

V19 Bodenprofil Schänis

V19.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

V19.1.1 **Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren**

Das Bodenprofil ist in [Abb.V19.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.V19.2](#). [Tab.V19.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Schänis zusammen, und [Tab.V19.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

V19.1.2 **Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz**

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit P7 (Alpenrand, vorwiegend Nagelfluh; Steilhänge, vorwiegend nordexponiert, Hangneigung >35%). 165 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 1.4% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

V19.1.3 **Besonderheiten am Profilort**

An diesem Profilort sind keine Besonderheiten vorhanden.

V19.1.4 **Profilmorphologie und Klassierung**

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.V19.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Die von verschiedenen Laubhölzern und von einer üppigen Krautschicht stammende Streu wird innerhalb eines Jahres vollständig zersetzt, so dass auf der Bodenoberfläche nur eine rund 1 cm dünne Streuschicht liegt. Die Horizontfolge im Oberboden lautet L-A und die Humusform ist ein Mull.

Der 220 cm tief erschlossene Mineralboden lässt sich aufgrund seiner morphologischen Merkmale in sieben Horizonte gliedern. Da die morphologisch einheitlichen obersten 10 cm des Mineralbodens in zwei verschiedenen Tiefen beprobt wurden, ergeben sich im Profil insgesamt acht Horizonte.



Abb. V19.1 ([links](#)) Bodenprofil Schänis

Abb. V19.2 ([rechts](#)) Bestand am Profilort Schänis

Tab. V19.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Schänis	
Lokalname	Schänis (Kanton St. Gallen, Gemeinde Schänis) Forschungsfläche der Langfristigen-Waldökosystem-Forschung LWF
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1133, Linthebene Koordinaten 723464/225068
Waldgesellschaft (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 13: Linden-Zahnwurz-Buchenwald (<i>Cardamino-Fagetum tilietosum</i>)
Horizontfolge	L-A1-A2-AB-BS1-BS2-BC-C-IIC
Humusform	Mull
Bodentyp	Braunerde, schwach pseudovergleyt
Bodentyp (FAO 1988)	Eutric Cambisol

Tab. V19.2 Bodenbildungsfaktoren am Profilort Schänis			
Relief	Höhe ü. M.	710 m	
	Exposition	W	
	Neigung	60 %	
	Geländeform	Hangfuss	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Molasseecken (Tertiär-Oligocaen-Chatian), subalpine Molasse; Kalknagelfluh	
	Lithofazies	Nr. 21: Molassemergel und -tongesteine	
	(nach Tuchschnid 1995)	physikalische Verwitterbarkeit Gestein: mittel – gross	chemische Verwitterbarkeit Gestein: klein
		Tongehalt Gestein:	mittel – hoch
Klima	T/N Jahresmittel	7.9°C/1801 mm	
	T/N Januarmittel	–0.0°C/96 mm	
	T/N Julimittel	16.9°C/191 mm	
	Tage mit Schneedecke	74	
	Wärmegliederung	ziemlich kühl	
	Länge der Vegetationsperiode	190–200 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (35 m Höhe)	90 %	60 % Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i>) 35 % Bergahorn (<i>Acer pseudoplatanus</i>)
	Strauchschicht	0 %	–
	Krautschicht	80 %	ausdauerndes Bingelkraut (<i>Mercurialis perennis</i>) Bärlauch (<i>Allium ursinum</i>) Kitaibels Zahnwurz (<i>Cardamine kitaibelii</i>) gelappter Schildfarn (<i>Polystichum aculeatum</i>) gemeiner Aronstab (<i>Arum maculatum</i>)
	Moosschicht	1 %	–

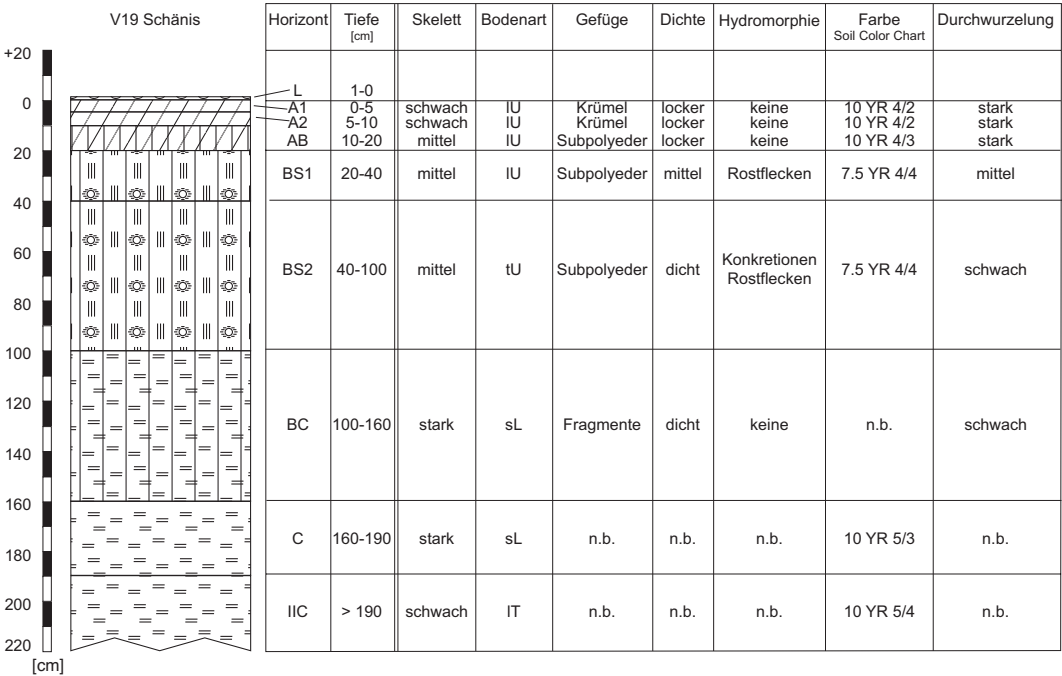
Die obersten 10 cm des Mineralbodens sind durch Beimengung von organischer Substanz dunkler gefärbt als der Unterboden. In 10–20 cm Tiefe ist die nur noch schwach humose Feinerde bereits bedeutend heller. Zwischen 20 und 100 cm Tiefe ist der Boden einheitlich braun gefärbt. Ab 100 cm Tiefe kündigt sich das Ausgangsgestein durch seine matt gelblich braune Farbe an.

Der Skelettgehalt nimmt vom Oberboden bis 190 cm Tiefe deutlich zu. In 190–220 cm Tiefe ist dann eine nahezu skelettfreie Zone vorhanden, welche sich auch durch ihren hohen Tongehalt von der mehrheitlich sandigen bis schluffigen Feinerde im Profil unterscheidet. Der Oberboden hat eine krümelige bis subpolyedrische Struktur, weiter unten im Profil geht die Subpolymerstruktur mit der Tiefe langsam in eine Fragmentstruktur über. Der Boden ist nur in den obersten 20 cm locker gelagert, unterhalb von 40 cm ist er dicht. Die von 20 bis 100 cm Tiefe als Anzeichen einer Vernässung vorkommenden Konkretionen und Rostflecken fallen im homogen braunen Mineralboden farblich nicht auf. Wurzeln konnten bis 160 cm Tiefe beobachtet werden.

Tab. V19.3

Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Schänis

Bodenart: IU Schluff-Lehm, tU toniger Schluff-Lehm, sL sandiger Lehm, IT lehmiger Ton;
n.b. nicht bestimmt



Aufgrund der vorgefundenen morphologischen Merkmale wird die Horizontfolge als L-A1-A2-AB-BS1-BS2-BC-C-IIC festgelegt und der Boden als schwach pseudovergleyte Braunerde klassiert. Die periodische Vernässung erfolgt durch Stauwasser. Der IIC-Horizont verkörpert eine im Untergrund vorhandene, tonige Molasseschicht.

Ergänzende Bodenmerkmale

Die Kalkgrenze verläuft in 100 cm Tiefe. Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde im karbonatfreien, oberen Profilbereich sauer. Trotz stellenweise dichtem Unterboden und hydromorphen Merkmalen sind keine unüberwindbaren Hindernisse für das Wurzelwachstum erkennbar.

Skelettgehalt

Diese Braunerde hat sich bis 190 cm Tiefe aus Nagelfluh gebildet. In diesem Tiefenbereich nimmt der Skelettgehalt mit der Tiefe deutlich zu (Abb. V19.3). Während die A-Horizonte bloss schwach skeletthaltig sind, wird der Unterboden mit rund 30–35 % Skelett als stark skeletthaltig klassiert. Der IIC-Horizont besteht aus einer schwach skeletthaltigen Molasseschicht.

Bodenart

Die Feinerde ist bis 190 cm Tiefe überwiegend sandig, wobei auch reichlich Schluff und Ton vorhanden ist (Abb. V19.4). Im IIC-Horizont fällt die feinkörnige Molasseschicht durch ihren geringen Sandanteil auf. In Bezug auf den Tongehalt handelt es sich bis 190 cm Tiefe um mittelschweren und im IIC-Horizont um schweren Boden. Bei der Bestimmung der Bodenart im Feld wurde in den obersten 100 cm der Schluff- und weiter unten im Profil der Tonanteil falsch eingeschätzt (Tab. V19.3).

Dichte der Feinerde

Die Feinerde-Dichte nimmt mit der Tiefe nur geringfügig zu (Abb. V19.5). Sie wird bis 40 cm Tiefe als äusserst gering und tiefer im Profil als sehr gering klassiert. Der BC-Horizont hat mit 1.13 g/cm^3 die grösste Dichte. Da der C- und der IIC-Horizont mit einem Bodenbohrer erschlossen wurden, sind dort keine Dichtewerte verfügbar.

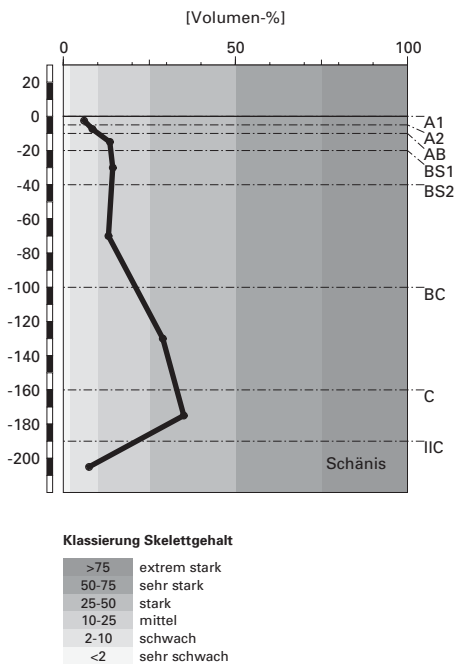
Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Die sehr locker gelagerten obersten 40 cm des Bodens sind hoch durchlässig (Abb. V19.6). Weiter unten im Profil ist die Leitfähigkeit im Grenzbereich von mittel bis gering. Im C- und IIC-Horizont konnte die Leitfähigkeit nicht ermittelt werden, weil die Dichte dort nicht bekannt ist.

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität bis 120 cm Tiefe wird mit 201 l/m^2 als sehr hoch klassiert (Abb. V19.7).

Skelettgehalt



Bodenart

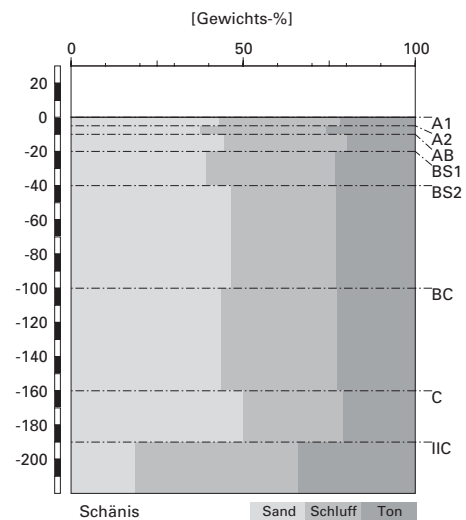


Abb. V19.3 (links) Skelettgehalt

Abb. V19.4 (rechts) Bodenart

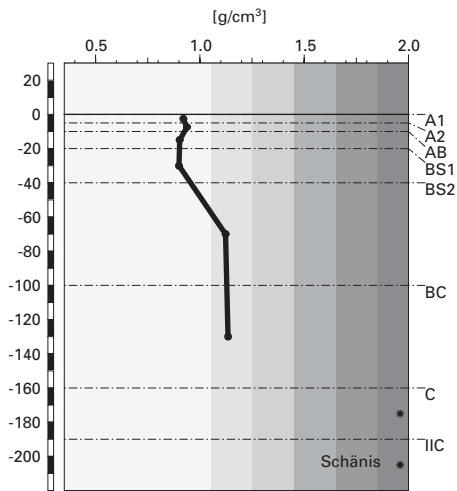
V19.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Diese Braunerde ist schwach pseudovergleyt. In 20–100 cm Tiefe kommen als Zeichen der temporären Vernässung Rostflecken und Konkretionen vor. Diese Vernässungsmerkmale treten derart kleinflächig auf, dass sie in der homogen braunen Profilwand farblich kaum erkennbar sind (Abb. V19.1). Zwar ist bei Wassersättigung stellenweise mit ungenügender Durchlüftung und in der Folge mit Sauerstoffarmut zu rechnen. Die morphologisch nur schwach ausgeprägten Vernässungsmerkmale weisen aber darauf hin, dass gesättigte Phasen jeweils nur kurz andauern. Aus der Wasserleitfähigkeitskurve (Abb. V19.6) lässt sich entnehmen, dass der Unterboden Wasser zu stauen vermag, denn die Durchlässigkeit liegt dort mit 11 cm/Tag im Übergangsbereich mittel bis gering.

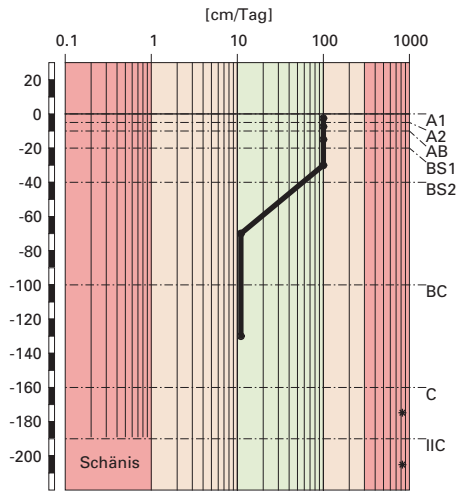
Feinerde-Dichte



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. V19.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb. V19.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Der Boden lässt sich von allen Baumarten nahezu optimal durchwurzeln, da der als kritisch erachtete Dichtewert von 1.4 g/cm^3 nicht erreicht wird und die Durchlüftung bloss marginal eingeschränkt ist. Im Profil sind keine unüberwindbaren Hindernisse für die Wurzeln erkennbar, so dass der Wurzelraum als nicht begrenzt und mit mehr als 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert wird. Der Boden wird vom aktuellen Mischbestand aus Buche, Bergahorn und Esche gut genutzt, denn Wurzeln konnten bis 160 cm Tiefe beobachtet werden.

pflanzenverfügbares Wasser

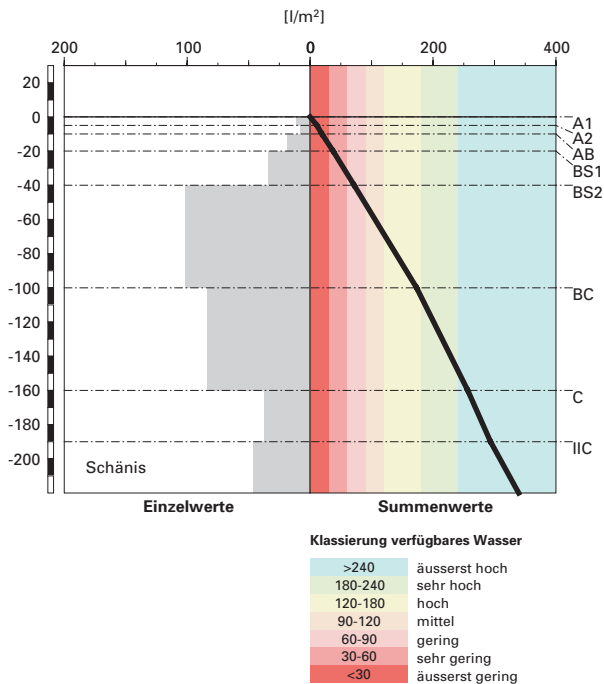


Abb. V19.7 Pflanzenverfügbares Wasser

Wasserversorgung des Baumbestandes

Für die Referenztiefe von 120 cm ergeben unsere Berechnungen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 25 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Da der Wurzelraum mächtiger ist als 120 cm und ein im Hinblick auf Trockenstress günstiges Klima herrscht, besteht an diesem Buchenstandort (E&K13) bloss ein kleines Trockenstress-Risiko.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er bis 1 m Tiefe relativ wenig Skelett enthält.

Organische Substanz

Die Baumschicht am Profilort Schänis setzt sich vor allem aus Rotbuchen und Bergahornen zusammen und hat einen Deckungsgrad von 90%. Trotz dem fast geschlossenen Kronendach bedeckt die Krautschicht den Boden zu 80%. Diese besteht hauptsächlich aus ausdauerndem Bingelkraut, Bärlauch, Kitaibels Zahnwurz, gelapptem Schildfarn und gemeinem Aronstab. Die Streu stammt von den Buchen und Ahornen, zu einem recht grossen Anteil aber auch von den Pflanzen aus der Krautschicht. Sie ist gut abbaubar, weshalb auf der Bodenoberfläche nur einzelne Streureste vorhanden sind, die keine durchgehende Streuschicht bilden.

Die A-Horizonte heben sich farblich undeutlich von den tiefer gelegenen Horizonten ab. Entsprechend ist ihr Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) nur geringfügig grösser als im AB-Horizont (Abb. V19.8). Der C_{org} -Gehalt beträgt im A1-Horizont 3.2%, im A2-Horizont 2.1% und im AB-Horizont 1.5%. Im Unterboden geht er langsam auf 0.2% im BC-Horizont zurück. Im C-Horizont ist kein organischer Kohlenstoff mehr bestimmbar. Aus diesen Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 87 t/ha (Abb. V19.9).

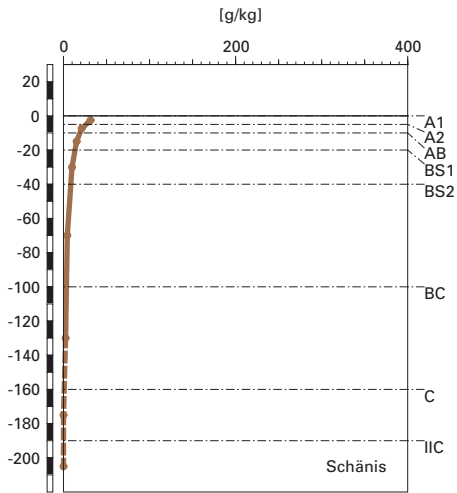
Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt ist im ganzen Boden mehr oder weniger konstant und variiert bis in den C-Horizont zwischen 20 und 26% (Abb. V19.4). Erst beim Schichtwechsel nimmt er im IIC-Horizont auf 34% zu.

Der Gehalt des Dithionit-extrahierbaren Eisens (Fe_d) nimmt vom A1-Horizont bis zum Maximum im BS2-Horizont zu (Abb. V19.10). Danach nimmt Fe_d auf den kleinsten Gehalt im C-Horizont ab und unterhalb des Schichtwechsels steigt der Gehalt nochmals leicht an. Auch das Oxalat-extrahierbare Eisen (Fe_o) hat den grössten Gehalt im BS2-Horizont, ähnlich grosse Gehalte finden sich aber auch im AB- und BS1-Horizont. In den A-Horizonten ist der Fe_o -Gehalt kleiner, ebenso nimmt er vom BS2- in den C-Horizont ab und unterhalb des Schichtwechsels wieder leicht zu. Beim Pyrophosphat-extrahierbaren Eisen (Fe_p) erstreckt sich der Bereich grosser Gehalte vom A2- bis zum BS1-Horizont. Sonst ist die Tiefenverteilung ähnlich wie jene von Fe_o .

Die Tiefenverteilung des Oxalat-extrahierbaren Aluminiumgehaltes (Al_o) verläuft parallel zu jener des Fe_o -Gehaltes (Abb. V19.10 und V19.11). Die

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})

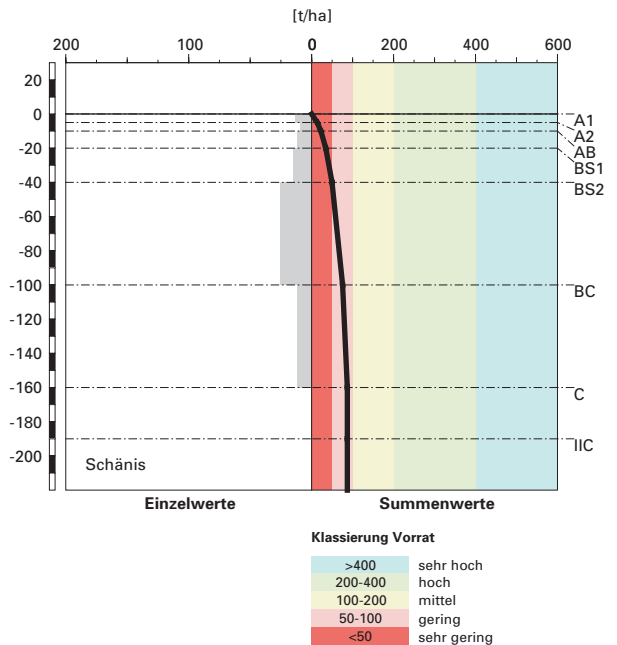


Abb. V19.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb. V19.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

Gehalte des Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminiums liegen mit Ausnahme des A1- und C-Horizontes um das 1.5- bis 2-fache über dem Al_o-Gehalt (Abb. V19.12), was nicht plausibel ist.

Das Fe_o/Fe_d-Verhältnis nimmt mit der Tiefe leicht ab. Es bewegt sich im Oberboden und im BS1-Horizont um 0.3 und in den tiefer gelegenen Horizonten um 0.2 (Abb. V19.12). Das Fe_p/Fe_o-Verhältnis ist im Oberboden und im BS1-Horizont mit Werten um 0.8 sehr weit. Vom BS1- nimmt es bis in den C-Horizont auf den kleinsten Wert von 0.1 ab.

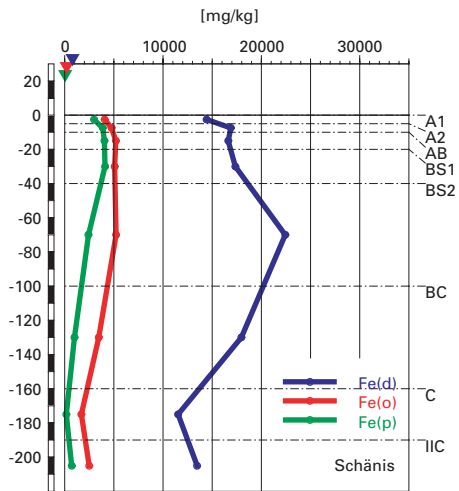
V19.3.2

Bodenkundliche Interpretation

An der Bodenoberfläche liegt nur eine dünne, nicht durchgehende Streuschicht. Die gut abbaubare, vor allem von den Laubbäumen aber auch zu einem bedeutenden Anteil von den Krautpflanzen stammende Streu wird innerhalb eines Jahres vollständig zersetzt. Die Humusform wird als Mull

Eisen-Oxide

(Gehalte)



Aluminium-Oxide

(Gehalte)

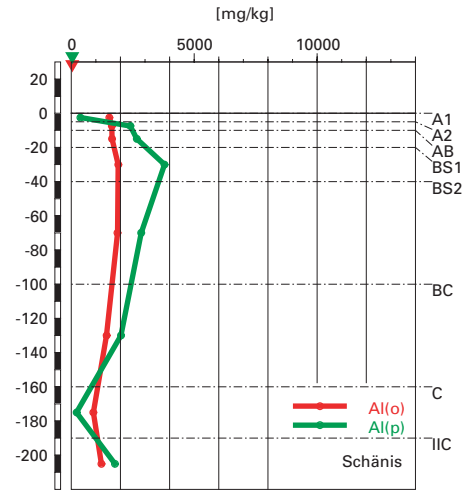


Abb. V19.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb. V19.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)

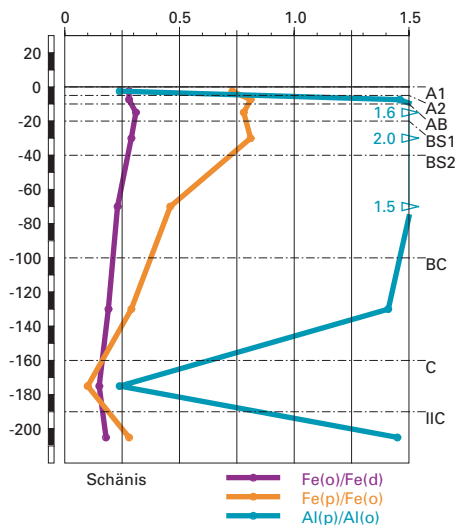


Abb. V19.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

klassiert. Zu dieser schnellen und vollständigen Umsetzung der Streu tragen neben der Streuqualität auch das Klima und die bodenchemischen Verhältnisse bei. Das ziemlich kühle und sehr feuchte Klima bietet mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 7.9°C und durchschnittlichen jährlichen Niederschlägen von 1801 mm genügend Feuchtigkeit und Wärme für eine grosse biologische Aktivität. Der pH-Wert liegt im Oberboden im mässig bis stark sauren Bereich. Die Kalkgrenze befindet sich allerdings in 100 cm Tiefe, was die bodenchemischen Verhältnisse bis in den Oberboden beeinflusst. Die Basensättigung ist in allen Horizonten grösser als 76%, so dass auch die bodenchemischen Bedingungen einer grossen biologischen Aktivität förderlich sind. Insbesondere sind Wurmlosungen und Gänge von Regenwürmern zu beobachten, was auf eine intensive Vermischung der organischen Substanz mit der Mineralerde hinweist. Da der Oberboden gut durchlüftet und biologisch aktiv ist, werden die Streuzersetzungsprodukte im Mineralboden rasch mineralisiert. Dadurch werden relativ wenig Humusstoffe gebildet, was sich in einem im gesamtschweizerischen Vergleich geringen Vorrat an organischem Kohlenstoff von 87 t/ha niederschlägt (Abb. V19.9).

Der Tongehalt ist in den Horizonten oberhalb des Schichtwechsels ziemlich konstant. Anzeichen für eine Tonverlagerung gibt es nicht. Der Schichtwechsel in 190 cm Tiefe ist mit einer sprunghaften Zunahme des Tongehaltes verbunden.

Die Tiefenverteilung von Fe_d zeigt eigentlich das charakteristische Bild einer Parabraunerde. Da aber aufgrund der Tonverteilung nicht von einer Tonverlagerung ausgegangen werden kann, muss das ausgeprägte Fe_d -Maximum im BS2-Horizont auf Inhomogenitäten im bodenbildenden Ausgangsgestein zurückgeführt werden. Das Profil liegt an einem Hangfuss und der Schichtwechsel zur feinkörnigen Molasse liegt in 190 cm Tiefe. Eine Bodenkartierung hat gezeigt, dass sich dieser Schichtwechsel weiter oben am Hang in geringer Bodentiefe befindet. Es kann davon ausgegangen werden, dass Hangerosion stattgefunden hat, welche zu einer Schichtung und zu einem entsprechend inhomogenen Aufbau des bodenbildenden Materials am Hangfuss geführt hat.

Al_o und Fe_o zeigen im Oberboden eine ähnliche Zunahme wie Fe_d . Dies kann ebenso wenig auf Verlagerung zurückgeführt werden, sondern muss ebenfalls den Inhomogenitäten im Ausgangsgestein zugeschrieben werden. Die grundsätzliche Zunahme von Al_o und Fe_o vom Unterboden bis zum Oberboden widerspiegelt hingegen die Verbraunung des Bodens. Aufgrund des engen Fe_o/Fe_d -Verhältnisses und der geringen Gehaltsdifferenzen zwischen Ober- und Unterboden ist die Verbraunung allerdings schwach ausgeprägt.

Fe_p ist im Oberboden und im BS1-Horizont, in welchen der C_{org} -Gehalt 1 % und mehr beträgt, fast gleich gross wie Fe_o . Hier sind rund 80 % der amorphen Eisenverbindungen mit der organischen Substanz assoziiert, wie das Fe_p/Fe_o -Verhältnis zeigt. Im tieferen Unterboden, wo kaum mehr Humus vorhanden ist, nimmt dieser Anteil deutlich ab.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als schwach pseudovergleyte Braunerde klassiert. Die Interpretation der Bodenhauptbestandteile bestätigt die Klassierung als Braunerde, allerdings ist die Verbraunung nur schwach ausgeprägt. Die Pseudovergleyung zwischen 20 und 100 cm Tiefe äussert sich nicht in den extrahierbaren Eisengehalten, was angesichts der bloss schwach ausgeprägten Vernässungsmerkmale nicht erstaunlich ist.

V19.4 Themenbereich «Säurezustand»

V19.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

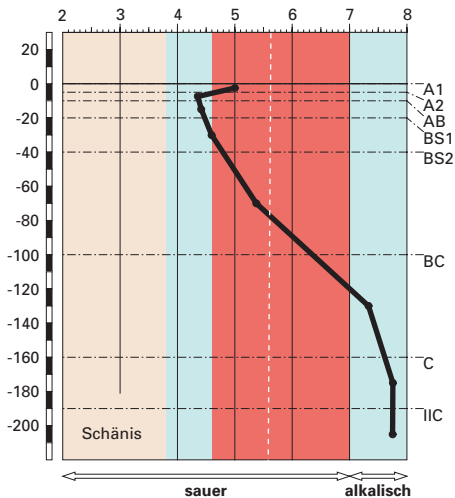
pH-Wert

Mit Ausnahme des mässig sauren A1-Horizontes ist dieser Boden bis in eine Tiefe von 40 cm stark sauer (Abb. V19.13). Der tiefste pH-Wert beträgt 4.4 und wurde im A2-Horizont gemessen. Im Tiefenverlauf nimmt der pH-Wert danach zu. Der BS2-Horizont ist bloss mässig sauer und ab 100 cm Tiefe ist der Boden alkalisch. Der A1- und der BS2-Horizont befinden sich in der Säureklasse 3. Die Horizonte zwischen 5 und 40 cm Tiefe liegen alle in der Säureklasse 4 und ab 100 cm Tiefe befindet sich der Boden in der Säureklasse 1.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist in allen Horizonten zum grössten Teil mit basischen Kationen belegt (Abb. V19.14). Nur in den Bodenhorizonten, die in der Säureklasse 4 liegen, sind saure Kationen in austauschbarer Form gebunden. Dennoch ist ihr Anteil gering. Die Basensättigung ist im ganzen Profil hoch bis sehr hoch (Abb. V19.15). Mit Werten um 77 % ist sie im A2- und AB-Horizont am geringsten. Ab 40 cm Tiefe ist die Feinerde praktisch vollständig basengesättigt.

pH-Wert (CaCl₂)



Säureklassen 1-5 Empfindlichkeit für pH-Abnahme

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

austauschbare Kationen

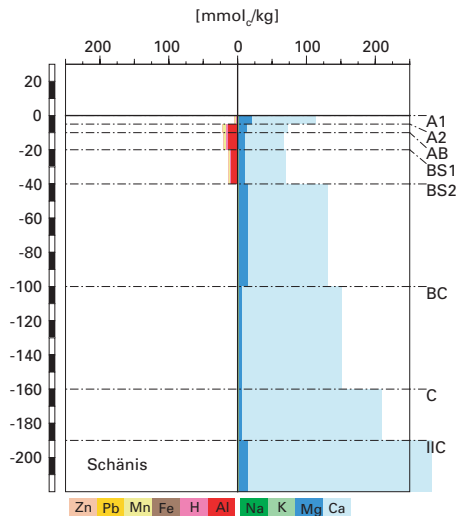


Abb. V19.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb. V19.14 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

V19.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

Diese schwach pseudovergleyte Braunerde wird aufgrund des Tiefenverlaufes des pH-Wertes, der sich über vier Säureklassen erstreckt, als stark versauert beurteilt. Im A1-Horizont erfolgt die Säurepufferung hauptsächlich durch Protonierung variabler Ladungen am Kationenaustauscher. Weil beim pH-Wert dieses Horizontes Aluminium praktisch unlöslich ist, unterbleibt die Verdrängung basischer Kationen von den Austauscherplätzen. In diesem Horizont ist die sehr hohe Basensättigung zusätzlich durch die ständige Nährstoffnachlieferung mit der Streu bedingt. In der Zone zwischen 5 und 40 cm Tiefe befindet sich der Boden in der Säureklasse 4, wo die Säuren zum grössten Teil durch Auflösung von Aluminiumverbindungen neutralisiert werden. Trotzdem ist der Anteil saurer Metallkationen in diesem Profilteil auch unter den stark sauren Bedingungen gering und die Basensättigung entsprechend hoch. Offenbar werden unter dem Stauwassereinfluss nur sehr geringe Mengen basischer Kationen aus den oberen Horizonten ausgewaschen. Die Versauerungsfront, erkennbar am

Basensättigung

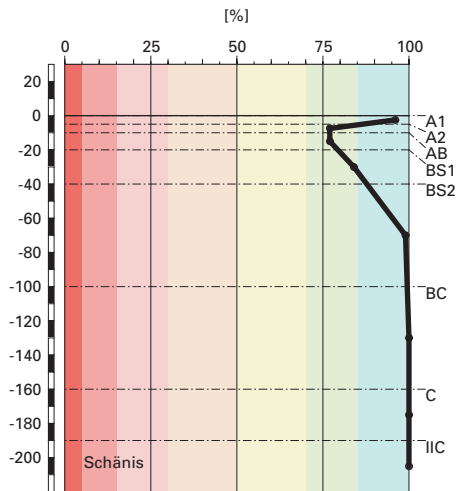


Abb. V19.15 Basensättigung

Klassierung Basensättigung

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

tiefst gelegenen Horizont der austauschbares Aluminium aufweist, befindet sich beim Übergang vom BS1- zum BS2-Horizont in 40 cm Tiefe. Die Säurepufferung im BS2-Horizont erfolgt nach den gleichen Gesetzmässigkeiten wie im A1-Horizont, denn beide Horizonte befinden sich in der Säureklasse 3. Ab 100 cm Tiefe werden die Säuren in Übereinstimmung mit der Säureklasse 1 durch Verwitterung des karbonathaltigen Gesteins gepuffert, wobei basische Kationen freigesetzt werden.

Risiko für Boden und Pflanzen

In diesem Boden besteht ein kleines Risiko für eine weitere pH-Abnahme, denn nur rund ein Drittel der Feinerde befindet sich in der Säureklasse 3, die gegen Säureeinwirkung schwach gepuffert ist. Die schlecht puffernden Zonen sind der A1- und der BS2-Horizont. Im A1-Horizont wirken vermutlich die hohe biologische Aktivität und die leicht abbaubare Streu einer pH-Abnahme entgegen, weil die organische Substanz rasch mineralisiert wird und die freigesetzten basischen Kationen die Austauscherplätze belegen.

Im ebenso versauerungsempfindlichen BS2-Horizont ist andererseits der Versauerungsdruck klein, weil die Säuren in den höher gelegenen Horizonten, die sich in der Säureklasse 4 befinden, sehr effizient neutralisiert werden. Auch bei einer weiteren pH-Abnahme wird die Basensättigung allerdings unter dem Stauwassereinfluss im ganzen Boden vergleichsweise hoch bleiben.

Das Pflanzenwachstum wird in diesem Boden nicht durch toxisch wirkendes Aluminium beeinträchtigt, denn das BC/Al-Verhältnis liegt im ganzen Profil über dem kritischen Grenzwert von 0.2.

V19.5 Themenbereich «Schwermetalle»

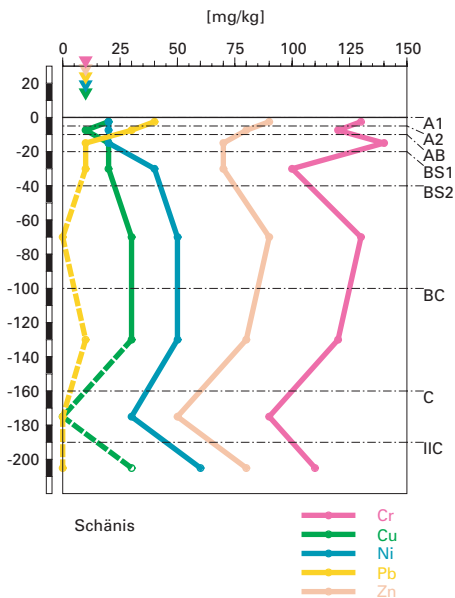
V19.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Mit Ausnahme von Pb zeigen die Schwermetalle im Unterboden eine ähnliche Tiefenverteilung (Abb. V19.16). Vom BS1- bis zum BS2-Horizont nehmen die Gehalte von Cr, Ni, Cu und Zn zu, bleiben dann bis zum BC-Horizont etwa konstant und nehmen darunter im C-Horizont stark ab. Im IIC-Horizont sind die Gehalte wieder grösser. Im Oberboden hingegen verhalten sich diese Schwermetalle unterschiedlich. Der Cr-Gehalt ist in den drei obersten Horizonten grösser als im BS1-Horizont. Er ist in den A-Horizonten etwa gleich gross und nimmt darunter auf den maximalen Wert im AB-Horizont zu. Der Ni-Gehalt ist im ganzen Oberboden konstant und kleiner als im Unterboden. Kupfer ist im A2-Horizont kleiner als im BS1-Horizont, im A1- und AB-Horizont gleich gross. Der Zn-Gehalt ist im AB-Horizont gleich gross wie im BS1-Horizont. Darüber nimmt er bis zu einem zweiten Maximum im A1-Horizont zu. Blei nimmt vom maximalen Gehalt im A1-Horizont bis zum AB-Horizont stark ab. Weiter unten im Profil liegt der Pb-Gehalt unter oder an der Bestimmungsgrenze.

V19.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Kalknagelfluh (Lithofazies 21) liegen der Cu-, Zn- und Pb-Gehalt im C-Horizont unterhalb, der Cr- und Ni-Gehalt innerhalb typischer Wertebereiche. Im IIC-Horizont liegt der Pb-Gehalt unterhalb, der Cu- und Zn-Gehalt innerhalb und der Cr- und Ni-Gehalt oberhalb typischer Wertebereiche.

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



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

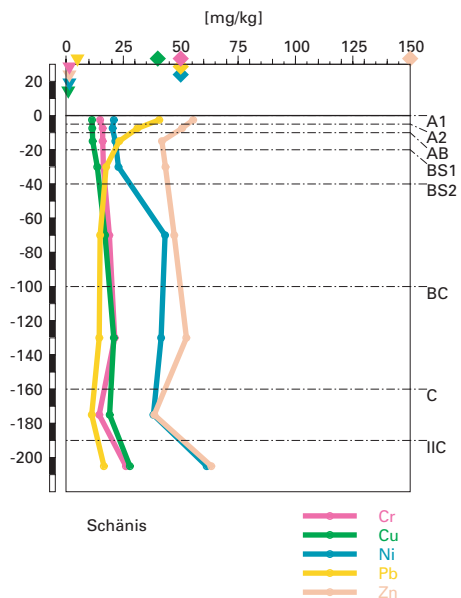


Abb. V19.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. V19.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

V19.5.3

Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Bezogen auf die VBBo ist der Cr-Gehalt vom A1- bis zum C-Horizont sehr niedrig bis niedrig und im IIC-Horizont erhöht (**Abb. V19.17**). Kupfer ist mit Ausnahme erhöhter Gehalte im BC- und IIC-Horizont sehr niedrig bis niedrig. Letzteres gilt für Zn im ganzen Profil. Der Pb-Gehalt ist vom AB- bis zum IIC-Horizont sehr niedrig bis niedrig, in den A-Horizonten aber erhöht bis hoch. Der Ni-Gehalt ist vom A1- bis zum BS1-Horizont niedrig, vom BS2- bis zum C-Horizont hoch und im IIC-Horizont sehr hoch. Letzteres bedeutet eine Überschreitung des Richtwertes der VBBo.

V19.5.4

Anreicherungsfaktoren

Der Oberboden ist deutlich an Ni verarmt (**Tab. V19.4**). Zudem ist der BS1-Horizont etwas an Cr und Ni verarmt, während der BS2-Horizont leicht mit Ni und Zn angereichert ist. Die Verarmung des Oberbodens an Ni dürfte auf eine kombinierte Wirkung der sauren Verhältnisse (**Abb. V19.13**) und des

Tab. V19.4 Anreicherungsfaktoren						
Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
A1	0– 5	0.96	n.b.	0.44	n.b.	1.20
A2	5– 10	0.85	n.b.	0.42	n.b.	1.02
AB	10– 20	0.99	n.b.	0.42	n.b.	0.89
BS1	20– 40	0.71	n.b.	0.85	n.b.	0.89
BS2	40–100	1.06	n.b.	1.23	n.b.	1.33
BC	100–160	0.93	n.b.	1.17	n.b.	1.12
C	160–190	1.00	n.b.	1.00	n.b.	1.00
IIC	> 190	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Transportes mit gelöster organischer Substanz zurückzuführen sein. Im BS1-Horizont werden zusätzlich Cr und Ni, die mit Eisenoxiden assoziiert sind, in wassergesättigten Perioden mobilisiert. Die im oberen Teil des Profils mobilisierten Schwermetalle werden vor allem im mässig sauren BS2 und im alkalischen BC-Horizont angereichert.

Die schwache Anreicherung von Zn im A1-Horizont kann auf Rückführung mit der Streu in den Oberboden zurückgeführt werden. Der in den A-Horizonten erhöhte Pb-Gehalt (Abb. V19.16 und V19.17) weist auf anthropogenen Eintrag hin.

Bei allen Schwermetallen sind die im Vergleich zum C-Horizont höheren Gehalte im BC-Horizont mit Anreicherung im Rückstand der Karbonatverwitterung zu erklären. Der BC-Horizont ist vollständig entkarbonatet.

V19.5.5 **Schätzung der Mobilität der Schwermetalle**

Der Oberboden und die BS-Horizonte sind mässig bis stark sauer (Abb. V19.13). In diesem oberen Teil des Profils wird die Mobilität von Ni und Zn als gering bis mittel, diejenige der übrigen Schwermetalle als sehr gering bis gering geschätzt (Abb. V19.18). Im alkalischen Teil des Profils vom BC- bis zum IIC-Horizont geht die geschätzte Mobilität von Cr, Ni und Zn auf sehr gering zurück. Die Mobilität von Cu und Pb hingegen wird wegen der Bildung löslicher Karbonat- und Hydrogenkarbonat-Komplexe als etwas grösser eingestuft als im oberen Teil des Bodens (Abb. V19.18). Im Oberboden wird die Mobilität von Cr, Cu und Pb durch den Gehalt an organischer Substanz (Abb. V19.8) etwas beeinträchtigt. Im A2- und im IIC-Horizont wirkt zudem der relativ hohe Tongehalt (Abb. V19.4) hemmend auf die Mobilität von Cr und Pb.

Schwermetallmobilität

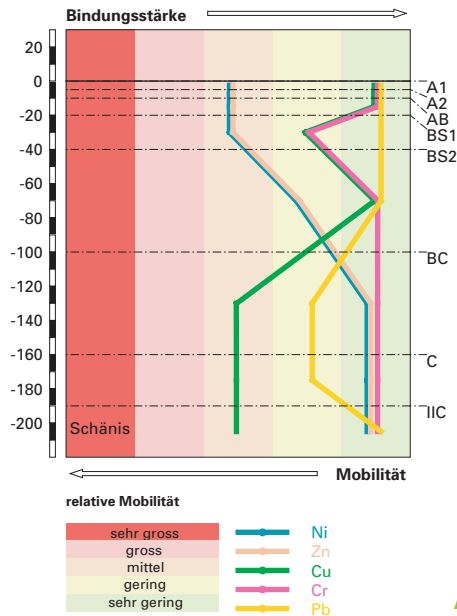


Abb. V19.18 Mobilität der Schwermetalle

Aufgrund der Anreicherungsfaktoren muss angenommen werden, dass die effektive Mobilität von Ni im Oberboden durch die Bindung an gelöste organische Substanz im Vergleich zur Schätzung grösser ist. Im BS1-Horizont dürfte die Auflösung von mit Eisenoxiden assoziiertem Cr und Ni die effektive Mobilität dieser beiden Schwermetalle während wassergesättigter Phasen etwas erhöhen.

Die Gefahr einer Auswaschung von Cr, Ni, Zn und Pb in den Untergrund wird aufgrund der alkalischen Verhältnisse in den unteren drei Horizonten als gering eingeschätzt. Es besteht aber das Risiko einer Auswaschung von Cu.

V19.5.6

Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den A-Horizonten liegen die meisten Schwermetalle in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind. Hingegen bedeutet der Cr-Gehalt ein Risiko für Mikroorganismen.

V19.6.1 **Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden**

Aufgrund von Humusform und Bodengefüge wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden als gut beurteilt. Die gut abbaubare, von den Laubbäumen und den Pflanzen aus der Krautschicht stammende Streu wird innerhalb eines Jahres praktisch vollständig zersetzt. Es hat sich nur eine dünne, nicht durchgehende Streuschicht gebildet und die Humusform wird als Mull bezeichnet. Der pH-Wert liegt im A1-Horizont im mässig sauren Bereich und ist im restlichen Oberboden mit 4.4 im obersten Drittel des stark sauren Bereichs. Insgesamt ist das chemische Milieu sowie das Klima einer grossen biologischen Aktivität förderlich, was sich in den obersten 10 cm des Mineralbodens in einer Krümelstruktur äussert.

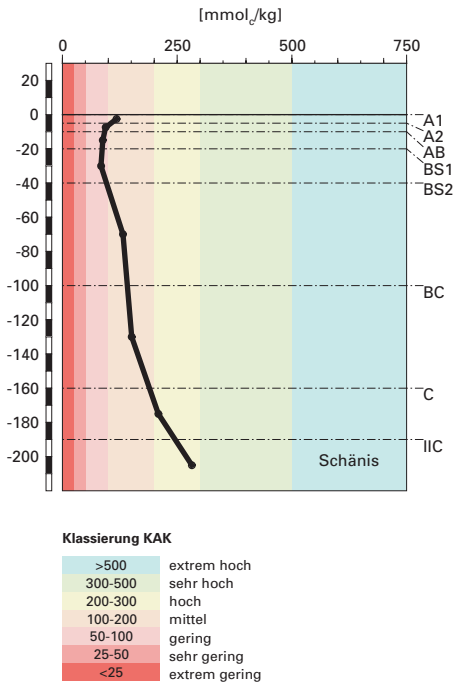
Das C/N-Verhältnis beträgt im A1-Horizont 11 und ist damit typisch für die Humusform Mull. Das enge C/N-Verhältnis ist mit einer hohen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Einerseits wird die Streu also schnell zersetzt. Andererseits wird die zerkleinerte organische Substanz zu einem grossen Anteil mineralisiert und die Nährstoffe werden für die Pflanzen wieder verfügbar. Die Interpretation des C/N-Verhältnisses steht im Einklang mit den Ausführungen zu Humusform und Bodengefüge. Das enge C/P-Verhältnis von 67 im A1-Horizont deutet ebenfalls eine grosse biologische Aktivität an.

V19.6.2 **Nährstoffgehalte**

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) wird im A1-Horizont mit rund 118 mmol_c/kg als mittel klassiert (Abb. V19.19). Sie nimmt mit der Tiefe entsprechend dem kleiner werdenden C_{org}-Gehalt bis in den BS1-Horizont ab und wird im A2- bis BS1-Horizont als gering klassiert. Vom BS1-Horizont werden die Werte der KAK mit der Tiefe stetig grösser. Sie sind im BS2- und BC-Horizont mittel und im C- und IIC-Horizont hoch. Vermutlich hängt dies mit der Kalkgrenze, welche sich in 100 cm Tiefe befindet, und mit dem im IIC-Horizont sprunghaft grösser werdenden Tongehalt zusammen.

Entsprechend den vom A2- bis BS1-Horizont im stark sauren Bereich liegenden pH-Werten vermag Aluminium in diesen Horizonten die Nährstoffkationen teilweise vom Austauscher zu verdrängen. Die Al-Belegung beträgt hier zwischen 11% und 16% (Abb. V19.20). Unter den Nährstoffkationen dominiert in diesem Bodenbereich Ca mit einer Belegung am Austauscher zwischen 62% im A2- und 70% im BS1-Horizont. Auch in

Kationenaustauschkapazität (KAK)



Austauscherbelegung mit Ca, Mg, K und Al (in % der KAK)

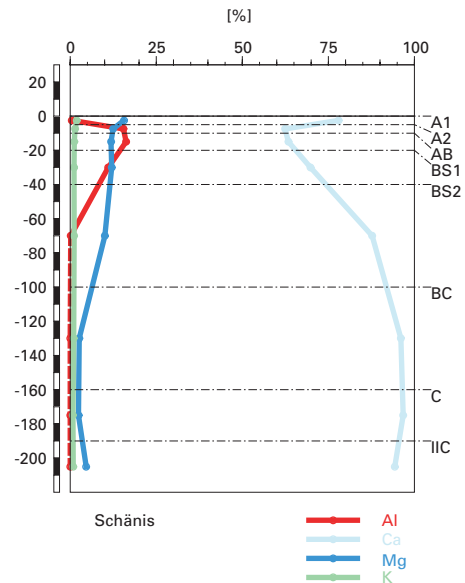


Abb. V19.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. V19.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

allen anderen Horizonten ist Ca mit einem Anteil von 78 bis 97 % am stärksten vertreten. Die Mg-Belegung ist bemerkenswert hoch, wobei sie im A1-Horizont mit rund 16 % am grössten ist und mit der Tiefe stetig auf 2.4 % im C-Horizont zurückgeht. Die K-Belegung ist klein und bewegt sich zwischen 1 und 2 %. Der Gesteinswechsel in 190 cm Tiefe widerspiegelt sich in der Belegung des Austauschers, indem sich der Mg-Anteil vom C- zum IIC-Horizont auf Kosten der Ca-Belegung verdoppelt.

V19.6.3

Nährstoffvorräte

In den **Abb. V19.21 bis V19.23** sind die Vorräte an Ca, Mg und K dargestellt. Vor allem der Ca-Vorrat nimmt mit der Tiefe sehr stark zu. Etwas weniger stark ist die Zunahme beim Mg- und deutlich geringer beim K-Vorrat. Im

Kalzium-Vorrat

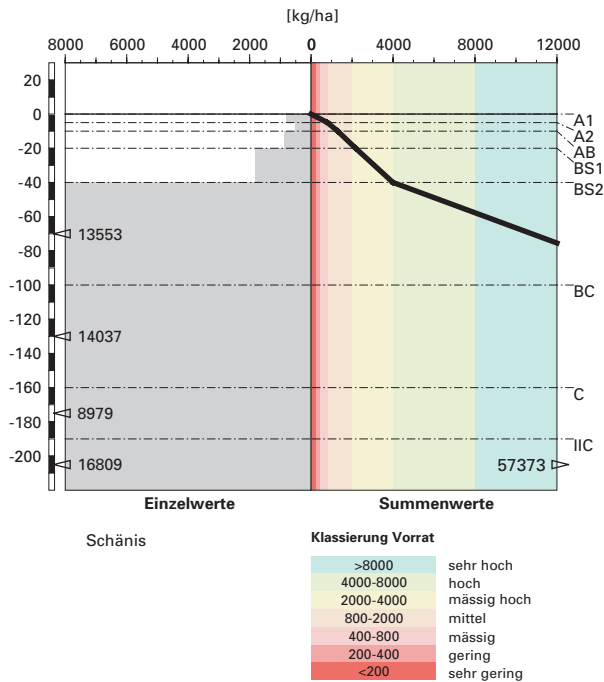


Abb. V19.21 Vorrat an Kalzium

Hauptwurzelraum (bis 60 cm Tiefe) wird das Angebot an Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

Ca sehr hoch
Mg mässig hoch
K gering

Der Boden kann bis in eine Tiefe von mindestens 220 cm durchwurzelt werden kann. Der Mg- und K-Vorrat werden unter Berücksichtigung der gesamten erschlossenen Profiltiefe besser beurteilt. Der Mg-Vorrat wird als sehr hoch und der K-Vorrat als hoch klassiert. Insgesamt sind die Vorräte hoch.

Es gilt zu beachten, dass die Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen stark vom Wasserhaushalt abhängig ist. Da am Profiltort Schänis ein kleines Trockenstressrisiko herrscht, stehen die hohen Vorräte an Nährstoffkationen den Pflanzen praktisch uneingeschränkt zur Verfügung.

Magnesium-Vorrat

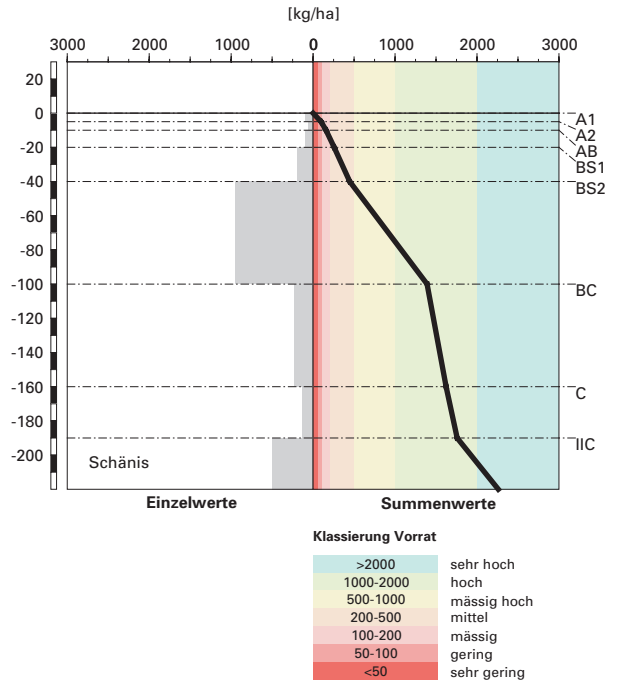


Abb. V19.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

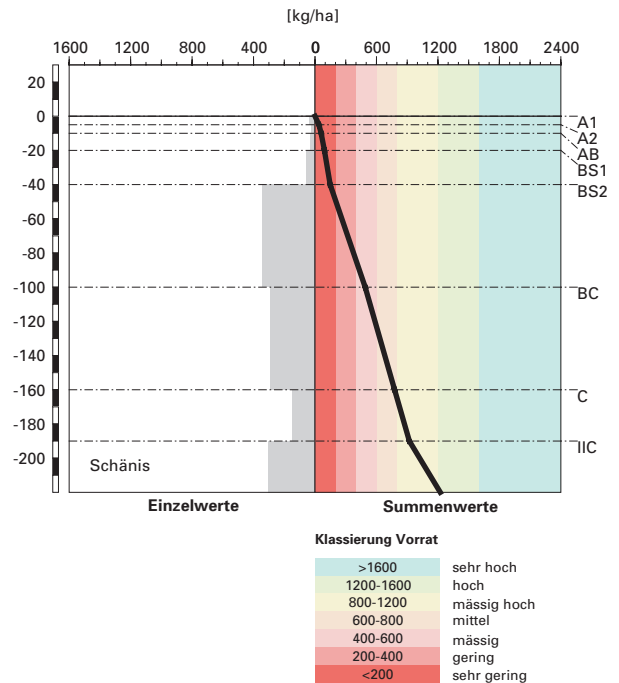


Abb. V19.23 Vorrat an Kalium

V19.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

V19.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. V19.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

V19.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand wird von der Buche dominiert, wobei auch viele Bergahorne und einige Eschen beigemischt sind. Diese Baumartenmischung ist naturnah. Nach Burger et al. (1996) ist an diesem Buchenstandort (Einheit 12S) die Humusform Mull häufig. Den vorhandenen Mull bewerten wir demnach als standorttypisch.

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Buchenstandort (Einheit 12S) folgende Baumarten für die Verjüngung geeignet: Buche, Tanne, Bergahorn und Esche. Von der Verjüngung des Kirschbaums wird explizit abgeraten. Das ziemlich kühle Klima schränkt den Spielraum des Waldbauers bei der Baumartenwahl etwas ein. Ob und inwieweit zusätzlich zum Klima auch ungünstige Bodeneigenschaften die Baumartenauswahl einschränken, wird gleich anschliessend beschrieben.

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

■ Durchwurzelbarkeit des Bodens

Dieser Boden ist derart schwach hydromorph geprägt, dass er von allen Baumarten nahezu ungehindert und tief durchwurzelt werden kann. Somit schränkt die Durchwurzelbarkeit des Bodens die Baumartenauswahl nicht ein.

■ Entwässerung des Bodens durch die Bäume

In dieser bloss schwach pseudovergleyten Braunerde kann das Kriterium der biologischen Entwässerung bei der Baumartenwahl vernachlässigt werden.

Tab. V19.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Schänis)		
Standortangaben		
Relief	Höhe	710 m ü. M.
	Exposition	W
	Neigung	60 %
Klima	Jahresniederschlag	1801 mm
	Jahrestemperatur	7.9°C
Ausgangsgestein	Kalknagelfluh	
Baumbestand	Struktur	einschichtig
	Schlussgrad	90 %
	Baumarten (Deckung)	60 % Rotbuche, 35 % Bergahorn
	Oberhöhe	35 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr. 13: Linden-Zahnwurz-Buchenwald
	nach BUWAL 2005	Einheit 12S: Feuchter Zahnwurz-Buchenwald
Bodenkennwerte		
Bodensystematik	Humusform	Mull
	Bodentyp	Braunerde
	Vernässungsgrad	schwach pseudovergleyt
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Die Durchlüftung ist in diesem schwach hydromorph gezeichneten Boden zwischen 20 und 100 cm Tiefe zeitweise ungenügend. Die Vernässung ist durch Stauwasser bedingt.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden ist für alle Baumarten nahezu uneingeschränkt und mindestens profilumfassend durchwurzelbar. Die stellenweise nicht optimale Durchlüftung des Bodens dürfte seine Durchwurzelbarkeit nur wenig beeinträchtigen. Der Wurzelraum wird mit mehr als 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Wurzeln wurden bis 160 cm Tiefe beobachtet.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besteht für alle Baumarten ein bloss kleines Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Die Kalkgrenze verläuft in 100 cm Tiefe. Oberhalb der Kalkgrenze ist die Feinerde mässig bis stark sauer.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Mull weist auch das enge C/N-Verhältnis im A1-Horizont auf eine hohe Mineralisierungsrate hin. Unterstützt wird diese Aussage durch das enge C/P-Verhältnis im A1-Horizont. Die biologische Aktivität wird gesamthaft als hoch klassiert.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen bis 120 cm Tiefe sind insgesamt recht gross. Der Ca-Vorrat ist sehr hoch, der Mg-Vorrat hoch und der K-Vorrat ist mässig.
Verankerung		Da der Boden sehr tiefgründig ist, wird die Verankerung des Baumbestandes als gut bewertet.
Befahrbarkeit		Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen.

■ Trockenstress-Risiko für die Bäume

Es besteht lediglich ein kleines Risiko für Trockenstress. Im Boden dürfte für alle Baumarten meist ein ausreichender Wasservorrat verfügbar sein. Dieses Kriterium schränkt die Baumartenauswahl nicht ein.

■ Säurezustand und Aluminium-Toxizität

Es besteht zwar kein Risiko für Al-Toxizität. Da der Boden jedoch bis 100 cm Tiefe mässig bis stark sauer reagiert, ist eine Verbesserung des Säurezustandes erwünscht. Wir sehen jedoch keine Möglichkeit, den Säurezustand mit der Baumartenwahl wesentlich zu verbessern, weil erstens die Humusform ein Mull ist, also keine mehrjährige, saure organische Auflage vorliegt, und zweitens die Baumartenmischung naturnah ist. Im Hinblick auf den Säurezustand des Bodens können sich waldbauliche Eingriffe auf den Erhalt der aktuell naturnahen Baumartenmischung beschränken.

■ Nährstoffangebot im Boden

Die biologische Aktivität im Oberboden ist hoch. Eine Erhöhung der Mineralisierung durch Einbringen geeigneter Baumarten ist nicht nötig. Im Hinblick auf die Nährstoffumsetzung im Oberboden ist bei waldbaulichen Eingriffen darauf zu achten, die aktuell naturnahe Baumartenmischung zu erhalten.

Die in allen Horizonten relativ ausgeglichenen Gehalte an Nährstoffkationen und deren bis 120 cm Tiefe recht grosser Vorrat dürften allen Baumarten ein konkurrenzkräftiges Wachstum erlauben. Dies gilt selbst für die nährstoffbedürftigen Edellaubhölzer. Die Nährstoffvorräte für sich allein betrachtet schränken die Baumartenauswahl nicht ein.

V 19.7.3

Baumartenempfehlung

Aufgrund des ziemlich kühlen Klimas lassen sich an diesem Buchenstandort nicht alle Baumarten einbringen. Zudem schränken zwei der von uns betrachteten bodenkundlichen Kriterien die Baumartenauswahl ein, und zwar der Säurezustand des Bodens und die biologische Aktivität im Oberboden. Die in **Tab. V 19.6** enthaltene Baumartenempfehlung vom BUWAL (2005) ist hinsichtlich dieser einschränkenden Kriterien zu hinterfragen.

Aus bodenkundlicher Sicht sind an diesem Waldstandort grundsätzlich Laubhölzer zu fördern. Der Boden erlaubt einigen Laubbaumarten ein konkurrenzstarkes Wachstum. Die Laubhölzer erhalten die Bodenqualität nachhaltig, indem ihre relativ gut abbaubare Streu die biologische Aktivität im Oberboden fördert, was günstige Auswirkungen auf den Säurezustand des Bodens und die Verfügbarkeit der Nährstoffe hat. Ein zu hoher Nadelholzanteil würde in diesem sauren Boden die zurzeit hohe biologische Aktivität gefährden.

Tab. V19.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand

Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 12 S; BUWAL 2005)	Buche, Tanne, Bergahorn, Esche (keine Kirsche)
Bodenkundliche Kriterien	Buche, Bergahorn, Esche, Tanne

Die Baumartenempfehlung in Tab. V19.6 (BUWAL 2005) steht mit jener aus bodenökologischer Sicht weitgehend in Einklang. Der Bodenkundler würde allerdings an diesem wüchsigen Standort zusätzlich zu den Arten des BUWAL (2005) den Kirschbaum und die Bergulme für den Hauptbestand in Betracht ziehen.

V19.8 Literatur

Burger, T./Danner, E./Kaufmann, G./Lüscher, P./Stocker, R., 1996: Standortkundlicher Kartierungsschlüssel für die Wälder der Kantone Bern und Freiburg. Teil 1: Kommentare zu den Waldgesellschaften. Teil 2: Anwenderschlüssel. Teil 3: Anwenderschlüssel, Anhang. Solothurn/Lenzburg/Birmensdorf, ARGE Kaufmann + Partner/Burger + Stocker/Forstliche Bodenkunde WSL. Herausgeber: Amt für Wald und Natur, Kanton Bern und Kantonsforstamt, Kanton Freiburg.

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

Ellenberg, H./Klötzli, F., 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Eidgenöss. Forschungsanst. Wald Schnee Landsch. 48, 4: 587–930.

FAO, 1988: FAO/Unesco Soil Map of the World, Revised Legend, with corrections and updates. World Soil Resources Report 60, FAO, Rome. Reprinted with updates as Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen, 1997. 140 S.

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