

## A12      Bodenprofil Tujetsch

---

### A12.1      Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

---

#### A12.1.1      **Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren**

---

Das Bodenprofil ist in [Abb.A12.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.A12.2](#). [Tab.A12.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Tujetsch zusammen und [Tab.A12.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

#### A12.1.2      **Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz**

---

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit W7 (alpine kristalline Berglandschaften (Paragneis), steile Nordhänge, Hangneigung >35%). 424 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 3.6% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

#### A12.1.3      **Besonderheiten am Profilort**

---

Am Baumbestand sind Spuren (Stammschäden) von Steinschlag zu erkennen. Unsicher ist, ob der Profilort früher einmal beweidet wurde.

#### A12.1.4      **Profilmorphologie und Klassierung**

---

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.A12.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Der Boden ist von einer Streuschicht und einem Fermentationshorizont bedeckt. Die überwiegend von Fichten und zusätzlich von Pflanzen der Krautschicht stammende Streu wird nicht innerhalb eines Jahres zersetzt. Der Abbau verläuft demnach gehemmt und unvollständig. Mit der Horizontfolge L-F-Ah wird die Humusform als Moder klassiert.



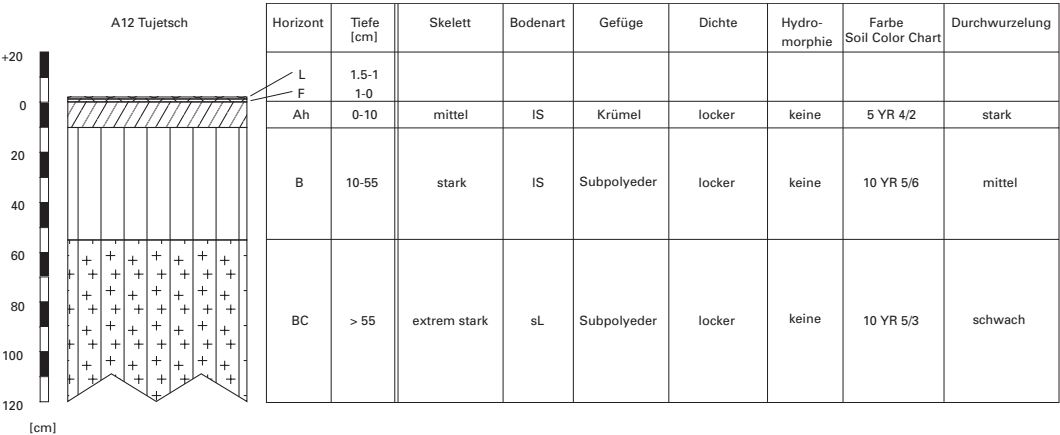
**Abb. A12.1** (links) Bodenprofil Tujetsch

**Abb. A12.2** (rechts) Bestand am Profilort Tujetsch

<b>Tab. A12.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Tujetsch</b>	
Lokalname	Plaun Palits (Kanton Graubünden, Gemeinde Tujetsch)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1232, Oberalppass Koordinaten 702000 / 168000
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972)	Nr. 57: Torfmoos-Fichtenwald mit Landschilf ( <i>Sphagno-Piceetum calamagrostietosum villosae</i> )
Horizontfolge	L-F-Ah-B-BC
Humusform	Moder
Bodentyp	Braunerde
Bodentyp nach FAO (1988)	Dystric Cambisol

Tab. A12.2 <b>Bodenbildungsfaktoren am Profilort Tujetsch</b>			
Relief	Höhe ü. M.	1614 m	
	Exposition	E	
	Neigung	72 %	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Helvetikum; Moräne, darunter permische Sedimente	
	Lithofazies	Nr.29: Moräneablagerungen (grobklastisch)	
	(nach Tuchschnid 1995)	physikalische Verwitterbarkeit Gestein: variabel	
		chemische Verwitterbarkeit Gestein: variabel	
Klima	Tongehalt Gestein:	sehr niedrig – mittel	
	T/N Jahresmittel	3.3 °C/1607 mm	
	T/N Januarmittel	–5.1 °C/119 mm	
	T/N Julimittel	12.9 °C/128 mm	
	Tage mit Schneedecke	178	
	Wärmegliederung	rauh	
Pflanzen	Länge der Vegetationsperiode	135 – 150 Tage	
	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (25–30 m Höhe)	30 %	30 % Fichte ( <i>Picea abies</i> )
	Strauchschicht	10 %	–
	Krautschicht	60 %	Preiselbeere ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> ) Wald-Wachtelweizen ( <i>Melampyrum sylvaticum</i> ) Gemeines Straussgras ( <i>Agrostis capillaris</i> ) Rot-Schwingel ( <i>Festuca rubra</i> ) Bergfarn ( <i>Oreopteris limbosperma</i> ) Heidelbeere ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ) Wolliges Reitgras ( <i>Calamagrostis villosa</i> )
	Mooschicht	1 %	–

Tab. A12.3      **Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Tujetsch**  
 Bodenart: IS lehmiger Sand, sL sandiger Lehm



Unter der Streuauflage lassen sich im Mineralboden morphologisch drei Horizonte unterscheiden. Farblich kommt diese Dreiteilung deutlich zum Ausdruck. Der Oberboden ist bis 10 cm Tiefe gräulich-braun gefärbt. Der mittlere Bereich zwischen 10 und 55 cm Tiefe ist gelblich-braun und der Übergang zum Ausgangsgestein ab 55 cm erscheint matt gelblich-braun. Der Skelettgehalt wird bis 10 cm Tiefe als mittel angesprochen. Er nimmt bis zur Aufschlusstiefe deutlich zu. Die Bodenart entspricht bis 55 cm Tiefe einem lehmigen Sand, darunter einem sandigen Lehm. Das Gefüge weist im Oberboden eine Krümelstruktur auf. Ab 10 cm Tiefe bis zur Profilsohle ist eine Subpolyederstruktur vorhanden. Die Feinerde ist profilumfassend locker gelagert. Im ganzen Profil sind keine hydromorphen Merkmale zu erkennen.

Mit der Horizontfolge L-F-Ah-B-BC wird der Boden als Braunerde klassiert.

### **Ergänzende Bodenmerkmale**

Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde des Bodens sehr sauer. Die Durchwurzelung ist im Oberboden stark und nimmt mit zunehmender Tiefe ab. Im Boden sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar.

## **A12.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»**

---

### **A12.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte**

---

#### **Skelettgehalt**

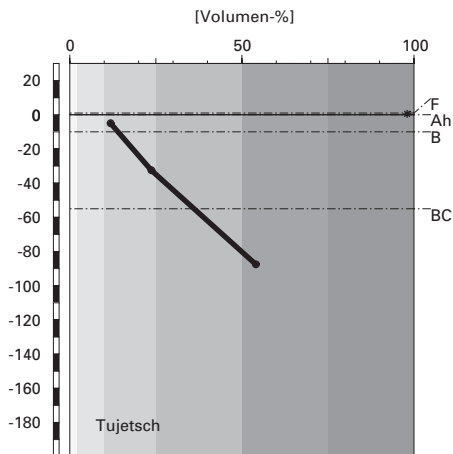
Der Skelettgehalt nimmt vom Oberboden zur Tiefe hin stetig zu ([Abb. A12.3](#)). Der Boden enthält bis 55 cm Tiefe mittlere Skelettmengen, weiter unten ist er sehr stark skeletthaltig.

#### **Bodenart**

Die Feinerde ist im gesamten Profil überwiegend sandig, Schluff und vor allem Ton sind in deutlich kleineren Anteilen vorhanden ([Abb. A12.4](#)). Der Sand- und Schluffgehalt ist in allen Horizonten ziemlich konstant. In Bezug auf den Tongehalt handelt es sich im Ah-Horizont um mittelschweren, im Rest des Profils um sehr leichten Boden.

Die im Bodenprofil mittels Fingerprobe ermittelte Bodenart stimmt gut mit den Laborwerten überein ([Tab. A12.3](#)).

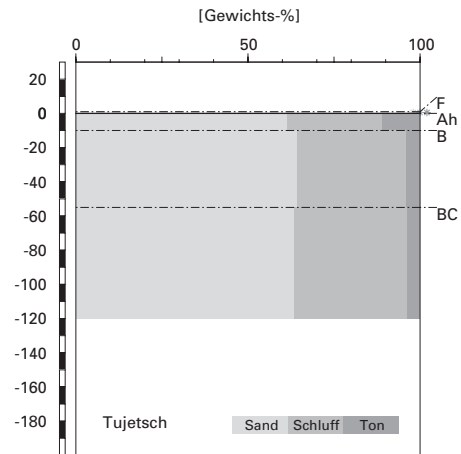
## Skelettgehalt



### Klassierung Skelettgehalt

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

## Bodenart



**Abb. A12.3 (links)** Skelettgehalt

**Abb. A12.4 (rechts)** Bodenart

## Dichte der Feinerde

Die Dichte der Feinerde ist im gesamten Profil äusserst gering und relativ konstant (**Abb. A12.5**), was auch bei der Beurteilung der Dichte mittels Feldmethode festgestellt wurde (**Tab. A12.3**).

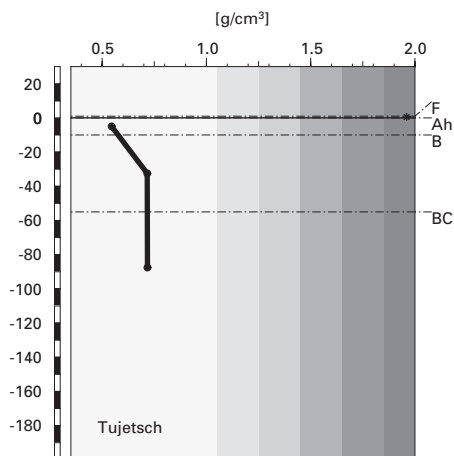
## Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Alle Horizonte sind hoch durchlässig, da sie sehr locker gelagert und sandreich sind (**Abb. A12.6**).

## Pflanzenverfügbares Wasser

Der grosse Skelettgehalt ab 55 cm Tiefe vermindert das Wasserspeichervermögen des Bodens zwar beträchtlich, beträgt bis 120 cm Tiefe aber dennoch 184 l/m<sup>2</sup> und wird damit als sehr hoch klassiert (**Abb. A12.7**).

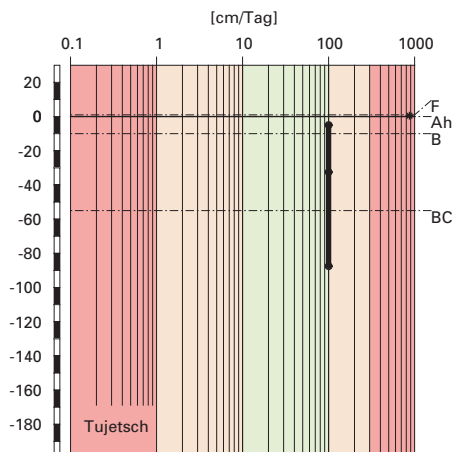
## Feinerde-Dichte



### Klassierung Dichte

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

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



### Klassierung $k_{sat}$

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

**Abb. A12.5 (links)** Dichte der Feinerde

**Abb. A12.6 (rechts)** Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

## A12.2.2

### Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

#### Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In dieser Braunerde wurden keine hydromorphen Merkmale festgestellt, was angesichts der hohen Wasserdurchlässigkeitswerte nicht erstaunt (**Abb. A12.6**). Gesättigte Phasen sind von derart kurzer Dauer, dass sie nicht zu Vernässungsmerkmalen führen.

#### Durchwurzelbarkeit des Bodens

Alle Baumarten können diesen Boden mindestens profilumfassend durchwurzeln, da die Dichte der Feinerde im ganzen Profil weit unter dem als kritisch erachteten Wert von  $1.4 \text{ g/cm}^3$  liegt und weil die Durchlüftung in allen Horizonten stets ausreichend ist. Der Wurzelraum ist nicht eingeschränkt und wird mit  $>120 \text{ cm}$  Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Der Boden wird vom aktuellen Fichtenbestand gut genutzt. Wurzeln sind bis zur Profil-

## pflanzenverfügbares Wasser

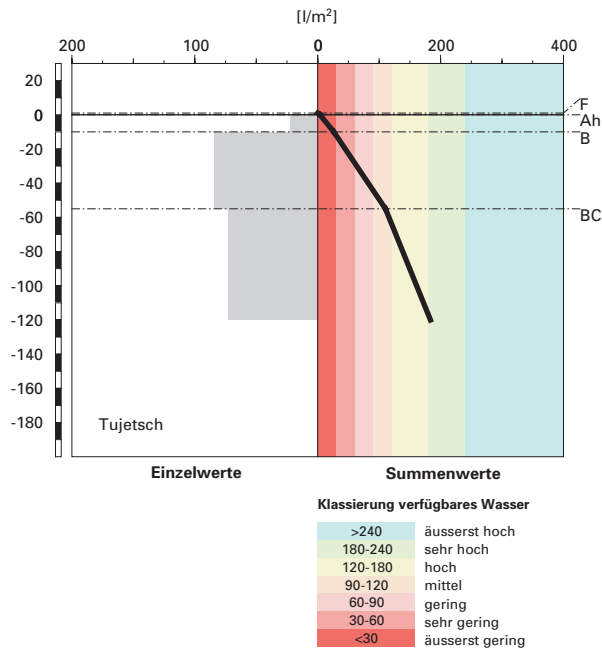


Abb. A12.7 Pflanzenverfügbares Wasser

sohle (120 cm) vorhanden und dringen sicher noch tiefer in den Unterboden ein.

### Wasserversorgung des Baumbestandes

Der bis zur Referenztiefe von 120 cm berechnete Wasservorrat reicht in Trockenperioden ohne bedeutende Niederschläge für rund 25 Tage. Danach würden die Fichten unter Wassermangel leiden. Da der Boden sogar noch tiefer als 120 cm durchwurzelbar ist und ein günstiges Klima herrscht, besteht an diesem subalpinen Fichtenstandort (EK 57) kein Risiko für Trockenstress.

### Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er bis 55 cm Tiefe relativ wenig Skelett enthält. Ein Befahren des Bestandes ist allerdings nicht möglich, weil die Hangneigung zu gross ist.



**Organische Substanz**

Der Waldbestand bei Tujetsch besteht aus Fichten, welche weit auseinander stehende Gruppen bilden. Deshalb ist der Deckungsgrad der Baumschicht nur 30 %, wodurch viel Licht für das Gedeihen einer üppigen Krautschicht zwischen diesen Baumgruppen einfällt. Die Krautschicht ist artenreich und besteht aus Preiselbeere, Wald-Wachtelweizen, gemeinem Straussgras, Rot-Schwingel, Bergfarn, Heidelbeere sowie wolligem Reitgras. Die schwer abbaubare Fichtenstreu wird durch Streu aus der Krautschicht ergänzt. Die Abbaubarkeit wird insgesamt als mässig bis schlecht beurteilt. Es hat sich deshalb unter einer dünnen Streuschicht ein 1 cm mächtiger F-Horizont entwickelt.

Der F-Horizont enthält entsprechend seiner vorwiegend organischen Zusammensetzung rund 38 % organischen Kohlenstoff (Abb. A12.8). Der Ah-Horizont hebt sich durch seine leicht dunklere Farbe vom darunter liegenden B- und BC-Horizont ab. Sein Gehalt an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) beträgt 5.2 %. Der  $C_{org}$ -Gehalt nimmt bis in den B-Horizont auf 0.9 % und bis in den BC-Horizont auf 0.6 % ab. Diese  $C_{org}$ -Gehalte ergeben einen Vorrat an organischem Kohlenstoff von 69 t/ha (Abb. A12.9), wobei für die Vorratsberechnung im F-Horizont eine Dichte von 0.2 g/cm<sup>3</sup> angenommen wurde.

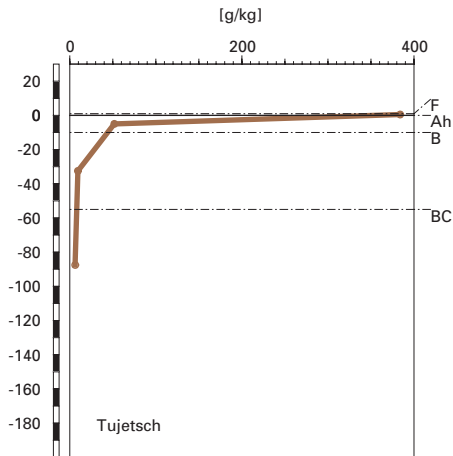
**Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden**

Der Tongehalt geht mit der Tiefe kontinuierlich zurück (Abb. A12.4). Im Ah-Horizont beträgt er 11 % und im BC-Horizont noch 3.5 %.

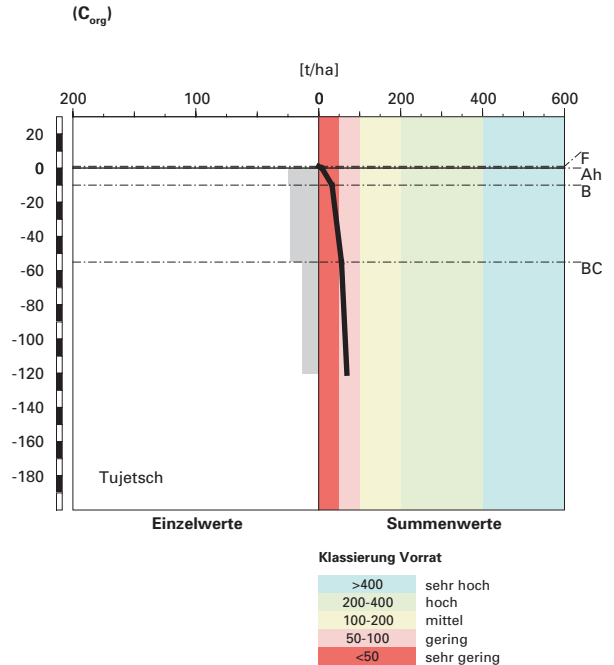
Die Gehalte aller extrahierbarer Eisenverbindungen werden mit der Tiefe kleiner (Abb. A12.10). Das Dithionit-extrahierbare Eisen ( $Fe_d$ ) nimmt von rund 16 g/kg im Ah-Horizont auf beinahe die Hälfte im B-Horizont ab. Bis in den BC-Horizont ist die Abnahme geringer. Ähnlich verhalten sich die Oxalat- bzw. Pyrophosphat-extrahierbaren Eisengehalte ( $Fe_o$  bzw.  $Fe_p$ ). Bei ihnen ist die Abnahme vom Ah- in den B-Horizont jedoch weniger ausgeprägt.



## organischer Kohlenstoff



## Kohlenstoff-Vorrat



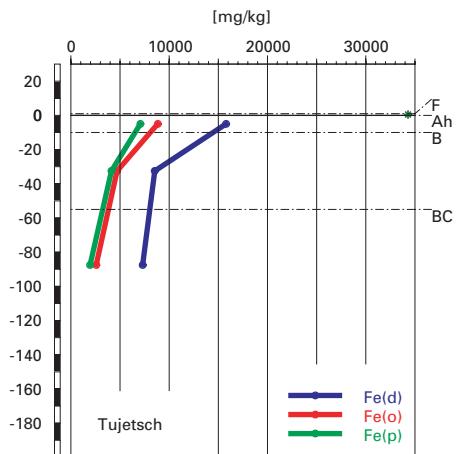
**Abb. A12.8** (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

**Abb. A12.9** (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

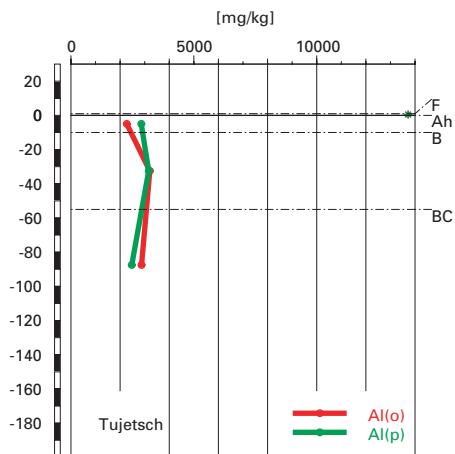
Die Gehalte der extrahierbaren Aluminiumverbindungen sind über die Bodentiefe weniger differenziert (Abb. A12.11). Das Oxalat-extrahierbare Aluminium ( $Al_o$ ) nimmt vom Ah- in den B-Horizont von 2.3 auf 3.2 g/kg leicht zu und ist im BC-Horizont nur geringfügig kleiner. Der Gehalt des Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminiums ( $Al_p$ ) ist im Ah-Horizont grösser als jener von  $Al_o$ . Er nimmt von rund 2.9 g/kg im Ah- auf 3.2 g/kg im B-Horizont zu und beträgt im BC-Horizont noch 2.5 g/kg.

Das  $Fe_o/Fe_d$ -Verhältnis ist im Ah- und B-Horizont mit rund 0.55 relativ gross. Im BC-Horizont beträgt es 0.35 (Abb. A12.12). Das  $Al_p/Al_o$ - und das  $Fe_p/Fe_o$ -Verhältnis verlaufen vom B- in den BC-Horizont parallel. Im Ah-Horizont ist das  $Fe_p/Fe_o$ -Verhältnis kleiner, das  $Al_p/Al_o$ -Verhältnis dagegen grösser als im B-Horizont.

### Eisen-Oxide (Gehalte)



### Aluminium-Oxide (Gehalte)

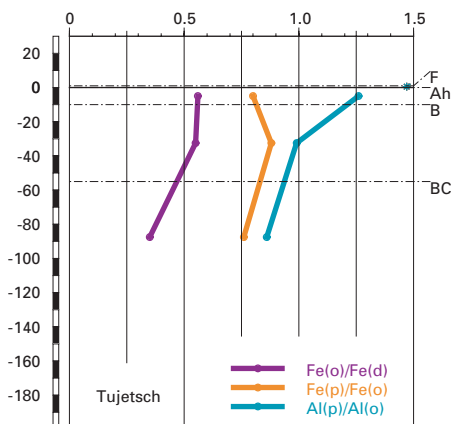


**Abb. A12.10 (links)** Gehalte an Dithionit- ( $\text{Fe}_d$ ), Oxalat- ( $\text{Fe}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Fe}_p$ ) extrahierbarem Eisen

**Abb. A12.11 (rechts)** Gehalte an Oxalat- ( $\text{Al}_o$ ) und Pyrophosphat- ( $\text{Al}_p$ ) extrahierbarem Aluminium

### Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)



**Abb. A12.12** Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Die von den Fichten und der Krautschicht stammende Streu wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig abgebaut. Unter einer dünnen Streuschicht hat sich ein 1 cm mächtiger Fermentationshorizont gebildet und die Humusform wird als Moder klassiert. Der Grund für die leichte Verzögerung im Abbau liegt vor allem an der Qualität der Streu und am Klima. Die Vegetation liefert eine relativ schwer abbaubare Streu. Das C/N-Verhältnis im F-Horizont beträgt denn auch 24 und wird als mässig weit klassiert, was mit einer niedrigen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden ist. Das mässig weite C/P-Verhältnis von 426 im F-Horizont weist auf eine relative Phosphorarmut hin und bestätigt die bereits aufgrund des C/N-Verhältnisses vermutete schlechte Streuqualität. Das rauhe Klima mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 3.3°C bietet an dem auf 1614 m.ü.M. in E-Exposition gelegenen Standort limitierte Wärmeverhältnisse für den Abbau der organischen Substanz. Hingegen besteht mit durchschnittlichen jährlichen Niederschlägen von 1607 mm an diesem Standort kein Risiko für Trockenstress, so dass die Feuchtigkeit für den Abbau nicht limitierend ist.

Das mittlere C/N-Verhältnis von 18 im Ah-Horizont sowie die Krümelstruktur in den obersten 10 cm des Mineralbodens und das Vorhandensein einzelner Regenwürmer lassen eine nicht geringe biologische Aktivität im Mineralboden vermuten. Der Unterboden ab 10 cm Tiefe enthält nur wenig organische Substanz, weshalb der Vorrat an organischem Kohlenstoff des Bodens inklusive dem Fermentationshorizont mit 69t/ha im gesamtschweizerischen Vergleich gering ist.

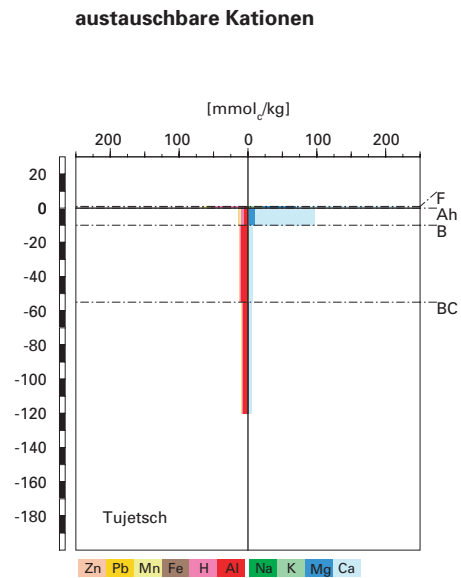
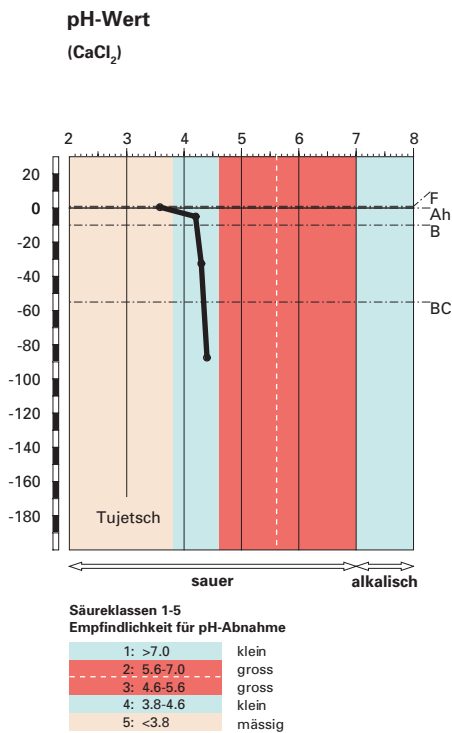
Der Tongehalt nimmt mit der Tiefe entsprechend dem abnehmenden Verwitterungsgrad ab. Im Ausgangsgestein wird er in dieser Lithofazies als sehr niedrig bis mittel eingeschätzt (Tab. A12.2). Der Tongehalt von 3.5% im BC-Horizont dürfte ungefähr dem Wert entsprechen, welcher der Feinerde vom verwitternden Ausgangsgestein vererbt wird. Da der pH-Wert natürlicherweise tief ist, wurden vermutlich im Lauf der Bodenentwicklung wenige sekundäre Tonminerale gebildet, bzw. diejenigen, welche gebildet wurden werden bei den jetzt herrschenden pH-Werten um 4 wieder zerstört.

Die extrahierbaren Eisenverbindungen zeigen die für eine Braunerde klassische Abnahme der Gehalte mit der Tiefe (Abb. A12.10). Die höher gelegenen Horizonte sind schon länger der Verwitterung ausgesetzt, welche im Oberboden zudem intensiver ist als in tiefer gelegenen Bereichen. Dementsprechend ist die Bodenentwicklung im Oberboden weiter fortgeschritten. Die Verbraunung ist intensiver, was sich in den grösseren Gehalten von

Oxalat- und Dithionit-extrahierbarem Eisen zeigt. Das weitere  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ -Verhältnis im Ah-Horizont ist ein Hinweis darauf, dass die Kristallisationsbedingungen hier weniger günstig sind als im Unterboden, was wohl durch den grösseren Gehalt an organischer Substanz bedingt sein wird. In diesem Boden gibt es keine Anzeichen einer Eisenverlagerung. Das Pyrophosphat-extrahierbare Eisen kennzeichnet jene Eisenfraktion, die an die organische Substanz gebunden ist. Das  $\text{Fe}_p/\text{Fe}_o$ -Verhältnis beträgt im ganzen Profil 0.8 bis 0.9. Dies würde bedeuten, dass trotz des geringen Gehaltes an organischer Substanz viel Eisen organisch gebunden wäre. Dieses widersprüchliche Verhalten des  $\text{Fe}_p/\text{Fe}_o$ -Verhältnisses kann nur mit einem dispergierenden Effekt des Pyrophosphat-Extraktes erklärt werden, welcher zusätzlich zu den Verbindungen mit der organischen Substanz auch amorphe, anorganische Eisenverbindungen erfasst.

Der  $\text{Al}_o$ - und der  $\text{Al}_p$ -Gehalt nehmen vom Ah- bis in den B-Horizont zuerst zu und sind im BC-Horizont wieder kleiner (Abb. A12.11). Im Gegensatz zum Eisen kann beim Aluminium von einer Verlagerung ausgegangen werden. Der Verlagerungsindex, gebildet aus dem  $\text{Al}_o$ -Gehalt im B- und im Ah-Horizont, beträgt rund 1.4. Bei den stark sauren pH-Verhältnissen wird Aluminium nicht nur als gelöste metall-organische Verbindung, sondern auch in gelöster anorganischer Form verlagert. Allerdings kann aufgrund des kleinen Verlagerungsindex erst von einer beginnenden Verlagerung gesprochen werden. Da eine gleichzeitige Eisenverlagerung fehlt, liegt auch keine Podsolierung vor. Das profilumfassend grosse  $\text{Al}_p/\text{Al}_o$ -Verhältnis (Abb. A12.12) zeigt einen hohen Anteil von organisch gebundenem Aluminium an. Ähnlich wie beim Eisen muss allerdings auch hier mit einem dispergierenden Effekt des Pyrophosphat-Extraktes gerechnet werden, da das Verhältnis im Ah-Horizont über 1 und im humusarmen B-Horizont nahe bei 1 liegt.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als Braunerde klassiert, was gut mit der Interpretation der Bodenhauptbestandteile übereinstimmt. Die beginnende Aluminiumverlagerung zeigt, dass die Entwicklung in Richtung podsolierte Braunerde weiter gehen wird. Eine Eisenverlagerung kann bisher allerdings nicht nachgewiesen werden.



**Abb. A12.13** (links) pH-Wert und Säureklassen

**Abb. A12.14** (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

## A12.4 Themenbereich «Säurezustand»

### A12.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

#### pH-Wert

Der pH-Wert beträgt im F-Horizont rund 3.6, womit dieser Horizont in der Säureklasse 5 liegt (Abb. A12.13). Im gesamten Mineralboden ist die Feinerde stark sauer und befindet sich in der Säureklasse 4. Der pH-Wert variiert mit der Tiefe nur sehr wenig.

#### Austauschbare Kationen und Basensättigung

Im F- und Ah-Horizont ist der Kationenaustauscher zum grössten Teil mit Nährstoffkationen, insbesondere mit Kalzium, belegt (Abb. A12.14). In allen anderen Horizonten ist der Anteil von austauschbarem Aluminium und

## Basensättigung

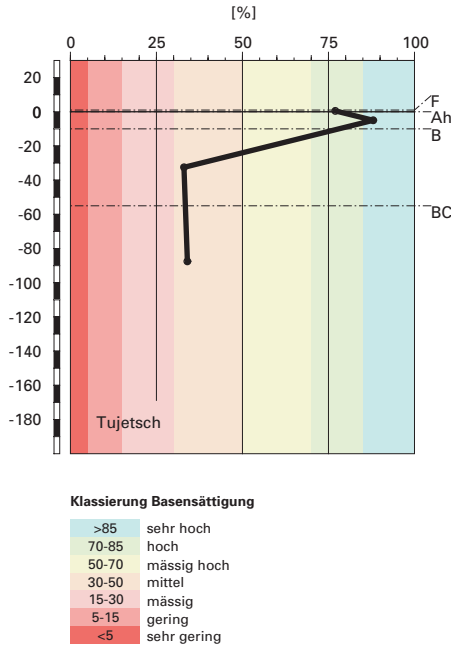


Abb. A12.15 Basensättigung

von Protonen zusammen etwa doppelt so gross wie jener der Nährstoffkationen. Die Basensättigung ist im Oberboden mit fast 90% sehr hoch. Im Unterboden ist sie gleichbleibend mittel (Abb. A12.15)

### A12.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

#### Stand der Bodenversauerung

Diese Braunerde ist mässig versauert. Die Feinerde befindet sich profilumfassend in der Säureklasse 4, in der die Säurepufferung zwar durch Auflösung von Aluminiumverbindungen erfolgt. Trotzdem ist die Gesamtheit aller Austauschplätze des Bodens nur zu rund 58% von sauren Kationen besetzt. Dies ist der Grund für die als mässig klassierte Versauerung. Die Versauerungsfront liegt tiefer als die Profilssole, da die Al-Belegung im untersten Horizont 56% beträgt. In Anbetracht der Standortfaktoren ist diese schwache Bodenversauerung erstaunlich, denn die Bodenbildungs-

faktoren wie zum Beispiel das rauhe Klima auf 1614 m.ü.M., das Ausgangsgestein sowie der Torfmoos-Fichtenwald lassen eine Podsolierung mit entsprechend starker Versauerung erwarten. Der Bodentyp Braunerde lässt aber die Vermutung zu, dass es sich um einen für diesen Standort jungen Boden handelt, der noch weit vom Klimaxstadium entfernt ist. Dies äussert sich auch in der vergleichsweise hohen Basensättigung. Obwohl die Feinerde im ganzen Profil stark sauer ist, vermochten die gelösten Aluminiumverbindungen die Nährstoffkationen noch nicht so stark von den Austauscherplätzen zu verdrängen, wie dies beispielsweise in hoch entwickelten Podsolen der Fall ist.

### **Risiko für Boden und Pflanzen**

Das Risiko für eine weitere pH-Abnahme unter der Einwirkung der gegenwärtigen Säurebelastung ist sehr klein. Das ganze Bodenprofil befindet sich in der gut puffernden Säureklasse 4, in der die Säureneutralisation sehr effizient durch Auflösung von Aluminiumverbindungen erfolgt.

Ein Risiko für das Wachstum säureempfindlicher Pflanzen besteht gegenwärtig nicht und ist auch in absehbarer Zukunft nicht zu erwarten, denn das BC/Al-Verhältnis ist in allen Horizonten grösser als der kritische Grenzwert von 0.2 (Tab. A100 in Blaser et al. 2005).

## **A12.5 Themenbereich «Schwermetalle»**

---

### **A12.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle**

---

In dieser Braunerde nehmen mit Ausnahme von Pb alle Schwermetalle mit der Tiefe linear zu (Abb. A12.16). Der Pb-Gehalt ist im Ah-Horizont maximal, im darunter liegenden B-Horizont minimal und im BC-Horizont wieder etwas höher.

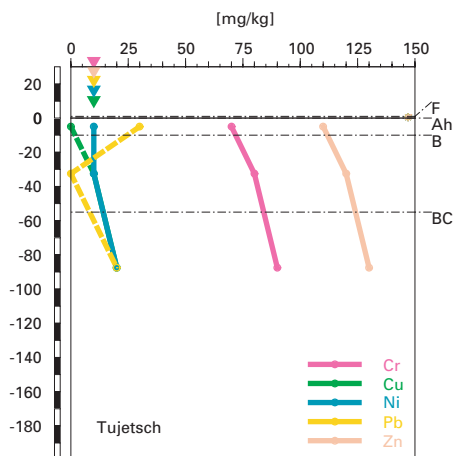
### **A12.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich**

---

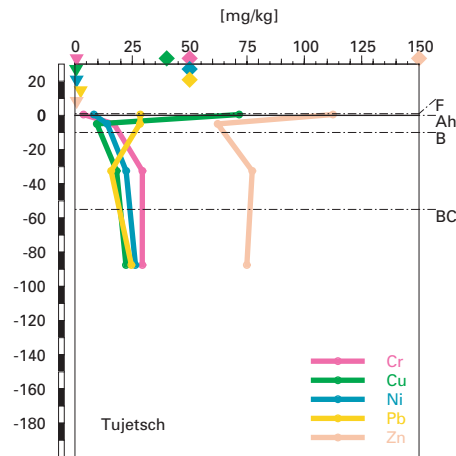
Bezogen auf das Ausgangsgestein, einer Moräne, liegen der Ni-Gehalt im BC-Horizont unterhalb, der Cu- und Pb-Gehalt innerhalb und der Cr- und Zn-Gehalt oberhalb typischer Wertebereiche. Da für Moräne (Lithofazies 29) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, wurde die geologisch nächstverwandte Lithofazies mit geochemischen Angaben (Lithofazies 24, Glaziallehme und -Tone) für die Beurteilung beigezogen.



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



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



**Abb. A12.16 (links)** Schwermetalle: effektive Totalgehalte

**Abb. A12.17 (rechts)** Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

**Anmerkung:** Weil das Ausgangsgestein, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht beprobt wurde, werden für den geochemischen Vergleich die Schwermetallgehalte im BC-Horizont beigezogen. Da die Anreicherungs-faktoren (Tab. A12.4) Schwermetall-Verlagerungen bis in diesen Horizont andeuten, dürften die auf diesem Horizont basierenden Bewertungen eher zu hoch sein.

#### A12.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Für den F-Horizont wurden wegen seines hohen Humusgehaltes (Abb. A12.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm<sup>3</sup>; Tab. A103 in Blaser et al. 2005) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg; Abb. A12.17), da die Dichte kleiner ist als 1 g/cm<sup>3</sup>. Mangels Messwert wurde eine Dichte von 0.2 g/cm<sup>3</sup> angenommen.

Bezogen auf die VBBo sind die Konzentrationen aller Schwermetalle in der organischen Auflage sehr niedrig bis niedrig. Im Mineralboden sind die Cr-, Zn- und Pb-Gehalte niedrig bis erhöht (Abb. A12.17). Die Ni- und Cu-

**Tab. A12.4****Anreicherungs-faktoren**

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungs-faktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0–10	0.75	< 0.51	0.68	1.44	0.81
B	10–55	0.89	0.74	0.71	< 0.50	0.92
BC	> 55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Gehalte sind im Ah-Horizont sehr niedrig, im B-Horizont niedrig und im BC-Horizont erhöht.

Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

**A12.5.4****Anreicherungs-faktoren**

Weil der C-Horizont, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht beprobt werden konnte, wurden die Anreicherungs-faktoren relativ zum BC-Horizont berechnet. Es können deshalb keine Rückschlüsse auf Anreicherung oder Verarmung gegenüber dem Ausgangsgestein gezogen werden.

Im Ah- und B-Horizont sind die meisten Schwermetalle abgereichert (Tab. A12.4). Im B-Horizont gilt dies auch für Pb. Im Ah-Horizont ist dieses Schwermetall allerdings deutlich angereichert. Die Verarmung an Ni und Zn kann in diesem Boden mit der säurebedingt grossen Mobilität im Unterboden erklärt werden. Die Verarmung an Cr und Cu hingegen kann nur durch zusätzliche Verlagerung mit gelöster organischer Substanz erklärt werden. Vor allem das etwas stärker abgereicherte Cu zeichnet sich durch besonders stabile Verbindungen mit gelöster organischer Substanz aus. Die Anreicherung von Pb im Oberboden ist auf anthropogenen Eintrag zurückzuführen, der im humusreichen Ah-Horizont angereichert ist. Die Verarmung an Pb im B-Horizont bedeutet, dass das eingetragene Pb durch gelöste organische Substanz mobilisiert und in die Tiefe verlagert wurde. Blei ist wie Cu durch eine besonders starke Affinität zu gelöster organischer Substanz gekennzeichnet.

**A12.5.5****Schätzung der Mobilität der Schwermetalle**

Der Mineralboden ist profilumfassend stark sauer (Abb. A12.13). Im Unterboden wird die Mobilität von Ni und Zn aufgrund des pH-Wertes als gross, diejenige von Cr und Cu als mittel und diejenige von Pb als gering eingestuft (Abb. A12.18). Im Oberboden führt der hohe Gehalt an organischer Substanz für alle Schwermetalle mit Ausnahme von Zn zu einer etwas geringeren Mobilität. Die sehr stark sauren Verhältnisse in der organischen Auflage sorgen bei Ni und Zn wiederum für eine etwas grössere Mobilität

## Schwermetallmobilität

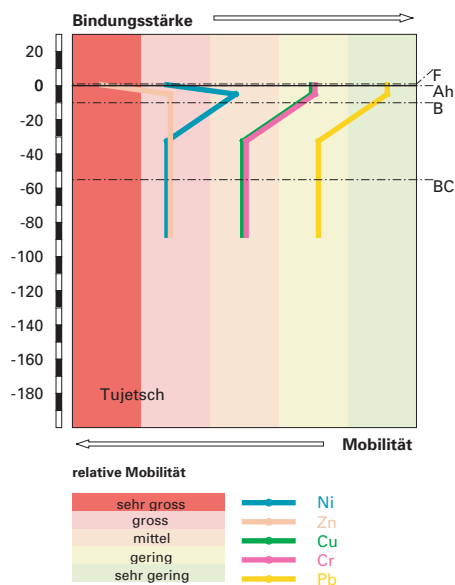


Abb. A12.18 Mobilität der Schwermetalle

als im Ah-Horizont. Die Anreicherungs faktoren (Tab. A12.4) deuten an, dass die effektive Mobilität von Cr, Cu und Pb durch Komplexbildung und Verlagerung mit gelöster organischer Substanz gegenüber der auf den Eigenschaften der Bodenfestphase (pH, Humus- und Tongehalt) basierenden und in Abb. A12.18 dargestellten Schätzung vergrössert wird.

Aufgrund der tiefen pH-Werte besteht ein relativ grosses Risiko einer Auswaschung von Ni und Zn ins Grundwasser. Die Verlagerung mit gelöster organischer Substanz erhöht aber auch das Risiko einer Auswaschung der übrigen Schwermetalle.

### A12.5.6

#### Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

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

## A12.6 Themenbereich «Nährstoffe»

---

### A12.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

---

Der geringmächtige Moder zeigt an, dass die Umsetzungsprozesse leicht gehemmt sind und die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden deshalb nicht optimal ist. Das mässig weite C/N-Verhältnis von 24 im F-Horizont ist für die Humusform Moder typisch und lässt eine niedrige Mineralisierungsrate der organischen Substanz erwarten. Die Krümelstruktur im Ah-Horizont ist ein Zeichen für eine rege Aktivität der Bodenfauna. Als Ursachen der Ausbildung eines Moders kommt die schwer abbaubare Streu von Fichten und Vaccinien, das rauhe Klima auf rund 1600 m.ü.M. und die stark sauren pH-Verhältnisse in Betracht.

### A12.6.2 Nährstoffgehalte

---

Die Kationenaustauschkapazität ist im F-Horizont hoch und nur in den obersten 10 cm des Mineralbodens als knapp mittel zu klassieren ([Abb. A12.19](#)). In den tiefer gelegenen Horizonten ist sie extrem gering. Im F- bzw. Ah-Horizont ist der Kationenaustauscher zu rund 77 bzw. 88% mit Nährstoffkationen, vor allem mit Kalzium belegt ([Abb. A12.20](#)). Bereits im B-Horizont werden mehr als die Hälfte der Austauscherplätze von Aluminium eingenommen und der Kalziumanteil beträgt nur noch 25%. Austauschbares Magnesium und Kalium spielen eine untergeordnete Rolle. Ab 10 cm Tiefe ändert sich die Austauscherbelegung praktisch nicht mehr.

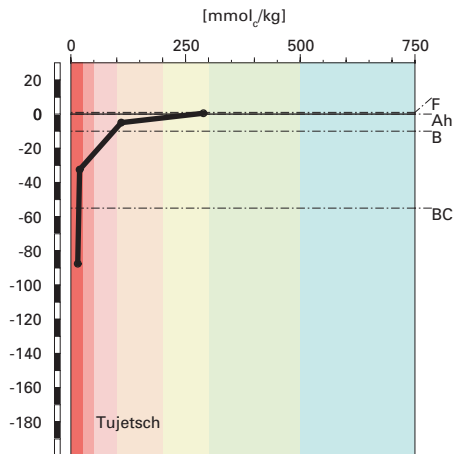
### A12.6.3 Nährstoffvorräte

---

Die Vorräte an austauschbarem Kalzium und Kalium nehmen mit der Tiefe langsam aber stetig zu, wogegen sich der Magnesiumvorrat im Tiefenverlauf nicht wesentlich ändert ([Abb. A12.21 bis A12.23](#)). Der Boden ist ab 10 cm Tiefe stark bis extrem stark skeletthaltig, was sich auf die Nährstoffvorräte nachteilig auswirkt. Bis zur Vergleichstiefe von 60 cm werden die Nährstoffvorräte folgendermassen beurteilt:

Ca    mittel  
Mg    gering  
K     sehr gering

### 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)

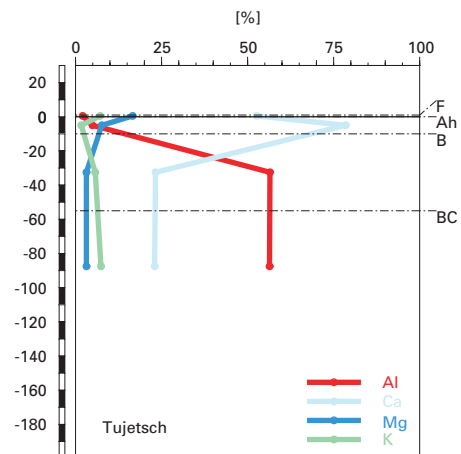
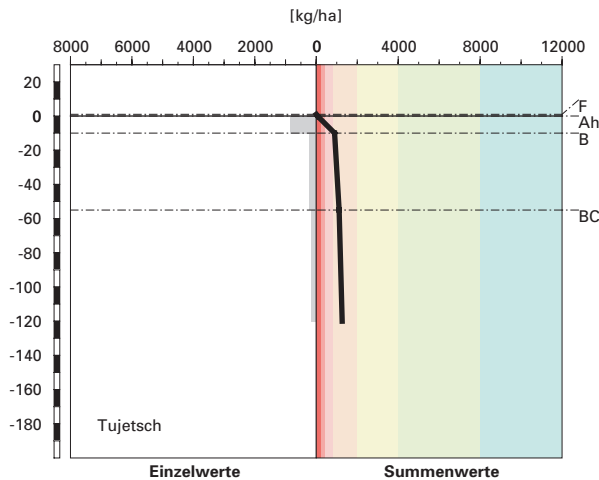


Abb. A12.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. A12.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

### Kalzium-Vorrat

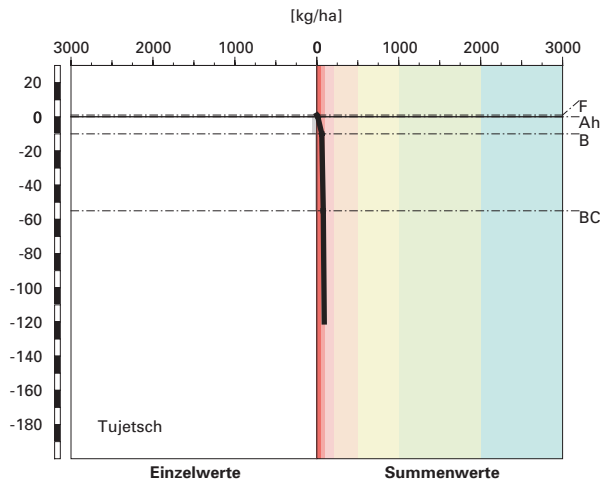


#### Klassierung Vorrat

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

Abb. A12.21 Vorrat an Kalzium

## Magnesium-Vorrat

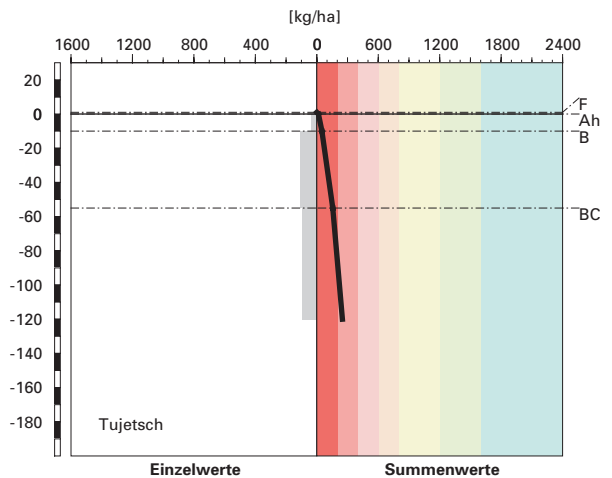


### Klassierung Vorrat

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

Abb. A12.22 Vorrat an Magnesium

## Kalium-Vorrat



### Klassierung Vorrat

>1600	sehr hoch
1200-1600	hoch
800-1200	mässig hoch
600-800	mittel
400-600	mässig
200-400	gering
<200	sehr gering

Abb. A12.23 Vorrat an Kalium

Der Boden ist zwar tiefgründiger und bis zur Aufschlusstiefe in 120 cm durchwurzelbar. Infolge des extrem grossen Skelettgehaltes und der extrem geringen Kationenaustauschkapazität ändert dies allerdings an der Vorratsbeurteilung der drei Nährstoffe, ausser für Kalium, nichts. Der K-Vorrat ist bis zur Aufschlusstiefe in 120 cm Tiefe gering. Es besteht kein Risiko für Trockenstress, so dass diese geringen Nährstoffvorräte uneingeschränkt genutzt werden können.

## A12.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

---

### A12.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

---

Der Steckbrief (Tab. A12.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

### A12.7.2 Baumartenwahl

---

#### Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand ist ein nahezu reiner Fichtenwald, was für die Höhenlage und den Standortstyp (EK Nr. 57) natürlich ist. Nach Ott et al. (1997) trifft man an diesem Standort häufig Rohhumus an. Die vorhandene Humusform Moder schätzen wir dennoch als standorttypisch ein.

#### 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.

### A12.7.3 Baumartenempfehlung

---

Gemäss BUWAL (2005) kommen an diesem Fichtenstandort (57M) nur die Fichte, die Vogelbeere und die Lärche für die Waldverjüngung in Frage. Diese stark eingeschränkte Auswahl ist vor allem durch das rauhe Klima bedingt.



**Tab. A12.5      Steckbrief für die Waldbehandlung (Tujetsch)****Standortangaben**

Relief	Höhe	1614 m
	Exposition	E
	Neigung	72%
Klima	Jahresniederschlag	1607 mm
	Jahrestemperatur	3.3°C
Ausgangsgestein	karbonatfreie Moräne	
Baumbestand	Struktur	mehrheitlich einschichtig
	Schlussgrad	30%
	Baumarten (Deckung)	30% Fichte
	Oberhöhe	25–30 m
Waldgesellschaft	nach E&K 1972	Nr.57: Torfmoos-Fichtenwald mit Landschilf
	nach BUWAL 2005	Nr.57M: Alpenlattich-Fichtenwald mit Waldwachtelweizen

**Bodenkennwerte**

Bodensystematik	Bodentyp	Braunerde
	Humusform	Moder
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Im Boden sind keine Vernässungsmerkmale erkennbar, was zeigt, dass der Boden stets gut durchlüftet ist.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden ist für alle Baumarten mindestens profilumfassend durchwurzelbar. Der Wurzelraum wird mit mehr als 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Wurzeln sind bis zur Profilsohle vorhanden.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besteht kein Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Der Mineralboden ist profilumfassend stark sauer. Das Ausgangsgestein ist karbonatfrei.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Moder weist auch das mässig weite C/N-Verhältnis in der organischen Auflage auf eine niedrige Mineralisierungsrate hin. Unterstützt wird diese Aussage durch das ebenfalls mässig weite C/P-Verhältnis in der organischen Auflage. Die biologische Aktivität wird gesamthaft als niedrig beurteilt.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen sind recht bescheiden. Der Ca-Vorrat ist mittel, jener von Mg und K gering.
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 55 cm Tiefe relativ wenig Skelett enthält. Ein Befahren des Bestandes ist allerdings nicht möglich, weil die Hangneigung zu gross ist.	

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.

---

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

---