

## M18      Bodenprofil Oberbüren

---

### M18.1      Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

---

#### M18.1.1      **Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren**

---

Das Bodenprofil ist in [Abb.M18.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.M18.2](#). [Tab.M18.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Oberbüren zusammen, und [Tab.M18.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

#### M18.1.2      **Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz**

---

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit H2 (tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung; Hanglagen, vorwiegend Wallmoräne, Ostschweiz und Genferseegebiet, Hangneigung <25%). 339 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 2.9% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

#### M18.1.3      **Besonderheiten am Profilort**

---

Das Bodenprofil M18 repräsentiert den Boden in einer typischen Ausbildung des Waldsimsen-Buchenwaldes mit Weissmoos.

#### M18.1.4      **Profilmorphologie und Klassierung**

---

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.M18.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Die vor allem aus der Baumschicht stammende Streu von Buche und Waldföhre wird langsam zersetzt. Daher hat sich unter der Streuschicht ein F-Horizont von 1 cm Mächtigkeit gebildet. Die Humusform ist ein Moder mit der Horizontfolge L-F-Ah.

Im 1.2 m tief erschlossenen Mineralboden konnten aufgrund der morphologischen Merkmale sieben Horizonte festgestellt werden.



**Abb. M18.1** (links) Bodenprofil Oberbüren

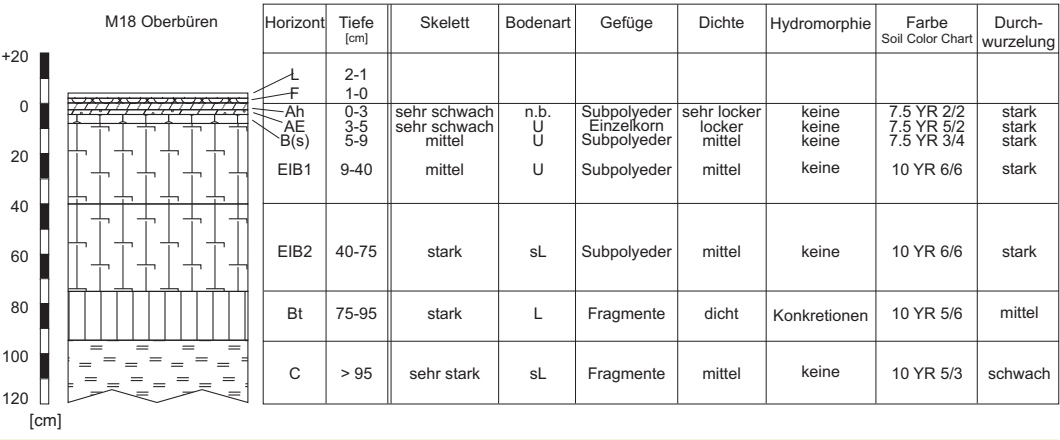
**Abb. M18.2** (rechts) Bestand am Profilort Oberbüren

<b>Tab. M18.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Oberbüren</b>	
Lokalname	Oberbüren (Kanton St. Gallen, Gemeinde Oberbüren)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1074, Bischofzell Koordinaten 729650/258260
Waldgesellschaft (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 2: Waldsimsen-Buchenwald mit Weissmoos ( <i>Luzulo silvaticae-Fagetum leucobryetosum</i> )
Horizontfolge	L-F-Ah-AE-B(s)-EIB1-EIB2-Bt-C
Humusform	Moder
Bodentyp	Parabraunerde, podsoliert, sehr schwach pseudovergleyt
Bodentyp (FAO 1988)	Dystric Cambisol

Tab. M18.2	Bodenbildungsfaktoren am Profilort Oberbüren		
Relief	Höhe ü. M.	575 m	
	Exposition	WNW	
	Neigung	10%	
	Geländeform	Kuppe	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Molassebecken; Würmmoräne (karbonathaltig)	
	Lithofazies	Nr. 29: Moräneablagerungen (grobklastisch)	
	(nach Tuchschnid 1995)	physikalische Verwitterbarkeit Gestein: variabel chemische Verwitterbarkeit Gestein: variabel Tongehalt Gestein:	variabel variabel sehr niedrig – mittel
Klima	T/N Jahresmittel	8.6°C/1116 mm	
	T/N Januarmittel	–0.2°C/62 mm	
	T/N Julimittel	18.4°C/106 mm	
	Tage mit Schneedecke	49	
	Wärmegliederung	ziemlich mild	
	Länge der Vegetationsperiode	200–205 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (30 m Höhe)	95%	80% Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> ) 10% Wald-Föhre ( <i>Pinus sylvestris</i> )
	Strauchschicht	0%	–
	Krautschicht	3%	Heidelbeere ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ) Gemeines Weiss-Moos ( <i>Leucobryum glaucum</i> )
	Mooschicht	5%	–

Tab. M18.3
**Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Oberbüren**

Bodenart: U Schluff, sL sandiger Lehm, L Lehm; n.b. nicht bestimmt



Farblich ist vor allem der obere Profilbereich interessant. Unter einer 3 cm mächtigen, bräunlich schwarzen Mineralerdeschicht ist ein rund 2 cm dicker, gebleichter, gräulich brauner Streifen sichtbar (Abb. M18.1). Unmittelbar unter diesem Streifen folgt bis 9 cm Tiefe eine dunkelbraune Zone. Bis 75 cm Tiefe dominieren dann leuchtend gelblich braune Farbtöne und die Tiefenstufe 75–95 cm ist gelblich braun. Das angewitterte Ausgangsgestein ab 95 cm Tiefe ist matt gelblich braun. Der Skelettgehalt nimmt mit der Tiefe kontinuierlich von sehr schwach bis sehr stark zu. Die Feinerde ist schluff- und sandreich mit einem maximalen Tongehalt in 75–95 cm Tiefe. Bis 75 cm Tiefe sind Subpolyeder, weiter unten Fragmente gefügebestimmend. Während der Oberboden sehr locker bis locker gelagert ist, hat der Unterboden mehrheitlich eine mittlere Dichte. Die tonreichste Zone in 75–95 cm Tiefe ist dicht und zeigt auch vereinzelte Vernässungsmerkmale in Form von Konkretionen. Wurzeln sind bis zur Profilssole vorhanden.

In diesem Boden überlagern sich drei bedeutende Prozesse der Bodenbildung, nämlich die Verbraunung, die Tonverlagerung und die Podsolierung. Der gebleichte Streifen im Oberboden und die darunter anschließende dunkelbraune Zone lassen den Schluss zu, dass eine Podsolierung im Gange ist. Aus dem gebleichten Streifen werden Sesquioxide ausgewaschen und unmittelbar darunter angereichert. Ein Vergleich von Bodenart und Farbe in 9–75 cm und 75–95 cm Tiefe lässt auf eine Tonverlagerung schliessen. Aus dem Tiefenbereich 9–75 cm wurde Ton in den Tiefenbereich 75–95 cm verlagert.

Aufgrund der Bodenmorphologie wird die Horizontfolge als L-F-Ah-AE-B(s)-EIB1-EIB2-Bt-C festgelegt und der Boden als podsolierte Parabraunerde klassiert, welche zudem sehr schwach pseudovergleyt ist. Die Vernässung erfolgt durch Stauwasser.

### **Ergänzende Bodenmerkmale**

Die Kalkgrenze verläuft in 95 cm Tiefe. Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde im karbonatfreien Teil des Profils sehr sauer. Im Profil konnten keine unüberwindbaren Hindernisse für das Wurzelwachstum erkannt werden.

M18.2.1 **Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte**

---

**Skelettgehalt**

Der Boden enthält bis 95 cm Tiefe mittlere Skelettmengen, weiter unten im Profil wird er mit rund 65 % Skelettanteil als sehr stark skeletthaltig klassiert (Abb. M18.3).

**Bodenart**

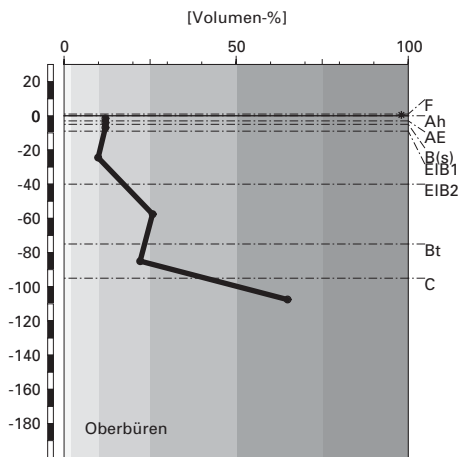
In allen Horizonten überwiegt der Sandanteil recht deutlich (Abb. M18.4). Der geringe Verwitterungsgrad des Ausgangsgesteins im C-Horizont äussert sich mit einem im Profil maximalen Sandanteil von 64 %. Weiter fällt in Abb. M18.4 der maximale Tongehalt im Bt-Horizont auf, welcher auf eine Tonverlagerung schliessen lässt. Der Tongehalt ist im Bt-Horizont mit 26 % maximal und im Vergleich zu den unmittelbar darüber liegenden Eluvialhorizonten (EIB1- und EIB2-Horizont) um 12–13 % grösser. Demnach wurde aus den Eluvialhorizonten Ton ausgewaschen und im Bt-Horizont angereichert. Die im Bodenprofil anhand morphologischer Merkmale festgestellte Tonverlagerung kann durch die Analyse der Korngrössenfraktionen im Labor bestätigt werden. Gemessen am Tongehalt handelt es sich im B(s)-Horizont um leichten und in allen übrigen Horizonten um mittelschweren Boden. Der minimale Tongehalt im B(s)-Horizont ist vermutlich auf Tonzerstörung im Verlaufe der Podsolierung zurückzuführen, welche im extrem sauren Oberboden abläuft. Die im Feld bestimmte Bodenart wird in den meisten Horizonten durch die Labormesswerte bestätigt (Tab. M18.3). In 5–40 cm Tiefe wurde der Schluffgehalt bei der Feldansprache allerdings überschätzt.

**Dichte der Feinerde**

Die Dichte nimmt mit der Tiefe stark und kontinuierlich von 0.61 g/cm<sup>3</sup> bis 1.63 g/cm<sup>3</sup> zu (Abb. M18.5). Sie ist bis 75 cm Tiefe äusserst gering und selbst im Bt-Horizont lediglich gering. Der C-Horizont schliesslich hat eine mittlere Dichte.



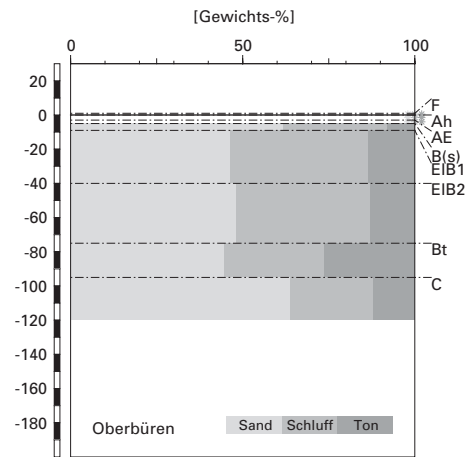
## Skelettgehalt



### Klassierung Skelettgehalt

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

## Bodenart



**Abb. M18.3 (links)** Skelettgehalt

**Abb. M18.4 (rechts)** Bodenart

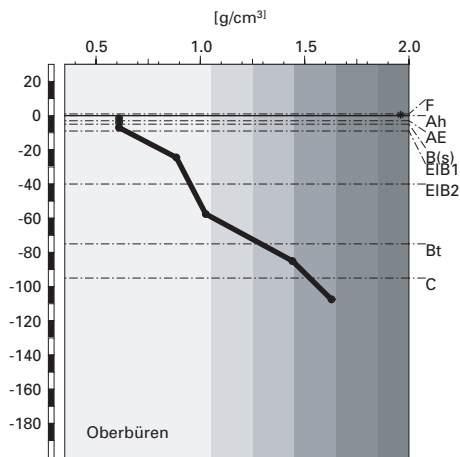
## Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Die lockeren obersten 75 cm des Bodens sind hoch durchlässig (Abb. M18.6). Im tonreichen Bt-Horizont ist die Durchlässigkeit mit einem minimalen Wert von 8 cm/Tag gering. Der sandreiche C-Horizont schliesslich hat eine mittlere Durchlässigkeit.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe wird mit 174 l/m<sup>2</sup> als hoch klassiert (Abb. M18.7). Die Speicherleistung für pflanzenverfügbares Wasser erreicht wegen dem insgesamt relativ grossen Skelettgehalt keinen Spitzenwert.

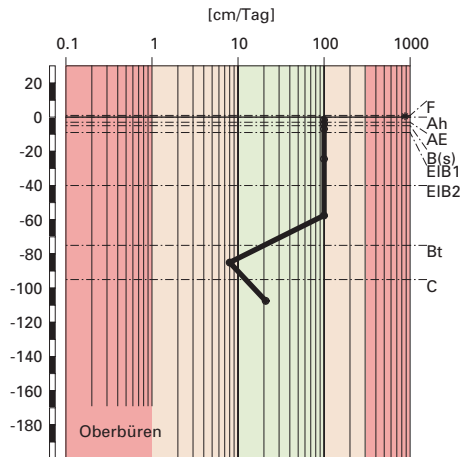
## Feinerde-Dichte



### 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. M18.5 (links)** Dichte der Feinerde

**Abb. M18.6 (rechts)** Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

## M18.2.2

### Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

#### Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Diese podsolisierte Parabraunerde ist sehr schwach pseudovergleyt. Im Bt-Horizont kommen als Merkmal der periodischen Vernässung einige Konkretionen vor. Das Fehlen von Vernässungsmerkmalen bis 75 cm Tiefe und die vereinzelt Konkretionen zeigen, dass der Boden bloss schwach durch Stauwasser beeinflusst wird, dass also nur selten mit ungenügender Durchlüftung und in der Folge mit Sauerstoffarmut zu rechnen ist. Diese Einschätzung steht recht gut in Einklang mit der Leitfähigkeitskurve, welche nur im Bt-Horizont eine geringe Wasserdurchlässigkeit angibt, während alle übrigen Horizonte mittel bis hoch durchlässig sind (**Abb. M18.6**).

## pflanzenverfügbares Wasser

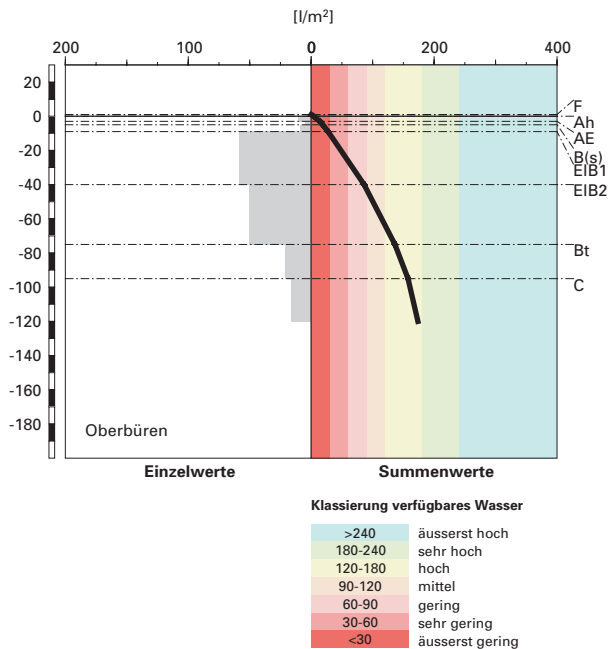


Abb. M18.7 Pflanzenverfügbares Wasser

## Durchwurzelbarkeit des Bodens

Bezogen auf die Durchlüftung, welche in allen Horizonten als ausreichend betrachtet wird, ist der Boden für alle Baumarten uneingeschränkt und mindestens profilumfassend durchwurzelbar. Auch die Dichte stellt bis 95 cm Tiefe keine Einschränkung dar, denn die Werte der Feinerde-Dichte liegen hier überall unter oder nur knapp über der als kritisch erachteten Grenze von  $1.4 \text{ g/cm}^3$ . Im C-Horizont wird der kritische Wert allerdings mit  $1.63 \text{ g/cm}^3$  deutlich überschritten, so dass, vor allem auch in Kombination mit dem grossen Skelettgehalt, bei allen Baumarten ein nicht optimales Wurzelwachstum zu erwarten ist.

Trotz dieser Einschränkung wird der Wurzelraum als nicht begrenzt und mit mehr als 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Der Boden wird vom aktuellen Mischbestand aus Buchen und Waldفöhren tief greifend genutzt, denn Wurzeln sind bis zur Profilssole in 120 cm Tiefe vorhanden und dringen sicher noch tiefer in den C-Horizont ein.



### Wasserversorgung des Baumbestandes

Bei einer Referenztiefe von 120 cm gehen wir gemäss unseren Berechnungen davon aus, dass der Bestand in Trockenperioden ohne bedeutende Niederschläge bereits nach rund 20 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Aufgrund der nicht optimalen Speicherleistung bis 120 cm Tiefe und dem sehr skelettreichen C-Horizont schätzen wir das Trockenstress-Risiko an diesem Buchenstandort (E&K 2) trotz der grossen Gründigkeit des Bodens als mässig ein. Der Bestand wächst auf einer Kuppe und damit in einer Verlustlage, was sich ebenfalls negativ auf die Wasserversorgung der Bäume auswirkt.

### Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er im Hinblick auf ein Befahren bis 95 cm Tiefe wenig Skelett enthält.

## M18.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

---

### M18.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

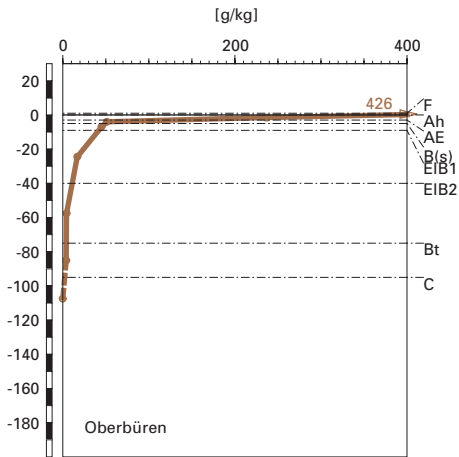
---

#### Organische Substanz

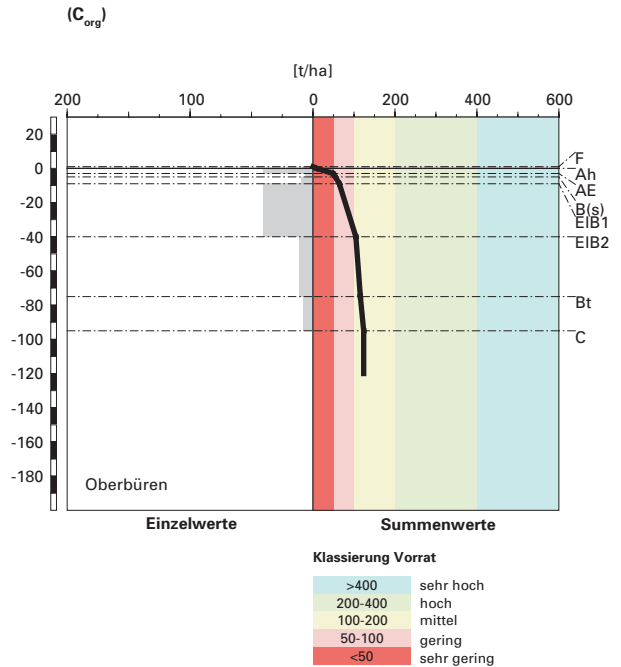
Am Profilort bei Oberbüren besteht der Baumbestand zu rund 80% aus Buchen und zu etwas mehr als 10% aus Wald-Föhren. Der Deckungsgrad der Baumschicht beträgt 95%. Am Boden gedeiht auf rund 3% der Fläche eine Krautschicht aus Heidelbeere und gemeinem Weiss-Moos. Die Streu, welche zur Hauptsache aus der Baumschicht stammt, ist mässig gut abbaubar. Unterhalb der Streu hat sich ein 1 cm mächtiger F-Horizont gebildet.

Entsprechend seiner vorwiegend organischen Zusammensetzung enthält der F-Horizont rund 43% organischen Kohlenstoff (Abb. M18.8). Der bräunlich schwarze Ah-Horizont ist durch seinen grossen Gehalt an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) von rund 24% deutlich dunkler als der gräulich braune AE-Horizont, der 5% organischen Kohlenstoff enthält. Im B(s)-Horizont beträgt der  $C_{org}$ -Gehalt 4.5% und mit der Tiefe nimmt er stetig ab, bis er im C-Horizont nicht mehr bestimmbar ist. Aus diesen  $C_{org}$ -Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 124 t/ha (Abb. M18.9), wobei für die Vorratsberechnung im F-Horizont eine Dichte von 0.2 g/cm<sup>3</sup> angenommen wurde.

## organischer Kohlenstoff



## Kohlenstoff-Vorrat



**Abb. M18.8 (links)** Gehalt an organischem Kohlenstoff

**Abb. M18.9 (rechts)** Vorrat an organischem Kohlenstoff

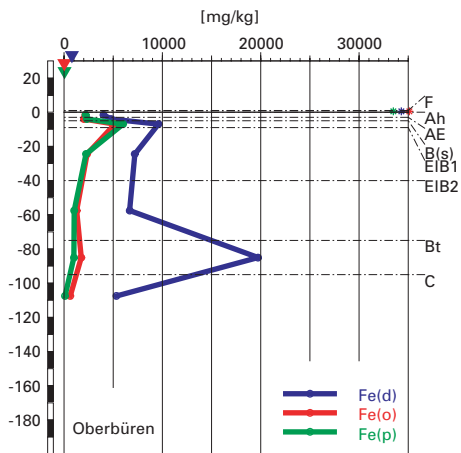
## Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt liegt im ganzen Profil zwischen 12 und 14% mit Ausnahme des kleinsten Wertes von 8% im B(s)-Horizont und dem ausgeprägten Maximum von 26% im Bt-Horizont (Abb. M18.4).

Die Gehalte der extrahierbaren Aluminium- und Eisenverbindungen haben alle eine ähnliche Tiefenverteilung mit unterschiedlich stark ausgeprägten Maxima und Minima (Abb. M18.10 und M18.11). Das Dithionit-extrahierbare Eisen ( $Fe_d$ ) hat den grössten Gehalt im Bt-Horizont sowie ein sekundäres Maximum im B(s)-Horizont. In den anderen Horizonten ist es mehr oder weniger konstant. Die Oxalat-extrahierbaren Aluminium- ( $Al_o$ ) und Eisengehalte ( $Fe_o$ ) dagegen haben den grössten Gehalt im B(s)-Horizont und ein sekundäres Maximum im Bt-Horizont. In den anderen Horizonten zeigen die Gehalte einen mit der Tiefe abnehmenden Trend. Die Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminium- ( $Al_p$ ) und Eisengehalte ( $Fe_p$ ) weisen ein ausgeprägtes Maximum im B(s)-Horizont und ein schwach ausgeprägtes, sekundäres Maximum im Bt-Horizont auf. Über die gesamte Bodentiefe nehmen sie tendenziell ab.

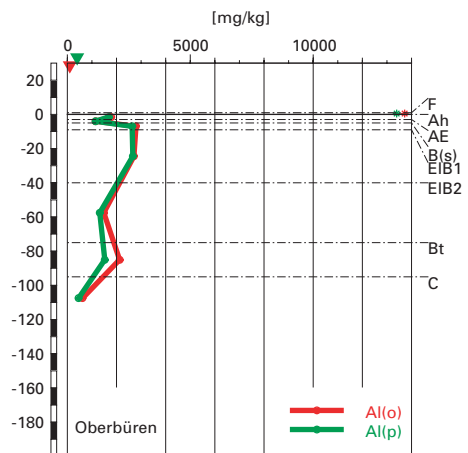
## Eisen-Oxide

(Gehalte)



## Aluminium-Oxide

(Gehalte)

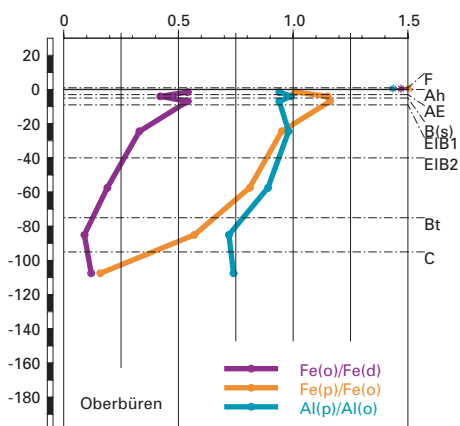


**Abb. M18.10 (links)** Gehalte an Dithionit- ( $\text{Fe}_d$ ), Oxalat- ( $\text{Fe}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Fe}_p$ ) extrahierbarem Eisen

**Abb. M18.11 (rechts)** Gehalte an Oxalat- ( $\text{Al}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Al}_p$ ) extrahierbarem Aluminium

## Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)



**Abb. M18.12** Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Das  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ -Verhältnis nimmt mit der Tiefe kontinuierlich ab, wobei der Wert im AE-Horizont deutlich kleiner ist als in den benachbarten Horizonten (Abb. M18.12). Das  $\text{Al}_p/\text{Al}_o$ - bzw.  $\text{Fe}_p/\text{Fe}_o$  ist bis in den EIB1-Horizont mit Werten um eins oder darüber sehr weit. Unterhalb dem EIB1-Horizont nehmen beide Verhältnisse mit der Tiefe kontinuierlich ab, wobei die Abnahme bei  $\text{Fe}_p/\text{Fe}_o$  stärker ist als jene bei  $\text{Al}_p/\text{Al}_o$  (Abb. M18.12).

### M18.3.2 Bodenkundliche Interpretation

---

Die vor allem von den Buchen und Wald-Föhren stammende, schlecht abbaubare Streu wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig zersetzt. Unterhalb der Streuschicht hat sich ein 1 cm mächtiger F-Horizont gebildet. Die Humusform mit der Horizontfolge L-F-Ah wird als Moder klassiert. Die Gründe für die Verzögerung im Streuabbau sind neben der nur mässig guten Streuqualität vor allem in den sehr stark sauren pH-Verhältnissen und der damit verbundenen gehemmten biologischen Aktivität zu suchen.

Das C/N-Verhältnis im F-Horizont beträgt 22 und wird als mässig weit klassiert. Dies zeigt eine relative Stickstoffarmut der Streu an. Das weite C/P-Verhältnis von 970 deutet auf eine Phosphorarmut hin. Damit ist die Streu relativ nährstoffarm und eine schlechte Nahrungsgrundlage für die Bodenorganismen. Das mässig weite C/N-Verhältnis ist mit einer niedrigen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Die Streu wird nicht vollständig abgebaut und es bilden sich im Verlauf des Streuabbaus organische Säuren und Humusstoffe. Diese tragen zu den sehr tiefen pH-Werten bei. Die sehr stark sauren pH-Verhältnisse haben zur Folge, dass keine Spuren von Regenwurmaktivität zu beobachten ist und dass die Mikroorganismengemeinschaft vor allem von Pilzen dominiert ist, welche im Vergleich zu den Bakterien die Streu weniger vollständig abbauen. Die anfallenden organischen Säuren sind zum Teil wasserlöslich und werden mit dem Sickerwasser in die Tiefe verlagert oder sogar aus dem Profil ausgewaschen. Die nicht mineralisierten und nicht verlagerten Humusstoffe können stabile Verbindungen mit Al- und Fe-Oxiden eingehen. Diese Metallorganischen Verbindungen schützen die organische Substanz vor weiterem Abbau. So konnte sich im gesamtschweizerischen Vergleich ein mittlerer Vorrat an organischem Kohlenstoff von 124 t/ha bilden (Abb. M18.9).

Die morphologischen Merkmale sowie die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens lassen vermuten, dass neben einer Tonverlagerung auch eine Podsolierung mit entsprechender Verlagerung von Eisen und Aluminium stattgefunden hat. Die hellgelblich-braunen EIB-Horizonte sind gegenüber den anderen Horizonten heller, da aus dieser Zone Tonminerale zusammen mit Eisen- und Aluminiumoxiden in disper-

gierter Form verlagert wurden. Die parallele Verlagerung von Ton und Eisenoxiden ist daran ersichtlich, dass das  $\text{Fe}_d$ -Maximum im Bereich des Tonmaximums liegt (Abb. M18.4 und M18.10). Das  $\text{Fe}_d$ /Ton-Verhältnis ist mit Ausnahme eines leicht grösseren Wertes im Bt-Horizont vom EIB1- bis in den C-Horizont praktisch konstant (Tab. A147 in Zimmermann et al. 2006). Eisen ist also gegenüber Ton nur im Bt-Horizont leicht angereichert.  $\text{Al}_o$  hat im Bt-Horizont zumindest ein sekundäres Maximum, was einen Kotransport von Aluminium zusammen mit Ton andeutet. Bei der aktuell stark bis sehr stark sauren Feinerde sind die Tonteilchen mit Aluminium gesättigt und ausgeflockt, so dass heute keine Tonverlagerung mehr stattfindet.

Hingegen dürften, bedingt durch den tiefen pH-Wert, Aluminium und Eisen auch in löslicher Form verlagert worden sein und aktuell immer noch verlagert werden. Diese Prozesse sind aufgrund des gebleichten AE-Horizontes sowie der Tiefenverteilung der Oxalat- und Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminium- und Eisengehalte vor allem in den obersten 10 cm des Profils gut ersichtlich. Werden die Gehalte auf die  $\text{C}_{\text{org}}$ -freie Mineralerde bezogen, zeigen alle Fraktionen eine deutliche Auswaschung im AE-Horizont und eine ausgeprägte Anreicherung im B(s)-Horizont. Bei einem pH-Wert von 2.8 im Ah- und 3.0 im AE-Horizont werden Aluminium- und Eisenoxide gelöst. Das gelöste Al bzw. Fe wird mit dem Sickerwasser, entweder in anorganischer Form oder als Metall-organische Verbindung, in die Tiefe verlagert. Eisen fällt dabei vor allem im B(s)-Horizont aus, da der pH-Wert im EIB1-Horizont mit 4.0 bereits über dem Löslichkeitsschwellenwert von Eisen liegt. Die Verlagerung von Eisen aus dem AE-Horizont ist auch am  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ -Verhältnis ersichtlich, das in Abweichung des kontinuierlich abnehmenden Trends über die gesamte Profiltiefe im AE-Horizont einen deutlich kleineren Wert als im Ah- und B(s)-Horizont hat. Dies veranschaulicht, dass der AE-Horizont an amorphen, leicht löslichen Eisenverbindungen verarmt ist. Aluminium wird tiefer verlagert als Eisen, weil seine Löslichkeit grösser ist. Dies ist, in Abweichung zu Eisen, an den im B(s)- und EIB1-Horizont erhöhten  $\text{Al}_o$ - und  $\text{Al}_p$ -Gehalten ersichtlich. Der Trend der abnehmenden  $\text{Al}_o$ - und  $\text{Fe}_o$ -Gehalte mit der Tiefe widerspiegelt die Verbraunung des Bodens, was sich auch im  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ -Verhältnis äussert, welches mit der Tiefe deutlich abnimmt.

Die Verhältnisse von Pyrophosphat- zu Oxalat-extrahierbaren Aluminium- bzw. Eisengehalten zeichnen die Tiefenverteilung der organischen Substanz nach. In den obersten 40 cm ist das Verhältnis nahe bei eins, was heisst, dass praktisch alle amorphen Verbindungen mit der organischen Substanz assoziiert sind. Mit der Tiefe nimmt dieser Anteil ab.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als sehr schwach pseudovergleyte, podsolierte Parabraunerde klassiert. Mit der Interpretation der Bodenhauptbestandteile kann diese Klassierung nachvollzogen werden. Die Tonverlagerung wird mit der Tonanreicherung und dem  $\text{Fe}_d$ -Maximum im Bt-Horizont ersichtlich. Die Podsolierung kann hingegen aufgrund der Tiefenverteilung der Al- und Eisenverbindungen in den obersten 10 cm nachvollzogen werden. Besonders auffällig ist die extreme Ausprägung des Tonauswaschungsbereiches. Dessen Entstehung kann mit einem ursprünglich relativ kalkreichen Ausgangsgestein erklärt werden. Die Entkarbonatung schritt nur langsam voran, so dass das Tonverlagerungsfenster mit einem pH-Wert zwischen rund 5 und 7 nur langsam durchschritten wurde. Deshalb fand die Tonverlagerung quantitativ ausgeprägt und tief reichend statt. In Folge der weiteren Versauerung setzten im Oberboden die Podsolierungsprozesse ein.

## M18.4 Themenbereich «Säurezustand»

---

### M18.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

---

#### pH-Wert

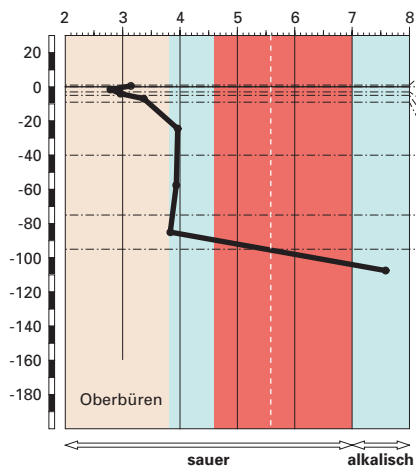
Die pH-Werte variieren in einem sehr weiten Bereich zwischen 2.8 im Ah- und 7.6 im C-Horizont (Abb. M18.13). Bis in 9 cm Tiefe sind alle Horizonte sehr stark sauer und liegen in der Säureklasse 5. Die tiefer gelegenen Horizonte über dem karbonathaltigen Ausgangsgestein sind alle stark sauer und befinden sich in der Säureklasse 4. Beim Übergang in den C-Horizont erfolgt ein abrupter pH-Sprung in den alkalischen Bereich. Dieser Horizont liegt in der Säureklasse 1.

#### Austauschbare Kationen und Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist zum weitaus grössten Teil mit sauren Kationen belegt (Abb. M18.14). In Übereinstimmung mit der Säureklasse 5 kommen in den sehr stark sauren Horizonten neben Aluminium auch Eisen und Protonen in austauschbarer Form vor. Basische Kationen in nennenswerten Anteilen finden sich nur im geringmächtigen F- und Ah-Horizont, sowie im Bt- und C-Horizont. Dies widerspiegelt sich im Verlauf der Basensättigung, die im F- und Ah-Horizont mittel bis mässig hoch ist, in den tiefer gelegenen Horizonten bis 75 cm Tiefe aber nur noch gering bis sehr gering (Abb. M18.15). Im Bt-Horizont wird sie als mittel klassiert, und im C-Horizont ist die Feinerde vollständig basengesättigt.

## 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

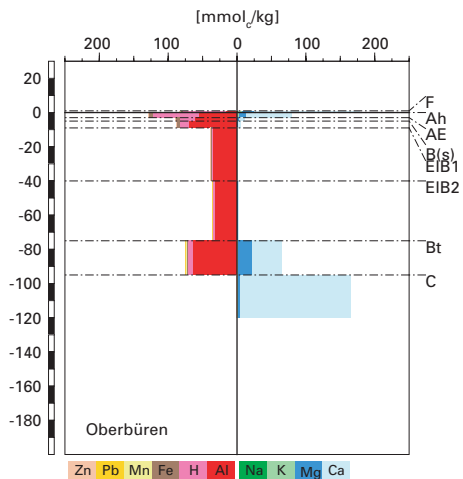
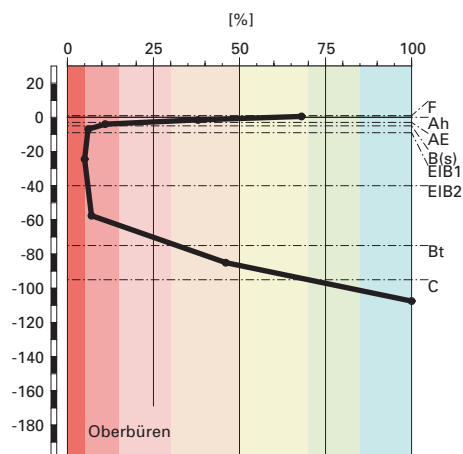


Abb. M18.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb. M18.14 (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. M18.15 Basensättigung



### Stand der Bodenversauerung

Diese podsoliierte Parabraunerde wird als sehr stark versauert beurteilt, denn der Tiefenverlauf des pH-Wertes erstreckt sich über 5 Säureklassen.

Bis in den (Bs)-Horizont erfolgt die Säurepufferung entsprechend der Säureklasse 5 durch Auflösung von Aluminium- und Eisenverbindungen, wie dies an der Austauscherbelegung zum Ausdruck kommt. In den tiefer gelegenen Horizonten, die sich in der Säureklasse 4 befinden, werden die Säuren primär durch Auflösung von Aluminiumverbindungen gepuffert, und im alkalischen C-Horizont wird bei der Säurepufferung das Karbonatgestein verwittert. Die Versauerungsfront, erkennbar am austauschbaren Aluminium, liegt unmittelbar über dem karbonathaltigen Gestein.

Der Boden ist im Untergrund temporär etwas vernässt, was durch die schwache Pseudovergleyung angezeigt wird. Durch Diffusion oder kapillaren Aufstieg gelangen basische Kationen aus dem karbonathaltigen Ausgangsgestein in den darüber liegenden Bt-Horizont, wo sie sich trotz den stark sauren Bedingungen in austauschbarer Form zu halten vermögen. Obschon bis in eine Tiefe von 75 cm insgesamt nur geringe Mengen austauschbarer Nährstoffkationen vorhanden sind, darf angenommen werden, dass die Bäume den besser versorgten Bt- und den karbonathaltigen C-Horizont zu erschliessen vermögen, wie dies durch die erhöhte Basensättigung im F- und Ah-Horizont angezeigt wird.

### Risiko für Boden und Pflanzen

Das Risiko einer weiteren pH-Abnahme wird insgesamt als klein beurteilt, weil kein Horizont in den nur schwach puffernden Säureklassen 2 oder 3 liegt. Allerdings sind die obersten, sehr stark sauren Horizonte in der Säureklasse 5 nur mässig gepuffert, weshalb das Risiko einer weiteren pH-Abnahme in diesem Teil des Bodens erhöht ist. Weil sich die Zone zwischen 40 und 95 cm Tiefe zudem im untersten pH-Bereich der Säureklasse 4 befindet und bei einer auch nur geringen pH-Abnahme in die Säureklasse 5 gelangen, muss angenommen werden, dass sich die Zone der Säureklasse 5 mit der Zeit in die Tiefe ausdehnen wird. Dadurch wird auch in diesem Teil des Bodens das Risiko einer weiteren pH-Abnahme zunehmen.

Durch die einseitige Belegung des Kationenaustauschers mit sauren Kationen besteht in diesem Boden ein als mittel beurteiltes Risiko, dass säureempfindliche Pflanzen durch toxisch wirkendes Aluminium in ihrem Wachstum beeinträchtigt werden, denn in beinahe 60 % der Feinerde unter-

schreitet das BC/Al-Verhältnis den kritischen Wert von 0.2. Diese Zone umfasst den grössten Teil des Hauptwurzelaumes. Nicht davon betroffen ist das Keimbett im F- und Ah-Horizont, sowie der Bt- und C-Horizont. Tief wurzelnde Pflanzen haben deshalb die Möglichkeit, allfällige Wachstumsbeeinträchtigungen mit den besseren Bedingungen in den nicht kritischen Horizonten zu kompensieren. Eine weitere Ausdehnung des kritischen Bereiches ist auch bei einer weiteren pH-Abnahme kaum zu befürchten. Dank dem karbonathaltigen Gestein wird der Basenreichtum im Bt-Horizont hoch bleiben, und solange tief wurzelnde Bäume den Boden besiedeln, werden basische Nährstoffkationen mit dem Streufall an die Bodenoberfläche zurück gebracht.

## M18.5 Themenbereich «Schwermetalle»

---

### M18.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

---

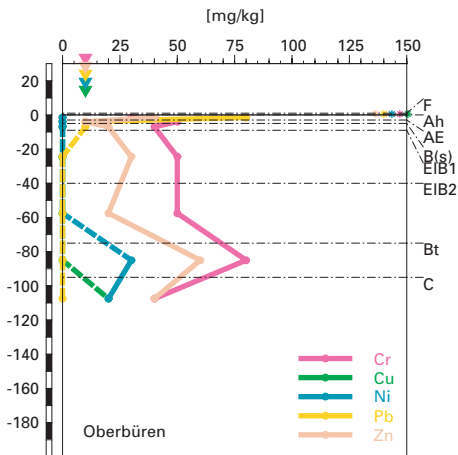
Die maximalen Cr-, Ni- und Zn-Gehalte befinden sich in diesem Profil im Bt-Horizont ([Abb. M18.16](#)). In den darüberliegenden Horizonten liegt Ni unter der Bestimmungsgrenze. Der Cr-Gehalt variiert in den obersten drei Horizonten mit einem minimalen Gehalt im Ah-Horizont, einem sekundären Maximum im AE-Horizont und einem sekundären Minimum im B(s)-Horizont. In den EIB-Horizonten ist der Cr-Gehalt konstant auf dem gleichen Wert wie im AE-Horizont. Zn zeigt im oberen Teil des Profils zwei sekundäre Maxima im Ah- und im EIB1-Horizont sowie ein ausgeprägtes Minimum im AE-Horizont und ein sekundäres Minimum im EIB2-Horizont. Der Cu-Gehalt liegt nur gerade im untersten Horizont über der Bestimmungsgrenze. Blei ist im Ah-Horizont maximal, ist im AE- und im B(s)-Horizont noch nachweisbar und liegt in grösserer Tiefe unter der Bestimmungsgrenze.

### M18.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

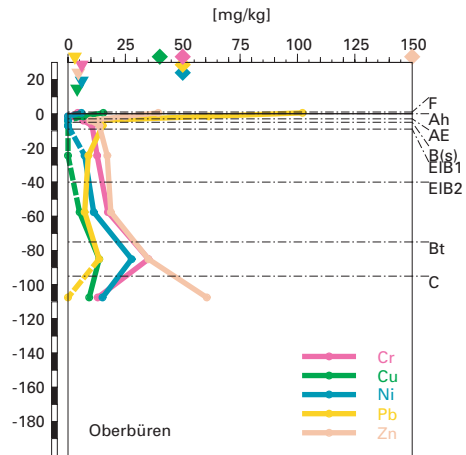
---

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Würmmoräne liegen die meisten Schwermetallgehalte im C-Horizont unterhalb, der Cu-Gehalt jedoch innerhalb typischer Wertebereiche. Da für Würmmoräne (Lithofazies 29) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, wurde die geologisch nächstverwandte Lithofazies mit geochemischen Angaben (Lithofazies 24, Glazial-

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



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



**Abb. M18.16 (links)** Schwermetalle: effektive Totalgehalte

**Abb. M18.17 (rechts)** Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

lehme und -tone) für die Beurteilung beigezogen. Im Vergleich zu den Angaben für das Gebiet Mittelland sind der Pb-Gehalt sehr niedrig, der Cr, Ni- und Zn-Gehalt niedrig, und der Cu-Gehalt erhöht.

### M18.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Für den F- und Ah-Horizont wurden wegen ihres hohen Humusgehaltes (Abb. M18.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm<sup>3</sup>; Tab. A151 in Zimmermann et al. 2006) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg; Abb. M18.17), da die Dichte kleiner ist als 1 g/cm<sup>3</sup>. Mangels Messwert wurde für den F-Horizont eine Dichte von 0.2 g/cm<sup>3</sup> angenommen.

Mit Ausnahme einer hohen Pb-Konzentration im Ah-Horizont sowie eines hohen Cr- und eines erhöhten Ni-Gehaltes im Bt-Horizont sind die Konzentrationen und Gehalte der Schwermetalle sehr niedrig bis niedrig (Abb. M18.17). Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

Dieses Profil ist vom AE- bis zum EIB2-Horizont deutlich an Ni, Cu und Zn und etwas an Cr verarmt (Tab. M18.4). Der Ah-Horizont ist etwas an Cr, Ni und Cu verarmt. Der Bt-Horizont ist an Cu verarmt, aber an Cr angereichert.

Die Abreicherungen sind in erster Linie auf die mittlere bis sehr grosse Mobilität der Schwermetalle unter den stark bis sehr stark sauren Verhältnissen zurückzuführen.

Bei Cr reflektiert der Tiefenverlauf der Anreicherungs-faktoren vom EIB1- bis zum C-Horizont zusätzlich die Verlagerung von Ton (Abb. M18.4), die in einer früheren Phase der Bodenbildung, als das Profil noch weniger stark versauert war und für diesen Verlagerungsprozess günstige Bedingungen herrschten, stattfand. Auch bei den übrigen Schwermetallen dürfte dieser Prozess zur Abreicherung in den EIB-Horizonten beigetragen haben. Allerdings ist der Boden offenbar schon lange derart stark versauert, dass in jener Phase allfällig im Bt-Horizont angereichertes Ni, Cu oder Zn bereits wieder mobilisiert und ausgewaschen wurde.

Da im oberen Teil des Profils Podsolierung nachgewiesen wurde (Abb. M18.10), dürfte hier zusätzlich gelöste organische Substanz zur Mobilisierung der Schwermetalle, insbesondere von Cr, Ni und Cu, beigetragen haben.

Anreicherung im Rückstand der Karbonatverwitterung im Bt-Horizont wird durch die gegenüber dem C-Horizont erhöhten Ni- und Zn-Gehalte (Abb. M18.16) angezeigt.

Der gegenüber den darunterliegenden Horizonten erhöhte Anreicherungs-faktor für Zn im Ah-Horizont lässt sich mit der Rückführung von Zn mit der Streu in den Oberboden erklären. Eine Rückführung von Ni und Cu in den Oberboden wird durch im Vergleich zum Ah-Horizont höhere

**Tab. M18.4****Anreicherungs-faktoren**

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungs-faktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0– 3	0.81	<0.54	<0.54	n.b.	1.08
AE	3– 5	0.74	<0.30	<0.30	n.b.	0.15
B(s)	5– 9	0.59	<0.30	<0.30	n.b.	0.30
EIB1	9– 40	0.71	<0.28	<0.28	n.b.	0.42
EIB2	40– 75	0.74	<0.30	<0.30	n.b.	0.30
Bt	75– 95	1.44	<0.36	1.08	n.b.	1.08
C	95– 120	1.00	1.00	1.00	n.b.	1.00

## Schwermetallmobilität

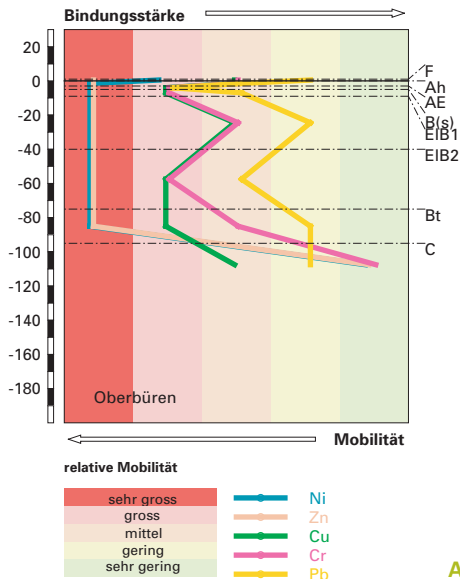


Abb. M18.18 Mobilität der Schwermetalle

Salpetersäure-extrahierbare Gehalte im F-Horizont angedeutet (Abb. M18.17). Andererseits ist der stark erhöhte Pb-Gehalt im Ah- und F-Horizont (Abb. M18.16 und M18.17) ein deutlicher Hinweis auf Anreicherung von anthropogenem Eintrag in der organischen Auflage und im Oberboden.

### M18.5.5 Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

Im stark bis sehr stark sauren Teil des Bodens vom F- bis zum Bt-Horizont wird die Mobilität von Ni und Zn als gross bis sehr gross, diejenige von Cr und Cu als mittel bis gross und diejenige von Pb als gering bis gross geschätzt (Abb. M18.18). Dabei ist berücksichtigt, dass die Mobilität von Cr, Cu und Pb durch den hohen Humusgehalt vom F- bis zum EIB1-Horizont (Abb. M18.8) verringert wird. Im F- und Ah-Horizont ist der Humusgehalt so hoch, dass auch die Mobilitätsschätzung für Ni betroffen ist. Der hohe Tongehalt im Bt-Horizont führt dort zu einer Erniedrigung der geschätzten Mobilität von Cr und Pb. Im alkalischen C-Horizont wird die Mobilität der meisten Schwermetalle als sehr gering bis gering, die Cu-Mobilität aber wegen der Bildung von Karbonat- bzw. Hydrogenkarbonat-Komplexen als mittel eingestuft.

Wegen des hohen pH-Wertes im C-Horizont und der mobilitätsverringern Wirkung der Tonanreicherung im Bt-Horizont wird die Gefahr, dass Schwermetalle in den Untergrund ausgewaschen werden, als gering eingeschätzt.

#### **M18.5.6      Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen**

---

Vom Ah- bis zum EIB1-Horizont liegen alle Schwermetalle in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind. Für den F-Horizont stehen wegen zu geringer Probemengen keine totalen Schwermetallgehalte zur Verfügung. Eine Extrapolation der Salpetersäure-extrahierbaren Gehalte im F-Horizont lässt vermuten, dass auch in diesem Horizont von den Schwermetallgehalten kein Risiko für Mikroorganismen ausgeht.

### **M18.6      Themenbereich «Nährstoffe»**

---

#### **M18.6.1      Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden**

---

Die Nährstoffverfügbarkeit ist, beurteilt aufgrund der morphologischen Beobachtungen von Humusform und Bodengefüge, nicht optimal. Die vor allem von Wald-Föhre und Buche stammende, mässig gut abbaubare Streu wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig zersetzt. Unter der Streuschicht hat sich ein 1 cm mächtiger F-Horizont gebildet. Die Humusform ist ein Moder. Durch die Bildung einer organischen Auflage werden Nährstoffe in organisch gebundener Form dem unmittelbaren Nährstoffkreislauf entzogen und stehen den Pflanzen für längere Zeit nicht zur Verfügung. Ursache dieser gehemmten Nährstoffverfügbarkeit ist neben der Streuqualität die infolge der stark bis sehr stark sauren pH-Verhältnisse reduzierte biologische Aktivität. Dies drückt sich in der Subpolyederstruktur der Feinerde und in einer nur geringmächtigen Durchmischungszone von organischer Substanz und Mineralerde aus. Der Ah-Horizont ist nur 3 cm mächtig.

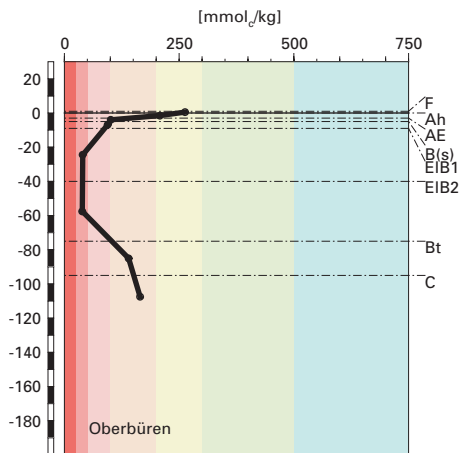
Das C/N-Verhältnis beträgt im F-Horizont 22 und ist damit charakteristisch für die Humusform Moder. Es wird als mässig weit klassiert und ist mit einer niedrigen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen. Auch das als weit klassierte C/P-Verhältnis von 970 bestätigt grundsätzlich die aufgrund der morphologischen Beobachtungen gemachten Aussagen.

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) variiert im Boden zwischen sehr geringen 39 mmol<sub>c</sub>/kg im EIB2-Horizont und hohen 263 mmol<sub>c</sub>/kg im F-Horizont (Abb. M18.19). Der hohe Wert im F-Horizont kann mit den Austauschereigenschaften der organischen Substanz erklärt werden. Auch im Ah-Horizont mit einem hohen Gehalt an organischer Substanz wird die KAK als hoch klassiert. Darunter nimmt sie allmählich ab und ist in den Auswaschungshorizonten EIB1 und EIB2 sehr gering. Dies ist sowohl auf den geringen Tongehalt infolge Tonverlagerung als auch auf die Blockierung von Austauscherplätzen an den Oberflächen von Tonmineralen bzw. Oxiden durch Aluminium-Hydroxo-Kationen bzw. Protonen bei den sehr stark sauren pH-Verhältnissen zurückzuführen. Im Bt-Horizont steigt die KAK entsprechend dem zunehmenden Tongehalt auf einen mittleren Wert an und im karbonathaltigen C-Horizont ist sie ebenfalls mittel, obwohl der Tongehalt gegenüber dem Bt-Horizont halb so gross ist. Dieser mittlere Wert im C-Horizont wird durch einen methodischen Artefakt der Kalkauflösung während der Extraktion mit Ammoniumchlorid verursacht.

Trotz sehr stark sauren pH-Verhältnissen ist die Al-Belegung im F- und Ah-Horizont mit 6% bzw. 26% relativ gering (Abb. M18.20). Dies ist auf den Nährstoffkreislauf zurückzuführen, durch welchen mit der Streu immer wieder Nährstoffkationen, nicht aber Aluminium, auf die Bodenoberfläche gelangen. Durch die Mineralisierung der Nährstoffe sind die Nährstoffkationen gegenüber Aluminium in viel grösseren Mengen vorhanden. Dies erlaubt es den Nährstoffkationen Ca und Mg, in den obersten Zentimetern des Mineralbodens eine Belegung von 32% bzw. 5% aufrecht zu erhalten. Im F-Horizont ist die Ca- und Mg-Belegung mit 58% bzw. 7% noch grösser. Im Tiefenbereich von 3 bis 75 cm hat jedoch Aluminium bei stark bis sehr stark sauren pH-Verhältnissen die Nährstoffkationen weitgehend vom Austauscher verdrängt und dominiert dessen Belegung. Kalzium hat in diesem Bereich eine Belegung zwischen rund 3% und 8% und Magnesium erreicht noch 1% bis 2%. Mit zunehmender Tiefe und Annäherung an die Kalkgrenze in 95 cm Tiefe wird die Al-Belegung zugunsten vor allem der Ca-Belegung kleiner, bis im C-Horizont praktisch kein Aluminium mehr am Kationenaustauscher ist. Kalzium weist im C-Horizont eine Belegung von rund 98% auf. Die Mg-Belegung erreicht in Abhängigkeit der Konkurrenz durch das noch nicht dominante Ca und das stark abnehmende Al im Bt-Horizont den grössten Wert von 15%. Die K-Belegung ist im F-Horizont mit etwas mehr als 2% am grössten und schwankt im Mineralboden zwischen 0.4 und 1.4%.



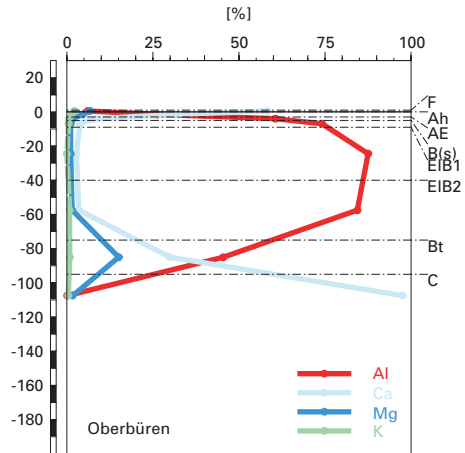
### Kationenaustauschkapazität (KAK)



#### 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. M18.19** (links) Kationenaustauschkapazität

**Abb. M18.20** (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

### M18.6.3 Nährstoffvorräte

In den **Abb. M18.21 bis M18.23** sind die Vorräte an Ca, Mg und K dargestellt. Bis in eine Tiefe von 75 cm nimmt der Vorrat aller drei Nährstoffkationen nur unwesentlich zu. Von der Untergrenze des EIB2-Horizontes bis zur Profilsohle steigt der Ca-Vorrat kontinuierlich und stark an. Der Mg- und K-Vorrat steigen nur im Bt-Horizont wesentlich an, während sich die Vorratszunahme im C-Horizont deutlich abschwächt. Im Hauptwurzelsraum (bis 60 cm Tiefe) wird das Angebot an Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

Ca mässig  
Mg gering  
K sehr gering

Der Boden ist mindestens bis 120 cm Tiefe durchwurzelsbar. Unter Berücksichtigung der erschlossenen durchwurzelsbaren Tiefe werden der Ca- und Mg-Vorrat optimistischer beurteilt. Der Ca-Vorrat wird als hoch, der Mg-

## Kalzium-Vorrat

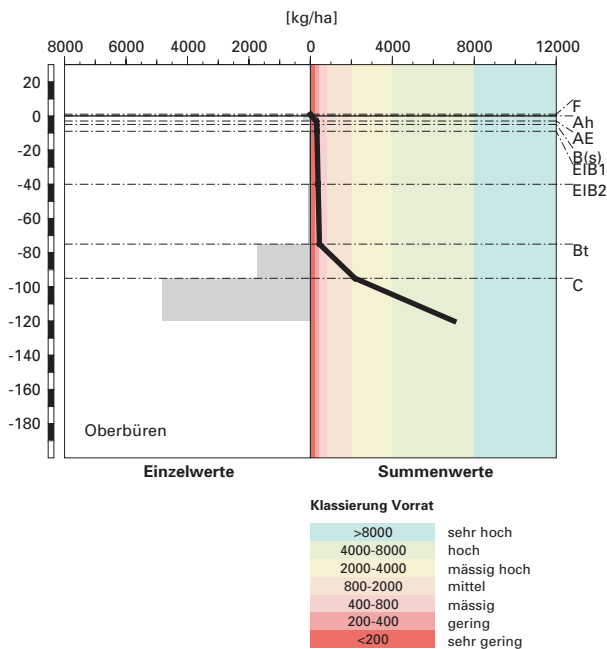


Abb. M18.21 Vorrat an Kalzium

Vorrat als mässig hoch bewertet. Dieser Boden ist sehr unterschiedlich mit Nährstoffen versorgt. Während der Ca- und Mg-Vorrat für die meisten Baumarten unproblematisch sein dürfte, ist der K-Vorrat sehr gering.

Es muss zudem berücksichtigt werden, dass die Nährstoffversorgung vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich besteht am Profilort Oberbüren ein mässiges Risiko für Trockenstress. Dies bedeutet, dass in Trockenperioden der zum Teil sehr geringe Nährstoffvorrat nur beschränkt zur Verfügung steht.

## Magnesium-Vorrat

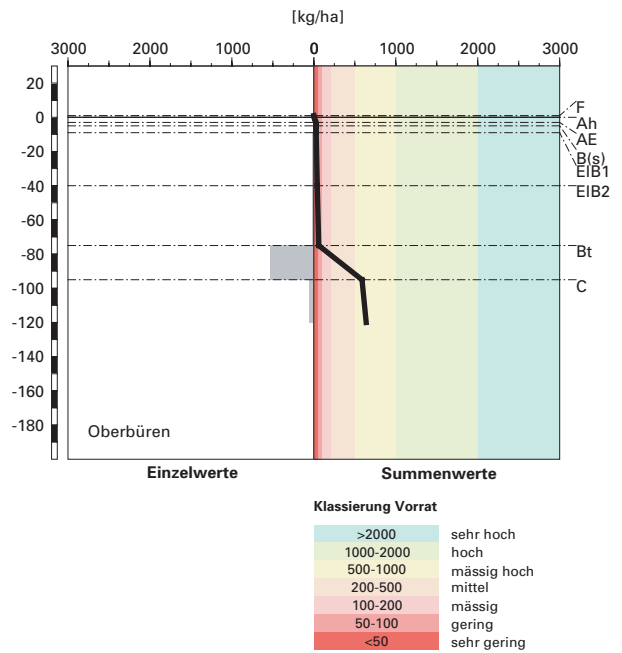


Abb.M18.22 Vorrat an Magnesium

## Kalium-Vorrat

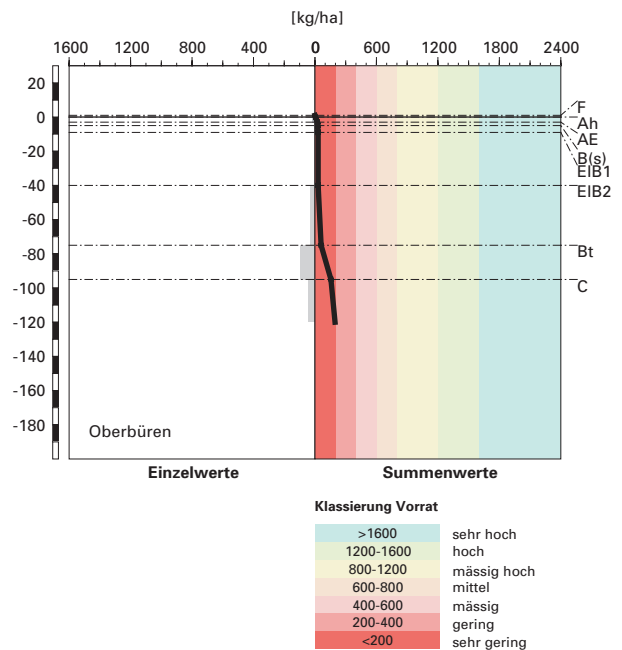


Abb.M18.23 Vorrat an Kalium

## M18.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

---

### M18.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

---

Der Steckbrief (Tab. M18.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

### M18.7.2 Baumartenwahl

---

#### Naturnähe von Bestand und Oberboden

Mit 80 % Buche und 10 % Waldföhre bewerten wir die Baumartenmischung des Waldbestandes gesamthaft als ziemlich naturnah. Wie das Bestandesphoto (Abb. M18.2) zeigt, ist der Anteil der Waldföhre jedoch stellenweise anthropogen bedingt zu hoch. Nach Burger et al. (1996) ist an diesem Buchenstandort (Einheit 2<sup>hk</sup>) die Humusform Moder typisch, weshalb wir den vorhandenen Moder als standorttypisch bewerten.

#### Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Das ziemlich milde Klima lässt dem Waldbauer grundsätzlich einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl. Trotzdem sind gemäss Burger et al. (1996) an diesem Buchenstandort (Einheit 2<sup>hk</sup>) nur folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Buche, Traubeneiche, Waldföhre, Birke und Vogelbeere. Offensichtlich ist die Baumartenauswahl an diesem Waldstandort durch ungünstige Standortfaktoren eingeschränkt, wie gleich anschliessend beschrieben wird.

#### Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

##### ■ Durchwurzelbarkeit des Bodens

Zwar ist der Unterboden dieser sehr schwach pseudovergleyten Parabraunerde ab 95 cm Tiefe aufgrund seiner relativ grossen Dichte und infolge seines grossen Skelettgehaltes eingeschränkt durchwurzelbar. Wir gehen aber trotzdem davon aus, dass die Durchwurzelbarkeit des Bodens die Baumartenauswahl nicht einschränkt.

##### ■ Entwässerung des Bodens durch die Bäume

Die biologische Entwässerung hat in diesem schwach vernässten Boden bei der Baumartenwahl eine marginale Bedeutung und wird vernachlässigt.

**Tab. M18.5      Steckbrief für die Waldbehandlung (Oberbüren)****Standortangaben**

Relief	Höhe	575 m ü. M.
	Exposition	WNW
	Neigung	10 %
Klima	Jahresniederschlag	1116 mm
	Jahrestemperatur	8.6°C
Ausgangsgestein	Würmmoräne	
Baumbestand	Struktur	einschichtig
	Schlussgrad	95 %
	Baumarten (Deckung)	80 % Rotbuche, 10 % Waldföhre
	Oberhöhe	30 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr. 2: Waldsimsen-Buchenwald mit Weissmoos
	nach Burger et al. 1996	Einheit 2 <sup>hk</sup> : Wald-Hainsimsen-Buchenwald mit Weissmoos, Ausbildung an Hangkanten

**Bodenkennwerte**

Bodensystematik	Humusform	Moder
	Bodentyp	Parabraunerde, podsoliert
	Vernässungsgrad	sehr schwach pseudovergleyt
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Die Durchlüftung ist unterhalb von 75 cm Tiefe zeitweise ungenügend. Die Vernässung ist durch Stauwasser bedingt.
	Durchwurzelbarkeit	Während die nicht optimale Durchlüftung im Unterboden kaum einen nachteiligen Einfluss auf das Wurzelwachstum hat, geht ein solcher ab 95 cm Tiefe von der Dichte aus. Trotz dieser Einschränkung dürfte der Wurzelraum für alle Baumarten mehr als 120 cm mächtig und damit sehr tiefgründig sein. Wurzeln wurden bis 120 cm Tiefe beobachtet.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besteht ein mässiges Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Die organische Auflage und die obersten 9 cm des Mineralbodens sind sehr stark sauer. In 9–95 cm Tiefe ist die Feinerde stark sauer. Die Kalkgrenze verläuft in 95 cm Tiefe.
	Aluminium-Toxizität	In 3–75 cm Tiefe besteht ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Die Humusform Moder und das mässig weite C/N-Verhältnis im F-Horizont weisen auf eine gehemmte Mineralisierung hin. Unterstützt wird diese Einschätzung 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 insgesamt unausgewogen. Der Ca-Vorrat ist hoch, der Mg-Vorrat mässig hoch und der K-Vorrat ist sehr gering. Die obersten 75 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 empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen.	

#### ■ Trockenstress-Risiko für die Bäume

Infolge des nicht optimalen Wasserspeichervermögens des Bodens und seiner Verlustlage auf einer Kuppe besteht ein mässiges Risiko für Trockenstress. Daher sollten nur Baumarten verjüngt werden, die Trockenheit relativ gut ertragen.

#### ■ Säurezustand und Aluminium-Toxizität

Der Boden ist bis 95 cm Tiefe stark bis sehr stark sauer und in 3–75 cm Tiefe besteht ein Risiko für Al-Toxizität. Eine Verbesserung des Säurezustandes ist daher erwünscht. Zwar könnte man der Versauerung mit einer entsprechenden Baumartenwahl entgegenwirken. Da die Humusform Moder jedoch standorttypisch und die Baumartenmischung naturnah sind, würden durch eine derartige Massnahme naturfremde Verhältnisse angestrebt. Im Hinblick auf den Säurezustand des Bodens können sich waldbauliche Eingriffe auf den Erhalt der aktuellen naturnahen Baumartenmischung beschränken.

#### ■ Nährstoffangebot im Boden

Die Mineralisierung der Nährstoffe im Oberboden ist niedrig, die Nährstoffumsetzung also gehemmt. Eine Erhöhung der Mineralisierung ist erwünscht. Eine solche Erhöhung könnte mit geeigneten Baumarten, das heisst Laubhölzern mit gut abbaubarer Streu, angestrebt werden. Da die Humusform Moder jedoch standorttypisch und die Baumartenmischung naturnah sind, würden durch diese waldbauliche Steuerung naturfremde Verhältnisse angestrebt. In Bezug auf die Mineralisierung im Oberboden ist es also ausreichend, die vorhandene naturnahe Baumartenmischung zu erhalten.

Viele Baumarten haben bezüglich Nährstoffversorgung des Bodens eine weite ökologische Amplitude. Das Nährstoffangebot für sich allein betrachtet wird daher an diesem Standort für die meisten Baumarten ausreichend sein. Eine Ausnahme bilden die nährstoffbedürftigen Edellaubhölzer. Sie dürften aufgrund der unausgewogenen Vorräte an Nährstoffkationen, der relativ nährstoffarmen Zone in 0–75 cm Tiefe und dem damit verbundenen Risiko für Al-Toxizität im Vergleich zu den anspruchsloseren Baumarten nicht konkurrenzkräftig sein. Dies gilt vor allem für die jungen Bäume, während der Zeit, in der sie ausschliesslich die nährstoffarmen, oberen Bodenhorizonte durchwurzeln.

Das ziemlich milde Klima lässt grundsätzlich einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl zu. Einige der von uns betrachteten bodenkundlichen Kriterien, die teilweise vom Klima abhängig sind, schränken die Baumartenauswahl jedoch ein. Einschränkend wirken das Trockenstress-Risiko für die Bäume, der Säurezustand des Bodens, die Mineralisierung im Oberboden und das Angebot an Nährstoffkationen. Die in **Tab. M18.6** enthaltene Baumartenempfehlung von Burger et al. (1996) ist hinsichtlich dieser einschränkenden Kriterien zu hinterfragen.

Aus bodenkundlicher Sicht sind an diesem Waldstandort Laubbaumarten mit nicht zu grossem Nährstoff- und Wasserbedarf zu fördern. Im Hauptbestand sehen wir vor allem die Buche und die Traubeneiche. Im Nebenbestand können Hagebuchen oder Vogelbeeren eingebracht werden. Diese Baumarten ertragen die von uns als kritisch erachteten Bodeneigenschaften und wirken sich positiv auf die Bodenqualität aus. Ihre relativ gut abbaubare Laubstreu fördert die biologische Aktivität im Oberboden, was sich günstig auf den Säurezustand des Bodens und die Verfügbarkeit der Nährstoffe auswirkt.

Von den in **Tab. M18.6** empfohlenen Baumarten (Burger et al. 1996) scheint uns die Waldföhre nur bedingt empfehlenswert zu sein, denn ein zu grosser Eintrag an Nadelstreu würde an diesem Standort die biologische Aktivität im Oberboden stark hemmen. Die Vogelbeere sehen wir nicht im Haupt- sondern im Nebenbestand. Die Birke schliesslich ist an diesem Buchenstandort wenig konkurrenzkräftig.

**Tab. M18.6**      **Baumartenempfehlung für den Hauptbestand**

Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 2 <sup>hk</sup> ; Burger et al. 1996)	Buche, Traubeneiche, Waldföhre, Birke, Vogelbeere
Bodenkundliche Kriterien	Buche, Traubeneiche, (Waldföhre, Birke, Vogelbeere)



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.

---

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.

---

Tuchschrnid, 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.

---