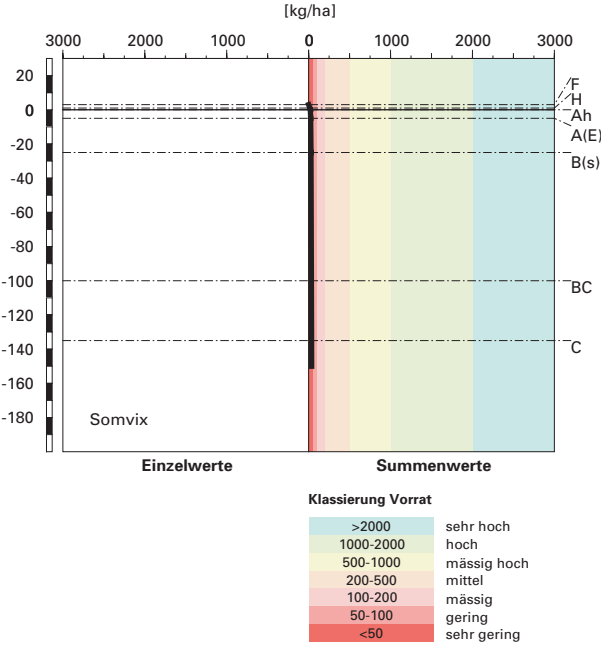


Abb. A13.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

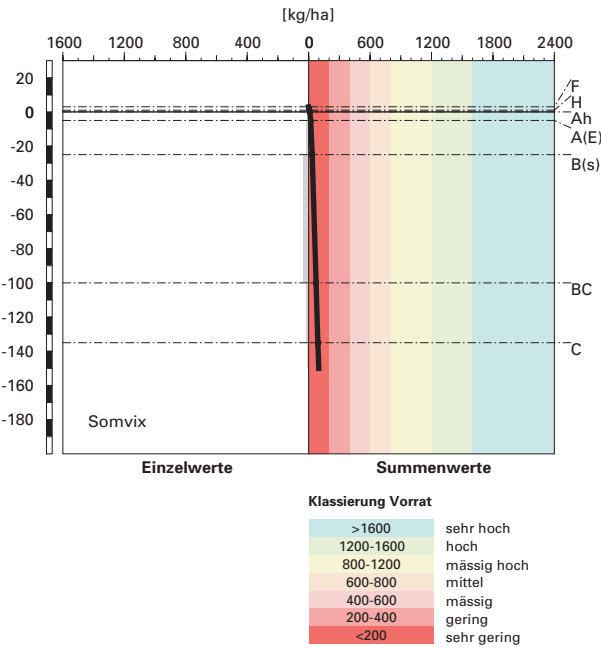


Abb. A13.23 Vorrat an Kalium

A13.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

A13.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. A13.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

A13.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

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

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

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

A13.7.3 Baumartenempfehlung

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

Tab. A13.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Somvix)**Standortangaben**

Relief	Höhe	1230 m
	Exposition	E
	Neigung	92%
Klima	Jahresniederschlag	1438 mm
	Jahrestemperatur	5.7°C
Ausgangsgestein	Gneis	
Baumbestand	Struktur	mehrheitlich einschichtig
	Schlussgrad	70%
	Baumarten (Deckung)	70% Fichte
	Oberhöhe	30 m
Waldgesellschaft	nach E&K 1972	Nr.57: Torfmoos-Fichtenwald mit Landschilf
	nach BUWAL 2005	Nr.57V: Alpenlattich-Fichtenwald mit Heidelbeere

Bodenkennwerte

Bodensystematik	Bodentyp	Braunerde, podsoliert
	Humusform	Rohhumus
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Die im Boden fehlenden Vernässungsmerkmale sind ein Hinweis auf eine stets gute Durchlüftung.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden kann von allen Baumarten mindestens profilumfassend durchwurzelt werden. 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 kein Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Der Boden ist profilumfassend stark bis sehr stark sauer. Das Ausgangsgestein ist karbonatfrei.
	Aluminium-Toxizität	Im Mineralboden besteht bis 135 cm Tiefe ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Die Humusform Rohhumus weist auf eine niedrige Mineralisierungsrate hin, was im Widerspruch zum mittleren C/N-Verhältnis in der organischen Auflage steht. Auch das mittlere C/P-Verhältnis in der organischen Auflage lässt auf eine nicht allzu schlechte biologische Aktivität schliessen. Sie wird gesamthaft als mittel bis niedrig klassiert.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen sind bescheiden. Der Ca-Vorrat ist gering, jener von Mg und K sehr gering.
Verankerung		Da der Boden sehr tiefgründig ist, wird die Verankerung des Baumbestandes als gut bewertet.
Befahrbarkeit		Der Boden würde selbst in nassem Zustand wenig empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen reagieren, weil er ab 25 cm Tiefe stark skeletthaltig ist. Der Wald liegt jedoch an einem derart steilen Hang, dass er nicht mit schweren Maschinen befahren werden kann.

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.
