

A15 Bodenprofil Obersaxen

A15.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

A15.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Das Bodenprofil ist in [Abb.A15.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.A15.2](#). [Tab.A15.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Obersaxen zusammen und [Tab.A15.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

A15.1.2 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.

A15.1.3 Besonderheiten am Profilort

An der Bodenoberfläche ([Abb.A15.2](#)) sind an diesem Profilort grobe Felsblöcke zu erkennen. Dementsprechend variiert die Gründigkeit des Bodens zwischen und über den Blöcken kleinräumig sehr stark.

A15.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.A15.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

An diesem Standort sind eine Streuauflage, ein Fermentations- und ein Humusstoffhorizont vorhanden. Der Streueintrag besteht aus Fichtennadeln, aber auch aus Rückständen von der Kraut- und der Moosschicht. Der Abbau der Vegetationsrückstände ist gehemmt. Mit der Horizontfolge L-F-H-AE1 wird die Humusform als Rohhumus klassiert.



Abb. A15.1 (links) Bodenprofil Obersaxen

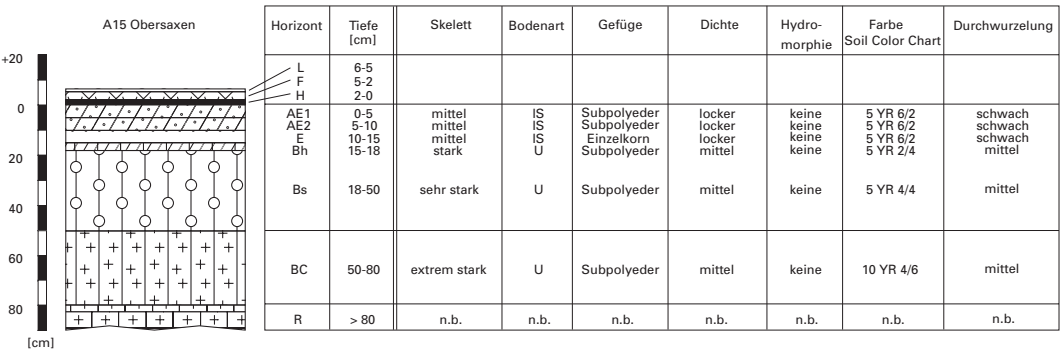
Abb. A15.2 (rechts) Bestand am Profilort Obersaxen

Tab. A15.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Obersaxen	
Lokalname	Hornwald (Kanton Graubünden, Gemeinde Obersaxen)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1213, Trun Koordinaten 722000/177000
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972)	Nr. 55: Ehrenpreis-Fichtenwald (<i>Veronica latifoliae-Piceetum</i>)
Horizontfolge	L-F-H-AE1-AE2-E-Bh-Bs-BC-R
Humusform	Rohhumus
Bodentyp	Eisen-Humuspodsol
Bodentyp nach FAO (1988)	Hapilc Podzol

Tab. A15.2 Bodenbildungsfaktoren am Profilort Obersaxen			
Relief	Höhe ü. M.	1544 m	
	Exposition	NNW	
	Neigung	40 %	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Helvetikum; Moräne aus Gneisen und kalkfreien Schiefern	
	Lithofazies	Nr.29: Moräneablagerungen (grobklastisch)	
	(nach Tuchschnid 1995)	physikalische Verwitterbarkeit Gestein:	variabel
		chemische Verwitterbarkeit Gestein:	variabel
Klima	Tongehalt Gestein:	sehr niedrig – mittel	
	T/N Jahresmittel	3.4 °C/1501 mm	
	T/N Januarmittel	– 5.1 °C/94 mm	
	T/N Julimittel	12.9 °C/150 mm	
	Tage mit Schneedecke	169	
	Wärmegliederung	sehr rau	
Pflanzen	Länge der Vegetationsperiode	120 – 135 Tage	
	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (25 m Höhe)	20 %	20 % Fichte (<i>Picea abies</i>)
	Strauchschicht	1 %	–
	Krautschicht	35 %	Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>) Drahtschmiele (<i>Avenella flexuosa</i>) Wald-Weidenröschen (<i>Epilobium angustifolium</i>)
	Mooschicht	50 %	–

Tab. A15.3

Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Obersaxen
 Bodenart: IS lehmiger Sand, U Schluff; n.b. nicht bestimmt



Morphologisch können im Mineralboden sechs Horizonte unterschieden werden. Da der Bereich zwischen 0 und 10 cm in zwei Tiefen beprobt wurde (AE1 und AE2), ergeben sich im Mineralboden insgesamt sieben Horizonte. In den obersten 10 cm ist der Boden gräulich-braun gefärbt. Die fahleren Farbtöne zwischen 10 und 15 cm Tiefe (Abb. A15.1) kommen durch Auswaschung von Eisen und organischer Substanz zustande. In Tab. A15.3 wurde die hellere Farbe zwischen 10 und 15 cm Tiefe nicht speziell bezeichnet, da der Auswaschungsbereich im Bodenprofil sich insgesamt über die obersten 15 cm erstreckt und die Farbe nur in Nuancen und allmählich heller wird. In 15–18 cm Tiefe ist der Boden von eingewaschenem Humus sehr dunkel rötlich-braun gefärbt. Zwischen 18 und 50 cm Tiefe wird die Farbe deutlich matt rötlich-braun, ein Hinweis auf Sesquioxidanreicherung. Ab 50 cm Tiefe ist die Feinerde braun bis matt gelblich-braun. Der Skelettgehalt ist im Oberboden und im Auswaschungsbereich bis 15 cm Tiefe mittel und nimmt bis zur Aufschlusstiefe stark zu. Die Bodenart entspricht bis 15 cm Tiefe einem lehmigen Sand, darunter bis zum Fels einem Schluff. Die Feinerde hat profilumfassend eine Subpolyederstruktur. Eine Ausnahme stellt einzig das Einzelkorngefüge der Auswaschungszone in 10–15 cm Tiefe dar. Der Boden ist bis 15 cm locker, darunter mittel dicht gelagert. Im ganzen Profil sind keine hydromorphen Merkmale zu erkennen.

Die Horizonte werden mit L-F-H-AE1-AE2-E-Bh-Bs-BC-R gekennzeichnet und der Boden als Eisen-Humuspodsol klassiert.

Ergänzende Bodenmerkmale

Alle Horizonte sind gemäss pH-Hellige sehr sauer. Die Durchwurzelung ist bis 15 cm Tiefe schwach und von 15–80 cm Tiefe mittel. In 80 cm Tiefe begrenzt ein Felsblock den Wurzelraum

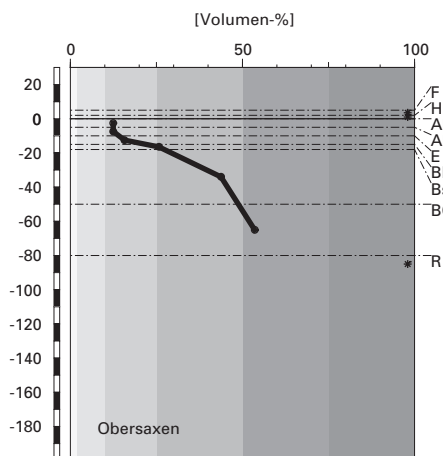
A15.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

A15.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

Skelettgehalt

Die Gründigkeit des Bodens ist durch einen Gesteinsblock in rund 80 cm Tiefe begrenzt. Das Bestandesphoto (Abb. A15.2) zeigt, dass vielerorts grobe Felsblöcke vorhanden sind, die dazu führen, dass die Gründigkeit des Bodens kleinräumig variiert. Über dem felsigen Untergrund nimmt der Skelettgehalt bis in den Oberboden markant ab, so dass die obersten Horizonte nur noch einen mittleren Skelettgehalt aufweisen (Abb. A15.3).

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

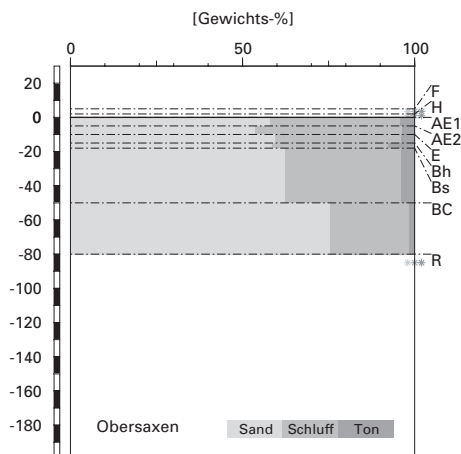


Abb. A15.3 (links) Skelettgehalt

Abb. A15.4 (rechts) Bodenart

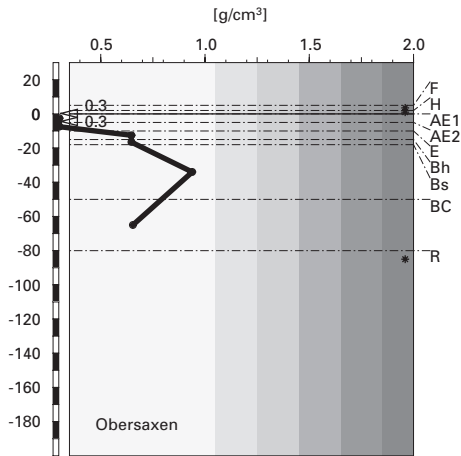
Bodenart

In der Feinerde überwiegt die Sandfraktion mit Anteilen von 58 bis 76% ganz deutlich (Abb. A15.4). Die Feinerde wird mit zunehmender Profiltiefe grobkörniger, was gut mit dem Verwitterungszustand des Bodens übereinstimmt. Der wenig verwitterte BC-Horizont enthält am wenigsten Ton und Schluff. Gemessen am Tongehalt handelt es sich mit Ausnahme des Bh-Horizontes um sehr leichten Boden. Im Bh-Horizont scheint neben organischer Substanz auch Ton angereichert zu sein. Feld- und Laborbestimmung der Bodenart differieren vor allem unterhalb 15 cm Tiefe, wo der Schluffanteil überschätzt wurde (Tab. A15.3).

Dichte der Feinerde

Die Dichte der Feinerde ist im gesamten Profil kleiner als 0.94 g/cm^3 (Abb. A15.5) und damit äusserst gering. Bei der morphologischen Beschreibung des Bodenprofils wurde die Dichte in den untersten Horizonten etwas überschätzt (Tab. A15.3).

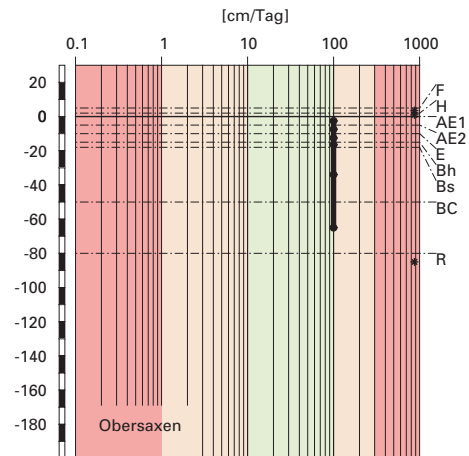
Feinerde-Dichte



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. A15.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb. A15.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Alle Horizonte dieses sehr lockeren und tonarmen Bodens sind bis zum Felsblock im Untergrund hoch durchlässig (Abb. A15.6). Das Sickerwasser fliesst auf dem Felsblock lateral ab.

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität bis 80 cm Tiefe beträgt 130 l/m². Damit wird die speicherbare Wassermenge als hoch klassiert (Abb. A15.7). Die begrenzte Gründigkeit des Profils und der grosse Skelettgehalt im Unterboden wirken sich negativ auf das Speichervermögen aus.

pflanzenverfügbares Wasser

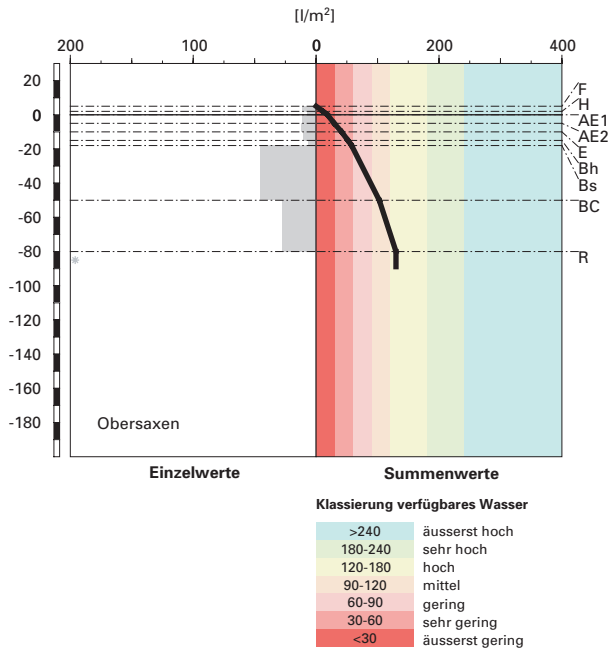


Abb. A15.7 Pflanzenverfügbares Wasser

A15.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Dieser Eisen-Humuspodsol ist so stark durchlässig (Abb. A15.6), dass keine Vernässungsmerkmale vorkommen. Der Felsblock im Untergrund leitet das Sickerwasser anscheinend zügig ab, so dass es im Boden nicht zu einem Wasserstau kommt. Phasen mit Wassersättigung treten demnach höchstens für kurze Zeit auf.

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Der Felsblock an der Profilssole begrenzt den Wurzelraum für alle Pflanzen. Mit 80 cm Mächtigkeit wird der Boden aber dennoch als tiefgründig klassiert. Bis 80 cm Tiefe können die Wurzeln aus physikalischer Sicht jedoch ungehindert wachsen, weil der Boden sehr locker und die Durchlüftung stets ausreichend ist. Baumwurzeln sind bis zur Profilssole vorhanden. Wie

tief die Bäume die zwischen den Felsblöcken vorhandenen Spalten durchwurzeln, ist nicht bekannt.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Nach unseren Berechnungen, welche sich auf einen Wurzelraum von 80 cm Mächtigkeit beziehen, beginnt der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 15 Tagen an Wassermangel zu leiden. Da die Bäume diesen heterogenen Boden stellenweise tiefer als 80 cm durchwurzeln und ein günstiges Klima herrscht, beurteilen wir das Risiko für Trockenstress an diesem subalpinen Fichtenstandort (EK55) trotz der limitierten Speicherleistung des Bodens als klein.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert selbst in nassem Zustand wenig empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er ab rund 20 cm Tiefe viel Skelett enthält. Mit 40 % Hangneigung befindet sich der Waldbestand allerdings an der Grenze der Befahrbarkeit mit grossen Maschinen. Zudem ist die Befahrbarkeit durch die zahlreich anstehenden Felsblöcke stark eingeschränkt.

A15.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

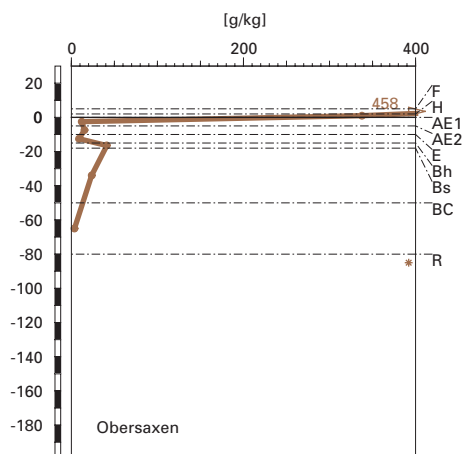
A15.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Der Baumbestand setzt sich aus Fichten zusammen. Sie decken den Boden nur zu 20 % ab, so dass viel Licht für das Gedeihen einer Krautschicht und einer Mooschicht mit Deckungsgraden von 35 % bzw. 50 % vorhanden ist. Die Krautschicht besteht vor allem aus Heidelbeere, Drahtschmiele und Wald-Weidenröschen, welche zusammen mit den Rückständen aus der Moos- und Baumschicht eine schlecht abbaubare Streu liefern. Unter der Streuschicht haben sich deshalb ein 3 bzw. 2 cm mächtiger F- bzw. H-Horizont gebildet.

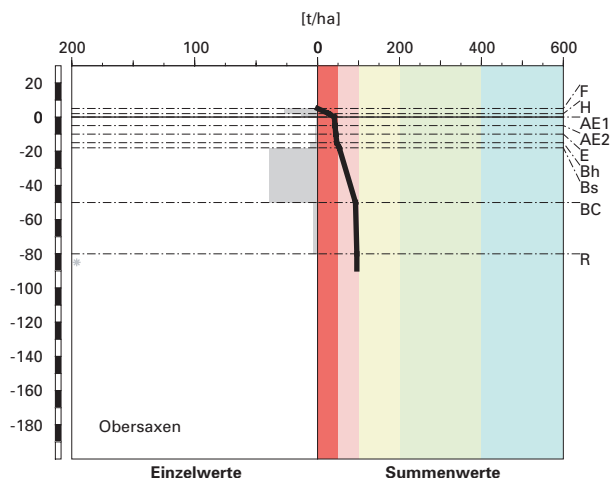
Der F- bzw. H-Horizont enthält entsprechend seiner vorwiegend organischen Zusammensetzung einen Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) von 46 % bzw. 34 % (Abb. A15.8). Die gräulich-braun gefärbten Oberbodenhorizonte und der E-Horizont weisen nur zwischen 0.9 und 1.5 % organischen Kohlenstoff auf. Im Bh-Horizont steigt der C_{org} -Gehalt auf den im Mineralboden maximalen Wert von 4.1 % an und nimmt bis in den BC-Horizont wieder kontinuierlich auf 0.4 % ab. Aus diesen C_{org} -Gehalten ergibt sich

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})



Klassierung Vorrat

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

Abb. A15.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb. A15.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

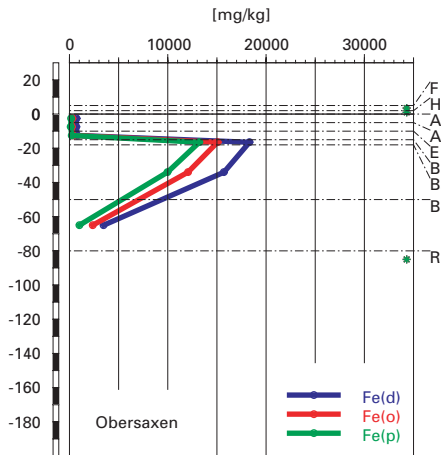
ein Vorrat an organischem Kohlenstoff in den Auflage- und Mineralerde-horizonten von 96 t/ha (Abb. A15.9), wobei für die Vorratsberechnung im F- und H-Horizont eine Dichte von 0,2 g/cm³ angenommen wurde.

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt besitzt im Bh-Horizont mit 7,6% das Maximum (Abb. A15.4). In den darüber liegenden Horizonten und im Bs-Horizont beträgt der Tongehalt rund 4% und im BC-Horizont noch rund 1,5%.

Die extrahierbaren Eisenverbindungen weisen alle eine ähnliche Verteilung ihrer Gehalte über die Bodenprofilltiefe auf (Abb. A15.10). Die obersten drei Horizonte haben konstante, im regionalen Vergleich jedoch die absolut kleinsten Dithionit-extrahierbaren Eisengehalte (Fe_d) von unter 1 g/kg. Im Bh-Horizont erfolgt eine sprunghafte Zunahme von Fe_d auf das Maximum von über 18 g/kg. In den tiefer gelegenen Horizonten nimmt Fe_d wieder ab und erreicht im BC-Horizont einen Gehalt von 3 g/kg. Die Oxalat- bzw.

Eisen-Oxide (Gehalte)



Aluminium-Oxide (Gehalte)

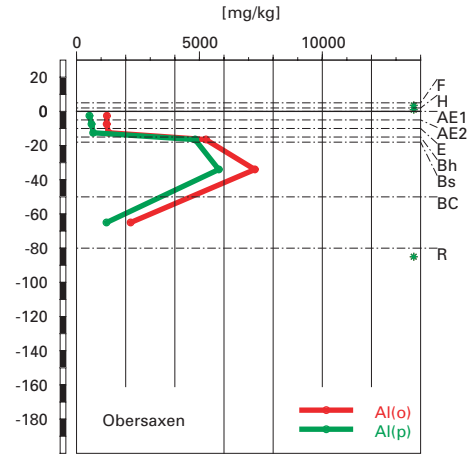


Abb. A15.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb. A15.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide (Verhältnisse)

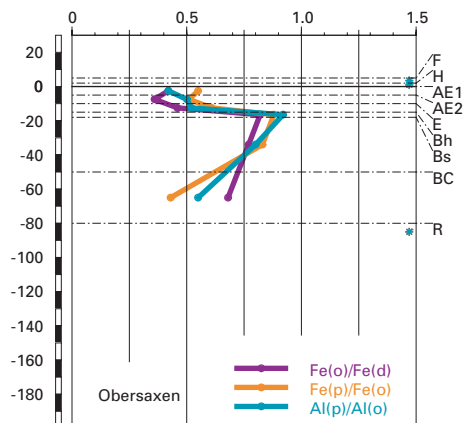


Abb. A15.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Pyrophosphat-extrahierbaren Eisengehalte (Fe_o bzw. Fe_p) haben ähnliche Tiefenverteilungen mit Minima im AE2- und Maxima im Bh-Horizont. Die maximalen Gehalte nehmen in der Reihenfolge Fe_d , Fe_o und Fe_p ab (Abb. A15.10).

Auch die Tiefenverteilungen von Oxalat- bzw. Pyrophosphat-extrahierbarem Aluminium (Al_o bzw. Al_p) sind einander sehr ähnlich (Abb. A15.11). Aluminium hat ähnlich wie Eisen in den obersten drei Horizonten minimale, sehr geringe Gehalte. Bis zum Maximum im Bs-Horizont erfolgt eine starke Zunahme, wobei die Gehalte im Bh-Horizont nur geringfügig kleiner sind als jene im Bs-Horizont. Die Abnahme vom Bs- in den BC-Horizont ist beinahe so stark wie die Zunahme im oberen Profilteil.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis ist im AE2-Horizont mit 0.35 minimal, nimmt bis in den Bh-Horizont auf über 0.8 zu und von da erfolgt eine lineare Abnahme auf 0.7 im BC-Horizont (Abb. A15.12). Das Fe_p/Fe_o -Verhältnis hat im AE2-Horizont mit 0.5 ein erstes Minimum, nimmt bis in den Bh-Horizont auf das Maximum von rund 0.9 zu und bis in den BC-Horizont auf das absolute Minimum von 0.4 wieder ab. Beim Al_p/Al_o -Verhältnis befinden sich das Minimum im AE1-Horizont und das Maximum im Bh-Horizont. In den tiefer gelegenen Horizonten nimmt das Verhältnis bis auf 0.55 im BC-Horizont ab.

A15.3.2 Bodenkundliche Interpretation

Am Profilort bei Obersaxen wird die Streu innerhalb eines Jahres nicht vollständig abgebaut. Unter einer Streuschicht haben sich ein 3 cm mächtiger F-Horizont und ein 2 cm dicker H-Horizont gebildet. Die Humusform wird als Rohhumus bezeichnet. Die Gründe für den verzögerten Abbau liegen in der Streuqualität, im Klima sowie in den sehr stark sauren pH-Verhältnissen in der organischen Auflage und den obersten 18 cm des Mineralbodens. Die Streu stammt von der Fichte, von verschiedenen krautigen Pflanzen sowie von den Moosen. Sie ist schwer abbaubar, da sie aufgrund ihrer artspezifischen Zusammensetzung viele phenolische Substanzen und wenig Stickstoff enthält und damit keine attraktive Nahrung für die Bodenorganismen darstellt. Das C/N-Verhältnis im F- bzw. H-Horizont ist mit 24 bzw. 27 mässig weit bzw. weit, womit die Mineralisierungsrate der organischen Substanz als niedrig angenommen wird. Auch das mässig weite bzw. sehr weite C/P-Verhältnis von 429 bzw. 1257 im F- bzw. H-Horizont bestätigt die schlechte Streuqualität. Zudem sind die Wärmeverhältnisse beim sehr rauhen Klima mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 3.4°C für die biologische Aktivität limitierend und die sehr stark sauren pH-Verhältnisse fördern die Pilze unter den Bodenorganismen, welche die organische

Substanz nur unvollständig abbauen. Dadurch entstehen starke organische Säuren als Nebenprodukte des unvollständigen Abbaus, die mit dem Regenwasser in den Mineralboden einsickern.

Im mineralischen Oberboden ist das C/N-Verhältnis mit 17 bzw. 18 etwas enger, aber die biologische Aktivität ist aufgrund der Subpolyederstruktur und dem sehr tiefen pH-Wert von 2.9 vermutlich gering. Somit wird nur ein kleiner Teil der organischen Substanz mineralisiert. Der grössere Teil wird in gelöster Form in die Tiefe verlagert. Auf ihrem Weg durch den Mineralboden gehen diese gelösten organischen Substanzen Verbindungen mit Eisen und Aluminium ein. Je mehr sie davon binden, desto grösser wird das Metall/Kohlenstoff-Verhältnis und desto kleiner die Löslichkeit der metall-organischen Verbindung. Ist die Löslichkeit zu gering, fallen die organischen Substanzen aus und reichern sich an. Das geschieht bevorzugt im Bh- und Bs-Horizont, was aus der Tiefenverteilung des organischen Kohlenstoffes (Abb. A15.8) ersichtlich ist. Durch die metall-organischen Verbindungen ist die organische Substanz vor weiterem Abbau geschützt. Sie wandelt sich zudem unter dem katalytischen Einfluss von Eisenoxiden in stärker polymerisierte Substanzen um. Das sind häufig Al- und Fe-Fulvate bzw. -Humate. Diese Polymerisation widerspiegelt sich im C/N-Verhältnis, welches in den Anreicherungshorizonten mit Werten von 23 bis 24 grösser ist als im Oberboden, wo die Werte lediglich 13 bis 18 betragen.

Trotz der geringen Mineralisierung der organischen Substanz und deren Stabilisierung durch Aluminium und Eisen hat sich im Boden ein im gesamtschweizerischen Vergleich nur knapp mittlerer Vorrat an organischem Kohlenstoff von 96 t/ha aufgebaut (Abb. A15.9). Der Grund für den nur mittleren Vorrat dürfte in der geringen Biomasseproduktion, im sehr rauen Klima auf 1544 m.ü.M. und im lückigen Baumbestand mit einem Deckungsgrad von bloss 20% liegen.

Der Tongehalt ist in allen Horizonten klein und nimmt entsprechend dem Verwitterungsgrad mit der Tiefe ab (Abb. A15.4). Der Tongehalt der Gneise ist natürlicherweise sehr niedrig und der Gehalt von 1.5% im BC-Horizont dürfte dem entsprechen, was das verwitternde Gestein der Feinerde vererbt. Der relativ hohe Wert von 7.6% im Bh-Horizont kann nicht mit Verlagerung erklärt werden, denn bei den stark bis sehr stark sauren pH-Verhältnissen findet keine Tonverlagerung statt. Es könnte allenfalls die noch sichtbare Anreicherungszone einer ehemaligen Tonverlagerung sein. Bei den aktuellen pH-Werten findet allerdings eine Tonzerstörung statt, welche solche Spuren allmählich verwischt.

Aluminium und Eisen werden von gelöster organischer Substanz gebunden und in die Tiefe verlagert. Bei Eisen erfolgt diese Verlagerung bis in den Bh- und Bs-Horizont, wobei alle Eisenfraktionen den maximalen Gehalt

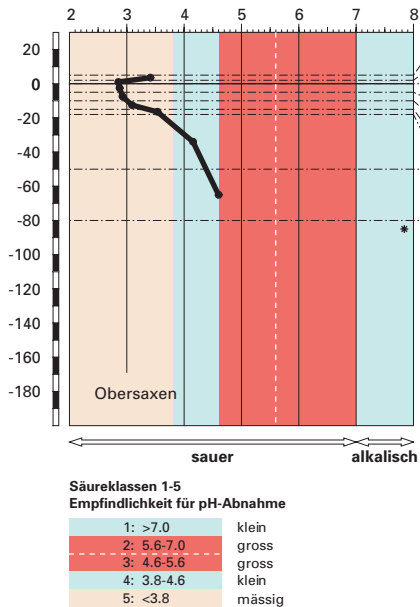
im Bh-Horizont haben. Der Verlagerungsindex für Fe_o , gebildet aus dem Quotienten von Fe_o im Bh- und im AE2-Horizont, beträgt rund 60. Auch Aluminium wird bis in den Bh- und Bs-Horizont verlagert, allerdings beträgt sein Verlagerungsindex nur rund 6 (Quotient aus Al_o im Bs- und im AE2-Horizont). Aluminium wird zwar aufgrund seines maximalen Gehaltes im Bs-Horizont tiefer verlagert als Eisen aber aufgrund des Verlagerungsindexes scheinbar in geringeren Mengen. Dies ist nur scheinbar der Fall, weil Aluminium bei pH-Werten < 5 in anorganischer Form in Lösung geht und verlagert wird. Da der pH-Wert bis in den BC-Horizont im stark sauren Bereich liegt, muss davon ausgegangen werden, dass Aluminium aus der erschlossenen Profiltiefe ausgewaschen wird, was den Verlagerungsindex insgesamt reduziert. Eisen hingegen wird erst bei pH-Werten < 3.8 in anorganischer Form gelöst und verlagert. Diese Prozesse sind aufgrund des pH-Wertes nur bis 18 cm Tiefe zu erwarten. Da der pH-Wert im Bs-Horizont 4.2 beträgt, ist eine tiefere Verlagerung ohne organische Substanz nicht möglich.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis ist in den Auswaschungshorizonten am kleinsten, da hier die amorphen Verbindungen ausgewaschen werden und somit der Anteil der amorphen Fraktionen am Dithionit-extrahierbaren Eisen am kleinsten ist. Im Bh- und Bs-Horizont ist er maximal, da in diesen Horizonten die verlagerten Aluminium- und Eisenverbindungen ausgefällt und angereichert werden. Eine Rekristallisation findet aufgrund des grossen Humusgehaltes nicht statt, so dass der Anteil der amorphen Eisenverbindungen gross ist. Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis geht vom Bs-Horizont nur langsam auf einen Wert von 0.7 im BC-Horizont zurück. In diesem Horizont liegen 70% der Dithionit-extrahierbaren Eisenverbindungen in amorpher Form vor, was auf die bis in den BC-Horizont starke Verwitterung und Bodenbildung hinweist.

Die Al_p/Al_o - und Fe_p/Fe_o -Verhältnisse können analog zum Fe_o/Fe_d -Verhältnis interpretiert werden. Sie haben ebenfalls kleine Werte in den obersten drei Horizonten, weil die metall-organischen Verbindungen hier ausgewaschen werden. Die maximalen Werte befinden sich im Bh- und Bs-Horizont, weil die metall-organischen Verbindungen in diesen Horizonten wieder ausfallen und damit ihr Anteil an der amorphen Fraktion gross ist. Unterhalb des Bs-Horizontes nimmt das Al_p/Al_o - bzw. Fe_p/Fe_o -Verhältnis stärker ab als das Fe_o/Fe_d -Verhältnis. Dies ist vor allem durch den starken Rückgang des C_{org} -Gehaltes bedingt (Abb. A15.8).

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde der Boden als Eisen-Humuspodsol klassiert, was gut mit der Interpretation der Bodenhauptbestandteile übereinstimmt. Insbesondere die starke Auswaschung von Humus, Eisen und Aluminium aus dem oberen Profilbereich und deren

pH-Wert (CaCl₂)



austauschbare Kationen

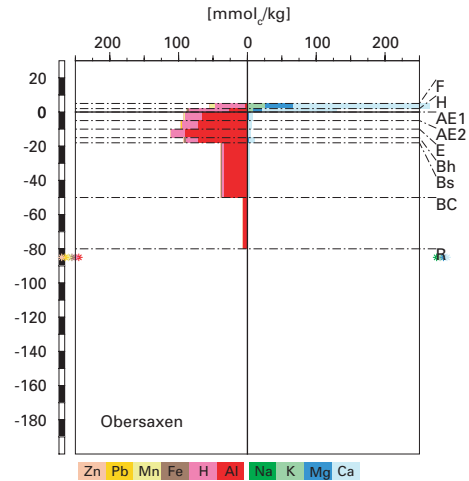


Abb. A15.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb. A15.14 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

Anreicherung im Unterboden zeigen sich sowohl mit der morphologischen Ansprache als auch mit den analytischen Daten sehr deutlich.

A15.4 Themenbereich «Säurezustand»

A15.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Die Feinerde ist im ganzen Profil stark bis sehr stark sauer (**Abb. A15.13**). Bis in den Bh-Horizont nimmt der pH-Wert mit der Tiefe von 2.9 auf 3.5 rasch zu. In grösserer Tiefe erfolgt die Zunahme nur noch langsam. Bis in den Bh-Horizont befindet sich der Boden in der Säureklasse 5, in den tiefer gelegenen Horizonten in der Säureklasse 4. Der F- bzw. H-Horizont besitzt einen pH-Wert von 3.4 bzw. 2.9.

Basensättigung

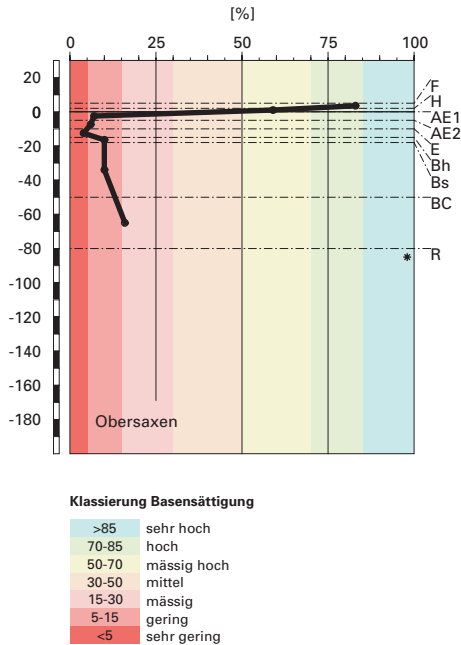


Abb. A15.15 Basensättigung

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Im Mineralboden ist der Kationenaustauscher überwiegend mit sauren Kationen belegt, wogegen im nur 2 cm mächtigen H-Horizont der Anteil der Nährstoffkationen leicht grösser ist als jener der sauren Kationen und im F-Horizont mehr als 80% der Austauschkapazität durch Nährstoffkationen besetzt ist (Abb. A15.14). Bis in den Bh-Horizont kommen neben dem austauschbar gebundenen Aluminium hauptsächlich austauschbare Protonen vor. Austauschbares Eisen ist nur in geringen Anteilen im Bh- und Bs-Horizont zu finden. Austauschbare Nährstoffkationen sind in der Mineralerde nur in geringen Mengen am Kationenaustauscher vertreten und sind in der Abb. A15.14 kaum darstellbar. Die Basensättigung ist im F-Horizont hoch und im H-Horizont mässig hoch, in allen Mineralerdehorizonten bis in 50 cm Tiefe hingegen nur gering bis sehr gering (Abb. A15.15). Vom Bh-Horizont bis zur Profilsohle in 80 cm Tiefe nimmt die Basensättigung langsam aber stetig zu und erreicht im BC- und C-Horizont einen mässig hohen Wert.

Stand der Bodenversauerung

Dieser Eisen-Humuspodsol ist sehr stark versauert. Rund 90% aller Austauscherplätze im ganzen Boden sind mit sauren Kationen, insbesondere mit Aluminium und austauschbaren Protonen besetzt. Die Versauerungsfront hat den anstehenden Fels erreicht. In allen Bodentiefen ist auch austauschbares Eisen zu finden. Die anteilmässig grössten Fe-Mengen wurden im Bh- und Bs-Horizont gemessen, die sich in der Säureklasse 5 resp. 4 befinden. In den Eluvial-Horizonten bis 15 cm Tiefe ist der Anteil von austauschbarem Eisen geringer, obschon auch diese Horizonte in der Säureklasse 5 liegen, in der die Säurepufferung durch Auflösung von Aluminium- und Eisenverbindungen erfolgt. Die Verteilung des austauschbaren Eisens am Kationenaustauscher ist deshalb eher durch die Podsolierungsprozesse als durch die Säurepufferung zustande gekommen. Die hohe bzw. mässig hohe Basensättigung im F- bzw. im H-Horizont ist eine Folge des Nährstoffkreislaufes. Mit dem Streufall werden die Nährstoffe, die im gesamten durchwurzelten Boden von den Pflanzen aufgenommen werden, an die Bodenoberfläche gebracht und dort angereichert. Die mässig hohe Basensättigung ab 50 cm Tiefe zeigt an, dass der Boden hier weniger stark entwickelt und die Bodenversauerung deshalb weniger weit fortgeschritten ist.

Risiko für Boden und Pflanzen

Die Empfindlichkeit des Bodens für eine weitere pH-Abnahme ist sehr klein, denn kein Horizont befindet sich in den schlecht puffernden Säureklassen 2 und 3. Die Empfindlichkeit beschränkt sich hauptsächlich auf die obersten 18 cm des Profils. Diese liegen in der nur mässig puffernden Säureklasse 5 und sind durch die organische Auflage (Rohhumus) dem grössten Versauerungsdruck ausgesetzt. Die tiefer gelegenen Horizonte liegen in der gut puffernden Säureklasse 4. Dort ist die Empfindlichkeit für eine weitere pH-Abnahme klein, weil die Säurepufferung sehr wirkungsvoll durch Auflösung von Aluminiumverbindungen erfolgt.

Das Risiko für das Gedeihen säureempfindlicher Pflanzen wird im aktuellen Bodenzustand als gross beurteilt. Im Mineralboden ist das BC/Al-Verhältnis bis in eine Tiefe von 50 cm kleiner als 0.2 und befindet sich damit im als kritisch erachteten Bereich (Tab. A127 in Blaser et al. 2005). Dies entspricht rund 70% der gesamten Feinerde des Bodens. Unterhalb dieser gefährdeten Zone ist das BC/Al-Verhältnis bis zur Profilssole in 80 cm Tiefe nicht kritisch, liegt aber nur wenig über dem Grenzwert von 0.2. Eine weitergehende Versauerung wird somit sehr rasch zu einer Ausdehnung des risikobehafteten Teils des Bodens führen und die Gefährdung für das Pflanzenwachstums erhöhen.

A15.5 Themenbereich «Schwermetalle»

A15.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Der Cr-Gehalt weist in diesem Eisen-Humuspodsol minimale Werte im H- und E-Horizont auf (Abb. A15.16). Im Bs-Horizont ist Cr maximal. Zink variiert vom H- bis zum E-Horizont nur wenig und nimmt dann stark zu bis zum maximalen Gehalt im Bs- und BC-Horizont. Im R-Horizont ist Zn wieder niedriger. Blei ist in der organischen Auflage nachweisbar, nicht aber im mineralischen Oberboden und im E-Horizont. Im Bh- und Bs-Horizont ist der Pb-Gehalt maximal, darunter ist er wieder deutlich niedriger. Nickel und Cu liegen im ganzen Profil unter der Bestimmungsgrenze.

A15.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein, einer kalkfreien Moräne, liegen die meisten Schwermetallgehalte im R-Horizont unterhalb, der Pb-Gehalt hingegen innerhalb typischer Wertebereiche. Da für Moräne (Lithofazies 29) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, wurde die geologisch nächstverwandte Lithofazies mit geochemischen Angaben (Lithofazies 24, Glaziallehme und -Tone) für die Beurteilung beigezogen.

A15.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Für den F- und H-Horizont wurden wegen ihres hohen Humusgehaltes (Abb. A15.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm^3 ; Tab. A130 in Blaser et al. 2005) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg ; Abb. A15.17), da die Dichte kleiner ist als $1 \text{ g}/\text{cm}^3$. Mangels Messwerten wurde jeweils eine Dichte von $0.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ angenommen.

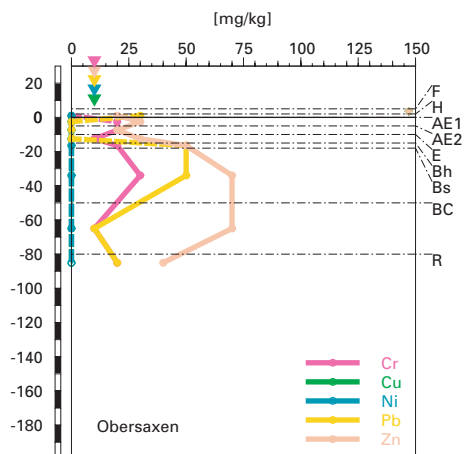
Bezogen auf die VBBo sind die Konzentrationen bzw. Gehalte der meisten Schwermetalle profilumfassend sehr niedrig. Der Pb-Gehalt hingegen ist im Bh-Horizont hoch, im Bs-Horizont erhöht und im R-Horizont niedrig.

Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

A15.5.4 Anreicherungsfaktoren

Chrom ist im E-Horizont etwas abgereichert und im Bs-Horizont deutlich angereichert (Tab. A15.4). Zink ist im AE2-Horizont abgereichert und im

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



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

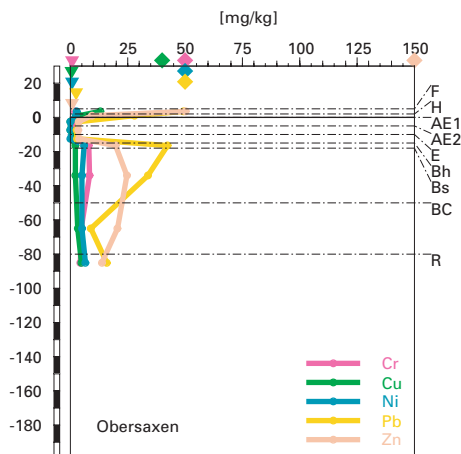


Abb. A15.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. A15.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

Bh- und Bs-Horizont angereichert. Der Oberboden und der E-Horizont sind an Pb verarmt. Der Bh- und Bs-Horizont sind deutlich mit Pb angereichert. Für Ni und Cu können keine Anreicherungs-faktoren berechnet werden, da ihre Gehalte im ganzen Profil unter der Bestimmungsgrenze liegen.

Die Anreicherungs-faktoren widerspiegeln die Podsolierungsdynamik in diesem Boden. Alle drei Schwermetalle, für die Anreicherungs-faktoren berechnet werden können, werden einerseits wegen ihrer guten Löslichkeit unter den sehr stark sauren Verhältnissen im oberen Teil des Profils, andererseits aber auch zusammen mit gelöster organischer Substanz aus dem AE2- und E-Horizont ausgewaschen und im Bs- bzw. im Bh- und Bs-Horizont wieder ausgefällt. Für Zink würde man aufgrund seiner sehr grossen Mobilität eine stärkere Auswaschung aus dem oberen Teil des Bodens erwarten. Da Zn aber ein wichtiger Mikronährstoff für die Pflanzen ist, wird dieses Schwermetall von den Bäumen immer wieder mit der Streu in den Oberboden zurückgeführt, was zu einer scheinbar geringeren Verlagerungsintensität führt. Früherer anthropogener Pb-Eintrag ist noch an den in der organischen Auflage gegenüber dem AE1-Horizont leicht erhöhten Gehalten (Abb. A15.16 und A15.17) zu erkennen. Im Mineralboden ist Pb, das sich durch eine besonders grosse Affinität zu gelöster organischer Subs-

Tab. A15.4 Anreicherungsfaktoren						
Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
AE1	0– 5	1.39	n.b.	n.b.	<0.83	0.94
AE2	5– 10	0.99	n.b.	n.b.	<0.74	0.56
E	10– 15	0.80	n.b.	n.b.	<0.69	0.78
Bh	15– 18	1.16	n.b.	n.b.	4.35	1.63
Bs	18–50	2.01	n.b.	n.b.	3.75	2.19
BC	50–80	0.51	n.b.	n.b.	0.56	1.35
R	>80	1.00	n.b.	n.b.	1.00	1.00

tanz auszeichnet, so stark von der Podsolierung erfasst worden, dass es im AE- und im E-Horizont nicht mehr nachweisbar, dafür aber im Bh- und Bs-Horizont angereichert ist.

Für die Verarmung des BC-Horizontes an Cr und Pb haben wir keine Erklärung.

A15.5.5 **Schätzung der Mobilität der Schwermetalle**

Dieser Eisen-Humuspodsol ist vom F- bis zum Bh-Horizont sehr stark und darunter stark sauer (Abb. A15.13). Die Mobilität von Ni und Zn wird vom F- bis zum Bs-Horizont als gross bis sehr gross, darunter als mittel geschätzt (Abb. A15.18). Im Oberboden und im E-Horizont sind auch Cr, Cu und Pb sehr mobil. In der organischen Auflage ist die Mobilität aller drei Schwermetalle gering bis mittel. Dabei führt der hohe Gehalt an organischer Substanz zu einer niedrigeren Mobilität. Dies gilt auch für den Bh- und Bs-Horizont mit ihren gegenüber den darüber und darunter liegenden Horizonten erhöhten Gehalten an organischer Substanz. Im Bh-Horizont ergibt sich damit eine mittlere Mobilität von Cr und Cu sowie eine geringe Mobilität von Pb. In allen darunter liegenden Horizonten wird die Mobilität von allen drei Schwermetallen als sehr gering bis gering eingestuft.

Obwohl die so geschätzten Mobilitäten das Verhalten der Schwermetalle in diesem Boden (Abb. A15.16, Abb. A15.17, Tab. A15.4) relativ gut erklären, dürfte bei Cr und Pb die effektive Mobilität durch Verlagerung mit gelöster organischer Substanz im oberen Teil des Profils noch grösser sein.

Da der pH-Wert im BC-Horizont an der Grenze zum mässig sauren Bereich liegt, wird das aktuelle Risiko einer Belastung des Grundwassers trotz der starken Verlagerungsdynamik im oberen Teil nur als mittel eingestuft. Dies liegt auch daran, dass Ni und Cu, die in Podsolen besonders mobil sind, in diesem Boden in sehr niedrigen Gehalten vorliegen. Es besteht somit vor allem bei Zn und Pb die Gefahr, dass sie allmählich aus dem Bh- und Bs-Horizont ausgewaschen werden.

Schwermetallmobilität

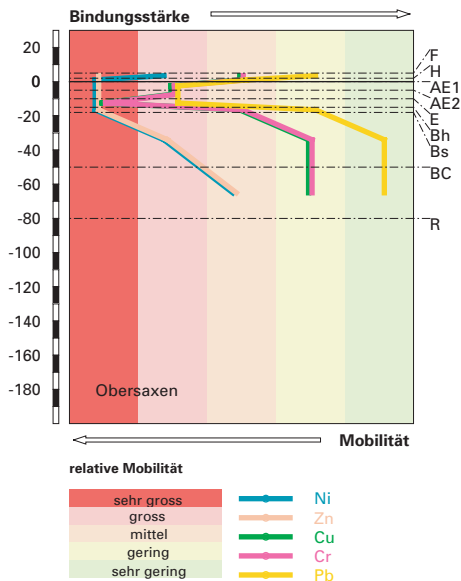


Abb. A15.18 Mobilität der Schwermetalle

A15.5.6 Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

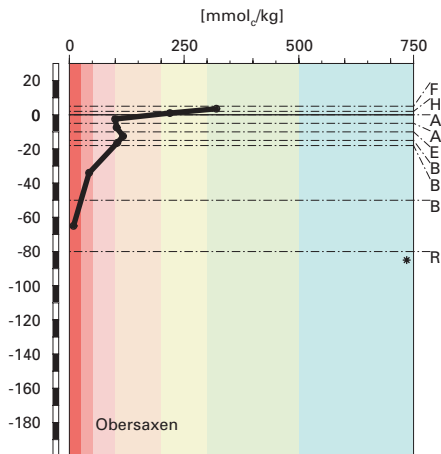
Im H- und in den AE-Horizonten liegen alle Schwermetalle in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind.

A15.6 Themenbereich «Nährstoffe»

A15.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Der Rohhumus und die Subpolyederstruktur im Oberboden sind Hinweise für eine gehemmte Nährstoffverfügbarkeit. Diese Annahme wird durch das mässig weite bzw. weite C/N-Verhältnis von 24 bzw. 27 im F- bzw. H-Horizont bestätigt, die für Übergangshumusformen von Moder zu Rohhumus typisch sind und eine niedrige Mineralisierungsrate der organischen Substanz anzeigen. Auch das mässig bis sehr weite C/P-Verhältnis in der organischen Auflage zeigt eine relative Phosphorarmut und lässt daher auf eine

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)

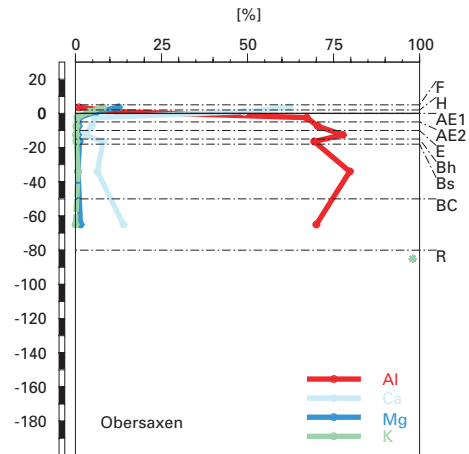


Abb. A3.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. A3.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

gehemmte Umsetzung schliessen. Offensichtlich wird die an sich schwer abbaubare Fichtenstreu unter dem Einfluss des sehr rauen Klimas und des sehr stark sauren Milieus nur langsam umgesetzt, so dass sich ein Rohhumus bildete.

A15.6.2

Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität ist in der organischen Auflage hoch bis sehr hoch (Abb. A15.19). Im Mineralboden wird sie bis zum Bh-Horizont als knapp mittel klassiert und nimmt im Bs-Horizont auf einen sehr geringen und im BC-Horizont auf einen extrem geringen Wert ab. In enger Übereinstimmung mit den Pufferbereichen ist der Kationenaustauscher grösstenteils mit sauren Kationen, insbesondere mit Aluminium belegt (Abb. A15.20). Grosse Mengen austauschbarer Nährstoffkationen kommen nur in der organischen Auflage vor, wo sie als Folge des Nährstoffkreislaufes angereichert und gespeichert werden. Austauschbares Kalium und Magnesium ist im ganzen Profil nur sehr wenig vorhanden und die Anteile variieren im Tiefenverlauf nur unbedeutend. Austauschbares Kalzium nimmt

vom AE1-Horizont bis in den E-Horizont ab. In grösserer Tiefe steigt es bis zum BC-Horizont deutlich an.

A15.6.3

Nährstoffvorräte

Aus den [Abb. A15.21–A15.23](#) wird sofort deutlich, dass dieser Eisen-Humuspodsol im ganzen Profil sehr nährstoffarm ist und die Vorräte im Tiefenverlauf als Folge des grossen Skelettanteils und der geringen Basensättigung nicht bedeutend zunehmen. Bis zur Referenztiefe von 60 cm werden die Vorräte wie folgt beurteilt:

Ca mässig
Mg gering
K sehr gering

Obschon der Boden tiefgründig und bis in mindestens 80 cm Tiefe durchwurzelbar ist, ändert sich an dieser Vorratsbeurteilung unter Berücksichtigung der gesamten Aufschlusstiefe nichts, weil der Unterboden extrem stark skeletthaltig ist. Die Nutzung dieser geringen Nährstoffvorräte ist nicht eingeschränkt, denn das Risiko für Trockenstress ist klein.

Kalzium-Vorrat

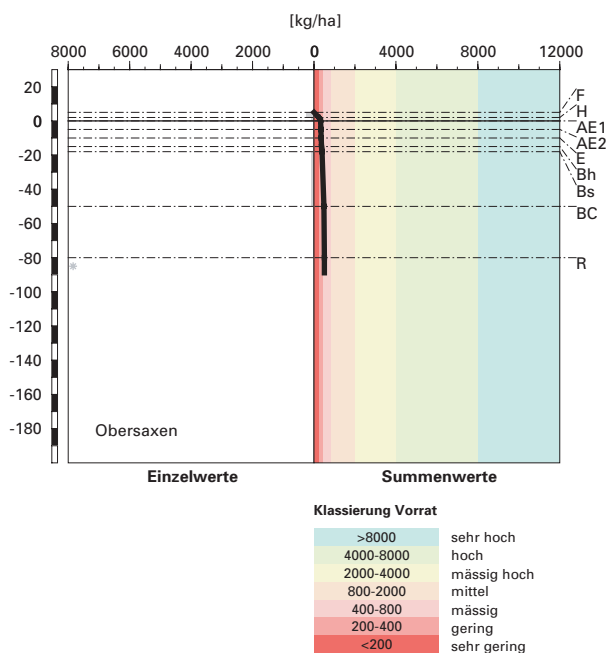


Abb. A15.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

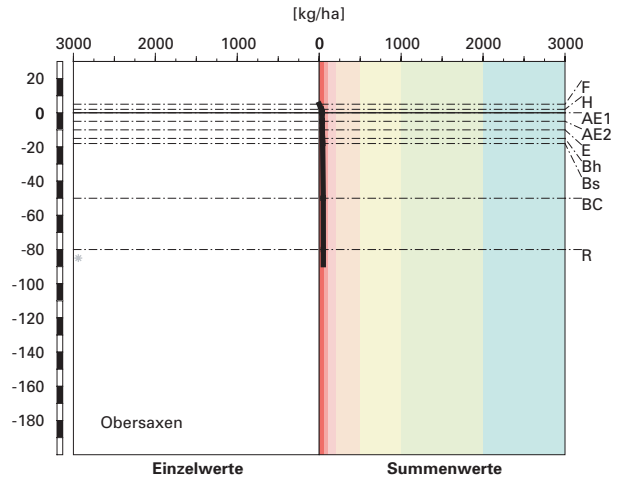


Abb. A15.22 Vorrat an Magnesium

Klassierung Vorrat	
>2000	sehr hoch
1000-2000	hoch
500-1000	mässig hoch
200-500	mittel
100-200	mässig
50-100	gering
<50	sehr gering

Kalium-Vorrat

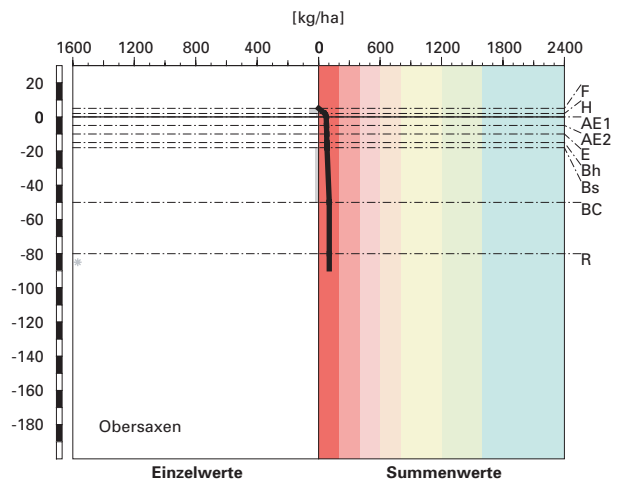


Abb. A15.23 Vorrat an Kalium

Klassierung Vorrat	
>1600	sehr hoch
1200-1600	hoch
800-1200	mässig hoch
600-800	mittel
400-600	mässig
200-400	gering
<200	sehr gering

A15.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

A15.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. A15.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

A15.7.2 Baumartenwahl

Der Ehrenpreis-Fichtenwald (EK Nr.55) ist ein hochmontaner bis subalpiner Waldstandort. Er müsste in unserem Buch eigentlich wie die subalpinen Waldgesellschaften Nr.57, 59 und 60 behandelt werden. An diesen klimatisch rauhen bis kalten Standorten bestimmt fast nur noch das Klima die Baumartenwahl – der Boden dagegen hat eine marginale Bedeutung. Wegen der geringen Bedeutung des Bodens erfolgt die Baumartenempfehlung in den subalpinen Gesellschaften Nr.57, 59 und 60 ausschliesslich gemäss BUWAL (2005), also ohne Besprechung der Bodeneigenschaften. Als Ausnahme bei den subalpinen Waldgesellschaften besprechen wir die Baumartenwahl im Ehrenpreis-Fichtenwald (EK Nr.55) aus bodenkundlicher Sicht, weil hier unterschiedliche Auffassungen über das Vorkommen der Tanne bestehen. Lingg (1986) empfiehlt, die Tanne in der Einheit Nr.55 einzubringen, selbst wenn das Klima, wie etwa im Goms, kontinental geprägt ist. Gemäss BUWAL (2005) kommt die Tanne in kontinentalen Gebieten aber nur reliktsch vor und sollte daher waldbaulich nicht gefördert werden.

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand ist ein reiner Fichtenwald. Gemäss BUWAL (2005) kann die Tanne im Gebiet des Profils A15 (Obersaxen) auf geeigneten Standorten verjüngt werden. Im Naturwald wären zusätzlich zur Fichte wahrscheinlich einige Lärchen und Vogelbeeren vertreten. Ob die Tanne im Naturwald vorkommt oder waldbaulich gefördert werden soll, werden wir anschliessend anhand der Bodeneigenschaften beurteilen. Nach Ott et al. (1997) trifft man an diesem Standort (EK Nr.55) häufig Moder an. Der vorhandene Rohhumus ist demnach nicht standorttypisch.

Tab. A15.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Obersaxen)**Standortangaben**

Relief	Höhe	1544 m
	Exposition	NNW
	Neigung	40%
Klima	Jahresniederschlag	1501 mm
	Jahrestemperatur	3.4°C
Ausgangsgestein	karbonatfreie Moräne	
Baumbestand	Struktur	mehrheitlich stufig
	Schlussgrad	20%
	Baumarten (Deckung)	20% Fichte
	Oberhöhe	25 m
Waldgesellschaft	nach E&K 1972	Nr.55: Ehrenpreis-Fichtenwald
	nach BUWAL 2005	Nr.55: Ehrenpreis-Fichtenwald

Bodenkennwerte

Bodensystematik	Bodentyp	Eisen-Humuspodsol
	Humusform	Rohhumus
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Im Boden sind keine Vernässungsmerkmale erkennbar, was zeigt, dass der Boden stets gut durchlüftet ist.
	Durchwurzelbarkeit	Da in 80 cm Tiefe ein Felsblock ansteht, ist der Wurzelraum für alle Baumarten begrenzt. Er wird mit 80 cm Mächtigkeit aber dennoch als tiefgründig klassiert. Wie tief die Bäume im Felsuntergrund vorhandene Spalten durchwurzeln, wissen wir nicht.
	pflanzenverfügbares Wasser	Das Risiko für Trockenstress bewerten wir unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen als klein.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Der Boden reagiert profilumfassend stark bis sehr stark sauer. Das Ausgangsgestein ist karbonatfrei.
	Aluminium-Toxizität	Im Mineralboden besteht bis 50 cm Tiefe ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Die Humusform Rohhumus und das mässig weite bis weite C/N-Verhältnis in der organischen Auflage weisen auf eine niedrige Mineralisierungsrate hin. Unterstützt wird diese Aussage durch das mässig weite bis sehr weite C/P-Verhältnis in der organischen Auflage. Die biologische Aktivität wird gesamthaft als niedrig beurteilt.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen sind ziemlich bescheiden. Der Ca-Vorrat ist mässig, der Mg-Vorrat gering und der K-Vorrat sehr gering.
Verankerung	Obwohl das Profil aufgrund eines Felsblocks nur 80 cm mächtig ist, wird die Verankerung des Baumbestandes als gut bewertet. Die Bäume können diesen Boden in Spalten und Klüften tief durchwurzeln, und die Felsblöcke verleihen zusätzlichen Halt.	
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert selbst in nassem Zustand wenig empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er ab rund 20 cm Tiefe viel Skelett enthält. Mit 40% Hangneigung befindet sich der Waldbestand allerdings an der Grenze der Befahrbarkeit mit grossen Maschinen. Zudem ist die Befahrbarkeit durch die zahlreich anstehenden Felsblöcke stark eingeschränkt.	

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Waldstandort (Nr.55) folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Fichte, Lärche und Vogelbeere. Diese kleine Auswahl ist vor allem durch das sehr rauhe Klima bedingt.

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

■ **Durchwurzelbarkeit des Bodens**

Da dieser Boden trotz felsigem Untergrund 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 klein. Im Boden dürfte für alle Baumarten ein stets ausreichender Wasservorrat verfügbar sein. Dieses Kriterium schränkt die Baumartenauswahl nicht ein.

■ **Säurezustand und Aluminium-Toxizität**

Die Mineralerde ist derart sauer, dass bis 50 cm Tiefe ein Risiko für Al-Toxizität besteht. Einer weiteren Versauerung kann an diesem Standort mit waldbaulichen Massnahmen kaum entgegengewirkt werden, weil die Baumartenauswahl klimatisch bedingt stark eingeschränkt ist. Der Rohhumus lässt sich also nicht in eine wesentlich aktivere Humusform umwandeln, welche weniger organische Säure freisetzen würde.

■ **Nährstoffangebot im Boden**

Die Mineralisierung der Nährstoffe ist gehemmt. Die biologische Aktivität lässt sich durch gezielte Baumartenwahl, wie bereits beim Säurezustand erwähnt wurde, nicht wesentlich erhöhen.

Die Nährstoffversorgung des Bodens dürfte für diesbezüglich anspruchsvolle Baumarten ungenügend sein. Lingg (1986) hat bei seinen Untersuchungen im Wallis festgestellt, dass die Verjüngungsgunst der Tanne auf Eisen- und Eisen-Humuspodsolen in der subalpinen Stufe stark eingeschränkt ist. Als limitierende Faktoren der Höhenwuchsleistung der Weisstanne bezeichnet er in der subalpinen Stufe das Wärmeangebot, die thermische Kontinentalität und die Nährstoffversorgung. Diese ist im Eisen-Humuspodsol von Obersaxen ungünstig, so dass die Tanne aus unserer Sicht nicht eingebracht werden sollte.

Dem Waldbauer stehen vor allem wegen dem sehr rauen Klima nur wenige Baumarten für die Waldverjüngung zur Verfügung. Die zu einem grossen Teil durch das Klima gegebene Baumartenauswahl (Tab. A15.6, BUWAL 2005) ist aus bodenkundlicher Sicht vor allem aufgrund des Säurezustandes und des Nährstoffangebotes im Boden zu hinterfragen.

Gemäss BUWAL (2005) kann die Tanne im Gebiet von Obersaxen auf geeigneten Standorten verjüngt werden. Der vorliegende Standort A15 ist aber derart sauer und nährstoffarm, dass wir davon abraten, die Tanne in den Bestand einzubringen. An diesem Standort (Nr.55; BUWAL 2005) stimmt die Baumartenempfehlung des BUWAL mit jener aus bodenkundlicher Sicht überein.

Dass Lingg (1986) die Tanne im Ehrenpreis-Fichtenwald (EK Nr.55) zur Verjüngung empfiehlt liegt entweder daran, dass diese Waldgesellschaft in seinem Untersuchungsgebiet (Wallis) andere Bodeneigenschaften hat als am Profilort A15, wo ein Eisen-Humuspodsol vorliegt. Da sich Podsolierung und Tanne nach Lingg (1986) in der subalpinen Stufe ausschliessen, muss allerdings eher davon ausgegangen werden, dass am Profilort Obersaxen die Pflanzen der Krautschicht die Bodeneigenschaften nur ungenau zum Ausdruck bringen. Dies führt dazu, dass der sehr saure und nährstoffarme Eisen-Humuspodsol pflanzensoziologisch als Ehrenpreis-Fichtenwald (EK Nr.55) klassiert wurde. Dass der Boden und die Waldgesellschaft in Obersaxen nicht gut übereinstimmen, wird auch nach Ott et al. (1997) ersichtlich, wonach im Ehrenpreis-Fichtenwald ein Podsol und ein Rohhumus eher untypisch sind.

Tab. A15.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand

Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 55; BUWAL 2005)	Fichte, Lärche, Vogelbeere
Bodenkundliche Kriterien	Fichte, Lärche, Vogelbeere

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.

Lingg, W.A., 1986: Ökologie der inneralpinen Weisstannenvorkommen (*Albies alba* Mill.) im Wallis (CH). Mitt. Eidgenöss. Forschungsanst. Wald Schnee Landsch. 62, 3: 331–466.

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

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