

## A22      Bodenprofil Celerina

---

### A22.1      Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

---

#### A22.1.1      **Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren**

---

Das Bodenprofil ist in [Abb.A22.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.A22.2](#). [Tab.A22.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Celerina zusammen und [Tab.A22.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

#### A22.1.2      **Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz**

---

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit V3 (alpine kristalline Berglandschaften (Granit und Orthogneis), hoch gelegene Nordhänge über 1500 m.ü.M., Hangneigung <35%). 20 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 0.2% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

#### A22.1.3      **Besonderheiten am Profilort**

---

Datierungen mit der C14-Methode von Kohlenfunden aus 20–30 cm Tiefe haben gezeigt, dass sich am Profilort vor rund 5000 Jahren ein Waldbrand ereignet hat. Bereits damals war ein Podsol vorhanden. Nach dem Brand hat sich ein Erdrutsch ereignet, der den Boden samt der auf der Oberfläche liegenden Kohlenrückstände rund 20–30 cm tief begraben hat. Im Rutschmaterial hat sich seither wieder ein Podsol entwickelt, so dass heute zwei übereinander liegende Horizontfolgen einer Podsolierung vorhanden sind. Die Horizontgrenzen des überschütteten Podsols sind heute noch deutlich zu erkennen.

Die Niederschlagsmengen am Profilort sind relativ gering. Dies hat Auswirkungen auf den Podsolierungsgrad des Bodens.



**Abb. A22.1** (links) Bodenprofil Celerina

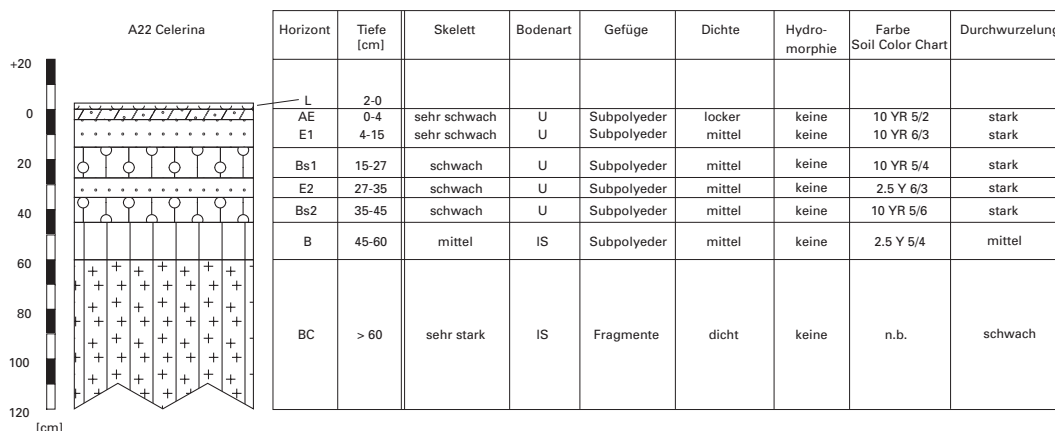
**Abb. A22.2** (rechts) Bestand am Profilort Celerina

<b>Tab. A22.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Celerina</b>	
Lokalname	Celerina (Kanton Graubünden, Gemeinde Celerina/Schlarigna)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1257, St. Moritz Koordinaten 788085/151918
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972)	Nr. 59: Lärchen-Arvenwald ( <i>Larici-Pinetum cembrae</i> )
Horizontfolge	L-AE-E1-Bs1-E2-Bs2-B-BC (gestörte Horizontfolge)
Humusform	Mull
Bodentyp	Eisenpodsol
Bodentyp nach FAO (1988)	Podzol

### Tab. A22.2 Bodenbildungsfaktoren am Profilort Celerina

Relief	Höhe ü. M.	1850 m	
	Exposition	NE	
	Neigung	34 %	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Ostalpin; Moränen inklusive rezente Moränen (karbonatfreie Moräne)	
	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	2.8°C/1024 mm	
	T/N Januarmittel	–4.8°C/45 mm	
	T/N Julimittel	11.6°C/99 mm	
	Tage mit Schneedecke	205	
	Wärmegliederung	sehr rauh	
	Länge der Vegetationsperiode	120–135 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (20 m Höhe)	60 %	35 % Arve ( <i>Pinus cembra</i> ) 25 % Lärche ( <i>Larix decidua</i> )
	Strauchschicht	1 %	–
	Krautschicht	95 %	Heidelbeere ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ) Wolliges Reitgras ( <i>Calamagrostis villosa</i> ) Meisterwurz ( <i>Peucedanum ostruthium</i> ) Preiselbeere ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> ) Drahtschmiele ( <i>Avenella flexuosa</i> ) Moosglöckchen ( <i>Linnaea borealis</i> ) Weissliche Hainsimse ( <i>Luzula luzuloides</i> ) Wald-Hainsimse ( <i>Luzula sylvatica</i> )
	Mooschicht	15 %	–

**Tab. A22.3**      **Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Celerina**  
Bodenart: U Schluff, IS lehmiger Sand; n.b. nicht bestimmt



Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in **Tab. A22.3** zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Das Fehlen von organischen Auflagehorizonten und die sehr geringmächtige Streuauflage zeigen, dass die biologische Aktivität an der Bodenoberfläche gross ist. Die überwiegend vom Reitgras sowie von der Arve und der Lärche stammende Streu wird innerhalb eines Jahres abgebaut. Mit der Horizontfolge L-AE wird die Humusform als Mull klassiert. Es handelt sich jedoch nicht um einen klassischen Mull, denn in der Mineralerde sind Anzeichen einer Podsolierung zu erkennen.

Im rund 120 cm tief aufgeschlossenen Profil lassen sich morphologisch sieben Horizonte unterscheiden. Der Boden lässt sich genetisch in die Tiefenbereiche 0–27 cm und 27–45 cm gliedern. In beiden Bereichen sind gebleichte Auswaschungs- und rötliche Anreicherungszone vorhanden, die auf zwei zeitlich getrennte Podsolierungsphasen hinweisen. Wie bereits weiter oben erwähnt, liegt in diesem Profil ein junger, 27 cm mächtiger Podsol auf einem älteren Podsol.

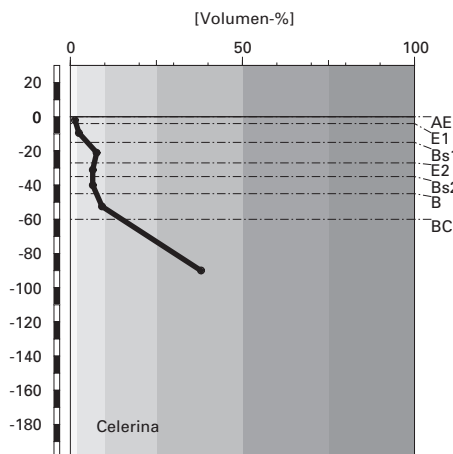
Der Boden enthält bis 45 cm Tiefe wenig Skelett. Zwischen 45 und 60 cm Tiefe ist der Boden mittel und ab 60 cm sehr stark skeletthaltig. Die Bodenart ist bis 45 cm Tiefe ein Schluff. Mit zunehmender Tiefe wird die Feinerde sandiger. Das Gefüge zeigt bis 60 cm Tiefe eine Subpolyeder-, darunter eine Fragmentstruktur. Der Boden ist bis 4 cm Tiefe locker, von 4–60 cm Tiefe mittel und darunter dicht gelagert. Im ganzen Profil sind keine hydro-morphen Merkmale vorhanden.

Der Boden wird mit der Horizontfolge L-AE-E1-Bs1-E2-Bs2-B-BC als Eisenpodsol klassiert. Da das Profil in der Vergangenheit durch einen Erdrutsch überschüttet wurde, weicht die Horizontfolge stark vom ungestörten Zustand ab. Es sind je zwei Auswaschungs- und Anreicherungs-horizonte vorhanden. Diese Horizonte sind in der **Abb. A22.1** nur undeutlich erkennbar. Ein Grund für die undeutliche morphologische Ausprägung der Podsolierung sind die relativ geringen Niederschlagsmengen (durchschnittlich 1024 mm pro Jahr) am Profilort.

### **Ergänzende Bodenmerkmale**

Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde im ganzen Profil sehr sauer. Im Boden sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum sichtbar. Die Durchwurzelung ist bis 45 cm stark. Der Übergangsbereich zum Ausgangsgestein, also der BC-Horizont, wird nur von wenigen Wurzeln erschlossen.

## Skelettgehalt



### Klassierung Skelettgehalt

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

## Bodenart

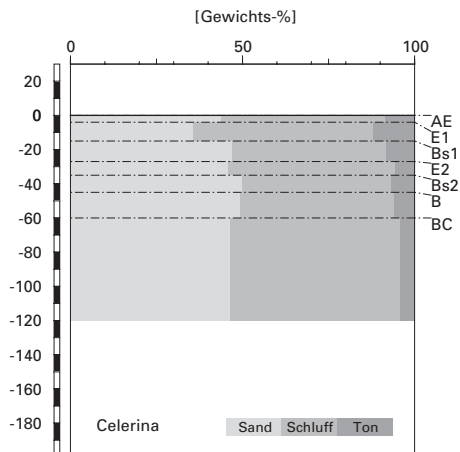


Abb. A22.3 (links) Skelettgehalt

Abb. A22.4 (rechts) Bodenart

## A22.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

### A22.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

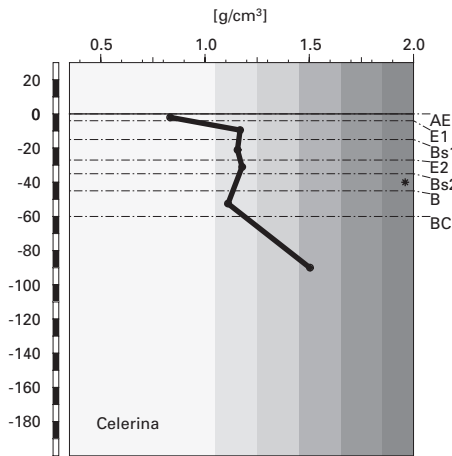
#### Skelettgehalt

Bis 60 cm Tiefe ist nur wenig Skelett vorhanden, weiter unten nimmt der Skelettgehalt stark zu (Abb. A22.3). Bedenkt man, dass es sich um einen Gebirgsboden auf kristallinem Ausgangsgestein handelt, ist der Skelettgehalt als bemerkenswert gering zu bewerten.

#### Bodenart

Die Feinerde besteht in allen Horizonten zu etwa gleich grossen Anteilen von rund 45% aus Sand und Schluff (Abb. A22.4). Der Tongehalt nimmt in Einklang mit dem zunehmend roheren Zustand des Bodens zur Tiefe hin ab. Der wenig verwitterte BC-Horizont enthält mit rund 4% am wenigsten Ton.

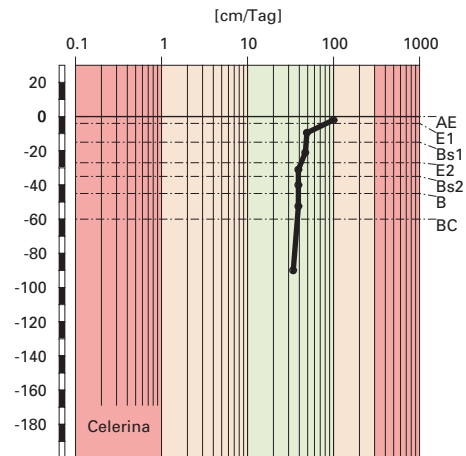
## Feinerde-Dichte



### 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. A22.5 (links)** Dichte der Feinerde

**Abb. A22.6 (rechts)** Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Gemessen am Tongehalt handelt es sich bis 60 cm Tiefe in der Mehrzahl der Horizonte um leichten Boden. Im untersten Horizont ist der Boden sehr leicht. Feld- und Laborbestimmung der Bodenart stimmen nur teilweise überein (Tab. A22.3). Im Feld wurde der Sand- und Tonanteil in den oberen Horizonten unterschätzt.

### Dichte der Feinerde

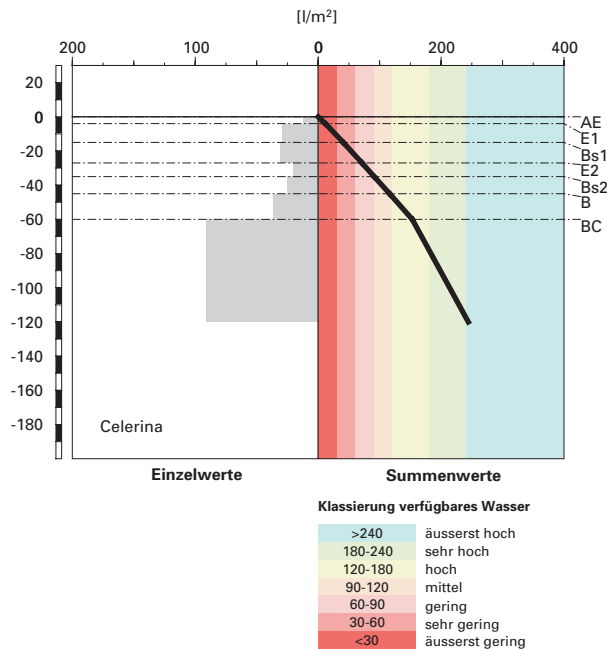
Die Dichte der Feinerde nimmt mit der Tiefe stufenweise von einem äusserst geringen Wert im AE-Horizont ( $0,8 \text{ g/cm}^3$ ) bis zu einem mittleren Wert im BC-Horizont ( $1,5 \text{ g/cm}^3$ ) zu. In den dazwischen liegenden Horizonten ist die Dichte sehr gering (Abb. A22.5).

### Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Die Durchlässigkeit ist je nach Horizont mittel bis hoch (Abb. A22.6). Selbst im relativ dichten BC-Horizont liegt die Wasserleitfähigkeit mit  $34 \text{ cm/Tag}$  noch im mittleren Bereich.



## pflanzenverfügbares Wasser



**Abb. A22.7** Pflanzenverfügbares Wasser

### Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe wird mit 244 l/m² als äusserst hoch klassiert (Abb. A22.7). Der grosse Wert ist vor allem durch den relativ geringen Skelettgehalt bedingt.

#### A22.2.2

### Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

#### Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Dieser Eisenpodsol ist so stark durchlässig (Abb. A22.6), dass sich keine Vernässungsmerkmale bilden können. Gesättigte Phasen mit ungenügender Durchlüftung sind somit höchstens von kurzer Dauer.

#### Durchwurzelbarkeit des Bodens

Während die Durchlüftung in diesem Boden keine Einschränkung für das Wurzelwachstum darstellt, muss beim Dichtewert von 1.5 g/cm³ im BC-

Horizont von einer eingeschränkten Durchwurzelbarkeit ausgegangen werden. Der als kritisch erachtete Dichtewert von  $1.4 \text{ g/cm}^3$  ist in diesem Horizont leicht überschritten. Dass das Wurzelwachstum dort allerdings nicht vollständig unterbunden ist, zeigt die morphologische Profilansprache, bei der im BC-Horizont Wurzeln beobachtet wurden. Der Boden wird vom aktuellen Bestand aus Lärchen und Arven gut genutzt, denn Wurzeln sind, wenn auch nur in geringer Anzahl, bis zur Profilssole (120 cm) vorhanden und dringen sicher noch tiefer in den Unterboden ein. Der Wurzelraum ist also nicht eingeschränkt und wird mit  $>120 \text{ cm}$  Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert.

### **Wasserversorgung des Baumbestandes**

Für die Referenztiefe von 120 cm ergeben unsere Berechnungen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne bedeutende Niederschläge nach rund 30 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Da der speicherstarke Boden sogar noch tiefer als 120 cm durchwurzelbar ist und zudem ein günstiges Klima herrscht, wird das Risiko für Trockenstress an diesem Lärchen-Arven-Standort (EK 59) als klein beurteilt.

### **Bodenbefahrbarkeit**

Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er bis 60 cm Tiefe wenig Skelett enthält.

## **A22.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»**

---

### **A22.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile**

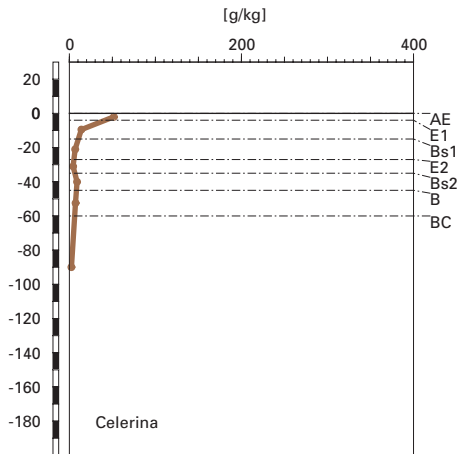
---

#### **Organische Substanz**

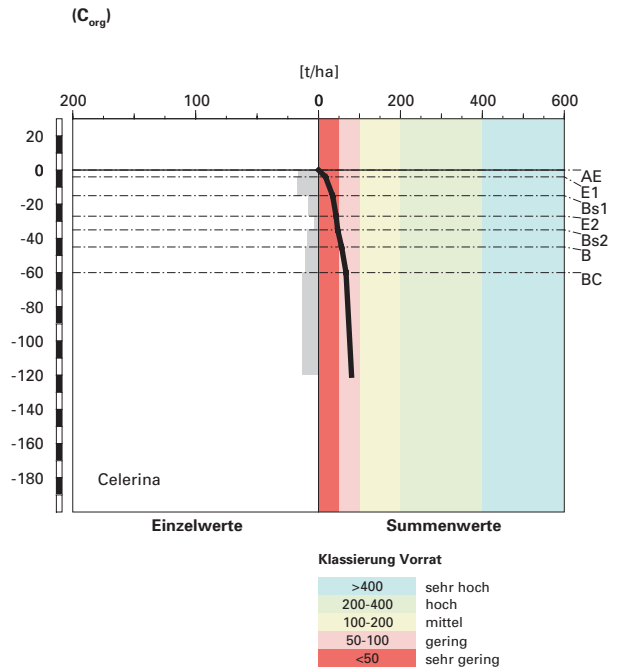
Der Baumbestand am Profilort Celerina besteht zu rund 60 % aus Arve und zu rund 40 % aus Lärche und weist kein geschlossenes Kronendach auf. Die Bäume überschirmen den Boden zu 60 %, womit genügend Licht für das Gedeihen einer fast flächendeckenden Krautschicht vorhanden ist. Diese besteht am Profilort selbst sowie zwischen den Kuppen vor allem aus wolligem Reitgras, Meisterwurz, Drahtschmiele, Moosglöckchen, weisslicher Hainsimse und Wald-Hainsimse. Auf den Kuppen dominieren in der Krautschicht hingegen Heidel- und Preiselbeere. Die Streu der Arve, der Lärche und der Zwergsträucher ist schwer abbaubar, jene der Krautpflanzen wird hingegen besser abgebaut. Am Profilort hat sich eine nur 2 cm mächtige Streuschicht gebildet, darunter folgen direkt die mineralischen Horizonte.



## organischer Kohlenstoff



## Kohlenstoff-Vorrat



**Abb. A22.8** (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

**Abb. A22.9** (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

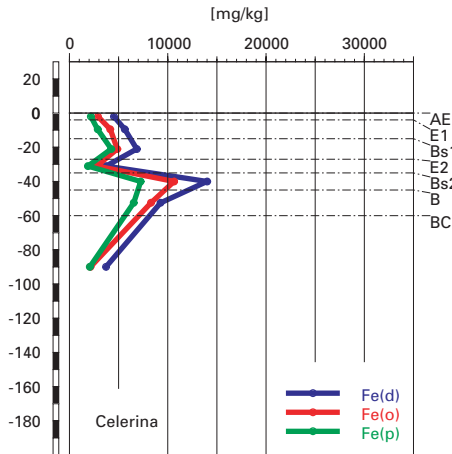
Der 4 cm mächtige und leicht dunkel gefärbte AE-Horizont enthält rund 5% organischen Kohlenstoff (Abb. A22.8). In den im Vergleich zu den tiefer gelegenen Horizonten ebenfalls leicht dunkleren E1- bzw. Bs1-Horizonten geht der Gehalt an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) auf 1.4% bzw. 0.7% zurück. Ein erstes Minimum weist er mit 0.4% im E2-Horizont auf. Im Bs2-Horizont steigt er nochmals auf 0.9% an und nimmt dann bis zum Minimum von 0.2% im BC-Horizont ab. Aus diesen  $C_{org}$ -Gehalten errechnet sich ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 81 t/ha (Abb. A22.9).

## Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

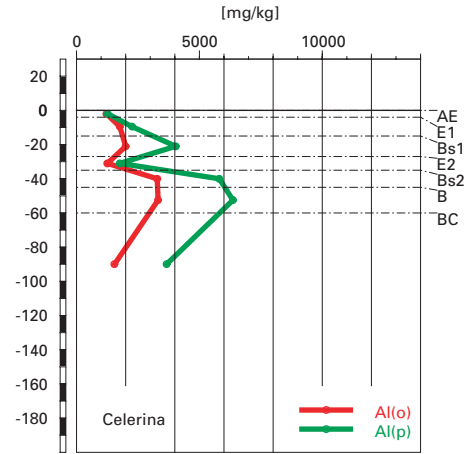
Der Tongehalt nimmt von rund 9% im AE-Horizont auf das Maximum von 12% im E1-Horizont zu (Abb. A22.4). Unterhalb dieses Horizontes nimmt er bis zum Minimum von 4% im BC-Horizont ab.

Der Tiefenverlauf der Gehalte aller extrahierbaren Eisen- und Aluminiumverbindungen ist sehr ähnlich (Abb. A22.10 und A22.11). Das Dithionit-, das

### Eisen-Oxide (Gehalte)



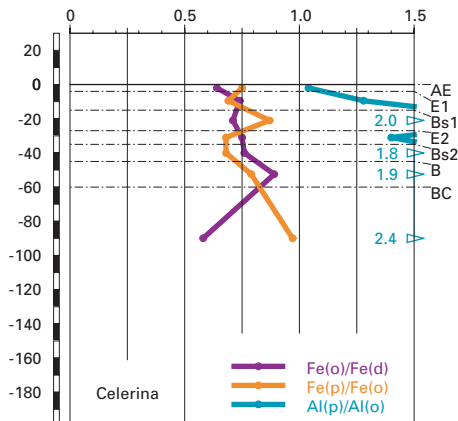
### Aluminium-Oxide (Gehalte)



**Abb. A22.10 (links)** Gehalte an Dithionit- ( $\text{Fe}_d$ ), Oxalat- ( $\text{Fe}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Fe}_p$ ) extrahierbarem Eisen

**Abb. A22.11 (rechts)** Gehalte an Oxalat- ( $\text{Al}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Al}_p$ ) extrahierbarem Aluminium

### Eisen- und Aluminiumoxide (Verhältnisse)



**Abb. A20.12** Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Oxalat- und das Pyrophosphat-extrahierbare Eisen ( $\text{Fe}_d$ ,  $\text{Fe}_o$  und  $\text{Fe}_p$ ) haben im obersten und untersten Horizont sowie im E2-Horizont minimale Gehalte. Dazwischen erreichen die Gehalte im Bs1- bzw. Bs2-Horizont maximale Werte (Abb. A22.10). Die Tiefenverteilungen der Oxalat- bzw. Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminiumverbindungen ( $\text{Al}_o$  bzw.  $\text{Al}_p$ ) sind analog, sie besitzen ihr absolutes Maximum jedoch nicht im Bs2-, sondern im B-Horizont (Abb. A22.11).

Das  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ -Verhältnis zeigt vom AE- bis in den B-Horizont tendenziell eine Zunahme von 0.64 auf 0.89, bevor es auf das Minimum von 0.58 abnimmt (Abb. A22.12). Die Werte des  $\text{Fe}_p/\text{Fe}_o$ -Verhältnisses variieren beträchtlich, wobei tendenziell eine Zunahme mit der Tiefe festzustellen ist. Das  $\text{Al}_p/\text{Al}_o$ -Verhältnis weist unrealistische Werte grösser als 1 auf (Abb. A22.12).

### A22.3.2

#### **Bodenkundliche Interpretation**

Die Streu am Profilort Celerina wird innerhalb eines Jahres weitgehend abgebaut. Über dem Mineralboden hat sich am Profilort eine nur 2 cm mächtige Streuschicht gebildet, weshalb die Humusform als Mull bezeichnet wird. Es ist erstaunlich, dass die Bodenorganismen die anfallende Streu trotz stark saurem Oberboden und hohem Anteil an schwer abbaubaren Arven- und Lärchennadeln innert Jahresfrist vollständig zu zersetzen vermögen. Möglicherweise ist dafür das üppig gedeihende Reitgras mit seiner relativ schnell abbaubaren Streu verantwortlich. In der Umgebung des Profils variiert die Mächtigkeit der organischen Auflage mit dem Kleinrelief und der davon abhängigen Artenzusammensetzung in der Krautschicht. An Stellen mit wolligem Reitgras, wo sich das Profil befindet, fehlt eine rein organische Auflage (ausser einem L-Horizont). Sobald Vaccinien dominant werden, findet man eine mehrere Zentimeter mächtige Auflage aus F- und H-Horizont. Der Streuabbau ist also gehemmt, sobald der Anteil der Streu von wolligem Reitgras zurückgeht. Das ist im sehr rauen Klima an dem auf 1850 m. ü. M. in NE-Exposition gelegenen Standort nicht anders zu erwarten. Das mittlere C/N-Verhältnis von 20 im AE-Horizont weist aufgrund der Stickstoffarmut auf eine niedrige Mineralisierungsrate der organischen Substanz hin. Das mittlere C/P-Verhältnis von 238 im AE-Horizont deutet eine relative Phosphorarmut an. In einem nahe gelegenen Bodenprofil auf einer von Vaccinien bewachsenen Kuppe beträgt das C/N-Verhältnis im AE-Horizont 26 (Daten nicht gezeigt) und wird als weit klassiert. Das C/N-Verhältnis wird somit grösser, wenn der Anteil der Zwergsträucher an der Streu zunimmt.

Lösliche organische Verbindungen werden mit dem Sickerwasser in den Mineralboden eingewaschen. Im Mineralboden findet allerdings nur in geringem Ausmass ein Aufbau von Humusstoffen statt. Ein Grossteil der organischen Substanz wird im Mineralboden mineralisiert, weshalb der Vorrat an organischem Kohlenstoff mit 81 t/ha im gesamtschweizerischen Vergleich gering ist (Abb. A22.9). Dies liegt am grossen Eintrag von Reitgrasstreu, welche gut mineralisierbar ist. Wie Bodenlösungsmessungen auf dieser Fläche zeigen, sind die Konzentrationen an gelöster organischer Substanz in einer Tiefe von 80 cm relativ gering. Weil nur geringe Sickerwassermengen den Boden verlassen, sind die C-Verluste über den Sickerwasseraustrag kein Argument für den kleinen Vorrat an organischer Substanz, sondern eher die relativ vollständige Mineralisierung.

Der Tongehalt wird mit der Tiefe entsprechend dem abnehmenden Verwitterungsgrad kleiner (Abb. A22.4). Anzeichen einer Tonverlagerung sind nicht erkennbar. Der leicht geringere Tongehalt im AE-Horizont dürfte eher auf einen Artefakt der Messung aufgrund des relativ grossen  $C_{org}$ -Gehaltes, als auf eine Verlagerung zurückgeführt werden.

Sowohl die morphologischen Beobachtungen als auch die Tiefenverteilungen der extrahierbaren Aluminium- und Eisenverbindungen zeigen zwei übereinander liegende Podsole. Datierungen von Kohlestücken aus 20 bis 30 cm Tiefe mit der Methode der  $^{14}C$ -Altersbestimmung haben gezeigt, dass sich auf dieser Fläche vor rund 5000 Jahren ein Waldbrand ereignet hat. Damals war bereits ein Podsol vorhanden. Nach dem Waldbrand hat sich ein Erdbeben ereignet, welches den Boden mitsamt den an der Oberfläche liegenden Kohlerückständen rund 20 bis 30 cm tief begraben hat. In diesem Rutschmaterial hat sich in der Zwischenzeit wiederum ein Podsol entwickelt, so dass heute zwei übereinander liegende Podsole vorhanden sind.

Die Verlagerung von Aluminium und Eisen erfolgt vor allem in Form löslicher Metall-organischer Verbindungen. Gelöste organische Substanz, die in den Mineralboden eingewaschen wird, verbindet sich auf ihrem Weg mit Al- und Fe-Ionen. Da die Löslichkeit dieser Verbindungen mit zunehmendem Metall/Kohlenstoff-Verhältnis abnimmt, fallen die Metall-organischen Verbindungen mit der Zeit aus und reichern sich im Bs1-Horizont (früher im Bs2-Horizont des tiefer gelegenen Podsoles) an. Dies zeigt sich in der Tiefenverteilung des  $C_{org}$ -Gehaltes (Abb. A22.8). In den Bs-Horizonten wird die organische Substanz stabilisiert und wandelt sich unter katalytischem Einfluss von Fe-Oxiden teilweise in stärker polymerisierte Verbindungen um. Dieser Prozess ist meistens mit einer Verarmung an Nährstoffen verbunden, was aus dem Tiefenverlauf des C/N-Verhältnisses für Stickstoff ersichtlich ist. Das C/N-Verhältnis ist in den Bs-Horizonten im Vergleich zu

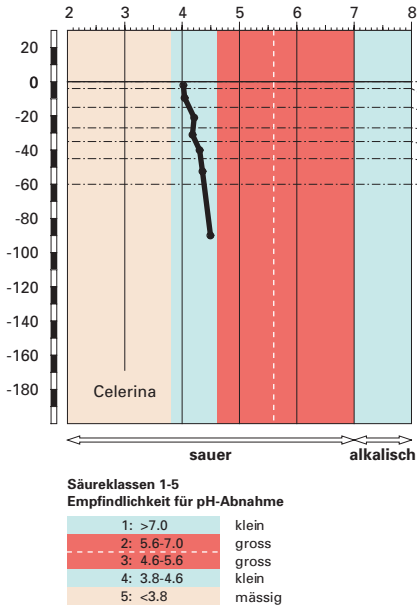
den benachbarten Horizonten grösser (Tab. A192 in Blaser et al. 2005), die Mineralisierungsrate also vermutlich geringer.

Das Ausmass der Al- und Fe-Verlagerung kann mit dem Verlagerungsindex ausgedrückt werden. Beim begrabenen Podsol beträgt dieser für Aluminium 2.6 (Quotient von  $Al_o$  im B- und E2-Horizont) und für Eisen 3.8 (Quotient von  $Fe_o$  im Bs2- und E2-Horizont). Eisen wurde wegen seiner grösseren Affinität zur organischen Substanz in grösseren Mengen, Aluminium jedoch tiefer in den Boden verlagert. Dies kann beim vorliegenden pH-Wert von 4.2 bis 4.5 mit der zusätzlichen Verlagerung von Aluminium in gelöster anorganischer Form erklärt werden. Für den oberen Podsol betragen die Verlagerungsindices für Aluminium 1.6 (Quotient von  $Al_o$  im Bs1- und AE-Horizont) und für Eisen 1.7 (Quotient von  $Fe_o$  im Bs1- und AE-Horizont). Die Verlagerung ist im oberen Podsol noch nicht so stark ausgeprägt wie im unteren Podsol und zwischen Eisen und Aluminium hat noch keine Differenzierung in der Verlagerungsintensität stattgefunden.

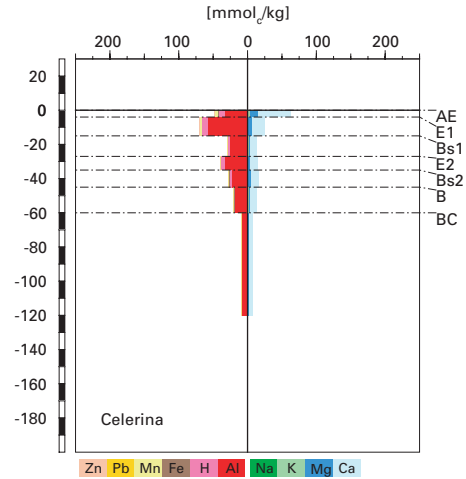
Verlagerte Aluminium- und Eisenoxide gehen in Horizonten, die humusarm sind, allmählich in kristallisierte Formen über. Da im vorliegenden Boden alle Horizonte organische Substanz enthalten, ist diese Umwandlung stark gehemmt. Deshalb ist das  $Fe_o/Fe_d$ -Verhältnis im ganzen Boden relativ gross und bewegt sich zwischen rund 0.6 und 0.9 (Abb. A22.12). Auch das  $Fe_p/Fe_o$ -Verhältnis ist relativ gross, was bedeutet, dass ein Grossteil der amorphen Eisenverbindungen mit der organischen Substanz assoziiert ist. Besonders gross ist dieser Anteil im Bs1-Horizont (Abb. A22.12). Der grosse Wert von rund 1 im BC-Horizont lässt sich nicht interpretieren. Das  $Al_p/Al_o$ -Verhältnis weist im ganzen Boden Werte von über 1 auf, was unrealistisch ist. Offensichtlich wirkt der Pyrophosphat-Extrakt zusätzlich dispergierend. Dies ist ein methodisch bedingtes Artefakt, so dass diese Werte nicht interpretiert werden können.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als Eisenpodsol klassiert. Diese Klassierung kann aufgrund der Interpretation der chemischen Daten bestätigt werden. Insbesondere sind die beiden übereinander liegenden Podsole gut erkennbar. Dabei befindet sich der obere Podsol in einem früheren Entwicklungsstadium als der begrabene Podsol. Blaser (1980) hat die stark podsolierende Wirkung von Reitgras nachgewiesen. Demzufolge ist es nicht erstaunlich, dass sich an diesem Standort trotz der Humusform Mull ein Podsol entwickeln kann.

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



## austauschbare Kationen



**Abb. A22.13 (links)** pH-Wert und Säureklassen

**Abb. A22.14 (rechts)** Belegung des Kationenaustauschers

## A22.4 Themenbereich «Säurezustand»

### A22.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

#### pH-Wert

Die Feinerde ist im ganzen Profil stark sauer ([Abb. A22.13](#)). Mit der Tiefe nimmt der pH-Wert nur wenig zu. Alle Horizonte befinden sich in der Säureklasse 4.

#### Austauschbare Kationen und Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist mit Ausnahme des AE-Horizontes im gesamten Profil überwiegend mit sauren Kationen, insbesondere mit Aluminium belegt ([Abb. A22.14](#)). Bis zum Bs2-Horizont ist unter den sauren Kationen ein beinahe gleich bleibender Anteil austauschbarer Protonen von 7 bis

## Basensättigung

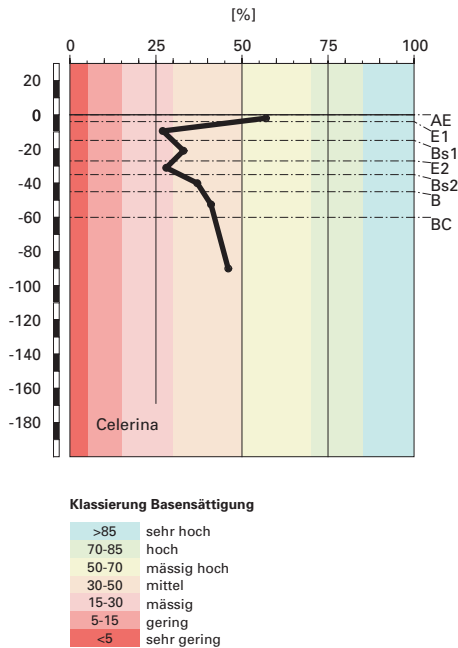


Abb. A22.15 Basensättigung

10% zu finden. Die basischen Kationen bestehen zum grössten Teil aus Kalzium, gefolgt von Magnesium und Kalium. Ihre prozentuale Belegung am Austauscher variiert mit Ausnahme des AE-Horizontes mit der Tiefe nur wenig. Im Vergleich mit anderen ähnlich sauren Böden sind die relativ hohen Kaliumanteile an der Austauschergarnitur unterhalb 45 cm Tiefe hervorzuheben (Tab. A188 in Blaser et al. 2005). Auffallend ist zudem die relativ hohe Mn-Belegung im AE- und E1-Horizont. Die Basensättigung ist im AE-Horizont mässig hoch, in den beiden Eluvial-Horizonten mässig und in allen anderen Horizonten mittel (Abb. A22.15).

### A22.4.2

## Interpretationen zum Säurezustand

### Stand der Bodenversauerung

Dieser profilumfassend stark saure Eisenpodsol wird als mässig versauert klassiert, weil nur rund 60% des gesamten Austauschers im Profil durch saure Kationen belegt sind. Die Versauerung hat im gesamten Profil stattgefunden, denn die Versauerungsfront, erkennbar am austauschbaren Aluminium, befindet sich unterhalb der Profilschle (Abb. A22.14). In guter



Übereinstimmung mit dem Pufferbereich der Säureklasse 4, in welchem Säuren hauptsächlich durch Auflösung von Aluminiumverbindungen gepuffert werden, ist der grösste Teil der Austauscherplätze mit Aluminium belegt. Im Vergleich zu Böden mit ähnlich tiefen pH-Werten ist die Basensättigung aber überdurchschnittlich hoch. Die vergleichsweise hohe Basensättigung ist vermutlich auf das relativ junge, nur wenig verwiterte Moränenmaterial zurückzuführen, aus dem der Boden entstanden ist und im AE-Horizont zusätzlich durch die stete Nachlieferung von Nährstoffen mit dem Streufall.

### **Risiko für Boden und Pflanzen**

Die Empfindlichkeit des Bodens gegenüber einer weiteren pH-Abnahme ist sehr klein, weil sich die gesamte Feinerde in der gut puffernden Säureklasse 4 befindet. Die Humusform Mull im lichten Lärchen-Arvenwald stellt zudem keine starke Versauerungsquelle dar. Solange sich an diesem Zustand nichts ändert, ist nicht mit einer raschen pH-Abnahme im Boden zu rechnen.

Beim aktuellen Säurezustand besteht für das Gedeihen säureempfindlicher Pflanzen kein Risiko, weil das BC/Al-Verhältnis in allen Horizonten über dem als kritisch erachteten Grenzwert von 0.2 liegt (Tab. A188 in Blaser et al. 2005). Solange die Nachlieferung von Nährstoffkationen aus der Gesteinsverwitterung und der Humusmineralisierung im gleichen Ausmass anhält, wird sich in absehbarer Zukunft an diesem Zustand nicht viel ändern.

## **A22.5 Themenbereich «Schwermetalle»**

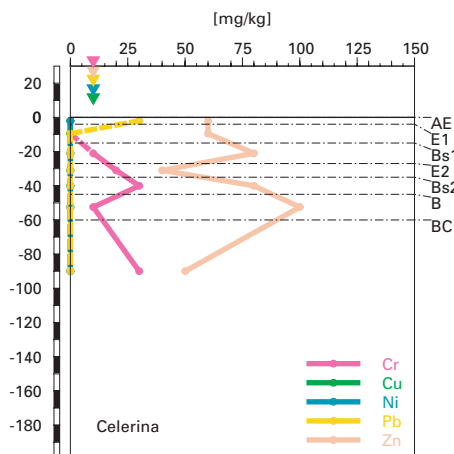
---

### **A22.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle**

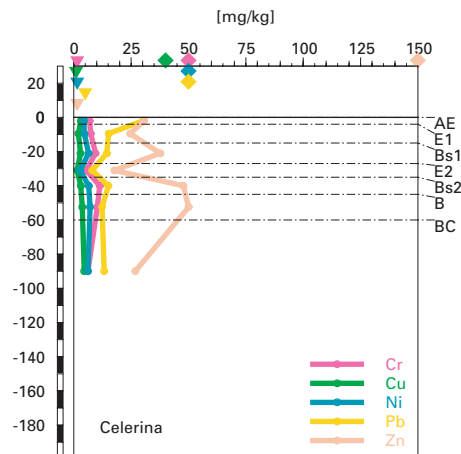
---

Bei diesem Boden fällt zunächst auf, dass Ni und Cu im ganzen Profil unter der Bestimmungsgrenze liegen (Abb. A22.16). Blei ist nur gerade im obersten Horizont nachweisbar. Chrom liegt in den beiden obersten Horizonten unter der Bestimmungsgrenze. Darunter nimmt der Gehalt dieses Schwermetalls linear zu auf ein erstes Maximum im Bs2-Horizont. Im B-Horizont folgt ein sekundäres Minimum und im BC-Horizont ist der Gehalt wieder gleich gross wie im Bs2-Horizont. Der Zn-Gehalt zeigt ebenfalls zwei Maxima im Tiefenverlauf. Allerdings treten diese im Bs1- und B-Horizont auf. Die Zn-Minima befinden sich im AE- und E1-Horizont, im E2- sowie im BC-Horizont.

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



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



**Abb. A22.16** (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

**Abb. A22.17** (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

## A22.5.2

### Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein, einer karbonatfreien Moräne, liegt der Zn-Gehalt im BC-Horizont innerhalb des typischen Wertebereichs. Alle anderen Schwermetallgehalte liegen unterhalb der typischen Wertebereiche, derjenige von Ni sogar weit unterhalb. 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.

Anmerkung: Bei diesem Profil wurde ein ehemaliger Boden (E2- bis BC-Horizont) durch Hangrutschung mit ähnlichem Ausgangsgestein begraben. Der C-Horizont, aus dem sich der ältere Boden entwickelt hat, wurde durch unser Profil nicht erschlossen, so dass für den geochemischen Vergleich die Schwermetallgehalte im BC-Horizont beigezogen wurden. Die Frage, in wie weit die Beurteilung der Schwermetallgehalte in diesem Horizont die Verhältnisse im gemeinsamen Ausgangsgestein des alten und neuen Bodens charakterisiert, lässt sich mit den uns zur Verfügung stehenden Daten nicht beantworten.

Bezogen auf die VBBo sind die Gehalte der meisten Schwermetalle profilumfassend sehr niedrig bis niedrig (Abb. A22.17). Die Ausnahme bildet ein erhöhter Pb-Gehalt im AE-Horizont.

Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

Bei diesem Profil wurde ein ehemaliger Boden (E2- bis BC-Horizont) durch Hangrutschung mit ähnlichem Ausgangsgestein begraben. Der C-Horizont, aus dem sich der ältere Boden entwickelt hat, wurde durch unser Profil nicht erschlossen, so dass die Anreicherungs-faktoren relativ zum BC-Horizont berechnet wurden. Die nachfolgenden Betrachtungen lassen deshalb nur bedingt Aussagen zu Anreicherung oder Verarmung relativ zum gemeinsamen Ausgangsgestein des alten und neuen Bodens zu.

Die Gehalte an Ni, Cu und Pb im BC-Horizont liegen unter der Bestimmungsgrenze, weshalb für diese Schwermetalle keine Anreicherungs-faktoren berechnet werden können. Für Cr berechnen wir eine Abreicherung vom AE bis zum E2-Horizont sowie im B-Horizont (Tab. A22.4). Zink ist im Bs1- sowie im Bs2- und B-Horizont deutlich angereichert. Bei beiden Schwermetallen widerspiegelt der Tiefenverlauf von Verarmung bzw. Anreicherung den Tiefenverlauf der Gehalte (Abb. A22.16) und kann auf Podsolierung zurückgeführt werden. Dies bedeutet, dass in diesem Boden sowohl säurebedingte Verlagerung als auch Verlagerung gebunden an gelöste organische Substanz stattgefunden hat. Die Tiefenverteilungen der Salpetersäure-extrahierbaren Gehalte (Abb. A22.17) legen nahe, dass auch die nur in sehr geringen Mengen vorkommenden Schwermetalle Ni, Cu und Pb von der Podsolierungsdynamik erfasst wurden. Die individuellen Podsolierungsprofile des ehemaligen und des neuen Bodens mit Verarmung im AE- und in den E-Horizonten und Anreicherung in den Bs-Horizonten sind teilweise gut erhalten. Sie widerspiegeln sich in den Tiefenverteilungen der totalen Zn-Gehalte (Abb. A22.16) sowie aller Salpetersäure-extrahierbaren Schwermetallgehalte (Abb. A22.17).

Das An-/Abreicherungsmuster von Cr (Tab. A22.4) lässt sich mit besonders starker Affinität zu gelöster organischer Substanz erklären. Dieses Muster – charakterisiert durch stark ausgeprägte Verarmungszonen, geringe Anreicherung und ein «Verschmelzen» des alten und neuen Podsolierungsprofils – legt nahe, dass Cr aus dem Profil ausgewaschen wird. Bemerkenswert ist dabei, dass die «Verschmelzung» der beiden Podsolierungsprofile nur bei der Tiefenverteilung der Totalgehalte von Cr, nicht aber

Tab. A22.4 <b>Anreicherungs faktoren</b>						
Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungs faktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
AE	0– 4	<0.36	n.b.	n.b.	n.b.	1.28
E1	4– 15	<0.33	n.b.	n.b.	n.b.	1.20
Bs1	15– 27	0.34	n.b.	n.b.	n.b.	1.65
E2	27– 35	0.69	n.b.	n.b.	n.b.	0.83
Bs2	35– 45	1.19	n.b.	n.b.	n.b.	1.91
B	45– 60	0.47	n.b.	n.b.	n.b.	2.82
BC	> 60	1	n.b.	n.b.	n.b.	1

bei den Salpetersäure-extrahierbaren Cr-Gehalten, welche den gut löslichen Anteil repräsentieren, auftritt. Allerdings könnte der höhere Salpetersäure-extrahierbare Cr-Gehalt im Bs2- als auch im Bs1-Horizont ein Hinweis darauf sein, wie die «Verschmelzung» der beiden Profile zustande kommt. Chrom, welches über die erste Anreicherungszone im Bs1-Horizont hinaus verlagert wird, wird auch den E2-Horizont passieren und frühestens im Bs2-Horizont ausfallen. Dies liegt daran, dass der E2-Horizont wegen seiner Verarmung im Zuge der ehemaligen Bodenbildung vor über 5000 Jahren im Gegensatz zum Bs2-Horizont heute nur noch wenige aktive Oberflächen für Schwermetall-Adsorption bietet. Dieser Prozess führt zu einer steten Verlagerung von Chrom vom oberen Podsolierungsprofil ins untere und schliesslich zu einer Aufhebung des oberen Profils.

Analoge An- und Abreicherungsmuster wie bei den totalen Cr-Gehalten kann man für Ni, Cu und Pb erwarten, die ähnlich stark oder gar noch stärker durch gelöste organische Substanz gebunden werden als Cr. Auswaschung aus dem Profil könnte somit die praktisch profilumfassend sehr niedrigen Gehalte dieser Schwermetalle erklären (Abb. A22.16).

Anders verhält sich Zn, welches einerseits nur schwache Komplexe mit gelöster organischer Substanz bildet, andererseits aber ein wichtiger Mikronährstoff für Pflanzen ist. Das An-/Abreicherungsmuster dieses Schwermetalls – keine «Verschmelzung» der Podsolierungsprofile, starke Anreicherung, geringe Verarmung – lässt sich mit einer Überlagerung von Nährstoffkreislauf und Podsolierungsdynamik erklären. Der Nährstoffkreislauf sorgt für eine ständige Rückführung von Zn mit der Streu in den Oberboden, was im Laufe der Bodenentwicklung zu einer Anreicherung im Boden führt. Das angereicherte Zn wird fortlaufend durch die Podsolierungsdynamik erfasst, so dass die Anreicherung schliesslich vorwiegend in den Bs- und im B-Horizont sichtbar wird.

Der etwas erhöhte Pb-Gehalt im AE-Horizont (Abb. A22.16) dürfte auf anthropogenen Eintrag und Anreicherung im Oberboden zurückzuführen sein.

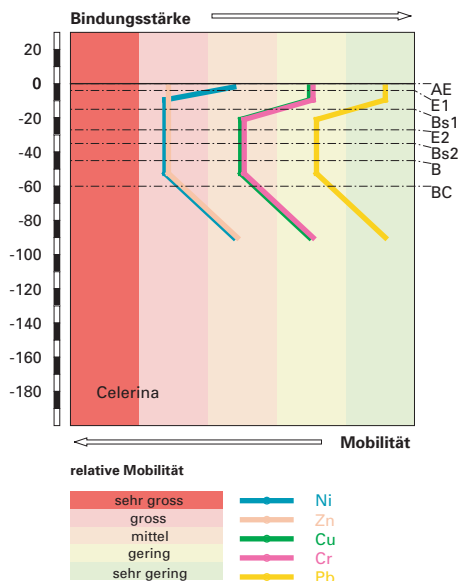


Abb. A22.18 Mobilität der Schwermetalle

### A22.5.5

#### Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

Aufgrund der profilumfassend stark sauren Verhältnisse wird die Mobilität von Ni und Zn als mittel bis gross geschätzt (Abb. A22.18). Im AE-Horizont wirkt der relativ hohe Gehalt an organischer Substanz (Abb. A22.8) für Ni etwas mobilitätshemmend. Chrom und Cu werden aufgrund von pH-Wert des Bodens und dessen Gehalt an organischer Substanz als wenig bis mittel mobil bewertet. Aufgrund der gleichen Parameter wird die Mobilität von Pb als sehr gering bis gering eingestuft.

Die Tiefenverteilungen und die Anreicherungs faktoren (Abb. A22.16, bzw. Tab. A22.4) zeigen aber, dass die effektive Mobilität der Schwermetalle in diesem Boden durch drei zusätzliche Faktoren beeinflusst wird und deshalb anders ist als in Abb. A22.18 dargestellt. Einerseits wirken die hohen Eisenoxidgehalte im Bs1- und Bs2-Horizont (Abb. A22.10) mobilitätshemmend. Dies betrifft alle fünf Schwermetalle, was durch die Maxima ihrer Salpetersäure-extrahierbaren Gehalte in diesen Horizonten (Abb. A22.17) belegt wird. Andererseits erhöht Komplexbildung mit gelöster organischer

Substanz in der Bodenlösung die Mobilität der Schwermetalle mit der Ausnahme von Zn. Dessen effektive Mobilität wird dagegen durch den Nährstoffkreislauf verringert (siehe vorhergehender Abschnitt).

Aufgrund der Gehalte und der obigen Überlegungen zur Mobilität dürfte in diesem Boden ein Risiko für eine Belastung des Grundwassers mit Cr und Zn bestehen.

#### **A22.5.6      Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen**

---

Im AE- und E1-Horizont liegen alle Schwermetalle in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind.

### **A22.6      Themenbereich «Nährstoffe»**

---

#### **A22.6.1      Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden**

---

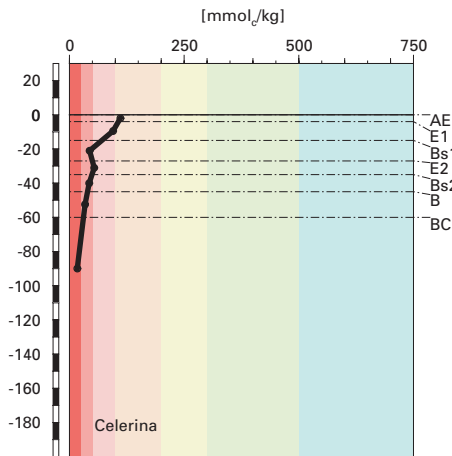
Obwohl sich dieser Lärchen-Arvenwald auf 1850 m.ü.M. in einem als sehr rauh gekennzeichneten Klima etabliert hat, ist die Humusform ein Mull, der eine gute Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden anzeigt. Die Subpolyederstruktur lässt dagegen auf eine geringe Vermischung von organischer Substanz und mineralischer Feinerde schliessen. Diese Gefügeform ist eher für Moder oder Rohhumus typisch. Auch das mittlere C/N-Verhältnis von 20 spricht eher für die Humusform Moder. Es kennzeichnet eine mittlere Mineralisierungsrate der organischen Substanz und damit eine etwas gehemmte Nährstoffumsetzung. Diese Indikatoren lassen vermuten, dass die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden nicht ganz so gut ist, wie dies aufgrund der Humusform Mull alleine beurteilt wird. Einen zusätzlichen Hinweis in diese Richtung gibt das mittlere C/P-Verhältnis, welches ebenfalls die nicht optimale biologische Aktivität zum Ausdruck bringt.

#### **A22.6.2      Nährstoffgehalte**

---

Die Kationenaustauschkapazität ist im ziemlich humusreicheren AE-Horizont mittel und nimmt im Tiefenverlauf rasch auf einen extrem geringen Wert ab (Abb. A22.19). Entsprechend den stark sauren Verhältnissen im ganzen Profil sind die Austauschplätze überwiegend mit Aluminium belegt, denn der ganze Boden befindet sich im Aluminium-Pufferbereich (Abb. A22.20). Obwohl sich alle Horizonte in der Säureklasse 4 befinden, wo

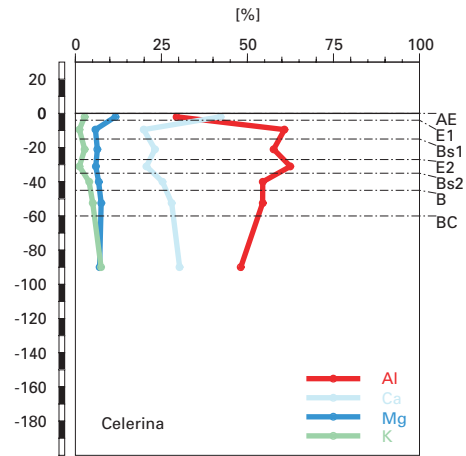
### Kationenaustauschkapazität (KAK)



#### 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. A22.19** (links) Kationenaustauschkapazität

**Abb. A22.20** (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

die Nährstoffkationen einer starken Verdrängung durch freigesetztes Aluminium unterliegen, sind vergleichsweise viele austauschbare Nährstoffkationen vorhanden. Unterhalb des E1-Horizontes variieren ihre Anteile mit der Tiefe nur wenig.



Die Abb. A22.21–A22.23 zeigen den Tiefenverlauf der Ca-, Mg- und K-Vorräte. Diese nehmen in einem ähnlichen und vergleichbaren Ausmass mit der Tiefe zu. Bemerkenswert ist die relativ starke Vorratszunahme von Kalium. Die Beurteilung der Nährstoffvorräte lautet bis 60 cm Tiefe wie folgt:

Ca mittel  
Mg mittel  
K gering

Der Boden ist bis mindestens 120 cm Tiefe durchwurzelbar. Unter diesem Aspekt steht den Pflanzen ein etwas besseres Nährstoffangebot zur Verfügung. Der Ca-Vorrat ist bis 120 cm Tiefe mässig hoch und der Kaliumvorrat mittel. Die Vorratsbeurteilung für Magnesium ist unverändert mittel. Dieses Nährstoffangebot kann von den Pflanzen während der Vegetationsperiode weitgehend ungehindert genutzt werden, denn das Risiko für Trockenstress ist klein.

Kalzium-Vorrat

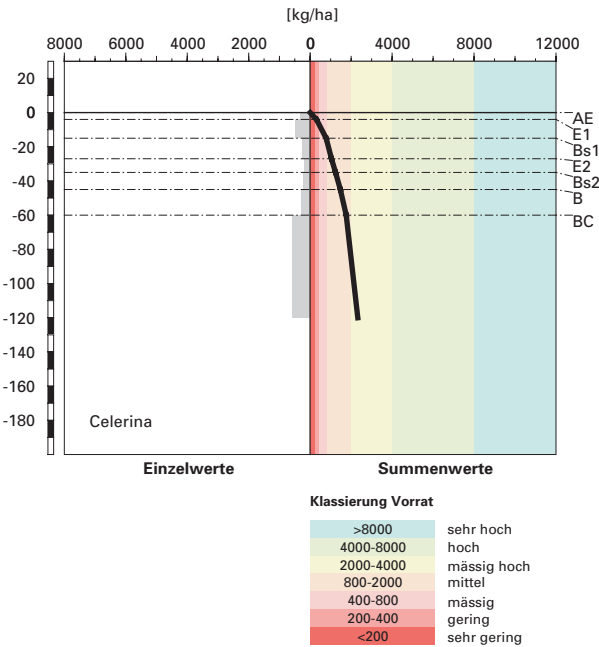


Abb. A22.21 Vorrat an Kalzium

### Magnesium-Vorrat

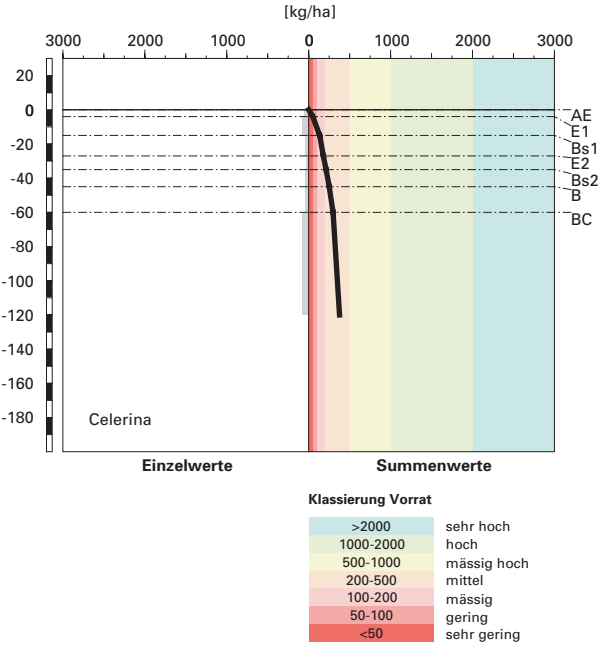


Abb. A22.22 Vorrat an Magnesium

### Kalium-Vorrat

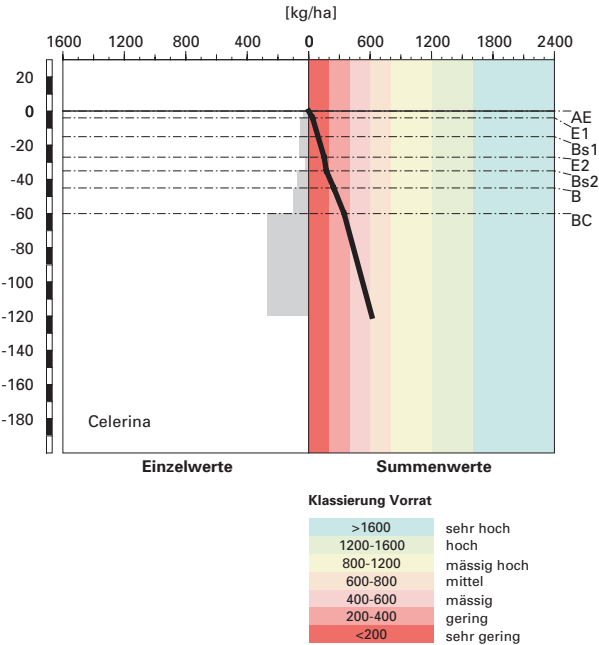


Abb. A22.23 Vorrat an Kalium

## A22.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

---

### A22.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

---

Der Steckbrief (Tab. A22.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

### A22.7.2 Baumartenwahl

---

#### Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand ist ein Mischwald aus Arven und Lärchen, was für die Höhenlage und den Standortstyp (EK Nr.59) natürlich ist. Nach Ott et al. (1997) trifft man an diesem Standort häufig Moder oder Rohhumus an. Der vorhandene Mull ist vermutlich auf das üppig gedeihende Reitgras zurückzuführen, welches rasch zersetzt wird, so dass sich keine organische Auflage bildet.

#### Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

An Waldstandorten mit rauhem bis kaltem Klima, wo aufgrund der kurzen Vegetationsperiode nur Fichten, Lärchen und Arven sowie Vogelbeeren und Grünerlen gedeihen, spielt der Boden bei der Baumartenwahl eine marginale Rolle. In den Regionen Alpen und Alpensüdseite findet man ein derartiges Klima an den subalpinen Waldstandorten Nr.57, 59 und 60 (Nr. nach Ellenberg und Klötzli 1972). An diesen Standorten werden die bodenkundlichen Kriterien für die Baumartenwahl nicht besprochen.

### A22.7.3 Baumartenempfehlung

---

Gemäss BUWAL (2005) kommen an diesem Lärchen-Arven-Standort (Nr.59V) nur die Lärche, die Arve und die Bergföhre für die Waldverjüngung in Frage. Diese stark eingeschränkte Auswahl ist vor allem durch das sehr raue Klima bedingt.

<b>Tab. A22.5      Steckbrief für die Waldbehandlung (Celerina)</b>		
<b>Standortangaben</b>		
Relief	Höhe	1850 m
	Exposition	NE
	Neigung	34 %
Klima	Jahresniederschlag	1024 mm
	Jahrestemperatur	2.8°C
Ausgangsgestein	karbonatfreie Moräne	
Baumbestand	Struktur	einschichtig
	Schlussgrad	60 %
	Baumarten (Deckung)	35 % Arve, 25 % Lärche
	Oberhöhe	20 m
Waldgesellschaft	nach E&K 1972	Nr.59: Lärchen-Arven Wald
	nach BUWAL 2005	Nr.59V: Lärchen-Arvenwald mit Heidelbeere
<b>Bodenkennwerte</b>		
Bodensystematik	Bodentyp	Eisenpodsol
	Humusform	Mull
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Im Boden sind keine Vernässungsmerkmale vorhanden, was auf eine stets gute Durchlüftung hinweist.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden ist für alle Baumarten mindestens profilumfassend durchwurzelbar. Die leicht über der unteren kritischen Grenze von 1.4 g/cm <sup>3</sup> liegende Dichte dürfte die Wurzeln in ihrem Wachstum nur unwesentlich einschränken. Der Wurzelraum wird mit mehr als 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Wurzeln sind bis zur Profilssole vorhanden.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen besteht ein kleines Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Der Boden ist profilumfassend stark sauer. Das Ausgangsgestein enthält kein Karbonat.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Die Humusform Mull weist auf eine hohe Mineralisierungsrate hin, was im Widerspruch zum mittleren C/N-Verhältnis im AE-Horizont steht. Auch das mittlere C/P-Verhältnis im AE-Horizont lässt auf eine nicht optimale biologische Aktivität schliessen. Sie wird gesamthaft als mittel bewertet.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen sind ziemlich ausgewogen. Der Ca-Vorrat ist mässig hoch und Mg und K haben mittlere Vorräte.
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, weil er bis 60 cm Tiefe wenig Skelett enthält.	

Blaser, P., 1980: Der Boden als Standortsfaktor bei Aufforstungen in der subalpinen Stufe (Stillberg, Davos). Mitt. Eidg. Anst. für das forstl. Versuchsw. 56 (3): 529–611.

---

Blaser, P. / Zimmermann, S. / Luster, J. / Walthert, L. / Lüscher, P., 2005: Waldböden der Schweiz. Band 2. Regionen Alpen und Alpensüdseite. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag.

---

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

---

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

---

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

---

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

---

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

---