

## V13      Bodenprofil Heumoosegg III

---

### V13.1      Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

---

#### V13.1.1      **Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren**

---

Das Bodenprofil ist in [Abb.V13.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.V13.2](#). [Tab.V13.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Heumoosegg III zusammen, und [Tab.V13.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

#### V13.1.2      **Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz**

---

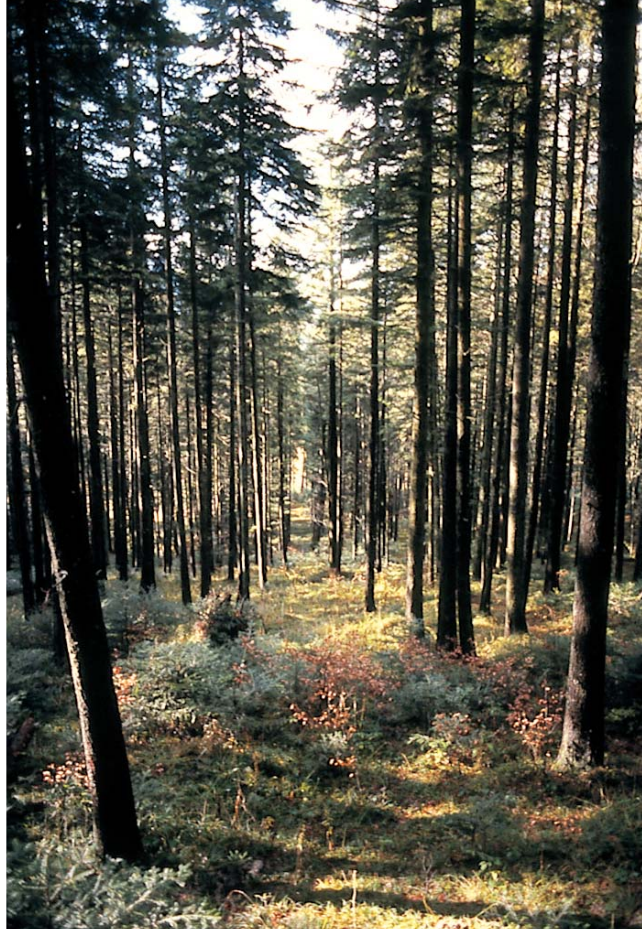
Das Profil gehört zur Kartierungseinheit P2 (Alpenrand, vorwiegend Nagelfluh; Hanglagen, vorwiegend südexponiert, Ostschweiz, Hangneigung <35%). 28 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 0.2 % der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

#### V13.1.3      **Besonderheiten am Profilort**

---

Bei diesem Bodenprofil handelt es sich um die Lokalform Heumoosegg III (Richard und Lüscher 1987). Es repräsentiert die im Flyschgebiet der Voralpen häufigen Gleyböden.

Im Schachtelhalm-Tannenmischwald wechseln sich saure Kuppen und vernässte, basenreiche Mulden ab. Das Bodenprofil repräsentiert die Muldenlage, die Vegetationsaufnahme dagegen umfasst die Pflanzen in den Mulden und auf den Kuppen. Die in den Themenbereichen beschriebenen Bodeneigenschaften gelten nur für Muldenlagen. Auf den Kuppen ist der Boden weniger vernässt, stärker versauert und nährstoffärmer als in den Mulden. Zudem weist der Oberboden auf den Kuppen meistens eine geringere biologische Aktivität mit einer entsprechend langsameren Umsetzung der organischen Substanz auf.



**Abb. V13.1** (links) Bodenprofil Heumoosegg III

**Abb. V13.2** (rechts) Bestand am Profilort Heumoosegg III

<b>Tab. V13.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Heumoosegg III</b>	
Lokalname	Heumoosegg III (Kanton Zug, Gemeinde Walchwil)
Lage	Landeskarte 1:25000 Blatt 1151, Rigi Koordinaten 684680/216850
Waldgesellschaft (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 49: Schachtelhalm-Tannenmischwald ( <i>Equiseto-Abietetum</i> )
Horizontfolge	L-AG1-AG2-Go-Go,r-Gr
Humusform	Feuchtmull
Bodentyp	Gley, grundnass
Bodentyp (FAO 1988)	Mollic Gleysol

<b>Tab. V13.2      Bodenbildungsfaktoren am Profilort Heumoosegg III</b>			
Relief	Höhe ü. M.	1070 m	
	Exposition	SW	
	Neigung	23 %	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Molassebecken; bunte Mergel (Hangtone) der unteren Süsswassermolasse	
	Lithofazies	Nr. 21: Molassemergel und -tongesteine	
	(nach Tuchschnid 1995)	physikalische Verwitterbarkeit Gestein: mittel – gross	chemische Verwitterbarkeit Gestein: klein
		Tongehalt Gestein:	mittel – hoch
Klima	T/N Jahresmittel	6.2°C/1719 mm	
	T/N Januarmittel	– 1.3°C/84 mm	
	T/N Julimittel	15.3°C/179 mm	
	Tage mit Schneedecke	120	
	Wärmegliederung	ziemlich rauh	
	Länge der Vegetationsperiode	150 – 165 Tage	
Pflanzen	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (25 m Höhe)	50 %	30 % Weisstanne ( <i>Abies alba</i> ) 30 % Fichte ( <i>Picea abies</i> ) 2 % Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> )
	Strauchschicht	40 %	–
	Krautschicht	80 %	Brombeere ( <i>Rubus fruticosus</i> ) gemeiner Sauerklee ( <i>Oxalis acetosella</i> ) Wald-Schachtelhalm ( <i>Equisetum sylvaticum</i> ) Sumpf Pippau ( <i>Crepis paludosa</i> ) Dotterblume ( <i>Caltha palustris</i> ) Heidelbeere ( <i>Vaccinium myrtillus</i> )
	Moosschicht	30 %	–

#### V13.1.4      **Profilmorphologie und Klassierung**

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in **Tab. V13.3** zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

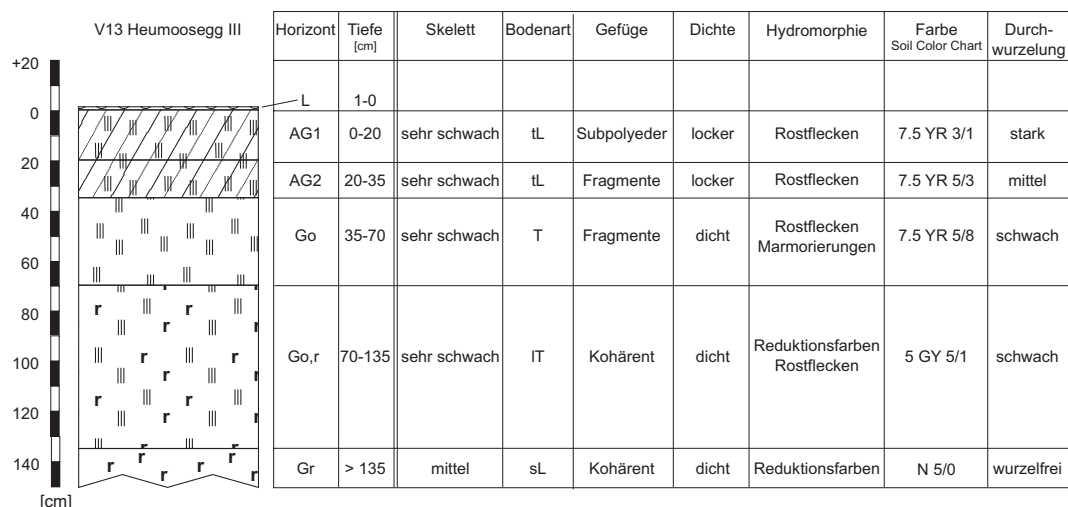
In Muldenlagen wird die von Nadelbäumen und von krautigen Pflanzen anfallende Streu rasch zersetzt, so dass sich an der Bodenoberfläche praktisch keine Pflanzenrückstände ansammeln. Die Rostflecken im humosen und durch Subpolyeder aggregierten Oberboden zeigen, dass die Vernässung zeitweise bis an die Bodenoberfläche reicht. Die Horizontfolge des Oberbodens wird mit L-AG bezeichnet und die Humusform als Feuchtmull klassiert.

Aufgrund der morphologischen Merkmale lassen sich im 1.5 m tief aufgeschlossenen Mineralboden fünf Horizonte unterscheiden. Das Profil ist stark hydromorph geprägt, was an der fehlenden Verbraunung und an den markanten Vernässungsmerkmalen ersichtlich ist.

Tab. V13.3

**Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Heumoosegg III**

Bodenart: tL toniger Lehm, T Ton, IT lehmiger Ton, sL sandiger Lehm



Die obersten 20 cm des Mineralbodens sind aufgrund des grossen Humusgehaltes bräunlich schwarz gefärbt. Die in der dunklen Matrix vorhandenen Rostflecken sind nur aus der Nähe erkennbar. In 20–35 cm Tiefe ist die von Rostflecken durchsetzte Feinerde heller und ihre matt braune Farbe deutet einen nur noch geringen Humusgehalt an. In 35–70 cm Tiefe sind in der braunen Bodenmatrix zusätzlich zu den Rostflecken vereinzelt Marmorierungen vorhanden. In der Tiefenstufe 70–135 cm sind zahlreiche Rostflecken in der gräulichen Bodenmatrix erkennbar. Die grauen Bereiche kommen durch reduktive und die Rostflecken durch oxidative Prozesse zustande. Ab 135 cm Tiefe ist die Feinerde ziemlich homogen grau gefärbt, was auf ständigen Sauerstoffmangel und damit auf stets reduktive Bedingungen in dieser Zone hinweist. Die bis 135 cm Tiefe vorhandenen und nur teilweise verrotteten Baumwurzeln deuten einen langsamen Abbau der organischen Substanz im sauerstoffarmen Unterboden an.

Der skelettarme Boden ist bis 135 cm Tiefe tonreich, weiter unten im Profil sandig. Der humose Oberboden hat trotz hohem Tongehalt eine Subpolyederstruktur. Die tieferen Bodenschichten sind wenig strukturiert und haben eine Fragmentstruktur oder ein Kohärentgefüge. Die Dichte nimmt vom lockeren Oberboden bis zur Profilssole deutlich zu. Wurzeln wurden bis rund 135 cm Tiefe beobachtet.

Die Horizontfolge des Profils lautet L-AG1-AG2-Go-Go,r-Gr. Demnach wird der Boden als grundnasser Gley klassiert. Die temporäre Vernässung erfolgt durch Hangwasser.

### Ergänzende Bodenmerkmale

Die Kalkgrenze verläuft in 135 cm Tiefe. Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde oberhalb der Kalkgrenze mässig sauer. Die Obergrenze des Gr-Horizontes in 135 cm Tiefe stellt für fast alle Baumarten eine Durchwurzelungsbarriere dar, die sich infolge permanenter Sauerstoffarmut im Gr-Horizont nicht überwinden lässt.

## V13.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

---

### V13.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

---

#### Skelettgehalt

Der Boden ist bis 135 cm Tiefe schwach skeletthaltig (Abb. V13.3). Ab 135 cm Tiefe ist der Skelettgehalt mit rund 15% mittel.

#### Bodenart

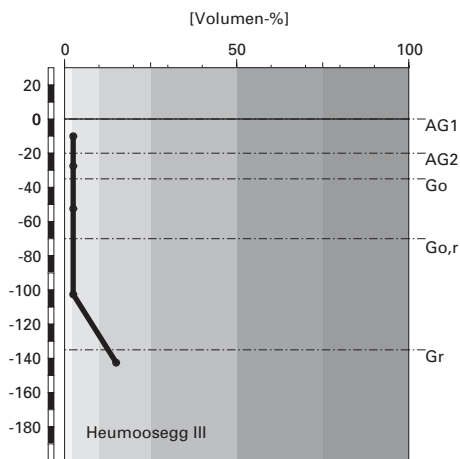
Die Korngrössenzusammensetzung variiert zwischen den einzelnen Horizonten relativ stark (Abb. V13.4). Dies wird durch den geschichteten Aufbau der Boden bildenden Hangtone (Molasse) verursacht. Die unterschiedliche Korngrössenzusammensetzung in den einzelnen Horizonten ist also weniger durch bodengenetische Prozesse als vielmehr durch das heterogene Ausgangsgestein bedingt. Dies ist besonders deutlich im Gr-Horizont ersichtlich, dessen Feinerde viel grobkörniger ist als jene in den anderen Horizonten. Gemessen an seinem Tongehalt gilt der Boden bis 135 cm Tiefe als schwer bis extrem schwer und im Gr-Horizont als mittelschwer. Die im Feld ermittelte Bodenart stimmt gut mit den Labor-Messresultaten überein (Tab. V13.3).

#### Bodendichte

In diesem Profil wurde die Boden-Dichte anstelle der Feinerde-Dichte gemessen. Da der Boden bis 135 cm Tiefe wenig Skelett enthält, entspricht die Boden-Dichte in dieser Tiefenstufe der Feinerde-Dichte. Im Gr-Horizont können wir keine Angaben zur Feinerde-Dichte machen, weil der Skelettgehalt zu gross ist. Die obersten 35 cm des Bodens haben eine äusserst bis sehr geringe Dichte, tiefer im Profil ist sie mittel (Abb. V13.5). Der maximale Dichtewert liegt mit  $1.46 \text{ g/cm}^3$  im Go-Horizont. Ab 35 cm Tiefe ist der für das Wurzelwachstum kritische Wert von  $1.4 \text{ g/cm}^3$  leicht überschritten.



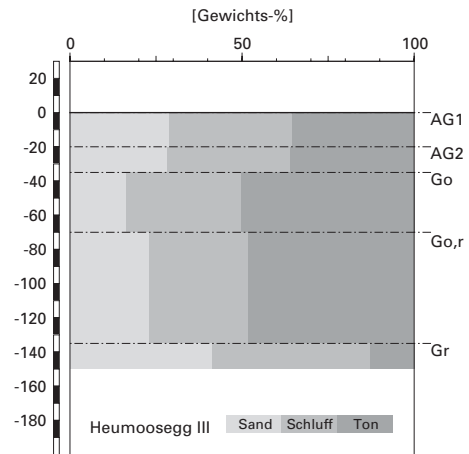
## Skelettgehalt



### Klassierung Skelettgehalt

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

## Bodenart



**Abb. V13.3 (links)** Skelettgehalt

**Abb. V13.4 (rechts)** Bodenart

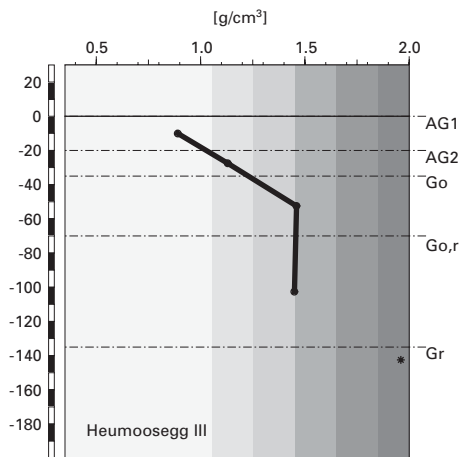
## Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Im Profil sind drei Zonen mit sehr unterschiedlicher Durchlässigkeit vorhanden. Der Oberboden ist derart locker, dass seine Durchlässigkeit auf 100 cm/Tag geschätzt wird, was einem hohen Wert entspricht (Abb. V13.6). Im tonreichen und mässig dichten, mittleren Profilbereich ist die Leitfähigkeit gering. Der relativ grobkörnige Gr-Horizont an der Profilschle ist wiederum hoch durchlässig.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe beträgt 181 l/m<sup>2</sup>, was als sehr hoch klassiert wird (Abb. V13.7).

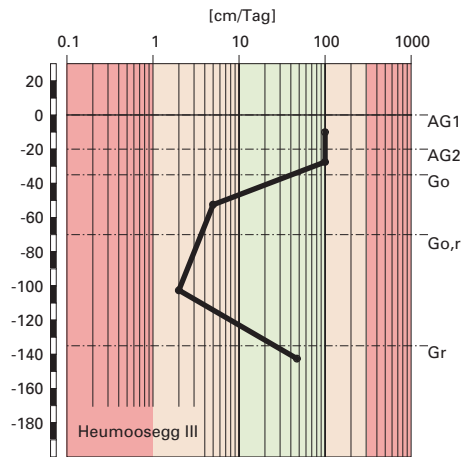
## Boden-Dichte



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



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

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

Abb. V13.5 (links) Dichte des Bodens

Abb. V13.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

## V13.2.2

### Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

#### Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Dieser grundnasse Gley ist profilumfassend hydromorph geprägt. Bis 70 cm Tiefe kommen als oxidative Merkmale Rostflecken und Marmorierungen vor und in 70 bis 135 cm Tiefe gesellen sich reduktive Vernässungsmerkmale dazu. Unterhalb von 135 cm Tiefe herrschen andauernd anaerobe, reduzierende Bedingungen, so dass dort keine oxidativen Merkmale entstehen können. Die Vernässung erfolgt durch Hangwasser.

#### Durchwurzelbarkeit des Bodens

Die Gründigkeit des Bodens beträgt je nach Baumart maximal 135 cm. Während wenig empfindliche Baumarten wie die Tanne ihre Wurzeln in die temporär vernässte Zone (0–135 cm Tiefe) vortreiben können, ist dort das Wurzelwachstum der empfindlichen Baumarten wie beispielsweise

## pflanzenverfügbares Wasser

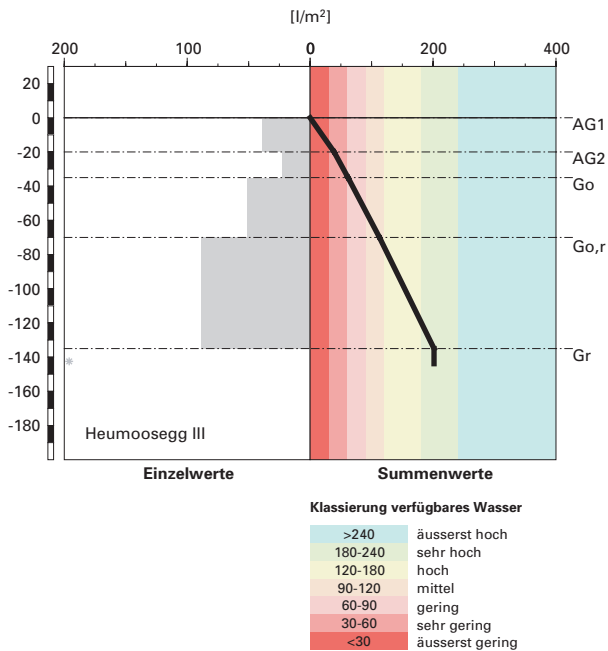


Abb. V13.7 Pflanzenverfügbares Wasser

der Fichte zwar nicht vollständig unterbunden, aber doch deutlich eingeschränkt. Einschränkend wirkt sowohl die temporär ungenügende Durchlüftung als auch die Dichte, welche ab 35 cm Tiefe den als kritisch erachteten Wert von  $1.4 \text{ g/cm}^3$  leicht überschreitet. Ab 135 cm Tiefe herrschen im ständig vernässten Gr-Horizont permanent reduzierende Bedingungen. Diese Zone kann auf der Heumoosegg von keiner Baumart durchwurzelt werden. Interessant ist die Beobachtung, dass Wurzeln des Schachtelhalmes bis zur Profilsohle und damit selbst im stets anaeroben Gr-Horizont vorkommen.

Obwohl der Wurzelraum lediglich 135 cm mächtig ist, wird der Boden damit als sehr tiefgründig klassiert. Er wird vom aktuellen Mischbestand aus Tannen, Fichten und Buchen gut genutzt, denn Wurzeln sind bis 135 cm Tiefe vorhanden. Teilweise verrottete Wurzeln ehemaliger Bäume zeigen, dass sich der Boden selbst von dicken Wurzeln bis an die Obergrenze des Gr-Horizontes erschliessen lässt (Abb. V13.1).



### **Wasserversorgung des Baumbestandes**

Bis zur 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 der nicht optimalen Speicherleistung von pflanzenverfügbarem Wasser beurteilen wir das Trockenstress-Risiko an diesem Tannen-Fichtenstandort (E & K 49) sowohl für die tief wurzelnden Baumarten als auch für die Arten mit oberflächlicherem Wurzelwerk als klein. Zu diesem Schluss kommen wir, weil erstens im Hinblick auf Trockenstress ein günstiges Klima herrscht und zweitens der Wurzelraum laufend mit Hangwasser versorgt wird und demnach kaum je stark austrocknen dürfte.

### **Bodenbefahrbarkeit**

Der tonreiche Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er bis in grosse Tiefen wenig Skelett enthält. Im Winter ist das Befahren aus der Sicht des Bodenschutzes fast immer problematisch, da dieser Gley dann oft bis an die Bodenoberfläche mit Wasser gesättigt ist und höchstens oberflächlich gefriert.

## **V13.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»**

---

### **V13.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile**

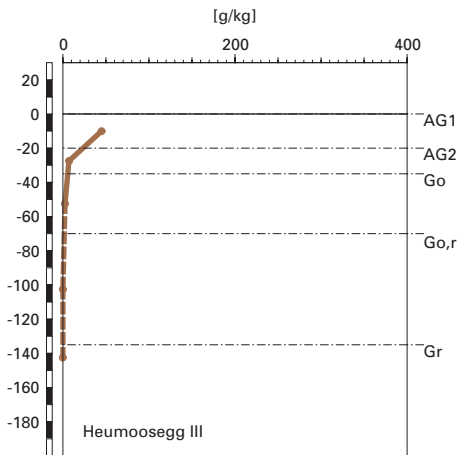
---

#### **Organische Substanz**

Der Baumbestand am Profilort Heumoosegg III setzt sich aus Weisstanne, Fichte und einzelnen Rotbuchen zusammen. Die Deckung der Baumschicht beträgt bloss 50 %, so dass eine üppige Krautschicht mit einem Deckungsgrad von 80 % gedeiht. Diese besteht hauptsächlich aus Brombeere, Wald-Schachtelhalm, Sumpf-Pippau, Dotterblume und Heidelbeere. Die Streu stammt vor allem von den Tannen und Fichten in der Baumschicht, zu einem wesentlichen Anteil aber auch von den Pflanzen aus der Krautschicht. Während die Streu von Tanne und Fichte schlecht abbaubar ist, verbessern die Krautpflanzen die Streuqualität. Es hat sich deshalb nur eine dünne Streuschicht gebildet.

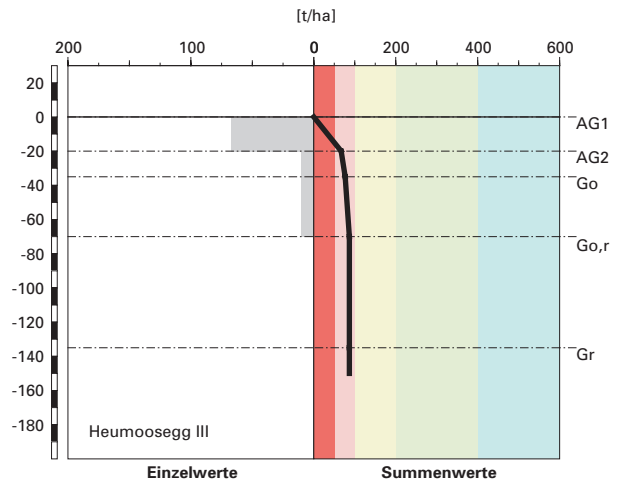
Der bräunlich schwarze AG1-Horizont hebt sich deutlich von den tiefer gelegenen Mineralerdehorizonten ab. Sein Gehalt an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) beträgt 4.5 % (Abb. V13.8). Im matt braunen AG2-Horizont sind nur noch 0.7 % und im Go-Horizont 0.2 %  $C_{org}$  vorhanden. Aus diesen  $C_{org}$ -Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 87 t/ha (Abb. V13.9).

### organischer Kohlenstoff



### Kohlenstoff-Vorrat

(C<sub>org</sub>)



#### Klassierung Vorrat

>400	sehr hoch
200-400	hoch
100-200	mittel
50-100	gering
<50	sehr gering

**Abb. V13.8 (links)** Gehalt an organischem Kohlenstoff

**Abb. V13.9 (rechts)** Vorrat an organischem Kohlenstoff

### Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

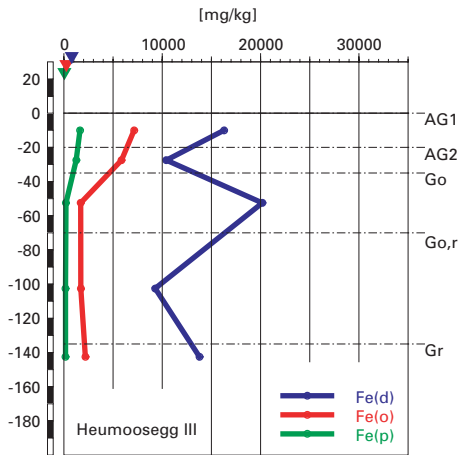
Der Tongehalt nimmt vom AG1-Horizont von 35% auf den grössten Gehalt von 50% im Go-Horizont zu (Abb. V13.4). In den tiefer gelegenen Horizonten nimmt der Tongehalt zuerst wenig, im Gr-Horizont jedoch markant auf 13% ab.

Der Gehalt des Dithionit-extrahierbaren Eisens (Fe<sub>d</sub>) schwankt über die erschlossene Profiltiefe zickzack förmig um einen mittleren Gehalt von 14 g/kg Boden (Abb. V13.10). Sowohl die Oxalat- als auch die Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminium- und Eisengehalte (Al<sub>o</sub>, Al<sub>p</sub>, Fe<sub>o</sub>, Fe<sub>p</sub>) sind anders über die Profiltiefe verteilt (Abb. V13.10 und V13.11). Ihr Gehalt nimmt jeweils vom AG1- bis in den Go-Horizont relativ markant ab und bleibt im weiteren Tiefenverlauf mehr oder weniger konstant.

Das Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub>-Verhältnis ist im Oberboden am weitesten, nimmt in den Go-Horizont stark ab und bleibt in den tiefer gelegenen Horizonten relativ konstant (Abb. V13.12). Das Fe<sub>p</sub>/Fe<sub>o</sub>-Verhältnis nimmt mit der Tiefe von 0.2 im AG1- auf 0.1 im Gr-Horizont stetig ab. Das Al<sub>p</sub>/Al<sub>o</sub>-Verhältnis ist nur im Oberboden bestimmbar, wo es zwischen 0.3 und 0.4 liegt.

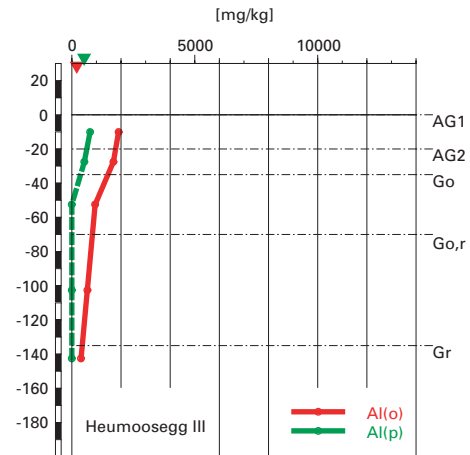
### Eisen-Oxide

(Gehalte)



### Aluminium-Oxide

(Gehalte)

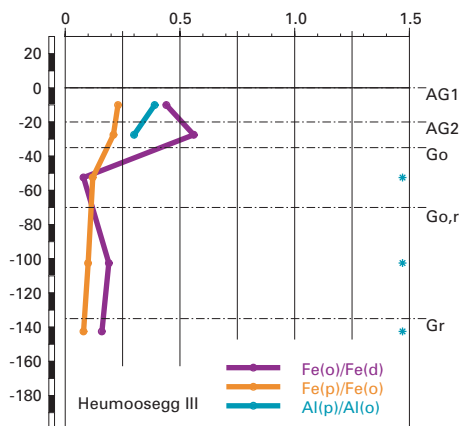


**Abb. V13.10** (links) Gehalte an Dithionit- ( $\text{Fe}_d$ ), Oxalat- ( $\text{Fe}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Fe}_p$ ) extrahierbarem Eisen

**Abb. V13.11** (rechts) Gehalte an Oxalat- ( $\text{Al}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Al}_p$ ) extrahierbarem Aluminium

### Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)



**Abb. V13.12** Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Die mässig gut abbaubare Tannen- und die schlecht abbaubare Fichtenstreu wird am Profilort Heumoosegg III durch einen wesentlichen Streubeitrag der Pflanzen aus der Krautschicht ergänzt, was die Streuqualität insgesamt verbessert. Die Streu wird innerhalb eines Jahres praktisch vollständig zersetzt, so dass an der Bodenoberfläche kaum Streuresten vorhanden sind. Da eine mehrjährige organische Auflage fehlt und der Mineralboden bis an die Bodenoberfläche vernässt ist, wird die Humusform als Feuchtmull klassiert. Zur schnellen Umsetzung der Streu tragen unter anderem die nur schwach sauren pH-Verhältnisse im Oberboden bei. Diese erlauben eine grosse biologische Aktivität, welche im bis mindestens 70 cm Tiefe ausreichend durchlüfteten Boden nicht durch anaerobe Verhältnisse beeinträchtigt wird. Anaerobe Verhältnisse kommen höchstens während kurzer Zeit im Frühjahr bei der Schneeschmelze oder nach intensiven Regenfällen vor. Auch die Regenwurmaktivität ist in diesem Boden gross. Die Regenwürmer sorgen für eine intensive Durchmischung von organischer Substanz und Mineralerde, was sich in diesem Boden aufgrund des grossen Tongehaltes allerdings nicht in einer typischen Krümel-, sondern in einer Polyederstruktur äussert. Im Mineralboden wird die organische Substanz durch die Mikroorganismen weiter mineralisiert. Nur ein geringer Teil der organischen Substanz wird über organo-mineralische Verbindungen vor weiterem Abbau geschützt. Deshalb konnte sich im gesamtschweizerischen Vergleich ein bloss geringer Vorrat von 87 t/ha aufbauen (Abb. V13.9).

Die Tiefenverteilung des Tongehaltes zeigt ein deutliches Maximum im Go- und Go<sub>r</sub>-Horizont (Abb. V13.4). Dies ist vermutlich nicht auf eine Tonverlagerung, sondern vielmehr auf eine Schichtung und entsprechende Inhomogenität im Ausgangsgestein (Hangtone) zurückzuführen.

Die Inhomogenität im Ausgangsgestein zeigt sich auch in der Tiefenverteilung von Fe<sub>d</sub> (Abb. V13.10). Das Dithionit-extrahierbare Eisen repräsentiert die gesamthaft extrahierbaren Eisenverbindungen. In Sedimentgesteinen, welchen die bunten Mergel und Hangtone am Profilort zugeordnet werden, liegen zahlreiche primäre, das heisst bereits bei der Sedimentierung vorhandene Eisenverbindungen vor. Durch sich ändernde Sedimentationsbedingungen entstehen Schichten im Sediment. Bei der Gesteinsbildung (Diagenese) bleiben diese Schichten erhalten und äussern sich sogar nach erfolgter Verwitterung des Gesteins durch Bodenbildungsprozesse in stark variierenden Bodeneigenschaften. So kann die zickzackförmige Tiefenverteilung von Fe<sub>d</sub> auf ein geschichtetes Ausgangsgestein zurückgeführt werden.

Die Oxalat- und Pyrophosphat-extrahierbaren Gehalte hingegen repräsentieren am Profilort Heumoosegg III aufgrund ihres im Vergleich zu  $\text{Fe}_d$  ganz anders verlaufenden Tiefenprofils vor allem Verbindungen, die während der Bodenbildung entstanden sind. Dabei fallen die grösseren  $\text{Al}_o$ - und  $\text{Fe}_o$ -Gehalte im Ober- im Vergleich zum Unterboden auf. Diese sind auf eine Verbraunung im AG1- und AG2-Horizont zurückzuführen, welche allerdings morphologisch durch die dunkle Farbe der organischen Substanz maskiert wird. Die im Oberboden erhöhten  $\text{Al}_p$ - und  $\text{Fe}_p$ -Gehalte sind mit dem Humus, welcher dort vorhanden ist, erklärbar.

Die Verbraunung widerspiegelt sich auch in den verschiedenen Verhältnissen der extrahierbaren Verbindungen. Alle Verhältnisse sind im Oberboden weiter als im Unterboden (Abb.V13.12).

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als grundnasser Gley klassiert. Die Interpretation der Bodenhauptbestandteile bestätigt diese Klassierung. Zusätzlich kann aufgrund der erhöhten Gehalte an Oxalat-extrahierbarem Aluminium und Eisen im Oberboden eine beginnende Verbraunung festgestellt werden.

## V13.4 Themenbereich «Säurezustand»

---

### V13.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

---

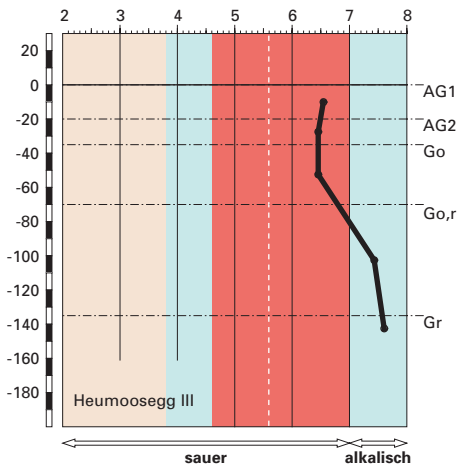
#### pH-Wert

Bis in 70 cm Tiefe ist dieser Boden schwach sauer, in den tiefer gelegenen Horizonten alkalisch (Abb.V13.13). Die pH-Werte liegen zwischen 6.5 im AG1- und 7.6 im Gr-Horizont. Der Profilteil bis in 70 cm Tiefe liegt in der Säureklasse 2, die tiefer gelegenen Partien befinden sich in der Säureklasse 1.

#### Austauschbare Kationen und Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist profilumfassend vollständig mit basischen Kationen belegt, wobei der verhältnismässig grosse Magnesiumanteil hervorzuheben ist (Abb.V13.14). Die Basensättigung beträgt im ganzen Boden nahezu 100 % und wird damit als sehr hoch bewertet (Abb.V13.15).

## 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

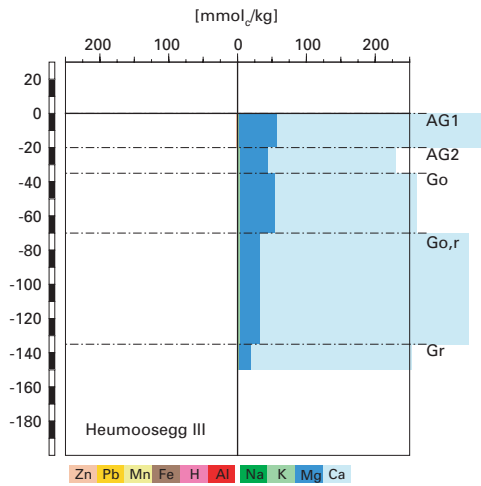
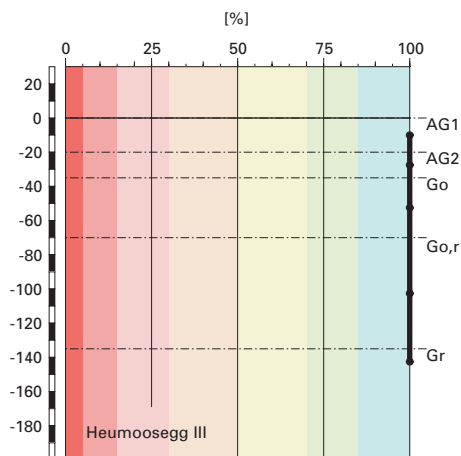


Abb. V13.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb. V13.14 (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. V13.15 Basensättigung



**Stand der Bodenversauerung**

Auf Grund des Tiefenverlaufes des pH-Wertes, der zwei Säureklassen umfasst, wird dieser grundnasse Gley als schwach versauert klassiert. Bis in eine Tiefe von 70 cm erfolgt die Säurepufferung entsprechend der Säureklasse 2 vorwiegend durch Silikatverwitterung. Im pH-Bereich dieser Säureklasse ist Aluminium unlöslich und kann nicht an den Austauschprozessen teilnehmen. Als Folge davon werden ein- und zweiwertige Metallkationen nicht von ihren Austauscherplätzen verdrängt. Der Boden bleibt vollständig basengesättigt und eine Versauerungsfront ist nicht erkennbar. Im Go<sub>r</sub>- und im Gr-Horizont werden die Säuren durch Auflösung des karbonathaltigen Ausgangsgesteins unter starker Freisetzung von Ca- und Mg-Ionen gepuffert. Vermutlich ist der grosse Magnesiumanteil am Kationenaustauscher gesteinsbedingt.

**Risiko für Boden und Pflanzen**

Das Risiko einer weiteren pH-Abnahme wird insgesamt als mässig beurteilt weil sich rund 43% der gesamten Feinerde des Bodens in der schwach puffernden Säureklasse 2 befinden. Diese empfindliche Zone liegt in den obersten 70 cm des Profils, wo der Versauerungsdruck am grössten ist. Allerdings wirkt die starke Vernässung einer pH-Abnahme entgegen, weil das karbonathaltige Grundwasser, welches temporär bis in den AG1-Horizont aufsteigt, zur Säurepufferung beiträgt. Ferner ist zu beachten, dass auch bei einer weiteren Abnahme des pH-Wertes in den oberen Profilpartien die Basensättigung dort nicht entsprechend abnehmen wird. Mit dem aufsteigenden Grundwasser werden basische Kationen aus dem karbonathaltigen Untergrund im Profil umverteilt und die starke Vernässung hemmt ausserdem die Auswaschung gelöster Stoffe aus dem Boden. Das Pflanzenwachstum wird durch keine versauerungsbedingten Faktoren negativ beeinflusst. Das BC/Al-Verhältnis liegt im ganzen Boden weit über dem kritischen Grenzwert von 0.2, sodass das Risiko einer Aluminiumtoxizität ausgeschlossen werden kann.

V13.5.1 **Tiefenverteilung der Schwermetalle**

---

Die Cr-, Cu- und Zn-Gehalte weisen in diesem Profil zwei Minima auf, eines im AG2- und eines im Gr-Horizont (Abb. V13.16). Der maximale Gehalt befindet sich bei Cr im Go,r-, bei Cu im Go- und bei Zn im AG1-Horizont. Nickel zeigt mit Ausnahme des Oberbodens eine ähnliche Tiefenverteilung des Gehaltes. Im Oberboden ist der Ni-Gehalt im AG1- niedriger als im AG2-Horizont. Der Pb-Gehalt ist im obersten Horizont maximal, darunter nimmt er kontinuierlich ab.

V13.5.2 **Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich**

---

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Molassemergel (Lithofazies 21) liegen der Cu und Pb-Gehalt im Gr-Horizont unterhalb, der Ni- und Zn-Gehalt innerhalb, und der Cr-Gehalt oberhalb typischer Wertebereiche.

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

V13.5.3 **Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo**

---

Bezogen auf die VBBo sind die Cr-, Cu-, Zn- und Pb-Gehalte in diesem Boden in den meisten Horizonten sehr niedrig bis niedrig (Abb. V13.17). Die Ausnahmen bilden ein erhöhter Cr-Gehalt im Go-, ein erhöhter Cu-Gehalt im Go,r- und ein hoher Pb-Gehalt im AG1-Horizont. Der Ni-Gehalt ist in den meisten Horizonten erhöht bis hoch. Im Go,r-Horizont allerdings ist er sehr hoch und überschreitet damit den Richtwert der VBBo.

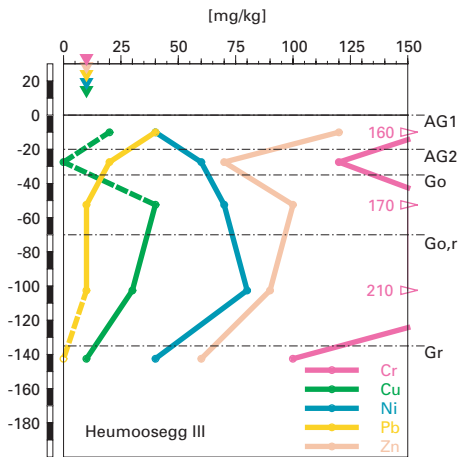
V13.5.4 **Anreicherungsfaktoren**

---

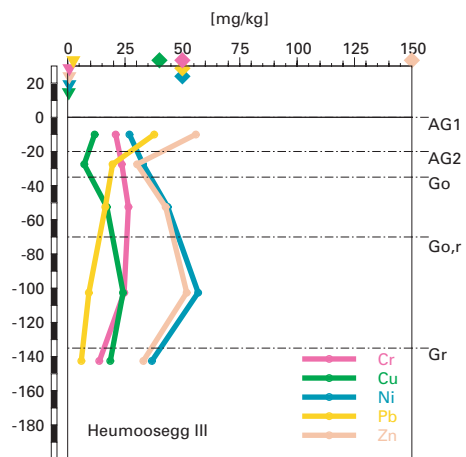
Da nicht bekannt ist, inwieweit der Gr-Horizont das unveränderte Ausgangsgestein repräsentiert, können keine Aussagen bezüglich Anreicherung oder Verarmung relativ zum Ausgangsgestein gemacht werden.

Der AG2-Horizont ist in unterschiedlichem Ausmass an Schwermetallen verarmt (Tab. V13.4). Zudem ist der AG1-Horizont an Ni verarmt. Anreicherungen von Cr und Ni finden sich im Go,r-Horizont sowie von Cu im Go- und Go,r-Horizont. Die damit angedeuteten Verlagerungen können mit

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



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



**Abb. V13.16** (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

**Abb. V13.17** (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

wechselnden Redoxbedingungen bei den schwach sauren bis alkalischen Bedingungen in diesem Boden erklärt werden. Vor allem im AG2-Horizont werden Schwermetalle, die mit Eisenoxiden assoziiert sind, während wassergesättigter Phasen aufgelöst und in grössere Tiefen bzw. lateral weggeführt. Im Unterboden fallen Schwermetalle unter reduzierenden Bedingungen als Sulfide aus und werden angereichert. Die besonders grosse Neigung von Cu zur Sulfidbildung wird durch die starke Anreicherung im Go- und Go,r-Horizont dokumentiert.

Der etwas erhöhte Anreicherungsfaktor für Zn im AG1-Horizont sowie der gegenüber dem darunterliegenden Horizont stark erhöhte Zn-Gehalt in diesem Horizont (**Abb. V13.16 und V13.17**) deuten auf Rückführung von aufgenommenem Zn mit der Streu in den Oberboden hin. Aufgrund der Tiefenverteilung der Salpetersäure-extrahierbaren Gehalte dürfte dies auch für Cu gelten. Der innerhalb des Oberbodens stark abnehmende Pb-Gehalt (**Abb. V13.16 und V13.17**) weist auf anthropogenen Eintrag in den Oberboden hin.

Bei allen Schwermetallen ist ein Teil der im Vergleich zum Gr-Horizont höheren Gehalte im Go,r-Horizont mit Anreicherung im Rückstand der Karbonatverwitterung zu erklären. Der Go,r-Horizont ist teilweise entkarbonatet.

**Tab. V13.4****Anreicherungs-faktoren**

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungs-faktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
AG1	0– 20	1.02	1.27	0.64	n.b.	1.27
AG2	20– 35	0.70	<0.58	0.88	n.b.	0.68
Go	35– 70	0.92	2.15	0.94	n.b.	0.90
Go,r	70–135	1.40	2.00	1.33	n.b.	1.00
Gr	> 135	1.00	1.00	1.00	n.b.	1.00

**V13.5.5****Schätzung der Mobilität der Schwermetalle**

Die Mobilität der Schwermetalle wird in diesem schwach sauren bis alkalischen Boden (Abb. V13.13) beinahe durchwegs als sehr gering bis gering beurteilt (Abb. V13.18). Die Ausnahme bildet eine mittlere Cu-Mobilität im Gr-Horizont, was auf die Bildung löslicher Karbonat- und Hydrogenkarbonat-Komplexe zurückzuführen ist. Allerdings verringert in den AG-Horizonten der hohe Tongehalt (Abb. V13.4) die geschätzte Mobilität von Cr und Pb, im Go- und Go,r-Horizont zusätzlich diejenige von Cu und Zn. Im AG1-Horizont vermindert auch der hohe Gehalt an organischer Substanz die Mobilität von Cr, Cu und Pb.

Aufgrund der Anreicherungs-faktoren (Tab. V13.4) dürfte die effektive Mobilität der Schwermetalle vor allem im AG2-Horizont wegen der Freisetzung von mit Eisenoxiden assoziierten Schwermetallen während wasser-gesättigter Phasen grösser sein als geschätzt und in Abb. V13.18 dargestellt. Umgekehrt führt im Unterboden die Bildung schwerlöslicher Sulfide insbesondere zu einer geringeren effektiven Mobilität von Cu.

Die Gefahr einer Belastung von Grundwasser und Oberflächengewässern mit Schwermetallen durch vertikalen bzw. lateralen, hangparallelen Abfluss wird aufgrund der schwach sauren bis alkalischen Verhältnisse und der zusätzlichen Immobilisierung der Schwermetalle als Sulfide als gering eingestuft.

**V13.5.6****Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen**

Im AG1-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.

## Schwermetallmobilität

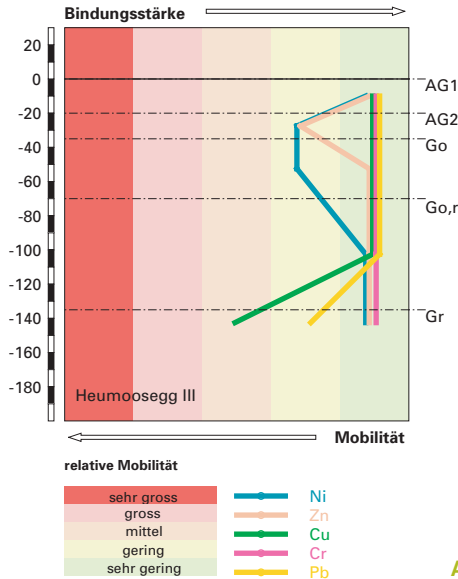


Abb. V13.18 Mobilität der Schwermetalle

## V13.6 Themenbereich «Nährstoffe»

### V13.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Aufgrund der Humusform und des Bodengefüges wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden am Profilort Heumoosegg III als gut beurteilt. Die Streu der Tannen und Fichten wird durch die Streu aus der Krautschicht verbessert, so dass innerhalb eines Jahres praktisch alles zersetzt wird. Es hat sich nur eine dünne Streuschicht gebildet und die Humusform wird als Feuchtmull klassiert. In der nur schwach sauren Feinerde ist die biologische Aktivität gross. Dies äussert sich nicht in einer Krümelstruktur, sondern die Feinerde ist in Subpolyeder strukturiert. Die Gründe dafür sind der grosse Tongehalt sowie die wechselnden Feuchtigkeitsverhältnisse. Dies führt zu Schrumpfungs- und Quellungsprozessen, welche eine Subpolyederstruktur zur Folge haben. In Zeiten, in denen das Grundwasser den Oberboden erreicht, ist die biologische Aktivität infolge anaerober Verhältnisse gehemmt.

Das C/N-Verhältnis beträgt im AG1-Horizont 16 und ist typisch für die Humusform Mull. Das mässig enge C/N-Verhältnis ist mit einer hohen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Durch die schnelle Zersetzung und die hohe Mineralisierungsrate werden die Nährstoffe dem Nährstoffkreislauf nicht entkoppelt, sondern ihre Verfügbarkeit ist gross. Die Interpretation des C/N-Verhältnisses steht im Einklang mit den morphologischen Beobachtungen. Das mässig enge C/P-Verhältnis von 127 im AG1-Horizont deutet ebenfalls eine grosse biologische Aktivität an.

#### V13.6.2 **Nährstoffgehalte**

---

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) ist im AG1- und Go,r-Horizont sehr hoch, in den anderen Mineralerdehorizonten hoch (Abb. V13.19). Die sehr hohen Werte im AG1- und Go,r-Horizont können mit dem grossen  $C_{org-}$ , bzw. Tongehalt erklärt werden. Im ganzen Mineralboden trägt der grosse Tongehalt zur allgemein hohen KAK bei. Interessanterweise nimmt die KAK unterhalb der Kalkgrenze, welche in 135 cm Tiefe liegt, nicht zu, wie dies in anderen Böden als Folge der Karbonatauflösung während der Extraktion zu beobachten ist.

Entsprechend der schwach sauren bis alkalischen pH-Verhältnisse in der Feinerde ist der Kationenaustauscher vollständig mit Nährstoffkationen belegt (Abb. V13.20). Bei pH-Werten von 6.5 und höher ist Aluminium nicht löslich und kann somit keine Nährstoffkationen vom Austauscher verdrängen. Im Oberboden und im Go-Horizont ist die Mg-Belegung mit rund 16 bis 19% gross. Bis in den Gr-Horizont nimmt sie auf 6.5% ab. Da die K-Belegung sehr gering ist, ist die Ca-Belegung das Spiegelbild der Mg-Belegung.

#### V13.6.3 **Nährstoffvorräte**

---

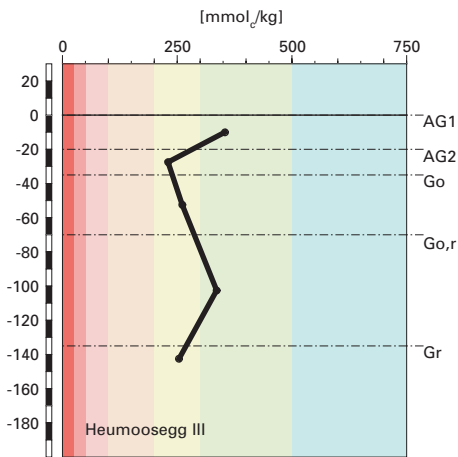
In den Abb. V13.21 bis V13.23 sind die Vorräte an Ca, Mg und K dargestellt. Die Vorräte der Nährstoffkationen nehmen mit der Tiefe stetig und stark zu, am ausgeprägtesten gilt dies für Ca vor Mg und K. Im Hauptwurzelraum (bis 60 cm Tiefe) wird das Angebot an Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

Ca	sehr hoch
Mg	sehr hoch
K	mässig hoch



### Kationenaustauschkapazität

(KAK)

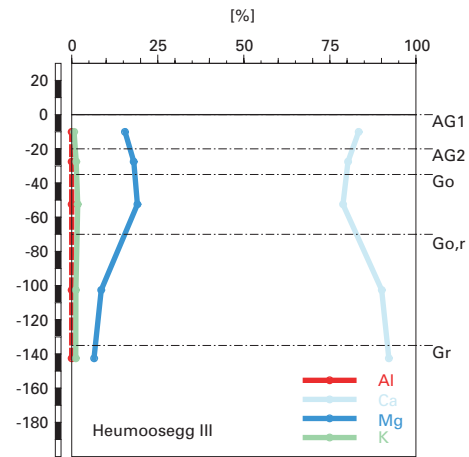


#### Klassierung KAK

>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)



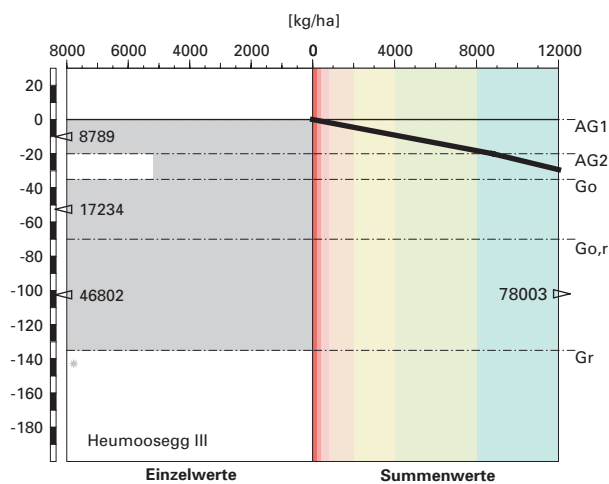
**Abb. V13.19** (links) Kationenaustauschkapazität

**Abb. V13.20** (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

Da der Boden bis in eine Tiefe von 135 cm durchwurzelt werden kann, wird der K-Vorrat für die gesamte durchwurzeltbare Tiefe wie der Mg- und Ca-Vorrat als sehr hoch klassiert. Insgesamt werden die Vorräte an Nährstoffkationen als sehr hoch klassiert.

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

## Kalzium-Vorrat

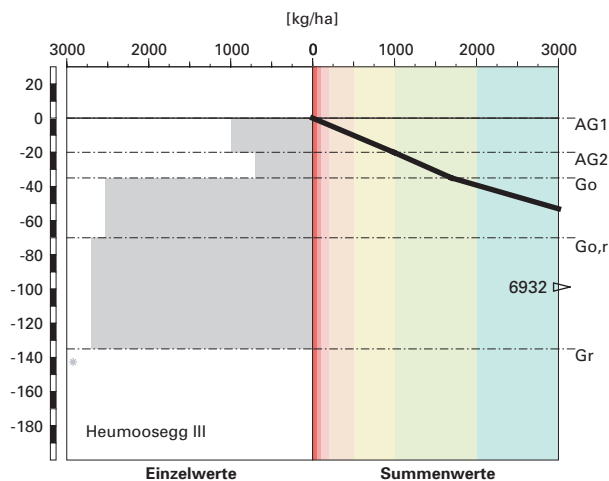


### Klassierung Vorrat

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

Abb. V13.21 Vorrat an Kalzium

## Magnesium-Vorrat



### Klassierung Vorrat

>2000	sehr hoch
1000-2000	hoch
500-1000	mässig hoch
200-500	mittel
100-200	mässig
50-100	gering
<50	sehr gering

Abb. V13.22 Vorrat an Magnesium



<b>Tab. V13.5      Steckbrief für die Waldbehandlung (Heumoosegg III)</b>		
<b>Standortangaben</b>		
Relief	Höhe	1070 m ü. M.
	Exposition	SW
	Neigung	23 %
Klima	Jahresniederschlag	1719 mm
	Jahrestemperatur	6.2°C
Ausgangsgestein	Hangtone	
Baumbestand	Struktur	einschichtig
	Schlussgrad	50 %
	Baumarten (Deckung)	30 % Weisstanne, 30 % Fichte, 2 % Rotbuche
	Oberhöhe	25 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr. 49: Schachtelhalm-Tannenmischwald
	nach BUWAL 2005	Einheit 49: Typischer Schachtelhalm-Tannen-Fichtenwald
<b>Bodenkennwerte</b>		
Bodensystematik	Humusform	Feuchtmull
	Bodentyp	Gley
	Vernässungsgrad	grundnass
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Die Durchlüftung ist in diesem sehr stark hydromorph gezeichneten Boden bis 135 cm Tiefe zeitweise und weiter unten im Profil immer ungenügend. Die Vernässung ist durch Hangwasser bedingt.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden lässt sich aufgrund der ungenügenden Durchlüftung bis 135 cm Tiefe bloss eingeschränkt durchwurzeln. In 135 cm Tiefe verhindert der stets anaerobe Gr-Horizont das Wurzelwachstum von allen Baumarten sogar vollständig. Somit ist der Wurzelraum je nach Baumart maximal 135 cm mächtig und wird damit als sehr tiefgründig klassiert. Die in Bezug auf Sauerstoffarmut empfindlichen Baumarten dürften den Boden vor allem oberflächlich durchwurzeln. Wurzeln wurden bis 135 cm Tiefe beobachtet.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besteht sowohl für die tief wurzelnden Baumarten als auch für jene mit einem oberflächlicheren Wurzelwerk ein bloss kleines Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Die Feinerde ist bis 70 cm Tiefe schwach sauer und in 70–135 cm Tiefe alkalisch. Die Kalkgrenze verläuft in 135 cm Tiefe.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Feuchtmull weist auch das mässig enge C/N-Verhältnis im AG1-Horizont auf eine hohe Mineralisierungsrate hin. Unterstützt wird diese Aussage durch das mässig enge C/P-Verhältnis im AG1-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.	

### **Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken**

Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Tannen-Fichten-Standort (Einheit 49) folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Tanne, Fichte, Vogelbeere, Bergahorn, Weisslerle und Esche. Diese relativ kleine Auswahl ist unter anderem durch das ziemlich rauhe Klima bedingt. Aber auch ungünstige Bodeneigenschaften schränken die Baumartenauswahl ein, wie gleich anschliessend erläutert wird.

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

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

Dieser grundnasse Gley lässt sich nur eingeschränkt durchwurzeln. Dies gilt vor allem für empfindliche Baumarten wie Buche und Fichte, welche in diesem oft ungenügend durchlüfteten Boden ein oberflächliches Wurzelwerk bilden. Wir empfehlen, vor allem jene Baumarten einzubringen, welche ihre Wurzeln bis zur permanent reduzierten Zone in 135 cm Tiefe vortreiben können, wie beispielsweise die Tanne. Ihr tief greifendes Wurzelwerk vermag den Boden umfassender zu nutzen und verbessert die Verankerung des Bestandes.

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

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

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

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

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

Eine Verbesserung des Säurezustandes durch entsprechende Baumartenwahl ist nicht nötig, da der Oberboden lediglich schwach sauer ist und basenreiches Fremdwasser zeitweise bis an die Bodenoberfläche ansteigt und einer Abnahme von pH-Wert und Basensättigung entgegenwirkt. 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 nicht nötig. Im Hinblick auf die Nährstoffumsetzung im Oberboden können sich waldbauliche Eingriffe auf den Erhalt der aktuell naturnahen Baumartenmischung beschränken.

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.

### V13.7.3 **Baumartenempfehlung**

Aufgrund des ziemlich rauen Klimas lässt sich an diesem Tannen-Fichten-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. V13.6](#) 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 Tanne oder die Bergulme. 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 entwässern und verbessern den Boden.

Von den in [Tab. V13.6](#) empfohlenen Baumarten (BUWAL 2005) scheint aus bodenökologischer Sicht vor allem die Tanne geeignet zu sein. Der Bergahorn, die Esche 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. Die Vogelbeere und vor allem die Weisslerle sehen wir nicht in der Baumschicht, sondern eher kleinwüchsig in lichten Bestandespartien. Aus bodenkundlicher Sicht lässt sich als Ergänzung zum BUWAL (2005) die Bergulme einbringen.

**Tab. V13.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand**

Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 46; BUWAL 2005)	Tanne, Fichte, Vogelbeere, Bergahorn, Weisslerle, Esche
Bodenkundliche Kriterien	Tanne, Fichte, Vogelbeere, Bergahorn, Weisslerle, Esche



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.

---