

## M5 Bodenprofil Belp

---

### M5.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

---

#### M5.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

---

Das Bodenprofil ist in [Abb.M5.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.M5.2](#). [Tab.M5.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Belp zusammen, und [Tab.M5.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

#### M5.1.2 Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz

---

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit H6 (tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung; Hanglagen, Westschweiz, Hangneigung <25%). 239 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 2.0% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

#### M5.1.3 Besonderheiten am Profilort

---

Am Profilort sind keine Besonderheiten vorhanden.

#### M5.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

---

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.M5.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Streu fällt vor allem von den Buchen und in stark untergeordnetem Masse auch von den krautigen Pflanzen an. Die Streu wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig zersetzt, so dass sich unter der Streuschicht ein 1 cm mächtiger Fermentationshorizont gebildet hat. Die Horizontfolge L-F-Ah veranlasst uns, die Humusform als Moder zu klassieren.

Im 150 cm tief aufgeschlossenen Bodenprofil sind aufgrund der morphologischen Bodenmerkmale sechs Horizonte erkennbar.



**Abb. M5.1** ([links](#)) Bodenprofil Belp

**Abb. M5.2** ([rechts](#)) Bestand am Profilort Belp

**Tab. M5.1** Zusammenfassende Angaben zum Profil Belp

Lokalname	Belp (Kanton Bern, Gemeinde Belpberg)	
Lage	Landeskarte 1:25 000	Blatt 1187, Münsingen
	Koordinaten	606210 / 189740
Waldgesellschaft (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 7: Typischer Waldmeister-Buchenwald ( <i>Galio odorati-Fagetum typicum</i> )	
Horizontfolge	L-F-Ah-AEI-EIB-B(t)-BC-C	
Humusform	Moder	
Bodentyp	Parabraunerde	
Bodentyp (FAO 1988)	Luvisol	

**Tab. M5.2****Bodenbildungsfaktoren am Profilort Belp**

Relief	Höhe ü. M.	830 m	
	Exposition	WSW	
	Neigung	20%	
	Geländeform	Hangfuss	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Molassebecken; karbonathaltige Würmmoräne	
	Lithofazies (nach Tuchschnid 1995)	Nr. 29: Moräneablagerungen (grobklastisch) physikalische Verwitterbarkeit Gestein: variabel chemische Verwitterbarkeit Gestein: variabel Tongehalt Gestein: sehr niedrig – mittel	
Klima	T/N Jahresmittel	7.4°C/1153 mm	
	T/N Januarmittel	– 0.9°C/68 mm	
	T/N Julimittel	16.9°C/104 mm	
	Tage mit Schneedecke	90	
	Wärmegliederung	ziemlich kühl	
	Länge der Vegetationsperiode	190–200 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (35 m Höhe)	80%	50–75% Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> ) <5% Fichte ( <i>Picea abies</i> )
	Strauchschicht	5%	–
	Krautschicht	65%	Gemeiner Sauerklee ( <i>Oxalis acetosella</i> ) Berg-Goldnessel ( <i>Lamium galeobdolon susp. montanum</i> ) Echter Waldmeister ( <i>Galium odoratum</i> )
	Moosschicht	0%	–

**Tab. M5.3****Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Belp**

Bodenart: IU Schluff-Lehm, U Schluff, S Sand

M5 Belp		Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
 [cm]	L	2-1								
	F	1-0								
	Ah	0-8	mittel	U	Subpolyeder	locker	keine	10 YR 4/2	stark	
	AEI	8-20	stark	U	Subpolyeder	locker	keine	10 YR 4/4	mittel	
	EIB	20-40	stark	U	Subpolyeder	locker	keine	10 YR 6/4	mittel	
	B(t)	40-105	mittel	IU	Fragmente	mittel	keine	10 YR 6/6	schwach	
	BC	105-125	stark	IU	Fragmente	mittel	keine	10 YR 5/3	schwach	
	C	> 125	sehr stark	S	Fragmente	mittel	keine	10 YR 6/3	schwach	

Die einzelnen Horizonte lassen sich farblich nur schwer unterscheiden, weil die Horizontengrenzen diffus verlaufen. Eine Ausnahme bildet die durch den Humus recht dunkel gefärbte Schicht in 0–8 cm Tiefe, welche sich gut gegen die darunter folgende Zone in 8–20 cm Tiefe abhebt, die ihrerseits dunkler ist als die recht helle Zone zwischen 20 und 40 cm Tiefe. Unter dieser hellen Zone folgt bis 105 cm Tiefe eine leuchtend gelblich braune Schicht. Darunter ist bis zur Profilsohle zunehmend das wenig verwitterte Ausgangsgestein aufgeschlossen, welches an seinen matten Farbtönen erkennbar ist. Der Skelettgehalt nimmt mit der Profiltiefe zu, wobei die Gesteinsblöcke in rund 20–40 cm Tiefe eine Anomalie darstellen und wie Fremdkörper im Bodenprofil aussehen. Die Feinerde ist bis 40 cm Tiefe ein Schluff und wird dann bis 125 cm Tiefe tonreicher. An der Profilsohle kündigt sich das Ausgangsgestein mit seiner sandigen Textur an. Das Gefüge und die Dichte zeigen eine enge Abhängigkeit, indem der obere Profilbereich mit Subpolyederstruktur locker ist und der untere Teil mit Fragmentstruktur eine mittlere Dichte hat. Vernässungserscheinungen sind nicht vorhanden und der Boden ist bis zur Profilsohle durchwurzelt.

Ein Vergleich von Bodenart, Farbe und Dichte in 20–40 cm und 40–105 cm Tiefe lässt den Schluss zu, dass eine Tonverlagerung stattgefunden hat. Aus dem Tiefenbereich 20–40 cm wurde Ton in den Tiefenbereich 40–105 cm verlagert. Aufgrund der Bodenmorphologie wird die Horizontfolge als L-F-Ah-AEI-EIB-B(t)-BC-C festgelegt und der Boden als Parabraunerde klassiert.

### **Ergänzende Bodenmerkmale**

Die Kalkgrenze liegt in 125 cm Tiefe. Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde oberhalb der Kalkgrenze sehr sauer. Im Profil sind keine unüberwindbaren Hindernisse für das Wurzelwachstum vorhanden.

**Skelettgehalt**

Dieser Boden ist je nach Horizont mittel bis stark skeletthaltig (Abb. M5.3). Der Skelettgehalt erreicht im C-Horizont mit 43% den maximalen Wert. Auffällig ist das gehäufte Vorkommen von Gesteinsblöcken in rund 20–40 cm Tiefe. Sondierbohrungen haben ergeben, dass diese gesteinsreiche Schicht nur im Bodenprofil, nicht aber in der Umgebung des Bodenprofils vorkommt.

**Bodenart**

Die Feinerde ist vor allem sand- und schluffreich, wobei auch der Tonanteil nicht vernachlässigbar ist (Abb. M5.4). Im BC- und C-Horizont überwiegt der Sandanteil stark, was gut mit dem wenig verwitterten Zustand dieser Horizonte erklärbar ist. In Bezug auf den Tongehalt gilt der Boden im C-Horizont als leicht, in allen übrigen Horizonten als mittelschwer. Bei der Bestimmung der Bodenart im Feld wurde im C-Horizont der Tonanteil unterschätzt und in allen andern Horizonten der Schluffgehalt überschätzt (Tab. M5.3). Die im Feld festgestellte Tonanreicherung im B(t)-Horizont lässt sich mit den Messwerten nicht bestätigen.

**Dichte der Feinerde**

Die Feinerde-Dichte nimmt bis in mittlere Profiltiefen zu, um dann zur Profilssole hin wieder abzunehmen (Abb. M5.5). Die Dichte wird je nach Horizont als äusserst gering bis sehr gering klassiert. Im B(t)-Horizont hat die Dichte mit  $1.09 \text{ g/cm}^3$  den maximalen Wert.

**Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden**

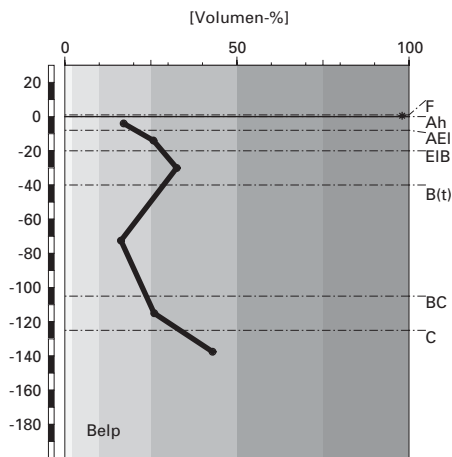
Die Feinerde ist derart sandig und locker gelagert, dass die Durchlässigkeit im gesamten Profil hoch ist (Abb. M5.6).

**Pflanzenverfügbares Wasser**

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe wird mit  $238 \text{ l/m}^2$  als sehr hoch klassiert (Abb. M5.7). Das trotz relativ grossem Skelettgehalt beträchtliche Speichervermögen von pflanzenverfügbarem Wasser ist auf die günstige Porenstruktur in der Feinerde zurückzuführen, bei der offenbar die mittleren Porengrössen dominieren.



## Skelettgehalt



### Klassierung Skelettgehalt

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

## Bodenart

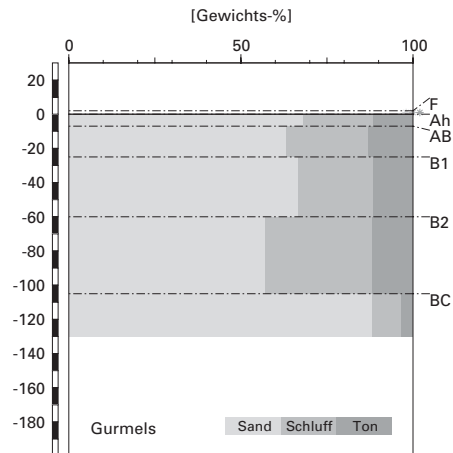


Abb. M5.3 (links) Skelettgehalt

Abb. M5.4 (rechts) Bodenart

## M5.2.2 Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

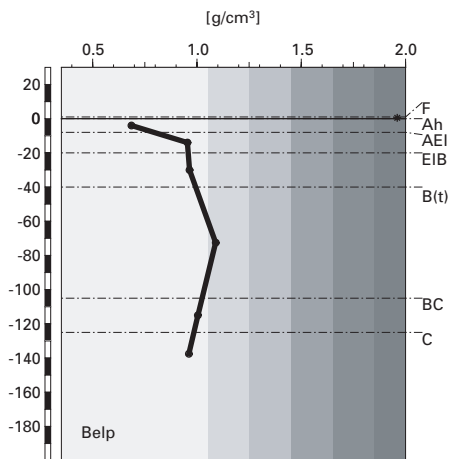
### Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In diesem Boden kommen aufgrund der grossen Durchlässigkeit (Abb. M5.6) keine Vernässungsmerkmale vor. Gesättigte Phasen mit ungenügender Durchlüftung sind somit höchstens von kurzer Dauer.

### Durchwurzelbarkeit des Bodens

Der Boden kann von allen Baumarten uneingeschränkt und mindestens profilumfassend durchwurzelt werden, da die Dichtewerte überall weniger als  $1.4 \text{ g/cm}^3$  betragen und die Durchlüftung in allen Horizonten stets ausreichend ist. Der Wurzelraum ist nicht beschränkt und wird mit  $>120 \text{ cm}$  Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Der Boden wird vom aktuellen Buchenbestand tief greifend genutzt. Wurzeln sind bis zur Profilsohle ( $150 \text{ cm}$ ) vorhanden und dringen wahrscheinlich noch tiefer in den Unterboden ein.

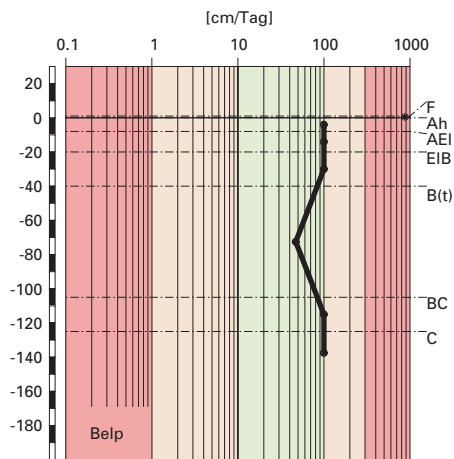
## Feinerde-Dichte



### 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 ( $k_{\text{sat}}$ )



### Klassierung $k_{\text{sat}}$

>300	äusserst hoch
100-300	sehr hoch
40-100	hoch
10-40	mittel
1-10	gering
<1	sehr gering

**Abb. M5.5 (links)** Dichte der Feinerde

**Abb. M5.6 (rechts)** Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

## Wasserversorgung des Baumbestandes

Bei einer Referenztiefe von 120 cm ist gemäss unseren Berechnungen davon auszugehen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 30 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Da der speicherstarke Boden sogar noch tiefer als 120 cm durchwurzelt werden kann und zudem ein günstiges Klima herrscht, wird das Trockenstress-Risiko an diesem Buchenstandort (E & K 9) als klein beurteilt.

## Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand nur mässig empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er selbst im Oberboden relativ viel Skelett enthält.

## pflanzenverfügbares Wasser

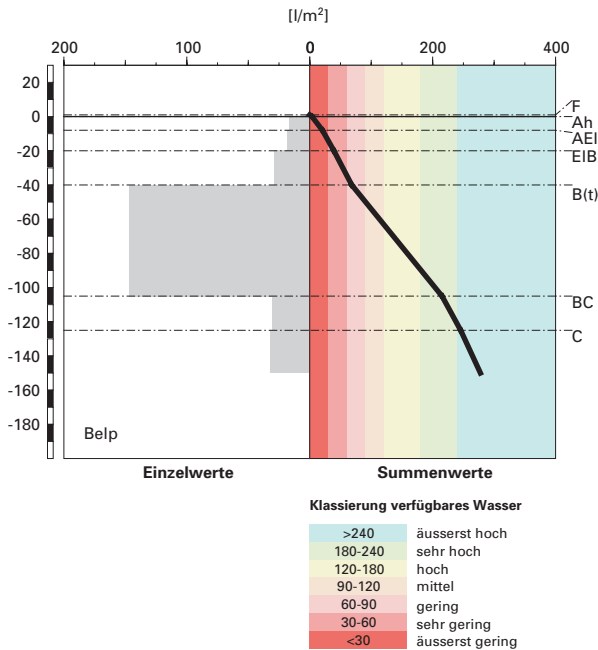


Abb. M5.7 Pflanzenverfügbares Wasser

## M5.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

### M5.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

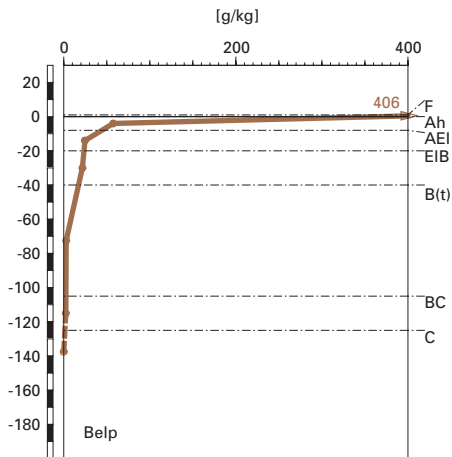
#### Organische Substanz

Der Baumbestand am Profilort bei Belp wird durch die Buche dominiert. Im Nebenbestand kommen einzelne Fichten auf (Abb. M5.2). Durch die 80%-ige Deckung der Baumschicht gedeiht eine Krautschicht mit 65% Deckung die vor allem aus gemeinem Sauerklee, Berg-Goldnessel und echtem Waldmeister besteht. Die Streu stammt vor allem von den Buchen und ist mässig gut abbaubar, so dass sich unter einer 1 cm dicken Streuschicht ein ebenso mächtiger Fermentationshorizont gebildet hat.

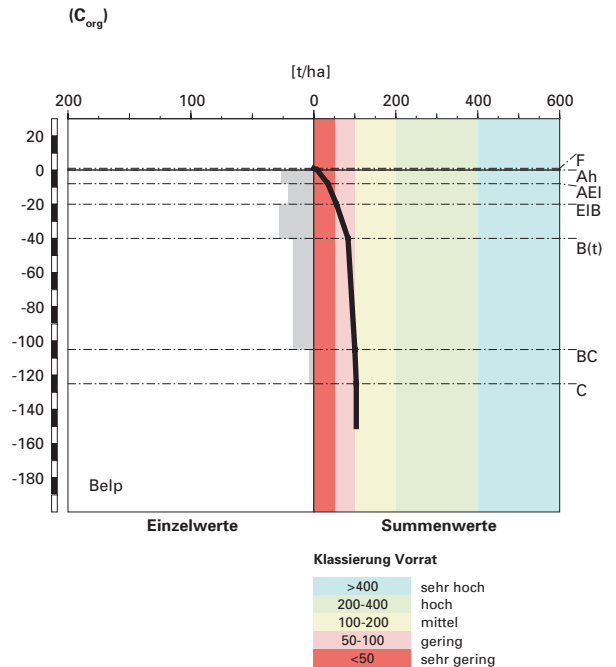
Entsprechend seiner vorwiegend organischen Zusammensetzung enthält der F-Horizont rund 41% organischen Kohlenstoff ( $C_{org}$ ; Abb. M5.8). Im Mineralboden hebt sich der gräulich gelb braune Ah-Horizont vom weniger dunkel gefärbten AEI-Horizont ab. Im Ah-Horizont beträgt der  $C_{org}$ -Gehalt



## organischer Kohlenstoff



## Kohlenstoff-Vorrat



**Abb. M5.8 (links)** Gehalt an organischem Kohlenstoff

**Abb. M5.9 (rechts)** Vorrat an organischem Kohlenstoff

5.7%. Im weiteren Tiefenverlauf nimmt er ab, beträgt im AEI-Horizont 2.5% und im BC-Horizont noch 0.2%. Im C-Horizont ist kein organischer Kohlenstoff mehr bestimmbar. Aus diesen  $C_{org}$ -Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 104 t/ha (Abb. M5.9), wobei für die Vorratsberechnung im F-Horizont eine Dichte von  $0.2 \text{ g/cm}^3$  angenommen wurde.

## Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt nimmt von 11% im Ah- auf das Maximum von 22% im AEI-Horizont zu (Abb. M5.4). In den tiefer gelegenen Horizonten ist er bis zum BC-Horizont konstant zwischen 16 und 17% und nimmt dann auf das Minimum von 9% im C-Horizont ab. Auffallend ist, dass die Auswaschungshorizonte tonreicher sind als der mit B(t) gekennzeichnete Horizont.

Der Gehalt des Dithionit-extrahierbaren Eisens ( $Fe_d$ ) nimmt vom Ah-Horizont von 8.4 g/kg auf das Maximum von 11.6 g/kg im B(t)-Horizont zu, wobei der Gehalt im EIB-Horizont in Abweichung dieses zunehmenden

Trends etwas kleiner ist (Abb. M5.10). Im C-Horizont nimmt der  $\text{Fe}_d$ -Gehalt auf das Minimum von 5.4 g/kg ab. Das Oxalat-extrahierbare Eisen ( $\text{Fe}_o$ ) nimmt vom Ah- in den AEI-Horizont auf das Maximum von 3.2 g/kg leicht zu und dann bis in den C-Horizont auf das Minimum von 0.8 g/kg ab, wobei die ausgeprägteste Abnahme wie beim  $\text{Fe}_d$  vom BC- in den C-Horizont erfolgt (Abb. M5.10). Der Gehalt des Oxalat-extrahierbaren Aluminiums ( $\text{Al}_o$ ) nimmt hingegen vom Ah- bis in den C-Horizont gleichmässig von 1.8 g/kg auf einen Wert unterhalb der Bestimmungsgrenze (0.5 g/kg) ab (Abb. M5.11). Die Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminium- und Eisengehalte ( $\text{Al}_p$  bzw.  $\text{Fe}_p$ ) verlaufen praktisch parallel, wobei  $\text{Fe}_p$  grösser ist als  $\text{Al}_p$  (Abb. M5.10 und M5.11). Sie sind im Oberboden praktisch konstant und nehmen dann gleichmässig ab, wobei  $\text{Al}_p$  unterhalb 40 cm Tiefe nicht mehr bestimmbar ist.

Das  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ -Verhältnis wird vom Maximum von rund 0.4 im Ah-Horizont zum Minimum von 0.15 im C-Horizont kontinuierlich kleiner (Abb. M5.12). Die Abnahme des  $\text{Fe}_p/\text{Fe}_o$ -Verhältnisses ist sehr viel ausgeprägter. Es nimmt von 1.0 im Ah- auf 0.1 im C-Horizont ab. Das  $\text{Al}_p/\text{Al}_o$ -Verhältnis ist nur in den obersten drei Horizonten bestimmbar, wo es Werte zwischen 0.8 und 0.9 besitzt (Abb. M5.12).

### M5.3.2

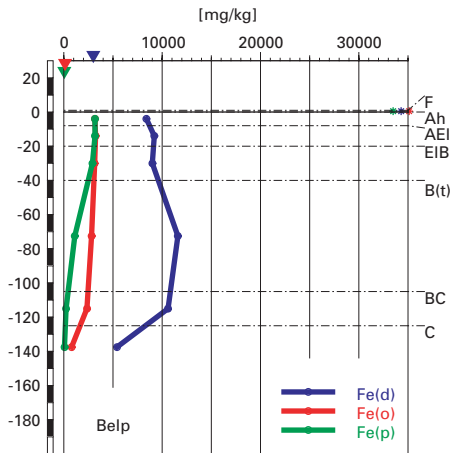
#### Bodenkundliche Interpretation

Die hauptsächlich von der Buche stammende Streu wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig abgebaut. Unter der Streuschicht hat sich ein 1 cm mächtiger F-Horizont gebildet, weshalb die Humusform als Moder klassiert wird. Der verzögerte Abbau ist in erster Linie auf die stark sauren pH-Verhältnisse im F-Horizont sowie die sehr stark sauren pH-Verhältnisse im Oberboden zurückzuführen. In der Mikroorganismengemeinschaft dominieren die Pilze. Sie bauen die Streu nicht vollständig ab, während die Bakterien eher mineralisierend wirken. Zudem ist die Zusammensetzung der Streu relativ einseitig und nicht sehr reichhaltig, was die Abbau-geschwindigkeit ebenfalls verzögert.

Das C/N- bzw. C/P-Verhältnis im F-Horizont beträgt 23 bzw. 865 und wird als mässig weit bzw. weit klassiert. Das mässig weite C/N-Verhältnis ist mit einer niedrigen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Als Folge des unvollständigen Streuabbaus werden vermehrt Humusstoffe gebildet. Diese können durch verschiedene Mechanismen im Boden stabilisiert und vor weiterer Mineralisierung geschützt werden. Da der Boden bis in den BC-Horizont karbonatfrei ist und nur einen mittleren Tongehalt bzw. Gehalt an Oxalat-extrahierbarem Aluminium und Eisen besitzt, ist die Humusstabilisierung nicht sehr ausgeprägt, weshalb sich ein im ge-

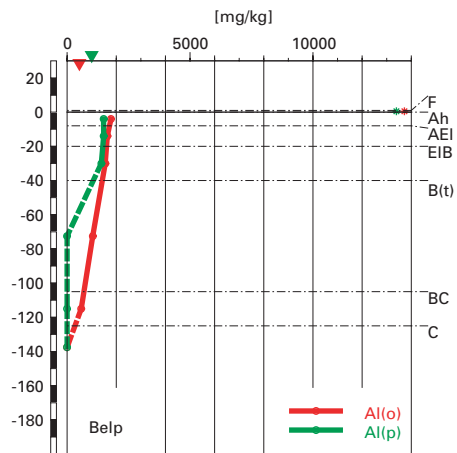
## Eisen-Oxide

(Gehalte)



## Aluminium-Oxide

(Gehalte)

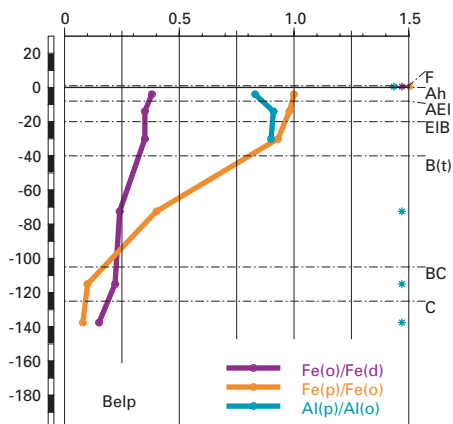


**Abb. M5.10** (links) Gehalte an Dithionit- ( $\text{Fe}_d$ ), Oxalat- ( $\text{Fe}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Fe}_p$ ) extrahierbarem Eisen

**Abb. M5.11** (rechts) Gehalte an Oxalat- ( $\text{Al}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Al}_p$ ) extrahierbarem Aluminium

## Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)



**Abb. M5.12** Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

samtschweizerischen Vergleich nur knapp mittlerer Vorrat an organischem Kohlenstoff von 104 t/ha gebildet hat (Abb. M5.9).

Die Tiefenverteilung des Tongehaltes entspricht nicht einer Parabraunerde. Das Tonmaximum befindet sich im AEI-Horizont und das Minimum im C-Horizont. Der EIB-Horizont hat zwar einen bedeutend geringeren Tongehalt als der AEI-Horizont, es fehlt aber ein gegenüber dem EIB-Horizont deutlich grösserer Tongehalt im B(t)-Horizont.

Die Tiefenverteilung des  $\text{Fe}_d$ -Gehaltes lässt sich dagegen besser mit den Prozessen, welche zu einer Parabraunerde führen, erklären. Wird das  $\text{Fe}_d$  auf die  $\text{C}_{\text{org}}$ -freie Mineralerde bezogen, so ist der Gehalt im Oberboden konstant, nimmt im EIB-Horizont ab und im B(t)-Horizont deutlich auf das Maximum zu. Hier lassen sich der Auswaschungs- und Anreicherungs-horizont eindeutig unterscheiden. Es besteht also eine Diskrepanz zwischen der Tonverteilung und jener des  $\text{Fe}_d$ . Diese Diskrepanz äussert sich auch im Verhältnis von  $\text{Fe}_d/\text{Ton}$ , welches in einer klassischen Parabraunerde konstant ist. Im Boden bei Belp ist dieses Verhältnis in den Auswaschungshorizonten kleiner als in den übrigen Horizonten. Das heisst, dass die Auswaschungshorizonte stärker an extrahierbarem Eisen verarmt sind als an Ton. Diese Diskrepanz kann mit den vorliegenden Daten nicht geklärt werden.

Die Verlagerungsprozesse in einer Parabraunerde widerspiegeln sich im  $\text{Fe}_d$ -Gehalt, weil das Eisen partikulär in dispergierter Form zusammen mit dem Ton und nicht in chemisch gelöster Form verlagert wird. Im Boden bei Belp nimmt  $\text{Fe}_o$  mit der Tiefe ab und zeigt damit, ebenso wie das abnehmende  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ -Verhältnis, dass Verbraunungsprozesse stattgefunden haben, wobei mit zunehmender Tiefe immer weniger sekundäre Eisenoxide gebildet wurden. Dasselbe gilt für  $\text{Al}_o$ .

Die Tiefenverteilung der Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminium- und Eisengehalte verläuft parallel zu jener des organischen Kohlenstoffs, was bedeutet, dass diese Fraktion mit der organischen Substanz assoziiert ist. Die Verhältnisse von Pyrophosphat- zu Oxalat-extrahierbarem Aluminium bzw. Eisen zeigen, dass im Oberboden und im EIB-Horizont zwischen 90 und 100% der amorphen Fraktion mit der organischen Substanz assoziiert sind. Dieser Anteil nimmt bis in den C-Horizont auf wenige Prozente ab.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als Parabraunerde klassiert. Diese Klassierung kann durch die Interpretation der Bodenhauptbestandteile mit Ausnahme des Tongehaltes bestätigt werden. Der Tongehalt zeigt nicht die für eine Parabraunerde charakteristische Tiefenverteilung. Aufgrund der vorliegenden Daten kann aber die Diskrepanz zwischen den Tiefenverteilungen von Ton und den extrahierbaren Eisenverbindungen nicht erklärt werden.

## M5.4 Themenbereich «Säurezustand»

---

### M5.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

---

#### pH-Wert

Der Oberboden ist stark bis sehr stark sauer (Abb. M5.13). Das pH-Minimum beträgt 3.7 und befindet sich im Ah-Horizont. Bis in den B(t)-Horizont nimmt der pH-Wert auf 4.1 zu und geht danach sprunghaft in den alkalischen Bereich über. Im mineralischen Oberboden befindet sich die Feinerde in der Säureklasse 5, im EIB- und B(t)-Horizont in der Säureklasse 4 und im alkalischen BC- und C-Horizont in der Säureklasse 1.

#### Austauschbare Kationen und Basensättigung

Unterhalb des F-Horizontes, in welchem die basischen Kationen in der Austauschergarnitur vorherrschen, ist der Kationenaustauscher bis in eine Tiefe von 105 cm überwiegend mit sauren Kationen, insbesondere mit Aluminium belegt (Abb. M5.14). Zu bemerken ist der relativ hohe Mangananteil in der Grössenordnung von 2–5% der Kationenaustauschkapazität in diesen Horizonten (Tab. A36). Unterhalb der Kalkgrenze, die sich beim Übergang zum BC-Horizont befindet, sind in Übereinstimmung mit dem pH-Wert nur noch basische Kationen am Austauscher vertreten. Die Basensättigung ist im F-Horizont sehr hoch, sie ist aber bereits im Ah-Horizont mit 13% nur noch gering (Abb. M5.15). Bis in den B(t)-Horizont nimmt sie auf einen mässigen Wert zu. Im karbonathaltigen BC- und C-Horizont ist der Kationenaustauscher vollständig basengesättigt.

### M5.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

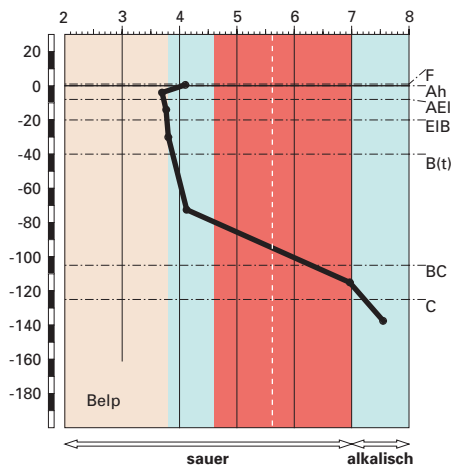
---

#### Stand der Bodenversauerung

Diese Braunerde, die sich aus einem karbonathaltigen Ausgangsgestein entwickelt hat, wird als sehr stark versauert beurteilt. Dies ergibt sich aus dem pH-Verlauf, der sich über 5 Säureklassen erstreckt. Bis in den BC-Horizont erfolgt die Säurepufferung in erster Linie durch Auflösung von Aluminiumverbindungen. Obschon sich der Mineralboden bis in 20 cm Tiefe im Aluminium/Eisenpufferbereich der Säureklasse 5 befindet, ist in diesem Teil des Bodens Eisen nur in unbedeutenden Mengen in austauschbarer Form vorhanden.

## pH-Wert

(CaCl<sub>2</sub>)



### 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

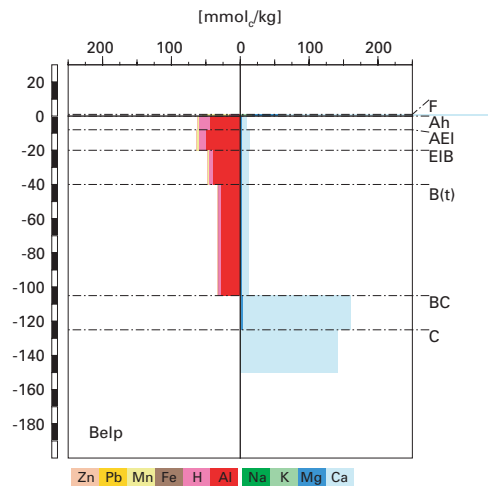
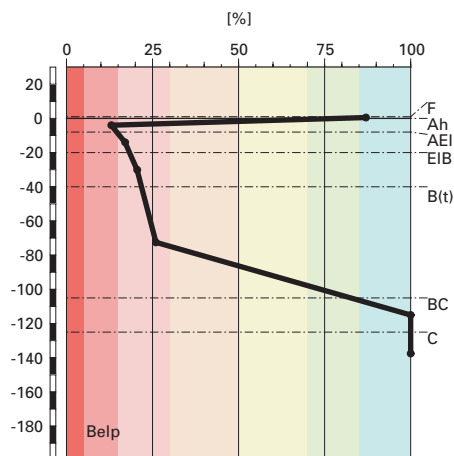


Abb. M5.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb. M5.14 (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. M5.15 Basensättigung

Der abrupte pH-Sprung in den alkalischen Bereich markiert die Lage der Versauerungsfront. Ab 105 cm Tiefe erfolgt die Säurepufferung durch Karbonatverwitterung und der Kationenaustauscher ist vollständig mit basischen Kationen belegt. Auf Grund der pH-Werte wird der Boden als sehr stark versauert klassiert. Im BC- und C-Horizont ist die Feinerde allerdings karbonathaltig, was zur Folge hat, dass die Basensättigung insgesamt mässig hoch ist und die sehr starke Versauerung relativiert.

### **Risiko für Boden und Pflanzen**

Das Risiko einer weiteren pH-Abnahme wird in diesem Boden als klein beurteilt, weil nur ein geringer Anteil der Feinerde in den Säureklassen 2 oder 3 mit kleiner Pufferwirkung liegt. Diese Zone befindet sich zudem in über einem Meter Tiefe und steht unter dem Einfluss des karbonathaltigen Ausgangsgesteins. Am ehesten ist mit einer pH-Abnahme im sehr stark sauren Ah-Horizont zu rechnen. Dieser befindet sich in der Säureklasse 5 mit bloss mässiger Pufferwirkung.

Für die Pflanzen besteht im aktuellen Zustand kein unmittelbares Risiko durch toxisch wirkendes Aluminium, denn das BC/Al-Verhältnis liegt im ganzen Boden über dem als kritisch erachteten Grenzwert von 0.2. Allerdings ist dieser Wert im Ah-, und etwas weniger ausgeprägt auch im AEI-Horizont, nur unwesentlich grösser und dürfte schon bei einer nicht auszuschliessenden leichten pH-Abnahme in den kritischen Bereich gelangen. Unter diesem Aspekt muss mit einer allfälligen Beeinträchtigung des Keimlingswachstums empfindlicher Pflanzenarten gerechnet werden.



## M5.5 Themenbereich «Schwermetalle»

---

### M5.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

---

Chrom, Ni und Zn zeigen in diesem Profil eine ähnliche Tiefenverteilung mit maximalen Gehalten im B(t)- bzw. B(t)- und BC-Horizont ([Abb. M5.16](#)). Darüber sind die Gehalte niedriger, wobei sie vom Ah- zum AEI-Horizont zuerst ab- und darunter im EIB-Horizont wieder zunehmen. Im C-Horizont ist der Cr-Gehalt minimal, und der Ni-Gehalt liegt, wie auch im AEI-Horizont, unter der Bestimmungsgrenze. Bei Zn sind die Maxima und Minima weniger stark ausgeprägt als bei Cr und Ni. Blei ist nur gerade im obersten Mineralerde-Horizont nachweisbar und der Cu-Gehalt liegt im ganzen Boden unterhalb der Bestimmungsgrenze.

### M5.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

---

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus karbonathaltiger Würmmoräne liegen die Gehalte der meisten Schwermetalle im C-Horizont unterhalb, der Zn-Gehalt jedoch 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. Im Vergleich zu den Angaben für das Gebiet Mittelland sind der Zn-Gehalt erhöht, die Gehalte der übrigen Schwermetalle sehr niedrig bis niedrig.

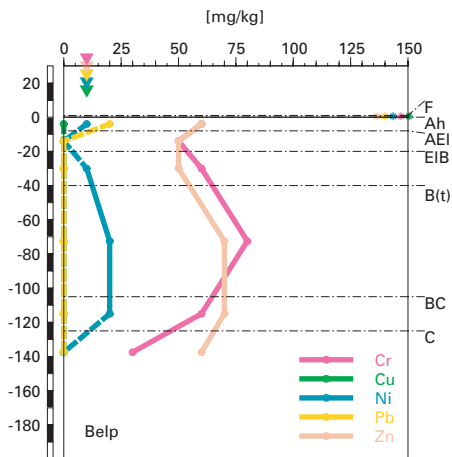
### M5.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

---

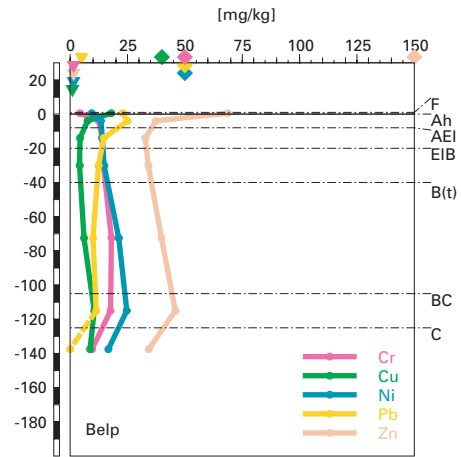
Für den F-Horizont wurden wegen seines hohen Humusgehaltes ([Abb. M5.8](#)) die volumenbezogenen Konzentrationen ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ; [Tab. A39](#) in Zimmermann et al. 2006) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte ( $\text{mg}/\text{kg}$ ; [Abb. M5.17](#)), da die Dichte kleiner ist als  $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Mangels Messwert wurde eine Dichte von  $0.2 \text{ g}/\text{cm}^3$  angenommen.

Bezogen auf die VBBo sind mit Ausnahme eines erhöhten Pb-Gehaltes im Ah-Horizont die Schwermetallkonzentrationen und -Gehalte im ganzen Profil sehr niedrig bis niedrig. Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

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



**Cr, Cu, Ni, Pb, Zn**  
(HNO<sub>3</sub>-extrahierbare Gehalte)



**Abb. M5.16 (links)** Schwermetalle: effektive Totalgehalte

**Abb. M5.17 (rechts)** Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

#### M5.5.4 Anreicherungsfaktoren

Für die meisten Schwermetalle können in diesem Profil keine Anreicherungs-faktoren berechnet werden, da ihr Gehalt im C-Horizont unter der Bestimmungsgrenze liegt. Chrom ist im B(t)- und BC-Horizont deutlich angereichert und im AEI-Horizont leicht abgereichert (Tab. M5.4). Damit folgt das An-/Abreicherungsprofil dieses Schwermetalles im wesentlichen der im Feld angesprochenen Tonverlagerung sowie der Verlagerung von dithionitextrahierbarem Eisen (Abb. M5.10). Die generelle Verarmung des Profils an Zn ist ein deutlicher Hinweis auf Auswaschung aus dem Profil unter den stark bis sehr stark sauren Verhältnissen vom Ah- bis zum B(t)-Horizont. Die gegenüber den darunterliegenden Horizonten erhöhten Zn-Gehalte im F- und Ah-Horizont (Abb. M5.16 und M5.17) deuten Rückführung von Zn mit dem Streufall in den Oberboden an. Die Tiefenverteilungen von Ni (Abb. M5.16 und M5.17) und Cu (Abb. M5.17), die parallel zu denjenigen von Zn verlaufen, lassen auch bei diesen Schwermetallen Auswaschung aus dem Profil vermuten.

Anthropogener Eintrag von Pb wird durch die gegenüber den darunterliegenden Horizonten erhöhten Gehalte im F- und Ah-Horizont angezeigt.

**Tab. M5.4****Anreicherungs faktoren**

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungs faktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0– 8	1.25	n.b.	n.b.	n.b.	0.63
AEI	8– 20	0.89	n.b.	n.b.	n.b.	0.45
EIB	20– 40	1.00	n.b.	n.b.	n.b.	0.42
B(t)	40–105	1.54	n.b.	n.b.	n.b.	0.67
BC	105–125	1.58	n.b.	n.b.	n.b.	0.92
C	>125	1.00	n.b.	n.b.	n.b.	1.00

**M5.5.5****Schätzung der Mobilität der Schwermetalle**

Dieser Boden ist vom Ah- bis zum B(t)-Horizont stark bis sehr stark sauer (Abb. M5.13). In diesem Teil des Profils wird die Mobilität von Ni und Zn als gross bis sehr gross, diejenige von Cr und Cu als mittel und diejenige von Pb als gering eingestuft (Abb. M5.18). Dabei wirkt der grosse Gehalt an organischer Substanz in den obersten drei Horizonten (Abb. M5.8) hemmend auf die Cr-, Cu- und Pb-Mobilität, im Ah-Horizont auch hemmend auf die Ni-Mobilität. In der organischen Auflage ist die geschätzte Mobilität aller Schwermetalle mit Ausnahme von Zn wegen Bindung an feste organische Substanz nochmals eine Stufe geringer als im Ah-Horizont. Im schwach sauren BC-Horizont wird die Mobilität aller Schwermetalle ebenfalls kleiner und als sehr gering beurteilt. Im alkalischen C-Horizont ist die Mobilität von Cu und Pb wegen der Bildung von löslichen Karbonat- und Hydrogenkarbonat-Komplexen wiederum etwas grösser.

Die durch die Anreicherungs faktoren angedeutete Anreicherung von Cr im B(t)- und BC-Horizont (Tab. M5.4) wird bei den in Abb. M5.18 dargestellten Schätzungen nicht berücksichtigt.

Die schwach sauren bis alkalischen Verhältnisse in den untersten beiden Horizonten dürften die Auswaschung von Schwermetallen in den Untergrund grösstenteils verhindern.

**M5.5.6****Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen**

Im Oberboden liegen alle Schwermetalle in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind.

## Schwermetallmobilität

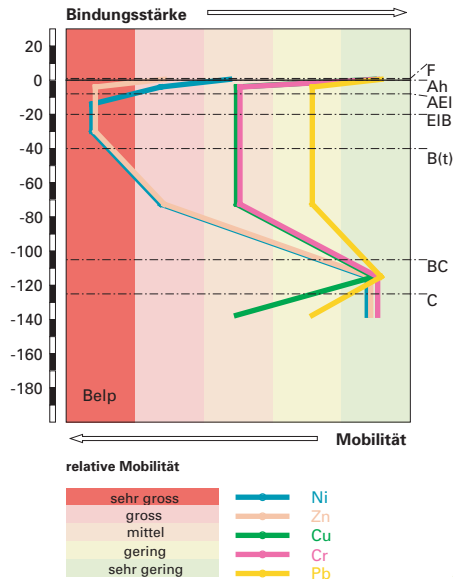


Abb.M5.18 Mobilität der Schwermetalle

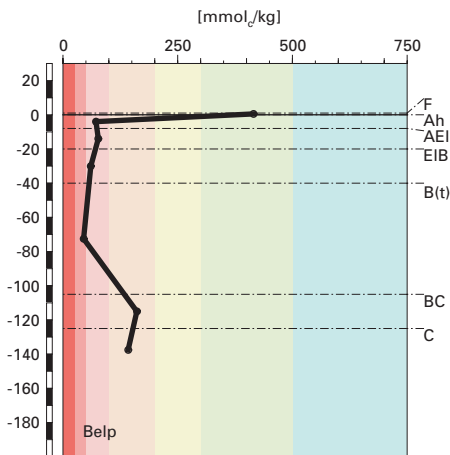
## M5.6 Themenbereich «Nährstoffe»

### M5.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Die Nährstoffverfügbarkeit wird aufgrund von Humusform und Bodengefüge als nicht optimal klassiert. Die Bodenorganismen bauen die anfallende Streu, welche hauptsächlich von Buche und Fichte stammt, innerhalb eines Jahres nicht vollständig ab. Es hat sich deshalb ein 1 cm mächtiger F-Horizont gebildet und die Humusform wird als Moder bezeichnet. Es sind vor allem die stark sauren pH-Verhältnisse im F-Horizont und der sehr stark saure Oberboden, welche nur eine gehemmte biologische Aktivität zulassen. Dies widerspiegelt sich in einer Subpolyederstruktur bis in 40 cm Tiefe. Durch die geringe biologische Aktivität wird der Abbau verzögert und die Nährstoffverfügbarkeit ist gehemmt.

Das C/N-Verhältnis beträgt im F-Horizont 23 und liegt damit in einem Bereich, der für Moder typisch ist. Es wird als mässig weit klassiert und ist mit einer niedrigen Mineralisierungsrate der organischen Substanz ver-

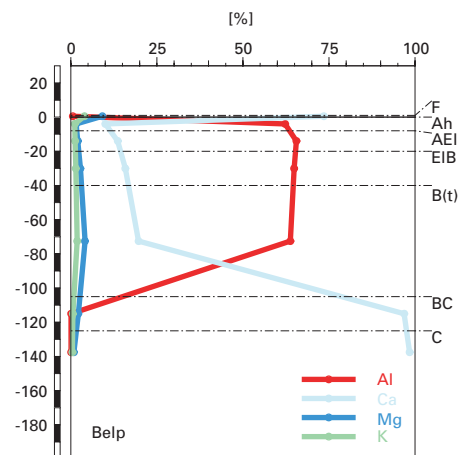
### Kationenaustauschkapazität (KAK)



#### 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. M5.19** (links) Kationenaustauschkapazität

**Abb. M5.20** (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

bunden. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen. Auch das als weit klassierte C/P-Verhältnis von 865 im F-Horizont bestätigt die nicht optimale Nährstoffverfügbarkeit.

## M5.6.2 Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) variiert über das ganze Profil beträchtlich (Abb. M5.19). Sie ist im F-Horizont mit 415 mmol<sub>c</sub>/kg sehr hoch, nimmt auf geringe Werte im Ah-, AEI- und EIB-Horizont ab, hat im B(t)-Horizont einen sehr geringen Wert und steigt im BC- und C-Horizont wieder auf mittlere Werte an. Die sehr hohe KAK im F-Horizont hängt mit den Austauschereigenschaften der organischen Substanz zusammen. Der Verlauf im Mineralboden ist schwieriger zu interpretieren. Vor allem würde man nicht im B(t)-Horizont das Minimum der KAK erwarten weil hier der

Tongehalt erhöht sein sollte, was sich entsprechend positiv auf die KAK auswirken müsste. Auch die Auswaschungshorizonte zeigen kein einheitliches Bild einer deutlich tieferen KAK infolge von Auswaschung von Ton und organischer Substanz.

Entsprechend der stark bis sehr stark sauren Feinerde hat Aluminium die Nährstoffkationen bis in eine Tiefe von 105 cm weitgehend vom Austauscher verdrängt (Abb.M5.20). Die Ca-Belegung beträgt in diesem Bereich zwischen 10 und 20% und Mg sowie K sind mit weniger als 4 bzw. 2% vertreten. Die grosse Belegung des F-Horizontes mit Nährstoffkationen kommt durch den Nährstoffkreislauf zustande. In den karbonathaltigen BC- und C-Horizonten nimmt die Ca-Belegung sprunghaft auf über 95% zu. Die K- und Mg-Belegung nimmt vom B(t)-Horizont kontinuierlich auf das Minimum im C-Horizont ab.

### M5.6.3

#### Nährstoffvorräte

In den Abb.M5.21 bis M5.23 sind die Vorräte an Ca, Mg und K dargestellt. Der Ca-Vorrat nimmt bis in 105 cm Tiefe nur wenig zu. In den karbonathaltigen BC- und C-Horizonten ist die Vorratzzunahme jedoch gross. Die K- und Mg-Vorräte nehmen mit der Tiefe kontinuierlich, jedoch nicht sehr stark zu. Im Hauptwurzelraum (0–60 cm Tiefe) wird das Angebot an Nährstoffen wie folgt beurteilt:

Ca    mittel  
Mg    gering  
K     sehr gering

Der Boden ist bis mindestens zur Aufschlusstiefe von 150 cm durchwurzelt, womit der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt wird. Bis zur Aufschlusstiefe werden die Vorräte optimistischer beurteilt. Der Ca-Vorrat ist sehr hoch, der Mg-Vorrat mittel und der K-Vorrat gering. Insgesamt werden die Vorräte im Boden bei Belp als unausgewogen bewertet. Da das Risiko für Trockenstress klein ist, können diese Nährstoffvorräte von den Pflanzen praktisch uneingeschränkt genutzt werden.

## Kalzium-Vorrat

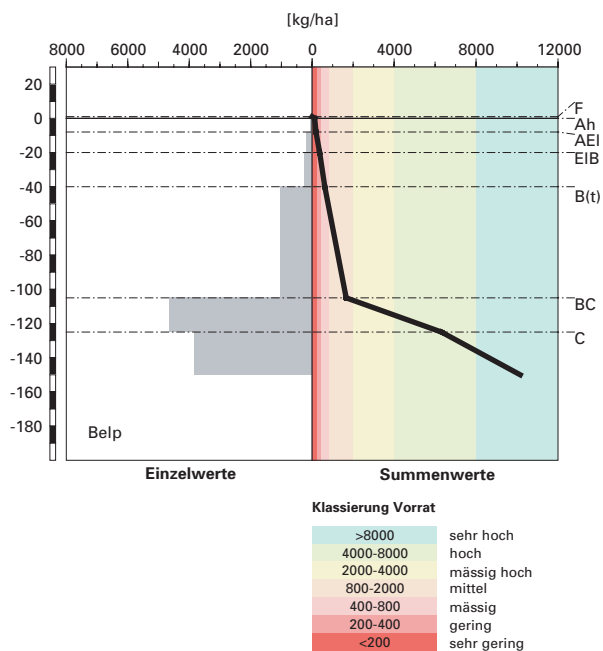


Abb.M5.21 Vorrat an Kalzium

## Magnesium-Vorrat

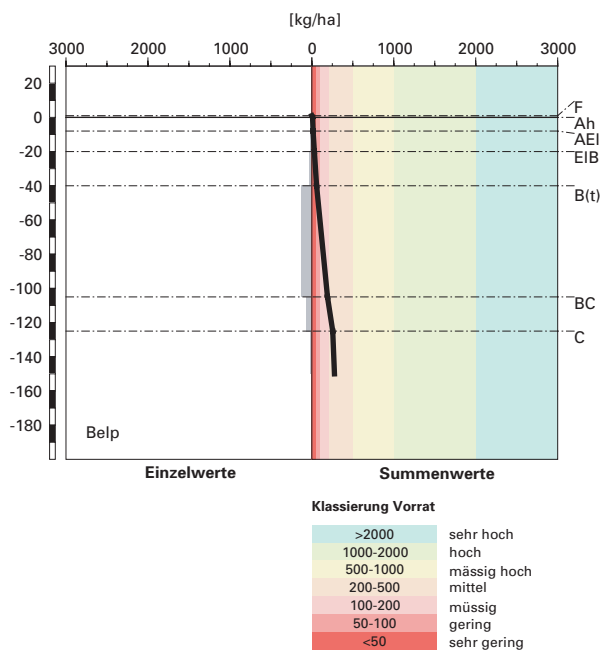
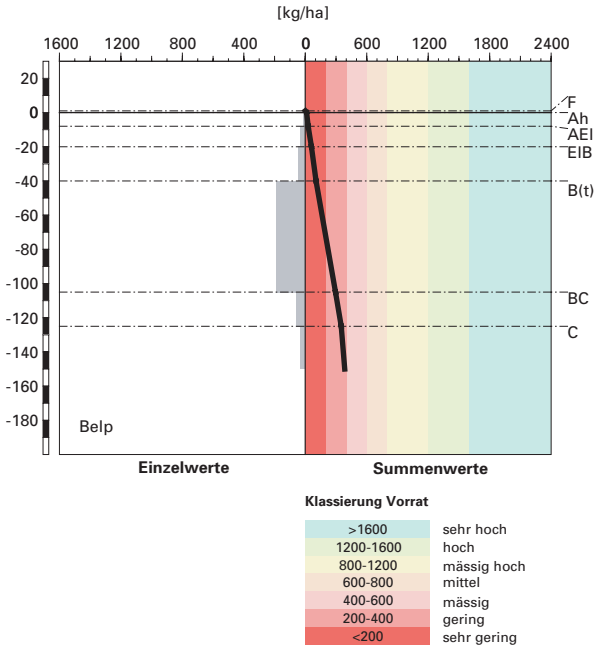


Abb.M5.22 Vorrat an Magnesium



### Kalium-Vorrat



**Abb. M5.23** Vorrat an Kalium

M5.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

### M5.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab.M5.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

### M5.7.2 Baumartenwahl

## Naturnähe von Bestand und Oberboden

In diesem fast reinen Buchenbestand sind vereinzelte Fichten beigemischt. Diese Baumartenmischung ist ziemlich naturnah. Nach Burger et al. (1996) ist an diesem Buchenstandort (Einheit 7a) die Humusform Mull häufig. Der vorhandene Moder ist demnach nicht standorttypisch.

<b>Tab. M5.5      Steckbrief für die Waldbehandlung (Belp)</b>		
<b>Standortangaben</b>		
Relief	Höhe	830 m ü. M.
	Exposition	WSW
	Neigung	20 %
Klima	Jahresniederschlag	1153 mm
	Jahrestemperatur	7.4 °C
Ausgangsgestein	karbonathaltige Würmmoräne	
Baumbestand	Struktur	mehrheitlich einschichtig
	Schlussgrad	80 %
	Baumarten (Deckung)	50–75% Rotbuche, <5% Fichte
	Oberhöhe	35 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr. 7: Typischer Waldmeister-Buchenwald
	nach BUWAL 2005	Einheit 7a: Typischer Waldmeister-Buchenwald
<b>Bodenkennwerte</b>		
Bodensystematik	Humusform	Moder
	Bodentyp	Parabraunerde
	Vernässungsgrad	keine Vernässung
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Der Boden ist gut durchlüftet, so dass keine Vernässungsmerkmale vorkommen.
	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 festgestellt.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besteht für alle Baumarten ein kleines Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Die organische Auflage und die obersten 105 cm des Mineralbodens sind sehr stark sauer. In 105–125 cm Tiefe ist die Feinerde schwach sauer. Die Kalkgrenze verläuft in 125 cm Tiefe.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Moder weist auch das mässig weite C/N-Verhältnis im F-Horizont auf eine gehemmte Mineralisierung hin. Unterstützt wird diese Aussage durch das weite C/P-Verhältnis im F-Horizont. Die biologische Aktivität wird gesamthaft als niedrig beurteilt.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen sind unausgewogen. Der Ca-Vorrat ist sehr hoch, der Mg-Vorrat mittel und der K-Vorrat ist gering. Die obersten 20 cm des Mineralbodens sind relativ arm an Nährstoffen.
Verankerung		Da der Boden sehr tiefgründig ist, wird die Verankerung des Baumbestandes als gut bewertet.
Befahrbarkeit		Der Boden reagiert in nassem Zustand mässig empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen.

### **Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken**

Das ziemlich kühle Klima lässt dem Waldbauer grundsätzlich einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl. Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Buchenstandort (Einheit 7a) neben der Buche denn auch viele andere Baumarten für die Waldverjüngung geeignet. Ob und inwieweit allerdings ungünstige Bodeneigenschaften die Baumartenauswahl einschränken, wird gleich anschliessend beschrieben.

### **Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl**

#### ■ **Durchwurzelbarkeit des Bodens**

Da diese Parabraunerde 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 gut durchlüftet und sehr durchlässig. Daher kann das Kriterium der biologischen Entwässerung des Bodens bei der Baumartenwahl ausser Acht gelassen werden.

#### ■ **Trockenstress-Risiko für die Bäume**

Es besteht bloss 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, aber in diesem bis 105 cm Tiefe stark bis sehr stark sauren Boden ist eine Verbesserung des Säurezustandes dennoch wünschenswert. Der standortfremde Moder ist abzubauen und in einen standorttypischen, weniger Säure produzierenden Mull zu überführen. Der Spielraum für diese Überführung ist trotz naturnaher Baumartenmischung gegeben, denn mindestens im Nebenbestand lassen sich weitere standorttaugliche Laubhölzer einbringen, die eine besser abbaubare Streumischung liefern als der derzeitige Bestand.

#### ■ **Nährstoffangebot im Boden**

Die Mineralisierung der Nährstoffe im Oberboden ist niedrig, die Nährstoffumsetzung also gehemmt. Eine Erhöhung der Mineralisierung ist erwünscht. Eine solche Erhöhung führt zur Umwandlung des standortfremden Moders in einen standorttypischen, biologisch aktiveren Mull. Dabei werden die in der organischen Auflage blockierten Nährstoffe pflanzenverfügbar. Dass der Spielraum für die Überführung vom Moder zum Mull trotz naturnaher Baumartenmischung gegeben ist, haben wir bereits im voran stehenden Abschnitt Säurezustand gezeigt.

Trotz unausgewogenen Nährstoffvorräten dürften alle Baumarten ein konkurrenzkräftiges Wachstum haben. Dies gilt selbst für die nährstoffbedürftigen Edellaubhölzer. Wir kommen zu diesem Schluss, weil im Boden ein sehr grosser Ca- und ein immerhin mittlerer Mg-Vorrat vorhanden sind. Die Nährstoffvorräte für sich allein betrachtet schränken die Baumartenauswahl nicht ein.

### M5.7.3 **Baumartenempfehlung**

Das ziemlich kühle Klima lässt grundsätzlich einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl zu. Zwei der von uns betrachteten bodenkundlichen Kriterien schränken die Baumartenauswahl jedoch ein, und zwar der Säurezustand des Bodens und die Mineralisierung im Oberboden. Die in **Tab. M5.6** enthaltene Baumartenempfehlung vom BUWAL (2005) ist hinsichtlich dieser einschränkenden Kriterien zu hinterfragen.

Aus bodenkundlicher Sicht sind an diesem Waldstandort grundsätzlich Laubbaumarten zu fördern. Der Boden erlaubt vielen Laubbaumarten ein konkurrenzstarkes Wachstum. Die Laubhölzer können die Bodenqualität nachhaltig verbessern, indem ihre gut abbaubare Streu die biologische Aktivität im Oberboden fördert, was sich günstig auf den Säurezustand des Bodens und die Verfügbarkeit der Nährstoffe auswirkt.

Von den in **Tab. M5.6** empfohlenen Baumarten (BUWAL 2005) sind aus bodenökologischer Sicht die Nadelbäume nicht geeignet. Ihre versauernd wirkende Streu ist an diesem Standort nicht erwünscht. Bei Bedarf kann ein Nebenbestand aus Linden oder Vogelbeeren eingebracht werden.

**Tab. M5.6** **Baumartenempfehlung für den Hauptbestand**

Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 7a; BUWAL 2005)	Buche, zudem viele andere Baumarten
Bodenkundliche Kriterien	Buche und andere Laubbaumarten

Burger, T./Danner, E./Kaufmann, G./Lüscher, P./Stocker, R., 1996: Standortskundlicher 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.

---

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

---

Zimmermann, S. / Luster, J. / Blaser, P. / Walthert, L. / Lüscher, P., 2006: Waldböden der Schweiz. Band 3. Regionen Mittelland und Voralpen. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag. 848 S.

---