

## M3 Bodenprofil Promasens

---

### M3.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

---

#### M3.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

---

Das Bodenprofil ist in [Abb. M3.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb. M3.2](#). [Tab. M3.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profiltort Promasens zusammen, und [Tab. M3.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

#### M3.1.2 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.

#### M3.1.3 Besonderheiten am Profiltort

---

Der Sturm Lothar vom Dezember 1999 riss im Bereich des Bodenprofils eine Lücke von rund 20 × 25 m in die Baumschicht. Der Fichtenanteil ist an diesem Buchenstandort unnatürlich hoch.

#### M3.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

---

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab. M3.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Die Streu der reichlich vorhandenen krautigen Pflanzen sowie die Nadeln und Blätter der Bäume werden innerhalb eines Jahres weitgehend zersetzt. An der Bodenoberfläche ist eine nur geringmächtige Streuschicht vorhanden. Die Humusform wird mit der Horizontfolge L-Ah als Mull klassiert.

Unter der Streuschicht lassen sich im 130 cm tiefen Bodenprofil aufgrund der morphologischen Merkmale vier Horizonte unterscheiden.



**Abb. M3.1** (links) Bodenprofil Promasens

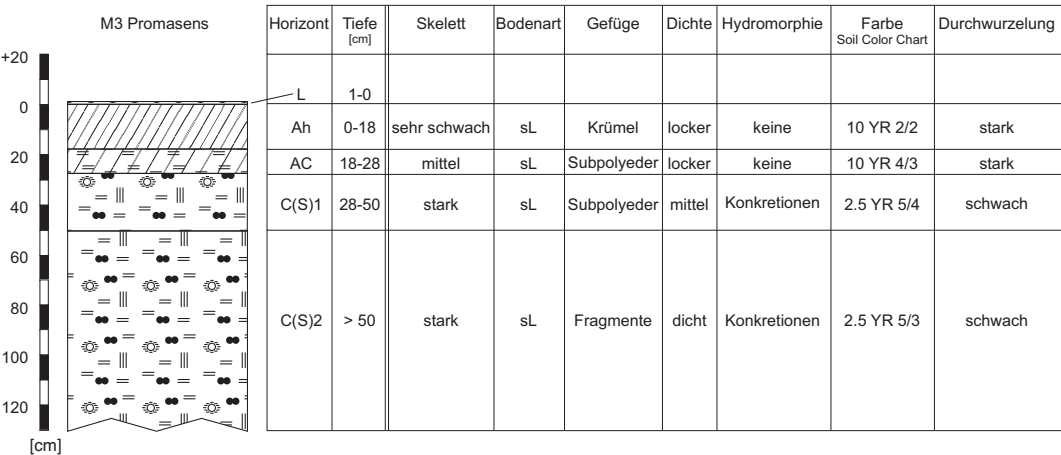
**Abb. M3.2** (rechts) Bestand am Profilort Promasens

<b>Tab. M3.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Promasens</b>	
Lokalname	Promasens (Kanton Freiburg, Gemeinde Rue)
Lage	Landeskarte 1:25000 Blatt 1224, Châteaux-d'Oex Koordinaten 553000/161000
Waldgesellschaft (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 9: Typischer Lungenkraut-Buchenwald ( <i>Pulmonario-Fagetum typicum</i> )
Horizontfolge	L-Ah-AC-C(S)1-C(S)2
Humusform	Mull
Bodentyp	Pararendzina, sehr schwach pseudovergleyt
Bodentyp (FAO 1988)	Eutric Regosol

Tab. M3.2	Bodenbildungsfaktoren am Profilort Promasens		
Relief	Höhe ü. M.	650 m	
	Exposition	W	
	Neigung	15%	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Molassebecken; karbonathaltige Würmmoräne	
	Lithofazies	Nr. 29: Moräneablagerungen (grobklastisch)	
	(nach Tuchschnid 1995)	physikalische Verwitterbarkeit Gestein: variabel chemische Verwitterbarkeit Gestein: variabel Tongehalt Gestein: sehr niedrig – mittel	
Klima	T/N Jahresmittel	8.2°C/1184 mm	
	T/N Januarmittel	– 0.5°C/85 mm	
	T/N Julimittel	18.1°C/92 mm	
	Tage mit Schneedecke	61	
	Wärmegliederung	ziemlich kühl	
	Länge der Vegetationsperiode	190–200 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (30–35 m Höhe)	90%	75–100% Fichte ( <i>Picea abies</i> ) <5% Gemeine Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> ) <5% Süsskirsche ( <i>Prunus avium</i> )
	Strauchschicht	10%	–
	Krautschicht	100%	Ausdauerndes Bingelkraut ( <i>Mercurialis perennis</i> ) Gemeiner Sauerklee ( <i>Oxalis acetosella</i> ) Echter Waldmeister ( <i>Galium odoratum</i> ) Berg-Goldnessel ( <i>Lamium galeobdolon susp. montanum</i> ) Gemeiner Aronstab ( <i>Arum maculatum</i> )
	Mooschicht	0%	–

Tab. M3.3

Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Promasens  
 Bodenart: sL sandiger Lehm



Farblich hebt sich bis 18 cm Tiefe eine humose, bräunlich schwarze Zone vom übrigen gelblich braunen Mineralboden ab. Mit der dunklen Farbe geht eine Krümelstruktur einher, was auf ein reges Bodenleben deutet. Der untere gelblich braune Profilbereich besitzt bei wohl geringerer biologischer Aktivität eine Subpolyeder- oder Fragmentstruktur. Die Dichte nimmt mit der Tiefe im Einklang mit dem Gefüge von locker bis dicht zu. Im dichten Unterboden haben sich durch Wasserrückstau vereinzelte Konkretionen gebildet. Die Bodenart ist profilumfassend ein sandiger Lehm und der Skelettgehalt nimmt mit der Tiefe deutlich zu, wobei der Boden bereits ab rund 30 cm Tiefe stark skeletthaltig ist. Der Oberboden ist stark, der Unterboden dagegen nur schwach durchwurzelt.

Die Horizontfolge des Profils lautet L-Ah-AC-C(S)1-C(S)2. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als sehr schwach pseudovergleyte Pararendzina klassiert. Die auf den Unterboden beschränkte Vernässung wird durch periodisch vorhandenes Stauwasser verursacht.

### **Ergänzende Bodenmerkmale**

Die Kalkgrenze befindet sich in 18 cm Tiefe. Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde selbst oberhalb der Kalkgrenze alkalisch. Im Profil sind keine unüberwindbaren Hindernisse für das Wurzelwachstum feststellbar.

## **M3.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»**

---

### **M3.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte**

---

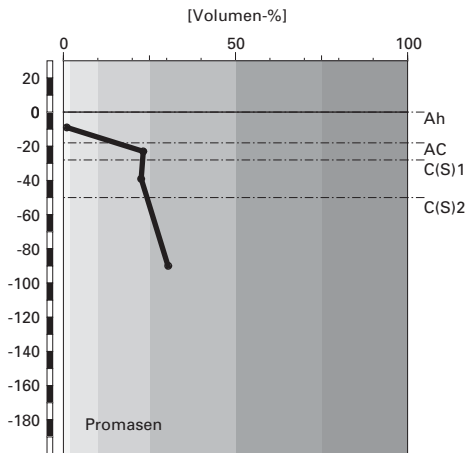
#### **Skelettgehalt**

Der Skelettgehalt nimmt mit der Tiefe deutlich zu ([Abb. M3.3](#)). Während die obersten 20 cm des Bodens kaum Skelett enthalten, befinden sich in der Tiefenstufe 20–30 cm bereits mittlere Skelettmengen, und ab 30 cm Tiefe ist der Boden mit einem Skelettanteil von rund 30 % stark skeletthaltig.

#### **Bodenart**

Die Feinerde besteht im gesamten Profil mehrheitlich aus Sand und Schluff, wobei auch ein nicht unbedeutender Tonanteil vorhanden ist ([Abb. M3.4](#)). Der C(S)2-Horizont enthält am meisten Sand, was mit dem geringen Verwitterungsgrad dieses Horizontes erklärbar ist. Der im C(S)2-Horizont im Vergleich zum darüber liegenden C(S)1-Horizont grössere Tongehalt ist geologisch und nicht durch Tonverlagerung bedingt, denn in der karbonathaltigen Feinerde kann kein Ton verlagert werden. In Bezug auf den Ton-

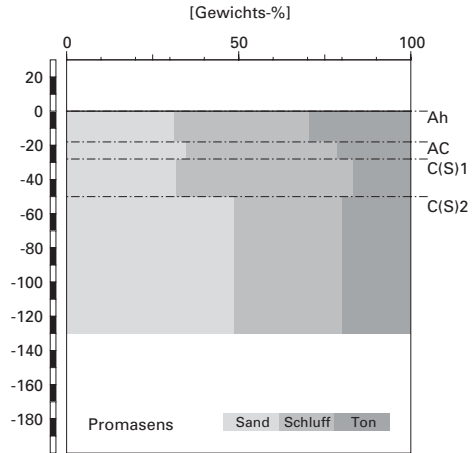
## Skelettgehalt



### Klassierung Skelettgehalt

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

## Bodenart



**Abb. M3.3 (links)** Skelettgehalt

**Abb. M3.4 (rechts)** Bodenart

gehalt handelt es sich profilumfassend um mittelschweren Boden. Bei der Bestimmung der Bodenart im Feld wurde im Oberboden der Ton- und im C(S)1-Horizont der Schluffanteil unterschätzt ([Tab. M3.3](#)).

### Dichte der Feinerde

Im humosen Oberboden ist die Dichte der Feinerde äusserst gering ([Abb. M3.5](#)). Im Unterboden ist die Dichte zwar deutlich grösser, wird aber trotzdem bloss als gering klassiert.

### Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

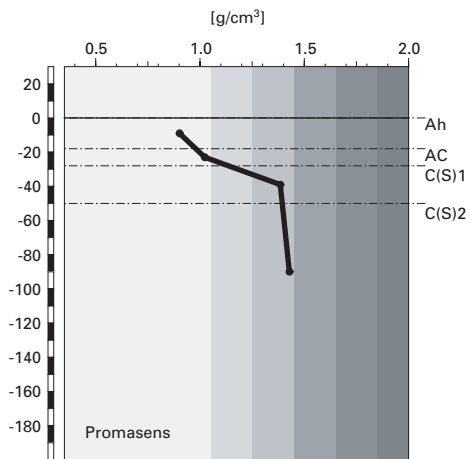
Die Durchlässigkeit ist in den obersten 50 cm des Profils hoch und im untersten Horizont mittel ([Abb. M3.6](#)).

### Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe wird mit 188 l/m<sup>2</sup> als sehr hoch klassiert ([Abb. 3.7](#)).



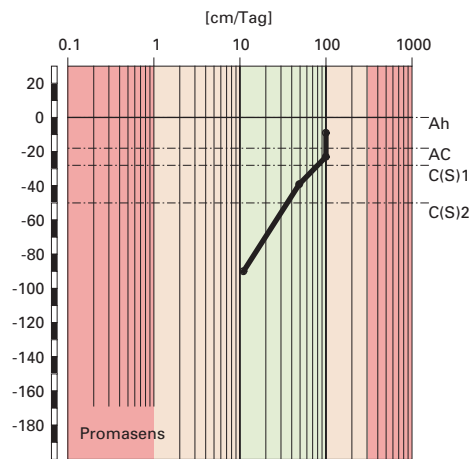
## Feinerde-Dichte



### Klassierung Dichte

>1.85	sehr hoch
1.65-1.85	hoch
1.45-1.65	mittel
1.25-1.45	gering
1.05-1.25	sehr gering
<1.05	äusserst gering

## gesättigte Wasserleitfähigkeit ( $k_{sat}$ )



### Klassierung $k_{sat}$

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

**Abb.M3.5 (links)** Dichte der Feinerde

**Abb.M3.6 (rechts)** Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

## M3.2.2

### Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

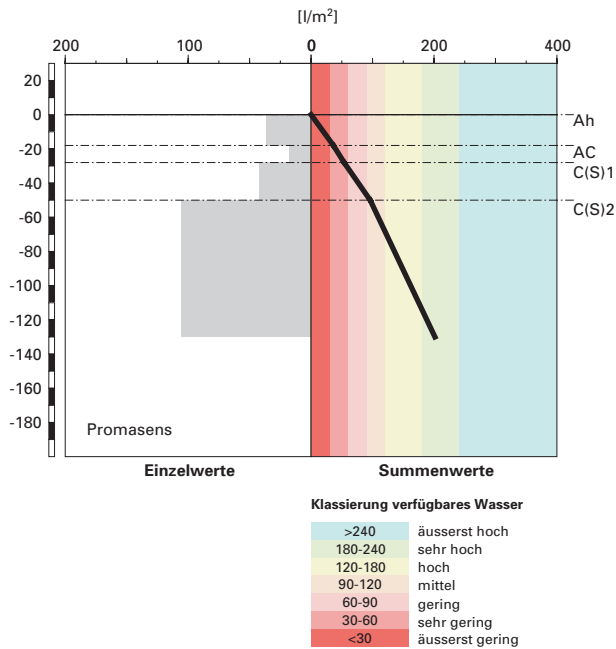
#### Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In dieser sehr schwach pseudovergleyten Pararendzina kommen ab rund 30 cm Tiefe als Merkmal der Vernässung vereinzelte Konkretionen vor. Sie zeigen, dass der Boden nur sehr schwach durch Stauwasser beeinflusst wird, so dass kaum je mit ungenügender Durchlüftung und in der Folge mit Sauerstoffarmut zu rechnen ist. Diese Einschätzung steht im Einklang mit der Leitfähigkeitskurve, welche für das Profil eine hohe bis mittlere Wasserdurchlässigkeit angibt (Abb.M3.6).

#### Durchwurzelbarkeit des Bodens

Bezogen auf die Dichte und die Durchlüftung ist der Boden für alle Baumarten uneingeschränkt und mindestens profilumfassend durchwurzelbar. Die Dichtewerte sind kleiner oder nur knapp grösser als 1,4 g/cm³ (unterer kritischer Wert) und die Durchlüftung ist in allen Horizonten ausreichend.

## pflanzenverfügbares Wasser



**Abb. M3.7** Pflanzenverfügbares Wasser

Der Wurzelraum ist nicht begrenzt und wird mit > 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Er wird vom aktuellen Mischbestand aus Fichte, Esche und Kirschbaum tief greifend genutzt. Wurzeln sind, wenn auch nur in geringer Anzahl, bis zur Profilssole (130 cm) vorhanden und dringen mit Sicherheit noch tiefer in den Unterboden 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 nach rund 25 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Da der Boden sehr tiefgründig (> 120 cm) ist und ein günstiges Klima herrscht, besteht an diesem Buchenstandort (E & K 9) nur ein kleines Trockenstress-Risiko.

### Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er bis 20 cm Tiefe kaum Skelett enthält.

### M3.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

---

#### Organische Substanz

Der Baumbestand am Profilort bei Promasens besteht hauptsächlich aus Fichten mit einzelnen beigemischten Eschen und Kirschbäumen. Er hat einen Deckungsgrad von 90%. Trotzdem fällt durch die Fichtenkronen genügend Licht, so dass am Boden flächendeckend eine Krautschicht gedeiht. Diese besteht vor allem aus ausdauerndem Binkelkraut, gemeinem Sauerklee, echtem Waldmeister, Berg-Goldnessel und gemeinem Aronstab. Die anfallende Streu stammt vor allem aus der Baumschicht, zu einem bedeutenden Anteil jedoch auch aus der Krautschicht. Sie gilt insgesamt als mässig abbaubar.

Der bräunlich schwarze Ah-Horizont hebt sich deutlich vom matt gelblich braunen AC-Horizont ab. Sein Gehalt an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) ist mit 5.6% relativ gross (Abb.M3.8). Im AC-Horizont beträgt der  $C_{org}$ -Gehalt nur noch 1.8% und er nimmt bis in den C(S)2-Horizont auf 0.4% ab. Aus diesen Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 164 t/ha (Abb.M3.9).

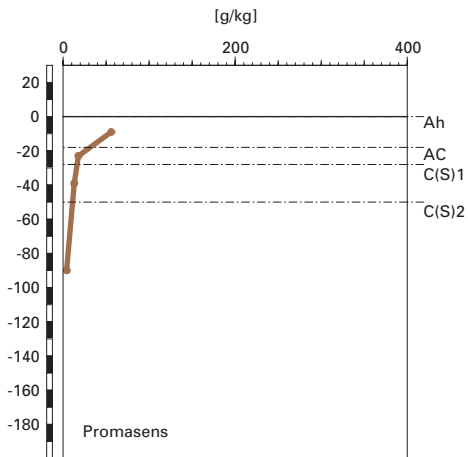
#### Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt nimmt mit der Profiltiefe ab, wobei das Maximum mit 29% im Ah- und das Minimum mit 17% im C(S)1-Horizont liegt (Abb.M3.4).

Alle extrahierbaren Aluminium- und Eisengehalte nehmen mit der Tiefe ab (Abb.M3.10 und M3.11). Das Dithionit-extrahierbare Eisen ( $Fe_d$ ) besitzt im regionalen Vergleich mittlere Gehalte von 6.8 bis 9.1 g/kg. Die Gehalte des Oxalat-extrahierbaren Eisens ( $Fe_o$ ) sind im regionalen Vergleich hingegen gering, im C(S)2-Horizont sogar kleiner als die Bestimmungsgrenze von 0.6 g/kg und die Pyrophosphat-extrahierbaren Eisengehalte ( $Fe_p$ ) liegen im ganzen Profil unterhalb der Nachweisgrenze von 0.25 g/kg. Dasselbe gilt für die Oxalat- bzw. Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminiumgehalte ( $Al_o$  bzw.  $Al_p$ ). Aus diesem Grund können keine Verhältnisse von Pyrophosphat- zu Oxalat-extrahierbaren Gehalten berechnet werden. Das  $Fe_o/Fe_d$ -Verhältnis ist in den drei Horizonten, in welchen es berechnet werden kann, kleiner als 0.15 (Abb.M3.12).

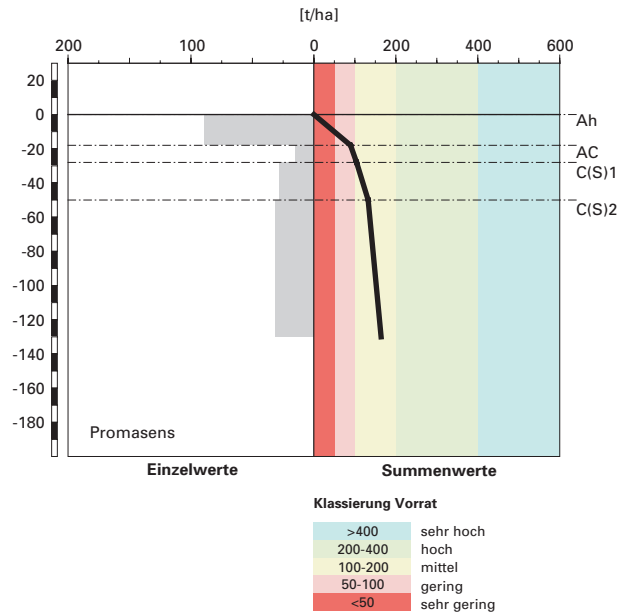


### organischer Kohlenstoff



### Kohlenstoff-Vorrat

(C<sub>org</sub>)



**Abb. M3.8** (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

**Abb. M3.9** (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

### M3.3.2

### Bodenkundliche Interpretation

Die hauptsächlich von der Fichte stammende Streu, die mit organischer Substanz aus der Krautschicht und von einzelnen Eschen und Kirschbäumen ergänzt wird, wird innerhalb eines Jahres weitgehend abgebaut. Mit der Horizontfolge L-Ah wird die Humusform als Mull klassiert. Trotz der mässigen bis schlechten Abbaubarkeit der Fichtenstreu wird an diesem Profilort keine organische Auflage gebildet. Der schnelle Umsatz ist auf die hohe biologische Aktivität im alkalischen Boden mit optimalen Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnissen zurückzuführen. Allerdings sind in kleinen Vertiefungen Ansätze eines F-Horizontes vorhanden, was durch die aktuelle Bestockung und die stellenweise Akkumulation von reiner Fichtenstreu bedingt ist.

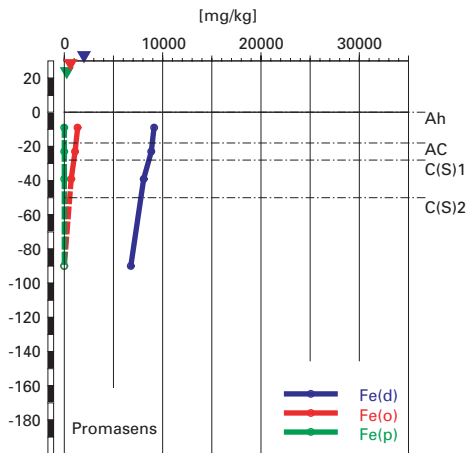
Das C/N- bzw. C/P-Verhältnis im Ah-Horizont ist mit 14 bzw. 240 mässig eng bzw. mittel. Das mässig enge C/N-Verhältnis ist mit einer hohen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Da die Fichtenstreu relativ hohe Gehalte an Phenolen hat, welche schwer mineralisierbar sind

und Humusstoffe aufbauen, ist am Profilort bei Promasens neben der Mineralisierung die Humusbildung ein bedeutender Prozess im Kreislauf der organischen Substanzen. Die gebildeten Humusstoffe werden im karbonathaltigen und relativ tonreichen Boden durch Ca-Humate und Ton-Humus-Komplexe stabilisiert und so vor weiterem Abbau geschützt. Dadurch konnte sich ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 164 t/ha aufbauen (Abb. M3.9), was im gesamtschweizerischen Vergleich einem mittleren Vorrat entspricht.

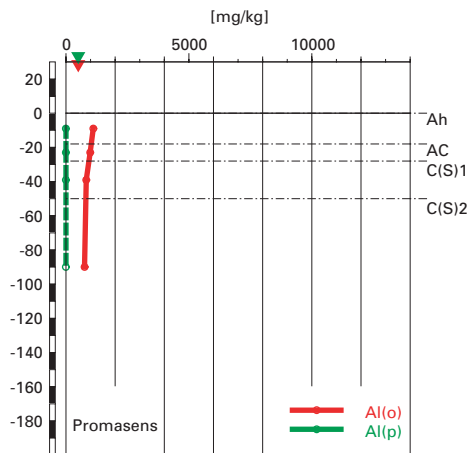
Die Abnahme der Gehalte von extrahierbaren Eisen- und Aluminiumverbindungen mit der Tiefe widerspiegelt die gegen die Bodenoberfläche intensiver und länger andauernden Verwitterungsprozesse. Aufgrund der deutlich grösseren Gehalte an Oxalat-extrahierbarem Aluminium und Eisen im Oberboden könnte auch eine beginnende Verbraunung angenommen werden. Allerdings ist die Mineralerde im ganzen Profil karbonathaltig, was gegen eine Verbraunung spricht, da in dieser Situation zuerst die Karbonate aufgelöst werden, bevor die Silikate verwittern, welche Aluminium und Eisen als Ausgangssubstanzen für die Neubildung von pedogenen Oxiden liefern. Die Oxalat-extrahierbaren Aluminium- und Eisenverbindungen können aber als solche bereits im karbonathaltigen Gestein enthalten sein und bei dessen Verwitterung freigesetzt werden. Es handelt sich deshalb eher um eine «Pseudoverbraunung» mit geringem Ausmass, da die Oxalat-extrahierbaren Gehalte im regionalen Vergleich gering sind. Das deutet auch das enge  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ -Verhältnis an, gemäss welchem höchstens 15% des Dithionit-extrahierbaren Eisens in amorpher Form vorliegt.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als sehr schwach pseudovergleyte Pararendzina klassiert. Die Interpretation der Bodenhauptbestandteile bestätigt die Klassierung als Rohboden. Aufgrund der profilumfassend karbonathaltigen Feinerde kann eine Verbraunung ausgeschlossen werden.

### Eisen-Oxide (Gehalte)



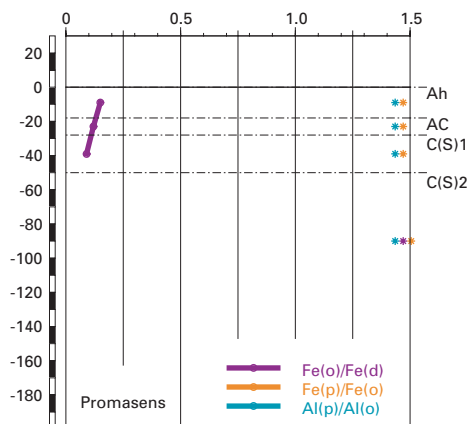
### Aluminium-Oxide (Gehalte)



**Abb. M3.10 (links)** Gehalte an Dithionit- ( $\text{Fe}_d$ ), Oxalat- ( $\text{Fe}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Fe}_p$ ) extrahierbarem Eisen

**Abb. M3.11 (rechts)** Gehalte an Oxalat- ( $\text{Al}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Al}_p$ ) extrahierbarem Aluminium

### Eisen- und Aluminiumoxide (Verhältnisse)



**Abb. M3.12** Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

## M3.4 Themenbereich «Säurezustand»

---

### M3.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

---

#### pH-Wert

Der Boden ist im ganzen Profil alkalisch (Abb.M3.13). Der tiefste pH-Wert beträgt 7.3 und befindet sich im Ah-Horizont. Mit der Tiefe nimmt der pH bis auf 7.8 im C(S)2 Horizont zu. Die Feinerde befindet sich überall in der Säureklasse 1.

#### Austauschbare Kationen und Basensättigung

In Übereinstimmung mit dem alkalischen pH-Wert ist der Kationenaustauscher im ganzen Boden mit basischen Kationen, überwiegend mit Kalzium belegt (Abb.M3.14). Andere basische Kationen sind nur in sehr geringen Mengen austauschbar gebunden und saure Kationen sind nicht feststellbar. Die Basensättigung ist im ganzen Boden sehr hoch (Abb.M3.15).

### M3.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

---

#### Stand der Bodenversauerung

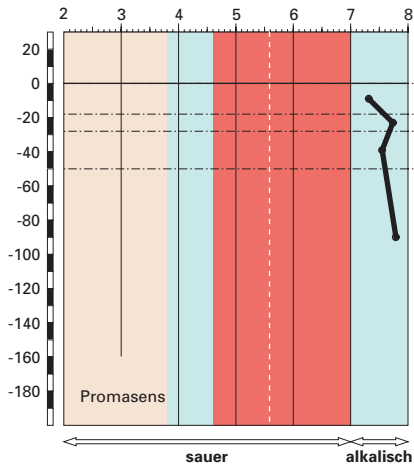
Diese schwach pseudovergleyte Pararendzina zeigt kaum Anzeichen einer Versauerung. Sie wird als sehr schwach versauert klassiert, denn alle Horizonte befinden sich in der Säureklasse 1. Die Feinerde ist bis an die Bodenoberfläche karbonathaltig, so dass eine sehr effiziente Säurepufferung durch Karbonatverwitterung erfolgt.

#### Risiko für Boden und Pflanzen

Das Risiko für eine weitere pH-Abnahme ist klein, weil sich das ganze Profil in der gut puffernden Säureklasse 1 befindet und ausserdem Kalkskelett bis an die Bodenoberfläche vorhanden ist. Eine pH-Abnahme wird sich zuerst im Ah-Horizont einstellen, wenn dort die Feinerde vollständig entkarbonatet sein wird.

Für das Pflanzenwachstum bestehen keinerlei Einschränkungen durch eine allfällige Al-Toxizität, denn Aluminium kommt nicht in austauschbarer Form vor.

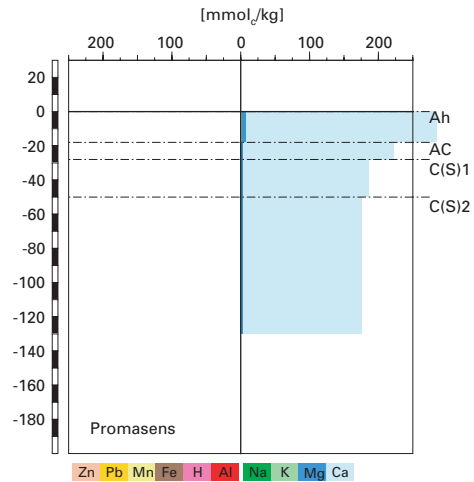
## pH-Wert (CaCl<sub>2</sub>)



**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

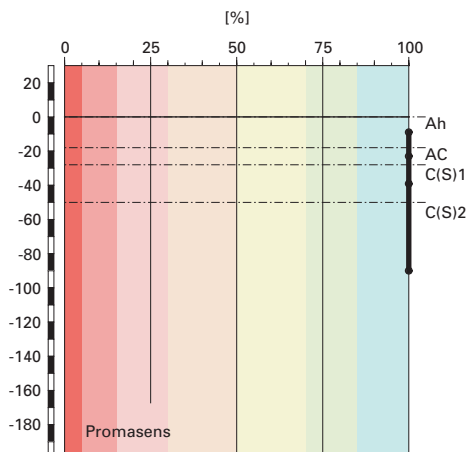
## austauschbare Kationen



**Abb.M3.13 (links)** pH-Wert und Säureklassen

**Abb.M3.14 (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.M3.15** Basensättigung

## M3.5 Themenbereich «Schwermetalle»

---

### M3.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

---

Chrom und Cu besitzen in diesem Profil eine ähnliche Tiefenverteilung ([Abb. M3.16](#)). Die Gehalte dieser beiden Schwermetalle sind maximal im Ah- und AC-Horizont. In den C(S)-Horizonten sind sie niedriger. Der Ni-Gehalt ist in den obersten drei Horizonten etwas grösser als im untersten Horizont. Zink nimmt bis zum Minimum im C(S)1-Horizont stark ab und dann bis in den C(S)2-Horizont wieder zu. Der Pb-Gehalt ist im untersten Horizont maximal. Im obersten Horizont ist Pb ebenfalls nachweisbar, hingegen liegt der Gehalt dieses Schwermetalles in den dazwischen liegenden Horizonten unter der Bestimmungsgrenze.

### M3.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

---

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus karbonathaltiger Würmmoräne liegen der Zn und Pb-Gehalt im C(S)2-Horizont innerhalb und der Cr-, Ni- und Cu-Gehalt oberhalb 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 Pb-Gehalt niedrig, der Zn-Gehalt erhöht, der Ni- und Cu-Gehalt hoch und der Cr-Gehalt sehr hoch.

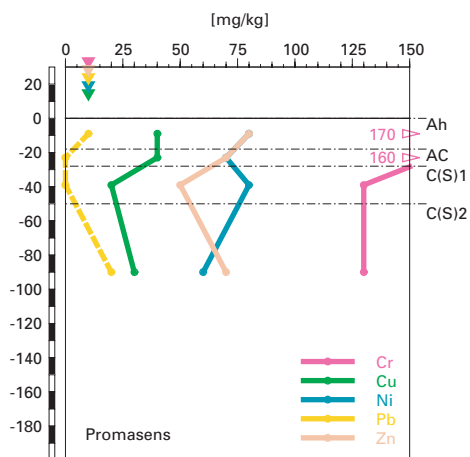
### M3.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

---

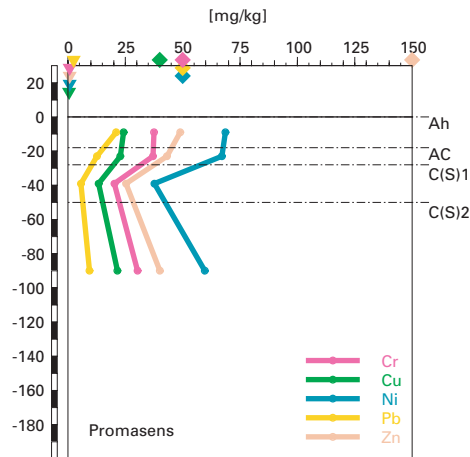
Bezogen auf die VBBo ist der Cr-Gehalt im Ah- und AC-Horizont hoch, darunter niedrig bis erhöht ([Abb. M3.17](#)). Der Ni-Gehalt ist im C(S)1-Horizont hoch, in den übrigen Horizonten sehr hoch. Die sehr hohen Gehalte bedeuten eine Überschreitung des Richtwertes der VBBo. Der Cu-Gehalt in diesem Boden ist niedrig bis erhöht, der Zn- und Pb-Gehalt sehr niedrig bis niedrig.



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



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



**Abb.M3.16 (links)** Schwermetalle: effektive Totalgehalte

**Abb.M3.17 (rechts)** Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

#### M3.5.4 **Anreicherungsfaktoren**

Chrom und Ni zeigen in diesem karbonathaltigen Profil weder An- noch Abreicherungen mit Ausnahme einer geringfügigen Ni-Anreicherung im C(S)1-Horizont (Tab.M3.4). Der gleiche Horizont ist etwas an Cu und Zn verarmt. Am meisten fällt aber die starke Verarmung des Profils an Pb auf. Diese Verarmung kann am ehesten mit starker Mobilisierung durch gelöste organische Substanz erklärt werden, zu der Pb eine besonders grosse Affinität aufweist. Allerdings würde man dann auch eine grössere Auswaschung von Cu erwarten. Die Abnahme der Anreicherungsfaktoren für Cu und Zn vom Ah bis zum C(S)1-Horizont sowie der gegenüber dem AC-Horizont erhöhte Zn-Gehalt im Ah-Horizont (Abb.M3.16 und M3.17) sind ein Hinweis auf Rückführung der Mikronährstoffe Cu und Zn mit der Streu in den Oberboden. Bei Pb zeigt der erhöhte Gehalt im Ah-Horizont (Abb.M3.16 und M3.17) hingegen anthropogenen Eintrag an.

**Tab. M3.4****Anreicherungsfaktoren**

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0 – 18	1.09	1.11	1.11	0.42	0.95
AC	18 – 28	1.03	1.11	0.97	< 0.42	0.83
C(S)1	28 – 50	1.00	0.67	1.33	< 0.50	0.71
C(S)2	> 50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

**M3.5.5****Schätzung der Mobilität der Schwermetalle**

Dieser Boden ist profilumfassend alkalisch (Abb. M3.13). Die Mobilität der meisten Schwermetalle wird deshalb im ganzen Profil als sehr gering bis gering eingestuft (Abb. M3.18), wobei die Mobilität von Cr, Cu und Pb vom Ah- bis zum C(S)1-Horizont durch feste organische Substanz, sowie diejenige von Cr und Pb im Ah-Horizont durch den hohen Tongehalt zusätzlich verringert wird. Im C(S)2-Horizont fallen die mobilitätsverringenden Einflüsse von organischer Substanz und Tongehalt weg, weshalb die Mobilität von Cu wegen der Bildung von löslichen Karbonat- und Hydrogenkarbonat-Komplexen als mittel geschätzt wird. Die Verarmung des Bodens an Pb (Tab. M3.4) lässt vermuten, dass die effektive Mobilität dieses Schwermetalls durch Komplexbildung mit gelöster organischer Substanz vergrößert wird.

Wegen der alkalischen Verhältnisse wird das Risiko einer Auswaschung von Schwermetallen in den Untergrund als gering eingestuft.

**M3.5.6****Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen**

Die meisten Schwermetalle liegen im Ah-Horizont in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind. Hingegen bedeutet der Cr-Gehalt ein Risiko für Mikroorganismen.

## Schwermetallmobilität

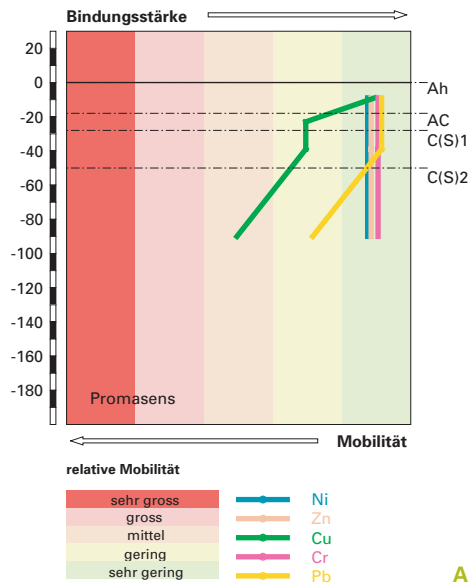


Abb.M3.18 Mobilität der Schwermetalle

## M3.6 Themenbereich «Nährstoffe»

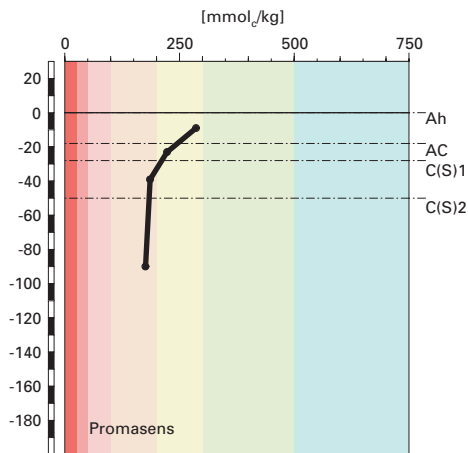
### M3.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Die Nährstoffverfügbarkeit ist aufgrund von Humusform und Bodengefüge optimal. Die relativ schwer abbaubare Fichtenstreu wird durch Überreste aus der Krautschicht sowie von einzelnen Eschen und Kirschbäumen ergänzt, so dass sie insgesamt mässig abbaubar ist. Die aufgrund der alkalischen pH-Verhältnisse und der optimalen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse grosse biologische Aktivität garantiert einen nahezu vollständigen Streuabbau innerhalb eines Jahres. Die Humusform ist Mull. Nur in kleinen Geländesenken, in denen sich praktisch reine Fichtenstreu angesammelt hat, ist der Umsatz leicht gehemmt.

Das C/N-Verhältnis beträgt im 18 cm mächtigen Ah-Horizont 14 und liegt damit in einem Bereich, der für Mull typisch ist. Das als mässig eng klassierte C/N-Verhältnis lässt eine hohe Mineralisierungsrate für Nährstoffe, insbesondere Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen. Auch das als mittel klassierte C/P-Verhältnis von 240 im Ah-Horizont bestätigt diese Einschätzung.

### Kationenaustauschkapazität

(KAK)

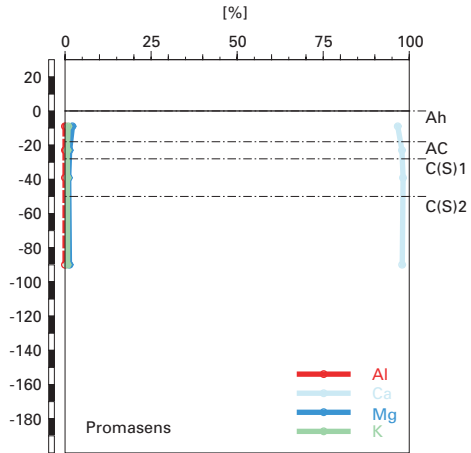


#### Klassierung KAK

>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. M3.19** (links) Kationenaustauschkapazität

**Abb. M3.20** (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

## M3.6.2

### Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) wird im Oberboden als hoch, im Unterboden als mittel eingestuft (**Abb. M3.19**). Sie nimmt mit der Profiltiefe kontinuierlich ab. Die im Oberboden erhöhte KAK dürfte mit dem grösseren Gehalt an organischer Substanz und dem grösseren Tongehalt zusammenhängen.

Der Boden ist bis an die Oberfläche karbonathaltig. Dementsprechend ist der Kationenaustauscher zu 97 bis 98% mit Nährstoffkationen belegt (**Abb. M3.20**). Aluminium spielt bei den alkalischen pH-Verhältnissen am Austauscher keine Rolle. Im Ah-Horizont, welcher den geringsten Karbonatgehalt aufweist, beträgt die Mg-Belegung etwas mehr als 2%, nimmt jedoch im weiteren Tiefenverlauf schnell auf rund 1% ab. Die K-Belegung ist im ganzen Profil kleiner als 1%.

In den Abb. M3.21 bis M3.23 sind die Vorräte an Ca, Mg und K dargestellt. Der Kalziumvorrat nimmt mit der Tiefe sehr ausgeprägt zu. Die Vorräte von Mg und K nehmen dagegen mit der Tiefe weniger stark aber kontinuierlich zu. Diese Vorratsentwicklung mit der Profiltiefe widerspiegelt die Verhältnisse am Austauscher, an welchem Ca dominiert und die Mg- und K-Belastung nur wenige bzw. Bruchteile von Prozents beträgt. Im Hauptwurzelraum (0–60 cm Tiefe) wird das Angebot an Nährstoffen wie folgt beurteilt:

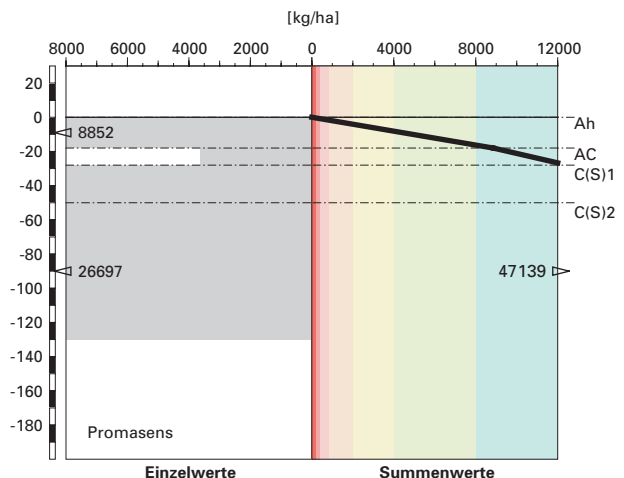
Ca sehr hoch

Mg mittel

K gering

Der Boden ist mindestens bis in eine Tiefe von 130 cm durchwurzelt. Damit wird der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt. Unter Berücksichtigung der gesamten durchwurzelten Aufschlusstiefe von 130 cm wird der K-Vorrat als mittel beurteilt. Die Beurteilung der anderen Vorräte bleibt unverändert. Damit werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden insgesamt als mittel bewertet, wobei eine Unausgewogenheit zugunsten von Ca besteht.

#### Kalzium-Vorrat



#### Klassierung Vorrat

>8000	sehr hoch
4000-8000	hoch
2000-4000	mässig hoch
800-2000	mittel
400-800	mässig
200-400	gering
<200	sehr gering

Abb. M3.21 Vorrat an Kalzium

## Magnesium-Vorrat

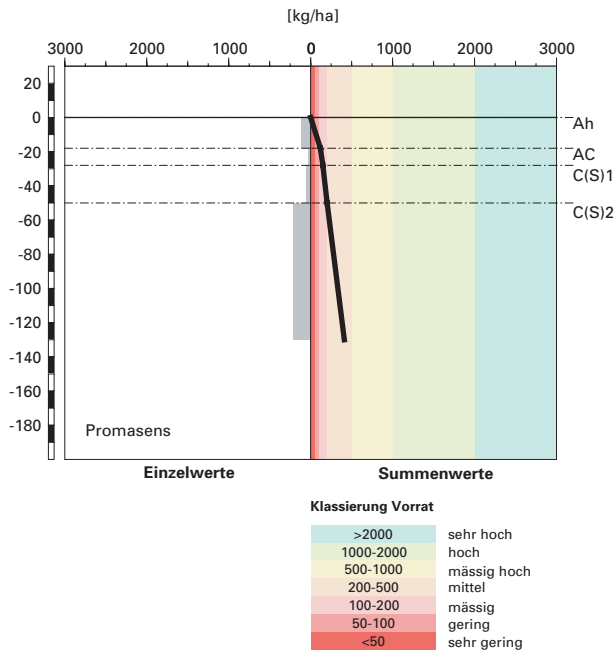


Abb.M3.22 Vorrat an Magnesium

## Kalium-Vorrat

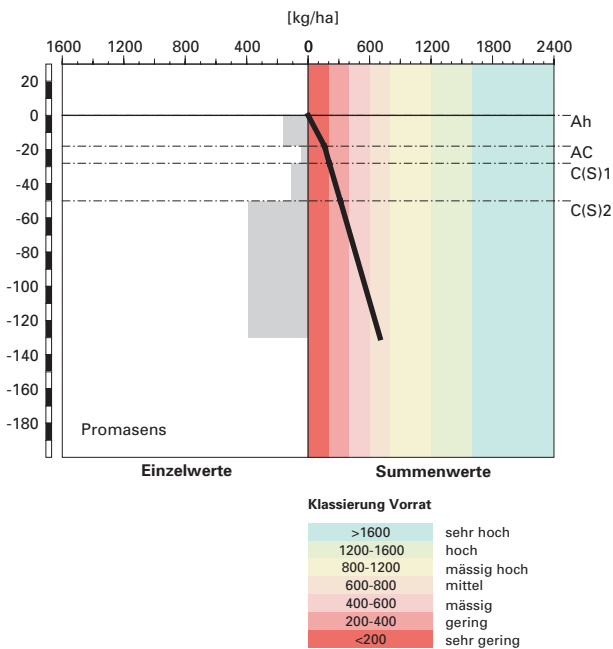


Abb.M3.23 Vorrat an Kalium



Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen optimale Bedingungen mit kleinem Risiko für Trockenstress vor. Die Nutzung der Nährstoffvorräte durch die Pflanzen ist praktisch uneingeschränkt möglich.

## M3.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

---

### M3.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

---

Der Steckbrief (Tab. M3.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

### M3.7.2 Baumartenwahl

---

#### Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand wird von der Fichte dominiert, wobei auch einige Eschen und Kirschbäume beigemischt sind. Diese Baumartenmischung ist naturfremd. Der hohe Fichtenanteil ist anthropogen bedingt. Nach Burger et al. (1996) ist an diesem Buchenstandort (Einheit 9a) die Humusform Mull häufig. Den vorhandenen Mull bewerten wir demnach als standorttypisch.

#### 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 9a) neben der Buche denn auch zahlreiche Laubbaumarten für die Waldverjüngung geeignet. Ob und inwieweit allerdings ungünstige Bodeneigenschaften die Baumartenauswahl einschränken, wird gleich anschliessend gezeigt.

#### Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

##### ■ Durchwurzelbarkeit des Bodens

Die nicht optimale Durchlüftung und die recht grosse Dichte dieser sehr schwach pseudovergleyten Pararendzina dürften die Durchwurzelbarkeit des Bodens nur unwesentlich beeinträchtigen. Wir gehen somit davon aus, dass der Boden von allen Baumarten weitgehend uneingeschränkt und tief durchwurzelt werden kann. Damit schränkt die Durchwurzelbarkeit des Bodens die Baumartenauswahl nicht ein.

<b>Tab. M3.5      Steckbrief für die Waldbehandlung (Promasens)</b>		
<b>Standortangaben</b>		
Relief	Höhe	650 m ü. M.
	Exposition	W
	Neigung	15 %
Klima	Jahresniederschlag	1184 mm
	Jahrestemperatur	8.2 °C
Ausgangsgestein	karbonathaltige Würmmoräne	
Baumbestand	Struktur	mehrheitlich zweischichtig
	Schlussgrad	90 %
	Baumarten (Deckung)	75–100 % Fichte, <5 % Esche, <5 % Süsskirsche
	Oberhöhe	30–35 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr. 9: Typischer Lungenkraut-Buchenwald
	nach BUWAL 2005	Einheit 9a: Typischer Lungenkraut-Buchenwald
<b>Bodenkennwerte</b>		
Bodensystematik	Humusform	Mull
	Bodentyp	Pararendzina
	Vernässungsgrad	sehr schwach pseudovergleyt
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Die Durchlüftung ist unterhalb von 30 cm Tiefe zeitweise ungenügend. Die Vernässung ist durch Stauwasser bedingt.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden ist für alle Baumarten uneingeschränkt und mindestens profilumfassend durchwurzelbar. Die nicht optimale Durchlüftung und die recht grosse Dichte des Bodens dürften seine Durchwurzelbarkeit nur unwesentlich beeinträchtigen. Der Wurzelraum wird mit mehr als 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Wurzeln sind bis 130 cm Tiefe vorhanden.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besteht für alle Baumarten ein kleines Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Der Boden reagiert profilumfassend alkalisch. Die Kalkgrenze verläuft in 18 cm Tiefe.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Mull deutet auch das mässig enge C/N-Verhältnis im Ah-Horizont auf eine hohe Mineralisierungsrate hin. Das bloss mittlere C/P-Verhältnis im Ah-Horizont zeigt dagegen eine etwas gehemmte biologische Aktivität an. Sie wird insgesamt aber dennoch als hoch beurteilt.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen sind recht gross. Der Ca-Vorrat ist sehr hoch und der Mg- und K-Vorrat ist mittel.
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.

#### ■ Entwässerung des Bodens durch die Bäume

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

#### ■ Trockenstress-Risiko für die Bäume

Es besteht nur 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

Der Boden ist profilumfassend alkalisch und es besteht kein Risiko für Al-Toxizität. Eine Verbesserung des Säurezustandes durch entsprechende Baumartenwahl ist nicht nötig. Der Säurezustand schränkt damit die Baumartenauswahl nicht ein. Bemerkenswert ist, dass trotz anthropogen stark erhöhtem Nadelholzanteil ein Mull vorliegt, sich also keine saure organische Auflage gebildet hat.

#### ■ Nährstoffangebot im Boden

Die Mineralisierung der Nährstoffe im Oberboden ist hoch. Eine Erhöhung der Mineralisierung durch Einbringen geeigneter Baumarten ist grundsätzlich nicht nötig. Es sei jedoch darauf verwiesen, dass durch die Umwandlung des anthropogen bedingt zu nadelholzreichen Bestandes in einen Laubmischwald eine noch bessere Nährstoffumsetzung erzielt werden kann.

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

### M3.7.3

#### **Baumartenempfehlung**

Das ziemlich kühle Klima lässt einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl zu. Das gleiche gilt für den Boden, denn im Bodenprofil konnten keine Bodeneigenschaften festgestellt werden, welche die Baumartenauswahl einschränken würden. Der in [Tab. M3.6](#) enthaltenen Baumartenempfehlung des BUWAL (2005) ist aus bodenökologischer Sicht höchstens beizufügen, dass dieser alkalische und biologisch aktive Boden einen recht grossen Nadelholzanteil verträgt.

<b>Tab.M3.6      Baumartenempfehlung für den Hauptbestand</b>	
<b>Referenz</b>	<b>Baumarten</b>
Grundlagenwerke (Einheit 9a; BUWAL 2005)	Buche, zudem viele Laubbaumarten
Bodenkundliche Kriterien	Buche, zudem viele Laubbaumarten

## M3.8      Literatur

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

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

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

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

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