

V4 Bodenprofil Saanen-Bärgli

V4.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

V4.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Das Bodenprofil ist in [Abb. V4.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb. V4.2](#). [Tab. V4.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Saanen-Bärgli zusammen, und [Tab. V4.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

V4.1.2 Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit S7 (alpine Flysch-Berglandschaft, Bündnerschiefer; steile Nordhänge, Hangneigung >35%). 571 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 4.8% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

V4.1.3 Besonderheiten am Profilort

Das Bodenprofil V4 repräsentiert den Boden in einer typischen Ausbildung des Alpendost-Fichten-Tannenwaldes.

V4.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab. V4.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Die Streu stammt vor allem von Tannen und Fichten, wobei auch die krautigen Pflanzen einen nicht vernachlässigbaren Anteil der Streu liefern. Die Nadeln und die übrigen Pflanzenbestandteile werden rasch abgebaut, so dass auf der Bodenoberfläche bloss eine dünne Streuschicht liegt. Aufgrund der Horizontfolge L-Ah wird die Humusform als Mull klassiert. Unter der organischen Auflage lassen sich im 150 cm tiefen Bodenprofil aufgrund der morphologischen Merkmale fünf Horizonte unterscheiden. Das Bodenprofil ist farblich wenig differenziert, so dass die einzelnen Horizonte nur mit Mühe erkennbar sind.

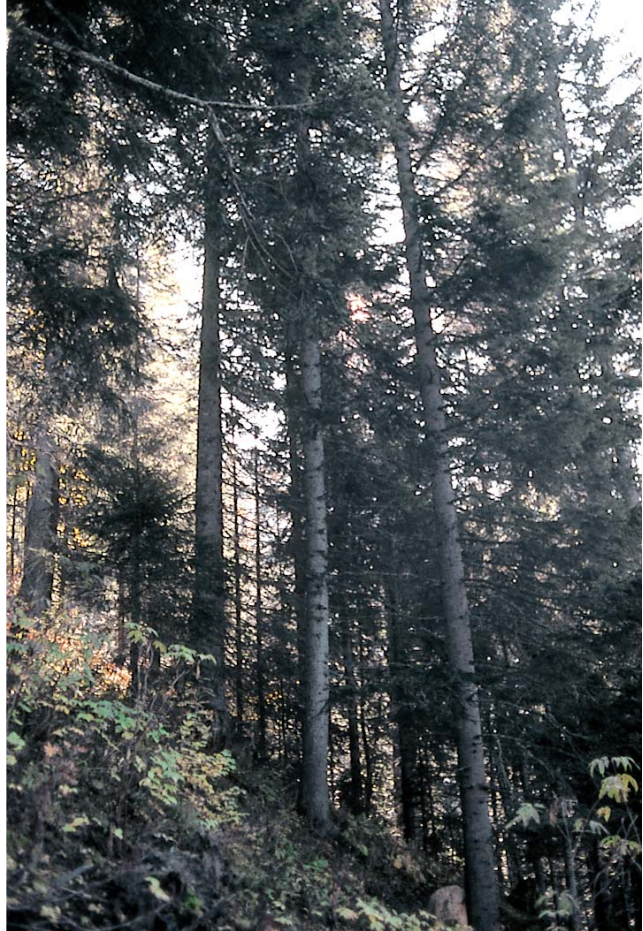


Abb. V4.1 ([links](#)) Bodenprofil Saanen-Bärgli

Abb. V4.2 ([rechts](#)) Bestand am Profilort Saanen-Bärgli

Tab. V4.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Saanen-Bärgli	
Lokalname	Saanen-Bärgli 5017 (Kanton Bern, Gemeinde Saanen)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1266, Lenk Koordinaten 585040/144340
Waldgesellschaft (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 50: Alpendost-Fichten-Tannenwald (<i>Adenostylo-Abietetum</i>)
Horizontfolge	L-Ah-(A)B-B-BC1-BC2
Humusform	Mull
Bodentyp	Braunerde
Bodentyp (FAO 1988)	Eutric Cambisol

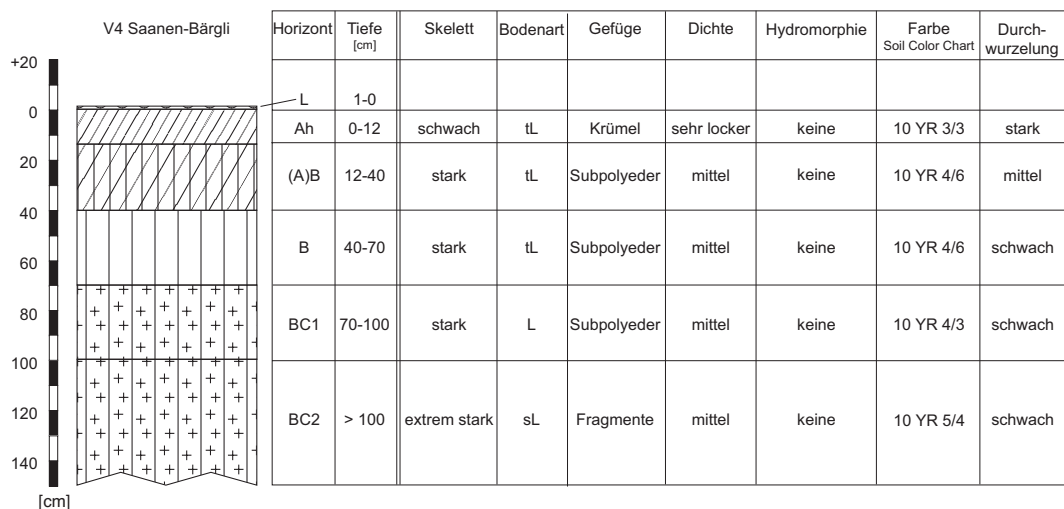
Tab. V4.2		Bodenbildungsfaktoren am Profilort Saanen-Bärgli	
Relief	Höhe ü. M.	1485 m	
	Exposition	NW	
	Neigung	70%	
	Geländeform	Oberhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Penninikum; Flysch (Tonschiefer)	
	Lithofazies	Nr. 11: Mergel- und Tonschiefer (Flysch, Bündnerschiefer und Lias)	
	(nach Tuchschnid 1995)	physikalische Verwitterbarkeit Gestein: gross	klein–mittel
		chemische Verwitterbarkeit Gestein: Tongehalt Gestein:	mittel
Klima	T/N Jahresmittel	4.2°C/1791 mm	
	T/N Januarmittel	– 2.6°C/139 mm	
	T/N Julimittel	12.8°C/144 mm	
	Tage mit Schneedecke	162	
	Wärmegliederung	sehr rauh	
	Länge der Vegetationsperiode	120–135 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (25 m Höhe)	75 %	50 % Weiss-Tanne (<i>Abies alba</i>) 50 % Fichte (<i>Picea abies</i>)
	Strauchschicht	2 %	–
	Krautschicht	80 %	Hasenlattich (<i>Prenanthes purpurea</i>) Wald-Hainsimse (<i>Luzula sylvatica</i>) breitblättriger Ehrenpreis (<i>Veronica urticifolia</i>) wolliger Hahnenfuss (<i>Ranunculus lanuginosus</i>) eisenhutblättriger Hahnenfuss (<i>Ranunculus aconitifolius</i>) grauer Alpendost (<i>Adenostyles alliariae</i>)
	Mooschicht	20 %	–

Farblich hebt sich nur die dunkelbraune Schicht in 0–12 cm Tiefe einigermaßen deutlich von den sonst relativ homogenen Brauntönen des Profils ab. Mit Ausnahme des schwach skeletthaltigen Oberbodens enthält der Boden sehr viel Skelett. Ab 100 cm Tiefe kündigt sich das Ausgangsgestein mit einem extrem starken Skelettgehalt an. Die Feinerde ist überall lehmig. Der krümelige Oberboden ist sehr locker, darunter erreicht die Dichte bei einer Subpolyeder- oder Fragmentstruktur mittlere Werte. In diesem relativ lockeren Boden haben sich keine hydromorphen Merkmale gebildet. Wurzeln konnten, wenn auch nur spärlich, bis zur Profilsohle in 150 cm Tiefe beobachtet werden.

Die Horizontfolge des Profils lautet L-Ah-(A)B-B-BC1-BC2. Damit wird der Boden als Braunerde klassiert.

Tab. V4.3**Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Saanen-Bärgli**

Bodenart: tL toniger Lehm, L Lehm, sL sandiger Lehm

**Ergänzende Bodenmerkmale**

Da der Boden mit dem vorliegenden Bodenprofil zuwenig tief erschlossen ist, wissen wir nicht, in welcher Tiefe die Kalkgrenze liegt. Sie verläuft aber mit Sicherheit unterhalb von 150 cm Tiefe. Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde im gesamten Profil sauer. Es konnten keine unüberwindbaren Hindernisse für das Wurzelwachstum erkannt werden.

V4.2**Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»****V4.2.1****Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte****Skelettgehalt**

Der Skelettgehalt nimmt mit der Tiefe markant zu (Abb. V4.3). Nur die obersten 12 cm des Bodens enthalten mit rund 10% wenig Skelett. In 12 bis 100 cm Tiefe ist der Boden mit einem Skelettanteil von rund 30–40% stark skeletthaltig. Im BC2-Horizont macht sich das Ausgangsgestein mit einem Skelettgehalt von 65% bemerkbar.

Bodenart

Die Feinerde wird mit zunehmender Tiefe grobkörniger, was mit dem gegen die Profilsohle hin abnehmenden Verwitterungsgrad des Bodens erklärt werden kann (Abb.V4.4). In den obersten 70 cm des Profils sind ausgewogene Anteile an Sand, Schluff und Ton vorhanden, weiter unten im Profil dominiert die Sandfraktion. In Bezug auf den Tongehalt handelt es sich bis 70 cm Tiefe um schweren, weiter unten um mittelschweren Boden. Die Bestimmung der Bodenart im Feld stimmt gut mit den Messwerten überein (Tab.V4.3).

Dichte der Feinerde

Die Dichte der Feinerde ist bis 70 cm Tiefe äusserst gering (Abb.V4.5). In 70 cm Tiefe nimmt die Dichte sprunghaft auf einen Wert von rund 1.10 g/cm^3 zu, wird aber selbst damit als bloss sehr gering klassiert.

Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Der Boden ist bis 70 cm Tiefe derart locker gelagert, dass seine Durchlässigkeit trotz hohem Tongehalt als hoch eingeschätzt wird (Abb.V4.6). Ab 70 cm Tiefe vermindert die grössere Dichte die Durchlässigkeit, insbesondere im ziemlich tonreichen BC1-Horizont.

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe wird mit 152 l/m^2 als hoch klassiert (Abb.V4.7).

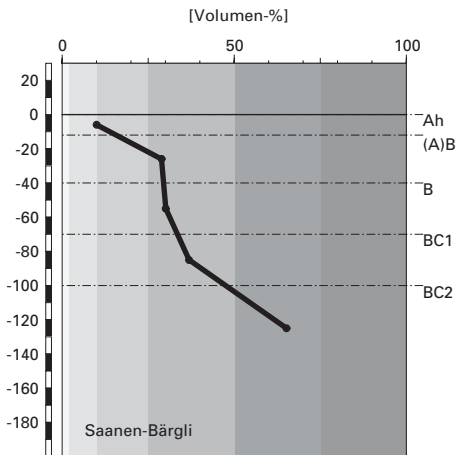
V4.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In dieser Braunerde kommen keine Vernässungsmerkmale vor. Wir nehmen daher an, dass im Boden kaum je mit ungenügender Durchlüftung und in der Folge mit Sauerstoffarmut zu rechnen ist. Diese Einschätzung steht recht gut in Einklang mit der Leitfähigkeitskurve, welche im grössten Teil des Profils eine hohe Wasserdurchlässigkeit angibt (Abb.V4.6). Einzig im BC1-Horizont könnte man aufgrund der als gering klassierten Durchlässigkeit einen Wasserstau und damit verbunden eine zeitweise ungenügende Durchlüftung erwarten - was aber aufgrund der fehlenden hydromorphen Merkmale offenbar nicht zutrifft.

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

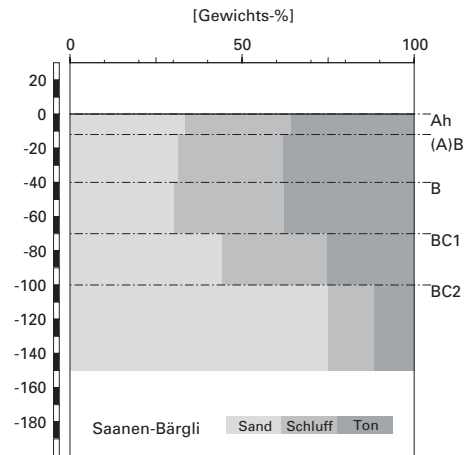


Abb. V4.3 (links) Skelettgehalt

Abb. V4.4 (rechts) Bodenart

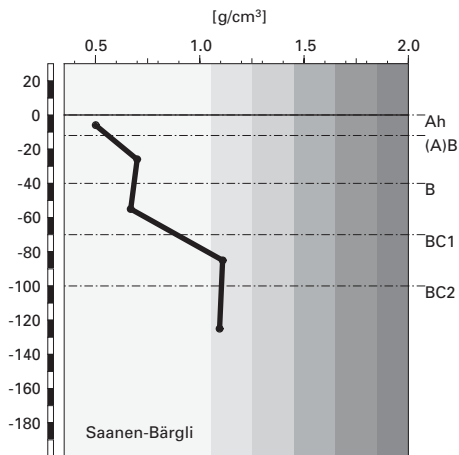
Durchwurzelbarkeit des Bodens

Bezogen auf die Dichte und die Durchlüftung lässt sich der Boden von allen Baumarten uneingeschränkt und mindestens profilumfassend durchwurzeln. Die Dichtewerte sind kleiner als 1.4 g/cm^3 (unterer kritischer Wert) und die Durchlüftung ist in allen Horizonten ausreichend. Der Wurzelraum ist nicht begrenzt und wird mit $> 120 \text{ cm}$ Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Allenfalls schränkt der hohe Skelettgehalt im BC2-Horizont die Durchwurzelung ein. Er kann sie aber nicht vollständig unterbinden, wie das Vorkommen von Tannen- oder Fichtenwurzeln bis zur Profilssole in 150 cm Tiefe zeigt.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Bei einer Referenztiefe von 120 cm gehen wir gemäss unseren Berechnungen davon aus, dass der Bestand in Trockenperioden ohne bedeutende Niederschläge nach rund 20 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Wir

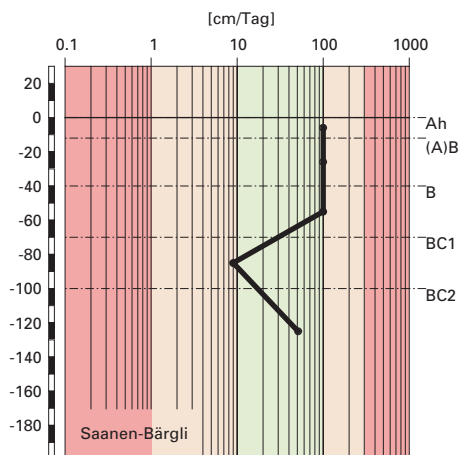
Feinerde-Dichte



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. V4.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb. V4.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

schätzen das Trockenstress-Risiko an diesem Tannen-Fichtenstandort (E & K 50) trotz der bis 120 cm Tiefe nicht optimalen Wasserspeicherleistung als klein ein, weil der Boden sehr tiefgründig ist und zudem im Hinblick auf Trockenstress ein günstiges Klima mit ausreichenden Niederschlägen herrscht.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand nur mässig empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er ab 10 cm Tiefe ziemlich viel Skelett enthält. Bei einer Hangneigung von 70% lässt sich der Bestand allerdings nicht mit schweren Maschinen befahren.

pflanzenverfügbares Wasser

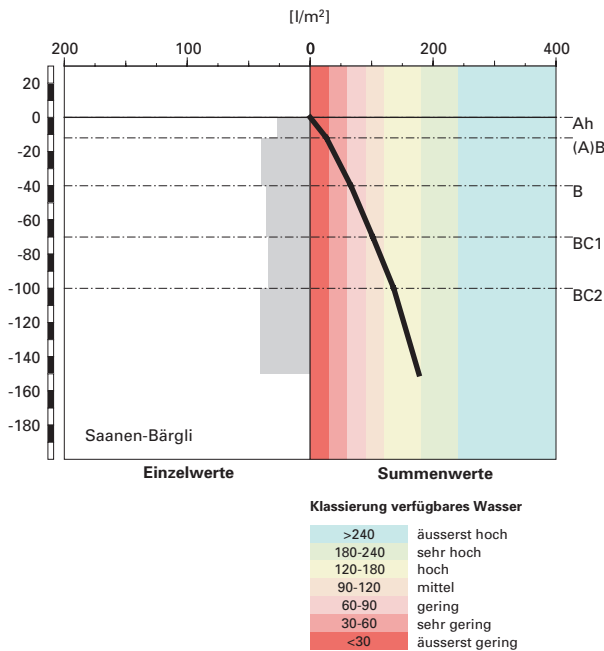


Abb. V4.7 Pflanzenverfügbares Wasser

V4.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

V4.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Der Baumbestand am Profilort Saanen-Bärgli setzt sich je hälftig aus Fichten und Weiss-Tannen zusammen und hat einen Deckungsgrad von 75%. Am Boden gedeiht eine Krautschicht mit einem Deckungsgrad von 80%. Sie besteht vor allem aus Hasenlattich, Wald-Hainsimse, breitblättrigem Ehrenpreis, wolligem Hahnenfuss, eisenhutblättrigem Hahnenfuss und grauem Alpendost. Die Streu stammt hauptsächlich aus dem Baumbestand, zu einem guten Anteil aber auch aus der Krautschicht. Sie ist insgesamt mässig gut abbaubar. Trotzdem hat sich auf dem Boden nur eine dünne Streuschicht gebildet.

Der Ah-Horizont hebt sich durch seine dunkel braune Farbe deutlich vom braun gefärbten (A)B-Horizont ab. Sein Gehalt an organischem

organischer Kohlenstoff

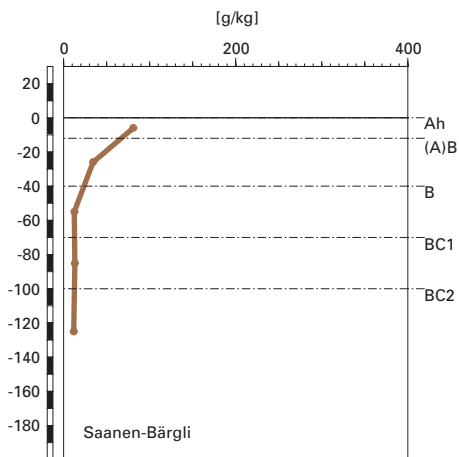


Abb. V4.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Kohlenstoff-Vorrat

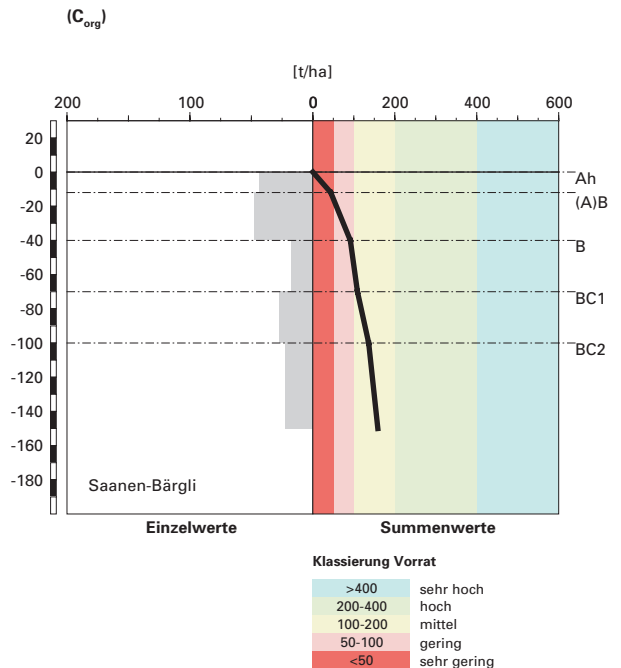


Abb. V4.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

Kohlenstoff (C_{org}) beträgt 8.1% (Abb. V4.8). Mit der Tiefe nimmt der C_{org} -Gehalt bis in den B-Horizont auf 1.2% ab und verbleibt in den tiefer gelegenen Horizonten auf diesem Wert. Aus den C_{org} -Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 159 t/ha (Abb. V4.9).

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt schwankt im Oberboden und im B-Horizont zwischen 36% und 38% (Abb. V4.4). Im BC1-Horizont beträgt er noch 25% und im BC2-Horizont nimmt er weiter auf 12% ab.

Die Gehalte der extrahierbaren Eisenverbindungen haben alle eine ähnliche Tiefenverteilung (Abb. V4.10). Der Gehalt des Dithionit-extrahierbaren Eisens (Fe_d) nimmt vom Ah- in den (A)B-Horizont zu, bleibt dann bis in den BC1-Horizont mehr oder weniger konstant und nimmt im BC2-Horizont auf den geringsten Wert ab. Beim Oxalat-extrahierbaren Eisen (Fe_o) nimmt der Gehalt vom Ah- bis zum grössten Wert im BC1-Horizont kontinuierlich zu und im BC2-Horizont auf den kleinsten Wert ab. Das Pyrophosphat-extra-

hierbare Eisen (Fe_p) verhält sich wie Fe_o , sein Maximum befindet sich allerdings im B-Horizont und im BC2-Horizont fehlt der Messwert. Der Gehalt des Oxalat-extrahierbaren Aluminiums (Al_o) ist im Oberboden konstant, nimmt im Unterboden bis zum Maximum im BC1-Horizont zu und im BC2-Horizont auf den minimalen Wert ab (Abb. V4.11). Das Pyrophosphat-extrahierbare Aluminium (Al_p) hat im ganzen Boden einen ungefähr gleich grossen Gehalt.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis nimmt von 0.5 im Ah- auf 0.6 im BC1-Horizont zu (Abb. V4.12). Im BC2-Horizont ist es mit 0.3 minimal. Das Fe_p/Fe_o -Verhältnis ist bis 70 cm Tiefe konstant bei 0.65 und nimmt im BC1-Horizont auf 0.4 ab. Das Al_p/Al_o -Verhältnis ist im Ah-Horizont 1. Im BC1-Horizont ist es mit 0.5 am kleinsten. Dazwischen nimmt es mit Ausnahme eines unrealistisch grossen Wertes im (A)B-Horizont kontinuierlich ab.

V4.3.2

Bodenkundliche Interpretation

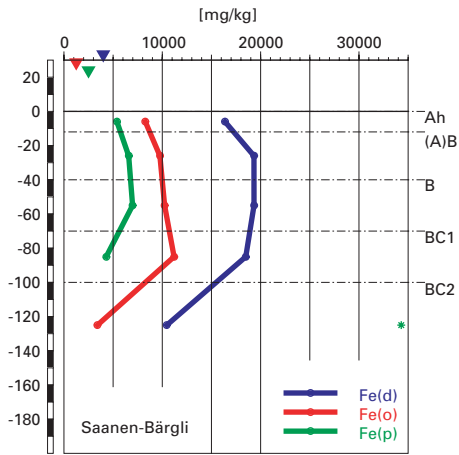
Die mässig gut abbaubare Streu von Fichte, Tanne und den Pflanzen der Krautschicht wird innerhalb eines Jahres praktisch vollständig zersetzt. Es hat sich nur eine dünne Streuschicht gebildet. Die Humusform wird deshalb als Mull klassiert. Am Profilort Saanen-Bärgli ist mit durchschnittlichen jährlichen Niederschlägen von 1791 mm und einer Jahresdurchschnittstemperatur von 4.2°C (durchschnittliche Julitemperatur 12.8°C) genügend Feuchtigkeit und Wärme für eine grosse biologische Aktivität vorhanden. Trotz der stark sauren Feinerde im ganzen Boden kommen Regenwürmer vor. Die hohe biologische Aktivität äussert sich in einer Krümelstruktur im Ah-Horizont und einer intensiven Durchmischung von organischer Substanz und Mineralerde. Dadurch werden organo-mineralische Verbindungen ermöglicht, welche die organische Substanz vor weiterem Abbau schützen. Auf diese Weise konnte sich ein im gesamtschweizerischen Vergleich mittlerer Vorrat an organischem Kohlenstoff von 159 t/ha bilden (Abb. V4.9).

Der Tongehalt nimmt mit der Tiefe stark ab. Im BC2-Horizont erreicht er 12% und nähert sich damit vermutlich dem Wert an, der im Ausgangsgestein, einem Tonschiefer, natürlicherweise vorhanden ist. In den obersten 70 cm Tiefe erreicht der Tongehalt nahezu 40% und repräsentiert damit die in diesem Bereich am intensivsten ablaufenden Bodenbildungsprozesse wie Verwitterung und Tonmineralneubildung.

Die Zunahme von Fe_d vom Ah- in den (A)B-Horizont ist vor allem durch die Verdünnung des Gehaltes im Ah-Horizont bedingt. Bezieht man nämlich die Gehalte auf die C_{org} -freie Mineralerde, so schwankt der Fe_d -Gehalt nur noch in einem sehr engen Bereich von 19.0 bis 20.7 g/kg Boden. Er kann also bis in eine Tiefe von 100 cm als konstant angenommen werden. Erst

Eisen-Oxide

(Gehalte)



Aluminium-Oxide

(Gehalte)

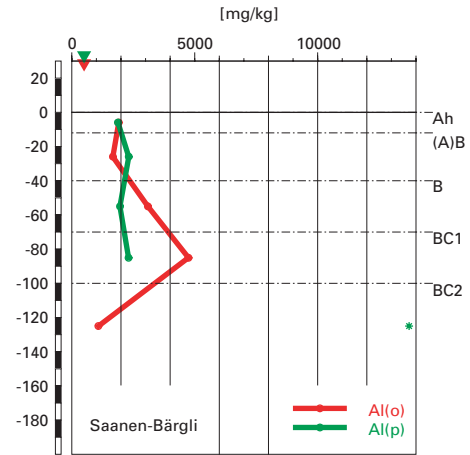


Abb. V4.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb. V4.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)

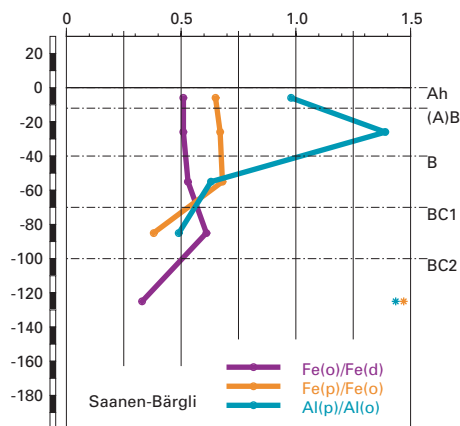


Abb. V4.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

darunter nimmt er deutlich ab. Das gleiche gilt für den Fe_o -Gehalt. Dies ist typisch für eine Braunerde mit intensiver Verwitterung und Verbraunung in den oberen Mineralerdehorizonten. Einerseits werden durch die Verwitterung im Tonschiefer eingeschlossene Eisenoxide frei und erhöhen den Fe_d -Gehalt. Andererseits bildet Eisen, welches durch die Silikatverwitterung freigesetzt wird, amorphe Eisenoxide, die sich im Fe_o -Gehalt niederschlagen. Durch die starke Abnahme vom BC1- in den BC2-Horizont sowohl von Fe_d als auch von Fe_o wird ersichtlich, dass die Verbraunung im BC2-Horizont nicht mehr sehr gross ist. Seine relativ dunkle Farbe dürfte der Horizont vom für diese Tiefe relativ grossen C_{org} -Gehalt von 1.2% und durch eine Eigenfärbung des Tonschiefers erhalten haben. Diese Vermutung wird durch das Fe_o/Fe_d -Verhältnis bestätigt, welches im BC2-Horizont stark abnimmt. Das heisst, dass der Anteil der durch die Verbraunung entstehenden amorphen Eisenfraktion am gesamthaft extrahierbaren Eisen im BC2-Horizont stark abnimmt, die Verbraunung also nur noch schwach ist.

Bei der Tiefenverteilung von Al_o sind bereits Anzeichen einer Verlagerung sichtbar. Al_o ist im (A)B-Horizont leicht abgereichert und zeigt ein deutliches Maximum im BC1-Horizont. In der stark sauren Feinerde wird Aluminium aus den amorphen Verbindungen gelöst und als gelöste anorganische Verbindung oder zusammen mit gelöster organischer Substanz in die Tiefe verlagert. Es fällt in jenem Horizont wieder aus, in dem die Löslichkeitsbedingungen nicht mehr gegeben sind. Hier ist es der BC1-Horizont, welcher den höchsten pH-Wert aufweist. Bei Eisen ist höchstens eine Verlagerung in Form Metall-organischer Verbindungen möglich. Die Tiefenverteilung von Fe_p deutet durch die Zunahme bis in den B-Horizont eine schwache Verlagerung von Eisen mit gelöster organischer Substanz an. Das Fe_p/Fe_o -Verhältnis veranschaulicht bis in den B-Horizont eine starke Assoziation von amorphem Eisen mit der organischen Substanz. Diese Verlagerung könnte auch die leichte Zunahme des Fe_o/Fe_d -Verhältnisses bis in den BC1-Horizont erklären, indem die verlagerten, amorphen Eisenverbindungen dieses Verhältnis leicht vergrössern.

Das Pyrophosphat-extrahierbare Aluminium variiert ziemlich stark mit der Tiefe. Die Interpretation des Tiefenverlaufs von Al_p ist entsprechend unsicher.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als Braunerde klassiert. Die Interpretation der Bodenhauptbestandteile bestätigt diese Klassierung. Allerdings reicht die Verbraunung nicht bis in den BC2-Horizont. Der als BC2 bezeichnete Horizont erhält seine dunkle Farbe durch den Gehalt an organischem Kohlenstoff und durch eine Eigenfärbung des Tonschiefers.

V4.4 Themenbereich «Säurezustand»

V4.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Die Feinerde ist im ganzen Profil stark sauer (Abb. V4.13). Die pH-Werte variieren im Tiefenverlauf nur wenig und liegen zwischen 3.9 im (A)B-Horizont und 4.5 im BC1-Horizont. Der ganze Boden befindet sich in der Säureklasse 4.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist im Ah- und im BC2-Horizont zur Hauptsache mit basischen Kationen, in allen anderen Horizonten überwiegend mit Aluminium belegt (Abb. V4.14). Hervorzuheben ist, dass im B- und BC1-Horizont der Anteil von austauschbarem Magnesium den Anteil von austauschbarem Kalzium übersteigt. Ebenso fällt der vergleichsweise grosse Anteil von austauschbaren Mangan-Kationen und Protonen im ganzen Mineralboden auf. Die Basensättigung ist im Ah- und im BC2-Horizont hoch, in den übrigen Horizonten ist sie als mässig bis mittel zu klassieren (Abb. V4.15).

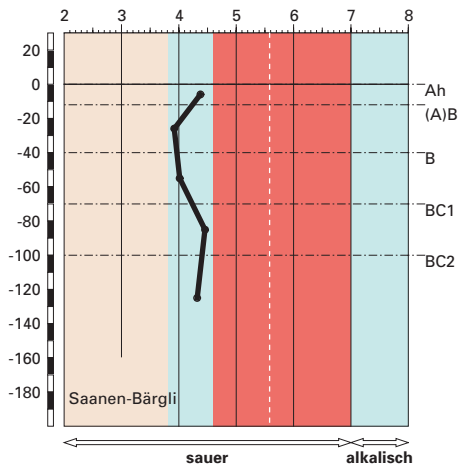
V4.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

Der Stand der Bodenversauerung dieser Braunerde wird anhand des Tiefenverlaufes des pH-Wertes beurteilt. Der Boden ist zwar im ganzen aufgeschlossenen Teil vollständig entkarbonatet, aber die hohe Basensättigung im C-Horizont zeigt deutlich an, dass das nicht erschlossene Ausgangsgestein karbonathaltig ist und damit in der Säureklasse 1 liegt. Die pH-Werte verteilen sich somit über 4 Säureklassen und der Boden wird als stark versauert klassiert. Die Tiefe der Versauerungsfront ist allerdings nicht bekannt, weil Aluminium bis an die Profilsohle in austauschbarer Form am Kationenaustauscher vorkommt. Im erschlossenen Teil dieses Bodens, der sich vollständig in der gut puffernden Säureklasse 4 befindet, erfolgt die Säurepufferung primär durch Auflösung von Aluminiumverbindungen. Trotzdem unterblieb im Ah- und im BC2-Horizont die sonst übliche Verdrängung basischer Kationen von den Austauscherplätzen weitgehend. Im BC2-Horizont dürfte dies durch das karbonathaltige Ausgangsgestein bedingt sein, aus welchem mit dem kapillaren Wasseraufstieg basische Kationen aus dem karbonathaltigen Untergrund in die oberen Profilpartien gelangen. Im Ah-Horizont andererseits erfolgt die Nachlieferung basischer Kationen

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

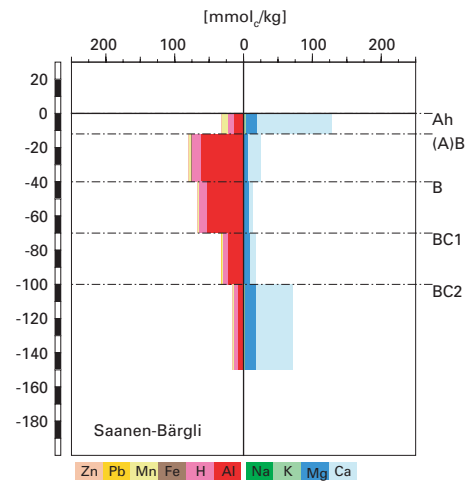
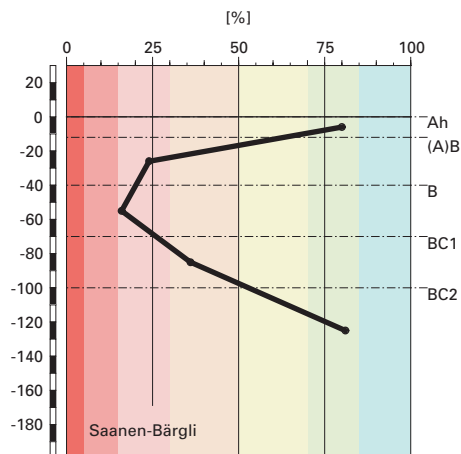


Abb. V4.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb. V4.14 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

Basensättigung



Klassierung Basensättigung

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

Abb. V4.15 Basensättigung

durch den Streufall, was darauf hindeutet, dass die Bäume den nährstoffreichen Unterboden zu erschliessen vermögen. Obwohl der Boden als stark versauert beurteilt wird, zeigt sich dies an der Belegung des Kationenaustauschers nicht in entsprechendem Ausmass.

Risiko für Boden und Pflanzen

Die Empfindlichkeit dieses Bodens für eine weitere pH-Abnahme wird als sehr klein beurteilt, denn die gesamte Feinerde befindet sich in der Säureklasse 4 mit guter Pufferwirkung. Der (A)B-Horizont befindet sich allerdings im untersten pH-Bereich der Säureklasse 4 im Übergang zur Säureklasse 5 mit nur mässiger Pufferwirkung. Bei einer auch nur geringen pH-Abnahme dürfte das Risiko einer weiteren pH-Abnahme in diesem Horizont deshalb zunehmen. Bedingt durch das karbonathaltige Ausgangsgestein und unter der Voraussetzung, dass dieses von den Baumwurzeln weiterhin erschlossen wird, kann davon ausgegangen werden, dass die Basensättigung auch in absehbarer Zukunft vergleichsweise hoch bleiben wird. Dies ist auch der Grund, weshalb in diesem Boden das Gedeihen säureempfindlicher Pflanzen durch toxisch wirkendes Aluminium im gegenwärtigen Zustand nicht beeinträchtigt wird, denn das BC/Al-Verhältniss liegt überall über dem kritischen Grenzwert von 0.2. Bei einer weiteren Versauerung wird der B-Horizont allerdings in nicht allzu ferner Zukunft in den kritischen Bereich gelangen, wodurch das Risiko für das Wachstum empfindlicher Baumarten zunehmen wird.

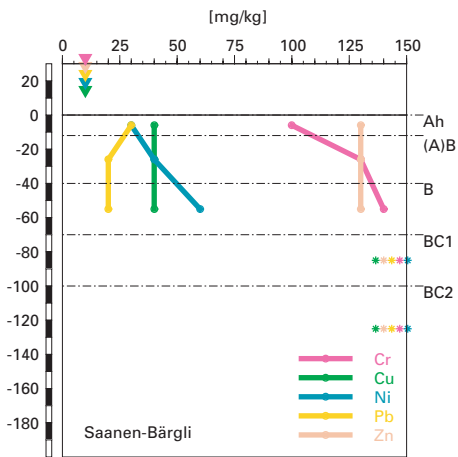
V4.5 Themenbereich «Schwermetalle»

V4.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Im oberen Teil dieses Bodens nehmen der Cr- und Ni-Gehalt mit der Tiefe auf maximale Werte im B-Horizont zu, während Cu und Zn konstant sind ([Abb. V4.16](#)). Der Pb-Gehalt ist im Ah-Horizont etwas grösser als in den beiden darunterliegenden Horizonten.

Der weitere Tiefenverlauf wird aufgrund der Salpetersäure-extrahierbaren Gehalte ([Abb. V4.17](#)) geschätzt. Demzufolge ist zu erwarten, dass die Cr- und Cu-Gehalte in den BC-Horizonten etwas grösser sind als im B-Horizont. Der Ni- und Pb-Gehalt dürften im BC1-Horizont maximal und deutlich grösser sein als im B-Horizont und zum BC2-Horizont hin wieder zurückgehen. Bei Zn erwartet man im BC1-Horizont einen ähnlich hohen Gehalt wie im B-Horizont gefolgt von einer starken Zunahme auf einen maximalen Gehalt im BC2-Horizont.

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



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

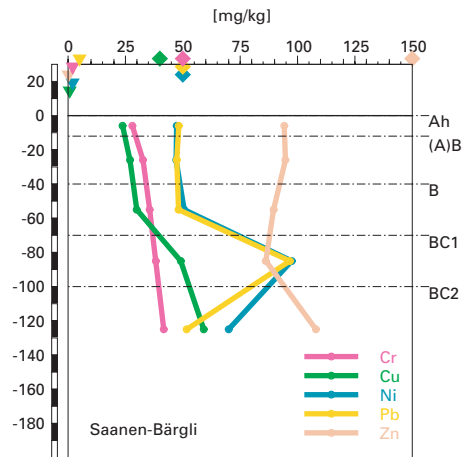


Abb. V4.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. V4.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

V4.5.2

Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Flysch (Lithofazies 11) liegen der Cu-, Ni- und Pb-Gehalt im B-Horizont innerhalb, der Cr- und Zn-Gehalt oberhalb typischer Wertebereiche.

Anmerkung: Weil das Ausgangsgestein, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht aufgeschlossen werden konnte, und für den BC2-Horizont keine Messwerte vorliegen, werden für den geochemischen Vergleich die Schwermetallgehalte im B-Horizont beigezogen. Beurteilt man die basierend auf den Salpetersäure-extrahierbaren Gehalten geschätzten Totalgehalte in den BC-Horizonten und berücksichtigt man, dass bei den stark sauren Verhältnissen die Schwermetalle im ganzen Profil eher abgereichert sein dürften, kommt man zum Schluss, dass im Ausgangsgestein dieses Bodens die Gehalte aller Schwermetalle eher über den typischen Wertebereichen liegen.

Bezogen auf die VBBo sind die Gehalte der Schwermetalle in diesem Boden relativ hoch (Abb. V4.17). Im Oberboden weisen Cr, Cu und Zn erhöhte, Ni und Pb hohe Gehalte auf. Im Unterboden ist der Zn-Gehalt erhöht bis hoch und der Cr-Gehalt hoch. Die Ni-, Cu- und Pb-Gehalte im Unterboden sind hoch bis sehr hoch. Die sehr hohen Gehalte, welche eine Überschreitung des Richtwertes der VBBo bedeuten, betreffen beim Ni den B- und die BC-Horizonte, beim Cu und Pb die BC-Horizonte.

Weil das Ausgangsgestein, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht aufgeschlossen werden konnte, und für die BC-Horizonte keine Messwerte der totalen Schwermetallgehalte vorliegen, wurden die Anreicherungs-faktoren relativ zum B-Horizont berechnet. Sie lassen deshalb keine Rückschlüsse auf An- oder Abreicherung gegenüber dem Ausgangsgestein zu.

Der Oberboden ist deutlich mit Pb und etwas mit Cu und Zn angereichert sowie etwas an Ni verarmt (Tab. V4.4). Die Pb-Anreicherung lässt sich mit atmosphärischem Eintrag anthropogener Herkunft erklären, während die Anreicherung von Cu und Zn eher auf die Rückführung dieser Mikro-nährstoffe mit der Streu in den Oberboden zurückzuführen sein dürfte.

Das Maximum der Salpetersäure-extrahierbaren Ni- und Pb-Gehalte im BC1-Horizont (Abb. V4.17) hat vermutlich keine bodengenetische Ursache, sondern ist auf eine Unregelmässigkeit im Ausgangsgestein (Schichtung im Flysch) zurückzuführen.

Tab. V4.4**Anreicherungsfaktoren**

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0– 12	0.95	1.33	0.67	2.00	1.33
(A)B	12– 40	1.09	1.18	0.78	1.18	1.18
B	40– 70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
BC1	70–100	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
BC2	> 100	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Schwermetallmobilität

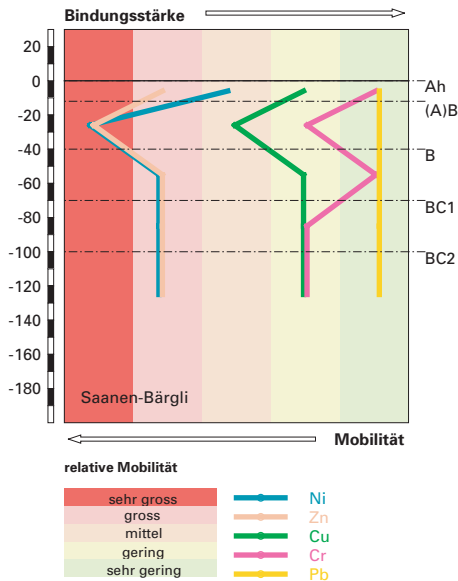


Abb. V4.18 Mobilität der Schwermetalle

V4.5.5

Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

Dieser Boden ist profilumfassend stark sauer (Abb. V4.13). Dementsprechend wird die Mobilität von Zn durchwegs als gross bis sehr gross eingestuft (Abb. V4.18). Die Mobilität von Ni wird im grössten Teil des Profils gleich wie diejenige von Zn beurteilt. Im Ah-Horizont allerdings wird sie durch den hohen Gehalt an organischer Substanz etwas verringert und als mittel geschätzt. Im ganzen Profil ist der Gehalt an organischer Substanz so gross (Abb. V4.8), dass die Mobilität von Cr, Cu und Pb verringert wird. Vom Ah- bis zum B-Horizont ist zudem noch der hohe Tongehalt (Abb. V4.4) für eine Verringerung der geschätzten Mobilität von Cr und Pb verantwortlich. Insgesamt wird die Mobilität von Cr, Cu und Pb im ganzen Profil meist als sehr gering bis gering geschätzt. Die Ausnahme bildet eine mittlere Mobilität von Cu im (A)B-Horizont.

Wegen der bis zum Profilgrund stark sauren Verhältnisse wird bei diesem Boden das Risiko einer Auswaschung von Ni und Zn in den Untergrund als gross beurteilt.

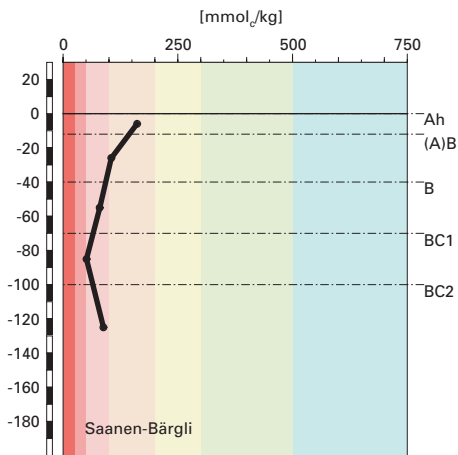
Im Ah-Horizont liegen die meisten Schwermetalle in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind. Hingegen liegt der Cr-Gehalt im Grenzbereich zum Risiko für Mikroorganismen.

Die Nährstoffverfügbarkeit ist im Oberboden aufgrund der Krümelstruktur im Ah-Horizont und der Humusform Mull als gut zu bezeichnen. Die Streu der Fichten, Tannen und der Pflanzen aus der Krautschicht, welche insgesamt mässig gut abbaubar ist, wird innerhalb eines Jahres praktisch vollständig zersetzt. Trotz der stark sauren pH-Verhältnisse im Mineralboden ist die biologische Aktivität hoch und es sind zahlreiche Spuren von Regenwürmern zu beobachten. Dies äussert sich in einem 12 cm mächtigen Ah-Horizont mit krümeliger Struktur.

Das C/N-Verhältnis beträgt im Ah-Horizont 18 und ist damit gemäss Literaturangaben charakteristisch für eine Übergangshumusform von Mull zu Moder. Das mittlere C/N-Verhältnis ist mit einer mittleren Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Trotzdem wird die Streu wegen der grossen biologischen Aktivität nicht nur schnell zersetzt, sondern auch relativ schnell mineralisiert, womit die Nährstoffe den Pflanzen wieder zur Verfügung stehen. Auch das als mässig eng klassierte C/P-Verhältnis von 189 im Ah-Horizont deutet eine mittlere bis grosse biologische Aktivität an.

Mit dem mittleren C/N-Verhältnis wird jedoch die Gefahr angedeutet, dass bei einer geringfügigen Verschlechterung der Abbaubedingungen die Wahrscheinlichkeit der Bildung eines F-Horizontes gross ist, obwohl morphologisch noch keine Ansätze sichtbar sind. Dies würde die Nährstoffverfügbarkeit entsprechend reduzieren.

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)

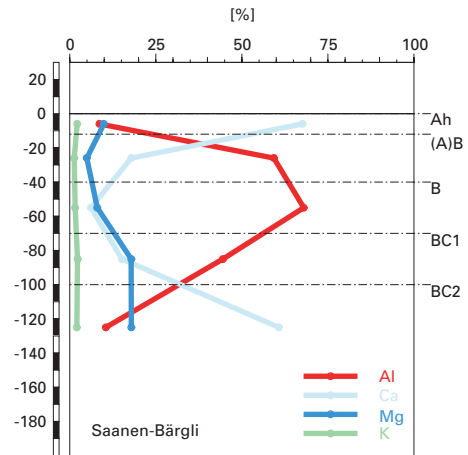


Abb. V4.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. V4.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

V4.6.2

Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) ist im Oberboden mittel und im Unterboden gering (Abb. V4.19). Sie nimmt vom Ah-Horizont von rund 161 mmol_c/kg Boden auf den kleinsten Wert von rund 51 mmol_c/kg Boden im BC1-Horizont entsprechend den abnehmenden C_{org}- (Abb. V4.8) und Tongehalten (Abb. V4.4) ab. Im BC2-Horizont nimmt sie entgegen dem C_{org}- und Tongehalt wieder leicht zu.

Entsprechend der stark sauren Feinerde dominiert Aluminium zwischen 12 und 100 cm Tiefe am Kationenaustauscher. In diesen Horizonten hat es die Nährstoffkationen stark vom Austauscher verdrängt. Die maximale Ca- bzw. Mg-Belegung beträgt hier rund 18% und Kalium erreicht etwas mehr als 2%. Im Ah-Horizont dominiert trotz dem tiefen pH-Wert Kalzium am Austauscher. Dies ist auf den Nährstoffkreislauf zurückzuführen, mit dem

durch den Streufall Nährstoffkationen auf die Bodenoberfläche gelangen. Durch die Mineralisierung der organischen Substanz fallen Nährstoffkationen in grossen Mengen an, welche der Konkurrenz durch Aluminium um Austauschplätze widerstehen und eine relativ hohe Belegung halten können. Die Abnahme der Al-Belegung vom B- in den BC2-Horizont ist mit einer entsprechenden Zunahme der Ca-Belegung verbunden und deutet vermutlich die Nähe der Kalkgrenze an.

Die Mg-Belegung ist im ganzen Boden erstaunlich gross (Abb. V4.20). Sie ist im (A)B-Horizont mit 5% minimal und nimmt mit der Tiefe bis auf 18% im BC2-Horizont zu. Aus dieser Tiefenverteilung kann auf eine lithogene Ursache der grossen Mg-Belegung geschlossen werden. Die K-Belegung schliesslich bewegt sich im ganzen Boden um 2%.

V4.6.3 Nährstoffvorräte

In den Abb. V4.21 bis V4.23 sind die Vorräte an Ca, Mg und K dargestellt. Der Ca-Vorrat befindet sich vor allem im Ah- und BC2-Horizont. Dazwischen wurde Ca stark durch Al vom Austauscher verdrängt. Die Mg- und K-Vor-

Kalzium-Vorrat

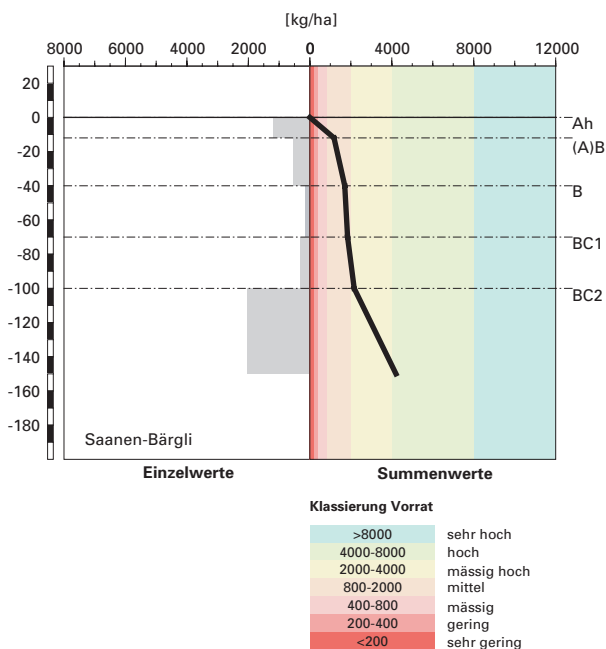


Abb. V4.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

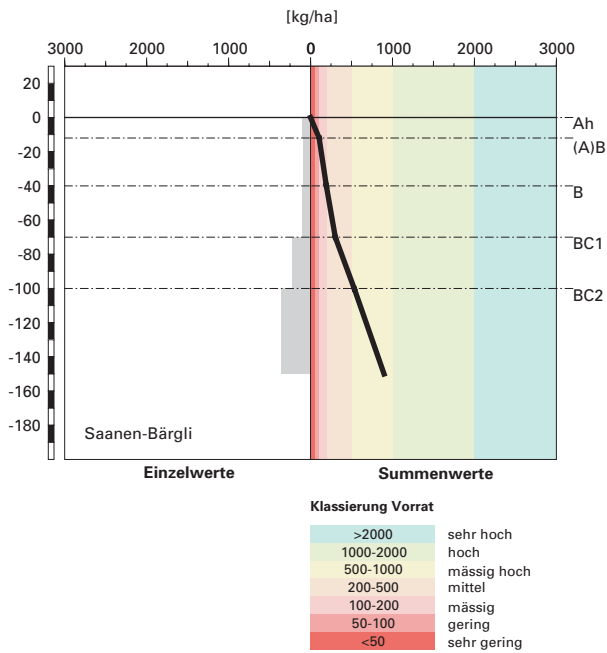


Abb. V4.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

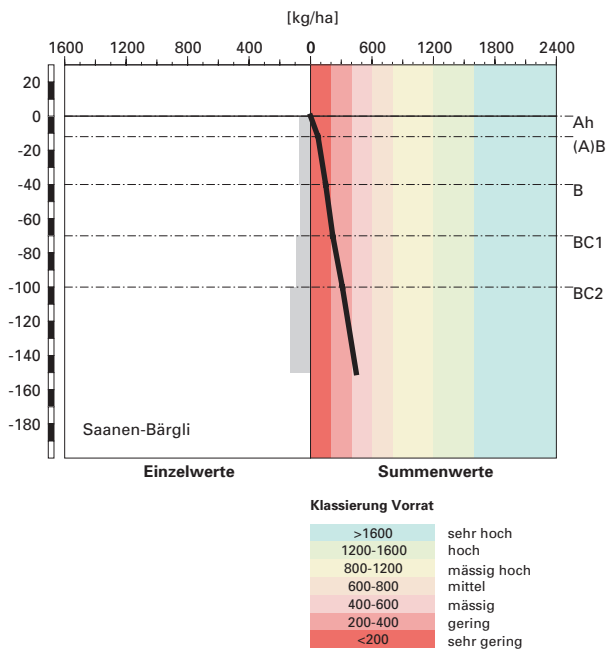


Abb. V4.23 Vorrat an Kalium

räte nehmen mit der Tiefe mehr oder weniger kontinuierlich zu. Im Hauptwurzelraum (bis 60 cm Tiefe) wird das Angebot an Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

Ca mittel
Mg mittel
K sehr gering

Da der Boden bis mindestens 150 cm durchwurzelbar ist, werden die Vorräte an Nährstoffkationen optimistischer beurteilt. Bis 150 cm Tiefe wird der Ca-Vorrat als hoch, der Mg-Vorrat als mässig hoch und der K-Vorrat als mässig klassiert. Insgesamt werden die Vorräte an Nährstoffkationen als mässig hoch klassiert.

Es gilt zu beachten, dass die Versorgung mit Nährstoffen stark vom Wasserhaushalt abhängig ist. Diesbezüglich herrscht am Profilort Saanen-Bärgli ein kleines Risiko für Trockenstress. Damit dürften die mässig hohen Vorräte an Nährstoffkationen den Pflanzen praktisch uneingeschränkt zur Verfügung stehen.

V4.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

V4.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. V4.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

V4.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Im Bestand sind Tannen und Fichten mit einem etwa gleich grossen Anteil vertreten. Diese Baumartenmischung bewerten wir als naturnah. Nach Ott et al. (1997) trifft man an diesem Tannen-Fichten-Standort (E & K 50) je nach Kleinstandort unterschiedliche Humusformen an. Auf Kuppen kommt meistens Moder oder Rohhumus und in biologisch aktiveren Muldenlagen Mull vor. Das Bodenprofil liegt zwar am Hang, repräsentiert dort aber die Muldenlage. Die beim Profil vorhandene Humusform Mull schätzen wir als standorttypisch ein.

Tab. V4.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Saanen-Bärgli)		
Standortangaben		
Relief	Höhe	1485 m ü. M.
	Exposition	NW
	Neigung	70 %
Klima	Jahresniederschlag	1791 mm
	Jahrestemperatur	4.2°C
Ausgangsgestein	Flysch (Tonschiefer)	
Baumbestand	Struktur	mehrschichtig
	Schlussgrad	75 %
	Baumarten (Deckung)	50 % Weiss-Tanne, 50 % Fichte
	Oberhöhe	25 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr.50: Alpendost-Fichten-Tannenwald
	nach BUWAL 2005	Einheit 50: Typischer Hochstauden-Tannen-Fichtenwald
Bodenkennwerte		
Bodensystematik	Humusform	Mull
	Bodentyp	Braunerde
	Vernässungsgrad	keine Vernässung
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	In dieser gut durchlüfteten Braunerde kommen keine Vernässungsmerkmale vor.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden ist für alle Baumarten uneingeschränkt und mindestens profilumfassend durchwurzelbar. Der Wurzelraum wird mit mehr als 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Wurzeln wurden bis 150 cm Tiefe beobachtet.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besteht für alle Baumarten ein lediglich kleines Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Die Feinerde ist im ganzen Profil stark sauer. Die Kalkgrenze verläuft unterhalb der Profilsohle, also unterhalb von 150 cm Tiefe.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Das mittlere C/N-Verhältnis im Ah-Horizont weist auf eine leicht gehemmte Mineralisierung hin. Das mässig enge C/P-Verhältnis im Ah-Horizont und die Humusform Mull sind dagegen Anzeichen einer hohen biologischen Aktivität. Diese wird gesamthaft als mittel bis hoch bewertet.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen bis 120 cm Tiefe sind unausgewogen. Der Ca- und der Mg-Vorrat sind mässig hoch und der K-Vorrat ist gering.
Verankerung		Der Boden ist sehr tiefgründig. Die Verankerung des Baumbestandes wird als gut bewertet.
Befahrbarkeit		Der Boden reagiert in nassem Zustand nur mässig empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen.

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Tannen-Fichten-Standort (Einheit 50) folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Tanne, Fichte, Vogelbeere und bei alkalischen Verhältnissen zusätzlich der Bergahorn. Diese relativ kleine Auswahl ist unter anderem durch das sehr rauhe Klima bedingt. Ob und inwieweit auch ungünstige Bodeneigenschaften für diese eingeschränkte Baumartenauswahl verantwortlich sind, wird gleich anschliessend beschrieben.

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

■ **Durchwurzelbarkeit des Bodens**

Da diese Braunerde von allen Baumarten uneingeschränkt und tief durchwurzelt werden kann, schränkt dieses Kriterium die Baumartenauswahl nicht ein.

■ **Entwässerung des Bodens durch die Bäume**

Der Boden ist nicht hydromorph geprägt. Daher muss das Kriterium der biologischen Entwässerung des Bodens bei der Baumartenwahl nicht berücksichtigt werden.

■ **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 kein Risiko für Al-Toxizität. Da der Boden jedoch profilumfassend 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. Indem einige Bergahorne, die man an diesem Waldstandort gelegentlich antrifft, in den Bestand eingebracht werden, wird die Streumischung etwas besser abbaubar.

■ **Nährstoffangebot im Boden**

Die biologische Aktivität im Oberboden ist mittel bis hoch. Eine Erhöhung der Mineralisierung durch Einbringen geeigneter Baumarten ist nicht nötig. Im Hinblick auf die Nährstoffumsetzung im Oberboden können sich waldbauliche Eingriffe auf den Erhalt der aktuell naturnahen Baumartenmischung beschränken.

Die Vorräte der Nährstoffkationen bis 120 cm Tiefe sind zwar unausgewogen. Wir gehen aber aufgrund des mässig hohen Ca- und Mg-Vorrates davon aus, dass für alle Baumarten ein konkurrenzkräftiges Wachstum möglich ist. Dies gilt trotz dem geringen K-Vorrat selbst für die nährstoffbedürftigen Edellaubhölzer. Die Nährstoffvorräte für sich allein betrachtet schränken die Baumartenauswahl nicht ein.

V4.7.3 **Baumartenempfehlung**

Das sehr rauhe Klima lässt an diesem Tannen-Fichten-Standort nur wenige Baumarten zu. Zudem schränken zwei der von uns betrachteten bodenkundlichen Kriterien die Baumartenauswahl ein, und zwar der Säurezustand des Bodens und die Mineralisierung im Oberboden. Die in [Tab. V4.6](#) enthaltene Baumartenempfehlung vom BUWAL (2005) ist hinsichtlich dieser einschränkenden Kriterien zu hinterfragen.

Aus bodenkundlicher Sicht wären an diesem Waldstandort grundsätzlich Laubbaumarten zu fördern. Die Laubhölzer erhalten die Bodenqualität nachhaltig, indem ihre gut abbaubare Streu die biologische Aktivität im Oberboden fördert, was günstige Auswirkungen auf den Säurezustand des Bodens und die Verfügbarkeit der Nährstoffe hat. An diesem schattigen Hang mit sehr rauhem Klima können jedoch nur noch wenige Laubhölzer wachsen, am ehesten noch die Vogelbeere und der Bergahorn. Bei den Nadelhölzern zeichnen sich an diesem Standort die Fichte und die Tanne durch eine grosse Konkurrenzkraft aus. Der Baumartenempfehlung in [Tab. V4.6](#) (BUWAL 2005) wird demnach aus bodenökologischer Sicht nicht widersprochen.

Tab. V4.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand	
Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 50; BUWAL 2005)	Tanne, Fichte, Vogelbeere, Bergahorn (alkalisch)
Bodenkundliche Kriterien	Tanne, Fichte, Vogelbeere, Bergahorn

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

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

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

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

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