

# V16      Bodenprofil Heumoosegg I

---

## V16.1      Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

---

### V16.1.1      **Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren**

---

Das Bodenprofil ist in [Abb.V16.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.V16.2](#). [Tab.V16.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profiltort Heumoosegg I zusammen, und [Tab.V16.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

### V16.1.2      **Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz**

---

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit P5 (Alpenrand, vorwiegend Nagelfluh; Hanglagen, vorwiegend nordexponiert, Ostschweiz, Hangneigung <35%). 36 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 0.3% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

### V16.1.3      **Besonderheiten am Profiltort**

---

Bei diesem Bodenprofil handelt es sich um die Lokalform Heumoosegg I (Richard und Lüscher 1987). Es repräsentiert die im Flyschgebiet der Voralpen weit verbreiteten vergleyten Bodentypen.

### V16.1.4      **Profilmorphologie und Klassierung**

---

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.V16.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Streulieferanten sind vor allem die Tanne, die Fichte und die üppig gedeihende Krautschicht. Die anfallenden Pflanzenrückstände werden rasch zersetzt, so dass sich an der Bodenoberfläche nur wenig Streu ansammelt. Die Horizontfolge des Oberbodens wird mit L-Ah bezeichnet und die Humusform als Mull klassiert.

Aufgrund der morphologischen Merkmale lassen sich im 1.25 m tief aufgeschlossenen Mineralboden vier Horizonte unterscheiden.



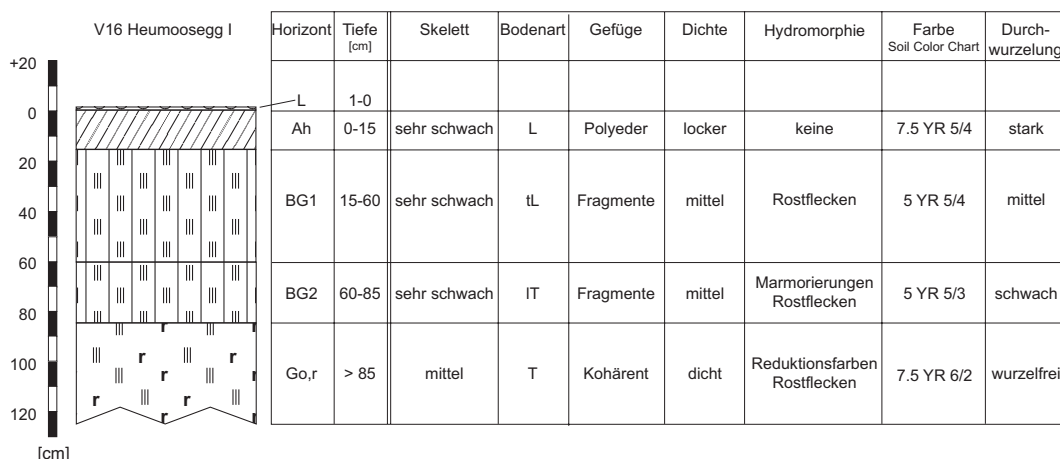
**Abb. V16.1** (links) Bodenprofil Heumoosegg I

**Abb. V16.2** (rechts) Bestand am Profilort Heumoosegg I

<b>Tab. V16.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Heumoosegg I</b>	
Lokalname	Heumoosegg I (Kanton Zug, Gemeinde Walchwil)
Lage	Landeskarte 1:25000 Blatt 1151, Rigi Koordinaten 684975/217090
Waldgesellschaft (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 18: Typischer Tannen-Buchenwald ( <i>Abieti-Fagetum typicum</i> )
Horizontfolge	L-Ah-BG1-BG2-Go,r
Humusform	Mull
Bodentyp	Braunerde, schwach grundnass
Bodentyp (FAO 1988)	Dystric, (Gleyic) Cambisol

Tab. V16.2		Bodenbildungsfaktoren am Profilort Heumoosegg I	
Relief	Höhe ü. M.	1110 m	
	Exposition	N	
	Neigung	23%	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Molassebecken; bunte Mergel (Hangtone) der unteren Süsswassermolasse	
	Lithofazies (nach Tuchschnid 1995)	Nr.21: Molassemergel und -tongesteine physikalische Verwitterbarkeit Gestein: mittel – gross chemische Verwitterbarkeit Gestein: klein Tongehalt Gestein: mittel – hoch	
Klima	T/N Jahresmittel	6.1°C/1785 mm	
	T/N Januarmittel	– 1.5°C/87 mm	
	T/N Julimittel	15.1°C/186 mm	
	Tage mit Schneedecke	126	
	Wärmegliederung	ziemlich rauh	
	Länge der Vegetationsperiode	150 – 165 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (25 m Höhe)	70%	30% Weisstanne ( <i>Abies alba</i> ) 30% Fichte ( <i>Picea abies</i> ) 2% Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> )
	Strauchschicht	10%	–
	Krautschicht	80%	gemeiner Sauerklee ( <i>Oxalis acetosella</i> ) Heidelbeere ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ) ährige Rapunzel ( <i>Phyteuma spicatum</i> ) grauer Alpendost ( <i>Adenostyles alliariae</i> )
	Mooschicht	40%	–

**Tab. V16.3 Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Heumoosegg I**  
Bodenart: L Lehm, tL toniger Lehm, IT lehmiger Ton, T Ton



Das Profil ist farblich in drei deutlich voneinander unterscheidbare Bereiche gegliedert, und zwar aufgrund des Humusgehaltes, der Verbraunung und der Vernässung. Die obersten 15 cm des Mineralbodens sind infolge des recht grossen Humusgehaltes relativ dunkel gefärbt. In 15–60 cm Tiefe sind in der homogen braunen Bodenmatrix vereinzelte Rostflecken vorhanden, und in der Tiefenstufe 60–85 cm gesellen sich einige Marmorierungen dazu. Unterhalb von 85 cm Tiefe sind in einer gräulichen Bodenmatrix zahlreiche rostige Stellen erkennbar. Die grauen Bereiche kommen durch reduktive und die Rostfarben durch oxidative Prozesse zustande.

Dieser tonreiche Boden enthält nur wenig Skelett. Der lockere Oberboden hat infolge des grossen Tongehaltes eine Polyederstruktur. In 15–85 cm Tiefe dominiert bei mittlerer Dichte die Fragmentstruktur und der dichte Unterboden hat ein Kohärentgefüge. Wurzeln konnten bis 85 cm Tiefe beobachtet werden.

Die Horizontfolge des Profils lautet L-Ah-BG1-BG2-Go,r. Demnach wird der Boden als schwach grundnasse Braunerde klassiert. Die temporäre Vernässung erfolgt durch Hangwasser.

### **Ergänzende Bodenmerkmale**

Das Ausgangsgestein wurde mit dem 125 cm tiefen Bodenprofil nicht erreicht. Wir nehmen an, dass es Karbonat enthält. Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde in allen Bodenhorizonten sauer. Wir gehen davon aus, dass dieser Boden trotz vernässtem Unterboden tief durchwurzelt werden kann, im Profil also kein unüberwindbares Hindernis für das Wurzelwachstum besteht.

## **V 16.2      Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»**

---

### **V 16.2.1      Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte**

---

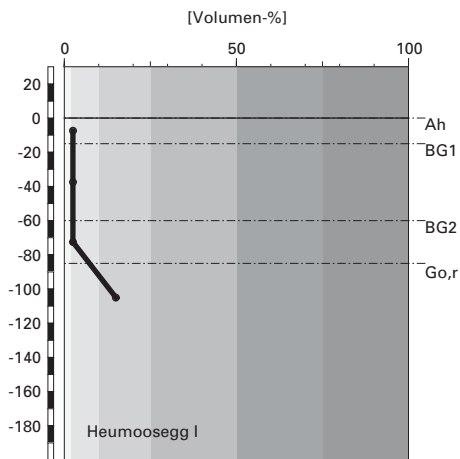
#### **Skelettgehalt**

Der Boden ist bis 85 cm Tiefe schwach skeletthaltig ([Abb. V 16.3](#)). Ab 85 cm Tiefe ist der Skelettgehalt mit rund 15% mittel.

#### **Bodenart**

In 85 cm Tiefe deutet der abrupte Wechsel in der Korngrössenzusammensetzung auf ein heterogenes Ausgangsgestein hin ([Abb. V 16.4](#)). Die Heterogenität wird durch den geschichteten Aufbau der Boden bildenden Hangtone (Molasse) verursacht. Die unterschiedliche Korngrössenzusammen-

## Skelettgehalt



### Klassierung Skelettgehalt

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

## Bodenart

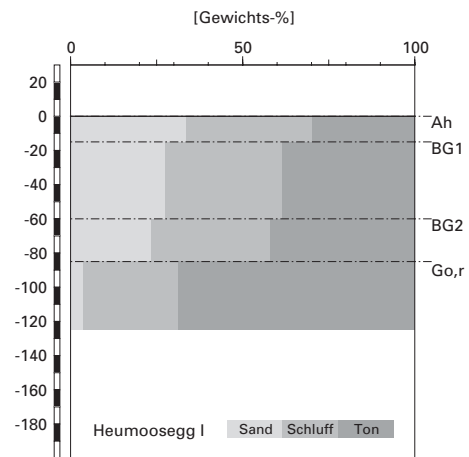


Abb. V16.3 (links) Skelettgehalt

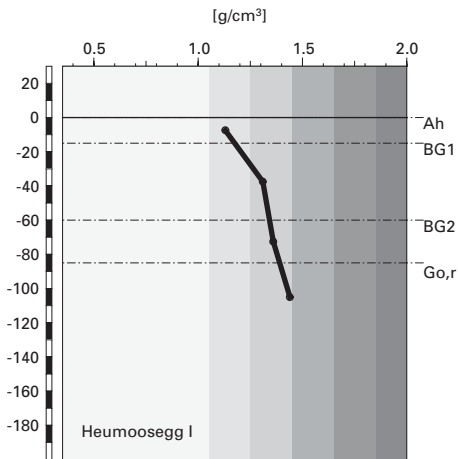
Abb. V16.4 (rechts) Bodenart

setzung in den einzelnen Horizonten ist also weniger durch bodengene- tische Prozesse als vielmehr durch das heterogene Ausgangsgestein be- dingt. Bemerkenswert ist, dass der Tongehalt in diesem Profil in Abwei- chung zu vielen anderen Böden mit der Tiefe zunimmt. Gemessen an seinem Tongehalt gilt der Boden im Ah-Horizont als mittelschwer, in den verbrauchten Horizonten als schwer bis sehr schwer und im Go,r-Horizont als extrem schwer. Die im Feld ermittelte Bodenart stimmt gut mit den La- bor-Messwerten überein (Tab. V16.3).

## Bodendichte

In diesem Profil wurde die Boden-Dichte anstelle der Feinerde-Dichte ge- messen. Da der Boden bis 85 cm Tiefe wenig Skelett enthält, entspricht die Boden-Dichte in dieser Tiefenstufe der Feinerde-Dichte. Im Go,r-Horizont können wir keine Angaben zur Feinerde-Dichte machen, weil der Skelett-

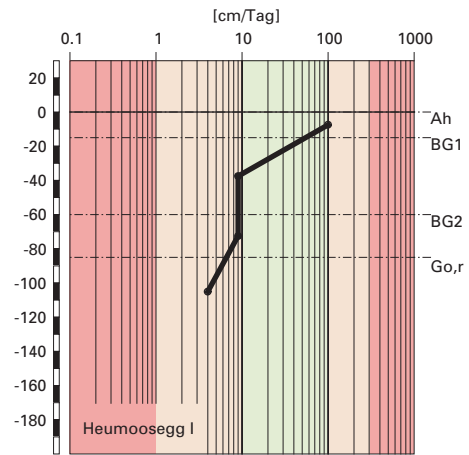
## Boden-Dichte



### 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. V16.5 (links)** Dichte des Bodens

**Abb. V16.6 (rechts)** Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

gehalt zu gross ist. Die Dichte nimmt mit der Tiefe nur wenig zu und ist im Oberboden sehr gering und im Unterboden gering (Abb. V16.5). Die maximale Boden-Dichte findet man mit 1.44 g/cm³ im Go,r-Horizont. Damit dürfte die Feinerde-Dichte den für das Wurzelwachstum kritischen Wert von 1.4 g/cm³ selbst im Go,r-Horizont nicht überschreiten.

## Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Die obersten 15 cm des Bodens sind derart locker gelagert, dass die Durchlässigkeit dort auf 100 cm/Tag geschätzt wird, was einem hohen Wert entspricht (Abb. V16.6). Im etwas dichteren, unteren Profilbereich ist die Leitfähigkeit gering.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe beträgt 181 l/m², was einem sehr hohen Wert entspricht (Abb. V16.7).



## pflanzenverfügbares Wasser

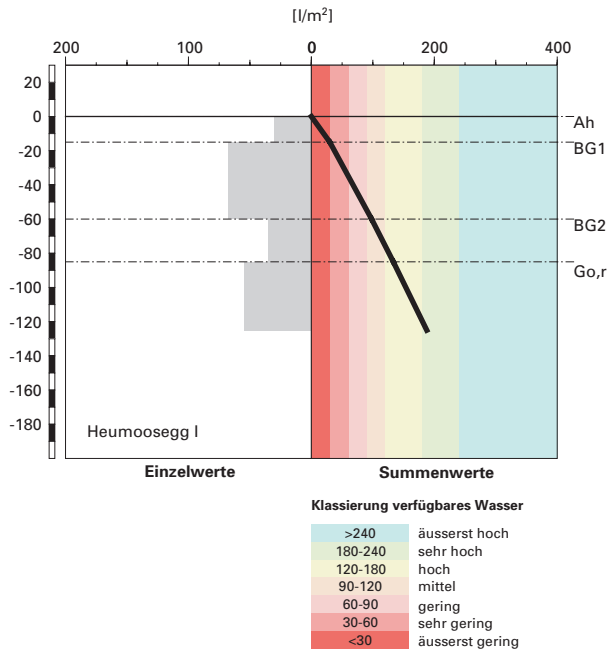


Abb. V16.7 Pflanzenverfügbares Wasser

### V 16.2.2

## Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

### Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In dieser schwach grundnassen Braunerde fallen im Unterboden markante Vernässungserscheinungen auf. Während in 15 bis 85 cm Tiefe bloss recht undeutliche Rostflecken und Marmorierungen vorkommen, sind ab 85 cm Tiefe vor allem gräuliche Reduktionsfarben auffällig. Aufgrund der Vernässungsmerkmale gehen wir davon aus, dass sich im Boden aerobe und anaerobe Phasen abwechseln. Bis zur Profilssole in 125 cm Tiefe wurde die über das gesamte Jahr sauerstofffreie Zone, in der stets reduzierende Verhältnisse herrschen, nicht erreicht. Die Vernässung erfolgt in diesem Boden durch Hangwasser. Dieses nährstoffreiche Fremdwasser steigt offenbar zeitweise bis nahe an die Bodenoberfläche an. Dies äussert sich an der Belegung des Kationenaustauschers, indem die Basensättigung selbst im stark sauren und verbräunten Profilbereich einen hohen Wert von rund 86% hat (Abb. V16.15).

### **Durchwurzelbarkeit des Bodens**

Wir gehen davon aus, dass der Boden im hydromorph geprägten Bereich und damit ab 15 cm Tiefe für empfindliche Baumarten wie Buche und Fichte eingeschränkt durchwurzelbar ist. Für die weniger empfindlichen Baumarten wie Tanne oder Bergulme dürfte der Wurzelraum mindestens 120 cm mächtig und damit sehr tiefgründig sein. Das Wurzelwachstum wird zwar wohl durch die zeitweise ungenügende Durchlüftung behindert, nicht aber durch die Feinerde-Dichte, weil diese den als kritisch erachteten Wert von  $1.4 \text{ g/cm}^3$  selbst im Go,r-Horizont nicht überschreitet. Der Wurzelraum wird vom aktuellen Bestand aus Tannen, Fichten und Buchen nicht voll genutzt, denn Wurzeln konnten bloss bis 85 cm Tiefe beobachtet werden.

### **Wasserversorgung des Baumbestandes**

Bei einer Referenztiefe von 120 cm kann gemäss unseren Berechnungen davon ausgegangen werden, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 25 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnen würde. Trotz dem nicht optimalen Speichervermögen des Bodens besteht an diesem Tannen-Buchenstandort (E & K18) bloss ein kleines Risiko für Trockenstress, und zwar sowohl bei den tief wurzelnden Baumarten als auch bei den Arten mit oberflächlicherem Wurzelwerk. Wir kommen zu diesem Schluss, weil im Hinblick auf Trockenstress ein günstiges Klima herrscht und der Boden unter Fremdwasserzufuhr steht. In Trockenperioden wird das Trockenstress-Risiko durch kapillar in den Wurzelraum aufsteigendes Wasser verringert.

### **Bodenbefahrbarkeit**

Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da sein Skelettgehalt relativ gering ist. Im Winter ist das Befahren aus der Sicht des physikalischen Bodenschutzes fast immer problematisch, weil der Boden dann meistens bis nahe an die Bodenoberfläche mit Wasser gesättigt und daher höchstens oberflächlich gefroren ist.



**Organische Substanz**

Der Baumbestand am Profilort Heumoosegg I setzt sich vor allem aus Weiss-tannen und Fichten sowie einzelnen Rotbuchen zusammen. Trotz einem relativ grossen Deckungsgrad von 70% gedeiht eine üppige Krautschicht mit einem Deckungswert von 80%. Sie besteht vor allem aus gemeinem Sauerklee, Heidelbeere, ähriger Rapunzel und grauem Alpendost. Die Streu stammt von den Tannen und Fichten in der Baumschicht und den Pflanzen aus der Krautschicht. Der bedeutende Anteil der Krautpflanzen verbessert die Abbaubarkeit der an sich schlecht abbaubaren Streu der Fichte, so dass sich nur eine dünne Streuschicht gebildet hat.

Der Ah-Horizont hebt sich durch seine dunkle Farbe deutlich von den BG-Horizonten ab. Sein Gehalt an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) beträgt 3.6% (Abb. V16.8). Entsprechend der helleren Farbtöne nimmt der  $C_{org}$ -Gehalt mit der Tiefe auf 0.8% im BG1- und auf 0.2% im BG2-Horizont ab. Aus diesen Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 94 t/ha (Abb. V16.9).

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

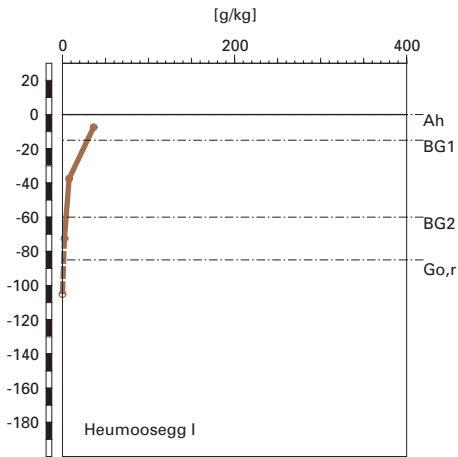
In den obersten 85 cm des Bodens nimmt der Tongehalt mit der Tiefe leicht von 30% auf 42% zu (Abb. V16.4). In 85 cm Tiefe erfolgt eine sprunghafte Zunahme des Tongehaltes auf 69%.

Die Gehalte der extrahierbaren Eisenverbindungen nehmen mit der Tiefe tendenziell ab (Abb. V16.10). Beim Dithionit-extrahierbaren Eisen ( $Fe_d$ ) liegt das Maximum in Abweichung dieses abnehmenden Trends im BG2-Horizont. Beim Oxalat- und Pyrophosphat-extrahierbaren Eisen ( $Fe_o$  bzw.  $Fe_p$ ) führt dies zu einem sehr schwach ausgeprägten sekundären Maximum in diesem Horizont.

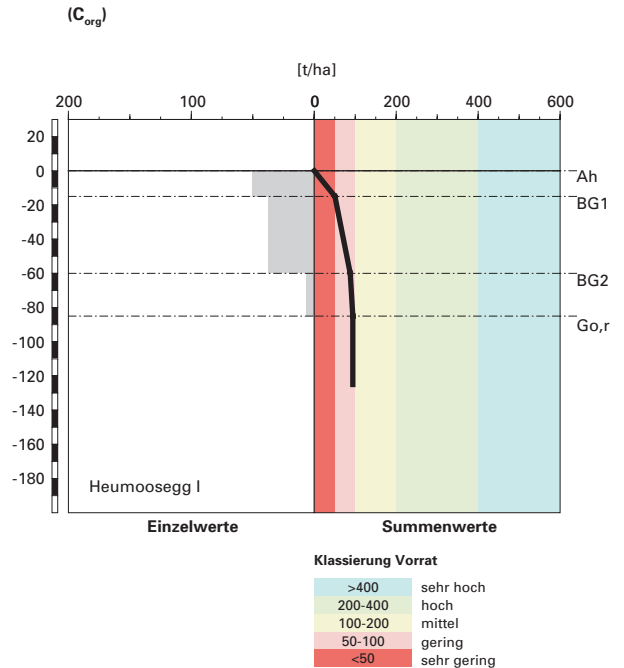
Die Tiefenverteilung des Oxalat-extrahierbaren Aluminiums ( $Al_o$ ) ist identisch mit jener von  $Fe_o$ , nur ist der Gehaltsunterschied zwischen Ober- und Unterboden weniger gross (Abb. V16.11). Das Pyrophosphat-extrahierbare Aluminium ( $Al_p$ ) ist nur in den obersten 60 cm Tiefe bestimmbar. Es nimmt vom Ah- in den BG1-Horizont deutlich ab.

Das  $Fe_o/Fe_d$ -Verhältnis nimmt linear von 0.7 im Ah- auf 0.1 im Go,r-Horizont ab (Abb. V16.12). Das  $Fe_p/Fe_o$ -Verhältnis ist im Ah-Horizont mit 0.3 am weitesten. Es nimmt im BG1-Horizont auf rund 0.15 ab und bleibt bis zur Profilsohle konstant. Das  $Al_p/Al_o$ -Verhältnis ist nur in den beiden obersten Horizonten, wo es parallel dem  $Fe_p/Fe_o$ -Verhältnis verläuft, bestimmbar.

### organischer Kohlenstoff



### Kohlenstoff-Vorrat



**Abb. V16.8 (links)** Gehalt an organischem Kohlenstoff

**Abb. V16.9 (rechts)** Vorrat an organischem Kohlenstoff

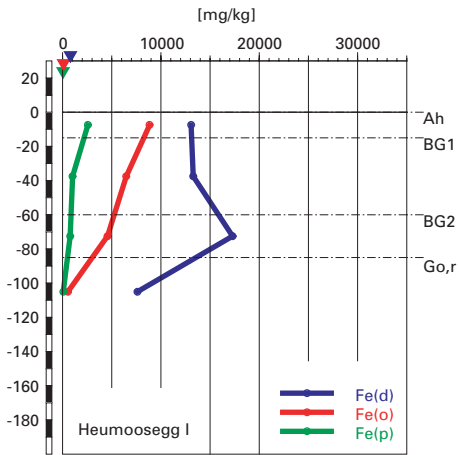
## V16.3.2

### Bodenkundliche Interpretation

Das relativ gut abbaubare Streugemisch von Tanne, Fichte und den Pflanzen aus der Krautschicht wird innerhalb eines Jahres praktisch vollständig zersetzt. Auf dem Boden sind fast keine Streureste mehr sichtbar, weshalb die Humusform als Mull klassiert wird. Zu dieser schnellen und praktisch vollständigen Umsetzung der Streu trägt neben der Streuqualität vor allem das Klima und die günstigen pH-Verhältnisse im Boden bei. Im ziemlich rauen und feuchten Klima am Profilort Heumoosegg I sind genügend Feuchtigkeit und Wärme für eine grosse biologische Aktivität vorhanden. Obwohl die Wasserleitfähigkeit im Unterboden gering ist, sind die anaeroben Phasen aufgrund der morphologischen Merkmale erst unterhalb 85 cm Tiefe dominant. Die biologische Aktivität ist im oberen Profilbereich also nicht durch anaerobe Phasen limitiert. Der pH-Wert befindet sich bis 60 cm Tiefe zwar im stark sauren Bereich, ab 85 cm Tiefe enthält die alkalische Feinerde jedoch bereits Karbonat. Dies beeinflusst, zusammen mit dem zeitweiligen Anstieg des Bodenwassers, die chemischen Verhältnisse des Oberbodens,

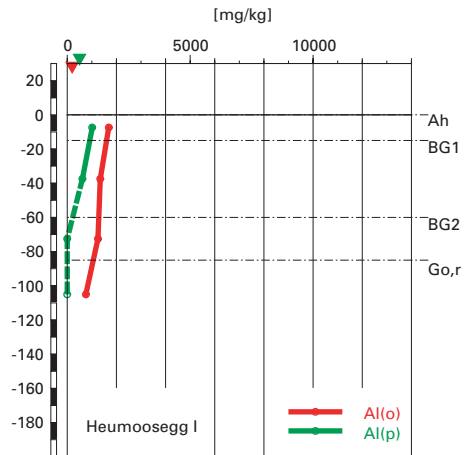
### Eisen-Oxide

(Gehalte)



### Aluminium-Oxide

(Gehalte)

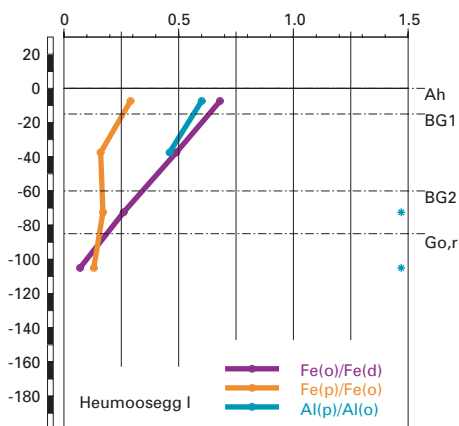


**Abb. V16.10 (links)** Gehalte an Dithionit- ( $\text{Fe}_d$ ), Oxalat- ( $\text{Fe}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Fe}_p$ ) extrahierbarem Eisen

**Abb. V16.11 (rechts)** Gehalte an Oxalat- ( $\text{Al}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Al}_p$ ) extrahierbarem Aluminium

### Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)



**Abb. V16.12** Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

indem die Basensättigung im ganzen Boden sehr hohe Werte von mehr als 86% aufweist. Somit sind auch die chemischen Verhältnisse einer grossen biologischen Aktivität förderlich. Dadurch wird die organische Substanz schnell zersetzt und ein beträchtlicher Anteil davon mineralisiert. Die nicht mineralisierte organische Substanz unterliegt einer Humifizierung und die Humusstoffe werden durch die Regenwürmer mit der Mineralerde vermischt. Im regionalen Vergleich sind mittlere Gehalte an amorphen Aluminium- und Eisenverbindungen vorhanden, so dass die Humusstoffe wenigstens teilweise über organo-mineralische Verbindungen vor einer weiteren Mineralisierung geschützt werden. Auf diese Weise hat sich ein im gesamtschweizerischen Vergleich geringer Vorrat an organischem Kohlenstoff von 94 t/ha gebildet (Abb. V16.9).

Der grosse Tongehalt im Go,r-Horizont kann bei der geringen Wasserleitfähigkeit, bei der grossen Basensättigung und bei den grossen Unterschieden im Tongehalt kaum durch Tonverlagerung erklärt werden, obwohl die pH-Werte dies zulassen. Vielmehr führen die geschichteten Hangtone zu Inhomogenitäten in den Bodeneigenschaften.

Auch der maximale  $Fe_d$ -Gehalt im BG2-Horizont kann durch diese Inhomogenitäten erklärt werden. Die Dithionit-Extraktion erfasst die gesamthaft extrahierbaren Eisenverbindungen, also auch die lithogen vorhandenen. Obwohl der maximale  $Fe_d$ -Gehalt im BG2-Horizont lithogen bedingt ist, führt er auch zu einem schwach ausgeprägten sekundären Maximum bei  $Fe_o$ . Dies ist auf die intensiven und bis in den BG2-Horizont reichenden Verbraunungsprozesse zurückzuführen. Der Boden ist bis 85 cm Tiefe entkarbonatet und durch die Silikatverwitterung entstehen sekundäre Aluminium- und Eisenoxide, welche mit der Oxalat-Extraktion erfasst werden. Deshalb zeigt auch das  $Fe_o/Fe_d$ -Verhältnis das für eine intensive Verbraunung charakteristische Bild einer stetigen Abnahme vom grössten Wert im Oberboden zu einem kleinen Wert im nicht verbrauchten Unterboden.

Die Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminium- und Eisengehalte widerspiegeln den  $C_{org}$ -Gehalt und nehmen mit der Tiefe ab. Das  $Fe_p/Fe_o$ -Verhältnis ist im Unterboden entsprechend den geringen  $C_{org}$ -Gehalten relativ eng. Dort sind nur rund 15% der amorphen Fraktion mit der organischen Substanz assoziiert. Im Oberboden verdoppelt sich dieser Anteil auf rund 30%. Beim Aluminium sind die entsprechenden Verhältnisse nur im Ah- und BG1-Horizont bestimmbar, wo sie sehr viel grösser sind als beim Eisen. Dies ist auf die bedeutend geringeren  $Al_o$ -Gehalte im Vergleich zu  $Fe_o$  zurückzuführen.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als schwach grundnasse Braunerde klassiert. Die Interpretation der Bodenhauptbestandteile bestätigt diese Klassierung. Dadurch, dass der Boden

nur schwach grundnass ist, führte die Bodenentwicklung im relativ gut durchlüfteten Bereich zu einer Verbraunung bis in eine Tiefe von 85 cm, was durch die Gehalte der Aluminium- und Eisenverbindungen bestätigt wird.

## V16.4 Themenbereich «Säurezustand»

---

### V16.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

---

#### pH-Wert

Dieser Boden ist bis zum BG1-Horizont in 60 cm Tiefe stark sauer. Der tiefste pH-Wert beträgt 4.3 und befindet sich im Ah-Horizont. Vom mässig sauren BG2-Horizont bis zur Profilssole in 125 cm Tiefe erfolgt ein starker pH-Anstieg von 4.7 in den alkalischen Bereich im Go,r-Horizont (Abb. V16.13). Die obersten 60 cm des Bodens befinden sich in der Säureklasse 4. Der BG2-Horizont liegt in der Säureklasse 3 und der Go,r-Horizont befindet sich in der Säureklasse 1.

#### Austauschbare Kationen und Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist im ganzen Boden zum überwiegenden Teil mit basischen Kationen, insbesondere mit Kalzium und erwähnenswerten Mengen Magnesium belegt (Abb. V16.14). Bis in 85 cm Tiefe kommen neben den austauschbaren Basen auch geringe Mengen saurer Kationen in austauschbarer Form vor. Im alkalischen Go,r-Horizont ist der Kationenaustauscher ausschliesslich mit basischen Kationen belegt. Die Basensättigung ist im ganzen Profil sehr hoch (Abb. V16.15). Mit rund 86% ist sie im Ah- und BG1-Horizont am geringsten. Von dort nimmt sie mit der Tiefe auf 100% im Go,r-Horizont zu.

### V16.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

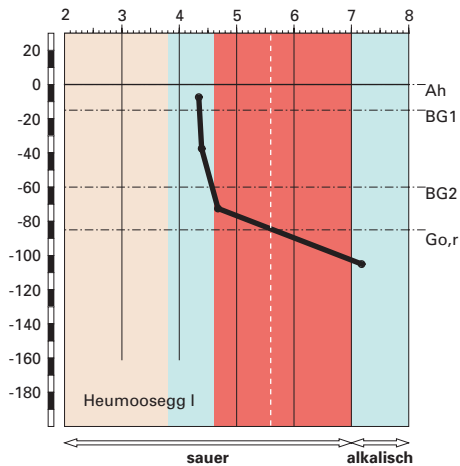
---

#### Stand der Bodenversauerung

Diese schwach grundnasse Braunerde wird auf Grund des Tiefenverlaufs des pH-Wertes, welcher sich über vier Säureklassen erstreckt, als stark versauert beurteilt. Im Ah- und BG1-Horizont, in denen die Säurepufferung entsprechend der Säureklasse 4 durch Auflösung von Aluminiumverbindungen erfolgt, widerspiegelt sich dies an der Belegung des Kationenaustauschers. Auch im BG2-Horizont ist eine geringe Menge Aluminium in austauschbarer Form vorhanden. Dieser Horizont liegt mit einem pH-Werte von 4.7 an der Grenze zwischen den Säureklassen 3 und 4, wo die Auflösung

## 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

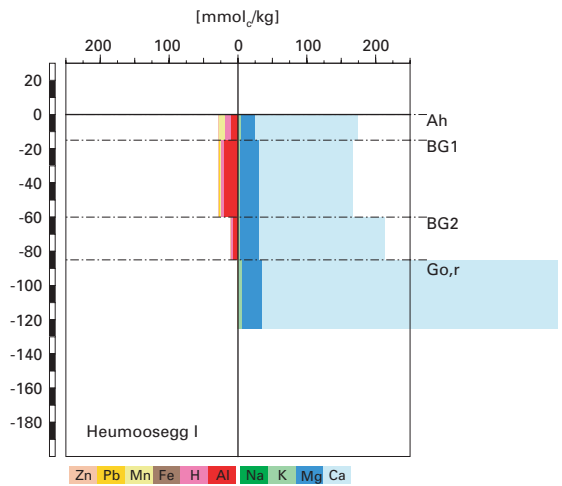
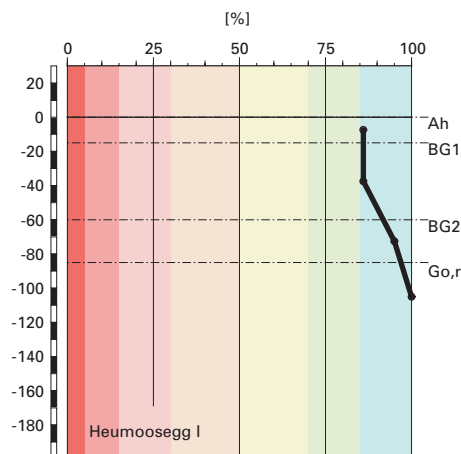


Abb. V16.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb. V16.14 (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. V16.15 Basensättigung

von Aluminium bei der Säurepufferung bereits eine gewisse Rolle spielt. Die Versauerungsfront, erkennbar am tiefst gelegenen Horizont der austauschbares Aluminium aufweist, befindet sich hier in 85 cm Tiefe, beim Übergang vom BG2- zum Go,r-Horizont. Im alkalischen Go,r-Horizont erfolgt die Säurepufferung durch Verwitterung des karbonathaltigen Gesteins unter starker Freisetzung von basischen Kationen.

Die Versauerung wird in diesem Boden stark durch das karbonathaltige Ausgangsgestein sowie durch die Vernässung im Untergrund gehemmt. Die Auswaschung der durch Aluminium ausgetauschten basischen Kationen wird durch die geringe Wasserleitfähigkeit im Untergrund gehemmt. Im Schwankungsbereich des Grundwassers erfolgt ausserdem eine Umverteilung der gelösten Kationen im Boden, was zur Folge hat, dass auch die stark sauren Bodenpartien eine sehr hohe Basensättigung aufweisen.

### **Risiko für Boden und Pflanzen**

Die Empfindlichkeit für eine weitere pH-Abnahme ist in diesem Boden klein. Der Feinerdeanteil, der sich in der schwach puffernden Säureklasse 3 befindet, beträgt nur rund 21 %. Zu beachten ist ferner, dass diese versauerungsempfindliche Zone im BG2-Horizont in 60 bis 85 cm Tiefe liegt. Der Versauerungsdruck ist hier gering, weil in den höher gelegenen Horizonten, die sich in der stark puffernden Säureklasse 4 befinden, die Säuren durch Auflösung von Aluminiumverbindungen neutralisiert werden. Bei einer weiteren pH-Abnahme wird der versauerungsempfindliche BG2-Horizont in die gut puffernde Säureklasse 4 gelangen, was eine weitere pH-Abnahme verlangsamen wird. Bedingt durch das karbonathaltige Ausgangsgestein und durch den Grundwassereinfluss wird die Basensättigung in diesem Boden auch in Zukunft nicht wesentlich abnehmen.

Das BC/Al-Verhältnis liegt im ganzen Profil weit über dem kritischen Grenzwert von 0.2, so dass eine Beeinträchtigungen des Pflanzenwachstums durch toxisch wirkendes Aluminium auszuschliessen ist.

## **V 16.5 Themenbereich «Schwermetalle»**

---

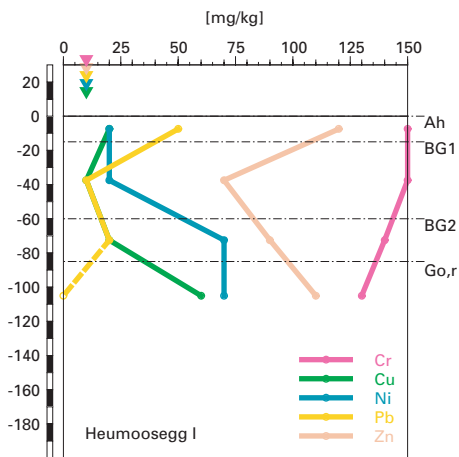
### **V 16.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle**

---

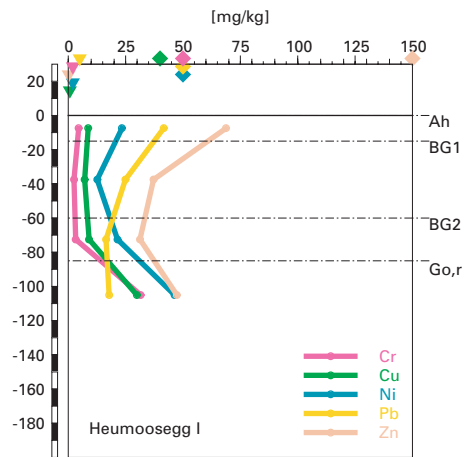
Der Cr-Gehalt ist in diesem Boden in den obersten beiden Horizonten maximal und wird in grösserer Tiefe etwas niedriger ([Abb. V 16.16](#)). Nickel verhält sich umgekehrt. Von einem minimalen Gehalt im Ah- und BG1-Horizont nimmt Ni zum BG2-Horizont stark zu und bleibt darunter konstant.



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



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



**Abb. V16.16 (links)** Schwermetalle: effektive Totalgehalte

**Abb. V16.17 (rechts)** Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

Der Cu-Gehalt ist im untersten Horizont viel grösser als im übrigen Profil. Zink weist maximale Gehalte im obersten und untersten Horizont auf. Im BG1-Horizont befindet sich ein ausgeprägtes Zn-Minimum. Der Pb-Gehalt ist im Ah-Horizont maximal. Im darunterliegenden BG1-Horizont ist er viel kleiner. Im BG2-Horizont ist er wieder etwas grösser. Im Go,r-Horizont ist Pb nicht mehr nachweisbar.

#### V 16.5.2

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

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Molassemergel (Lithofazies 21) liegen der Pb-Gehalt im Go,r-Horizont unterhalb, die übrigen Schwermetall-Gehalte oberhalb typischer Wertebereiche.

Anmerkung: Aufgrund unserer Daten lässt sich nicht sagen, inwieweit der Go,r-Horizont das unveränderte Ausgangsgestein repräsentiert und die auf diesem Horizont basierende Beurteilung richtig ist.

Bezogen auf die VBBo sind die Gehalte der Schwermetalle vom Ah- bis zum BG2-Horizont mit Ausnahme eines hohen Pb-Gehaltes im Ah-Horizont sehr niedrig bis niedrig (Abb. V 16.17). Der Go,r-Horizont weist niedrige Zn- und Pb-Gehalte, einen erhöhten Cr-Gehalt und hohe Ni- und Cu-Gehalte auf. Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

Da nicht bekannt ist, inwieweit der Go,r-Horizont das unveränderte Ausgangsgestein repräsentiert, können keine Aussagen bezüglich Anreicherung oder Verarmung relativ zum Ausgangsgestein gemacht werden.

Gegenüber dem untersten Horizont ist der ganze übrige Teil des Bodens deutlich an Cr, Ni, Cu und Zn verarmt (Tab. V 16.4). Die Verarmung kann mit der Mobilisierung durch eine kombinierte Wirkung der stark sauren Verhältnisse und der Freisetzung von mit Eisenoxiden assoziierten Metallen in wassergesättigten Perioden erklärt werden. Ein Teil der mobilisierten Schwermetalle dürfte durch lateralen Abfluss aus dem Profil ausgewaschen werden. Der andere Teil wird im Go,r-Horizont wegen der alkalischen Verhältnisse oder der Bildung schwerlöslicher Metallsulfide in wassergesättigten Phasen immobilisiert und angereichert.

Der maximale Pb-Gehalt im Ah-Horizont (Abb. V 16.16) ist ein Hinweis auf anthropogenen Eintrag. Der gegenüber dem BG1-Horizont erhöhte Anreicherungsfaktor für Zn (Tab. V 16.4) und der erhöhte Zn-Gehalt (Abb. V 16.16 und V 16.17) lassen sich mit der Rückführung des Mikronährstoffs Zn mit der Streu in den Oberboden erklären.

**Tab. V 16.4****Anreicherungs faktoren**

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungs faktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0–15	0.49	0.14	0.12	n.b.	0.46
BG1	15–60	0.45	0.07	0.11	n.b.	0.25
BG2	60–85	0.56	0.17	0.52	n.b.	0.43
Go,r	>85	1.00	1.00	1.00	n.b.	1.00

## Schwermetallmobilität

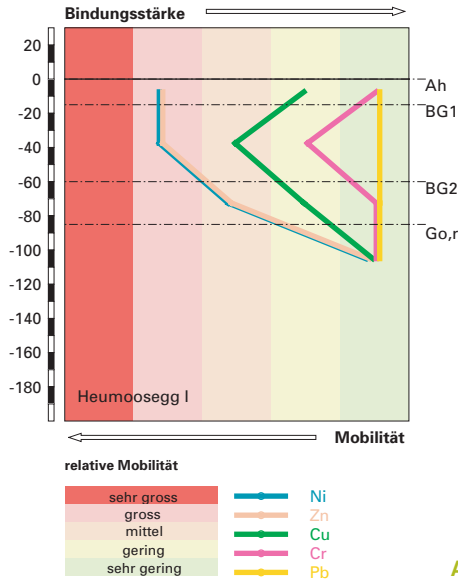


Abb. V16.18 Mobilität der Schwermetalle

### V16.5.5

### Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

Im stark sauren oberen Teil des Bodens (Ah- und BG1-Horizont, Abb. V16.13) werden die Mobilität von Ni und Zn als gross, diejenige von Cu als gering bis mittel, diejenige von Cr als sehr gering bis gering und die Pb-Mobilität als sehr gering geschätzt (Abb. V16.18). Im Ah-Horizont wird dabei die Mobilität von Cr, Cu und Pb durch den hohen Gehalt an organischer Substanz (Abb. V16.8) reduziert. Der hohe Tongehalt (Abb. V16.4) beeinträchtigt die Mobilität von Cr und Pb im Ah- und BG1-Horizont. Im mässig sauren BG2-Horizont geht die geschätzte Mobilität von Ni und Zn auf mittel zurück und im alkalischen Go,r-Horizont wird die Mobilität aller Schwermetalle als sehr gering beurteilt. Der Tongehalt beeinträchtigt die Mobilität von Cr und Pb im BG2- und Go,r-Horizont, diejenige von Cu und Zn nur im Go,r-Horizont.

Aufgrund der Anreicherungs faktoren (Tab. V16.4) ist davon auszugehen, dass die effektive Mobilität aller Schwermetalle im Profilbereich vom Ah- bis zum BG2-Horizont gegenüber der geschätzten und in Abb. V16.18 dargestellten Mobilität grösser ist. Ursache dafür ist die Freisetzung von mit Eisenoxiden assoziierten Metallen während wassergesättigter Perioden in den BG-Horizonten. Umgekehrt verringert im unteren Teil des Bodens die Bildung schwerlöslicher Sulfide die Mobilität zusätzlich.

Die Gefahr einer Belastung des Grundwassers mit Schwermetallen durch vertikalen Abfluss wird aufgrund der alkalischen Verhältnisse im Go,r-Horizont und der zusätzlichen Immobilisierung der Schwermetalle als Sulfide als gering eingeschätzt. Durch lateralen Abfluss aus den BG-Horizonten könnten allerdings Oberflächengewässer gefährdet sein, wobei aufgrund der Gehalte in diesen Horizonten vor allem Cr, Ni und Zn von Bedeutung sind.

#### **V 16.5.6      Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen**

---

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

### **V 16.6      Themenbereich «Nährstoffe»**

---

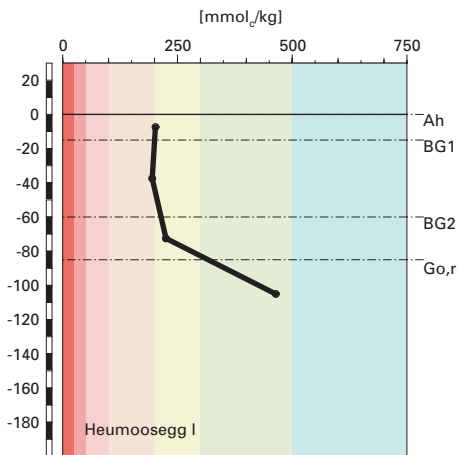
#### **V 16.6.1      Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden**

---

Aufgrund der Humusform wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden vom Profilort Heumoosegg I als gut beurteilt. Das relativ gut abbaubare Streugemisch von Tanne, Fichte und den Pflanzen aus der Krautschicht wird innerhalb eines Jahres praktisch vollständig zersetzt, so dass sich nur eine dünne Streuschicht gebildet hat und die Humusform als Mull bezeichnet wird. Der pH-Wert liegt bis 85 cm Tiefe zwischen 4.3 und 4.7 und der Go,r-Horizont ist bereits leicht karbonathaltig. Das ergibt insgesamt ein bodenchemisches Milieu, welches einer grossen biologischen Aktivität förderlich ist. Trotzdem ist die Feinerde im Oberboden in Polyeder strukturiert. Vermutlich überprägt der Einfluss der Wechselfeuchtigkeit, welcher beim vorhandenen grossen Tongehalt durch Schrumpfen und Quellen zur Polyederbildung führt, die bei einer grossen biologischen Aktivität feinere Gefügebildung.

Das C/N-Verhältnis beträgt im Ah-Horizont 14 und ist typisch für die Humusform Mull. Das mässig enge C/N-Verhältnis ist mit einer hohen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Unter den Umsetzungsprozessen spielt die Mineralisierung, welche die Nährstoffe in eine pflanzenverfügbare Form bringt, eine wesentliche Rolle. Die Interpretation des C/N-Verhältnisses steht damit in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen. Das enge C/P-Verhältnis von 99 im Ah-Horizont deutet ebenfalls eine grosse biologische Aktivität an.

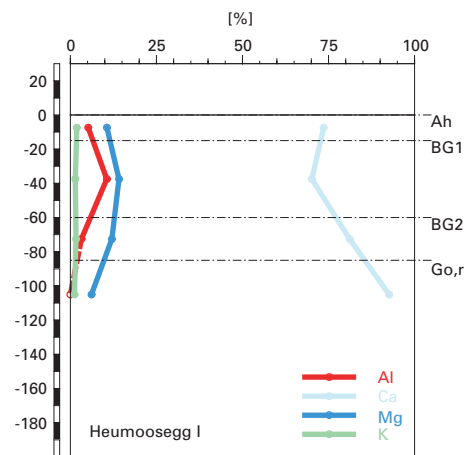
### Kationenaustauschkapazität (KAK)



#### 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. V16.19** (links) Kationenaustauschkapazität

**Abb. V16.20** (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

## V16.6.2

### Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) bewegt sich vom Ah- bis in den BG2-Horizont um einen Wert von 200 mmol<sub>c</sub>/kg (Abb. V16.19) und wird im Ah- und BG2-Horizont als hoch, im BG1-Horizont als mittel klassiert. Im Go,r-Horizont nimmt die KAK sprunghaft auf einen sehr hohen Wert von 464 mmol<sub>c</sub>/kg zu. Der im Oberboden grössere C<sub>org</sub>-Gehalt resultiert nicht in einer im Vergleich zum Unterboden grösseren KAK. Die Kationenaustauschkapazität ist damit ein Spiegelbild des Tongehaltes, welcher bis 85 cm Tiefe leicht und im Go,r-Horizont sprunghaft zunimmt. Der sehr hohe Wert im Go,r-Horizont ist zudem vermutlich durch Karbonatauflösung während der Extraktion bedingt.

Aufgrund der stark sauren pH-Verhältnisse mit pH-Werten von 4.3 und 4.4 im Ah- und BG1-Horizont würde man in diesen beiden Horizonten eine stärkere Verdrängung der Nährstoffkationen durch Aluminium von den Austauscherplätzen erwarten. Vermutlich wird jedoch durch basenreiches

Grundwasser die Belegung mit Nährstoffkationen in diesem Boden auf einem relativ hohen Niveau gehalten. Die Ca-Belegung hat mit 70% im BG1-Horizont den kleinsten Wert (Abb. V 16.20). Sie nimmt bis in den Go,r-Horizont auf rund 93% zu. Auch die Mg-Belegung ist mit 11% bis 14% in den obersten 85 cm Tiefe des Bodens relativ hoch und die K-Belegung bewegt sich wie in den meisten Böden zwischen 1% und 2% mit einer leichten Abnahme mit der Tiefe.

### V 16.6.3

### Nährstoffvorräte

In den Abb. V 16.21 bis V 16.23 sind die Vorräte an Ca, Mg und K dargestellt. Vor allem der Ca-Vorrat nimmt mit der Tiefe sehr stark zu. Etwas weniger stark ist die Zunahme beim Mg- und beim K-Vorrat. Im Hauptwurzelraum (bis 60 cm Tiefe) wird das Angebot an Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

Ca sehr hoch  
Mg hoch  
K mittel

#### Kalzium-Vorrat

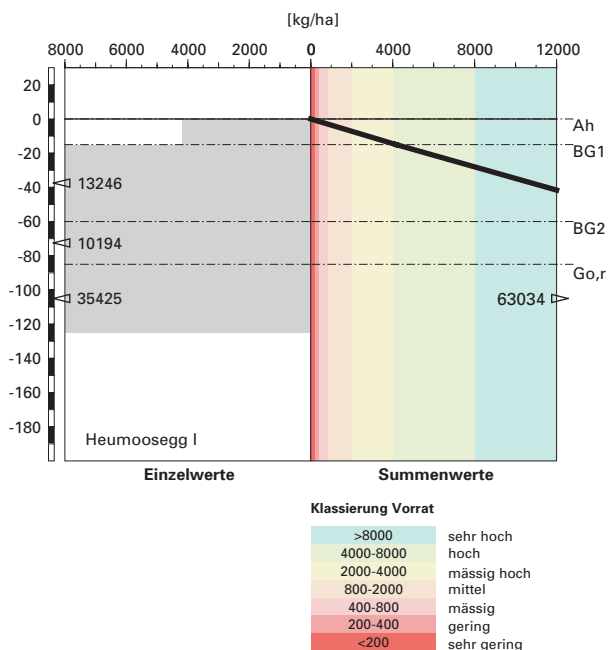


Abb. V 16.21 Vorrat an Kalzium

## Magnesium-Vorrat

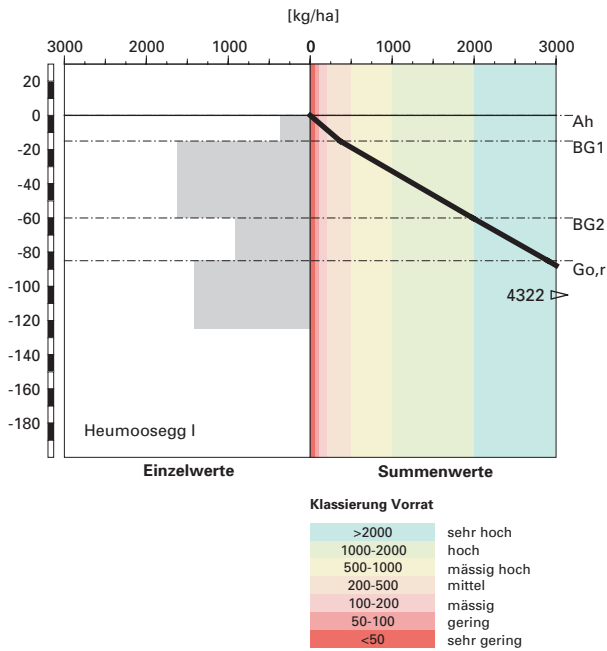


Abb. V16.22 Vorrat an Magnesium

## Kalium-Vorrat

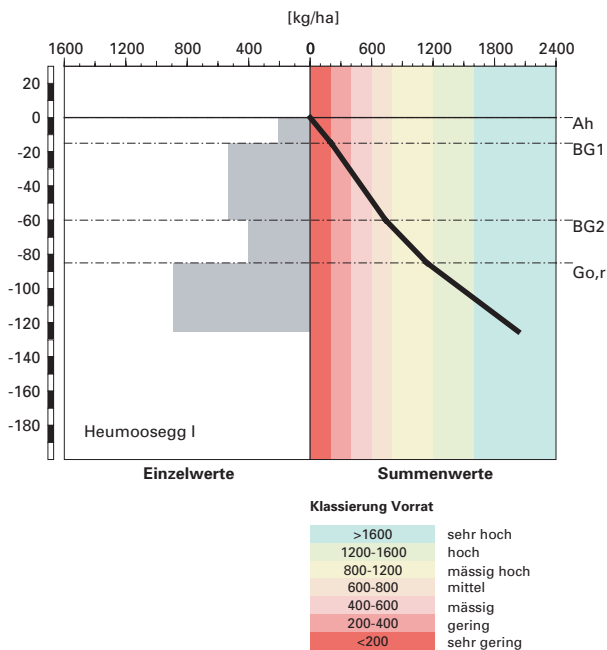


Abb. V16.23 Vorrat an Kalium



Da der Boden mindestens bis in eine Tiefe von 125 cm durchwurzelt werden kann, wird der Vorrat aller drei Nährstoffkationen unter Berücksichtigung der gesamten Profiltiefe als sehr hoch klassiert.

Es gilt zu beachten, dass die Versorgung mit Nährstoffen stark vom Wasserhaushalt abhängig ist. Diesbezüglich herrscht am Profilort Heumoosegg I ein kleines Trockenstressrisiko, so dass die sehr hohen Vorräte an Nährstoffkationen den Pflanzen praktisch uneingeschränkt zur Verfügung stehen.

## V 16.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

---

### V 16.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

---

Der Steckbrief (Tab. V 16.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

### V 16.7.2 Baumartenwahl

---

#### Naturnähe von Bestand und Oberboden

Im Bestand sind vor allem Tannen und Fichten sowie vereinzelte Buchen vertreten. Im Naturwald wäre weniger Nadelholz vorhanden, weshalb die derzeitige Baumartenmischung als nicht naturnah eingestuft wird. Nach Ott et al. (1997) ist an diesem Waldstandort (E & K18) die Humusform Mull häufig. Den vorhandenen Mull bewerten wir demnach als standorttypisch.

#### Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Tannen-Buchen-Standort (Einheit 18) folgende Baumarten für die Waldverjüngung vorgesehen: Buche, Tanne, Fichte, Bergahorn und Vogelbeere. An diesem Standort kann also gemäss BUWAL vor allem aufgrund des ziemlich rauen Klimas nur eine begrenzte Anzahl Baumarten verjüngt werden. Ob und inwieweit zusätzlich zum Klima auch ungünstige Bodeneigenschaften die Baumartenauswahl einschränken, wird gleich nachfolgend beschrieben.

<b>Tab. V16.5      Steckbrief für die Waldbehandlung (Heumoosegg I)</b>		
<b>Standortangaben</b>		
Relief	Höhe	1110 m ü. M.
	Exposition	N
	Neigung	23 %
Klima	Jahresniederschlag	1785 mm
	Jahrestemperatur	6.1°C
Ausgangsgestein	Hangtone	
Baumbestand	Struktur	einschichtig
	Schlussgrad	70 %
	Baumarten (Deckung)	30 % Weisstanne, 30 % Fichte, 2 % Rotbuche
	Oberhöhe	25 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr. 18: Typischer Tannen-Buchenwald
	nach BUWAL 2005	Einheit 18: Waldschwingel-Tannen-Buchenwald
<b>Bodenkennwerte</b>		
Bodensystematik	Humusform	Mull
	Bodentyp	Braunerde
	Vernässungsgrad	schwach grundnass
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Die Durchlüftung ist in diesem mässig stark hydromorph geprägten Boden ab 15 cm Tiefe zeitweise ungenügend. Die Vernässung erfolgt durch Hangwasser.
	Durchwurzelbarkeit	Das Wachstum der Wurzeln wird ab 15 cm Tiefe durch die zeitweise ungenügende Durchlüftung erschwert. Trotz dieser Einschränkung dürfte der Wurzelraum zumindest für die wenig empfindlichen Baumarten mehr als 120 cm mächtig und damit sehr tiefgründig sein. Die in Bezug auf Sauerstoffarmut empfindlichen Baumarten durchwurzeln den Boden vor allem oberflächlich. Wurzeln wurden bis 85 cm Tiefe beobachtet.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter dem gegebenen Klima besteht sowohl für die tief wurzelnden Baumarten als auch für jene mit oberflächlicherem Wurzelwerk ein bloss kleines Trockenstress-Risiko.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Die Kalkgrenze verläuft unterhalb der Profilsohle, also unterhalb von 125 cm Tiefe. Die Feinerde ist in 0–60 cm Tiefe stark sauer, in 60–85 cm mässig sauer und tiefer im Profil alkalisch.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Mull weist auch das mässig enge C/N-Verhältnis im Ah-Horizont auf eine hohe Mineralisierungsrate hin. Unterstützt wird diese Aussage durch das enge C/P-Verhältnis im Ah-Horizont. Die biologische Aktivität wird gesamthaft als hoch klassiert.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen bis 120 cm Tiefe sind insgesamt sehr gross, wobei alle drei Nährstoffkationen einen sehr hohen Vorrat haben.
Verankerung	Die Tiefwurzler können sich gut, die oberflächlicher wurzelnden Baumarten dagegen nur mässig gut im Boden verankern.	
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen.	

## **Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl**

### ■ **Durchwurzelbarkeit des Bodens**

Diese schwach grundnasse Braunerde lässt sich nur eingeschränkt durchwurzeln. Dies gilt vor allem für empfindliche Baumarten wie Buche und Fichte, welche in diesem oft vernässten Boden ein relativ oberflächliches Wurzelwerk bilden. Wir empfehlen, vor allem jene Baumarten einzubringen, welche den Boden tief durchwurzeln können, wie beispielsweise die Tanne. Mit ihrem tief greifenden Wurzelwerk vermag sie den Boden umfassender zu nutzen, was die Verankerung des Bestandes verbessert.

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

Die Entwässerung dieses häufig vernässten Bodens durch tief wurzelnde Baumarten bewirkt eine Bodenverbesserung.

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

Es besteht bloss ein kleines Risiko für Trockenstress. Im Boden ist sowohl für die tief wurzelnden Baumarten als auch für jene mit einem oberflächlicheren Wurzelwerk meistens ein ausreichender Wasservorrat verfügbar. Dieses Kriterium schränkt die Baumartenauswahl nicht ein.

### ■ **Säurezustand und Aluminium-Toxizität**

Obwohl der Boden bis 60 cm Tiefe stark sauer ist, übertrifft die Basensättigung in allen Horizonten 86%. Eine weitere Abnahme des pH-Wertes und der Basensättigung ist gedämpft, da dieser Boden periodisch bis nahe an die Bodenoberfläche mit basenreichem Fremdwasser gesättigt ist. Eine Verbesserung des Säurezustandes durch entsprechende Baumartenwahl drängt sich nicht auf. Der Säurezustand schränkt damit die Baumartenauswahl nicht ein.

### ■ **Nährstoffangebot im Boden**

Die biologische Aktivität im Oberboden ist hoch. Eine Erhöhung der Mineralisierung durch Einbringen geeigneter Baumarten ist grundsätzlich nicht nötig. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass durch den Ersatz des aktuell zu hohen Nadelholzanteils mit Laubholz eine noch bessere Nährstoffumsetzung erzielt werden kann.

Die in allen Horizonten relativ ausgeglichenen Gehalte an Nährstoffkationen und deren bis 120 cm Tiefe sehr 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.

Aufgrund des ziemlich rauen Klimas lässt sich an diesem Tannen-Buchen-Standort nur eine begrenzte Anzahl Baumarten einbringen. Zudem schränken zwei der von uns betrachteten bodenkundlichen Kriterien, die beide vom Klima abhängig sind, die Baumartenauswahl ein. Die beiden kritischen Eigenschaften sind die Durchwurzelbarkeit und die biologische Entwässerung des Bodens. Die in **Tab. V 16.6** enthaltene Baumartenempfehlung vom BUWAL (2005) ist hinsichtlich dieser einschränkenden Kriterien zu hinterfragen.

Aus bodenkundlicher Sicht sind an diesem Waldstandort Baumarten zu fördern, die den Boden tief durchwurzeln, wie etwa die Bergulme oder die Tanne. Diese Baumarten können die von uns als kritisch erachteten Bodeneigenschaften ertragen. Sie nutzen den temporär vernässten Boden tiefgründig und erhöhen mit ihrem tief verankerten Wurzelwerk die Bestandesstabilität. Ihre tief greifenden Wurzeln bringen eine wirkungsvolle Drainage mit entsprechender Bodenverbesserung.

Von den in **Tab. V 16.6** empfohlenen Baumarten (BUWAL 2005) ist aus bodenökologischer Sicht vor allem die Tanne geeignet. Die Buche, der Bergahorn und die Fichte sind aufgrund ihrer oberflächlichen Durchwurzelung weniger geeignet. Da sie aber gemäss BUWAL (2005) auf diesem Standort von Natur aus vorkommen, sind auch sie zu fördern. Ergänzend zum BUWAL (2005) lässt sich aus bodenkundlicher Sicht die Bergulme im Hauptbestand einbringen.

**Tab. V 16.6**      **Baumartenempfehlung für den Hauptbestand**

Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 18; BUWAL 2005)	Buche, Tanne, Fichte, Bergahorn, Vogelbeere
Bodenkundliche Kriterien	Buche, Tanne, Fichte, Bergahorn, Vogelbeere

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

---

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

---

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

---

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

---

Richard, F. / Lüscher, P., 1987: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz (Lokalformen). Hrsg. Eidg. Anst. für das forstl. Versuchsw. und Eidg. Techn. Hochschule Zürich, Inst. für Wald- und Holzforschung, Fachbereich Bodenphysik. Band 4.

---

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

---