

# Langfristige Waldökosystem- Forschung LWF in der Schweiz, Kernprojekt Bodenmatrix: Ergebnisse der ersten Erhebung 1994-1999

**Report**

**Author(s):**

Walthert, Lorenz

**Publication date:**

2003

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004500705>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

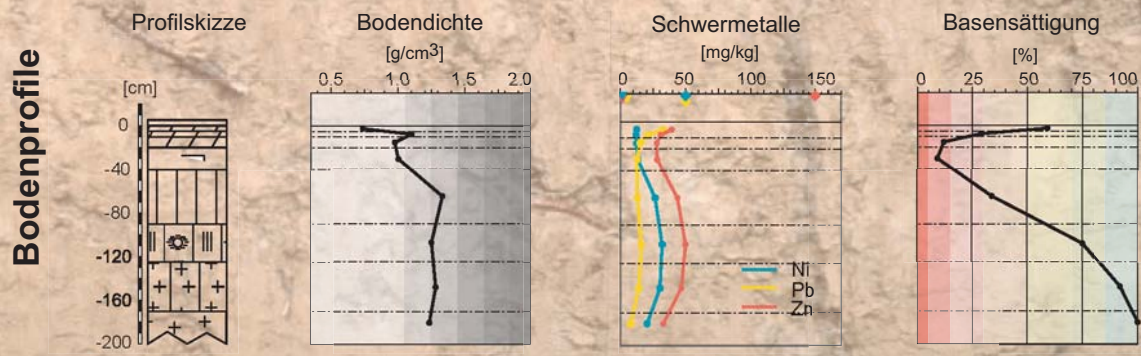
# Langfristige Waldökosystem-Forschung LWF in der Schweiz

## Kernprojekt Bodenmatrix

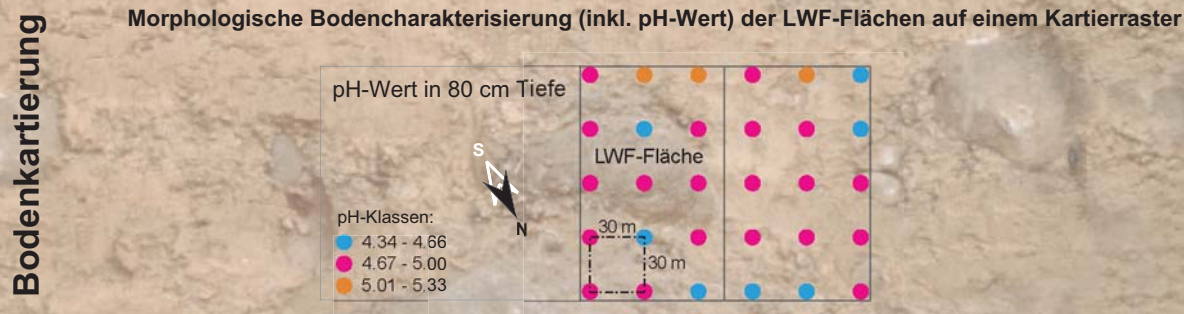
# Ergebnisse der ersten Erhebung 1994–1999

Lorenz Walthert, Peter Blaser, Peter Lüscher, Jörg Luster, Stefan Zimmermann

### Umfassende chemische und physikalische Charakterisierung des Bodens am Profilpunkt



### Morphologische Bodencharakterisierung (inkl. pH-Wert) der LWF-Flächen auf einem Kartiergitter



### Flächenrepräsentative chemische Charakterisierung des Bodens mit Angaben zur räumlichen Variabilität

**Bodenmonitoring**

Probenamen	Tiefe [cm]	pH-Wert			Azidität	NH <sub>4</sub> Cl-extrahierbare Elementgehalte								
		H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	KCl	[mmol <sub>e</sub> /kg]	[mmol <sub>e</sub> /kg]								
					H	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Pb	Zn
Lm Ju 95 03	0-5	5.6	4.8	4.3	3.7	3.7	146.9	0.17	4.4	31.9	2.35	0.5	<0.01	0.14
Lm Ju 95 13		5.1	4.5	4.1	6.0	12.3	133.1	0.27	5.1	29.9	2.51	0.4	0.01	0.14
Lm Ju 95 23		5.2	4.6	4.2	3.7	5.9	84.2	0.20	3.4	19.6	2.69	0.3	<0.01	0.09
Lm Ju 95 33		5.3	4.6	4.2	4.6	5.9	119.5	0.40	3.8	24.9	3.34	0.3	0.01	0.12
Mittelwert		5.3	4.6	4.2	4.5	7.0	120.9	0.3	4.2	26.6	2.7	0.4	<0.01	0.1
Median	5.3	4.6	4.2	4.1	5.9	126.3	0.2	4.1	27.4	2.6	0.4	<0.01	0.1	
Standardabweichung	0.20	0.14	0.12	1.1	3.72	26.92	0.10	0.73	5.53	0.43	0.09	n.b.	0.03	

**Langfristige Waldökosystem-Forschung LWF  
in der Schweiz**

**Kernprojekt Bodenmatrix**

**Ergebnisse  
der ersten Erhebung 1994–1999**

**Lorenz Walthert, Peter Blaser, Peter Lüscher, Jörg Luster, Stefan Zimmermann**

*Adresse der Autoren*

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL  
Abteilung Bodenökologie  
Zürcherstrasse 111  
CH-8903 Birmensdorf  
<http://www.wsl.ch>

*Zitierung*

Walthert, L.; Blaser, P.; Lüscher, P.; Luster, J.; Zimmermann, S., 2003: Langfristige Waldökosystem-Forschung LWF in der Schweiz. Kernprojekt Bodenmatrix. Ergebnisse der ersten Erhebung 1994–1999. [Published online in April 2003]. Available from World Wide Web < <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/cgi-bin/show.pl?type=bericht&nr=276> >. Zürich, Eidg. Techn. Hochschule. 340 p. + Anhang 153 p. [pdf]

*Angaben zur Gliederung der Publikation in der ETH E-Collection*

Die Publikation ist in der E-Collection in die drei folgenden Dateien aufgeteilt:

1. pdf-Datei: Einführung\_Resultate
2. pdf-Datei: Anhang
3. Excel-Datei: Datenarchiv

## **Vorwort**

Seit 1994 werden an der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL im Rahmen der Langfristigen Waldökosystem-Forschung LWF auf 17 Forschungsflächen die Ursache- Wirkungsbeziehungen zwischen den Umweltveränderungen und dem Ökosystem Wald untersucht. Dabei werden einerseits die wesentlichen Teile des Ökosystems (durch Erfassung der Wachstums- und Ernährungssituation der Bäume, der Waldvegetation, des Kronenzustandes, des Bodenzustandes sowie der Bodenlösung) und andererseits die wichtigsten Einflussfaktoren (Witterung, Immissionen, Stoffeinträge mit den Niederschlägen) erforscht.

Während einige Messparameter wie beispielsweise die Bodenlösung, die Deposition, die meteorologischen Parameter und zum Teil auch das Baumwachstum kontinuierlich erfasst werden, erfolgen andere Zustandserhebungen wie beispielsweise jene der Bodenfestsubstanz oder der Kronenverlichtung in zeitlichen Abständen von einigen Monaten bis zu maximal 10 Jahren.

Die in der vorliegenden Publikation dokumentierten Ergebnisse beziehen sich auf die Ersterhebung der Bodenfestsubstanz auf 16 LWF-Flächen. Die Erhebungen wurden in den Jahren 1994–1999 durchgeführt. An dieser Stelle möchte ich den Autoren und allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abteilung Bodenökologie danken, die, sei es durch ihren Einsatz im Feld oder im Labor, zum erfolgreichen Abschluss der Bodenuntersuchungen massgeblich beigetragen haben. Ganz besonders gilt mein Dank Beat Peter, Micha Plüss, Rolf Lüscher, Roger Köchli und Marco Walser.

Die LWF-Flächen sind Teil der insgesamt 862 Intensivbeobachtungsflächen des Internationalen Kooperationsprogrammes zur Erfassung und Überwachung der Auswirkungen der Luftverschmutzung auf Wälder der Europäischen Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen (ICP-Forests der UN-ECE).

Birmensdorf, im April 2003

Norbert Kräuchi, Leiter LWF-Projekt



# Inhaltsverzeichnis

<b>Einführung</b>	S. 6
<a href="#">I Langfristige Waldökosystem-Forschung LWF</a>	S. 6
<a href="#">II Ziel, Umfang und Stand der Bodenuntersuchungen</a>	S. 6
<a href="#">III Ziel, Publikum und Umfang der Publikation</a>	S. 8
<a href="#">IV Zugriff auf die Bodendaten</a>	S. 9
<a href="#">V Methoden</a>	S. 9
<a href="#">VI Bodensystematik</a>	S. 10
<a href="#">VII Einführung in die bodenökologischen Themenbereiche</a>	S. 10
<b>Resultate und Diskussion</b>	S. 12
<a href="#">1. Lage und standörtliche Charakterisierung der LWF-Flächen</a>	S. 13
<a href="#">1.1 Lage der LWF-Flächen</a>	S. 13
<a href="#">1.2 Standort- und Bodenbildungsfaktoren</a>	S. 14
<a href="#">1.2.1 Relief und Ausgangsgestein</a>	S. 14
<a href="#">1.2.2 Klima und Pflanzen</a>	S. 15
<a href="#">2. Charakterisierung des Bodens auf den LWF-Flächen</a>	S. 16
<a href="#">2.1 Bodenökologische Fact-Sheets</a>	S. 17
Zusammenfassende Dokumentation des Bodens von 16 LWF-Flächen, gegliedert nach den folgenden sechs Themenbereichen	
<a href="#">2.1.1 Bodenmorphologie und Klassierung</a>	S. 18
<a href="#">2.1.2 Physikalische Bodenkennwerte</a>	S. 20
<a href="#">2.1.3 Säurezustand</a>	S. 22
<a href="#">2.1.4 Schwermetalle</a>	S. 25
<a href="#">2.1.5 Nährstoffe</a>	S. 27
<a href="#">2.1.6 Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl</a>	S. 31
<a href="#">2.2 Bodenprofile</a>	S. 32
Umfassende chemische und physikalische Charakterisierung des Bodens von 16 LWF-Flächen am Profilverpunkt, gegliedert nach den sechs Themenbereichen	
<a href="#">2.2.1 LWF-Fläche Alptal</a>	S. 34
<a href="#">2.2.2 LWF-Fläche Beatenberg</a>	S. 50
<a href="#">2.2.3 LWF-Fläche Bettlachstock</a>	S. 66
<a href="#">2.2.4 LWF-Fläche Celerina</a>	S. 81
<a href="#">2.2.5 LWF-Fläche Chironico</a>	S. 97
<a href="#">2.2.6 LWF-Fläche Isonne</a>	S. 113
<a href="#">2.2.7 LWF-Fläche Jussy</a>	S. 129
<a href="#">2.2.8 LWF-Fläche Lausanne</a>	S. 146
<a href="#">2.2.9 LWF-Fläche Lens</a>	S. 163
<a href="#">2.2.10 LWF-Fläche Nationalpark</a>	S. 179
<a href="#">2.2.11 LWF-Fläche Neunkirch</a>	S. 195
<a href="#">2.2.12 LWF-Fläche Novaggio</a>	S. 210
<a href="#">2.2.13 LWF-Fläche Othmarsingen</a>	S. 227
<a href="#">2.2.14 LWF-Fläche Schänis</a>	S. 243
<a href="#">2.2.15 LWF-Fläche Visp</a>	S. 259
<a href="#">2.2.16 LWF-Fläche Vorderwald</a>	S. 274
<a href="#">2.3 Bodenkartierung</a>	S. 291
Morphologische Bodencharakterisierung (inkl. pH-Wert) von 16 LWF-Flächen auf einem Kartieraster	
<a href="#">2.3.1 LWF-Fläche Alptal</a>	S. 292
<a href="#">2.3.2 LWF-Fläche Beatenberg</a>	S. 295
<a href="#">2.3.3 LWF-Fläche Bettlachstock</a>	S. 298
<a href="#">2.3.4 LWF-Fläche Celerina</a>	S. 301
<a href="#">2.3.5 LWF-Fläche Chironico</a>	S. 304
<a href="#">2.3.6 LWF-Fläche Isonne</a>	S. 307
<a href="#">2.3.7 LWF-Fläche Jussy</a>	S. 310
<a href="#">2.3.8 LWF-Fläche Lausanne</a>	S. 313
<a href="#">2.3.9 LWF-Fläche Lens</a>	S. 316
<a href="#">2.3.10 LWF-Fläche Nationalpark</a>	S. 319
<a href="#">2.3.11 LWF-Fläche Neunkirch</a>	S. 322
<a href="#">2.3.12 LWF-Fläche Novaggio</a>	S. 325
<a href="#">2.3.13 LWF-Fläche Othmarsingen</a>	S. 328
<a href="#">2.3.14 LWF-Fläche Schänis</a>	S. 331
<a href="#">2.3.15 LWF-Fläche Visp</a>	S. 334
<a href="#">2.3.16 LWF-Fläche Vorderwald</a>	S. 337
<a href="#">2.4 Bodenmonitoring</a>	S. 340
Flächenrepräsentative chemische Charakterisierung des Bodens von 14 LWF-Flächen mit Angaben zur räumlichen Variabilität	

## Anhang

Der Anhang ist in einer separaten pdf-Datei publiziert. Nachfolgend ist der Inhalt des Anhangs im Sinne eines Überblicks als nicht verlinkte Version aufgeführt.

A1 Methoden	S. A 3
A1 1. Feldarbeiten	S. A 3
A1 2. Laboranalysen	S. A 7
A1 3. Datenreproduzierbarkeit	S. A 15
A2 Bodensystematik	S. A 20
A2 1. Horizontbeschreibungen mittels Signaturen und Symbolen	S. A 20
A2 2. Klassierung der Humusformen	S. A 27
A2 3. Bodenklassierung	S. A 29
A2 4. Klassierung der Bodenvernässung	S. A 31
A3 Bodenökologische Themenbereiche	S. A 33
A3 1. Themenbereich "Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie"	S. A 33
A3 2. Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte"	S. A 42
A3 3. Themenbereich "Säurezustand"	S. A 51
A3 4. Themenbereich "Schwermetalle"	S. A 59
A3 5. Themenbereich "Nährstoffe"	S. A 69
A3 6. Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"	S. A 73
A4 Erläuterungen zu den Soilplot-Abbildungen	S. A 80
A4 1. Linienplots	S. A 80
A4 2. Balkenplots addierend	S. A 82
A4 3. Kombinierte Balken- und Summenplots	S. A 83
A5 Bodendaten	S. A 85
A5 1. Bodenprofile (interpretierte Profile)	S. A 85
A5 2. Bodenkartierung	S. A 118
A5 3. Bodenmonitoring	S. A 136
A6 Literaturverzeichnis	S. A 151

## Datenarchiv

Im Datenarchiv sind alle verfügbaren Messwerte der Bodenprofile, der Bodenkartierung und des Bodenmonitorings in einem bearbeitbaren Datenformat (Excel-Datei) gespeichert.

# Einführung

## I Langfristige Waldökosystem-Forschung LWF

Die LWF < <http://www.wsl.ch/forest/risks/riskshome-en.ehtml> > ist ein Forschungs- und Monitoringprojekt, das an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL betrieben wird. Mit der LWF soll geklärt werden, wie sich natürliche und anthropogene Einflüsse auf den Wald auswirken und welche Risiken sich daraus für das Waldökosystem und damit verbunden für den Menschen ergeben. Um eine Antwort auf diese Fragen zu finden, ist ein vertieftes Verständnis der Prozesse und der Ursache-Wirkungsbeziehungen im Waldökosystem nötig. Die Ziele der LWF lauten wie folgt:

- Erfassen von externen Einflüssen (Stoffeinträge, Witterung) anthropogenen und natürlichen Ursprungs
- Erfassen von Veränderungen wichtiger Komponenten des Waldökosystems
- Abschätzen des Einflusses externer Einflüsse auf das Waldökosystem
- Entwickeln von Indikatoren zum Waldzustand
- Ganzheitliche Risikoanalyse bei unterschiedlichen Belastungsszenarien

Die Ziele der LWF in der Schweiz stehen in Übereinstimmung mit denjenigen des "International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests" (ICP-Forests) und des "International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects" (ICP-IM). Die übergeordnete Instanz dieser beiden Monitoring-Programme ist die europäische Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen (UN-ECE).

Um die Fragestellungen der LWF zu beantworten, wurden in der Schweiz 17 Forschungsflächen eingerichtet. Seit 1994 werden dort Langzeitbeobachtungen durchgeführt. Auf den Flächen sollen externe Einflüsse, Ökosystem-Komponenten und -Prozesse über Jahrzehnte beobachtet werden. Das Schwergewicht der Untersuchungen liegt bei den Stoffeinträgen, der Witterung, dem Boden, der Vegetation und den Bäumen. Während einige Parameter wie beispielsweise die Witterung, die Stoffeinträge und die Bodenlösung kontinuierlich oder in kurzen Zeitabständen von einigen Tagen erfasst werden, erfolgen andere Erhebungen wie etwa jene der Bodenfestsubstanz, der Vegetation oder der Kronenverlichtung in zeitlichen Abständen von einigen Monaten bis zu maximal 10 Jahren.

Die 17 LWF-Flächen der Schweiz sind Teil der mehr als 860 europäischen Intensiv-Monitoringflächen (Level II) von ICP-Forests. Als Besonderheit im europäischen Vergleich liegen relativ viele schweizerische LWF-Flächen im alpinen Raum. Hier ist mit einer vergleichsweise raschen Reaktion der Waldökosysteme auf die Klimaveränderung zu rechnen.

## II Ziel, Umfang und Stand der Bodenuntersuchungen

Ziel der Bodenuntersuchungen ist es, den Zustand des Bodens auf den LWF-Flächen bei Projektbeginn zu charakterisieren und im Rahmen des Monitorings längerfristig allfällige Veränderungen festzuhalten. Die Analyse von Ursache-Wirkungsbeziehungen soll es ermöglichen, die im Boden ablaufenden Prozesse und die Gründe allfälliger Veränderungen zu verstehen. Die Analysen sollten nicht nur mit Bodendaten, sondern zunehmend auch mit interdisziplinärer Optik erfolgen, indem Daten anderer Monitoring-Disziplinen wie etwa Stoffeinträge oder Witterung einbezogen werden.



Die Bodenuntersuchungen auf den LWF-Flächen umfassen sowohl die Bodenmatrix (Festsubstanz) als auch das Bodenwasser. Die Untersuchungen von Bodenwasser und Bodenmatrix laufen organisatorisch getrennt in zwei verschiedenen Projekten ab.

### *Bodenmatrix*

Die Untersuchungen zur Bodenmatrix werden im Rahmen des WSL-Projekts 6.95.936 (LWF-Kernprojekt Bodenmatrix) durchgeführt. Das Projekt verfolgt das Ziel, den chemischen und physikalischen Zustand der Bodenmatrix auf den LWF-Flächen zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Flächen zu erfassen und zu dokumentieren. Es handelt sich also um eine Erstinventur im Rahmen des langfristigen Monitorings. Mit Folgeinventuren werden allfällige Veränderungen des Bodens erfasst. Solche Veränderungen geben Hinweise auf langfristig zu erwartende Risiken für den Boden und das Waldökosystem.

Die Erhebungen im Rahmen des Projektes lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Eine meist mittels Bohrungen auf einem Raster von 15 bis 30m Punktabstand durchgeführte Bodenkartierung gibt einen räumlich differenzierten Überblick über die morphologischen Bodenverhältnisse auf den LWF-Flächen. Die Kartierung ist einmalig, eine Wiederholung zu einem späteren Zeitpunkt ist nicht vorgesehen.

Anhand von ein bis maximal vier Bodenprofilen pro LWF-Fläche erfolgt die detaillierte morphologische, chemische und physikalische Charakterisierung des Bodens bis hinunter auf das unverwitterte Ausgangsgestein. Wie die Kartierung ist die Untersuchung der Bodenprofile einmalig.

Das Monitoring der Bodenmatrix findet auf der Intensivmonitoring-Fläche (IM-Fläche) statt, welche innerhalb der LWF-Fläche liegt. Der Boden wird hier in Zeitabständen von rund 10 Jahren beprobt und auf allfällige Veränderungen hin untersucht.

Die Ersterhebung der Bodenmatrix wurde in den Jahren 1994–1999 auf 16 LWF-Flächen durchgeführt. Kartierung, Untersuchung der Bodenprofile und Beprobung der IM-Flächen inklusive Laboranalysen und Probenarchivierung sind abgeschlossen. Die Methoden der Ersterhebung sind in Walthert et al. (2002) publiziert. Das Kernprojekt Bodenmatrix wird mit der vorliegenden Publikation abgeschlossen.

Eine Folgebeprobung der IM-Flächen zur Feststellung allfälliger Veränderungen wird frühestens im Jahr 2005 durchgeführt.

### *Bodenwasser*

Die Untersuchungen zum Bodenwasser werden im Rahmen des WSL-Projekts 4.01.1348 (soil solution chemistry and soil water availability in LWF plots) durchgeführt. Das Bodenwasser wird nur auf dafür geeigneten LWF-Flächen untersucht. Im Gegensatz zur Bodenmatrix wird beim Bodenwasser ein Monitoring mit zeitlich hoher Auflösung betrieben. Die Saugspannung wird in einem Intervall von 14 Tagen auf 11 LWF-Flächen gemessen. Mit der Erfassung wurde auf den verschiedenen Flächen zu unterschiedlichen Zeitpunkten begonnen, und zwar zwischen 1996 und 2001. Die Bodenlösung wird 14-tägig entnommen und chemisch analysiert, und zwar seit 1998/99 auf 8 LWF-Flächen.

Die Untersuchung des Bodenwassers auf den LWF-Flächen soll bis auf weiteres mit der bestehenden Intensität weitergeführt werden.

Die Auswahl der erfassten Bodenparameter und der chemischen und physikalischen Analysenmethoden für Bodenwasser und Bodenmatrix richten sich nach den Vorgaben der beiden folgenden europäischen Monitoringprogramme

- ICP-IM: [http://www.vyh.fi/eng/intcoop/projects/icp\\_im/manual/contents.htm](http://www.vyh.fi/eng/intcoop/projects/icp_im/manual/contents.htm)
- ICP-Forests: <http://www.icp-forests.org>

### **III Ziel, Publikum und Umfang der Publikation**

Die vorliegende Publikation bezieht sich auf das LWF-Kernprojekt Bodenmatrix. In der Publikation wird der morphologische, chemische und physikalische Zustand der Bodenmatrix auf den LWF-Flächen zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der LWF-Flächen dokumentiert. Die Resultate der Bodenwasseruntersuchungen werden separat publiziert, sind also nicht Bestandteil der vorliegenden Publikation. In der Publikation werden ausschliesslich Bodenmatrix-Daten veröffentlicht. Es werden keine Daten anderer Forschungsdisziplinen einbezogen, die Publikation beinhaltet damit keine integrierten Auswertungen.

Zielpublikum sind all jene Forschenden, welche im In- oder Ausland Monitoring mit Bezug zum Boden betreiben. Der umfangreiche Datensatz wird insbesondere für viele auf den LWF-Flächen laufenden Forschungsprojekte nützlich sein. Wertvoll ist der Datensatz auch für die Modellierung, weil zahlreiche Modelle, welche Entwicklungen im Waldökosystem zum Thema haben, auf Bodendaten angewiesen sind. Schliesslich dürften die Bodendaten in Zukunft auch in integrierten Auswertungen Verwendung finden.

Die vorliegende Publikation ist in die drei Teile "Einführung", "Resultate und Diskussion" und "Anhang" gegliedert. Die Einführung und der Anhang enthalten Informationen, welche zum besseren Verständnis des Resultatteils beitragen, wie etwa Methoden, Bodensystematik und Einführung in die bodenökologischen Themenbereiche. Der Resultatteil beinhaltet die standörtliche und bodenökologische Charakterisierung der LWF-Flächen. Die bodenökologische Charakterisierung ist gegliedert in Fact-Sheets, Bodenprofile, Bodenkartierung und Bodenmonitoring:

#### *Fact-Sheets*

Sie sollen dem Leser einen Überblick über wichtige bodenökologische Eigenschaften von 16 LWF-Flächen vermitteln. Die Fact-Sheets lassen sich einerseits zum Auffinden von LWF-Flächen mit bestimmten bodenökologischen Eigenschaften nutzen; andererseits lassen sich die LWF-Flächen damit hinsichtlich wichtiger Bodeneigenschaften vergleichen.

#### *Bodenprofile*

Die Charakterisierung des Bodens anhand von Bodenprofilen bildet das Kernstück des Resultatteils. Die Profile werden detailliert nach den folgenden Themenbereichen beschrieben: "Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie", "Physikalische Bodenkennwerte", "Säurezustand", "Schwermetalle", "Nährstoffe" und "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl". In den Themenbereichen wird die Sensitivität der Böden hinsichtlich verschiedener Umwelteinflüsse beurteilt und die Eigenschaft des Bodens als Pflanzenstandort diskutiert. Die Ausführungen zu den Bodenprofilen sind für 16 LWF-Flächen verfügbar.

#### *Bodenkartierung*

Angaben zur Bodenkartierung sind für 16 LWF-Flächen verfügbar. Die Ergebnisse sind tabellarisch zusammengefasst, ausgewählte Bodenparameter werden anhand von Bodenkarten dargestellt. Ein abschliessender Kommentar fasst die wichtigsten Erkenntnisse der Kartierung zusammen.

#### *Bodenmonitoring*

Monitoringdaten sind für 14 LWF-Flächen verfügbar, die Daten werden jedoch lediglich tabellarisch dokumentiert, auf eine Interpretation wird verzichtet. Sie hat bei der nächsten Beprobung zu erfolgen, wenn es darum geht, allfällige Veränderungen im Boden festzustellen.

## **IV Zugriff auf die Bodendaten**

Von jeder der 16 LWF-Flächen ist eine Fülle verschiedenartiger Bodendaten vorhanden. In diesem Kapitel wird gezeigt, wo welche Daten zu finden sind.

### **Bodendaten in der vorliegenden Publikation**

#### *Bodenprofile*

Im Kap. 2.2 wird von jeder LWF-Fläche jeweils ein Bodenprofil interpretiert. Die Daten der 16 interpretierten Profile sind im Anhang A 5.1 zusammengestellt. Die Datentabellen sind nach den bei der Interpretation verwendeten Themenbereichen gegliedert. Im Datenarchiv sind alle verfügbaren Messwerte von 27 Profilen in einem bearbeitbaren Datenformat (Excel-Datei) gespeichert.

#### *Bodenkartierung*

Ausgewählte Resultate der Bodenkartierung werden im Kap. 2.3 vorgestellt. Eine Übersicht der an den einzelnen Kartierpunkten erfassten Bodenparameter geben die Datentabellen im Anhang A 5.2 und als bearbeitbares Datenformat (Excel-Datei) im Datenarchiv.

#### *Bodenmonitoring*

Die Monitoringdaten sind im Anhang A 5.3 und als bearbeitbares Datenformat (Excel-Datei) im Datenarchiv dokumentiert.

### **Bodendaten in der Aufnahmeanleitung**

In der Aufnahmeanleitung (Walthert et al., 2002) sind sämtliche Rohdatenfiles publiziert, und zwar in der Fassung, wie sie vom Boden- und Zentrallabor geliefert werden. Neben den Messwerten in Form von Mehrfachbestimmungen enthalten diese Files die für die Qualitätskontrolle nötigen Informationen wie beispielsweise Blind- und Referenzwerte.

Rohdatenfiles sind von der Bodenkartierung, von den Bodenprofilen und vom Bodenmonitoring vorhanden. Sie sind auf der CD-ROM gespeichert, welche der Aufnahmeanleitung beigelegt ist.

## **V Methoden**

Die im LWF-Kernprojekt Bodenmatrix verwendeten Methoden werden in der vorliegenden Publikation nur so weit skizziert, wie es für das Verständnis unserer Ausführungen nötig ist.

Die Methoden sind im Anhang A 1 aufgeführt. Inhaltlich sind sie in Feldarbeiten und Laboranalysen gegliedert. Ein ergänzendes Kapitel ist der Datenreproduzierbarkeit gewidmet.

Für einen ausführlichen Beschrieb der Methoden wird auf die Aufnahmeanleitung (Walthert et al., 2002) verwiesen. Die dort enthaltenen Informationen sollen es ermöglichen, eine Folgeerhebung nach exakt demselben methodischen Vorgehen wie bei der Ersterhebung (1994–1999) zu realisieren.

## **VI Bodensystematik**

Die in der vorliegenden Publikation enthaltenen Angaben zur Bodensystematik umfassen Horizontcharakterisierungen mittels Symbolen, Signaturen und Kurzbeschreibungen sowie Klassierungssysteme für Humusform, Boden und Bodenvernässung. Sämtliche Unterlagen für die Klassierung befinden sich im Anhang A 2.

Die Auswahl der Horizonte und das Klassierungssystem für den Boden basieren auf der Systematik der Böden Deutschlands (AK BS, 1998). Die Humusformen werden in Anlehnung an die für mitteleuropäische Wälder gültigen Klassierungsgrundsätze von Babel (1971) klassiert. Die Beurteilung der Bodenvernässung erfolgt anhand eines WSL-eigenen Systems.

Um die Böden auch für ein breiteres Publikum nachvollziehbar zu charakterisieren, wurden sie zusätzlich nach dem System der FAO (1988) klassiert.

## **VII Einführung in die bodenökologischen Themenbereiche**

Im Kap. 2.2 werden die Bodenprofile nach den folgenden sechs Themenbereichen beschrieben:

1. Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie
2. Physikalische Bodenkennwerte
3. Säurezustand
4. Schwermetalle
5. Nährstoffe
6. Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl

Durch die Fokussierung auf Themenbereiche wird eine bodenökologisch relevante, kompakte und einheitliche Darstellung der Profildaten angestrebt. Die einheitliche Darstellung der Bodendaten erleichtert es, die Böden der 16 LWF-Flächen vergleichend zu betrachten.

Im Anhang A 3 werden im Sinne einer Einführung die theoretischen Grundlagen der sechs Themenbereiche vermittelt. Diese Einführung liefert das nötige Know-how, um die Profilbeschreibungen im Kap. 2.2 verstehen zu können. Jeder Themenbereich bildet einen in sich abgeschlossenen Überblick und erhellt die zur Interpretation notwendigen fachlichen und theoretischen Hintergründe. In den einzelnen Themenbereichen werden nur diejenigen Sachverhalte behandelt, welche für das Verständnis unserer Bodenbeschreibungen notwendig sind. Auswahl und Inhalt der Themenbereiche erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Nachfolgend werden die einzelnen Themenbereiche inhaltlich skizziert:

Der erste Themenbereich behandelt die Bodenbildungsfaktoren Relief, Ausgangsgestein, Klima und Pflanzen und zeigt, von welchen Quellen diesbezügliche Angaben stammen. Anschliessend wird erläutert, wie sich die im Feld erhobenen morphologischen Bodenmerkmale interpretieren lassen. Aufgrund dieser Merkmale werden Humusform- und Boden klassiert. Die Klassierungsgrundsätze der von uns verwendeten Bodensystematik befinden sich jedoch nicht in diesem Themenbereich, sondern im Anhang A 2.

Der zweite Themenbereich befasst sich mit der ökologischen Bedeutung einiger physikalischer Bodenkennwerte und diskutiert die Auswirkungen physikalischer Bodeneigenschaften auf die Bäume. Zudem wird die Bodenbefahrbarkeit in Abhängigkeit der physikalischen Bodeneigenschaften beurteilt.

Der dritte Themenbereich befasst sich mit den Aspekten der Bodenversauerung. Hier werden natürliche und zivilisationsbedingte Säurequellen und Versauerungsprozesse vorgestellt.

Es werden wichtige Pufferreaktionen behandelt, welche diesen Versauerungsprozessen entgegenwirken, sowie mögliche Folgen der Bodenversauerung diskutiert.

Im vierten Themenbereich wird das Vorkommen und Verhalten von ausgewählten Schwermetallen in den Böden erörtert. Ein Schwerpunkt ist der Herkunft der in unterschiedlichen Bodentiefen vorhandenen Schwermetalle gewidmet, insbesondere der Unterscheidung von lithogenen und anthropogenen Schwermetallgehalten. Im weiteren wird mit verschiedenen gutachtlichen Ansätzen das mit den Schwermetallen verbundene ökotoxikologische Risiko beurteilt. Darunter fallen die Beurteilung der Bodenbelastung nach der Bodenschutzverordnung der Schweiz (VBBo, 1998) und die Abschätzung einer Grundwasserkontamination.

Die beiden verbleibenden Themenbereiche sind anwendungsorientiert und sollen zeigen, wie die erhobenen Daten im Hinblick auf die Waldnutzung und Baumartenwahl interpretiert werden können. Im fünften Themenbereich wird auf die Nährstoffe, insbesondere deren Verfügbarkeit, Gehalte und Vorräte eingegangen. Dabei stehen die kationischen Hauptnährelemente Ca, Mg und K im Zentrum. Die Verfügbarkeit der anionischen Nährelemente wie beispielsweise Stickstoff wird indirekt über die Humusform und damit über die Abbaugeschwindigkeit der organischen Substanz beurteilt.

Im letzten Themenbereich werden waldbaulich relevante Bodeneigenschaften und die daraus ableitbaren Empfehlungen für die Baumartenwahl vorgestellt. Der Boden hat als wichtiger Standortfaktor einen grossen Einfluss auf das Baumwachstum, indem Vorkommen und Konkurrenzkraft der Baumarten stark von der Beschaffenheit des Bodens abhängen.

## **Resultate und Diskussion**

Im vorliegenden zweiten Teil dieser Publikation wird einleitend auf die geographische Lage der LWF-Flächen und die dort wirksamen Standort- und Bodenbildungsfaktoren eingegangen. Anschliessend werden die verfügbaren Bodendaten dokumentiert und interpretiert.

Die Dokumentation des Bodens erfolgt mit drei unterschiedlichen Datensets, wobei die Daten der Bodenprofile, der Bodenkartierung und des Bodenmonitorings je ein Datenset darstellen.

Eine ausführliche bodenökologische Interpretation wird nur mit dem Datenset der Bodenprofile durchgeführt. Die Daten der Bodenkartierung und des Bodenmonitorings werden lediglich in tabellarischer oder graphischer Form präsentiert.

Die wichtigsten Resultate der Bodenuntersuchungen sind als Übersicht in den bodenökologischen Fact-Sheets zusammengefasst.



# 1. Lage und standörtliche Charakterisierung der LWF-Flächen

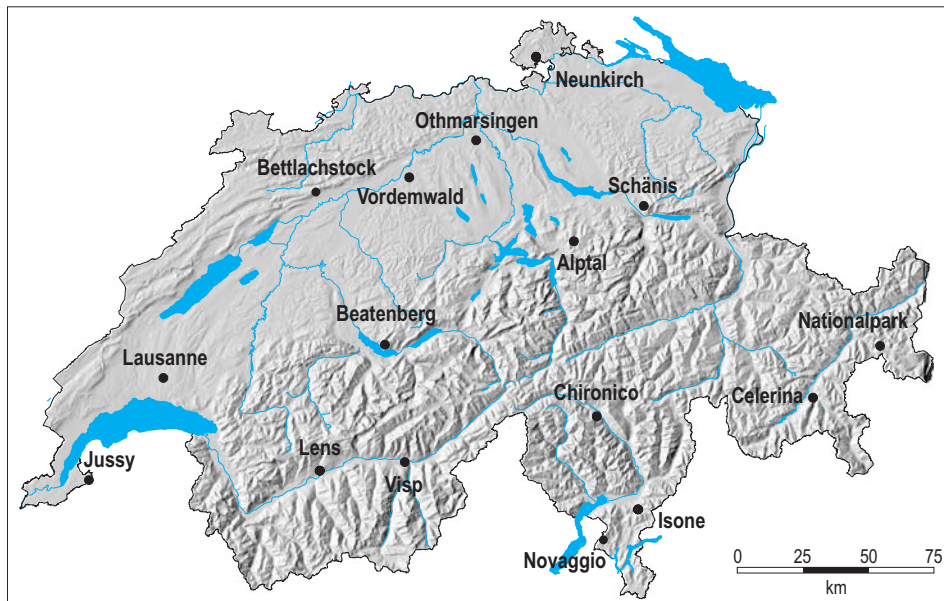
Dieses Kapitel orientiert zuerst über die geographische Lage der LWF-Flächen. Anschliessend wird anhand von Faktorentabellen eine Übersicht der auf den Forschungsflächen wirkenden Standort- und Bodenbildungsfaktoren gegeben.

Die Faktorentabellen lassen sich einerseits zum Auffinden von LWF-Flächen mit bestimmten standörtlichen Eigenschaften nutzen. Andererseits ermöglichen sie einen Vergleich der LWF-Flächen hinsichtlich wichtiger Standort- und Bodenbildungsfaktoren.

## 1.1 Lage der LWF-Flächen

Die Abb. 1 orientiert über die geographische Lage der LWF-Flächen in der Schweiz. Die 16 Flächen sind recht gut über die Schweiz verteilt und decken hinsichtlich der Standortfaktoren Ausgangsgestein, Klima, Relief und Pflanzenbewuchs ein breites Spektrum ab.

Die Tab. 1 enthält einige allgemeine Angaben zu den LWF-Flächen. Die Flächen wurden zwischen 1994 und 1997 eingerichtet. Ihre Größe variiert je nach LWF-Fläche zwischen 0.6 und 2.0 ha, beträgt jedoch häufig 2.0 ha.



LWF-Fläche	Lokalname	Kanton	Region	Blatt Landeskarte Massstab 1:25 000	Landeskoordinaten	Einrichtungsdatum	Flächengröße (ha)
Alptal	Teuftobel	SZ	Voralpen	1152 Ibergeregge	696 800 211 631	31.05.95	0.6
Beatenberg	Howald	BE	Voralpen	1208 Beatenberg	624 757 172 177	25.09.96	2.0
Bettlachstock	Ober-Stock	SO	Jura	1106 Moutier	598 335 230 470	06.06.95	1.3
Celerina	Val S-Chüra	GR	Alpen	1257 St. Moritz	788 085 151 918	03.07.96	2.0
Chironico	Bosco Savert	TI	Alpensüdseite	1272 Campo Tencia	705 538 144 866	29.08.95	2.0
Isonne	Crono di sopra	TI	Alpensüdseite	1333 Tesserete	721 303 109 369	05.09.95	2.0
Jussy	Les Grands Bois	GE	Mittelland	1301 Genève	511 454 120 471	31.05.95	2.0
Lausanne	Bois du Benenté	VD	Mittelland	1223 Echallens	540 171 159 464	05.09.94	2.0
Lens	La Vereilla	VS	Alpen	1286 St-Léonard	599 792 124 126	15.03.96	2.0
Nationalpark	Lingia Lungia	GR	Alpen	1219 S-charl	813 599 171 719	10.10.95	2.0
Neunkirch	Zieglerhalde	SH	Jura	1031 Neunkirch	682 373 282 029	14.07.95	2.0
Novaggio	Pianca Comune	TI	Alpensüdseite	1353 Lugano	708 066 97 746	08.03.95	1.5
Othmarsingen	Berg	AG	Mittelland	1090 Wohlen	659 495 250 156	09.09.94	1.0
Schänis	Buholz	SG	Voralpen	1133 Linthebene	723 464 225 068	17.09.97	2.0
Visp	Grauberg	VS	Alpen	1288 Raron	632 338 127 361	13.03.96	2.0
Vorderwald	Unterwald	AG	Mittelland	1108 Murgenthal	633 909 236 004	18.08.95	2.0

Abb. 1: Geographische Lage der LWF-Flächen in der Schweiz (Bildquelle: Bundesamt für Statistik / Bundesamt für Landestopographie)

Tab. 1: Allgemeine Angaben zu den LWF-Flächen

## 1.2 Standort- und Bodenbildungsfaktoren

### 1.2.1 Relief und Ausgangsgestein

Die Tab. 2 orientiert über Relief und Ausgangsgestein der LWF-Flächen. Das Ausgangsgestein ist nach geologischen, tektonischen, geotechnischen und geochemischen Kriterien klassiert. Die verwendeten Quellen sind im Tabellenfuss referenziert. Auf die Bedeutung der verschiedenen Klassierungen wird in der vorliegenden Publikation an zahlreichen Stellen näher eingegangen.

Tab. 2: Relief und Ausgangsgestein der LWF-Flächen

LWF-Fläche	Relief				Ausgangsgestein <sup>1</sup>				Geotechnische Einheit	Geochemische Fazies	Lithofazies	Einheit BEK
	Höhe	Exposition	Neigung	Lage im Gelände	Tektonik	Geologie						
	[m]	-	[%]	-								
Alptal	1149-1170	NW	23	Mittelhang	Nordpenninikum / Mesozoikum bis Tertiär	Wägitaler Flysch		25	3	11	S6	
Beatenberg	1490-1532	SW	33	Oberhang	Helvetikum / Tertiär / Eozän	Hohgant sandstein		26	4	13	U4	
Bettlachstock	1101-1196	S	66	Mittelhang	Kettenjura / Mesozoikum / Dogger	Hauptrogenstein		29	5	18	E3	
Celerina	1846-1896	NE	34	Mittelhang	Quartär	Carbonatfreie Moräne		1	3	24	V3	
Chironico	1342-1387	N	35	Mittelhang	Untergrund: Penninikum; Oberfläche: Quartär und Gehängeschutt	Untergrund: Paragneise und Glimmerschiefer; Oberfläche: carbonatfreie Moräne und G.schutt		7	3	6	W7	
Isonne	1181-1259	NE	58	Mittelhang	Untergrund: präpermisches Grundgebirge; Oberfläche: Quartär und G.schutt	Untergrund: schiefriger Biotitplagioklasgneis; Oberfläche: carbonatfreie Moräne und G.schutt		50	4	7	W7	
Jussy	496-506	-	3	Ebene	Quartär / Würm	Carbonathaltige Grundmoräne		1	3	24	H1	
Lausanne	800-814	NE	7	Mittelhang	Untergrund: Tertiär / obere Meeresmolasse; Oberfläche: Quartär / Würm	Untergrund: Sandstein; Oberfläche: carbonathaltige Moräne		1	3	24	H5	
Lens	1033-1093	SE	75	Mittelhang	Untergrund: Penninikum / Trias; Oberfläche: Gehängeschutt	Untergrund: sandiger Kalkstein; Oberfläche: kalkreicher Gehängeschutt		33	5	12	U5	
Nationalpark	1890-1907	S	11	Mittelhang	Untergrund: Ostalpin; Oberfläche: Schwemmfächer	Schwemmfächer aus Dolomiten, Kalken, Tonschiefern und Rauhwacken		38	5	19	R4	
Neunkirch	554-609	N	58	Mittelhang	Tafeljura / Mesozoikum / Malm	Gehängeschutt		29	5	18	A3	
Novaggio	902-997	S	68	Mittelhang	Untergrund: präpermisches Grundgebirge; Oberfläche: Quartär / Würm	Untergrund: Orthogneis; Oberfläche: carbonatfreie Moräne		49	1	3	V5	
Othmarsingen	467-500	S	27	Hangfuss	Untergrund: Tertiär / obere Meeresmolasse; Oberfläche: Quartär / Würm	Untergrund: Sandstein; Oberfläche: carbonathaltige Moräne		1	3	24	H2	
Schänis	693-773	W	60	Hangfuss	Tertiär / subalpine Molasse / Chattien	Kalknagelfluh		20	A	3	P7	
Visp	657-733	N	80	Mittelhang	Penninikum / Mesozoikum / Bündnerschiefer	Gehängeschutt aus Kalkphylliten		28	3	11	T1	
Vorderwald	473-487	NW	14	Mittelhang	Untergrund: Tertiär / untere Süsswassermolasse; Oberfläche: Quartär / Riss	Untergrund: bunte Mergel; Oberfläche: Moräne		1	3	24	K1	

<sup>1</sup> Die Angaben zu Tektonik und Geologie stammen aus geologischen Karten; geotechnische Einheit, geochemische Fazies und Lithofazies gemäss Tuchschnid (1995); BEK: Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200 000 (1980).

## 1.2.2 Klima und Pflanzen

Die Tab. 3 informiert über Klima und Pflanzenbewuchs der LWF-Flächen. Die Quellenangaben stehen im Tabellenfuss.

Tab. 3: Klima und Pflanzen der LWF-Flächen

LWF-Fläche	Klima <sup>2</sup>									Pflanzen <sup>3</sup>					
	Ø Jahr	Ø Januar	Ø Juli	Ø Jahr	Ø Januar	Ø Juli	Schneebedeckung / Jahr	Wärmegliederung	Vegetationsperiode	Mischungsart	Hauptbaumart	Deckung Baumschicht	Deckung Krautschicht	Deckung Moosschicht	Waldgesellschaft
	[°C]	[°C]	[°C]	[mm]	[mm]	[mm]	[d]	-	[d]	-	-	[%]	[%]	[%]	-
Alptal	5.3	-3.0	14.4	2129	138	254	157	ziemlich rauh	150-165	Nadelwald	<i>Picea abies</i>	30	90	80	49: <i>Equiseto-Abietetum</i>
Beatenberg	4.7	-2.1	12.0	1725	96	195	133	rauh	135-150	Nadelwald	<i>Picea abies</i>	40	80	70	57: <i>Sphagno-Piceetum calamagrostietosum villosae</i>
Bettlachstock	6.0	-1.4	14.5	1454	131	115	120	ziemlich rauh	150-165	Laubmischwald	<i>Fagus sylvatica</i>	85	50	1	13: <i>Cardamino-Fagetum tilietosum</i>
Celerina	0.7	-10.0	10.5	816	42	96	172	sehr rauh	120-135	Nadelwald	<i>Pinus cembra</i>	25	95	15	59: <i>Larici-Pinetum cembrae</i>
Chironico	5.8	-2.7	14.7	1427	78	127	130	ziemlich rauh	150-165	Nadelwald	<i>Picea abies</i>	75	30	2	47: <i>Calamagrostio villosae-Abietetum</i>
Isonne	7.5	-0.3	16.4	1819	78	166	94	sehr kühl	165-180	Laubwald	<i>Fagus sylvatica</i>	95	1	1	4: <i>Luzulo niveae-Fagetum dryopteridetosum</i>
Jussy	9.5	0.7	19.0	960	76	69	25	sehr mild	210-215	Laubwald	<i>Quercus robur</i>	95	60	1	35: <i>Galio silvatici-Carpinetum</i>
Lausanne	8.6	-0.5	17.6	1062	85	96	63	kühl	180-190	Laubmischwald	<i>Fagus sylvatica</i>	95	10	1	8: <i>Milio-Fagetum</i>
Lens	8.0	-0.2	17.1	954	105	72	106	ziemlich mild	200-205	Nadelwald	<i>Pinus sylvestris</i>	80	5	1	64: <i>Cytiso-Pinetum silvestris</i>
Nationalpark	0.9	-8.6	10.7	895	50	111	189	sehr rauh	120-135	Nadelwald	<i>Pinus mugo</i>	40	85	15	67: <i>Erico-Pinetum montanae</i>
Neunkirch	8.3	-0.8	17.8	1020	84	91	58	ziemlich mild	200-205	Laubwald	<i>Fagus sylvatica</i>	95	15	1	13: <i>Cardamino-Fagetum tilietosum</i>
Novaggio	9.1	1.3	17.0	1887	96	154	48	ziemlich kühl	190-200	Laubwald	<i>Quercus cerris</i>	80	70	1	42: <i>Phyteumo betonicifoliae-Quercetum castanosum</i>
Othmarsingen	8.6	-0.8	17.9	1045	84	110	57	ziemlich mild	200-205	Laubwald	<i>Fagus sylvatica</i>	90	60	0	7: <i>Galio odorati-Fagetum typicum</i>
Schänis	7.0	-1.9	16.3	1965	146	204	97	ziemlich kühl	190-200	Laubwald	<i>Fagus sylvatica</i>	90	80	1	13: <i>Cardamino-Fagetum tilietosum</i>
Visp	8.8	-1.5	19.0	615	56	40	55	mild	205-210	Nadelwald	<i>Pinus sylvestris</i>	50	60	5	38: <i>Arabidi turritae-Quercetum pubescentis</i>
Vordemwald	8.4	-0.6	17.8	1106	85	93	51	ziemlich mild	200-205	Nadelmischwald	<i>Abies alba</i>	95	8	10	46: <i>Bazzanio-Abietetum</i>

2 Temperatur- und Niederschlagsangaben gemäss MeteoSchweiz (Daten bearbeitet durch Martine Rebetez); Angaben zur Schneebedeckung gemäss Meteotest (Witmer, 1986); Wärmegliederung und Vegetationsperiode gemäss Wärmegliederung der Schweiz 1:200 000 (1977).  
3 Waldgesellschaft nach Ellenberg und Klötzli (1972).

## 2. Charakterisierung des Bodens auf den LWF-Flächen

Die Daten der Bodenprofile, der Bodenkartierung und des Bodenmonitorings stellen drei unterschiedliche Datensets dar. Die anschliessende Bodendokumentation der LWF-Flächen erfolgt getrennt nach diesen drei Datensets.

Die Ausführungen zu den **Bodenprofilen** sind je nach Homogenität des Bodens einer LWF-Fläche nur in der unmittelbaren Umgebung des Bodenprofils oder aber für eine grössere Fläche gültig. Die Bodenprofile werden in sechs Themenbereichen präsentiert. Es werden morphologische, chemische und physikalische Eigenschaften des Bodens bis ins unverwitterte Ausgangsgestein beschrieben. Die wichtigsten Resultate der Untersuchungen an den Bodenprofilen sind in den bodenökologischen Fact-Sheets zusammengefasst.

Im Gegensatz zu den Bodenprofilen kann mit der **Bodenkartierung** eine Aussage zur Variabilität der Bodeneigenschaften auf den LWF-Flächen gemacht werden. Die Anzahl der bei der Kartierung erfassten Bodenparameter ist jedoch begrenzt und beschränkt sich auf einige wenige morphologische Bodenmerkmale und den pH-Wert.

Beim **Bodenmonitoring** werden zahlreiche chemische Parameter gemäss Vorgabe europäischer Monitoringprogramme erfasst. Die Beprobungsstrategie ist so gewählt, dass die gemessenen Gehalte möglichst repräsentativ für die LWF-Fläche sind. Im Gegensatz zu den Bodenprofilen wird der Boden beim Monitoring nur bis in eine Tiefe von maximal 80cm beprobt. Die Daten der ersten Erhebung (Zustandserhebung 1994–1999) auf den LWF-Flächen werden in der vorliegenden Publikation zwar dokumentiert aber nicht interpretiert.

Je nach Fragestellung ist zu überlegen, welches Datenset für die Beantwortung einer Frage geeignet ist. Allenfalls ist eine kombinierte Betrachtung verschiedener Datensets angesagt. Dem oft vernommenen Bedürfnis nach flächenrepräsentativen Bodendaten kann beispielsweise durch eine Kombination von Bodenprofil- und Kartierungsdaten nachgekommen werden, indem im Bodenprofil erfasste chemische Eigenschaften anhand genetischer Horizonte auf die LWF-Fläche extrapoliert werden (z.B. für Vorratsberechnungen).

## 2.1 Bodenökologische Fact-Sheets

Die Fact-Sheets vermitteln einen Überblick einiger wichtiger bodenökologischer Eigenschaften der 16 LWF-Flächen, erheben aber nicht den Anspruch, die einzelnen Böden umfassend zu charakterisieren. Sie lassen sich einerseits zum Auffinden von LWF-Flächen mit bestimmten bodenökologischen Eigenschaften nutzen. Andererseits können die LWF-Flächen mit den Fact-Sheets rasch hinsichtlich wichtiger Bodeneigenschaften verglichen werden. Um eine möglichst gute Übersicht und rasche Orientierung zu gewährleisten, sind die Fact-Sheets kompakt gehalten.

Inhaltlich beziehen sich die Fact-Sheets ausschliesslich auf die Bodenprofile und stellen damit eine Zusammenfassung der im Kap. 2.2 gemachten bodenökologischen Aussagen dar. Die Fact-Sheets sind wie das Kap. 2.2 nach Themenbereichen gegliedert.

Im folgenden sind die Hauptaussagen, welche die einzelnen Themenbereiche in den Fact-Sheets vermitteln sollen, aufgeführt:

- **Bodenmorphologie und -klassierung**  
Dokumentation wichtiger morphologischer Bodenmerkmale und Bodenklassierung
- **Physikalische Bodenkennwerte**  
Abschätzung von Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie Auswirkungen auf das Baumwachstum
- **Säurezustand**  
Charakterisierung des Säurezustandes des Bodens und Beurteilung von Versauerungsgrad und Disposition des Bodens für weitere Versauerung
- **Schwermetalle**  
Beurteilung der Schwermetallgehalte im Ausgangsgestein, Einhaltung von Richt- und Grenzwerten, Bewertung der anthropogenen Schwermetallbelastung und des Risikos einer Grundwasserkontamination
- **Nährstoffe**  
Schätzung der Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden und Dokumentation der Nährstoffgehalte und -vorräte
- **Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl**  
Zusammenfassung der waldbaulich relevanten Bodenkennwerte aus den bodenökologischen Themenbereichen. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet und das Verankerungsvermögen des Baumbestandes sowie die Bodenbefahrbarkeit geschätzt

Treten bei der Lektüre der Fact-Sheets Unklarheiten auf oder besteht Bedarf an Zusatzinformationen, können die Ausführungen in den Anhängen A 1 bis A 4 weiterhelfen. Für eine umfassende Charakterisierung des Bodens der 16 LWF-Flächen wird auf Kap. 2.2 verwiesen.

### 2.1.1 Bodenmorphologie und -klassierung

Die Tab. 4 orientiert über die bodensystematische Einordnung der Böden der LWF-Flächen. Die für die Bestimmung von Humusform, Bodentyp und Bodenvernässung verwendeten Klassierungssysteme befinden sich im Anhang A 2.

Tab. 4: Bodensystematische Einordnung der Böden der LWF-Flächen

LWF-Fläche	Profil Nr.	Profiltiefe [cm]	Horizontfolge	Humusform <sup>1</sup>	Bodentyp <sup>2</sup>	Bodentyp (FAO) <sup>3</sup>
Alptal	4	60	L-Aa1-Aa2-AG1-AG2-Gr	Anmoor	Gley, stark grundnass	Mollic Gleysol
Beatenberg	1	65	L-F-H-Ah-AE-E1-E2-Bs,h1-Bs,h2-R	Rohhumus	Humuspodsol (pseudovergleyt)	Podsol
Bettlachstock	1	120	L-Ah1-Ah2-A-AB-B-IIBC-C(Sw)	Mull	Kalkbraunerde	Rendzic Leptosol
Celerina	1	100	L-AE-(E)1-Bs1-(E)2-Bs2-B-BC	Mull	Eisenpodsol	Podsol
Chironico	1	130	L-F-Ah-AB1-AB2-B1-B2-BC	Moder	Braunerde, podsoliert	Podsol
Isonne	1	120	L-Ah1-Ah2-A1-A2-B-BC-C	Mull	Braunerde	Podsol
Jussy	1	100	L-AG1-AG2-BG1-BG2-BG3-Go,r	Feuchtmull	Braunerde, vergleyt, grundnass	Eutric Gleysol
Lausanne	2	320	L-AS1-AS2-AS3-AS4-BS1-BS2-BS3-BC-C	Mull (Feuchtmull)	Braunerde, schwach pseudovergleyt	Dystric Cambisol
Lens	3	90	L-F-A-AB-B1-B2-B3-B4-C	Moder	Braunerde	Haplic Calcisol
Nationalpark	1	110	L-F-Ah-AC-C1-C2-C3-C4-CSd	Moder	Rendzina	Calcaric Fluvisol
Neunkirch	1	95	L-Ah1-Ah2-Ah3-AC1-AC2-AC3-C	Mull	Rendzina	Rendzic Leptosol
Novaggio	2	150	L-F-Ah1-Ah2-Ah3-A-AB-B-BC-C	Moder	Braunerde	Podsol
Othmarsingen	4	190	L-A-AE11-AE12-EI-Bt-Bt(Sd)-BC-C	Mull	Parabraunerde	Haplic Acrisol
Schänis	1	220	L-A1-A2-AB-B(Sw)-B(Sd)-BC-C-IIC	Mull	Braunerde, schwach pseudovergleyt	Eutric Cambisol
Visp	1	140	L-F-Ah-A1-A2-(A)C1-(A)C2-(A)C3-R	Moder (Xeromoder)	Pararendzina	Calcaric Phaeozeme
Vordemwald	1	210	L-F-Ah-ASw-ESw-Sw-Sd1-Sd2-Sd3	Moder (Feuchtmoder)	Stagnogley	Dystric Planosol

<sup>1</sup> Die Klassierung der Humusform basiert auf morphologischen Merkmalen des Oberbodens  
<sup>2</sup> Die Bodenklassierung basiert auf morphologischen Merkmalen des Bodenprofils  
<sup>3</sup> Bei der FAO-Klassierung (FAO, 1988) werden sowohl morphologische Merkmale als auch chemische Eigenschaften des Bodens einbezogen



Die Tab. 5 gibt einen Überblick über einige wichtige morphologische Merkmale der Böden der LWF-Flächen. Erläuternde Angaben zu den in Tab. 5 dokumentierten Merkmalen sind dem Themenbereich "Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie" (Anhang A 3.1) zu entnehmen.

Tab. 5: Morphologische Merkmale der Böden der LWF-Flächen

LWF-Fläche	Profiltiefe	Tiefe des Ausgangsgesteins <sup>1</sup>	Tiefe der Kalkgrenze <sup>2</sup>	Skeletgehalt <sup>3</sup>	Bodenart <sup>3</sup>	Bodendichte <sup>3</sup>	Vorkommen von Vernässungsmerkmalen <sup>4</sup>	Durchwurzelungstiefe
	[cm]	[cm]	[cm]				[cm]	[cm]
Alptal	60	40	40	sehr schwach bis mittel	lehmgiger Ton	locker	0	40
Beatenberg	65	65	-	stark	Sand bis lehmiger Sand	mittel bis dicht	(30)	55
Bettlachstock	120	90	5	mittel bis sehr stark	lehmgiger Ton bis toniger Lehm	locker bis mittel	90	>120
Celerina	100	>100	-	sehr schwach bis sehr stark	Schluff bis lehmiger Sand	locker bis dicht	-	>100
Chironico	130	>130	-	stark bis sehr stark	lehmgiger Sand	sehr locker bis locker	-	110
Isonne	120	100	-	sehr schwach bis extrem stark	lehmgiger Sand bis Schluff-Lehm	sehr locker bis mittel	-	>120
Jussy	100	70	70	sehr schwach bis mittel	toniger Schluff-Lehm bis toniger Lehm	locker bis dicht	0	>100
Lausanne	320	300	300	sehr schwach bis stark	Schluff-Lehm bis sandiger Lehm	sehr locker bis dicht	0	240
Lens	90	70	40	sehr schwach bis stark	Schluff	sehr locker bis dicht	-	>90
Nationalpark	110	10	10	sehr schwach bis sehr stark	Sand bis Schluff	sehr locker bis dicht	95	>110
Neunkirch	95	75	0	stark bis sehr stark	toniger Schluff-Lehm	locker bis dicht	-	>95
Novaggio	150	130	-	sehr schwach bis sehr stark	Sand bis lehmiger Sand	sehr locker bis mittel	-	>150
Othmarsingen	190	170	170	mittel bis stark	sandiger Lehm bis Lehm	mittel bis dicht	90	>190
Schänis	220	160	100	schwach bis stark	sandiger Lehm bis lehmiger Ton	locker bis dicht	20	>160
Visp	140	105	15	mittel bis extrem stark	Schluff	locker bis mittel	-	105
Vorderwald	210	>450	>450	sehr schwach bis mittel	Lehm bis Schluff-Lehm	sehr locker bis dicht	5	60

<sup>1</sup> Als Ausgangsgestein wird der nicht oder nur wenig verwitterte Untergrund bezeichnet, aus dem der Boden entstanden ist (meist R- oder C-Horizont, in einzelnen Fällen BC- oder Gr-Horizont)  
<sup>2</sup> Gibt an, ab welcher Tiefe Carbonat in der Feinerde vorhanden ist; "-": Ausgangsgestein ist carbonatfrei; "0": Boden enthält profillumfassend Carbonat  
<sup>3</sup> Es sind die Wertebereiche im Bodenprofil in adjektivischer Form angegeben  
<sup>4</sup> Gibt an, ab welcher Tiefe Vernässungsmerkmale vorkommen; "-": im Profil sind keine Vernässungsmerkmale vorhanden; "0": Vernässungsmerkmale kommen profillumfassend vor

## 2.1.2 Physikalische Bodenkennwerte

Die Tab. 6 informiert über einige physikalische Merkmale der Böden der LWF-Flächen. Erläuternde Angaben zu den in Tab. 6 dokumentierten Kennwerten sind dem Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte" (Anhang A 3.2) zu entnehmen.

Tab. 6: Physikalische Kennwerte der Böden der LWF-Flächen

LWF-Fläche	Profiltiefe	Tongehalt <sup>1</sup>	Maximale Dichte <sup>2</sup>	Minimale Wasserleitfähigkeit (k <sub>sat</sub> ) <sup>3</sup>	Durchwurzelbarkeit <sup>4</sup>	Gründigkeit <sup>5</sup>	Speichervermögen pflanzenverfügbares Wasser <sup>6</sup>	Trockenstress-Risiko für Baumbestand <sup>7</sup>
	[cm]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[cm/d]	-	[cm]	[l/m <sup>2</sup> ]	-
Alptal	60	43	0.98	-	eingeschränkt	40	110	gering
Beatenberg	65	3-4	1.55	51	eingeschränkt	70	135	mittel
Bettlachstock	120	32-44	1.47	9	normal	>120	134	gering
Celerina	100	4-12	1.50	34	normal	>120	216	gering
Chironico	130	2-4	1.00	100	normal	>130	98	gering
Isonne	120	3-6	0.92	100	normal	>120	183	gering
Jussy	100	27-46	1.74	4	eingeschränkt	>100	142	mittel
Lausanne	320	13-16	1.74	11	normal	>320	199	gering
Lens	90	13-20	1.20	22	normal	>120	228	hoch
Nationalpark	110	4-10	1.61	9	normal	>120	179	gering
Neunkirch	95	34	1.22	15	normal	>120	114	mittel
Novaggio	150	2	1.50	100	normal	>150	187	mittel
Othmarsingen	190	13-25	1.34	13	normal	>190	170	gering
Schänis	220	21-41	1.13	9	normal	>220	191	gering
Visp	140	10	0.99	100	normal	105	221	hoch
Vorderwald	210	16-20	1.64	7	eingeschränkt	>150	205	gering

<sup>1</sup> Angegeben ist der Wertebereich im humusfreien Unterboden; [%]: Gewichtsprozente  
<sup>2</sup> Maximale Dichte der Feinerde im Bodenprofil; maximale Dichtewerte werden meist im Unterboden erreicht  
<sup>3</sup> k<sub>sat</sub> ist die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden; minimale k<sub>sat</sub>-Werte im Unterboden; "-": keine Bestimmung möglich  
<sup>4</sup> Schätzung der Durchwurzelbarkeit erfolgt aufgrund von Bodendichte sowie Wasser- und Lufthaushalt des Bodens  
<sup>5</sup> Unter Gründigkeit wird die Mächtigkeit des durchwurzelbaren Bodens verstanden  
<sup>6</sup> Um die Böden der LWF-Flächen vergleichen zu können, wird das Speichervermögen bis 120cm Tiefe angegeben  
<sup>7</sup> Schätzung des Risikos erfolgt aufgrund von Wasserspeichervermögen und klimatischen Faktoren

In den Abb. 2 und 3 wird die Wasserleitfähigkeit und das Wasserspeichervermögen bewertet. Erläuterungen zu den mit Farben hinterlegten Klassen sind dem Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte" (Anhang A 3.2) zu entnehmen.



Abb. 2: Minimale Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

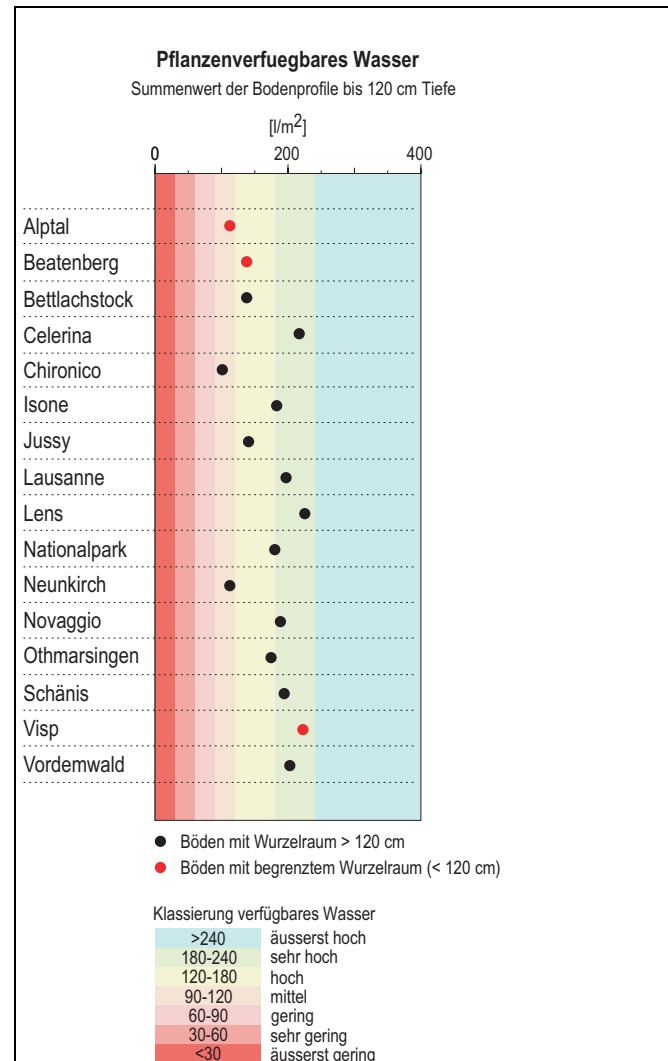


Abb. 3: Pflanzenverfügbares Wasser bis 120cm Tiefe

### 2.1.3 Säurezustand

Die Tab. 7 informiert über den Säurezustand, den Stand der Versauerung und die Disposition für weitere Versauerung der Böden der LWF-Flächen. Erläuternde Angaben zu den in Tab. 7 dokumentierten Kennwerten sind dem Themenbereich "Säurezustand" (Anhang A 3.3) zu entnehmen.

Tab. 7: Säurezustand der Böden der LWF-Flächen

LWF-Fläche	Säurezustand										Stand der Bodenversauerung <sup>2</sup>	Disposition für weitere Versauerung <sup>3</sup>
	Kalkgrenze [cm] <sup>1</sup>	pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )				Basensättigung [%]				BC/AI		
		0-5cm Tiefe	60-80cm Tiefe	Ausgangsgestein	pH-Minimum (Mineralerde)	0-5cm Tiefe	60-80cm Tiefe	Ausgangsgestein	BS-Minimum (Mineralerde)			
Alptal	40	5.4	>7.0	>7.0	5.1	99	100	100	99	-	schwach versauert	unempfindlich
Beatenberg	-	2.8	4.0	>7.0	2.8	28	5	100	3	0.04	extrem stark versauert	wenig empfindlich
Bettlachstock	5	6.5	7.7	7.7	6.5	100	100	100	100	-	sehr schwach versauert	unempfindlich
Celerina	-	4.0	4.5	4.5	4.0	57	46	46	27	0.44	mässig versauert	empfindlich
Chironico	-	3.6	4.6	4.6	3.6	72	39	46	28	0.39	mässig versauert	empfindlich
Isonne	-	3.2	4.7	4.6	3.2	18	17	13	5	0.05	stark versauert	empfindlich
Jussy	70	4.6	7.6	7.6	4.5	96	100	100	87	-	mässig versauert	wenig empfindlich
Lausanne	300	3.9	4.0	7.4	3.9	29	7	100	7	0.08	sehr stark versauert	empfindlich
Lens	40	5.4	7.7	7.7	5.4	97	100	100	97	-	schwach versauert	wenig empfindlich
Nationalpark	10	7.1	7.9	7.8	7.1	100	100	100	100	-	nicht versauert	unempfindlich
Neunkirch	0	7.2	7.8	7.9	7.2	100	100	100	100	-	nicht versauert	unempfindlich
Novaggio	-	3.8	5.0	5.2	3.8	12	23	34	9	0.10	stark versauert	empfindlich
Othmarsingen	170	3.9	4.0	7.8	3.9	59	34	100	9	0.10	stark versauert	empfindlich
Schänis	100	5.0	5.4	7.7	4.3	96	99	100	77	-	mässig versauert	mässig empfindlich
Visp	15	5.7	7.6	7.7	5.7	99	100	100	99	-	sehr schwach versauert	wenig empfindlich
Vordemwald	>450	3.3	3.9	>5.0	3.3	7	5	>80	4	0.05	sehr stark versauert	empfindlich

1 Gibt an, ab welcher Tiefe Carbonat in der Feinerde vorhanden ist; "-": Ausgangsgestein ist carbonatfrei; "0": Boden enthält profilumfassend Carbonat  
2 Der Stand der Bodenversauerung wird mittels Vergleich des Säurezustandes von Boden und Ausgangsgestein beurteilt, und zwar anhand der Tiefenverläufe von pH-Wert und Basensättigung sowie, wo vorhanden, anhand der Tiefe der Kalkgrenze  
3 Die Disposition für weitere Versauerung besagt, ob und in welchem Masse in Zukunft mit einer Veränderung der Tiefenverläufe von pH-Wert und Basensättigung gerechnet werden muss. Kriterien für die Beurteilung bilden die aktuellen Tiefenverläufe von pH-Wert und Basensättigung sowie, soweit bekannt, die vorhandenen Puffersubstanzen (v.a. Carbonat). In Jussy und Alptal ist für die Beurteilung zusätzlich Nährstoffzufuhr mit dem Bodenwasser relevant

In den Abb. 4 bis 6 erfolgt eine Bewertung des pH-Wertes in unterschiedlichen Bodentiefen. Erläuterungen zu den mit Farben hinterlegten Klassen (Puffersysteme) sind dem Themenbereich "Säurezustand" (Anhang A 3.3) zu entnehmen.

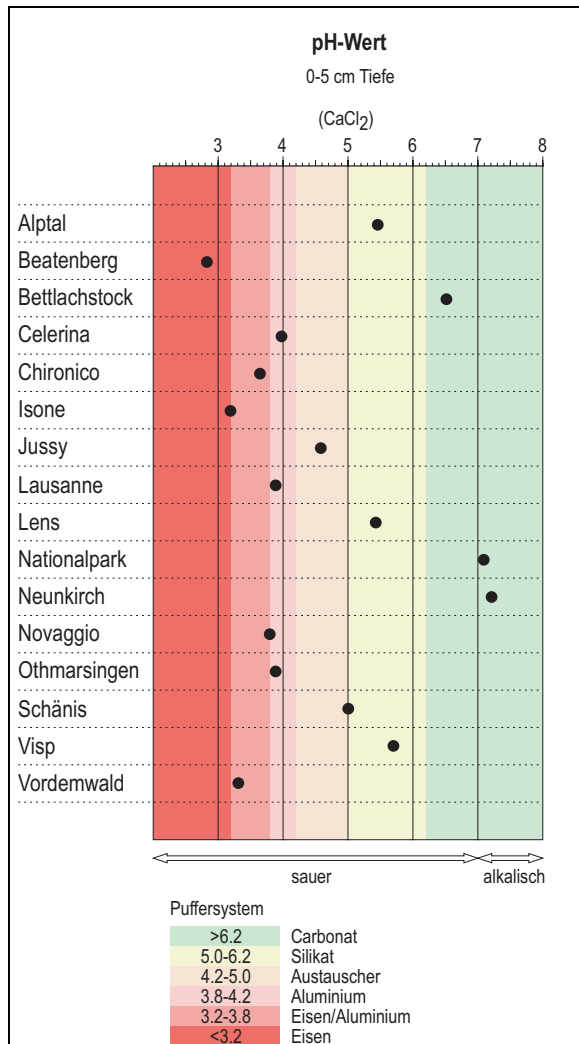


Abb. 4: pH-Wert in 0-5cm Tiefe

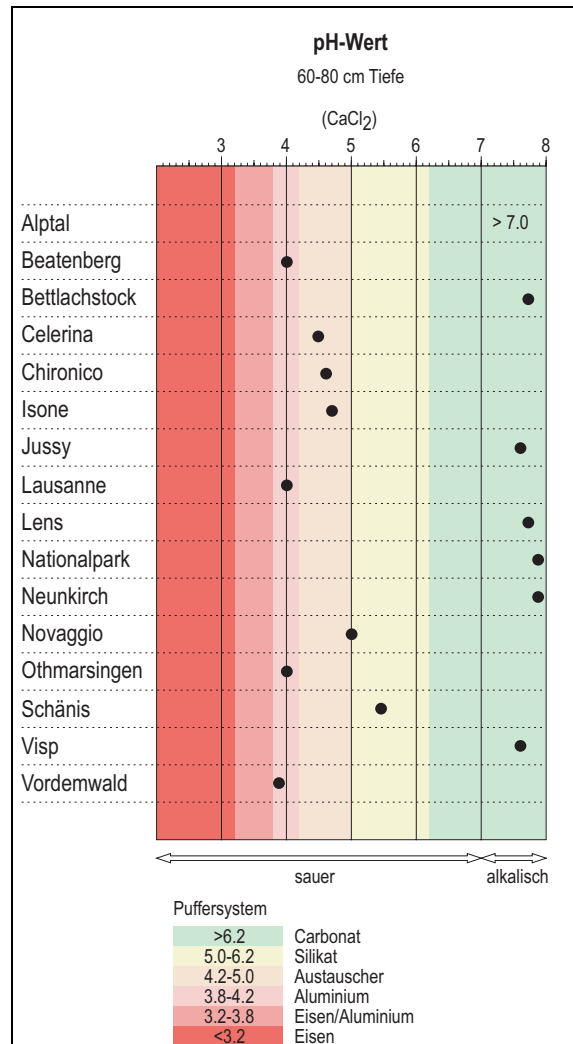


Abb. 5: pH-Wert in 60-80cm Tiefe

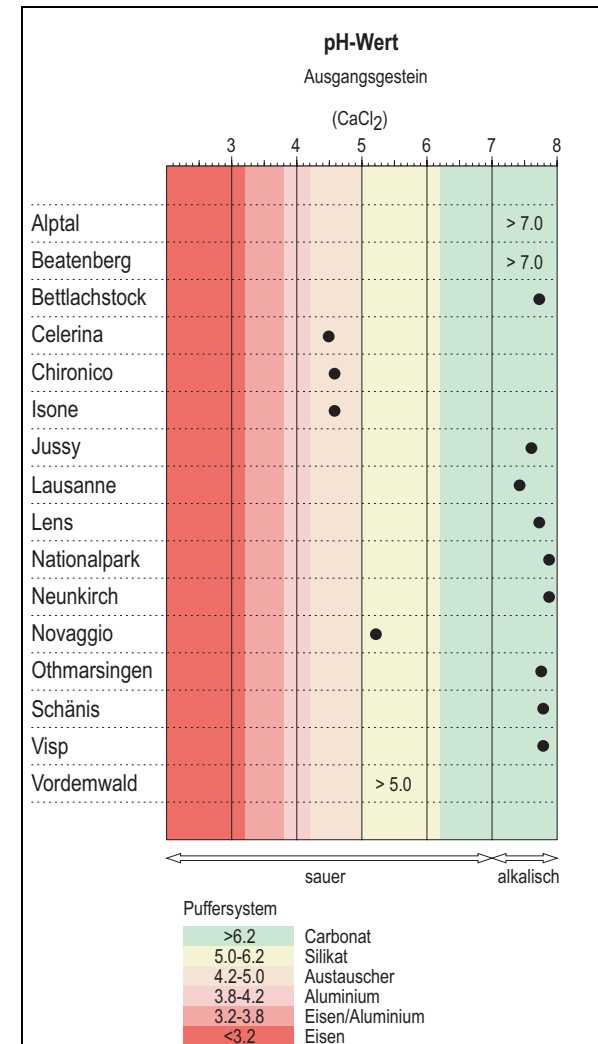


Abb. 6: pH-Wert des Ausgangsgesteins

In den Abb. 7 bis 9 erfolgt eine Bewertung der Basensättigung in unterschiedlichen Bodentiefen. Erläuterungen zu den mit Farben hinterlegten Klassen sind dem Themenbereich "Säurezustand" (Anhang A 3.3) zu entnehmen.

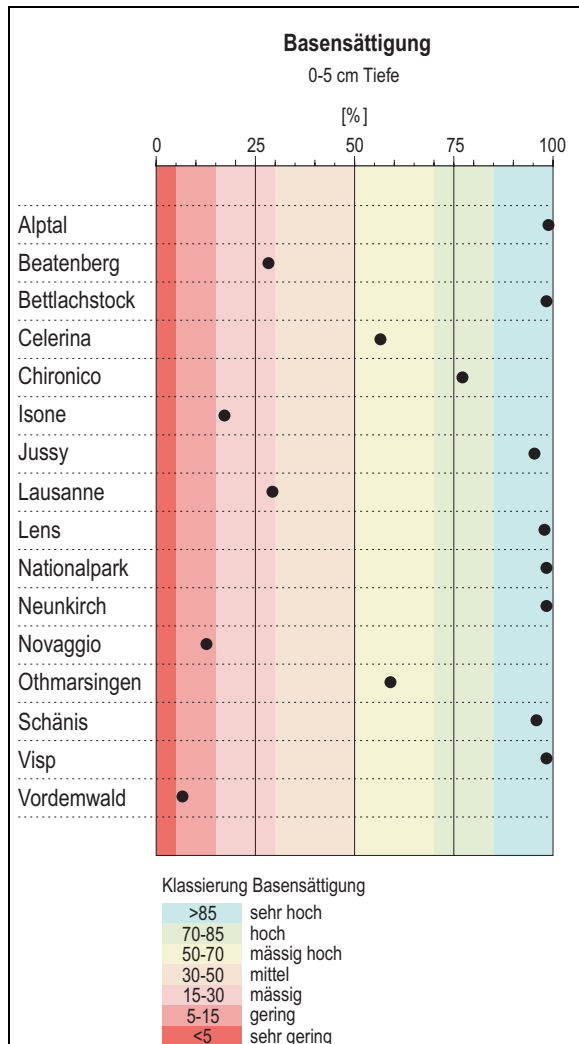


Abb. 7: Basensättigung in 0-5cm Tiefe

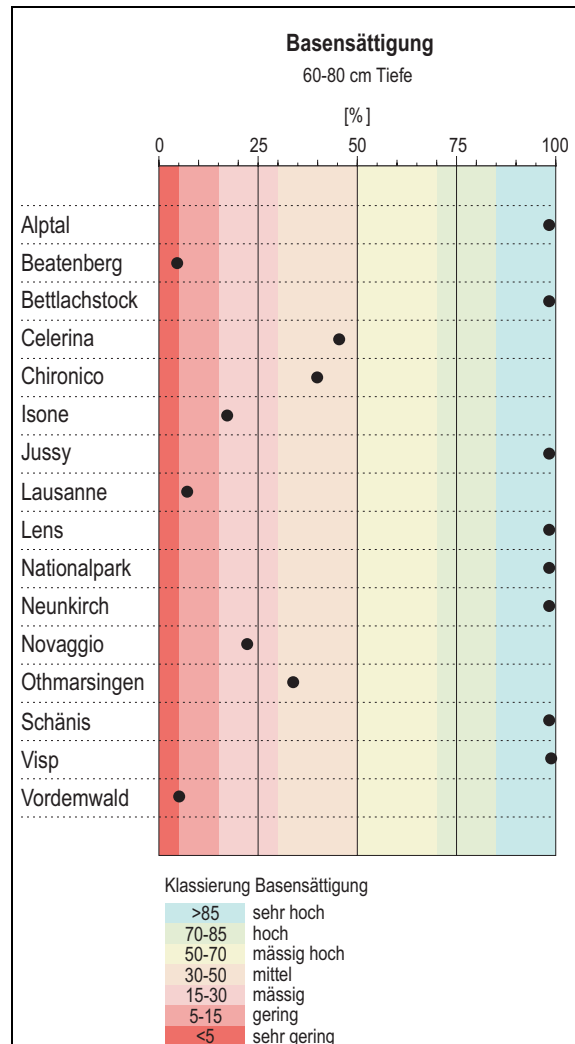


Abb. 8: Basensättigung in 60-80cm Tiefe

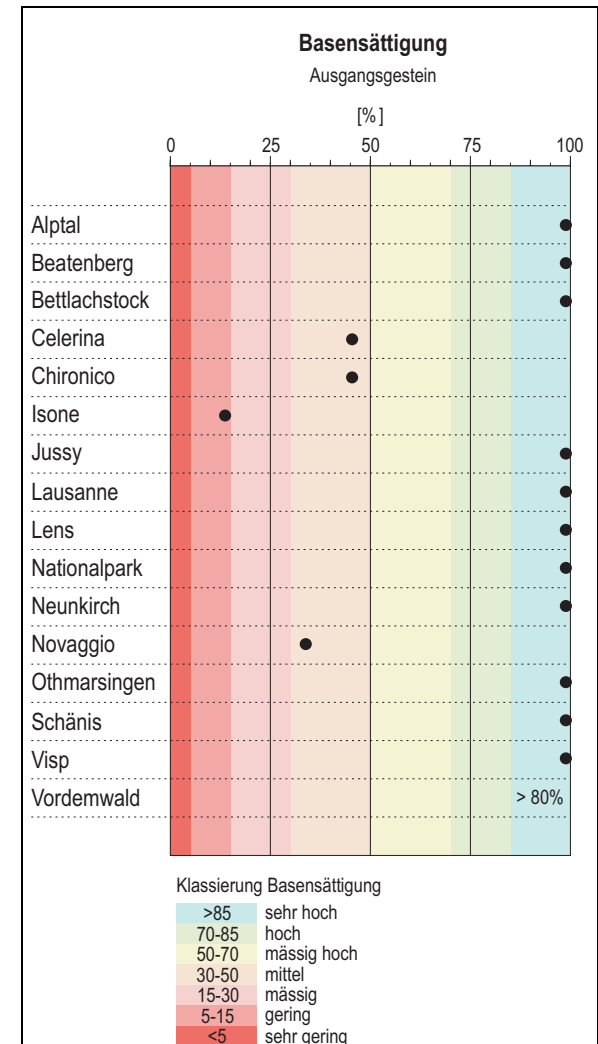


Abb. 9: Basensättigung des Ausgangsgesteins



## 2.1.4 Schwermetalle

Die Tab. 8 informiert über verschiedene Aspekte der Bodenbelastung mit Schwermetallen auf den LWF-Flächen. Erläuternde Angaben zu den in Tab. 8 enthaltenen Kennwerten sind dem Themenbereich "Schwermetalle" (Anhang A 3.4) zu entnehmen.

Tab. 8: Beurteilung der Bodenbelastung mit Schwermetallen auf den LWF-Flächen

LWF-Fläche	Überschreitung der VBo-Richtwerte <sup>1</sup>	Überschreitung der Grenzwerte für Mikroorganismen <sup>2</sup>		Anthropogen verursachte Schwermetallbelastung <sup>3</sup>	Risiko Grundwasserkontamination <sup>4</sup>
	Element / Tiefe	org. Auflage	Mineralboden (0-10cm Tiefe)	Element / Tiefe	
Alptal	-	-	-	Cu, Pb, Zn / 0-20cm	-
Beatenberg	Pb / org. Auflage	Cr, Cu	-	Cr, Cu, Ni, Pb, Zn / org. Auflage	sehr gross
Bettlachstock	-	-	Cr, Zn	-	klein
Celerina	-	-	-	Pb / 0-5cm	gross
Chironico	Cr, Cu, Ni / >50cm	Cr, Cu, Zn	Cr, Pb, Zn	Pb, Zn / 0-10cm	gross
Isone	Cu / >50cm	-	Cr, Pb	Pb / 0-30cm	gross
Jussy	Cr, Ni / >10cm	-	Cr	Pb / 0-20cm	-
Lausanne	Ni / >240cm	-	Cr	Pb / 0-10cm	klein
Lens	-	Cr, Cu	-	Pb / 0-50cm	klein
Nationalpark	-	Cr	-	Pb / 0-5cm	klein
Neunkirch	-	-	-	Cu, Pb, Zn / 0-75cm	klein
Novaggio	Ni, Pb / org. Auflage	Cr, Cu	-	Cu, Pb, Zn / 0-20cm	gross
Othmarsingen	-	-	-	Pb / 0-10cm	klein
Schänis	Ni / >190cm	-	Cr	Pb / 0-20cm	klein
Visp	-	Cr, Cu	Cr	Cr, Pb, Zn / 0-10cm	klein
Vordemwald	Ni, Pb / org. Auflage	Cr	-	Pb / 0-5cm	gross

<sup>1</sup> VBo: Verordnung über Belastung des Bodens (1998); "-": keine Überschreitung  
<sup>2</sup> Schwermetall-Grenzwerte nach Empfehlung von VanMechelen et al. (1997); "-": keine Überschreitung  
<sup>3</sup> Die Bestimmung erfolgt mit dem Konzept der Anreicherungs-faktoren unter Verwendung von Zirkon als Tracer (Blaser et al., 2000); "-": keine Angaben möglich  
<sup>4</sup> Die Risikoabschätzung erfolgt aufgrund der Mobilität der Schwermetalle im Boden. Die Mobilität wird anhand des pH-Wertes sowie des Ton- und Humusgehaltes des Bodens geschätzt. Die gemessenen Schwermetallgehalte werden bei der Risikoabschätzung nicht berücksichtigt); "-": keine Angaben möglich

Die Abb. 10 macht Aussagen zu den Schwermetallgehalten im Ausgangsgestein der Bodenprofile der LWF-Flächen im Vergleich zu den Gehalten der geochemischen Lithofazies nach Tuchs Schmid (1995). Für erläuternde Angaben zu der in Abb. 10 dargestellten Thematik, insbesondere zu den Lithofazies, wird auf den Themenbereich "Schwermetalle" (Anhang A 3.4) verwiesen.

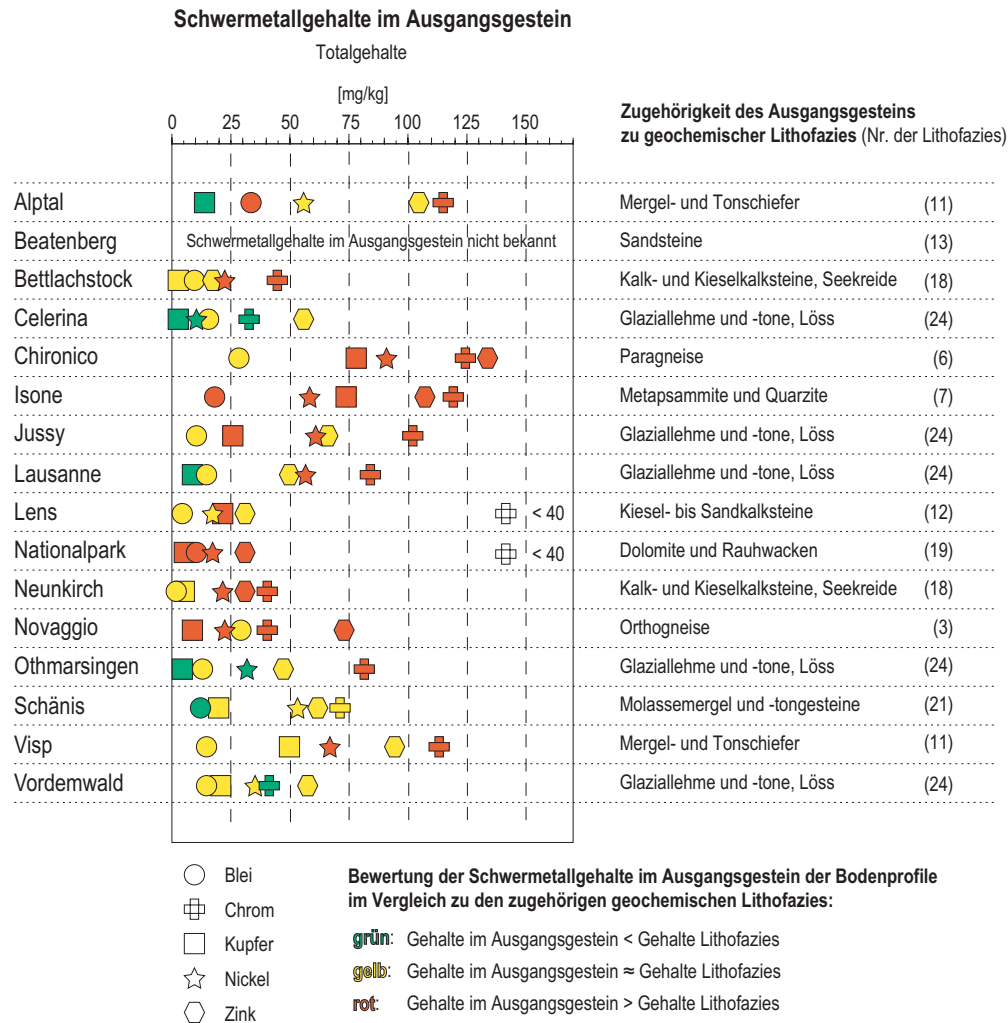


Abb. 10: Schwermetallgehalte im Ausgangsgestein der LWF-Flächen

## 2.1.5 Nährstoffe

Die Tab. 9 enthält Angaben zu den Nährstoffen in den Böden der LWF-Flächen. Erläuternde Angaben zu den in Tab. 9 enthaltenen Kennwerten sind dem Themenbereich "Nährstoffe" (Anhang A 3.5) zu entnehmen.

Tab. 9: Nährstoffe in den Böden der LWF-Flächen

LWF-Fläche	Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden			Nährstoffgehalte und -vorräte							
	C/N <sup>1</sup>	C/P <sup>2</sup>	Mineralisierungsrate für Nährstoffe <sup>3</sup>	Kationen-austauschkapazität (KAK) <sup>4</sup>	Basensättigung <sup>5</sup>	Tiefenbereich der nährstoffarmen Zone <sup>6</sup>	Vorräte <sup>7</sup>				
							Ca	Mg	K	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>
[mmol <sub>e</sub> /kg]	[%]	[cm]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[t/ha]	[t/ha]				
Alptal	17	329	mittel	235-438	99-100	-	11796	343	269	195.5	11.5
Beatenberg	28	895	sehr niedrig	12-77	3-28	>10	512	67	100	145.0	6.5
Bettlachstock	18	185	mittel	218-505	100	-	18077	157	297	116.5	6.5
Celerina	21	-	niedrig	17-97	27-57	-	1824	308	358	71.0	3.5
Chironico	25	-	niedrig	20-142	28-72	-	827	67	245	120.0	5.5
Isonne	17	274	mittel	10-190	5-18	>5	126	36	67	175.0	8.5
Jussy	13	132	mässig hoch	173-213	87-100	-	21117	2591	883	101.0	8.5
Lausanne	15	94	mässig hoch	58-172	7-100	5-110	634	106	200	80.5	5.5
Lens	40	966	extrem niedrig	102-157	97-100	-	14457	322	303	87.0	4.5
Nationalpark	39	1025	extrem niedrig	93-251	100	-	8604	1231	99	92.0	2.5
Neunkirch	15	132	mässig hoch	199-566	100	-	19891	218	401	140.0	10.0
Novaggio	24	545	niedrig	3-88	9-34	0-55	168	48	126	174.0	9.0
Othmarsingen	17	153	mittel	41-144	9-100	10-40	1133	105	215	51.0	2.5
Schänis	11	49	hoch	86-290	77-100	-	8590	770	265	59.0	5.5
Visp	19	739	mittel	141-263	99-100	-	10881	264	99	102.5	7.0
Vordemwald	21	427	niedrig	59-128	4-81	0-100	217	70	156	98.0	7.0

<sup>1</sup> C/N ist das Verhältnis zwischen C<sub>org</sub> und N<sub>tot</sub>; die C/N-Verhältnisse gelten für die organische Auflage oder, wo diese fehlt, in 0-5cm Tiefe  
<sup>2</sup> C/P ist das Verhältnis zwischen C<sub>org</sub> und P<sub>org</sub>; die C/P-Verhältnisse gelten für die organische Auflage oder, wo diese fehlt, in 0-5cm Tiefe; "-": keine Angaben möglich  
<sup>3</sup> Die Mineralisierungsrate wird anhand des C/N-Verhältnisses geschätzt  
<sup>4</sup> Wertebereich der KAK im Mineralboden  
<sup>5</sup> Wertebereich der Basensättigung im Mineralboden  
<sup>6</sup> Definition von nährstoffarm: Basensättigung <15%, die Gehalte an Ca, Mg und K sind dann relativ gering; "-": Basensättigung profilumfassend >15%  
<sup>7</sup> Angegeben ist jeweils der Vorrat im Hauptwurzelsraum (Summenwert 0-60cm Tiefe, inklusive Vorrat in allfällig vorhandener organischer Auflage)

In den Abb. 11 und 12 erfolgt eine Bewertung der C/N- und C/P-Verhältnisse. Erläuterungen zu den mit Farben hinterlegten Klassen sind dem Themenbereich "Nährstoffe" (Anhang A 3.5) zu entnehmen.

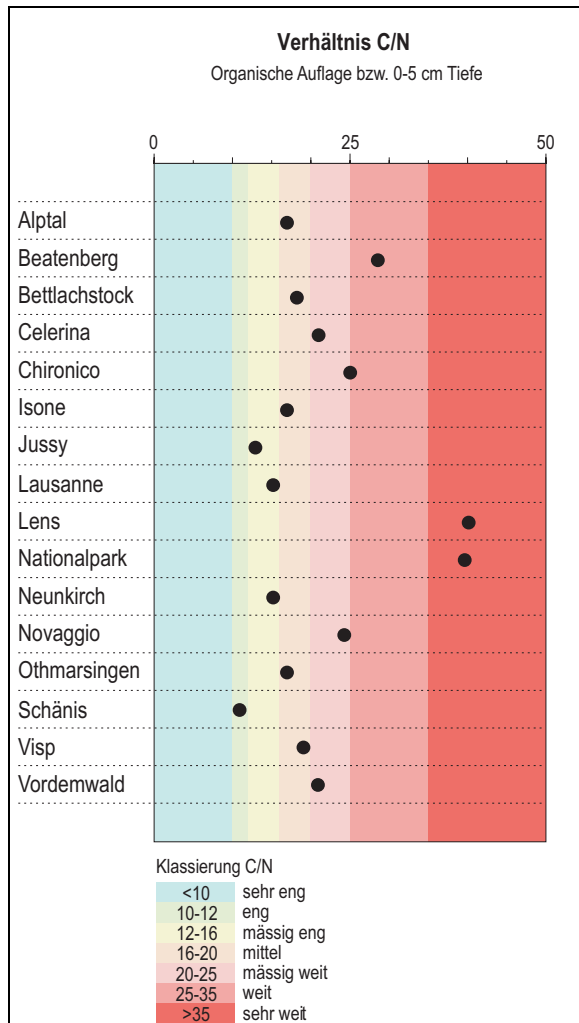


Abb. 11: C/N-Verhältnis in der organischen Auflage bzw. in 0-5cm Tiefe

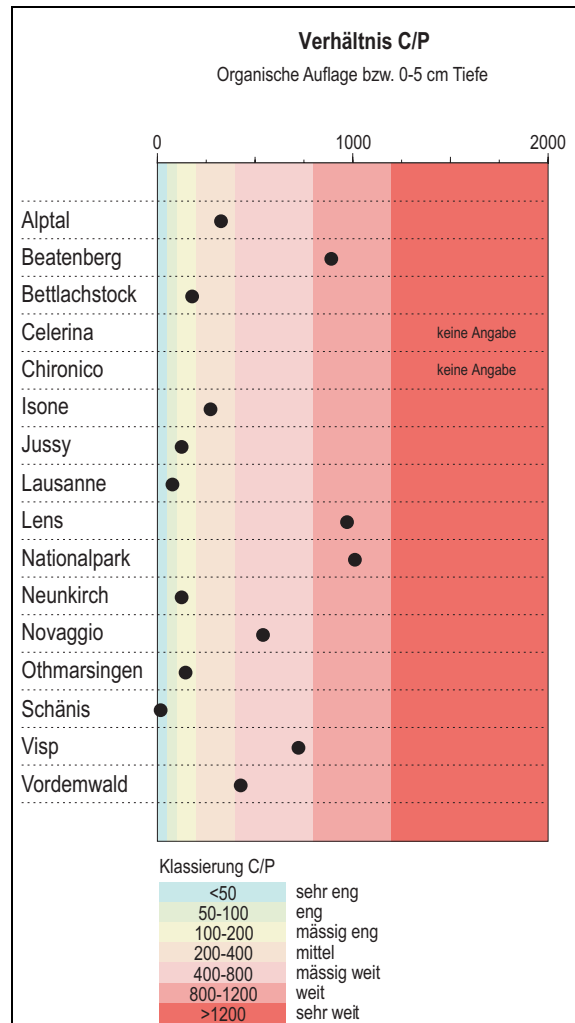


Abb. 12: C/P-Verhältnis in der organischen Auflage bzw. in 0-5cm Tiefe

In den Abb. 13 und 14 erfolgt eine Bewertung der Kationenaustauschkapazität (KAK) und der Basensättigung. Erläuterungen zu den mit Farben hinterlegten Klassen sind dem Themenbereich "Nährstoffe" (KAK, Anhang A 3.5) oder dem Themenbereich "Säurezustand" (Basensättigung, Anhang A 3.3) zu entnehmen.

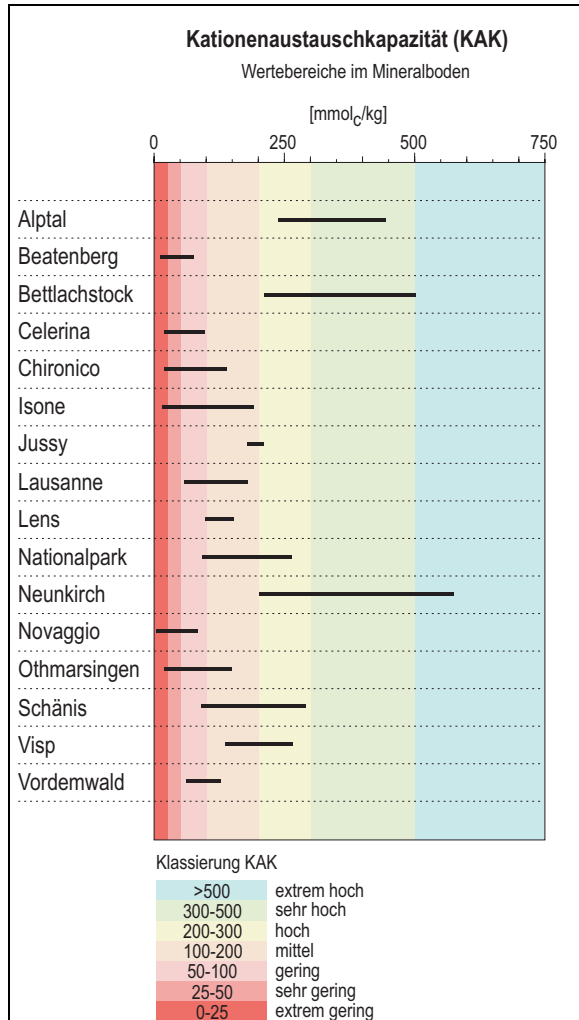


Abb. 13: KAK im Mineralboden

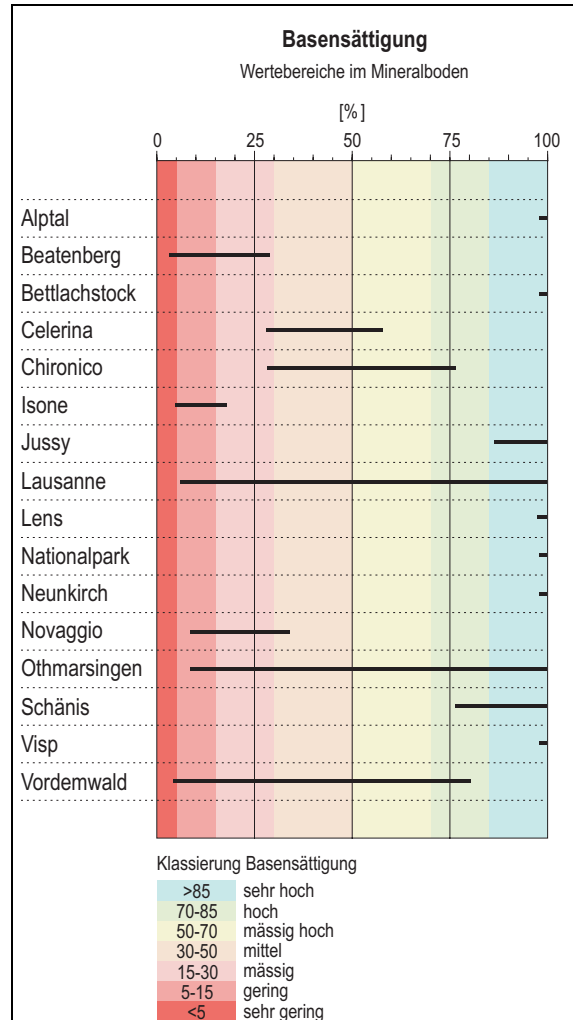


Abb. 14: Basensättigung im Mineralboden

In den Abb. 15 bis 17 werden die Vorräte an Nährstoffkationen (Ca, Mg und K) bewertet. Erläuterungen zu den mit Farben hinterlegten Klassen sind dem Themenbereich "Nährstoffe" (Anhang A 3.5) zu entnehmen.

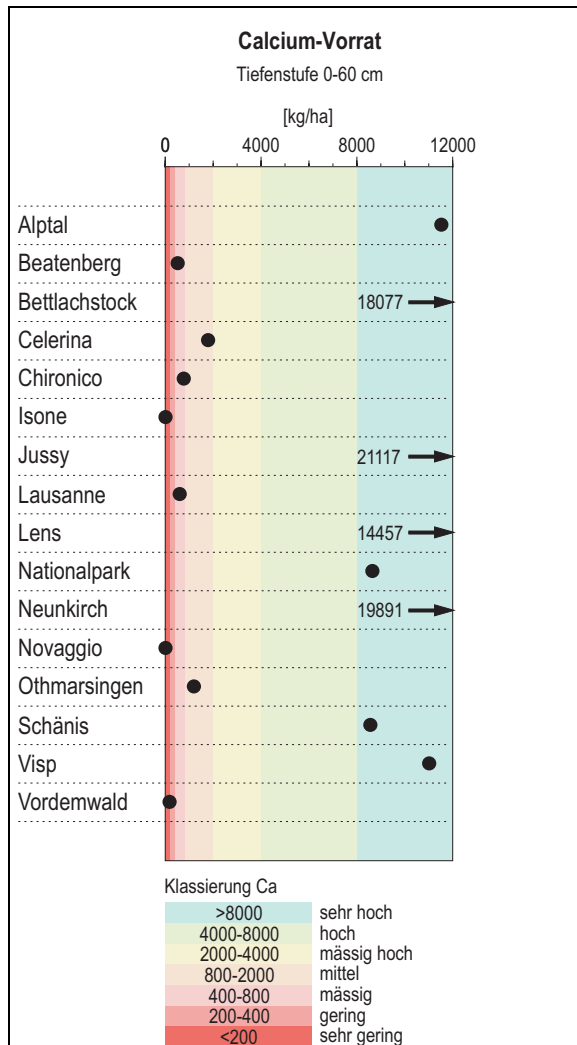


Abb. 15: Calcium-Vorrat bis 60cm Tiefe

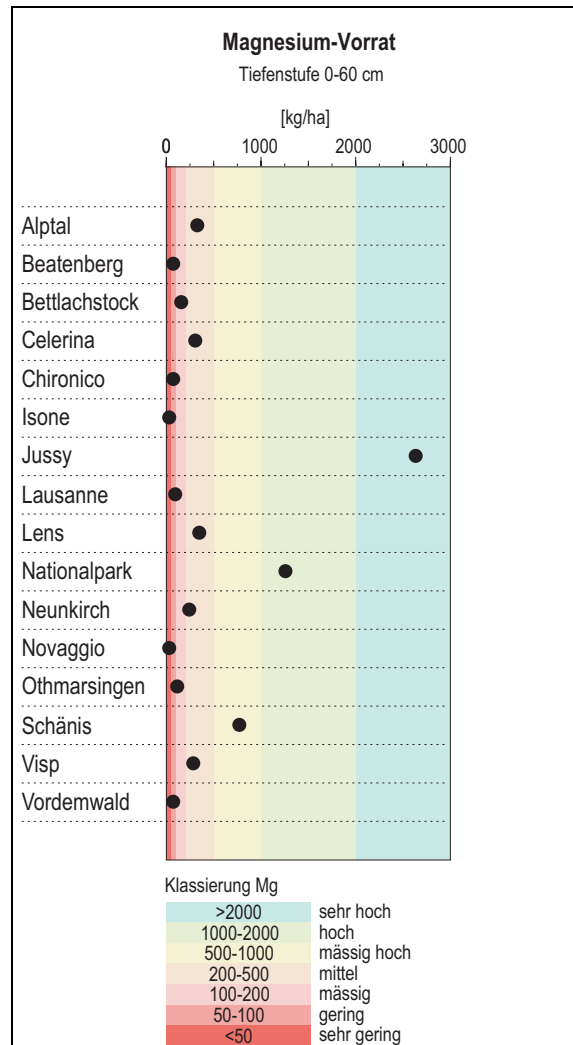


Abb. 16: Magnesium-Vorrat bis 60cm Tiefe

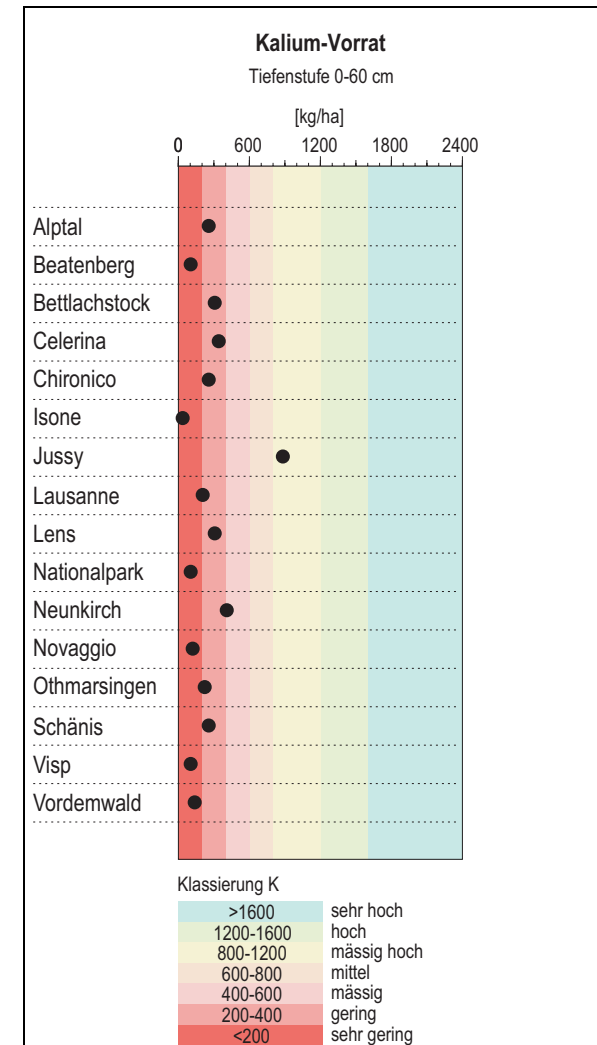


Abb. 17: Kalium-Vorrat bis 60cm Tiefe



## 2.1.6 Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl

Die Tab. 10 enthält waldbauliche Hinweise zu den Waldbeständen auf den LWF-Flächen. Erläuternde Angaben zu den in Tab. 10 enthaltenen Informationen sind dem Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl" (Anhang A 3.6) zu entnehmen.

Tab. 10: Waldbauliche Hinweise zu den Waldbeständen auf den LWF-Flächen

LWF-Fläche	Verankerung Baumbestand <sup>1</sup>	Baumartenempfehlung <sup>2</sup>		Bodenbefahrbarkeit <sup>3</sup>
		Hauptbestand	Nebenbestand	
Alptal	mässig	<b>Hauptbaumarten:</b> Tanne, Fichte; <b>Beimischung:</b> Bergahorn, Vogelbeere, Mehlbeere, Grünerle		sehr empfindlich
Beatenberg	schlecht	<b>Hauptbaumart:</b> Fichte; <b>Beimischung:</b> Vogelbeere		empfindlich
Bettlachstock	gut	Buche, Bergahorn, Bergulme, Tanne, (Linde, Esche)	Vogelbeere, Mehlbeere, Elsbeere, Winterlinde, Buche	nicht empfindlich
Celerina	gut	<b>Hauptbaumarten:</b> Arve, Lärche; <b>Beimischung:</b> Fichte, Vogelbeere		empfindlich
Chironico	gut	<b>Hauptbaumarten:</b> Tanne, Fichte; <b>Beimischung:</b> Lärche, Vogelbeere, Mehlbeere, Grünerle		nicht empfindlich
Isonne	gut	Buche, Tanne	Buche, Vogelbeere, Mehlbeere, Birke, Grünerle	wenig empfindlich
Jussy	gut	Hagebuche, Eiche, (Kirschbaum, Linde)	W.linde, H.buche, V.beere, M.beere, E.beere, Feldahorn	sehr empfindlich
Lausanne	gut	Buche, Tanne, (Bergahorn, Bergulme, Esche, Eiche)	Winterlinde, Hagebuche, Vogelbeere, Buche	empfindlich
Lens	gut	<b>Hauptbaumarten:</b> Waldföhre, Flaumeiche; <b>Beimischung:</b> Mehlbeere, Zitterpappel, Vogelbeere, Kirschbaum		empfindlich
Nationalpark	mässig	<b>Hauptbaumart:</b> Bergföhre; <b>Beimischung:</b> Lärche, Arve, Fichte		wenig empfindlich
Neunkirch	gut	Buche, Linde, Eiche, Spitzahorn, Kirschbaum	Hagebuche, Winterlinde, Vogelbeere, Buche	nicht empfindlich
Novaggio	gut	<b>Hauptbaumarten:</b> diverse Eichenarten, Edelkastanie; <b>Beimischung:</b> Birke, M.beere, V.beere, Kirschbaum, Zitterpappel		wenig empfindlich
Othmarsingen	gut	Buche, Eiche, (K.baum, B.ahorn, B.ulme, Esche, W.linde)	Winterlinde, Hagebuche, Vogelbeere, Buche	empfindlich
Schänis	gut	Buche, Bergahorn, Esche, Bergulme, Linde, Kirschbaum, (Tanne)	Winterlinde, Hagebuche, Vogelbeere, Buche	empfindlich
Visp	variabel	<b>Hauptbaumarten:</b> Flaumeiche, Waldföhre; <b>Beimischung:</b> Mehlbeere, Zitterpappel, Vogelbeere, Kirschbaum, Esche		wenig empfindlich
Vordemwald	gut	Tanne, Eiche, (Fichte, Buche)	Buche, Vogelbeere, (Winterlinde, Hagebuche)	sehr empfindlich

<sup>1</sup> Verankerung des aktuellen Baumbestandes; Schätzung aufgrund der Gründigkeit und der beobachteten Bodendurchwurzelung  
<sup>2</sup> Baumartenempfehlung für zukünftigen Wald aus bodenökologischer Sicht; Betriebsart ist Hochwald; Baumartenempfehlung für den Nebenbestand erfolgt nur in gleichförmigen Hochwäldern  
<sup>3</sup> Beurteilung der Bodenbefahrbarkeit hinsichtlich Verdichtung und Beschädigung des Wurzelwerkes; gilt für nasse Verhältnisse

## 2.2 Bodenprofile

Mit den Bodenprofilen wird der Boden bis ins unverwitterte Ausgangsgestein charakterisiert. Die im Bodenprofil erfassten Daten gelten uneingeschränkt nur im Profil und seiner unmittelbaren Umgebung. Inwieweit sich die im Profil erhobenen bodenökologischen Eigenschaften auf die LWF-Fläche übertragen lassen, hängt von der räumlichen Variabilität des Bodens ab. Die Bodenkartierung gibt Hinweise darauf, inwieweit die Eigenschaften eines Bodenprofiles für die LWF-Fläche Gültigkeit haben.

Im vorliegenden Kapitel wird der Boden von 16 LWF-Flächen mit morphologischen, chemischen und physikalischen Bodenprofildaten charakterisiert. Für diese Charakterisierung wird pro LWF-Fläche ein Bodenprofil verwendet (Tab. A1 im Anhang), und zwar jenes Profil, welches die LWF-Fläche hinsichtlich der bodenökologischen Merkmale und Eigenschaften am besten repräsentiert.

Die Bodencharakterisierung der 16 LWF-Flächen erfolgt in sechs Themenbereichen. Durch die Fokussierung auf Themenbereiche wird eine bodenökologisch relevante und einheitliche Darstellung der Profildaten angestrebt. Durch die einheitliche Darstellung der Bodendaten ist die Vergleichbarkeit der Böden aller 16 LWF-Flächen gewährleistet.

Im folgenden werden die Hauptinhalte der einzelnen Themenbereiche skizziert:

### *Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie*

Hier werden einleitend die auf der LWF-Fläche wirksamen Bodenbildungsfaktoren vorgestellt. Danach folgt die Beschreibung des Bodenprofils anhand einer Profilskizze und einer Tabelle mit wichtigen morphologischen Bodenmerkmalen. Abschliessend wird anhand der Profilmorphologie eine Klassierung von Humusform und Boden vorgenommen.

### *Physikalische Bodenkennwerte*

In diesem Themenbereich werden zuerst verschiedene physikalische Parameter des Bodenprofils beschrieben. Danach werden Auswirkungen der physikalischen Bodeneigenschaften auf den Wurzelraum und die Bäume diskutiert. Ergänzend wird die Bodenbefahrbarkeit in Abhängigkeit der physikalischen Bodeneigenschaften beurteilt.

### *Säurezustand*

Dieser Themenbereich befasst sich mit den Aspekten der Bodenversauerung. Einleitend wird der Säurezustand des Bodens, anschliessend der Stand der Bodenversauerung und das Risiko einer weitergehenden Bodenversauerung beurteilt.

### *Schwermetalle*

Wichtige Aspekte des Themenbereichs sind die Beurteilung der Schwermetallgehalte im Ausgangsgestein, die Interpretation der Tiefenverteilung der Schwermetalle im Boden, die Bewertung der Schwermetallgehalte in Bezug auf Richt- und Grenzwerte, die Mobilität der Schwermetalle im Boden und, damit verbunden, die Risikoabschätzung einer Grundwasserkontamination.

### *Nährstoffe*

Hier wird näher auf die Nährstoffe, insbesondere deren Verfügbarkeit und Vorräte eingegangen. Dabei stehen die kationischen Hauptnährelemente Ca, Mg und K im Zentrum. Die Verfügbarkeit der anionischen Nährelemente wie beispielsweise Stickstoff wird indirekt über die Humusform und damit über die Abbaugeschwindigkeit der organischen Substanz beurteilt.

### *Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl*

Das Vorkommen und die Konkurrenzkraft der Baumarten hängen stark von der Beschaffenheit des Bodens ab. In diesem Themenbereich werden die waldbaulich relevanten Bodeninformationen der vorstehenden Themenbereiche zusammengefasst und daraus Empfehlungen für die Baumartenwahl abgeleitet.

Im Anhang A 3 wird in die theoretischen Grundlagen der einzelnen Themenbereiche eingeführt. Es werden die für das Verständnis der Themenbereiche notwendigen fachlichen und theoretischen Hintergründe erläutert. Falls bei der Lektüre der nachfolgenden Bodencharakterisierung Fragen auftreten oder Bedarf an Zusatzinformationen besteht, sei auf den Anhang A 3 verwiesen.

Die Daten der im vorliegenden Kapitel interpretierten Bodenprofile sind im Anhang A 5.1 zusammengestellt. Im Datenarchiv sind die Messdaten aller analysierten Bodenprofile in bearbeitbarem Datenformat (Excel-Datei) abgelegt. Der Anhang A 2 orientiert über die in der vorliegenden Publikation verwendete Bodensystematik.

## 2.2.1 LWF-Fläche Alptal (Bodenprofil Nr. 4)

### 2.2.1.1 Themenbereich “Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie“

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 4 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Alptal und zum Bodenprofil Nr. 4

Die Tab. 11 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Alptal und zum Profil Nr. 4. Die Tab. 12 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab.11: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Alptal und zum Profil Nr. 4

<b>Lokalname</b>	Teuftobel (Gemeinde Alptal, Kt. SZ)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1152, Ibergereg
	Koordinaten 696 800 / 211 631
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 49: Schachtelhalm-Tannenmischwald ( <i>Equiseto-Abietetum</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-Aa1-Aa2-AG1-AG2-Gr
<b>Humusform</b>	Anmoor
<b>Bodentyp</b>	Gley, stark grundnass
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Mollic Gleysol

Tab. 12: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 4

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	1160m	
	Exposition	NW	
<b>Ausgangsgestein</b>	Kartengrundlagen	Nordpenninikum. Mesozoikum bis Tertiär. Obere Kreide bis unteres Eozän. Wägitaler Flysch.	
	Beobachtung am Profilort	Kriechbewegungen im Flysch, erkennbar an schräg stehenden Bäumen.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	5.3°C / 2129mm	
	T / N Januarmittel	- 3.0°C / 138mm	
	T / N Julimittel	14.4°C / 254mm	
	Tage mit Schneedecke	157	
	Wärmegliederung	ziemlich rau	
Länge der Vegetationsperiode	150-165 Tage		
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (25m Höhe)	30%	15% Fichte ( <i>Picea abies</i> ) 15% Tanne ( <i>Abies alba</i> )
	Strauchschicht	10%	-
	Krautschicht	90%	Heidelbeere ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ) Rost-Segge ( <i>Carex ferruginea</i> ) Buntes Reitgras ( <i>Calamagrostis varia</i> ) Gebirgs-Kälberkopf ( <i>Chaerophyllum hirsutum</i> ) Wald-Schachtelhalm ( <i>Equisetum sylvaticum</i> ) Kohldistel ( <i>Cirsium oleraceum</i> )
	Moosschicht	80%	-

## Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit S6 (alpine Flysch-Berglandschaft, tiefergelegene Nordhänge). S6 stellt 163 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 1.4% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

### Besonderheiten am Profilort

Das Relief auf der LWF-Fläche ändert sich sehr kleinräumig. Mulden und Kuppen wechseln sich ab. Damit bestehen, je nach Lage, sehr unterschiedliche Bedingungen für die Bodenbildung. Kuppenlagen neigen zu Versauerung, Muldenlagen dagegen zu Vernässung. Das kühle und sehr niederschlagsreiche Klima verstärkt diese Prozesse zusätzlich. Das beschriebene Profil liegt in einer Mulde.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 13 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 13: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 4

LWF-Alptal Nr. 4		Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
	L	1-0	-	-	-	-	-	-	-	
	Aa1	0-5	sehr schwach	IT	Kohärent	locker	ohne	10 YR 2/2	extrem stark	
	Aa2	5-10	sehr schwach	IT	Kohärent	locker	ohne	10 YR 2/2	extrem stark	
	AG1	10-20	sehr schwach	IT	Kohärent	locker	Kontrastrostflecken	2.5 YR 3/3	extrem stark	
	AG2	20-40	schwach	IT	Kohärent	locker	Rostflecken und Reduktionsfarben	fleckig	stark	
	Gr	> 40	mittel	IT	Kohärent	locker	Reduktionsfarben	5 Y 5/1	wurzelfrei	

Die sehr geringmächtige Streuauflage zeigt, dass die biologische Aktivität an der Bodenoberfläche hoch ist. Die von krautigen Pflanzen und Fichten stammende Streu wird innerhalb eines Jahres abgebaut. Der hohe Humusgehalt und die weitgehend fehlende Gefügebildung im Oberboden deuten jedoch darauf hin, dass der Abbau der organischen Substanz im Mineralboden infolge der zeitweiligen Vernässung langsam und unvollständig verläuft. Mit der Horizontfolge L-Aa wird die Humusform als Anmoor klassiert.

Im rund 1m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch vier Horizonte unterscheiden. Da der Aa-Horizont in zwei verschiedenen Tiefen beprobt wurde, sieht die Horizontfolge des Profils wie folgt aus: Aa1-Aa2-AG1-AG2-Gr

Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Gley klassiert. Er ist durch Hangwasser stark vernässt. Unterhalb 40cm Tiefe dürfte er stets wassergesättigt und sehr sauerstoffarm sein.

### *Besonderheiten des Profils*

Die Kalkgrenze verläuft in 40cm Tiefe. Im Gr-Horizont und damit ab rund 40cm Tiefe ist der Boden infolge Sauerstoffmangels nicht durchwurzelbar. In guter Übereinstimmung mit der Obergrenze des Gr-Horizontes pegelte sich kurz nach Profilaushub in rund 40cm Tiefe ein Grundwasserspiegel ein.

Das Profil wurde bis 40cm Tiefe nicht nach Horizonten, sondern, entsprechend dem europäischen Monitoringstandard, nach fixen Tiefenstufen beprobt. Unterhalb 40cm wurde das Profil nach Horizonten beprobt.

Das Profil liegt tendenziell in Muldenlage und ist damit nicht repräsentativ für die ganze LWF-Fläche. In Kuppenlage befinden sich oberflächlich stark versauerte, und im Untergrund vergleyte Braunerden sowie die Humusformen Moder bis Rohhumus.

### 2.2.1.2 Themenbereich “Physikalische Bodenkennwerte“

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 4 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

#### *Skelettgehalt und Bodenart*

In Abb. 18 ist der Skelettgehalt und in Abb. 19 die Bodenart dargestellt.

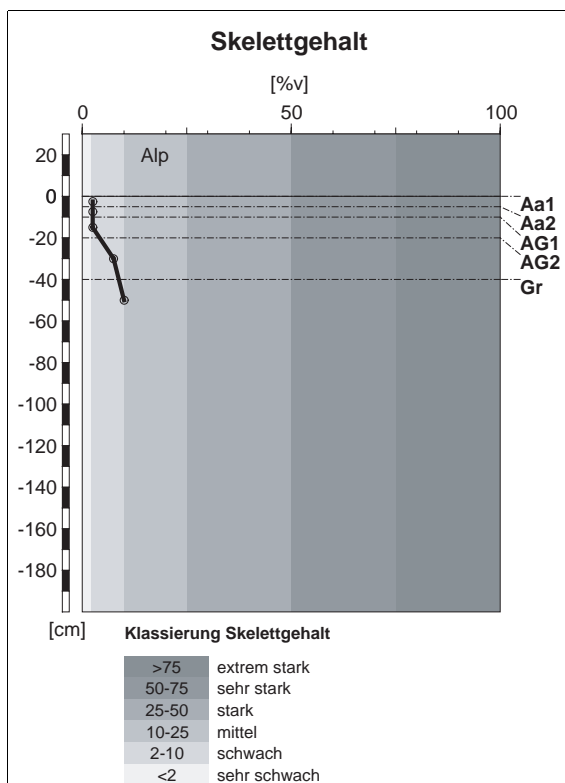


Abb. 18: Skelettgehalt

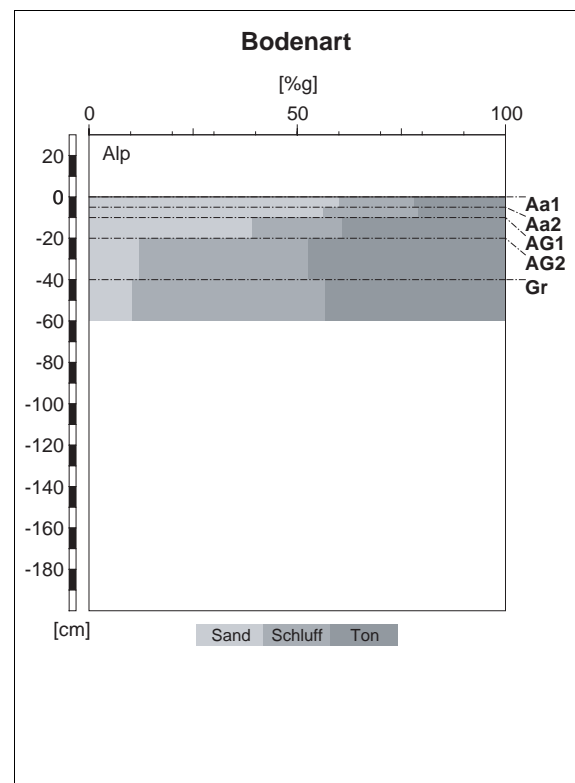


Abb. 19: Bodenart

Der Boden ist insgesamt schwach skeletthaltig. Dies ist nicht weiter verwunderlich, denn der Flysch ist ein Gestein, das relativ schnell verwittert.

Die Feinerde besteht vor allem aus Schluff und Ton. Der relativ hohe Tonanteil ist auf das geologische Ausgangsgestein Flysch zurückzuführen. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen sehr schweren Boden. Untypisch ist, dass der Sandanteil mit zunehmender Profiltiefe abnimmt, obwohl die tieferen Bodenschichten in der Regel weniger verwittert und daher sandiger sind als der Oberboden. Dies ist vermutlich auf die Körnungsanalyse zurückzuführen, die beim vorliegenden, hohen Humusgehalt im Oberboden einen zu grossen Sandanteil liefert.

## Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 20 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 21 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

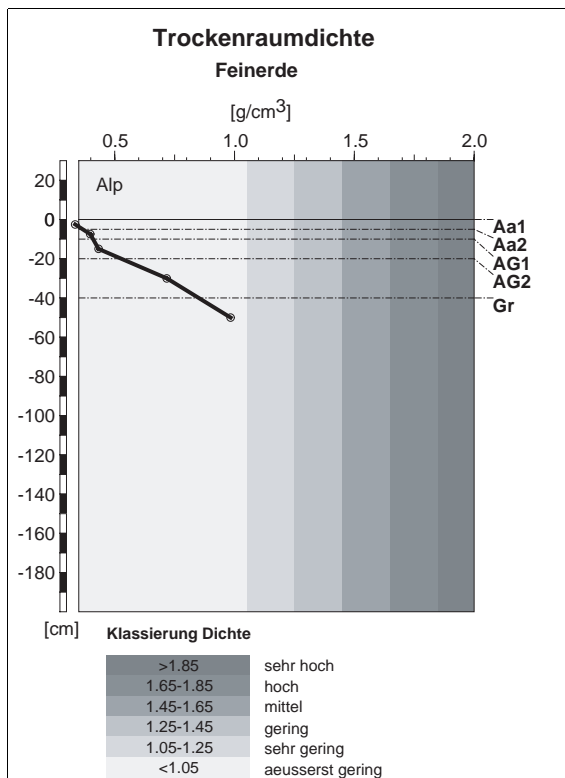


Abb. 20: Dichte der Feinerde

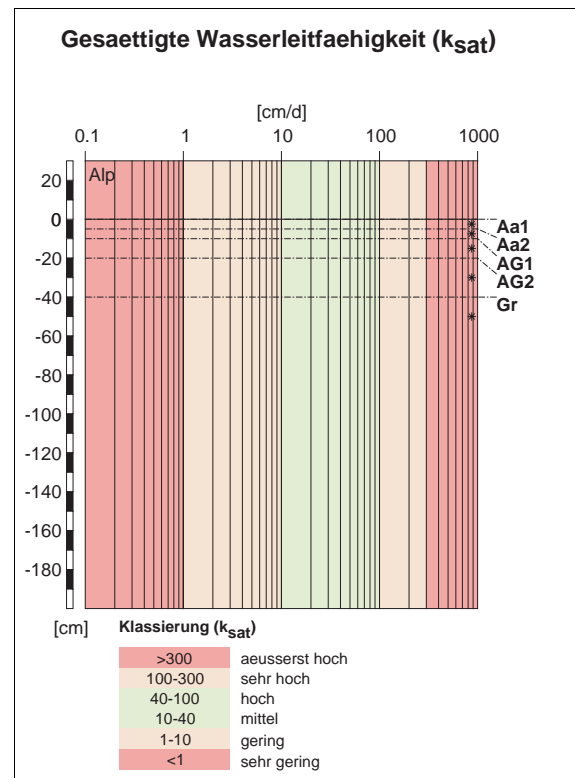


Abb. 21: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Die Dichte der Feinerde wird profilumfassend als äusserst gering eingestuft. Dies ist im Wesentlichen auf den hohen Humusgehalt und die anhaltend hohe Wassersättigung des Bodens zurückzuführen.

Im vorliegenden Profil konnte die Wasserdurchlässigkeit nicht bestimmt werden, weil der Boden so locker gelagert ist, dass Klassierungswerte fehlen. Aufgrund der geringen Lagerungsdichte und dem aus faserigem Humus aufgebauten Oberboden wird die Wasserleitfähigkeit in den oberen Bodenschichten trotz hohem Tonanteil als mittel-hoch eingeschätzt. Im tonreichen, stets wassergesättigten Unterboden (Gr-Horizont) dürfte die Leitfähigkeit sehr gering sein.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 22 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

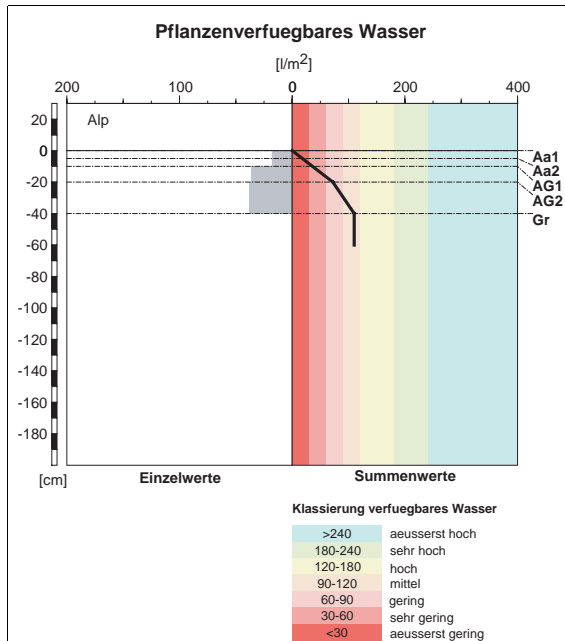


Abb. 22: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens wird als mittel klassiert. Es ist zu beachten, dass der Wurzelraum nur gerade 40cm mächtig ist. Darunter folgt ein Gr-Horizont, in dem infolge Sauerstoffmangel kein Wurzelwachstum möglich ist.

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### Luft- und Wasserhaushalt des Bodens

In diesem Profil sind Vernässungserscheinungen offensichtlich. Infolge der häufigen Wassersättigung des Oberbodens und dem damit verbundenen Sauerstoffmangel ist der Abbau der organischen Substanz gehemmt. Es hat sich keine normale Humusform, sondern ein gefügearmer Anmoor von schwarzer Farbe gebildet. Bis 40cm Tiefe sind rostige, oxidierte Stellen erkennbar, was auf zumindest zeitweilige Versorgung dieser Bodenpartien mit Sauerstoff schließen lässt. Unterhalb von 40cm Tiefe ist der Boden regelmässig grau-blau gefärbt. Hier herrschen über das gesamte Jahr weitgehend sauerstofffreie, reduzierende Verhältnisse. Die stete Nachlieferung von Wasser erfolgt durch fließendes Hangwasser. Der tonreiche, wasser-gesättigte Untergrund ist nahezu undurchlässig, so dass der Wasserabfluss in den oberen, durchlässigeren Bodenpartien erfolgt.

Der Boden wird aufgrund der beobachteten Vernässungsmerkmale als stark grundnass bewertet.

Neben der Bodenbeschaffenheit ist auch das Klima für die starke Bodenvernässung verantwortlich. Die Niederschlagsmengen im Alptal sind sehr hoch, verglichen mit Gebieten in ähnlicher Höhenlage.

### Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes

Die Durchwurzelung dieses Bodens wird durch Hangwasser beeinflusst. Die Mächtigkeit des Wurzelraumes und damit die Gründigkeit des Bodens ist auf 40cm beschränkt. Der Boden wird damit als mittelgründig klassiert. Der Übergang vom dunklen, stark durchwurzelten



Oberboden zum wurzelfreien, grauen Untergrund ist in 40cm Tiefe gut erkennbar. Die mangelnde Durchlüftung im vernässten Unterboden vermag das Wurzelwachstum offensichtlich vollständig zu unterbinden.

In der Vegetationszeit dürfte der vernässte Untergrund während Trockenperioden positive Auswirkungen auf die Wasserversorgung der Bäume haben, indem er den Wurzelraum mit aufsteigendem Kapillarwasser versorgt. Aufgrund der Bodenverhältnisse und der klimatischen Bedingungen ist auf der LWF-Fläche Alptal kaum mit Wassermangel für den Baumbestand zu rechnen. In niederschlagsreichen Perioden kann es dagegen vorkommen, dass auch der Wurzelraum wassergesättigt ist und damit, namentlich in der Vegetationsperiode, ein ungünstiges Milieu für die Wurzeln darstellt. Saugspannungsmessungen in den Jahren 1997-1999 haben auf diesem Standort gezeigt, dass der Wurzelraum stets reichlich mit Wasser versorgt und zeitweise sogar wassergesättigt war. Wassersättigung trat zuweilen sogar während der Vegetationszeit auf.

Eine augenfällige Besonderheit des Standortes sind die Wuchsorte der Fichten und Tannen. Sie stehen fast ausschliesslich auf Geländekuppen und fehlen in Muldenlagen. Die Bäume nutzen also das Mikrorelief aus und besiedeln vorzugsweise die erhöhten und damit am wenigsten vernässten Standorte.

#### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Boden reagiert sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil sehr gering und der Ton- und Schluffanteil hoch ist. Da der Boden meistens nahezu wassergesättigt ist und im Winter nur oberflächlich gefriert, ist eine forstliche Bewirtschaftung aus bodenökologischer Sicht in allen Jahreszeiten problematisch.

#### **2.2.1.3 Themenbereich "Säurezustand"**

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 4 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

##### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 23), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 24) sowie der Basensättigung (Abb. 25) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.

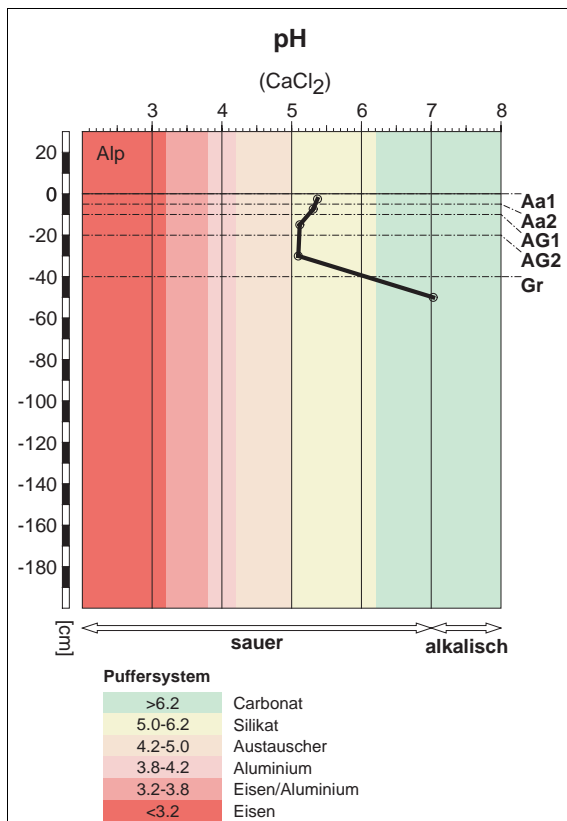


Abb. 23: pH-Wert und Pufferbereiche

Der Boden ist nur in den humusreichen Horizonten mässig sauer. Darunter nimmt der pH-Wert sprunghaft zu und erreicht in 40cm Tiefe beim Übergang ins carbonathaltige Substrat Werte über 7.

Eingetragene Säuren werden bis 40cm Tiefe überwiegend durch Silikat-, darunter durch Carbonatverwitterung gepuffert

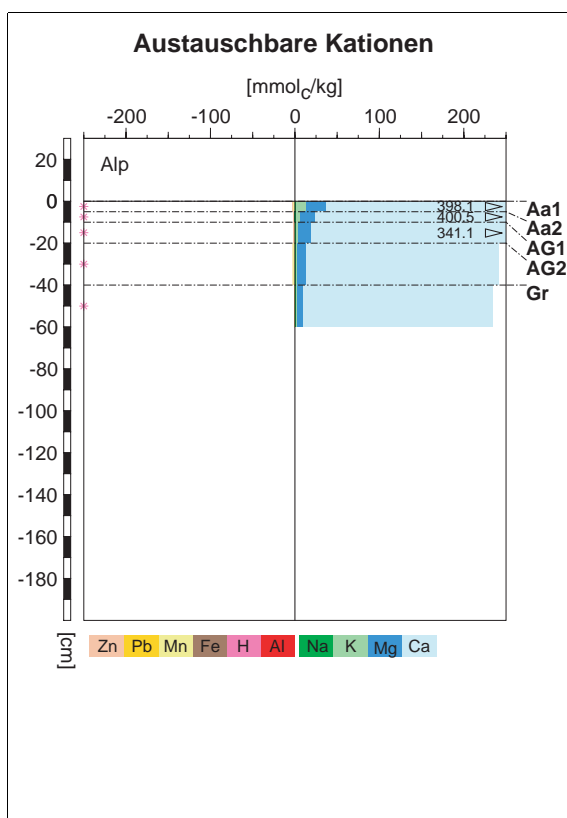


Abb. 24: Austauschbare Kationen

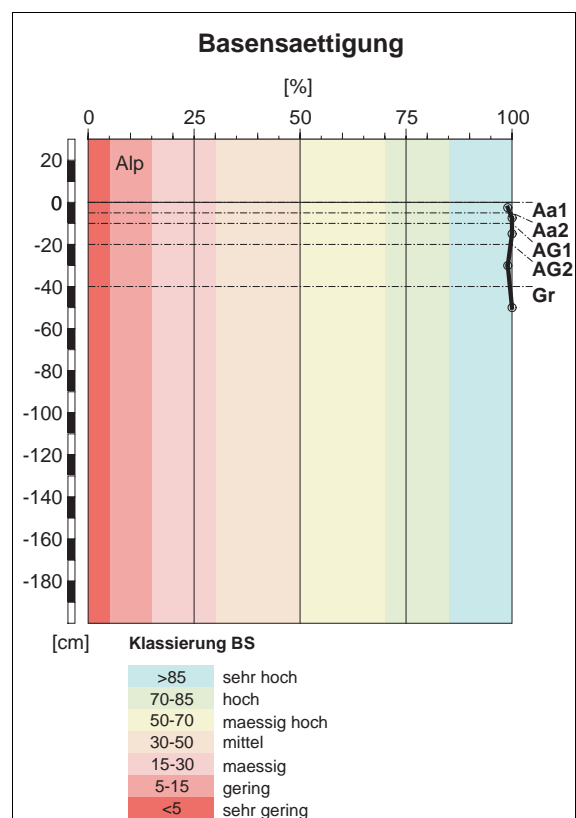


Abb. 25: Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist profilumfassend überwiegend mit Nährstoffkationen, insbesondere Ca belegt. Dementsprechend liegt die Basensättigung im gesamten Profil zwischen

98 und 100%. Die Belegung des Austauschers durch saure Kationen ist in diesem Boden vernachlässigbar gering.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der am Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem carbonathaltigen Ausgangsgestein (Flysch) ein Gley entwickelt.

Der Boden ist nur schwach und oberflächlich versauert. Dies lässt sich daran erkennen, dass nur die obersten 40cm des Bodens einen deutlich erniedrigten pH-Wert haben. Die geringe Tiefe der Kalkgrenze und die profilumfassend hohe Basensättigung deuten ebenfalls auf eine nur schwache Versauerung hin. Die Kalkgrenze verläuft in einer Tiefe von 40cm, was bedeutet, dass das ursprünglich vorhandene Carbonat bis in diese Tiefe für die Säurepufferung aufgebraucht worden ist.

Obwohl der humushaltige Oberboden sauer ist, beträgt die Basensättigung nahezu 100%. Diese hohe Basensättigung lässt sich einerseits mit der ständigen Nährstoffnachlieferung durch den Streufall erklären, dürfte aber andererseits auch mit dem Wasserhaushalt des Bodens zusammenhängen. Die periodisch auftretenden Vernässungsphasen wirken einer Versauerung entgegen. In wassergesättigten Phasen werden nämlich im Grundwasser enthaltene Nährstoffkationen an den Austauscher gebunden. Mit jeder Vernässungsphase wird damit nicht nur die Basensättigung, sondern auch das Säurepufferungsvermögen teilweise regeneriert.

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird aufgrund seines Wasserhaushalts als unempfindlich für eine weitere Versauerung bewertet. Da in Wassersättigungsphasen Nährstoffkationen in den Oberboden nachgeliefert werden, dürfte die Versauerung in diesem Boden auch in Zukunft nur sehr langsam fortschreiten. An diesem Waldstandort sind hinsichtlich Bodenversauerung in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen für den Boden, die Vegetation und das Grundwasser zu erwarten.

### **2.2.1.4 Themenbereich "Schwermetalle"**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 4 behandelt.

#### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBö (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Die VBBo-Richtwerte gelten bei einem Humusgehalt <15% in mg/kg, ansonsten in mg/dm<sup>3</sup>. In den Abbildungen, in welchen die Tiefenverteilung der Schwermetalle dargestellt ist, sind die Gehalte in mg/kg angegeben. Für die Schwermetallgehalte in mg/dm<sup>3</sup> (Aa1-, Aa2- und AG1-Horizont) wird auf die Datentabelle im Anhang verwiesen.

Die Anreicherungsfaktoren können in diesem Boden irreführend sein, weil sie auf der Basis der Schwermetallgehalte im Gr- Horizont berechnet wurden. Diese Gehalte weichen vermutlich von den geogenen Gehalten ab.

### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus tonreichem Flysch besteht, liegen die Cr- und Pb-Gehalte oberhalb, die Ni- und Zn-Gehalte innerhalb und der Cu-Gehalt unterhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 11 (Flysch).

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet der Alpen, hohe Gehalte an Cr und Pb vor. Ni und Zn weisen erhöhte und Cu sehr niedrige Gehalte auf.

### Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in den Abb. 26 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 27 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als “Δ”, die Richtwerte der VBBo als “◇” markiert.

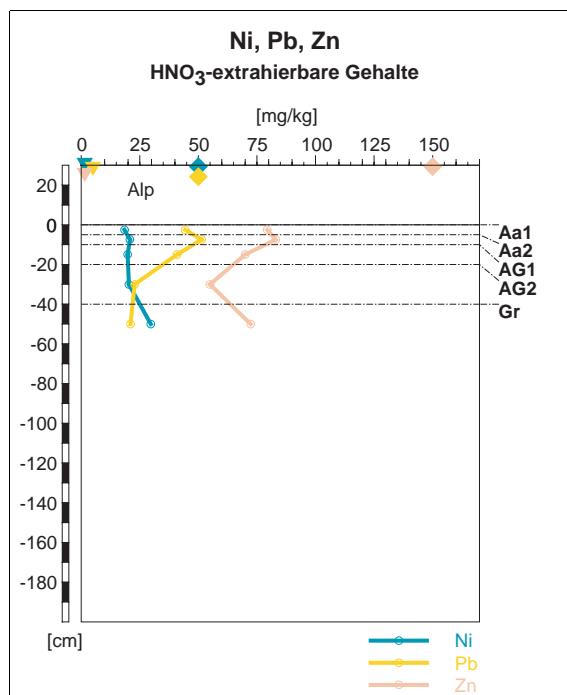


Abb. 26: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

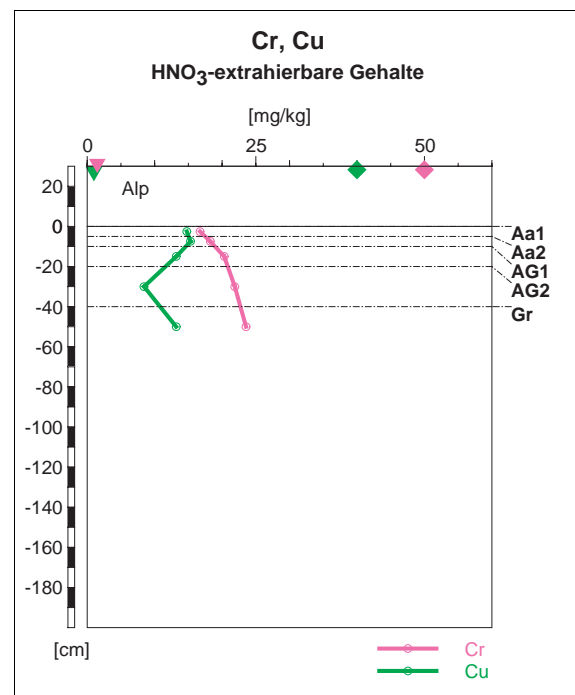


Abb. 27: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen für Cr, Cu und Zn profilumfassend niedrige bis sehr niedrige Gehalte vor. Für Ni sind die Gehalte, je nach Horizont, sehr niedrig bis erhöht und für Pb niedrig bis hoch. Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

### Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den obersten 10cm des Bodens sind alle erfassten Schwermetalle in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden.

## Anreicherungs-faktoren

Die Anreicherungs-faktoren sind in Tab. 14 dargestellt.

Tab. 14: Anreicherungs-faktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungs-faktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Aa1	0	- 5	2.85	1.96	1.83	0.95	0.83
Aa2	5	- 10	2.59	1.76	1.79	0.87	1.06
AG1	10	- 20	1.89	1.42	1.65	0.30	1.17
AG2	20	- 40	1.05	0.95	0.54	0.81	0.88
Gr	40	- 60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Die Anreicherungs-faktoren sind in diesem Profil nur mit Vorbehalten gültig. Die relativ hohen Schwermetallgehalte im Gr-Horizont, welche zur Berechnung der Anreicherungs-faktoren als Referenz verwendet werden, entsprechen in diesem Profil kaum den lithogenen Gehalten. Die effektiven Anreicherungs-faktoren sind vermutlich grösser als in Tab. 14 dargestellt.

Die hohen Anreicherungs-faktoren von Pb, Zn und Cu in den obersten 20cm weisen auf atmogene Einträge hin. Diese aus der Luft eingetragenen Elemente werden im stark humosen Oberboden gebunden und angereichert. Bei Zn und Cu ist neben atmogenen Einträgen auch ein Eintrag mit der Streu wahrscheinlich. Bei Ni und Cr ist weder eine eindeutige Verarmung noch Anreicherung im Profil feststellbar.

Der Boden scheint in den obersten 20cm mit Pb, Zn und Cu anthropogen belastet zu sein.

## Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 28.

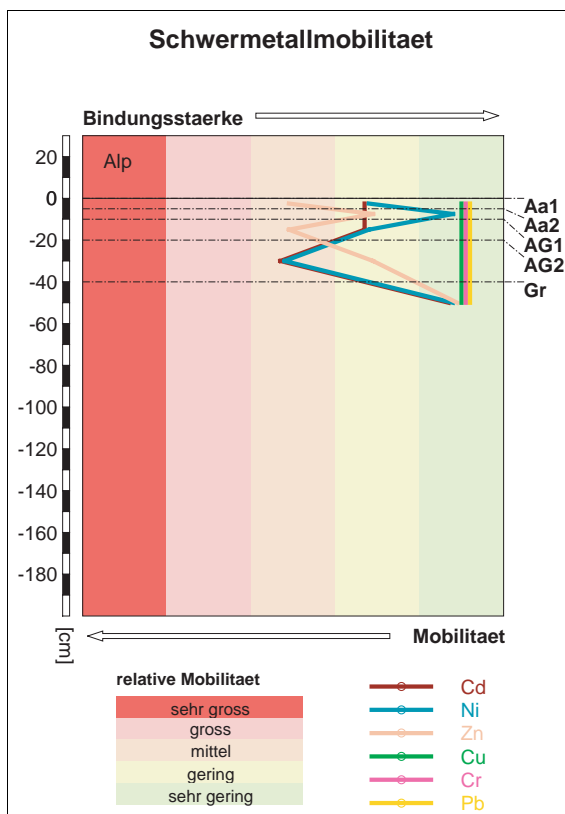


Abb. 28: Mobilität von Schwermetallen

Bei der Herleitung der Mobilitätsindizes wurden der pH-Wert sowie der Humus- und Tongehalt als Eingangsgrössen verwendet. Dieser Ansatz dürfte im vorliegenden, stark vernässten Gley zu einfach sein. Inwieweit nämlich die im Jahresverlauf schwankenden Redoxverhältnisse die Mobilität der Schwermetalle mitbeeinflussen, kann hier nicht beantwortet werden. Nachstehende Ausführungen zur Mobilität sind daher mit Vorsicht zu verwenden.

Entsprechend dem geringen Säuregrad des Bodens sind die Schwermetalle nur wenig mobil. Dies gilt ganz besonders ab 40cm Tiefe (siehe Mob.indices). Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort schwer abschätzbar. Die Gefahr einer Auswaschung geht in diesem humosen Boden von organischen Substanzen in der Bodenlösung aus, welche die Schwermetalle binden und ins Grundwasser verlagern können. Da der Boden im Jahresverlauf häufig wassergesättigt ist, besteht generell ein Potential für eine Verlagerung der Schwermetalle mit dem Bodenwasser.

### 2.2.1.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 4 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis bezogen.

Humusform und Bodengefüge lassen auf eine eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit schliessen. Der Abbau der organischen Substanz verläuft in diesem stark hydromorphen Boden nach eigenen Gesetzmässigkeiten. So fehlt zwar eine organische Auflage, der Boden ist aber bis 20cm Tiefe infolge des hohen Humusgehaltes (rund 30%) schwarz gefärbt und ohne erkennbares Gefüge. Aufgrund des periodischen Sauerstoffmangels können die Bodenorganismen das organische Material nicht vollständig mineralisieren. Die Humusform ist ein Anmoor.

Das C/N-Verhältnis beträgt in den obersten 5cm der Mineralerde rund 17 und liegt damit, gemäss Literaturangaben, im Übergangsbereich vom Mull zum Moder. Das als mittel klassierte C/N-Verhältnis lässt, wie bereits aufgrund der morphologischen Beobachtungen gefolgert, eine nur mittlere (etwas gehemmte) Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten.

Eine Besonderheit dieses Standortes liegt in der grossen räumlichen Heterogenität des Kleinreliefs und, in Abhängigkeit davon, auch verschiedener Bodeneigenschaften. Kuppen- und Muldenlagen wechseln sich mosaikartig ab. In den Mulden befinden sich Gleyböden mit meist neutralen bis schwach sauren, anmoorigen Oberböden. Auf den Kuppen dagegen haben sich Braunerden mit stark sauren, organischen Auflagen entwickelt. Diese für das Baumwachstum in verschiedener Hinsicht günstigen Kuppenlagen sind denn auch meist von Bäumen besiedelt, wogegen die vernästen Mulden häufig baumfrei und mit Hochstauden bewachsen sind.

## Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 29) und die Austauscherbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 30).

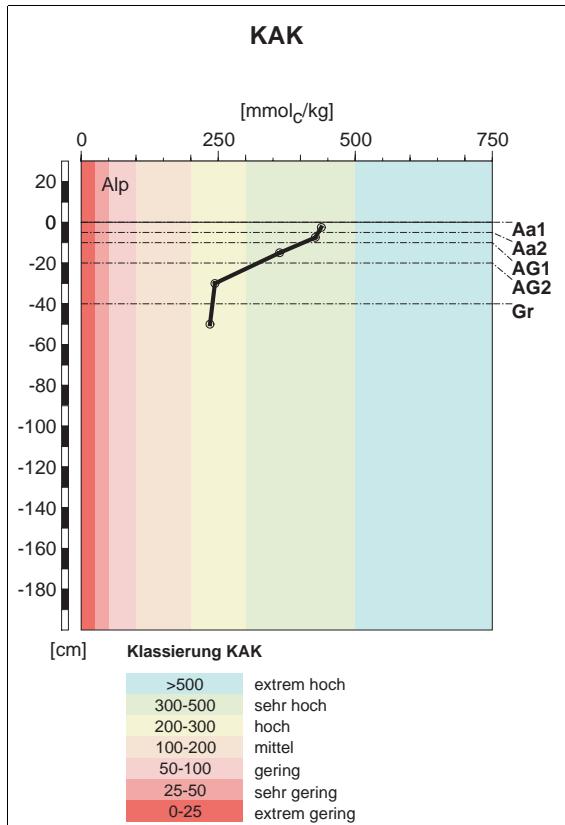


Abb. 29: Kationenaustauschkapazität (KAK)

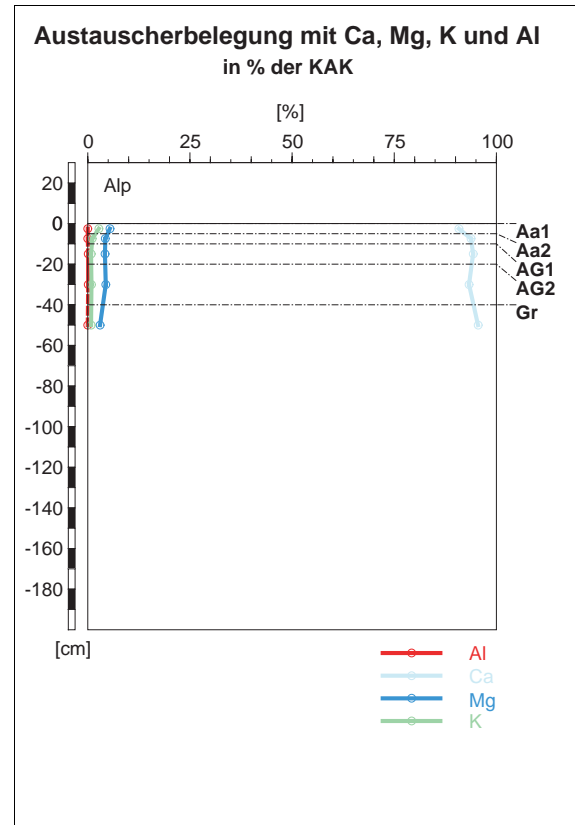


Abb. 30: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK wird im gesamten Profil als hoch bis sehr hoch eingestuft. Sie weist im stark humosen Oberboden maximale Werte auf.

Im gesamten Profil dominiert Ca mit über 90% Belegung am Kationenaustauscher. Trotz der mässig sauren Bodenverhältnisse bis 40cm Tiefe ist die Al-Belegung des Austauschers in diesem Tiefenbereich vernachlässigbar gering. Die Mg- und K-Belegungen sind im gesamten Profil relativ niedrig und konstant.

## Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Grösse der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 31 bis 33 dargestellt.

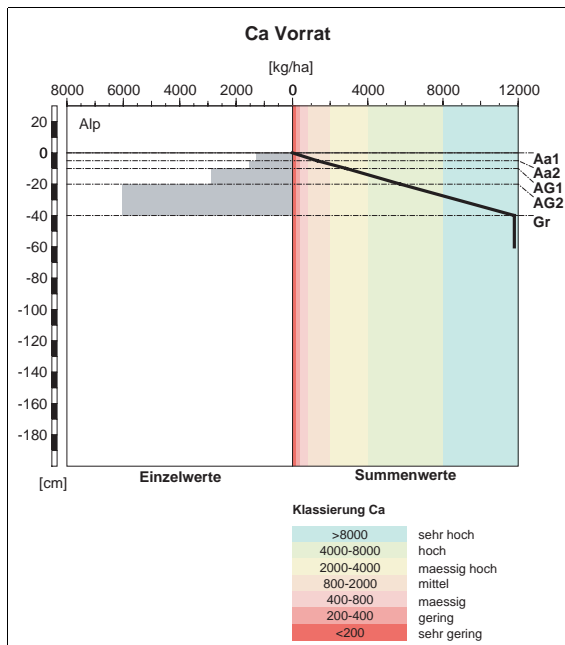


Abb. 31: Calcium-Vorrat

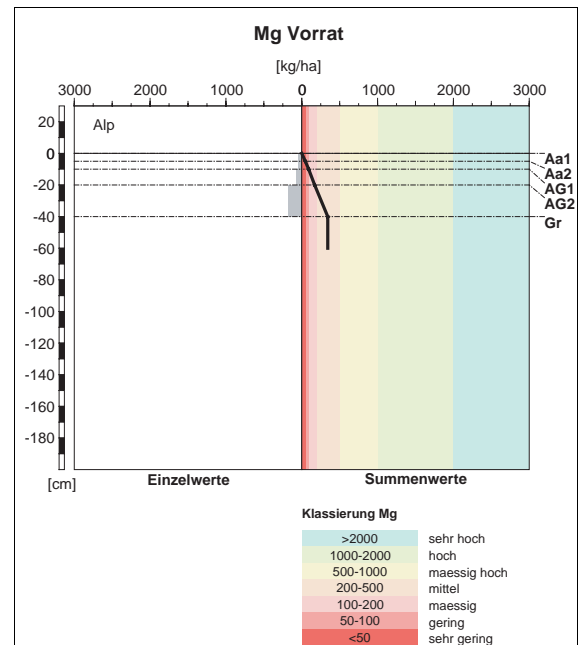


Abb. 32: Magnesium-Vorrat

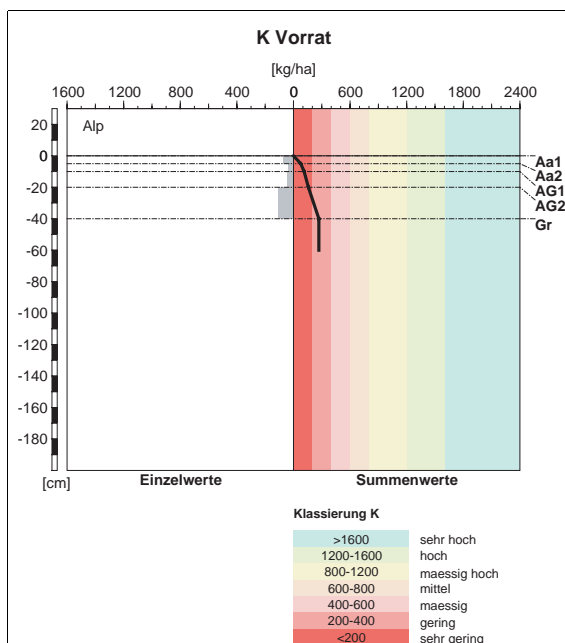


Abb. 33: Kalium-Vorrat

Die Mächtigkeit des Wurzelraumes ist infolge des permanent vernässten Unterbodens (Gr-Horizont) auf 40cm beschränkt. Dies reduziert die Nährstoffvorräte.

Die Vorräte an Ca nehmen bis 40cm Tiefe rasch, jene von Mg langsam und jene von K sehr langsam zu.

Im Wurzelraum (0-40cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca sehr hoch
- Mg mittel
- K gering



Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Der Wasser- und Lufthaushalt und seine Auswirkungen auf den Baumbestand ist jedoch an diesem Standort nur schwer abschätzbar. Es ist sowohl mit positiven als auch negativen Effekten auf den Baumbestand zu rechnen. In der Vegetationszeit dürfte der vernässte Untergrund während Trockenperioden positive Auswirkungen auf die Wasser- und Nährstoffversorgung der Bäume haben, indem er den darüberliegenden Wurzelraum mit Kapillarswasser versorgt. Aufgrund der Bodenverhältnisse und der klimatischen Bedingungen ist auf der LWF-Fläche Alptal kaum je mit Trockenstress für den Baumbestand zu rechnen. Eine gewisse Gefahr für den Baumbestand geht an diesem Standort eher von einer Wassersättigung des Wurzelraumes aus. Es ist denkbar, dass der Lufthaushalt in niederschlagsreichen Vegetationsperioden zu einem Problem für die Baumwurzeln und damit auch für die Nährstoffversorgung des Bestandes wird.

Saugspannungsmessungen in den Jahren 1997-1999 haben auf diesem Standort gezeigt, dass der Wurzelraum stets reichlich mit Wasser versorgt und zeitweise sogar wassergesättigt war (siehe Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte").

### 2.2.1.6 Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 4 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 15) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 15: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Alptal

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	1160m
Exposition	NW
Neigung	23%
Klima	
Jahresniederschlag	2129mm
Jahrestemperatur	5.3°C
Ausgangsgestein	Tonreicher Flysch
Baumbestand	
Struktur	lockerer, stufiger Bestand
Schlussgrad	30%
Baumarten (Deckung)	15% Fichte, 15% Tanne
Oberhöhe	20-25m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 49: Schachtelhalm-Tannenmischwald
<b>Bodenkennwerte</b> (beziehen sich auf das Profil Nr. 4)	
Hinweis: Auf der LWF-Fläche variieren die Bodeneigenschaften in Abhängigkeit des Kleinreliefs. Die untenstehende, tabellarische Zusammenstellung wichtiger Bodeneigenschaften bezieht sich auf Böden in normaler Hanglage und in Muldenlage. Böden in Kuppenlage sind weniger vernässt. Sie kommen nur kleinfächig vor, spielen aber waldbaulich eine grosse Rolle, weil die Waldverjüngung vorzugsweise auf den Kuppen erfolgt.	

Bodensystematik Bodentyp Bodentyp (LWF-Fläche)  Humusform Humusform (LWF-Fläche)	Gley, stark grundnass Vergleyte Braunerde-Gley (grosse räumliche Variabilität infolge Kleinrelief)  Anmoor Anmoor-Rohhumus (grosse räumliche Variabilität infolge Kleinrelief)
Wasser- und Lufthaushalt Hydromorphie  Durchwurzelung  pflanzenverfügbares Wasser	Der Boden ist stark hydromorph geprägt. Bis 40cm Tiefe ist er zeitweise luftführend, darunter ist mit stets reduzierenden, sauerstofffreien Verhältnissen zu rechnen.  Die Mächtigkeit des Wurzelraumes ist auf 40cm beschränkt. Die mangelnde Durchlüftung im Unterboden vermag das Wurzelwachstum offensichtlich vollständig zu unterbinden. Der Boden wird physiologisch als mittelgründig klassiert.  Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 40cm Tiefe wird als mittel klassiert. In Trockenperioden kann der Baumbestand von kapillar aufsteigendem Hangwasser aus dem Untergrund in den Wurzelraum profitieren. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen ist an diesem Standort nicht mit Trockenstress für die Bäume zu rechnen. In niederschlagsreichen Perioden kann es dagegen vorkommen, dass der Wurzelraum wassergesättigt ist und damit, namentlich in der Vegetationsperiode, ein hinsichtlich der Durchlüftung ungünstiges Milieu für die Wurzeln besteht.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze  Al-Toxizität	Die oberflächennahen, humusreichen Horizonte sind mässig sauer. Darunter nimmt der pH-Wert sprunghaft zu und erreicht in 40cm Tiefe beim Übergang ins carbonathaltige Substrat Werte >7 und liegt damit ab dieser Tiefe im alkalischen Bereich. Die Kalkgrenze verläuft in 40cm Tiefe.  Al-Toxizität ist in diesem Boden kein Thema. Hinsichtlich Bodenversauerung sind in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen auf die Vegetation zu erwarten.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden  Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Neben der Humusform Anmoor lässt auch das als mittel klassierte C/N-Verhältnis eine nur mittlere (etwas gehemmte) Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten.  Im durchwurzelten Boden (40cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen wie folgt beurteilt: Ca: sehr hoch, Mg: mittel, K: gering Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Die Auswirkungen des extremen Wasser- und Lufthaushaltes auf die Nährstoffversorgung sind an diesem Standort kaum abschätzbar. Es ist mit positiven (Kapillaraufstieg) und negativen (Wassersättigung) Effekten zu rechnen.
Verankerung	Die Bäume befinden sich vor allem in Kuppenlage. Die Kuppen sind deutlich weniger vernässt als die Mulden und die Durchwurzelung ist entsprechend tiefer. Daher wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes insgesamt als recht günstig beurteilt.
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil sehr gering und der Ton- und Schluffanteil hoch ist. Da der Boden in Muldenlage stets nass ist und im Winter nur oberflächlich gefriert, ist das Befahren aus bodenökologischer Sicht in allen Jahreszeiten problematisch.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der aktuell vorhandene Fichten-Tannenwald wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als standortgerecht bezeichnet. Wir können also davon ausgehen, dass die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten gut genutzt werden.

Im Streueintrag überwiegen in diesem Wald seit Jahrzehnten Nadeln von Fichte und Tanne. In Muldenlage kommen Blätter von krautigen Pflanzen dazu. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

#### *Keimbeet, Anwuchs- und Aufwuchsphase*

An diesem Standort ist die Baumartenwahl durch Bodenvernässung und kühles Klima stark eingeschränkt. In den standortkundlichen Grundlagewerken sind für den vorliegenden Standort folgende Baumarten als standortgerecht aufgeführt: Tanne und Fichte sowie vereinzelt Bergahorn und Vogelbeere. Aus bodenkundlicher Sicht sollten auf diesem vernässten Standort Tanne und Bergahorn bevorzugt werden. Sie fördern mit ihrem tiefgreifenden Wurzelwerk die Bestandesstabilität. Allenfalls kann auf den versauerten Kuppen (mit organischer Auflage) durch Beimischen von geeigneten Laubhölzern eine besser abbaubare Streumischung und damit eine schnellere Mineralisierung von Nährstoffen erzielt werden.

#### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 16):

Tab. 16: Baumartenempfehlung

<b>Hauptbaumarten</b>	Tanne, Fichte
<b>Beimischung</b>	Bergahorn, Vogelbeere, Mehlbeere, Grünerle

## 2.2.2 LWF-Fläche Beatenberg (Bodenprofil Nr. 1)

### 2.2.2.1 Themenbereich “Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie“

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 1 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Beatenberg und zum Bodenprofil Nr. 1

Die Tab. 17 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Beatenberg und zum Profil Nr. 1. Die Tab. 18 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 17: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Beatenberg und zum Profil Nr. 1

<b>Lokalname</b>	Howald (Gemeinde Beatenberg, Kt. BE)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1208, Beatenberg
	Koordinaten 624 757 / 172 177
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 57: Torfmoos-Fichtenwald mit Landschilf ( <i>Sphagno-Piceetum calamagrostietosum villosae</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-F-H-Ah-AE-E1-E2-Bs,h1-Bs,h2-R
<b>Humusform</b>	Rohhumus
<b>Bodentyp</b>	Humuspodsol (möglicherweise pseudovergleyt)
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Podsol

Tab. 18: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 1

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	1510m	
	Exposition	SW	
	Neigung	33%	
	Geländeform	Oberhang	
<b>Ausgangs-Gestein</b>	Kartengrundlagen	Helvetikum, Tertiär, Eozän, Hohgantsandstein.	
	Beobachtung am Profilort	Im östlichen Teil der LWF-Fläche besteht der Untergrund aus kalkhaltigem Sandstein.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	4.7°C / 1725mm	
	T / N Januarmittel	-2.1°C / 96mm	
	T / N Julimittel	12.0°C / 195mm	
	Tage mit Schneedecke	133	
	Wärmegliederung	rauh	
	Länge der Vegetationsperiode	135-150 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (25m Höhe)	40%	35% Fichte ( <i>Picea abies</i> )
	Strauchschicht	5%	-
	Krautschicht	80%	Heidelbeere ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ) Preiselbeere ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> ) Draht-Schmiele ( <i>Avenella flexuosa</i> )
	Moosschicht	70%	-

#### Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit U4 (alpine Kalk-Berglandschaften, tiefergelegene Südhänge). U4 stellt 93 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 0.8% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

## Besonderheiten am Profilort

Durch die LWF-Fläche verläuft eine geologische Grenze. Auf rund 80% der Fläche bildet sehr quarzreicher und grobkörniger Hohgantsandstein den Untergrund. In diesem Sandstein ist kaum Kalk als Bindemittel vorhanden. Die nordöstliche Ecke der Fläche dagegen hat mergeliges, stark kalkhaltiges Ausgangsgestein. Aus diesen beiden Substraten haben sich Böden mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften, namentlich bezüglich Wasser- und Nährstoffhaushalt, gebildet. Der hier vorgestellte Boden ist aus grobkörnigem, quarzreichem Sandstein entstanden.

## Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 19 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 19: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 1

LWF-Beatenberg Nr. 1		Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
+20		F	14-7	-	-	-	-	-	-	extrem stark
0		H	7-0	-	-	-	-	-	-	extrem stark
		Ah	0-3	stark	-	Kohärent	sehr locker	ohne	10 YR 2/1	extrem stark
		AE	3-10	stark	S	Kohärent	dicht	ohne	-	schwach
20		E1	10-20	stark	S	Kohärent	dicht	ohne	10 YR 6/2	schwach
		E2	20-30	stark	S	Kohärent	dicht	ohne	10 YR 6/2	schwach
40		Bs,h1	30-55	stark	IS	Fragmente	mittel	(Rostflecken)	7.5 YR 5/6	schwach
60		Bs,h2	55-65	stark	IS	Fragmente	mittel	(Rostflecken)	7.5 YR 4/2	wurzelfrei
80		R	> 65	-	-	fest	-	-	-	-
100										

Die sehr mächtige organische Auflage zeigt, dass die biologische Aktivität gering ist. Die überwiegend von Zwergsträuchern und Fichten stammende Streu wird sehr langsam und unvollständig zersetzt. Mit der Horizontfolge L-F-H-Ah-AE wird die Humusform als Rohhumus klassiert.

Im rund 1m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch sieben Horizonte mit folgender Horizontfolge unterscheiden: Ah-AE-E1-E2-Bs,h1-Bs,h2-R. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Humuspodsol klassiert.

Die Spuren der Podsolierungsprozesse sind im Boden gut erkennbar. Die Auswaschung ist weit fortgeschritten, was an der hellen und mächtigen Auswaschungszone erkennbar ist. Die Anreicherungszone sind dagegen nicht deutlich ausgeprägt. Nur in einem dünnen Übergangsbereich (Bs,h2-Horizont) zum Sandsteinuntergrund sind die für eine Anreicherungszone charakteristischen rötlichen Sesquioxidanreicherungen deutlich zu erkennen.

Allfällige hydromorphe Merkmale sind durch die Podsolierung maskiert. Es kann daher keine Beurteilung des Vernässungsgrades aufgrund von Vernässungsmerkmalen erfolgen.

### *Besonderheiten des Profils*

Das Profil ist kalkfrei. Aufgrund des kompakten Sandsteinuntergrundes wird vermutet, dass der Boden periodisch durch Stauwasser vernässt ist. Wegen der durch die Podsolierung verursachten Fleckigkeit des Profils sind allfällig vorhandene hydromorphe Merkmale aber nicht als solche interpretierbar, werden also als Anreicherungsmerkmale der Podsolierung gedeutet. Periodische Wasserhaushaltmessungen in den Jahren 1999-2001 haben ergeben, dass der Mineralboden über längerer Zeitperioden und zeitweise auch während der Vegetationszeit wassergesättigt ist.

Die Beprobung des Profils erfolgte nach genetischen Horizonten und weicht damit von der in den europäischen Monitoringstandards vorgesehenen Beprobung nach fixen Tiefenstufen ab.

### 2.2.2.2 Themenbereich ‘‘Physikalische Bodenkennwerte‘‘

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 1 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

#### *Skelettgehalt und Bodenart*

In Abb. 34 ist der Skelettgehalt und in Abb. 35 die Bodenart dargestellt.

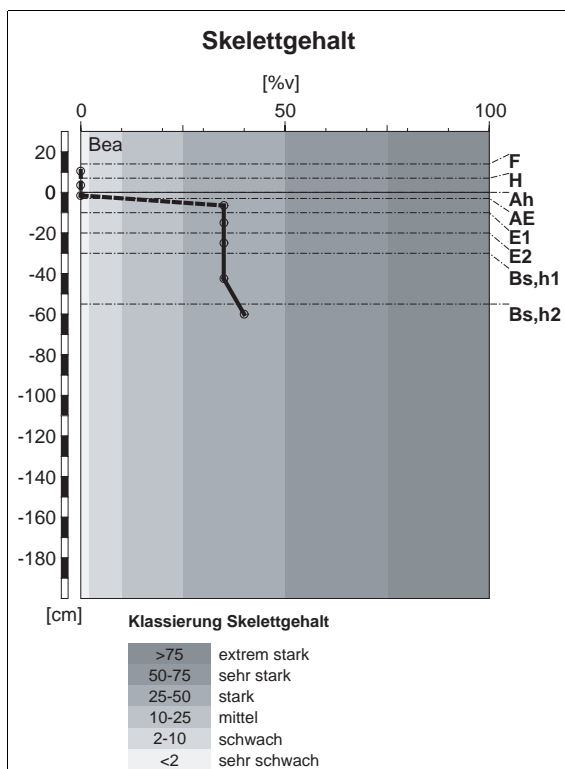


Abb. 34: Skelettgehalt

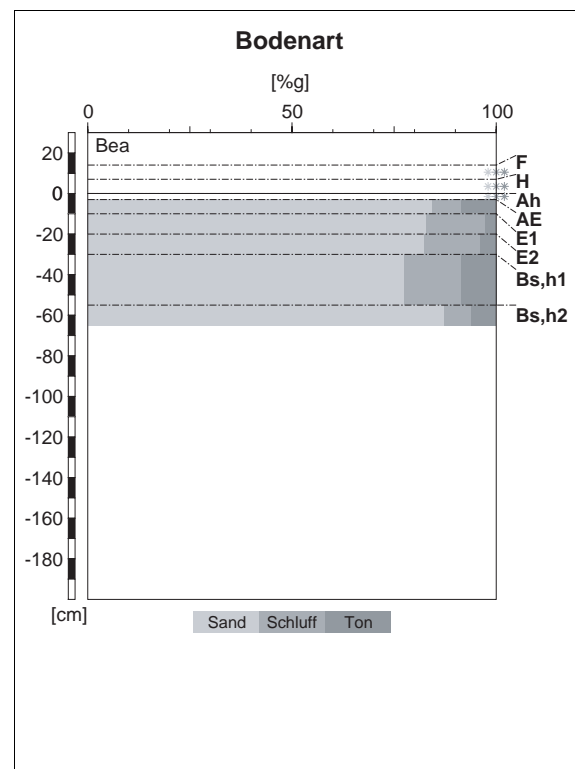


Abb. 35: Bodenart

Die mächtige, organische Auflage ist skelettfrei. In der Mineralerde ist der Gesteinsgehalt gross. Die Gesteinsbrocken sind stark angewittert und selbst im Innern vollständig entkalkt. Ab rund 70cm Tiefe befindet sich kompakter Sandstein, welcher die Gründigkeit des Profils einschränkt.

Die Feinerde ist profilumfassend auffallend sandig. Der Sand besteht vor allem aus Quarzkörnern, die als verwitterungsresistenter Rückstand bei der Verwitterung des Hohgantsandsteins anfallen. Der Anteil von Ton und Schluff beträgt rund 20% . Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen leichten Boden.

## Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 36 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 37 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

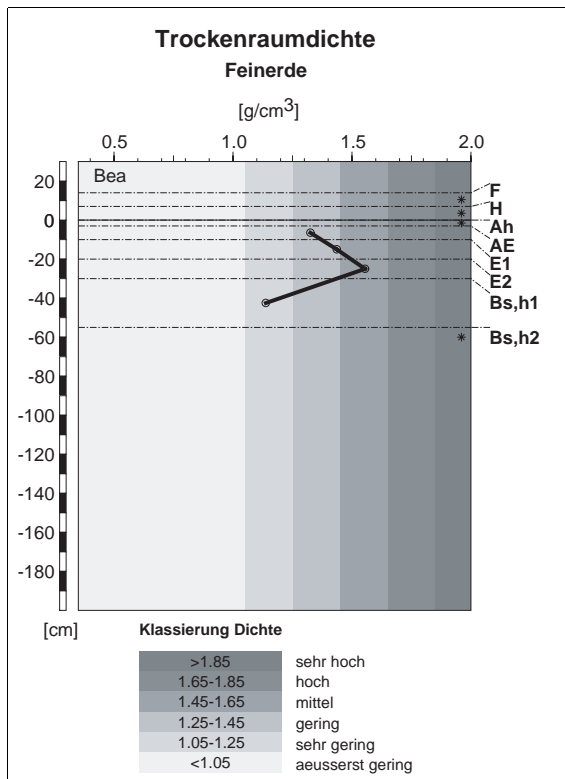


Abb. 36: Dichte der Feinerde

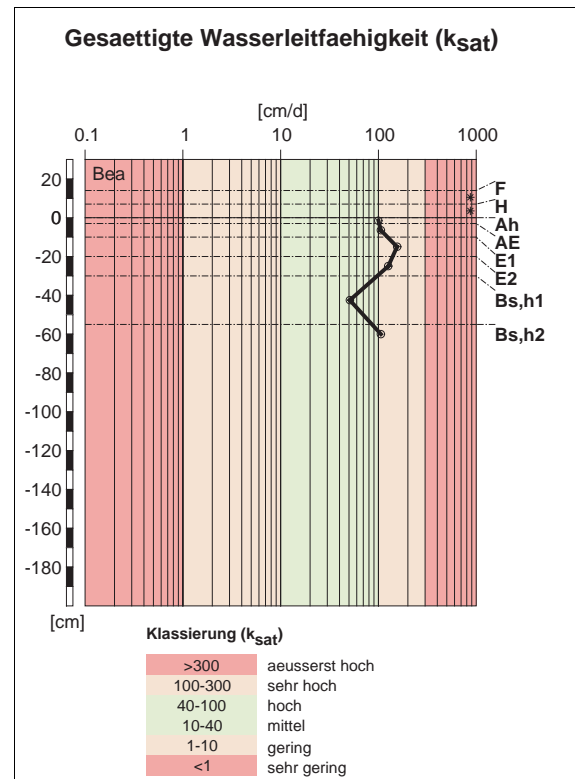


Abb. 37: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Die Dichte der Feinerde wird profilumfassend als gering bis mittel eingestuft. Diese ist eher erstaunlich, denn aufgrund des geringen Humusgehaltes und dem wenig ausgeprägten Bodengefüge würde man eine grössere Dichte erwarten. Die sehr geringe Dichte im untersten Horizont ist ein Artefakt der Beprobung. In dieser Tiefe war der Boden nahezu wassergesättigt, die Feinerde nahe der Fliessgrenze.

Aufgrund der relativ geringen Lagerungsdichte und der sandigen Bodenart der Feinerde wird die Leitfähigkeit in den Mineralerdehorizonten als hoch bis sehr hoch bewertet. Einen grossen Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt dürfte in Beatenberg die mächtige, organische Auflage ausüben. Leider können wir hier über den Wasserhaushalt keine Angaben machen, weil die gesättigte Leitfähigkeit nicht bestimmt wurde. Es ist zu beachten, dass das Verhalten der organischen Auflage gegenüber Wasser stark vom Wassergehalt abhängt.

Auf dem felsigen Sandsteinuntergrund fliesst Bodensickerwasser hangabwärts. Dies ist bei der unterhalb der LWF-Fläche verlaufenden Forststrasse gut erkennbar. In den bergseitigen Drainagegräben entlang der Strasse wird das braun-rötlich verfärbte Hangwasser aufgefangen und abgeleitet.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 38 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

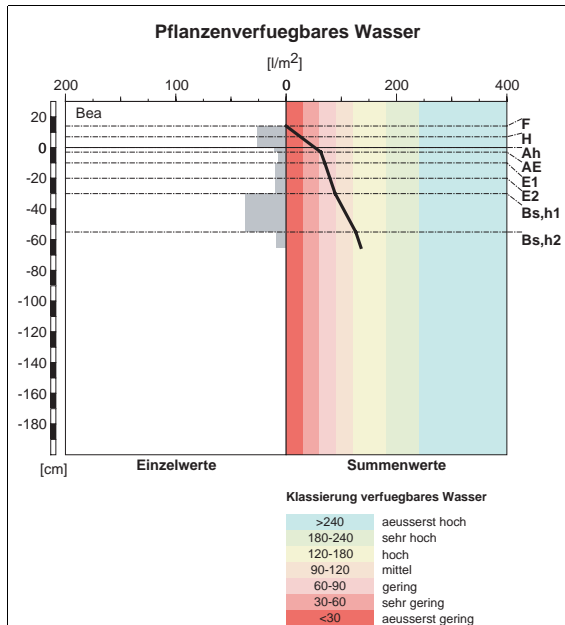


Abb. 38: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens wird, trotz der limitierten Gründigkeit von 70cm, als mässig hoch klassiert. Es ist jedoch zu beachten, dass nur die organische Auflage intensiv durchwurzelt ist. Ihre Speicherkapazität ist mässig.

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Der Wasserhaushalt des Bodens kann nicht anhand von morphologischen Merkmalen im Profil beurteilt werden, weil das für die Bildung hydromorpher Merkmale nötige Eisen und Mangan durch Podsolierung zu einem grossen Teil aus den Mineralerdehorizonten ausgewaschen wurde. Als Verwitterungsrückstand liegt nahezu profilumfassend heller Quarzsand ohne hydromorphe Merkmale vor. Im nur sehr geringmächtigen, rötlich-braunen Anreicherungshorizont unmittelbar über dem Felsuntergrund sind allfällig vorhandene Vernässungsmerkmale ebenfalls nicht erkennbar, weil sie sich farblich nicht von der Grundfarbe des Horizontes abheben.

Aufgrund des in 70cm Tiefe anstehenden Felsuntergrundes wird aber vermutet, dass es im Boden zeitweise zu Wasserstau und Vernässung kommt. Auch das Auftreten von Hangwasser unterstützt diese Annahme.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Der Wurzelraum ist im Wesentlichen auf die organische Auflage beschränkt. Der Übergang von der dunklen, stark durchwurzeltten Auflage zum wurzelfreien, grauen Untergrund verläuft messerscharf. In der Mineralerde sind nur vereinzelte Feinstwurzeln vorhanden. Die extrem flachen Wurzelteller geworfener Fichten in der Umgebung des Bodenprofils bestätigen die im Profil gewonnenen Erkenntnisse. Das Fehlen von Wurzeln in der Mineralerde kann höchstens im mittleren Profilbereich auf eine zu grosse Bodendichte (Feinerde-Dichte  $>1.4\text{kg/dm}^3$ ) zurückgeführt werden. Im übrigen Profilbereich sind die Dichtewerte zu niedrig, als dass sie das Wurzelwachstum hemmen könnten. Es sind vermutlich Nährstoffmangel und



temporäre Vernässung der Mineralerdehorizonte, welche das Wurzelwachstum fast vollständig unterbinden.

Der Boden wird, trotz den genannten Einschränkungen, als mittelgründig klassiert. In 70cm Tiefe ist der Wurzelraum durch Fels begrenzt.

In der Vegetationszeit dürfte der stauende Felsuntergrund während Trockenperioden positive Auswirkungen auf die Wasserversorgung der Bäume haben, indem er Sickerwasser im Wurzelraum zurückhält.

Saugspannungsmessungen in den Jahren 1999-2001 auf diesem Standort zeigen, dass der Boden und insbesondere auch die stark durchwurzelte organische Auflage in dieser Messperiode während der Vegetationszeit nie stärker ausgetrocknet und die Wasserversorgung des Baumbestandes demnach nie kritisch war (Daten hier nicht gezeigt). In dieser Periode fielen während der Vegetationszeit im Vergleich zu den langjährigen monatlichen Minimalwerten (25% Quantil  $\approx$  100%) folgende monatlichen Summen (Station Interlaken (574 M.ü.M.; 632700/170680; Messperiode 1931-2002); Daten Meteo Schweiz, bearbeitet durch M. Rebe-  
tez):

	Mai		Juni		Juli		August		September	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
<b>1999</b>	171	228	127	121	40	36	140	127	123	191
<b>2000</b>	58	77	75	72	160	144	103	93	108	167
<b>2001</b>	51	69	203	194	124	111	97	88	145	225

Im langjährigen Vergleich relativ niederschlagsarm (Niederschlagsmengen  $<$ 25% Quantil ( $\approx$ 100%)) waren im Jahr 1999 der Monat Juli, im Jahr 2000 die Monate Mai, Juni und August und im Jahr 2001 die Monate Mai und August. Wie die Saugspannungsmessungen belegen, war der Boden aber selbst während diesen relativ niederschlagsarmen Perioden nicht übermässig trocken. Wir vermuten indessen, dass an diesem südexponierten Standort in längeren Trockenperioden mit Trockenstress für die hier äusserst flachwurzelnde Fichte zu rechnen ist.

Unsere Berechnungen zeigen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach spätestens 20 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Falls die Wasserreserven in den Mineralerdehorizonten in solchen Perioden infolge mangelnder Durchwurzelung nicht ausgenützt werden, tritt gemäss unseren Berechnungen bereits nach 10 Tagen Trockenstress ein.

### *Bodenbefahrbarkeit*

Beim Befahren des Bestandes mit schweren Maschinen muss kaum mit grösseren Bodenverdichtungen gerechnet werden, da der Boden viel Skelett sowie wenig Schluff und Ton enthält. Allerdings würde durch ein Befahren die organische Auflage in Mitleidenschaft gezogen, was sich für eine nachfolgende Ansammlung der Fichte eher positiv, für die sich in der Auflage befindliche Hauptmasse der Baumwurzeln jedoch verheerend auswirken würde. Wurzelbeschädigungen führen häufig zu Wurzel- und Stammholzfäule beim verbleibenden Bestand.

### **2.2.2.3 Themenbereich "Säurezustand"**

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 1 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

#### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 39), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 40) sowie der Basensättigung (Abb. 41) ver-

wendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.

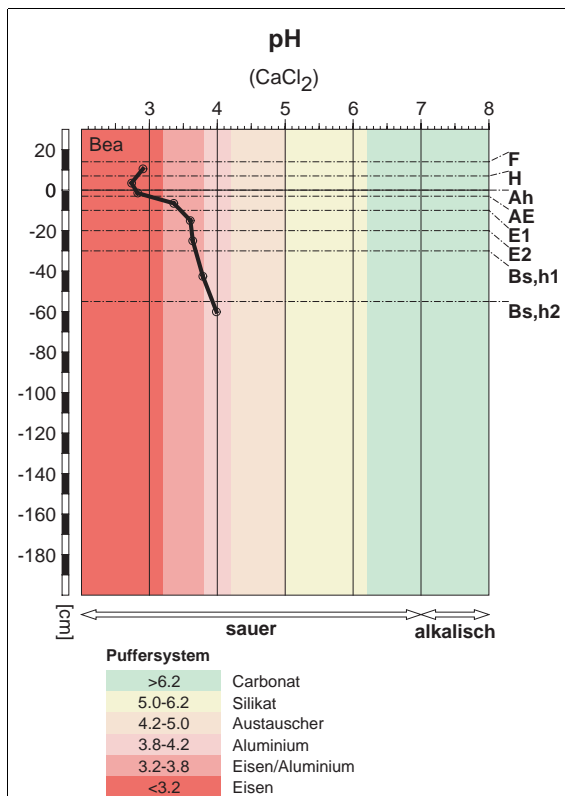


Abb. 39: pH-Wert und Pufferbereiche

Die rund 15cm mächtige, organische Auflage ist extrem sauer, es werden pH-Werte von 2.7 gemessen. Die Auflage enthält kaum mineralische Komponenten und damit auch keine Puffer-substanzen. Bemerkenswert ist der gegenüber dem H-Horizont deutlich erhöhte pH-Wert im F-Horizont.

Auch in den Mineralerdehorizonten reagiert der Boden sehr stark sauer, wobei der pH-Wert zur Tiefe hin allmählich ansteigt. Im Mineralboden werden eingetragene Säuren überwiegend durch Auflösung pedogener Fe- und Al-Hydroxide gepuffert.

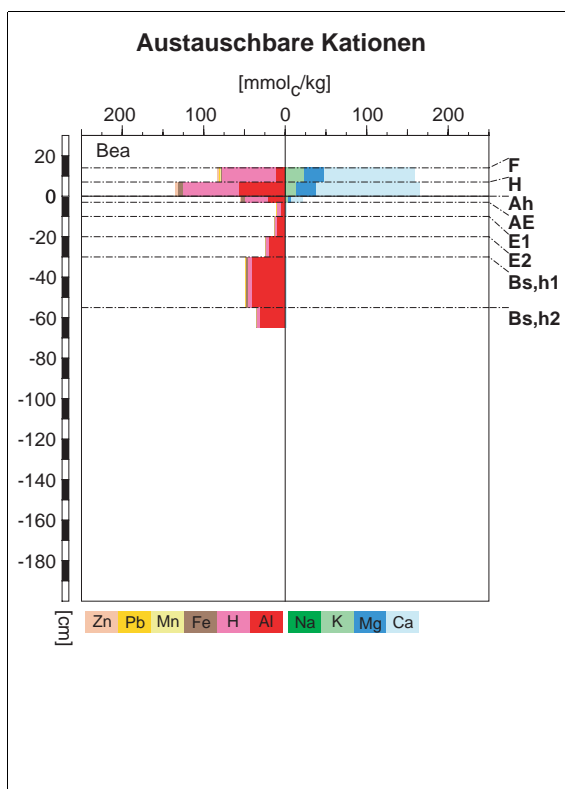


Abb. 40: Austauschbare Kationen

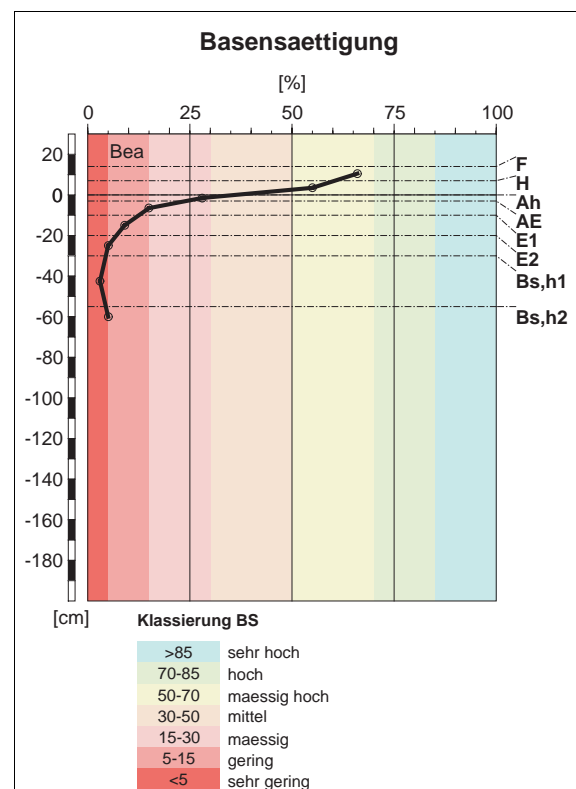


Abb. 41: Basensättigung

In der organischen Auflage ist die Basensättigung trotz extrem niedrigem pH-Wert relativ hoch. In den Mineralerdehorizonten ist der Austausch überwiegend durch saure Kationen belegt. Die Basensättigung beträgt 5-15% und ist damit sehr gering bis gering.

Entsprechend der Pufferung durch Al- und Fe-Hydroxide befinden sich in den meisten Horizonten neben Al auch geringe Mengen an Fe am Austauscher.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem sehr silikatreichen Ausgangsgestein (Hohgantsandstein) ein Podsol entwickelt. In den flächendeckend vorhandenen, bis 40cm mächtigen organischen Auflagehorizonten (Rohhumus) werden starke Säuren gebildet, welche die Versauerung des Bodens beschleunigen.

Der Boden ist bis hinunter auf den Felsuntergrund extrem stark versauert, was sich am profillumfassend niedrigen pH-Wert und an der in der Mineralerde stark reduzierten Basensättigung erkennen lässt. Das ursprünglich im Sandstein als Bindemittel vorhandene Carbonat ist für die Säurepufferung aufgebraucht worden. Morphologisch lässt sich die Versauerung an der Podsolierung erkennen.

Nährstoffkationen werden im gesamten Profil durch saure Kationen, insbesondere Al, vom Austauscher verdrängt. Dies wird durch die reduzierte Basensättigung belegt.

Verglichen mit dem pH-Wert ist die Basensättigung in der organischen Auflage relativ hoch, was durch die ständige Nachlieferung von Nährstoffen mit dem Streufall erklärt werden kann. Bemerkenswert ist der gegenüber dem H-Horizont deutlich erhöhte pH-Wert im F-Horizont. Dies ist möglicherweise auf den Eintrag von nur mässig sauren Niederschlägen (und den darin enthaltenen, pufferfähigen Partikeln) zurückzuführen. Der durchschnittliche, über ein Jahr gemessene pH-Wert des Niederschlages beträgt auf der LWF-Fläche Beatenberg rund 5.2, wie Messungen aus dem Jahr 2000 zeigen. Er ist damit deutlich höher als der pH-Wert des Bodens. Es ist denkbar, dass der pH-Wert im F-Horizont durch diesen Verdünnungseffekt erhöht wird. Der höhere pH-Wert im F-Horizont könnte aber auch mit dem unterschiedlichen Abbaugrad der organischen Substanz und den unterschiedlichen organischen Säuren im F- und H-Horizont zusammenhängen.

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden ist bereits so stark sauer, dass er als nur wenig empfindlich für eine weitere Versauerung beurteilt wird. Die chemischen Versauerungsparameter werden sich mittelfristig kaum wesentlich verändern.

Der Abbau der organischen Substanz ist auf diesem subalpinen Standort unter anderen Faktoren durch den tiefen pH-Wert gehemmt, so dass sich auf der LWF-Fläche ein mächtiger Rohhumus gebildet hat. Die Versauerung wird hier vor allem durch den unvollständigen Abbau organischer Substanz und der damit verbundenen Produktion starker Säuren vorangetrie-

ben. In der Mineralerde ist die Basensättigung bereits heute so tief, dass sie in Zukunft kaum messbar abnehmen wird.

Auch für das Baumwachstum dürften sich mittelfristig die Bedingungen hinsichtlich Bodenversauerung nur wenig verändern. In der Mineralerde werden minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.04 erreicht. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird damit unterschritten. An diesem Fichtenstandort besteht folglich ein Risiko für Al-Toxizität. Es ist bemerkenswert, dass in der Mineralerde kaum Fichtenwurzeln vorhanden sind. Der grösste Teil der Wurzelmasse befindet sich in der organischen Auflage (flache Wurzelteller). Hier ist das BC/Al-Verhältnis mit 3 bis 13 um einen Faktor 100 höher als in der Mineralerde. Ob diese Bewurzelungsstrategie der Fichte allerdings mit der Al-Toxizität zu tun hat, ist ungewiss. Sie könnte auch mit dem Nährstoff- und / oder Wasserhaushalt des Bodens zusammenhängen. Die Nährstoffvorräte in der Mineralerde sind nämlich äusserst gering und Saugspannungsmessungen zeigen, dass der Mineralboden im Jahresverlauf häufig wassergesättigt ist.

Durch weitere Versauerung nimmt die Mobilität der meisten Schwermetalle zu, so dass ein erhöhtes Risiko für die Tiefenverlagerung solcher Schwermetalle besteht. Da der Boden an diesem Standort profilumfassend extrem sauer reagiert und das Sickerwasser auf dem Felsuntergrund gestaut wird und hangabwärts fliesst, wird das Risiko einer Grundwasserkontamination sowohl zum aktuellen Zeitpunkt als auch in Zukunft als sehr hoch eingestuft.

#### **2.2.2.4 Themenbereich "Schwermetalle"**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Die VBBo-Richtwerte gelten bei einem Humusgehalt <15% in mg/kg, ansonsten in mg/dm<sup>3</sup>. In den Abbildungen, in welchen die Tiefenverteilung der Schwermetalle dargestellt ist, sind die Gehalte in mg/kg angegeben. Im F-, H- und Ah-Horizont konnte der volumenbezogene Gehalt (mg/dm<sup>3</sup>) mangels Kenntnis der Dichte nicht berechnet werden. Daher erfolgt dort keine Richtwertbeurteilung.

Das Ausgangsgestein des Bodenprofils konnte nicht analysiert werden, weil es aus kompaktem Fels besteht.

##### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Das Ausgangsgestein des Bodenprofils konnte nicht analysiert werden, weil es aus kompaktem Fels besteht. Die Lithofazies, welche als Referenz für den Vergleich beigezogen werden müsste, ist die Lithofazies 13 (Sandsteine).

## Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 42 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 43 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als "Δ", die Richtwerte der VBBo als "◇" markiert.

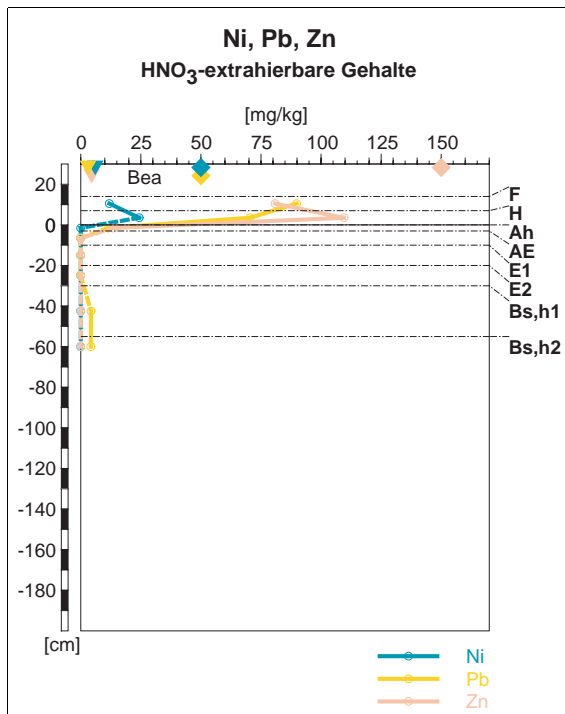


Abb. 42: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

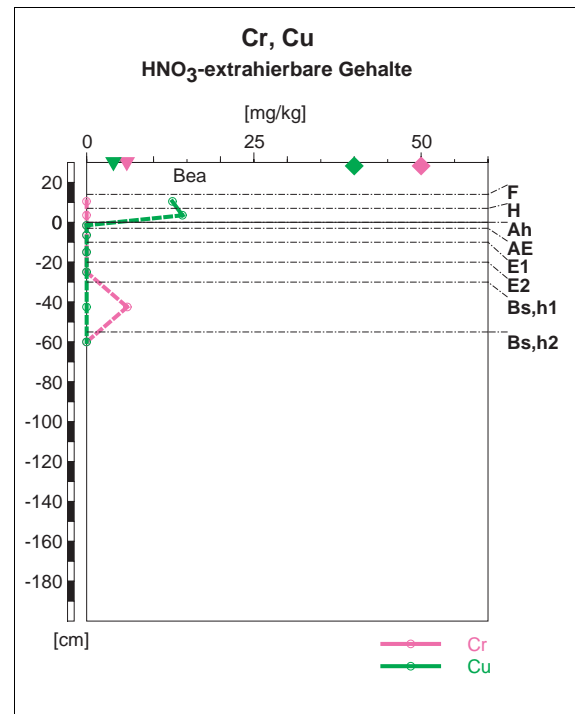


Abb. 43: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo sind in der Mineralerde alle Schwermetallgehalte sehr niedrig. Die Richtwerte der VBBo werden in der Mineralerde nicht überschritten.

In der organischen Auflage kann die Richtwertbeurteilung nicht vorgenommen werden, weil die dazu nötigen volumenbezogenen Gehalte ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) nicht bekannt sind. Rein gutachtlich beurteilt dürfte der Richtwert für Pb in der organischen Auflage überschritten sein.

## Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

Die in der Literatur angegebenen kritischen Werte für die Bodenfauna werden für Cr und Cu in der organischen Auflage leicht überschritten. In den obersten 10cm des Mineralbodens sind alle Metalle in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden.

## Anreicherungsfaktoren

Im vorliegenden Profil konnten keine Anreicherungsfaktoren berechnet werden, da keine XRF-Messwerte (Totalgehalte) des Ausgangsgesteins vorliegen. Daher werden in Tab. 20 statt der Anreicherungsfaktoren die Totalgehalte der Bodenhorizonte dokumentiert. Aus diesen Gehalten lassen sich Rückschlüsse auf die anthropogene Belastung des Bodens ziehen.

Tab. 20: Totalgehalte von Schwermetallen

Horizont	Tiefe [cm]		Gehalte [mg/kg]				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
F	14	- 7	173.5	278.0	38.2	43.3	59.0
H	7	- 0	132.2	325.1	35.5	85.8	64.1
Ah	0	- 3	23.9	36.1	<3	<5	<40
AE	3	- 10	5.0	<2	<3	<5	<40
E1	10	- 20	5.1	<2	<3	<5	<40
E2	20	- 30	5.6	2.8	<3	<5	<40
Bs,h1	30	- 55	12.6	12.6	<3	8.7	<40
Bs,h2	55	- 65	10.4	10.6	<3	6.4	<40

Die hohen Gehalte in der organischen Auflage lassen für alle Schwermetalle atmogene bzw. anthropogene Einträge vermuten, sehr ausgeprägt scheint dies für Pb und Zn der Fall zu sein.

In der Tiefenstufe von 0-30cm sind die Schwermetallgehalte ausgesprochen gering. Hier hat eine deutliche Auswaschung stattgefunden, was sich im Profil an den aschefarbenen Eluvialhorizonten (E-Horizonte) äussert.

Im Gegensatz zu den mit Salpetersäure extrahierbaren Schwermetallgehalten kann anhand der Totalgehalte die im Profil sichtbare Anreicherungszone (Bs,h-Horizonte) mit Messwerten belegt werden. Die Pb-, Zn- und Ni-Gehalte sind hier gegenüber den Eluvialhorizonten erhöht.

#### Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 44.

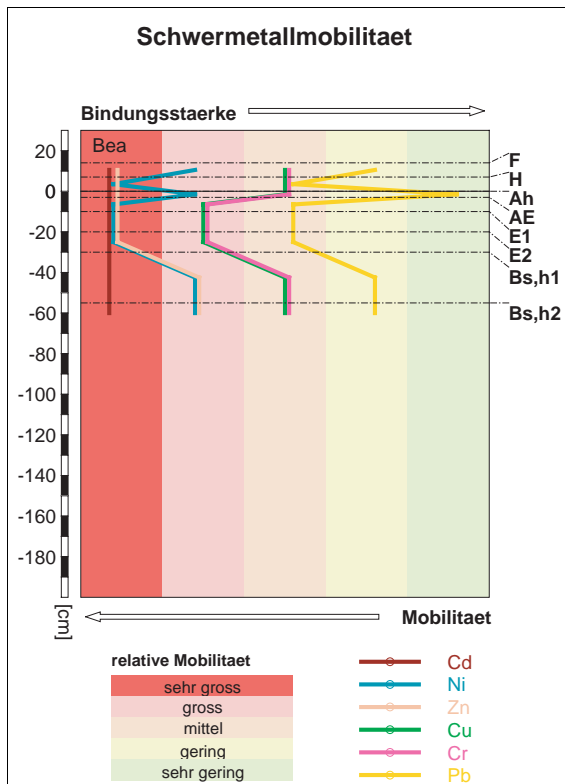


Abb. 44: Mobilität von Schwermetallen

In diesem extrem sauren und in der Mineralerde quarzhaltigen Boden sind alle Schwermetalle sehr mobil. Die Aussagekraft der Mobilitätsindizes ist in diesem Boden wenig relevant, weil die im Bodenwasser gelösten, organischen Stoffe die Mobilität aller Schwermetalle erhöhen.

Periodische Messungen der Bodenlösung haben ergeben, dass sie grosse Mengen an organischen Substanzen enthält. Gebunden an diese organischen Substanzen werden die Schwermetalle in die Tiefe verlagert. Ein kleiner Anteil der verlagerten Stoffe wird in den Illuvialhorizonten (Bs,h-Horizonte) angereichert, der grösste Teil wird aber mit der Bodenlösung auf dem stauenden Felsuntergrund hangabwärts verfrachtet. Unterhalb der LWF-Fläche wird das braunrot verfärbte Hangwasser in einer Drainageleitung, die entlang der Forststrasse verläuft, aufgefangen und abgeleitet.

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort infolge ausgeprägter Podsolierungsprozesse sehr gross.

### 2.2.2.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Die Nährstoffverfügbarkeit wird aufgrund von Humusform und Bodengefüge als ungünstig beurteilt. Die Humusform ist Rohhumus. Die Mächtigkeit der organischen Auflage variiert auf der LWF-Fläche meist zwischen 15 und 30cm. Der gehemmte Abbau ist auf die extrem saure Bodenreaktion, die schwer abbaubare Fichten- und Heidelbeerstreu und die zeitweise stark ausgeprägte Bodenvernässung zurückzuführen.

Das C/N-Verhältnis in der organischen Auflage beträgt rund 30 und liegt damit in einem Bereich, der, gemäss Literaturangaben, für Rohhumus üblich ist. Das als weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine sehr niedrige Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen.

#### Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 45) und die Austauscherbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 46).

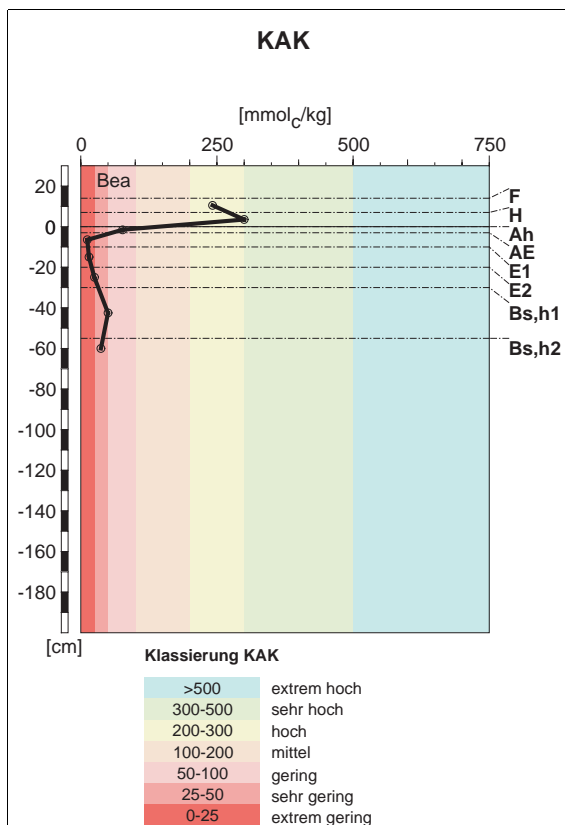


Abb. 45: Kationenaustauschkapazität (KAK)

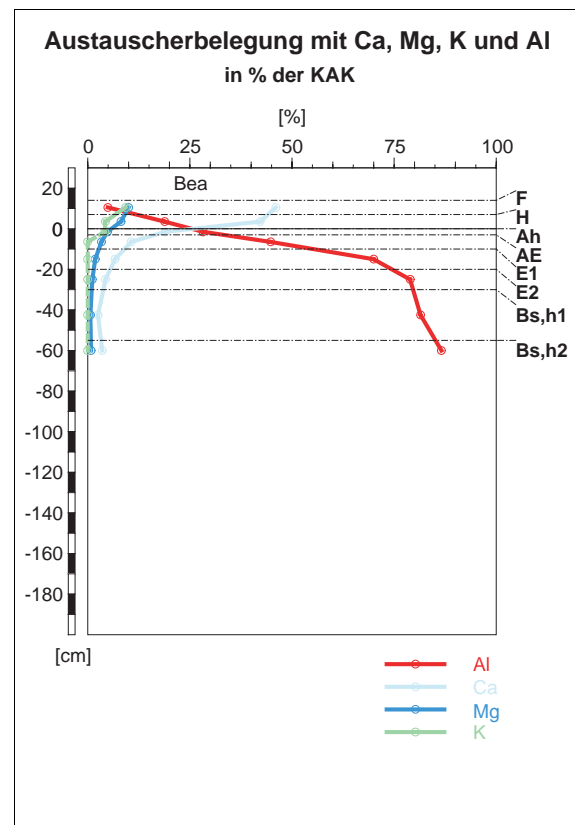


Abb. 46: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die Grösse der KAK ist im Profil in Abhängigkeit des Humusgehaltes sehr variabel. In der organischen Auflage ist sie hoch, nimmt dann aber nach unten sprunghaft ab und verhartet bereits ab 5cm Tiefe auf einem sehr niedrigen Niveau. In den Eluvialhorizonten ist die KAK am niedrigsten.

In der organischen Auflage ist die Al-Belegung deutlich niedriger als in der Mineralerde. Dies hängt einerseits damit zusammen, dass Al vorwiegend durch Verwitterung von mineralischen Substanzen freigesetzt wird, in der Auflage also schon aus diesem Grund untervertreten sein muss. Andererseits wird Al in den humosen Horizonten durch die bei der Humuszersetzung freigesetzten Nährstoffkationen teilweise vom Austauschverdrängt. Aus diesen Gründen beträgt die Al-Belegung in der organischen Auflage nur 5-20%. Unter den Nährstoffkationen überwiegt Ca deutlich. Mg und K kommen in ähnlichen Gehalten vor.

In der Mineralerde dominiert Al ab einer Tiefe von rund 10cm am Kationenaustauscher und die Belegung mit Nährstoffkationen ist entsprechend gering. Auffällig ist, dass die Al-Belegung in der Mineralerde bis hinunter auf das Ausgangsgestein hoch ist. Die durch Verwitterung freigesetzten Nährstoffkationen werden durch Al weitgehend vom Austauschverdrängt und aus dem Boden ausgewaschen.

### Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Grösse der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 47 bis 49 dargestellt.

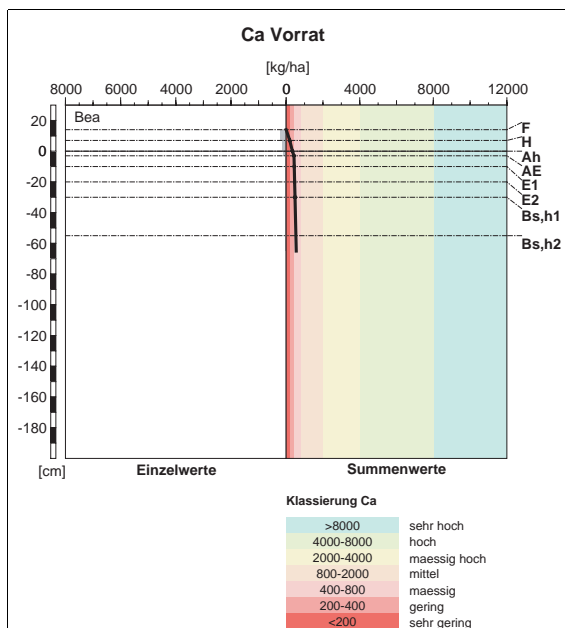


Abb. 47: Calcium-Vorrat

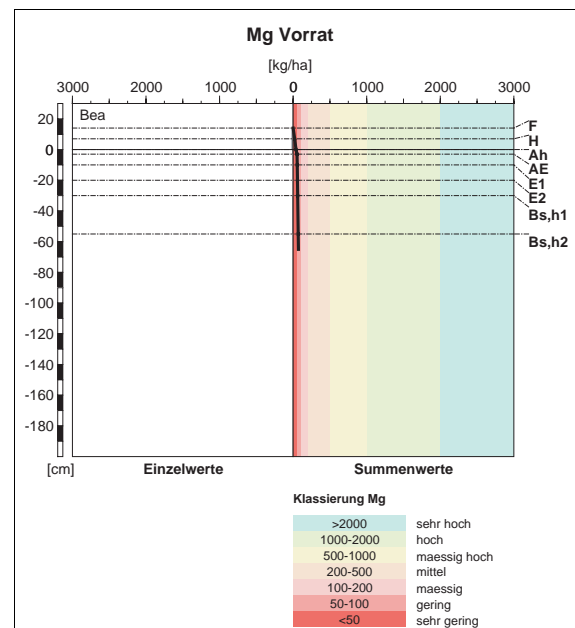


Abb. 48: Magnesium-Vorrat



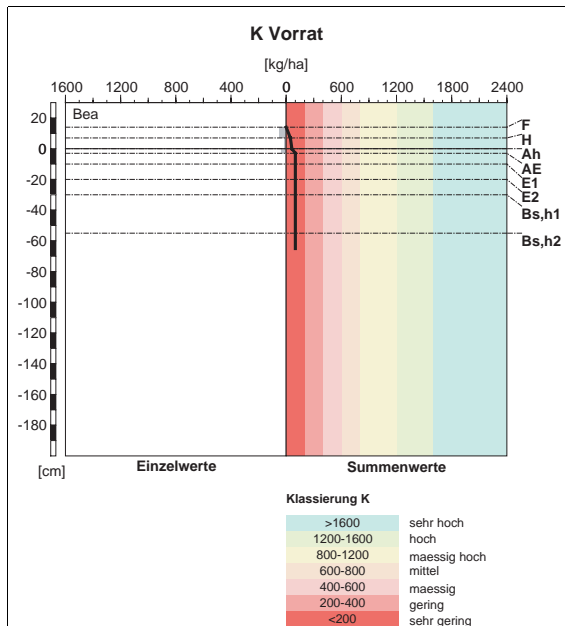


Abb. 49: Kalium-Vorrat

Die Versorgung mit Nährstoffkationen wird in diesem Boden wie folgt beurteilt:

- Ca mässig
- Mg gering
- K sehr gering

Der potentielle Wurzelraum wird vom aktuellen Fichtenbestand schlecht ausgenutzt. Die Bewurzelung beschränkt sich auf die organische Auflage, obwohl im Boden bis 70cm Tiefe keine offensichtlich ungünstigen Bedingungen für das Wurzelwachstum feststellbar ist. Die fehlende Bewurzelung dürfte mit der Nährstoffarmut und der zeitweiligen Vernässung der Mineralerdehorizonte zusammenhängen. Als Wasserstauer wirkt der felsige Sandsteinuntergrund.

Als Besonderheit fällt an diesem Standort die Tiefenverteilung der Nährstoffe auf. Rund 80% der Vorräte an Nährstoffkationen sind in der organischen Auflage gespeichert. Damit besteht die Gefahr, dass der Fichtenbestand bei einer oberflächlichen Austrocknung des Bodens nicht nur an Wasser-, sondern auch an akutem Nährstoffmangel zu leiden hat. Die oberflächennahe Wurzelsystem verschärft diese Situation noch zusätzlich.

Saugspannungsmessungen in den Jahren 1999-2001 auf diesem Standort zeigen, dass die organische Auflage in dieser Messperiode nie stärker ausgetrocknet und die Wasserversorgung des Baumbestandes während der Vegetationszeit nie kritisch war (siehe Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte"). Das Risiko für Trockenstress und Nährstoffmangel während der Vegetationszeit darf an diesem Standort dennoch nicht unterschätzt werden, denn nach unseren Schätzungen reicht der Wasservorrat in der organischen Auflage nur für 10 Tage. Danach beginnt der Bestand an Trockenheit und damit verbunden auch an Nährstoffmangel zu leiden.

### 2.2.2.6 Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 1 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

Die Mächtigkeit des Wurzelraumes ist infolge des Felsuntergrundes auf rund 70cm beschränkt. Dies reduziert die Nährstoffvorräte.

Die Vorräte an Nährstoffkationen sind vor allem in der organischen Auflage gespeichert. In der Mineralerde sind sie vernachlässigbar.

## Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 21) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 21: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Beatenberg

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	1510m
Exposition	SW
Neigung	33%
Klima	
Jahresniederschlag	1725mm
Jahrestemperatur	4.7°C
Ausgangsgestein	Hohgantsandstein
Baumbestand	
Struktur	lockerer, stufiger Bestand
Schlussgrad	40%
Baumarten (Deckung)	35% Fichte
Oberhöhe	20-25m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 57: Torfmoos-Fichtenwald mit Landschilf
<b>Bodenkennwerte</b> (beziehen sich auf das Profil Nr. 1)	
Bodensystematik	
Bodentyp	Humuspodsol (möglicherweise pseudovergleyt)
Bodentyp (LWF-Fläche)	Podsol-podsolierte Braunerde (überwiegend Podsol)
Humusform	Rohhumus
Humusform (LWF-Fläche)	Rohhumus
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	Aufgrund des kompakten Sandsteinuntergrundes wird vermutet, dass der Boden periodisch vernässt ist. Wegen der durch Podsolierung verursachten Bleichung und Fleckigkeit des Profils sind allfällig vorhandene hydromorphe Merkmale nicht als solche erkennbar und werden als Podsolierungsmerkmale interpretiert. In diesem Boden ist mit periodischer Wassersättigung und damit verbundenen, nachteiligen Auswirkungen auf den Lufthaushalt zu rechnen.
Durchwurzelung	Die organische Auflage ist stark durchwurzelt während in der Mineralerde nur einzelne Feinstwurzeln vorhanden sind. In 70cm Tiefe ist der Wurzelraum durch Fels begrenzt. Damit wird der Boden als physiologisch tiefgründig klassiert. Es ist unklar, wieso in der Mineralerde kaum Wurzeln vorhanden sind. Wir vermuten, dass temporäre Vernässung in Kombination mit Nährstoffarmut das Wurzelwachstum in den Mineralerdehorizonten einschränkt.
pflanzenverfügbares Wasser	Die Speicherkapazität des Bodens wird, trotz der limitierten Gründigkeit von 70cm, als mässig hoch klassiert. Es ist jedoch zu beachten, dass nur die organische Auflage intensiv durchwurzelt ist. Ihr Wasserspeicherpotential ist mässig. In längeren Trockenperioden ist an diesem südexponierten Standort mit Trockenstress für die hier äusserst flachwurzelnende Fichte zu rechnen.
Säurezustand	
pH-Wert / Kalkgrenze	Die rund 15cm mächtige, organische Auflage ist extrem sauer. In den Mineralerdehorizonten reagiert der Boden sehr stark sauer. Es ist keine Kalkgrenze vorhanden.
Al-Toxizität	In der Mineralerde werden minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.04 erreicht. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird damit unterschritten. Es besteht folglich ein Risiko für Al-Toxizität. In der organischen Auflage, wo der Hauptanteil der Wurzeln wächst, ist das BC/Al-Verhältnis mit 3 bis 13 um einen Faktor 100 höher als in der Mineralerde und damit nicht im kritischen Bereich.

Nährstoffe	
Verfügbarkeit im Oberboden	Das als weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine sehr niedriger Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten, was durch die Humusform Rohhumus bestätigt wird.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte sind vor allem in der organischen Auflage gespeichert. In der Mineralerde sind sie vernachlässigbar. Die Vorräte werden wie folgt klassiert: Ca: mässig, Mg: gering, K: sehr gering. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. In längeren Trockenperioden ist an diesem Standort nicht nur mit Wasser- sondern auch mit Nährstoffmangel zu rechnen.
Verankerung	Da die Fichte diesen Boden oberflächlich durchwurzelt, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes als ungünstig beurteilt.
Befahrbarkeit	In diesem Boden ist beim Befahren weniger mit einer Bodenverdichtung sondern vielmehr mit der Beschädigung des Wurzelwerkes in der organischen Auflage zu rechnen. Wurzelbeschädigungen führen im Bestand häufig zu Wurzel- und Stammfäule.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der aktuell vorhandene, nahezu reine Fichtenwald wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als standortgerecht bezeichnet. Wir können also davon ausgehen, dass die Fichte die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten im Vergleich zu den übrigen Baumarten am besten zu nutzen vermag.

Im Streueintrag überwiegen in diesem Wald seit Jahrzehnten Fichtennadeln und Blätter der Heidelbeere. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

#### *Keimbeet, Anwuchs- und Aufwuchsphase*

An diesem subalpinen Standort hängt die Baumartenwahl weniger vom Boden, sondern von anderen Standortfaktoren, insbesondere den klimatischen Bedingungen ab. In den standortkundlichen Grundlagewerken ist für den vorliegenden Standort die Fichte als einzige standortgerechte Baumart aufgeführt. Es ist dem Waldbauer hier somit verwehrt, durch gezielte Baumartenwahl Einfluss auf den Boden zu nehmen.

Aus bodenkundlicher Sicht lässt sich zur Baumartenwahl lediglich beifügen, dass durch Beimischen von geeigneten Laubhölzern örtlich eine besser abbaubare Streu und damit eine etwas schnellere Mineralisierung von Nährstoffen erzielt werden kann.

#### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 22):

Tab. 22: Baumartenempfehlung

<b>Hauptbaumart</b>	Fichte
<b>Beimischung</b>	Vogelbeere

## 2.2.3 LWF-Fläche Bettlachstock (Bodenprofil Nr. 1)

### 2.2.3.1 Themenbereich “Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie“

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 1 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Bettlachstock und zum Bodenprofil Nr. 1

Die Tab. 23 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Bettlachstock und zum Profil Nr. 1. Die Tab. 24 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 23: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Bettlachstock und zum Profil Nr. 1

<b>Lokalname</b>	Ober-Stock (Gemeinde Bettlach, Kt. SO)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1106 Moutier
	Koordinaten 598 335 / 230 470
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 13: Linden-Zahnwurz-Buchenwald ( <i>Cardamino-Fagetum tilietosum</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-Ah1-Ah2-A-AB-B-IIBC-C(Sw)
<b>Humusform</b>	Mull
<b>Bodentyp</b>	Kalkbraunerde
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Rendzic Leptosol

Tab. 24: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 1

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	1140m	
	Exposition	S	
	Neigung	66%	
	Geländeform	Mittelhang	
<b>Ausgangsgestein</b>	Kartengrundlagen	Kettenjura. Mesozoikum. Jura. Dogger. Oberer Hauptprogenstein.	
	Beobachtung am Profilort	Harter Gehängeschutt über mergeligen Schichten.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	6.0°C / 1454mm	
	T / N Januarmittel	- 1.4°C / 131mm	
	T / N Julimittel	14.5°C / 115mm	
	Tage mit Schneedecke	120	
	Wärmegliederung	ziemlich rauh	
	Länge der Vegetationsperiode	150-165 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (25m Höhe)	85%	60% Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> ) 15% Tanne ( <i>Abies alba</i> ) 15% Bergahorn ( <i>Acer pseudoplatanus</i> )
	Strauchschicht	5%	-
	Krautschicht	50%	Kahler Alpendost ( <i>Adenostyles glabra</i> ) Schlafe Segge ( <i>Carex flacca</i> ) Fiederbl. Zahnwurz ( <i>Dentaria heptaphylla</i> ) Ausd. Bingelkraut ( <i>Mercurialis perennis</i> )
	Moosschicht	1%	-

#### Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit E3 (Höhenzüge im Kettenjura, von Felsbändern durchzogene Steilhänge). E3 stellt 132 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 1.1% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

## Besonderheiten am Profilort

Der Boden ist auf der LWF-Fläche mancherorts aus zwei verschiedenen geologischen Substraten aufgebaut. Oberflächlich ist vor allem Gehängeschutt aus hartem Kalk vorhanden. Die Mächtigkeit dieser Ablagerungen variiert auf der Fläche. Darunter befinden sich weichere, mergelige Kalke oder Mergel. Das beschriebene Bodenprofil ist überwiegend aus hartem Gehängeschutt aufgebaut und daher für die LWF-Fläche nur bedingt repräsentativ. An einigen Stellen ist der Boden zudem extrem flachgründig, kleinflächig ist sogar der Felsuntergrund anstehend.

## Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 25 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 25: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 1

LWF-Bettlachstock Nr. 1		Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
	+20	L	1-0	-	-	-	-	-	-	-
	0	Ah1	0-5	stark	IT	Krümnel	locker	ohne	7.5 YR 4/2	stark
		Ah2	5-10	stark	IT	Krümnel	locker	ohne	7.5 YR 4/2	stark
	20	A	10-20	sehr stark	IT	Polyeder	locker	ohne	7.5 YR 4/2	stark
	40	AB	20-40	sehr stark	IT	Polyeder	mittel	ohne	7.5 YR 4/3	mittel
	60	B	40-55	sehr stark	IT	Polyeder	mittel	ohne	7.5 YR 4/4	mittel
	80	IIBC	55-90	mittel	IT	Fragmente	mittel	ohne	10 YR 6/4	schwach
	100	C(Sw)	> 90	mittel	tU	Fragmente	mittel	Rostflecken	2.5 Y 6/4	schwach
	120									

Das Fehlen einer organischen Auflage und die sehr geringmächtige Streuauflage zeigen, dass die biologische Aktivität hoch ist. Die überwiegend von der Buche aber auch von anderen Laubhölzern stammende Streu wird innerhalb eines Jahres abgebaut. Mit der Horizontfolge L-Ah wird die Humusform als Mull klassiert.

Im rund 120cm tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch sechs Horizonte unterscheiden. Da der Ah-Horizont in zwei verschiedenen Tiefen beprobt wurde, sieht die Horizontfolge des Profils wie folgt aus: Ah1-Ah2-A-AB-B-IIBC-C(Sw). Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Kalkbraunerde klassiert. Die durch Verwitterungsprozesse verursachte Verbraunung des Bodens ist vor allem in mittlerer Profiltiefe gut erkennbar. Da diese verbrauchte Zone kalkhaltig ist, wird der Boden als Kalkbraunerde bezeichnet. Vernäsungsmerkmale kommen nur unterhalb von 90cm Tiefe vor. Sie werden daher bei der Klassierung der Bodenvernässung nicht berücksichtigt.

## *Besonderheiten des Profils*

Die Kalkgrenze verläuft in 5cm Tiefe. Bis 55cm Tiefe dominiert Skelett aus hartem Kalk, darunter sind weichere mergelige Kalke oder Mergel vorhanden.

Im Profil sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar. Auf der LWF-Fläche ist der Boden jedoch stellenweise sehr flachgründig (<20cm Mächtigkeit), weil felsige Partien den Untergrund bilden. Die Mächtigkeit des Wurzelraumes ist aber wegen der Klüftigkeit des Felsuntergrundes kaum abschätzbar. Erfahrungsgemäss vermögen die Bäume Felsritzen und -klüfte im felsigen Untergrund zu durchwurzeln.

Das Profil wurde bis 40cm Tiefe nicht nach Horizonten, sondern, entsprechend dem europäischen Monitoringstandard, nach fixen Tiefenstufen beprobt. Unterhalb 40cm wurde das Profil nach Horizonten beprobt.

### 2.2.3.2 Themenbereich ‘‘Physikalische Bodenkennwerte‘‘

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 1 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

#### *Skelettgehalt und Bodenart*

In Abb. 50 ist der Skelettgehalt und in Abb. 51 die Bodenart dargestellt.

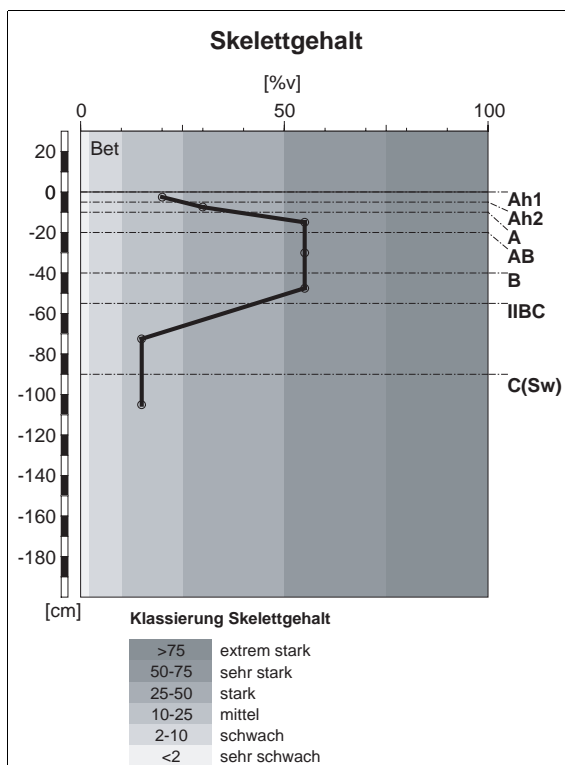


Abb. 50: Skelettgehalt

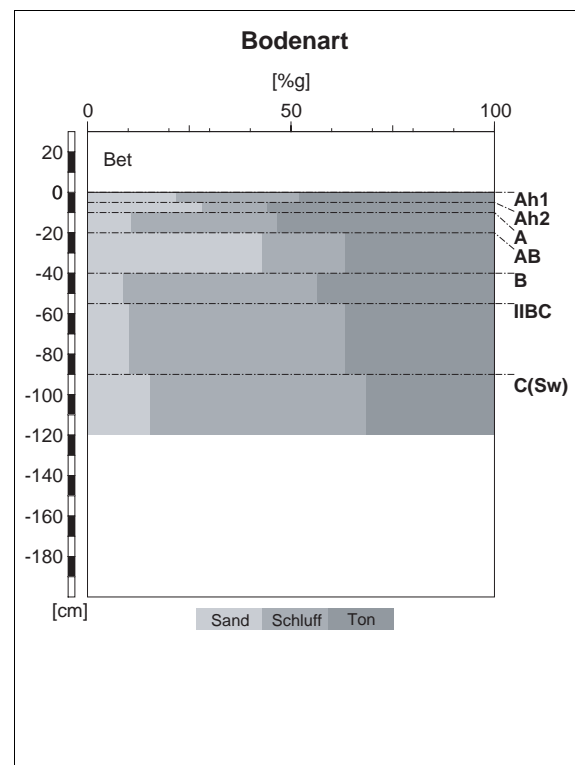


Abb. 51: Bodenart

Am Verlauf der Kurve in Abb. 50 ist sofort ersichtlich, dass es sich um ein Zweischiehtprofil handelt. Mit zunehmender Profiltiefe nimmt der Skelettgehalt normalerweise zu, im vorliegenden Profil nimmt er jedoch ab einer Tiefe von rund 50cm sprunghaft ab, weil hier Mergel vorhanden ist. Die nur mässig skelettreichen Mergelschichten werden von Gehänge-schutt aus hartem Kalkstein überlagert. Der anstehende Fels wurde im Profil nicht erschlossen. Er liegt tiefer als 150cm.

Die Feinerde ist profilumfassend relativ tonreich, was in Juraböden häufig beobachtet wird. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen schweren Boden. Er enthält auffallend wenig Sand.

## Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 52 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 53 die Wasserleitfähigkeit dargestellt.

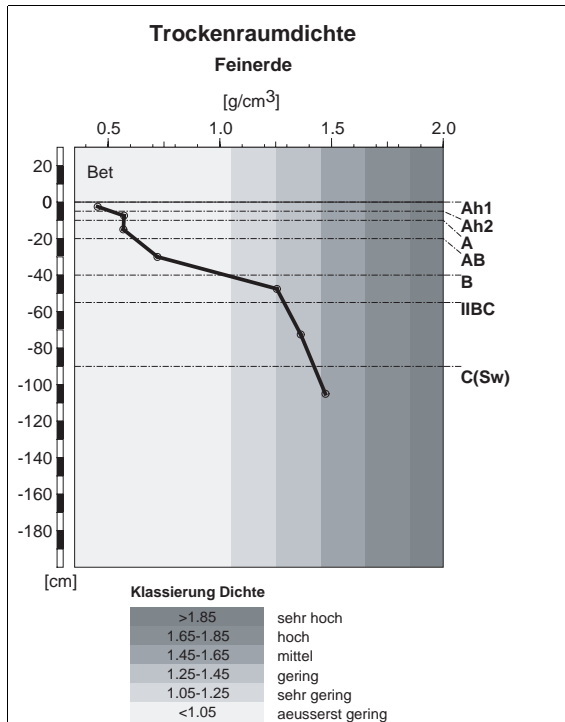


Abb. 52: Dichte der Feinerde

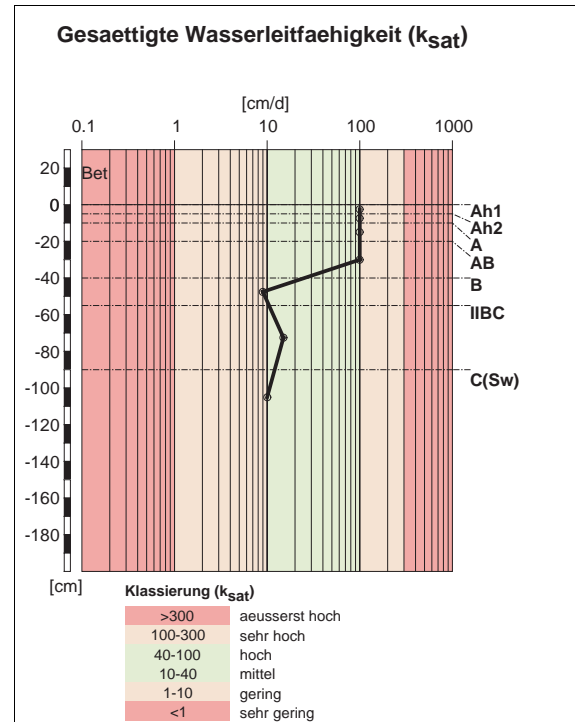


Abb. 53: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Die Dichte der Feinerde nimmt von oben nach unten kontinuierlich zu und erreicht zuunterst im Profil mittlere Werte. Der Oberboden ist äusserst locker gelagert, was auf seinen hohen Humusgehalt und das ausgeprägte Gefüge zurückzuführen ist.

Die Leitfähigkeit ist im Oberboden hoch, im Unterboden mittel-gering.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 54 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

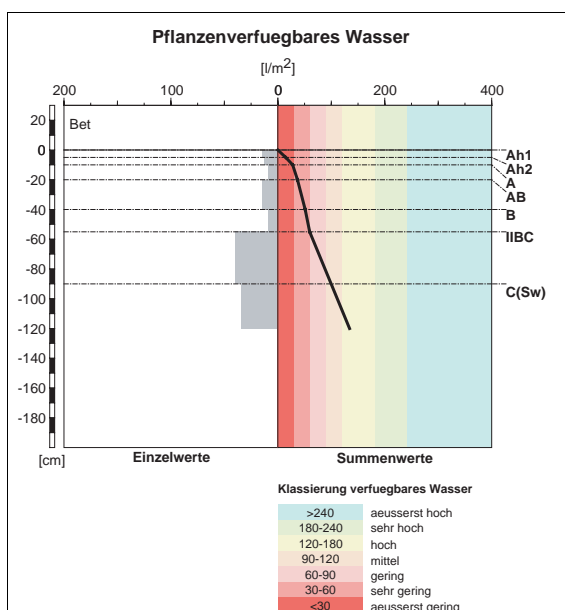


Abb. 54: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als mässig hoch klassiert. Vor allem in den mergeligen Horizonten wird recht viel Wasser gespeichert. Es ist anzunehmen, dass der Wurzelraum nach unten offen ist.

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Im gesamten Profil herrschen Brauntöne vor, vereinzelte Vernässungserscheinungen sind nur in den mergeligen Schichten ab rund 90cm Tiefe erkennbar. Sie deuten auf einen leicht angespannten Lufthaushalt während Nässephasen hin. Aufgrund der beobachteten morphologischen Vernässungsmerkmale des Profils scheint der Luft- und Wasserhaushalt des Bodens insgesamt aber recht ausgeglichen zu sein. Diese Einschätzung wird durch die Durchlässigkeitskurve bestätigt, welche selbst im etwas dichteren Unterboden normale Werte aufweist.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Im gesamten Profil ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar, obwohl die Dichte der Feinerde ab rund 1m Tiefe die als kritisch erachtete Grenze von  $1.4\text{kg}/\text{dm}^3$  leicht überschreitet. Auch die durch sehr schwache Hydromorphie angezeigte, periodisch mangelhafte Durchlüftung des Unterbodens vermag das Wurzelwachstum offensichtlich nicht zu unterbinden. Der Boden wird als sehr tiefgründig ( $>120\text{cm}$ ) klassiert. Er ist tiefer als 120cm durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.

Saugspannungsmessungen in den Jahren 1998-2001 auf diesem Standort zeigen, dass der Boden in dieser Messperiode während der Vegetationszeit nie stärker ausgetrocknet und die Wasserversorgung des Baumbestandes demnach nie kritisch war (Daten hier nicht gezeigt). In dieser Periode fielen während der Vegetationszeit im Vergleich zu den langjährigen monatlichen Minimalwerten (25% Quantil  $\approx 100\%$ ) folgende monatlichen Summen (Station Chauxmont (1073 M.ü.M.; 565750/211240; Messperiode 1964-2002); Daten Meteo Schweiz, bearbeitet durch M. Rebetez):

	Mai		Juni		Juli		August		September	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
<b>1998</b>	58	82	86	111	66	93	96	122	187	363
<b>1999</b>	128	181	118	153	107	150	90	115	120	233
<b>2000</b>	141	200	81	105	149	208	108	138	78	151
<b>2001</b>	62	87	119	154	98	137	105	135	114	220

Im langjährigen Vergleich relativ niederschlagsarm (Niederschlagsmengen  $<25\%$  Quantil ( $\approx 100\%$ )) waren im Jahr 1998 die Monate Mai und Juli und im Jahr 2001 der Monat Mai. Wie die Saugspannungsmessungen belegen, war der Boden aber selbst während diesen relativ niederschlagsarmen Perioden nicht übermässig trocken.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von 120cm Mächtigkeit ist gemäss unseren Berechnungen damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 20 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Da der Boden tiefer als 120cm durchwurzelt ist, kann Trockenstress auch später eintreten.

### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Boden reagiert aufgrund seines hohen Skelettgehaltes nicht empfindlich auf ein Befahren mit schweren Maschinen. Es wird jedoch auch hier davon abgeraten, den Bestand mit schwerem Gerät zu befahren, weil mit Schäden am verbleibenden Bestand gerechnet werden muss.

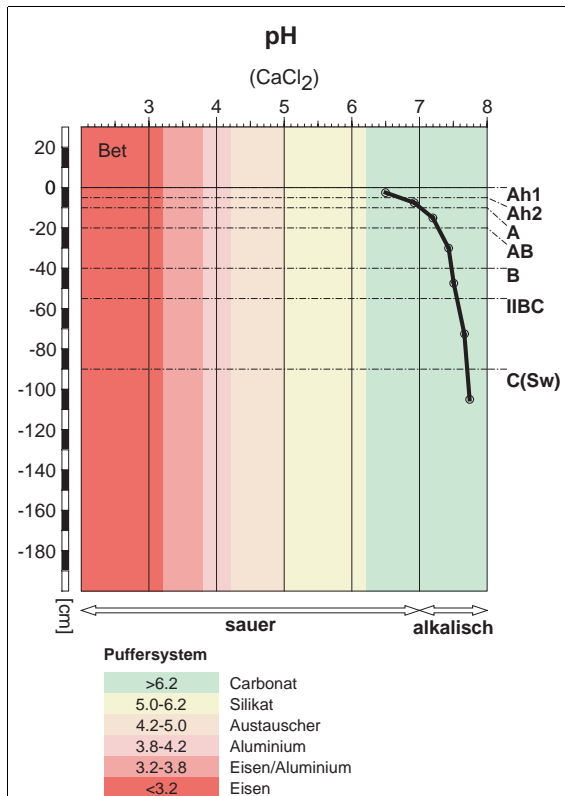


### 2.2.3.3 Themenbereich "Säurezustand"

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 1 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

#### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 55), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 56) sowie der Basensättigung (Abb. 57) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.



Der Boden ist nur in der obersten, carbonatfreien Zone von rund 5cm Mächtigkeit schwach sauer. Darunter nimmt der pH-Wert rasch zu und erreicht in rund 10cm Tiefe Werte von über 7 und liegt damit ab dieser Tiefe im alkalischen Bereich.

Eingetragene Säuren werden im gesamten Boden vorwiegend durch Carbonatverwitterung gepuffert.

Abb. 55: pH-Wert und Pufferbereiche

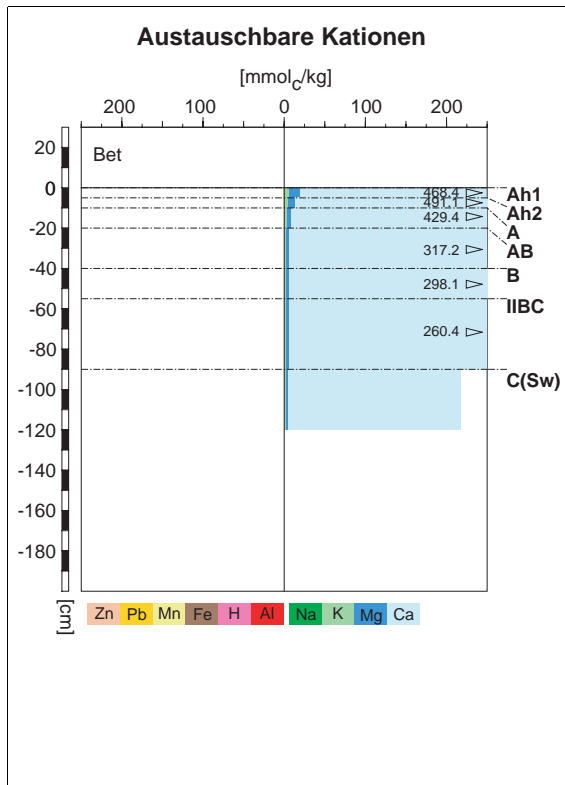


Abb. 56: Austauschbare Kationen

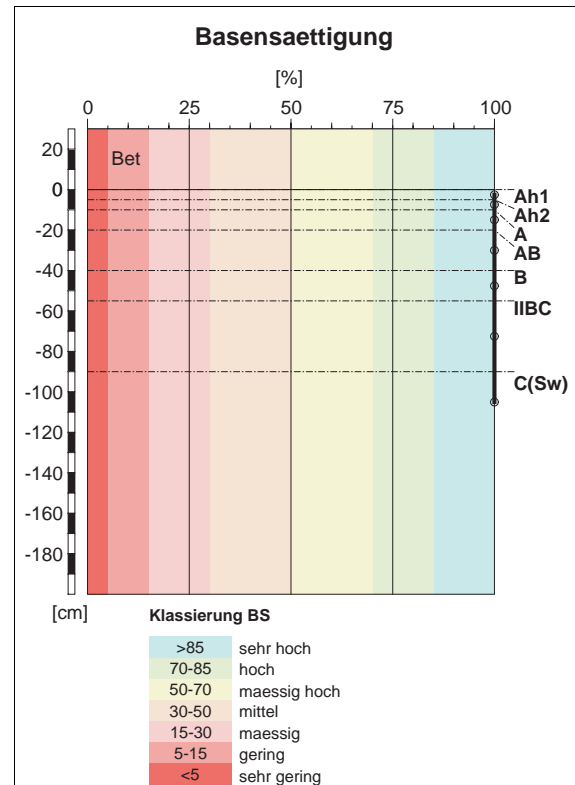


Abb. 57: Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist profilumfassend fast ausschliesslich durch Nährstoffkationen, insbesondere Ca belegt. Dementsprechend liegt die Basensättigung im gesamten Profil zwischen 99.5 und 100%.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem stark carbonathaltigen Ausgangsgestein (recht harter Kalk) eine Kalkbraunerde gebildet. Der Boden ist nur sehr schwach und oberflächlich versauert. Dies lässt sich daran erkennen, dass nur die obersten 5cm des Mineralbodens einen deutlich erniedrigten pH-Wert haben. Die geringe Tiefe der Kalkgrenze deutet ebenfalls auf eine nur sehr schwache Versauerung hin. Die Kalkgrenze verläuft heute in einer Tiefe von 5cm, was bedeutet, dass das ursprünglich vorhandene Carbonat bis in diese Tiefe für die Säurepufferung aufgebraucht worden ist.

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird aufgrund seines grossen Puffervermögens als unempfindlich für eine weitere Versauerung bewertet. An diesem Waldstandort sind hinsichtlich Bodenversauerung

in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen für den Boden, die Vegetation und das Grundwasser zu erwarten.

An diesem Buchenstandort ist der Abbau der organischen Substanz infolge der schwer abbaubaren Streu und vermutlich auch aufgrund der periodischen Sommertrockenheit etwas gehemmt, so dass sich auf der LWF-Fläche stellenweise eine organische Auflage (Moder) gebildet hat. Die verminderte biologische Aktivität ist hier also nicht durch den pH-Wert bedingt.

#### **2.2.3.4 Themenbereich “Schwermetalle“**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Die VBBo-Richtwerte gelten bei einem Humusgehalt <15% in mg/kg, ansonsten in mg/dm<sup>3</sup>. In den Abbildungen, in welchen die Tiefenverteilung der Schwermetalle dargestellt ist, sind die Gehalte in mg/kg angegeben. Für die Schwermetallgehalte in mg/dm<sup>3</sup> (Ah1- und Ah2-Horizont) wird auf die Datentabelle im Anhang verwiesen.

Bei der Wertung der lithogenen Grundgehalte wurde für Cu ein Gehalt von 3mg/kg im untersten Horizont angenommen, da der Cu-Gehalt dort unter der Bestimmungsgrenze (3mg/kg) liegt.

##### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus mergeligem Kalk besteht, liegen die Cr- und Ni-Gehalte oberhalb, die Cu, Zn- und Pb-Gehalte innerhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 18 (mesozoische Kalkgesteine).

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet Jura, niedrige Gehalte an Cr und Ni vor. Für die drei übrigen erfassten Schwermetalle Cu, Zn und Pb sind die entsprechenden Gehalte sehr niedrig.

##### Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 58 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 59 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als “Δ“, die Richtwerte der VBBo als “◇“ markiert.

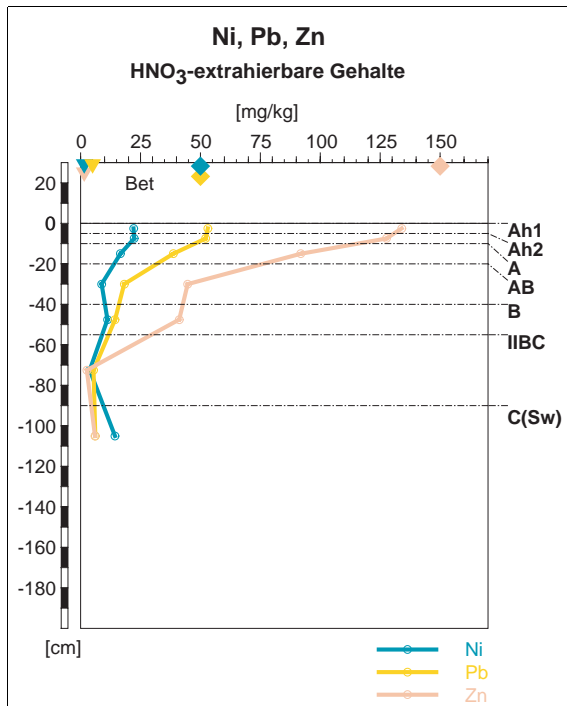


Abb. 58: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

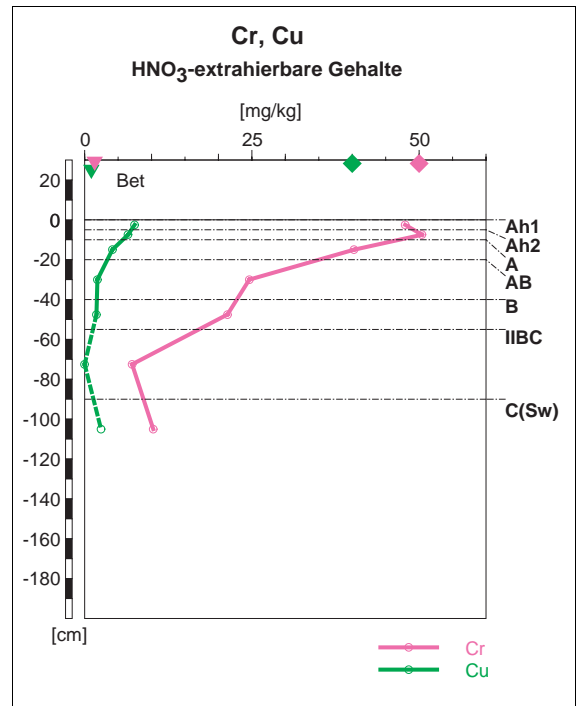


Abb. 59: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen für Cu profilumfassend sehr niedrige und für Ni niedrige bis sehr niedrige Gehalte vor. Für Zn sind die Gehalte je nach Horizont sehr niedrig bis erhöht und für Cr und Pb sehr niedrig bis hoch. Die erhöhten und hohen Gehalte beschränken sich auf den Oberboden.

Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den obersten 10cm des Bodens werden die in der Literatur angegebenen kritischen Werte für die Bodenfauna bei Cr leicht und bei Zn deutlich überschritten.

Anreicherungs-faktoren

Die Anreicherungs-faktoren sind in Tab. 26 dargestellt.

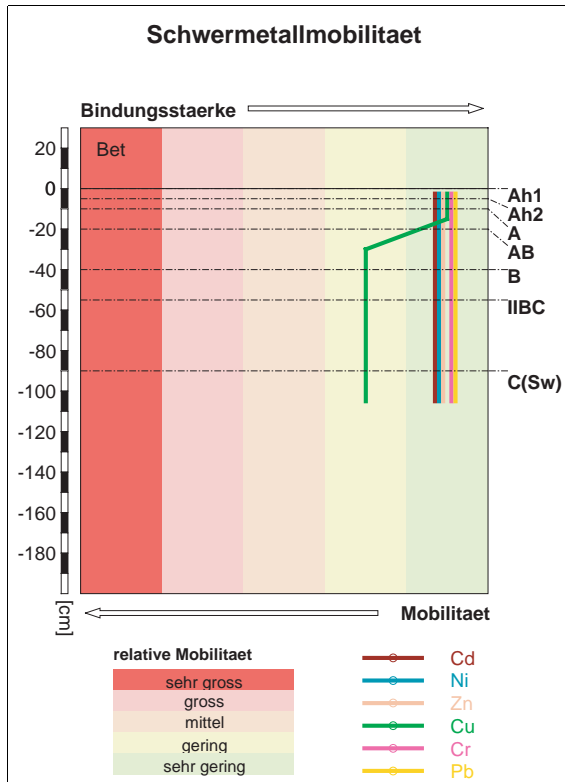
Tab. 26: Anreicherungs-faktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungs-faktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Ah1	0	- 5	3.99	4.47	nb	0.59	0.72
Ah2	5	- 10	3.23	4.04	nb	0.51	0.80
A	10	- 20	3.23	4.27	nb	0.52	0.92
AB	20	- 40	2.13	4.09	nb	0.78	0.71
B	40	- 55	1.67	4.17	nb	0.99	nb
IIBC	55	- 90	1.22	1.38	nb	1.25	0.89
C(Sw)	90	- 120	1.00	1.00	nb	1.00	1.00

Da in 55cm Tiefe vermutlich ein Gesteinswechsel vorhanden ist können die auf der Basis des C(Sw)-Horizontes berechneten Anreicherungs-faktoren nicht schlüssig interpretiert werden.

## Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 60.



Gemäss den Mobilitätsindices sind die Schwermetalle im ganzen Profil nur wenig mobil. Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen wird an diesem Kalkstandort als gering bewertet.

Abb. 60: Mobilität von Schwermetallen

### 2.2.3.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Die Nährstoffverfügbarkeit wird aufgrund von Humusform und Bodengefüge als hoch klassiert. Das Gefüge des Oberbodens ist krümelig. Die Bodenorganismen bauen die anfallende Streu, die mehrheitlich von der Buche stammt, innert Jahresfrist vollständig ab. Eine geringmächtige Auflage tritt auf der LWF-Fläche nur vereinzelt und kleinflächig auf. Die Humusform ist meistens Mull, vereinzelt kommt auch Moder vor. Der lokal etwas gehemmte Abbau dürfte auf diesem südexponierten Standort mit der zeitweiligen Austrocknung des Oberbodens und den vereinzelt vorkommenden Nadelbäumen mit schwer abbaubarer Streu zusammenhängen.

Das C/N-Verhältnis beträgt in den obersten 5cm der Mineralerde rund 18 und liegt damit, gemäss Literaturangaben, im Übergangsbereich vom Mull zum Moder. Das als mittel klassierte C/N-Verhältnis lässt eine nur mittlere (etwas gehemmte) Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit recht gut in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen.

## Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 61) und die Austauscherbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 62).

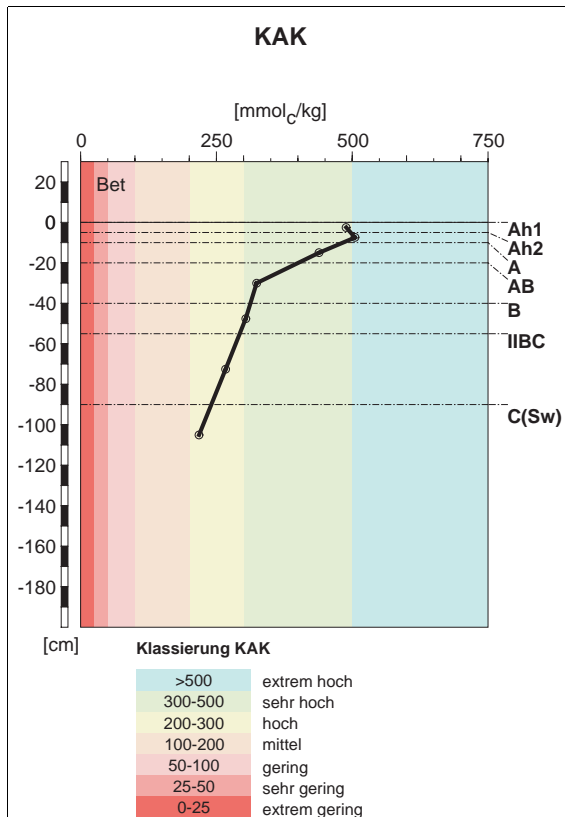


Abb. 61: Kationenaustauschkapazität (KAK)

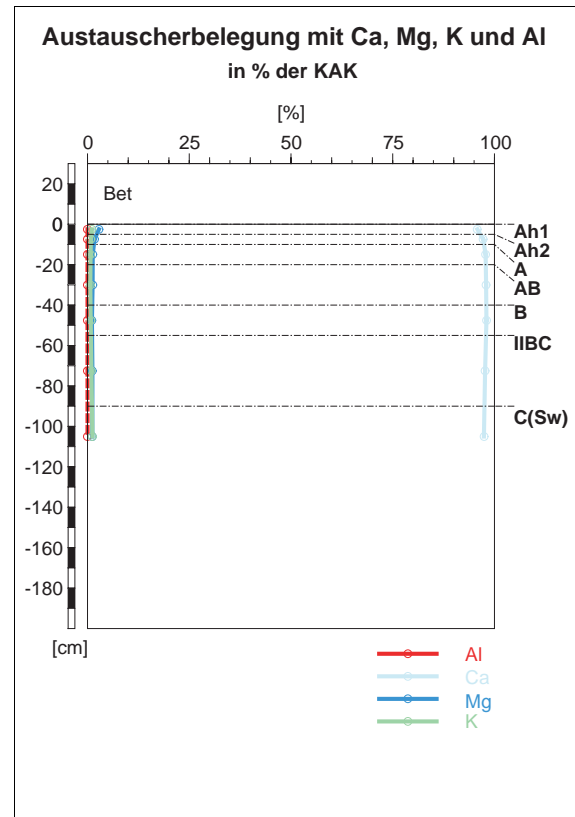


Abb. 62: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK wird im gesamten Profil als hoch bis sehr hoch eingestuft. Sie weist im humosen Oberboden maximale Werte auf.

Im gesamten Profil dominiert Ca mit über 95% Belegung am Kationenaustauscher. Die Mg- und K- Belegungen sind im gesamten Profil relativ niedrig und konstant. Austauschbares Al hat in diesem Boden keine Bedeutung.

## Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Größe der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 63 bis 65 dargestellt.

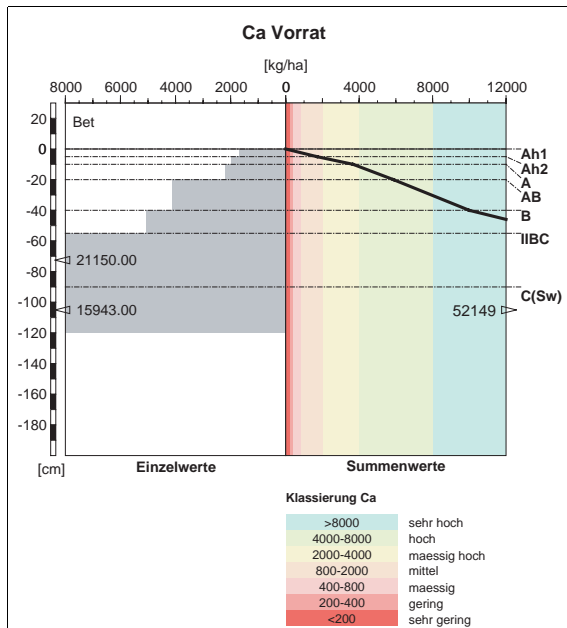


Abb. 63: Calcium-Vorrat

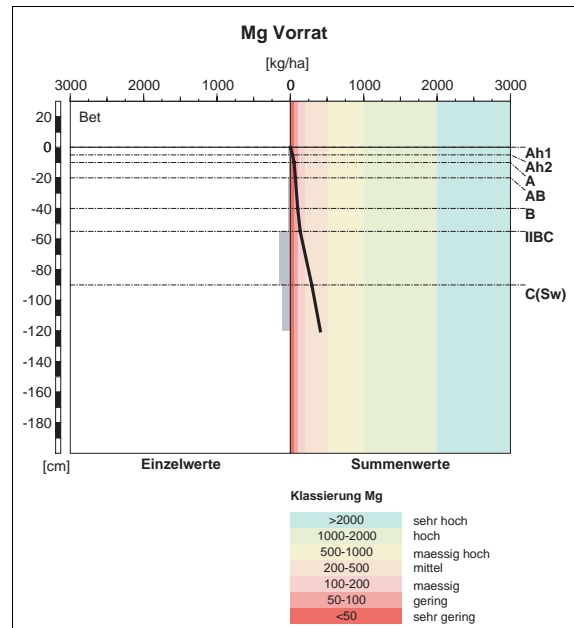


Abb. 64: Magnesium-Vorrat

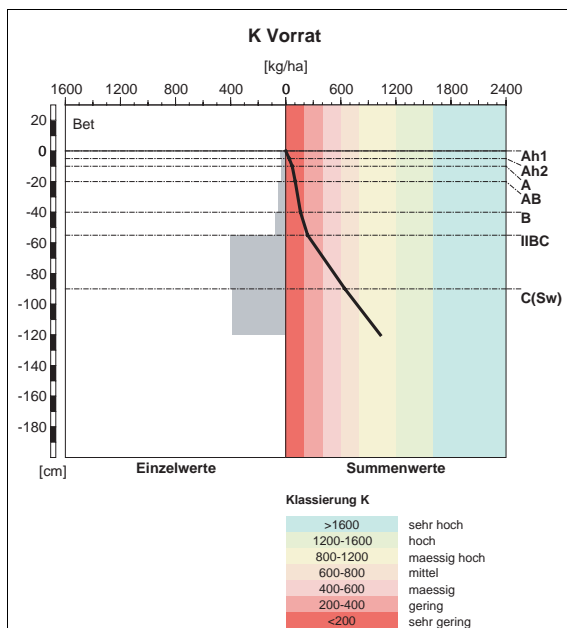


Abb. 65: Kalium-Vorrat

Die Vorräte der einzelnen Nährstoffkationen nehmen zur Tiefe hin in unterschiedlichem Ausmass zu. Der Ca-Vorrat nimmt mit zunehmender Tiefe kontinuierlich und rasch, jener von Mg dagegen nur langsam zu. Der K-Vorrat nimmt bis 50cm Tiefe nur langsam, darunter jedoch deutlich zu.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca sehr hoch
- Mg mässig
- K gering

Der Boden ist bis mindestens 140cm Tiefe durchwurzelt. Damit wird der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt. Bis 140cm Tiefe werden die Vorräte optimistischer bewertet:

- Ca sehr hoch
- Mg mässig hoch
- K hoch

Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als hoch bewertet.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen recht günstige Bedingungen vor (siehe Themenbereich “Physikalische Bodenkennwerte”).

### 2.2.3.6 Themenbereich “Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl“

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 1 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 27) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 27: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Bettlachstock

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	1140m
Exposition	S
Neigung	66%
Klima	
Jahresniederschlag	1454mm
Jahrestemperatur	6.0°C
Ausgangsgestein	Harter Kalk-Gehängeschutt über mergeligen Schichten
Baumbestand	
Struktur	mehrheitlich einschichtig
Schlussgrad	85%
Baumarten (Deckung)	60% Buche, 15% Tanne, 15% Bergahorn
Oberhöhe	rund 25m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 13: Linden-Zahnwurz-Buchenwald
<b>Bodenkennwerte (beziehen sich auf das Profil Nr. 1)</b>	
Bodensystematik	
Bodentyp	Kalkbraunerde
Bodentyp (LWF-Fläche)	Syrosem-Kalkbraunerde (überwiegend Rendzina)
Humusform	Mull
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-Moder (überwiegend Mull)
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	Aufgrund der beobachteten morphologischen Vernässungsmerkmale scheint der Luft- und Wasserhaushalt des Bodens recht ausgeglichen zu sein. Lediglich ab 90cm Tiefe ist mit periodischer Wassersättigung und damit verbundenen, nachteiligen Auswirkungen auf den Lufthaushalt zu rechnen.
Durchwurzelung	Im Profil (120cm) ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Der Boden wird als physiologisch sehr tiefgründig klassiert. Er ist bis mindestens 120cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird damit vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt. Die durch schwache Hydromorphie angezeigte, periodisch mangelhafte Durchlüftung im Unterboden vermag das Wurzelwachstum offensichtlich nicht zu unterbinden.
pflanzenverfügbares Wasser	Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als mässig hoch klassiert. Da die Gründigkeit des Bodens auf der LWF-Fläche sehr unterschiedlich ist,



	muss bei den gegebenen klimatischen Bedingungen an den flachgründigen Stellen mit Trockenstress für den Baumbestand gerechnet werden.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	Der Boden ist nur in der obersten, carbonatfreien Zone von rund 5cm Mächtigkeit schwach sauer. Darunter nimmt der pH-Wert rasch zu und erreicht in rund 10cm Tiefe Werte >7 und liegt damit ab dieser Tiefe im alkalischen Bereich. Die Kalkgrenze verläuft in 10cm Tiefe.
Al-Toxizität	Al-Toxizität ist in diesem Boden kein Thema. Hinsichtlich Bodenversauerung sind in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen auf die Vegetation zu erwarten.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Das als mittel klassierte C/N-Verhältnis lässt eine nur mittlere (etwas gehemmte) Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten, was durch das örtliche Vorkommen der Humusform Moder bestätigt wird.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelten Boden (140cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als hoch klassiert. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen, mit Ausnahme der kleinflächigen, flachgründigen Stellen, recht günstige Bedingungen vor.
Verankerung	Da der vorhandene Baumbestand den Boden sehr tief durchwurzelt und keine Limiten für das Wurzelwachstum erkennbar sind, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes als günstig beurteilt.
Befahrbarkeit	Der Boden ist aufgrund seines hohen Skelettgehaltes nicht empfindlich auf das Befahren mit schweren Maschinen.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der Bestand ist ein ausgewachsener Laubmischwald (Buche, Bergahorn u.a.) mit einzelnen, beigemischten Tannen. Die Baumartenmischung des aktuellen Bestandes wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als standortgerecht bezeichnet. Wir können also davon ausgehen, dass die vorhandenen Baumarten die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten gut nutzen.

Im Streueintrag überwiegt in diesem Wald seit Jahrzehnten gemischte Laubstreu, aber auch Nadelstreu hat eine Bedeutung. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

#### *Keimbeet*

Auf der LWF-Fläche ist die Humusform meistens Mull. Stellenweise ist Moder mit einem F-Horizont von nur wenigen Millimetern Mächtigkeit vorhanden.

Durch Einbringen eines zu hohen Nadelholzanteils würde sich im Verlaufe der Zeit vermutlich ein Moder entwickeln, der jedoch wegen den für den Humusabbau generell günstigen Standortbedingungen kaum sehr mächtig werden dürfte. Durch die Moderbildung würde der Keimungserfolg der Fichte und damit ihre Konkurrenzkraft in der Verjüngungsphase vergrößert. Zudem würden grössere Nährstoffmengen in der organischen Auflage blockiert, welche dann mittelfristig nicht für das Pflanzenwachstum verfügbar wären.

Umgekehrt kann durch Einbringen von geeigneten Laubhölzern in den Haupt- oder Nebenbestand eine noch besser abbaubare Streumischung und damit eine schnellere Mineralisierung von Nährstoffen erzielt werden.

#### *Anwuchs- und Aufwuchsphase*

Für die Anwuchs- und Aufwuchsphase bietet der Boden für die meisten Baumarten gute Voraussetzungen, da sowohl der Wasser- und Lufthaushalt als auch die Nährstoffversorgung als günstig beurteilt werden. Eine Ausnahme bilden die flachgründigen Partien auf der LWF-Fläche. Diese kommen jedoch nur kleinflächig vor (Hangrippen).

Tiefwurzelnde Baumarten sind hier weniger für die Mobilisierung der Nährstoffvorräte im Unterboden sondern für die Erhöhung der Bestandesstabilität von Bedeutung.

#### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 28):

Tab. 28: Baumartenempfehlung

<b>Baumarten im Hauptbestand</b>	Buche, Bergahorn, Bergulme, Tanne, (Linde, Esche)
<b>Laubholzanteil</b>	mindestens 50%
<b>Baumarten im Nebenbestand</b>	Bei erhöhtem Nadelholzanteil im Hauptbestand können im Nebenbestand geeignete Baumarten als Bodenverbesserer eingebracht werden. Mögliche Baumarten sind Vogelbeere, Mehlbeere, Elsbeere, Winterlinde und Buche.

## 2.2.4 LWF-Fläche Celerina (Bodenprofil Nr. 1)

### 2.2.4.1 Themenbereich “Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie“

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 1 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Celerina und zum Bodenprofil Nr. 1

Die Tab. 29 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Celerina und zum Profil Nr. 1. Die Tab. 30 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 29: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Celerina und zum Profil Nr. 1

<b>Lokalname</b>	Val S-Chüra (Gemeinde Celerina, Kt. GR)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000      1257 St. Moritz
	Koordinaten                      788 085 / 151 918
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 59: Lärchen-Arvenwald ( <i>Larici-Pinetum cembrae</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-AE-(E)1-Bs1-(E)2-Bs2-B-BC
<b>Humusform</b>	Mull
<b>Bodentyp</b>	Eisenpodsol (Horizontfolge ist gestört)
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Podsol

Tab. 30: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 1

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	1850m	
	Exposition	NE	
	Neigung	34%	
	Geländeform	Mittelhang	
<b>Ausgangsgestein</b>	Kartengrundlage	Quartär. Carbonatfreie Moräne.	
	Beobachtung am Profilort	Vor rund 5000 Jahren fand ein Waldbrand statt. Später ereignete sich eine oberflächliche Hangrutschung, welche die versengte Bodenoberfläche überschüttete.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	0.7°C / 816mm	
	T / N Januarmittel	- 10.0°C / 42mm	
	T / N Julimittel	10.5°C / 96mm	
	Tage mit Schneedecke	172	
	Wärmegliederung	sehr rauh	
Länge der Vegetationsperiode	120-135 Tage		
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (20m Höhe)	25%	15% Arve ( <i>Pinus cembra</i> ) 15% Lärche ( <i>Larix decidua</i> )
	Strauchschicht	1%	-
	Krautschicht	95%	Behaartes Reitgras ( <i>Calamagrostis villosa</i> ) Heidelbeere ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ) Preiselbeere ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> ) Moosglöckchen ( <i>Linnaea borealis</i> ) Alpenlattich ( <i>Homogyne alpina</i> )
	Moosschicht	15%	-

## Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit V3 (alpine kristalline Berglandschaft, Granit und Orthogneis, hochgelegene Nordhänge). V3 stellt 20 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 0.2% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

### Besonderheiten am Profilort

Datierungen von Kohlenfunden (C14-Methode) in rund 20-30cm Tiefe haben gezeigt, dass sich auf der LWF-Fläche vor rund 5000 Jahren ein Waldbrand ereignet hat. Damals war bereits ein Podsol vorhanden. Nach dem Waldbrand hat sich ein Erdrutsch ereignet, der den Podsol mitsamt der an der Oberfläche liegenden Kohlenrückständen rund 20-30cm tief begraben hat. In diesem Rutschmaterial hat sich in der Zwischenzeit wiederum ein Podsol entwickelt, so dass heute zwei übereinanderliegende Podsole vorhanden sind. Die Horizontgrenzen des überschütteten Podsoles sind heute noch sehr deutlich erkennbar.

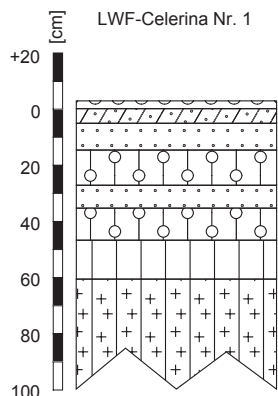
Die Niederschlagsmengen auf der LWF-Fläche Celerina sind relativ gering. Dies hat Auswirkungen auf verschiedene im Boden ablaufende Prozesse, wie wir später noch sehen werden.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 31 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 31: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 1

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
L	2-0	-	-	-	-	-	-	-
AE	0-5	sehr schwach	U	Subpolyeder	locker	ohne	7.5 YR 4/2	stark
(E)1	5-15	sehr schwach	U	Subpolyeder	mittel	ohne	10 YR 6/3	stark
Bs1	15-27	schwach	U	Subpolyeder	mittel	ohne	10 YR 5/4	stark
(E)2	27-35	schwach	U	Subpolyeder	mittel	ohne	2.5 Y 6/3	stark
Bs2	35-45	schwach	U	Subpolyeder	mittel	ohne	10 YR 5/6	stark
B	45-60	mittel	IS	Subpolyeder	mittel	ohne	2.5 Y 5/4	mittel
BC	> 60	sehr stark	IS	Fragmente	dicht	ohne	fleckig	schwach



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

Im rund 100cm tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch sieben Horizonte mit folgender Horizontfolge unterscheiden: AE-(E)1-Bs1-(E)2-Bs2-B-BC. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Eisenpodsol klassiert. Da das Profil in der Vergangenheit durch einen Erdrutsch überschüttet wurde, weicht die Horizontfolge stark vom ungestörten Zustand ab. Im Profil sind mehrere Auswaschungs- und Anreicherungszone vorhanden. Der Boden weist keine hydromorphen Merkmale auf.

### *Besonderheiten des Profils*

Das Ausgangsgestein enthält kein Kalk. Im Profil sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar.

Die Horizontfolge ist gestört durch Erdrutschmaterial, das sich vor rund 5000 Jahren an der Bodenoberfläche abgelagert hat.

Die Beprobung des Profils erfolgte in Abweichung zu den europäischen Monitoringstandards profilumfassend nach genetischen Horizonten.

### 2.2.4.2 Themenbereich ‘‘Physikalische Bodenkennwerte‘‘

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 1 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

#### Skelettgehalt und Bodenart

In Abb. 66 ist der Skelettgehalt und in Abb. 67 die Bodenart dargestellt.

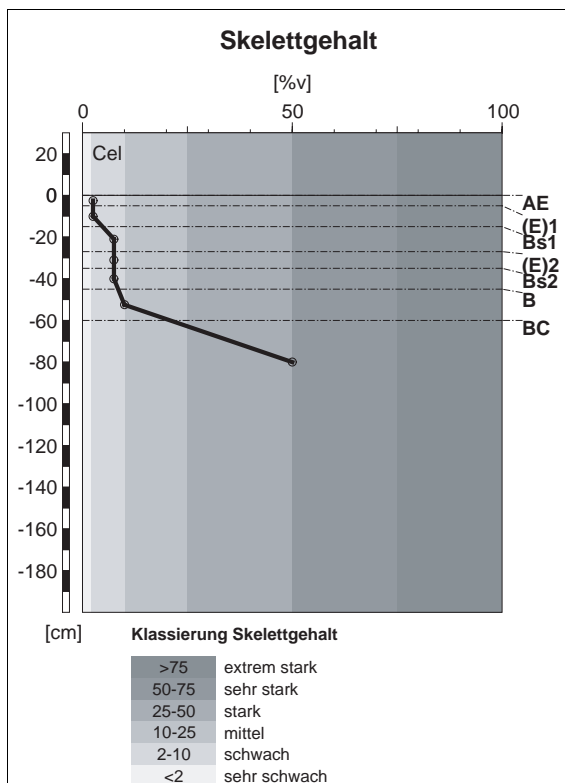


Abb. 66: Skelettgehalt

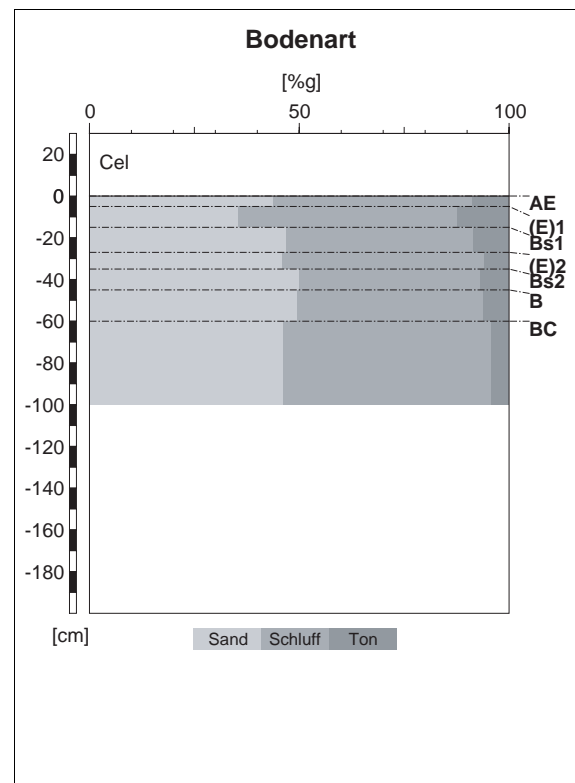


Abb. 67: Bodenart

Der Boden ist bis 60cm Tiefe schwach skeletthaltig. Weiter unten nimmt der Skelettgehalt sprunghaft zu. Der Unterboden ist stark skeletthaltig.

Die Feinerde setzt sich überwiegend aus Sand und Schluff zusammen, Ton ist nur wenig vorhanden. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen leichten Boden. Auffällig ist, dass die Anteile der einzelnen Korngrößenklassen über das gesamte Profil hinweg konstant sind.

## Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 68 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 69 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

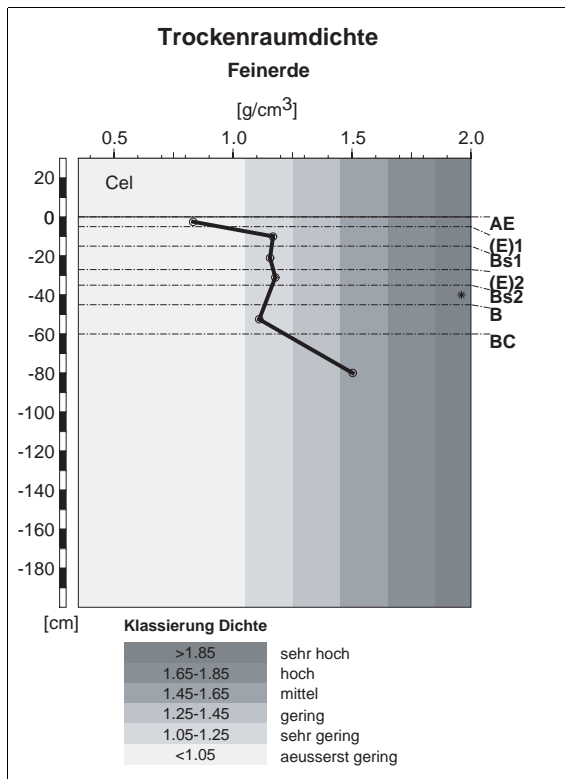


Abb. 68: Dichte der Feinerde

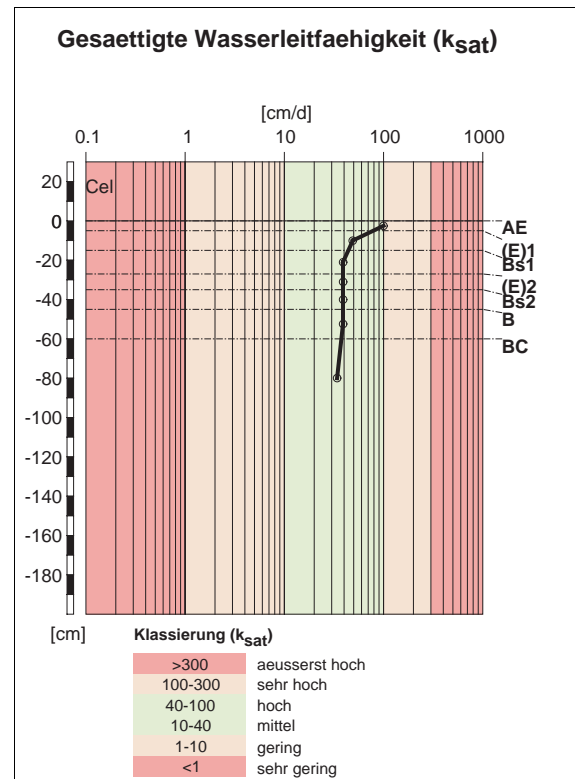


Abb. 69: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Ähnlich wie beim Skelettgehalt ist auch bei der Dichte der Feinerde ein sprunghafter Anstieg ab 60cm Tiefe zu beobachten. Oberhalb 60cm ist die Dichte der Feinerde sehr gering, darunter mittel.

Das Profil ist infolge geringer Dichte und niedrigem Tongehalt mittel-hochdurchlässig. Im etwas dichteren BC-Horizont ist die Leitfähigkeit am kleinsten.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 70 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

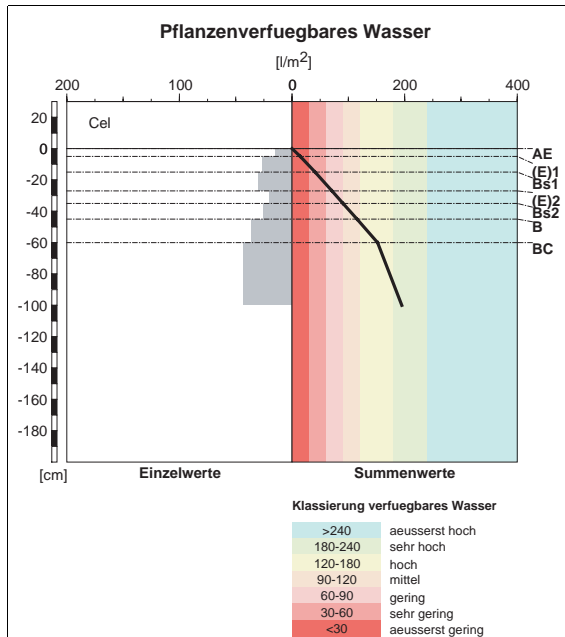


Abb. 70: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis in eine Tiefe von 120cm wird als hoch klassiert. Der geringe Skelettgehalt und der hohe Schluftanteil wirken sich günstig auf die Speicherleistung aus. Es ist anzunehmen, dass der Wurzelraum nach unten offen ist.

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Im Profil sind keine morphologischen Vernässungsmerkmale erkennbar. Selbst im etwas dichteren BC-Horizont sind keine hydromorphen Merkmale erkennbar. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind also nicht zu erwarten. Unterstützt wird diese Einschätzung durch die Leitfähigkeitskurve, welche für das gesamte Profil eine normale Durchlässigkeit angibt. Neben der Bodenbeschaffenheit ist sicher auch das Klima für die fehlende Bodenvernässung verantwortlich. Die Niederschlagsmengen sind im Oberengadin relativ gering verglichen mit Gebieten in ähnlicher Höhenlage.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Im gesamten Profil ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar, obwohl die Dichte der Feinerde ab rund 60cm Tiefe die als kritisch erachtete Grenze von 1.4kg/dm<sup>3</sup> leicht überschreitet. Der Boden wird als sehr tiefgründig (>120cm) klassiert. Er ist tiefer als 100cm durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.

Saugspannungsmessungen in den Jahren 1999-2001 auf diesem Standort zeigen, dass der Boden in dieser Messperiode während der Vegetationszeit nie stärker ausgetrocknet und die Wasserversorgung des Baumbestandes demnach nie kritisch war (Daten hier nicht gezeigt). In dieser Periode fielen während der Vegetationszeit im Vergleich zu den langjährigen monatlichen Minimalwerten (25% Quantil  $\approx$  100%) folgende monatlichen Summen (Station Samedan

(1705 M.ü.M.; 787150/156040; Messperiode 1980-2002); Daten Meteo Schweiz, bearbeitet durch M. Rebetez):

	Mai		Juni		Juli		August		September	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
<b>1999</b>	69	174	141	249	39	55	138	251	167	581
<b>2000</b>	58	147	42	74	155	220	143	260	59	206
<b>2001</b>	26	64	177	313	88	125	129	234	68	236

Im langjährigen Vergleich relativ niederschlagsarm (Niederschlagsmengen <25% Quantil ( $\approx 100\%$ )) waren im Jahr 1999 der Monat Juli, im Jahr 2000 der Monat Juni und im Jahr 2001 der Monat Mai. Wie die Saugspannungsmessungen belegen, war der Boden aber selbst während diesen relativ niederschlagsarmen Perioden nicht übermässig trocken.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von 120cm Mächtigkeit ist gemäss unseren Berechnungen damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 25 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Da der Boden vermutlich tiefer als 120cm durchwurzelbar ist, kann Trockenstress auch später eintreten.

#### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Boden reagiert in Nässeperioden empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil gering und der Schluffanteil hoch ist.

#### **2.2.4.3 Themenbereich "Säurezustand"**

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 1 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

##### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 71), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 72) sowie der Basensättigung (Abb. 73) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.



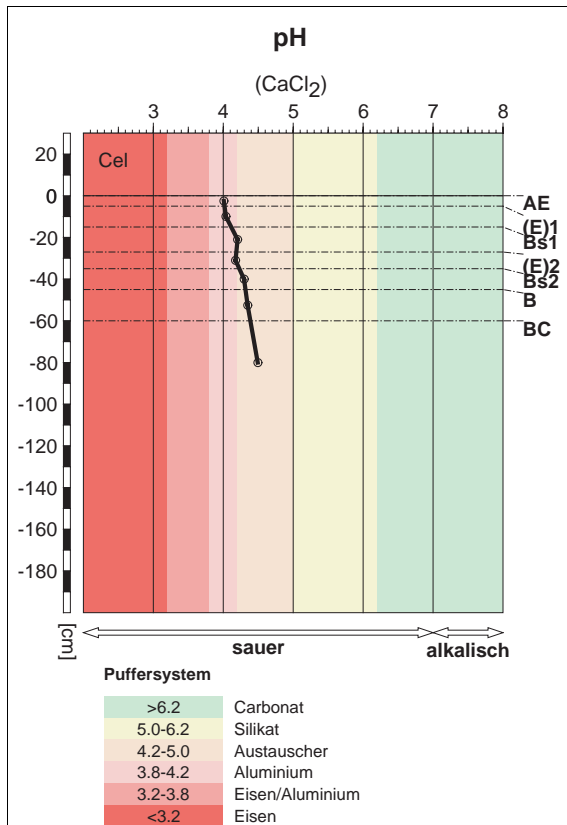


Abb. 71: pH-Wert und Pufferbereiche

Der Boden ist profilumfassend stark sauer, wobei der pH-Wert von oben nach unten nur sehr langsam zunimmt.

Eingetragene Säuren werden im Boden bis 35cm Tiefe überwiegend durch Auflösung pedogener Al-Hydroxide gepuffert; weiter unten sind vor allem der Kationenaustauscher aber auch die Silikatverwitterung als Puffer wirksam.

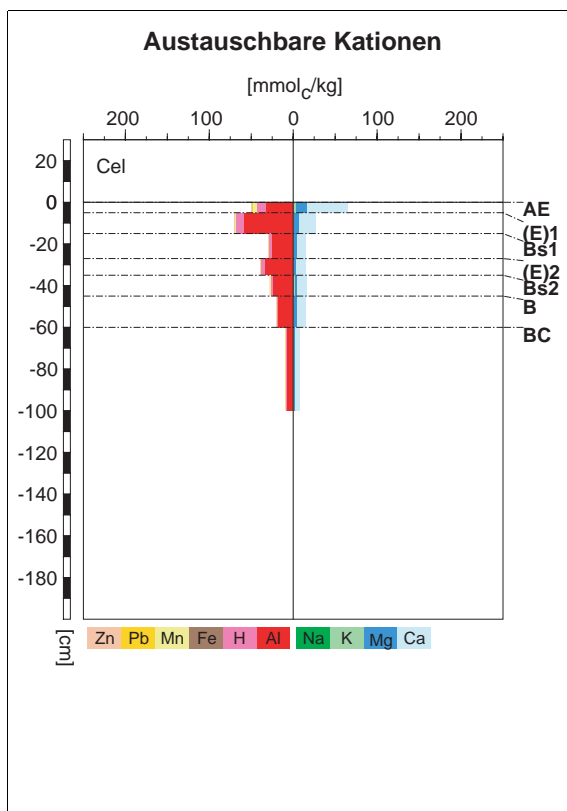


Abb. 72: Austauschbare Kationen

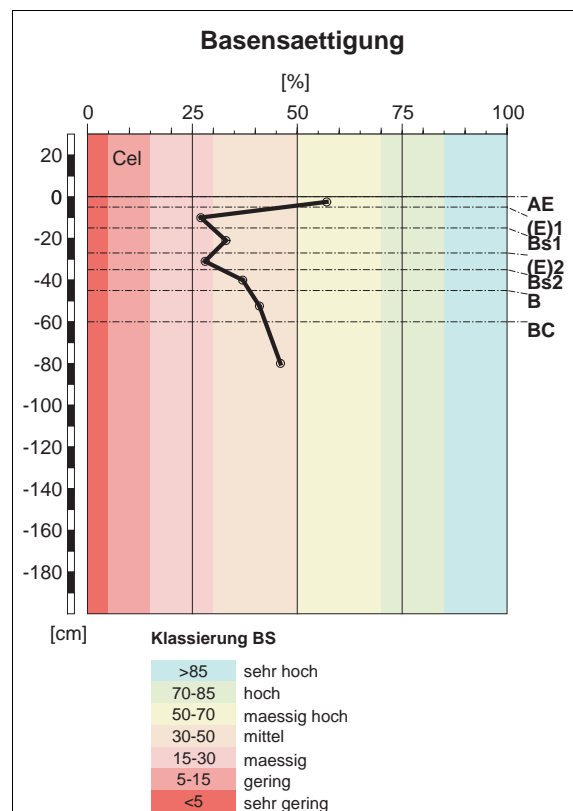


Abb. 73: Basensättigung

Mit Ausnahme des obersten Horizontes (AE-Horizont) ist der Austauscher überwiegend mit sauren Kationen, insbesondere Al belegt. Die Al-Belegung nimmt zur Tiefe hin nur lang-

sam ab. Die Basensättigung liegt zwischen 25 und 50% und ist damit, für einen Boden mit kristallinem Ausgangsgestein, relativ hoch.

Im humusreichen AE-Horizont, also in den obersten 5cm des Bodens, befinden sich trotz tiefem pH-Wert erhöhte Gehalte an Nährstoffkationen am Austauscher. Die Basensättigung ist hier im Vergleich zu den unmittelbar darunterliegenden Horizonten mit rund 60% deutlich grösser.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem kristallinen Ausgangsgestein (Moräne) ein schwach entwickelter Podsol gebildet. Anhand von Kohlefunden wissen wir, dass für die Bodenentwicklung in den obersten 25cm des Bodens maximal 6000 Jahre zur Verfügung standen.

Der Grad der Versauerung ist in diesem Boden nur schwer abschätzbar, weil die Pufferungseigenschaften des Ausgangsgesteins nicht bekannt sind. Die Verläufe des pH-Wertes und der Basensättigung deuten jedoch darauf hin, dass der Boden mässig versauert ist. Die Versauerung ist vor allem in den obersten 30cm weit fortgeschritten, was sich an der gegenüber dem Unterboden deutlich verminderten Basensättigung erkennen lässt.

Obwohl der Boden profulumfassend sehr sauer reagiert, ist die Basensättigung im humushaltigen Oberboden deutlich erhöht, was durch die ständige Nachlieferung von Nährstoffen mit dem Streufall erklärt werden kann.

Das Vorhandensein von austauschbarem Al ab 30cm Tiefe ist kaum durch Pufferung und damit durch Auflösung von Al-Hydroxiden, sondern durch Gesteinsverwitterung (Silikatverwitterung) bedingt. Die bei der Verwitterung freigesetzten Al-Ionen werden aufgrund ihrer hohen Wertigkeit vorzugsweise am Austauscher gebunden.

Besonderheiten: i) Auffällig verhalten sich die beiden podsolierten Horizonte (E)1 und (E)2. Hier findet man eine erhöhte Austauscherbelegung durch saure Kationen, was auch sehr deutlich durch entsprechende Minima bei der Basensättigung zum Ausdruck kommt. ii) Im wenig verwitterten, kristallinen Ausgangsgestein (BC-Horizont) sind die Gehalte an Nährstoffkationen, im Gegensatz zu vielen anderen Unterböden, insbesondere jenen über carbonathaltigem Untergrund, minimal.

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird als empfindlich für eine weitere Versauerung beurteilt, zumal praktisch der gesamte Wurzelraum sehr sauer ist.

Der Abbau der organischen Substanz ist neben anderen Faktoren auch durch den tiefen pH-Wert gehemmt, so dass sich auf der LWF-Fläche stellenweise eine organische Auflage (Moder-Rohhumus) gebildet hat. Bei weiter fortschreitender Bodenversauerung wird sich die

organische Auflage flächig ausbreiten und bestehende Auflagen werden noch mächtiger, was zu beschleunigten Versauerungsprozessen führt.

Bis in eine Tiefe von 30cm befindet sich der Boden im Al-Pufferbereich, darunter im Austauscher-Pufferbereich. Eine fortschreitende Bodenversauerung hat zur Folge, dass am Austauscher die Verdrängung von kationischen Nährstoffen weitergehen wird. Dabei wird einerseits die Basensättigung abnehmen; andererseits wird sich die Zone mit niedriger Basensättigung in die Tiefe ausdehnen, wodurch eine verstärkte Nährstoffauswaschung aus dem gesamten Wurzelraum zu erwarten ist.

Das Baumwachstum dürfte bei einer weitergehenden Bodenversauerung durch die Verarmung an Nährstoffen sowie durch das enger werdende BC/Al-Verhältnis im Wurzelraum beeinträchtigt werden. In der Bodenmatrix werden minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.45 erreicht, allerdings nur in den geringmächtigen Eluvialhorizonten. Im grössten Teil des Bodens wird der als kritisch erachtete Wert von 0.5 nicht unterschritten. Aktuell besteht daher an diesem Arven-Lärchen-Standort kein Risiko für Al-Toxizität. Eine weitere Versauerung könnte jedoch ein solches Risiko mit sich bringen. Mit fortschreitender Bodenversauerung wird sich die nährstoffarme Risikozone ausdehnen und es vor allem den Jungbäumen erschweren, die Nährstoffe im besser versorgten Unterboden zu erschliessen.

Eine zunehmende und tiefergreifende Versauerung erhöht das Risiko für die Tiefenverlagerung von Schwermetallen. Da an diesem Standort nicht nur der Boden, sondern auch der Untergrund sauer reagiert, wird das Risiko einer Grundwasserkontamination schon zum aktuellen Zeitpunkt und erst recht bei weiter fortschreitender Versauerung als hoch eingestuft.

#### **2.2.4.4 Themenbereich “Schwermetalle“**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBö (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Das Ausgangsgestein besteht aus grobklastischen Moräneablagerungen der Würmeiszeit. Da für solche Ablagerungen (Lithofazies 29) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, ist das Ausgangsgestein der nächstverwandten Lithofazies mit geochemischen Angaben zugeordnet, in diesem Fall der Lithofazies 24 (Glaziallehme).

##### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus carbonatfreier Moräne besteht, liegen die Zn- und Pb-Gehalte innerhalb, die Cr-, Ni- und Cu-Gehalte unterhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 24 (Glaziallehme).

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet der Alpen, niedrige Gehalte an Cr, Zn und Pb vor. Für Ni und Cu sind die Gehalte sehr niedrig.

## Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 74 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 75 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als "Δ", die Richtwerte der VBBo als "◇" markiert.

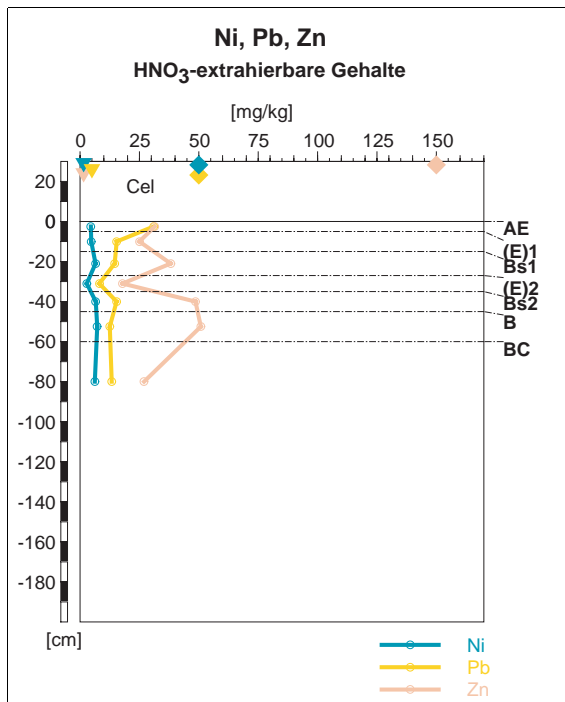


Abb. 74: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

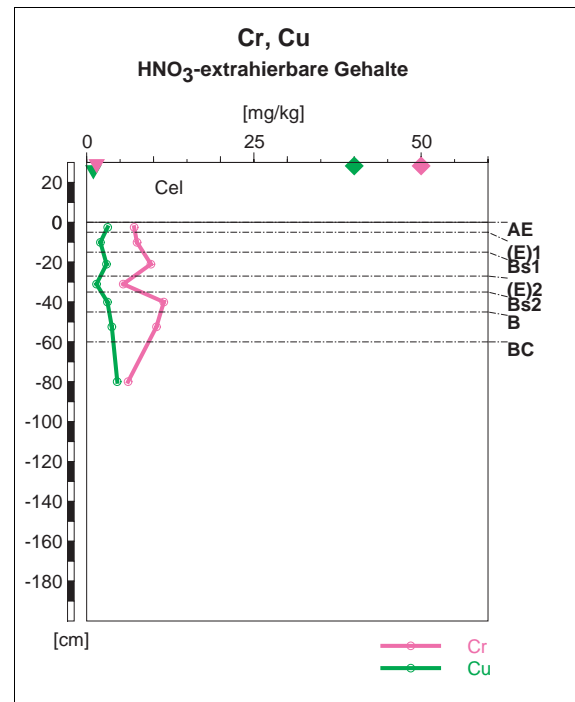


Abb. 75: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen für Cr, Cu und Ni profilumfassend sehr niedrige Gehalte vor. Für Zn sind die Gehalte je nach Horizont niedrig bis sehr niedrig. Erhöhte Bleigehalte finden sich in den obersten 5cm des Bodens, darunter sind die Gehalte niedrig bis sehr niedrig.

Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

### Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den obersten 10cm des Bodens sind alle erfassten Schwermetalle in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden.

### Anreicherungsfaktoren

Die Anreicherungsfaktoren sind in Tab. 32 dargestellt.

Tab. 32: Anreicherungsfaktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungsfaktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
AE	0	- 5	2.52	1.17	0.99	0.86	nb
(E)1	5	- 15	1.04	1.02	nb	1.23	nb
Bs1	15	- 27	0.89	1.12	nb	0.99	nb
(E)2	27	- 35	0.54	0.67	nb	0.39	nb
Bs2	35	- 45	0.94	1.63	nb	0.93	nb
B	45	- 60	1.07	2.04	nb	1.35	nb
BC	60	- 100	1.00	1.00	1.00	1.00	nb

Der hohe Anreicherungsfaktor von Pb in den obersten 5cm weist auf atmogene Einträge hin. Das aus der Luft eingetragene Pb wird im AE-Horizont an die organische Substanz gebunden und angereichert.

Im (E)2-Horizont wird die Auswaschung von Pb, Zn und Ni aufgrund der niedrigen Anreicherungsfaktoren erkennbar. Darunter ist vor allem die Anreicherung von Zn deutlich ausgeprägt. Dass Pb-Einträge vor mehr als 5000 Jahren noch kein Thema waren, zeigen die niedrigen, archivierten Anreicherungsfaktoren für dieses Element im Bs2- und B-Horizont.

Für Cu und Zn können keine Angaben gemacht werden, weil ihre Gehalte in der Mehrzahl der Bodenhorizonte unter den Bestimmungsgrenzen liegen.

Im Boden ist nur für Pb in den obersten 5cm eine anthropogene Belastung zu erkennen.

### Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 76.

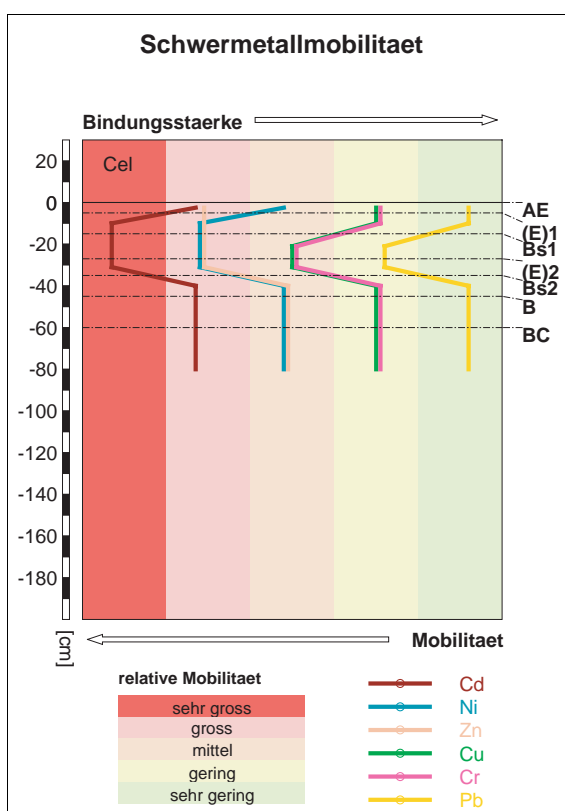


Abb. 76: Mobilität von Schwermetallen

Die Schwermetalle lassen sich entsprechend ihrer Mobilitätsindices in zwei Gruppen einteilen. Relativ mobil sind Cd, Ni und Zn, wenig mobil dagegen Cr, Cu und Pb.

Die im Bodenwasser gelösten organischen Stoffe dürften hier aber einen modifizierenden Einfluss auf die Mobilität der Schwermetalle gemäss Mobilitätsindices ausüben und diese erhöhen. Periodische Messungen der Bodenlösung haben nämlich ergeben, dass relativ viel gelöste organische Substanz in die Tiefe verlagert wird.

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort relativ gross, zumal der Boden ziemlich wasserdurchlässig ist und bis in grosse Tiefen sauer reagiert.

### 2.2.4.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Humusform und Bodengefüge lassen auf eine recht gute Nährstoffverfügbarkeit schliessen. Auf der LWF-Fläche ist stellenweise eine geringmächtige, organische Auflage vorhanden, was auf einen etwas gehemmten Streuabbau hindeutet. Die Humusform variiert auf der LWF-Fläche. Es handelt sich meist um Mull, stellenweise kommt Moder oder Rohhumus vor. Es ist erstaunlich, dass die Bodenorganismen die anfallende Streu auf dem grössten Teil der LWF-Fläche trotz stark saurem Oberboden und einem hohen Anteil an schwer abbaubaren Arven- und Lärchennadeln innert Jahresfrist vollständig zu zersetzen vermögen. Möglicherweise ist dafür das üppig wuchernde Reitgras (*Calamagrostis villosa*) mit seiner relativ schnell abbaubaren Streu verantwortlich.

Das C/N-Verhältnis beträgt in den obersten 5cm der Mineralerde rund 21 und liegt damit in einem Bereich, der, gemäss Literaturangaben, für Moder üblich ist. Das als mässig weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine niedrige Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit im Widerspruch zu den morphologischen Beobachtungen. Diese lassen eine bessere Nährstoffverfügbarkeit vermuten.

### Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 77) und die Austauscherbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 78).

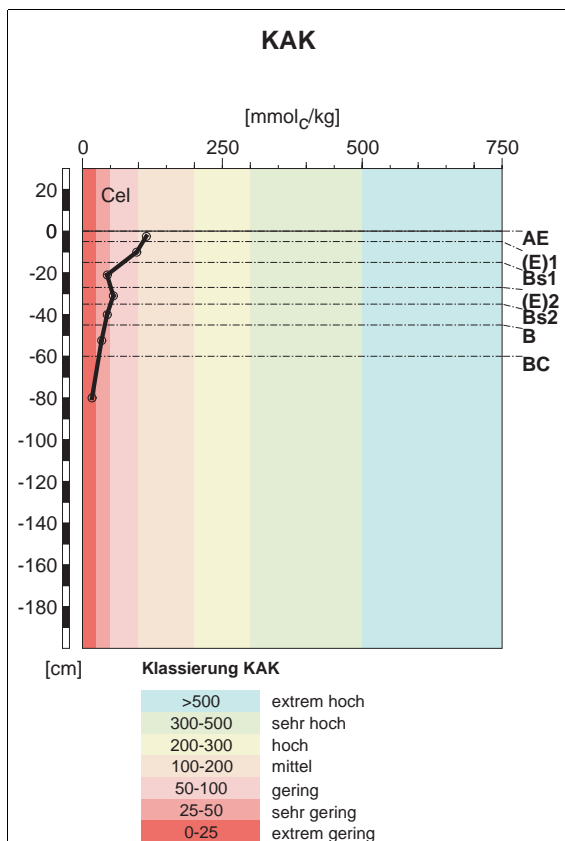


Abb. 77: Kationenaustauschkapazität (KAK)

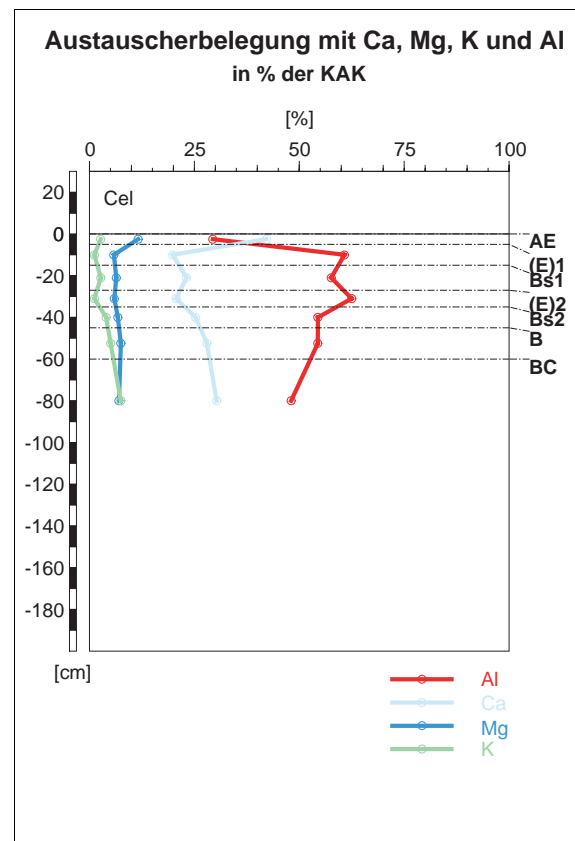


Abb. 78: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK nimmt in diesem Boden von oben nach unten recht deutlich ab. Im humushaltigen Oberboden wird sie als mittel, ab 60cm Tiefe als extrem gering klassiert.

Mit Ausnahme des obersten Horizontes dominiert Al infolge der stark sauren Bodenverhältnisse am Kationenaustauscher. Seine Belegung schwankt im Profil zwischen 50 und 65%. Die Belegung mit Nährstoffkationen steht in Einklang mit der Morphologie des Profils: wäh-

rend im humosen AE-Horizont die Belegung deutlich erhöht ist, weisen die Eluvialhorizonte minimale Belegungen auf. Die Belegung mit Ca ist profilumfassend relativ hoch, jene von Mg und K mittel. Die Belegungen von Ca und K nehmen nach unten zu, jene von Mg verläuft konstant.

### Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Grösse der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 79 bis 81 dargestellt.

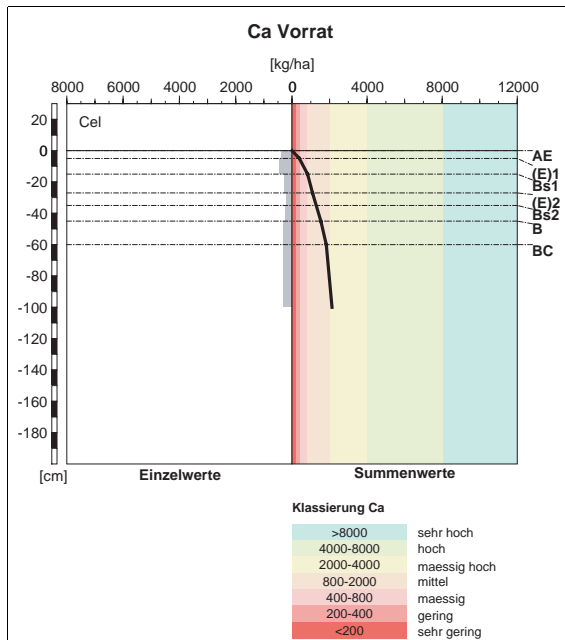


Abb. 79: Calcium-Vorrat

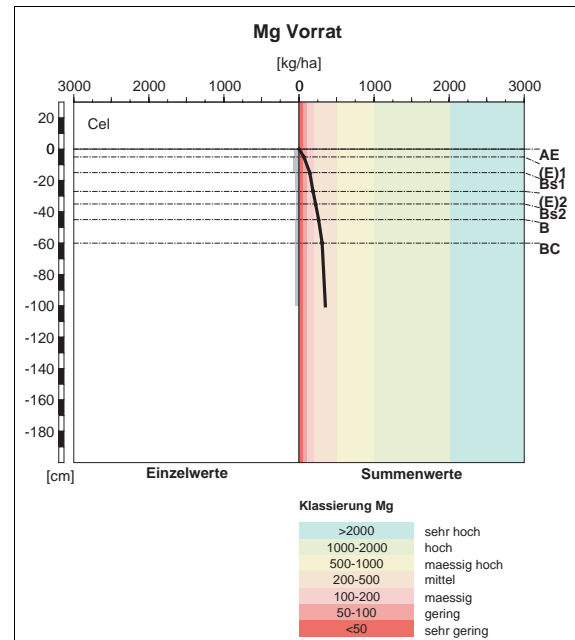


Abb. 80: Magnesium-Vorrat

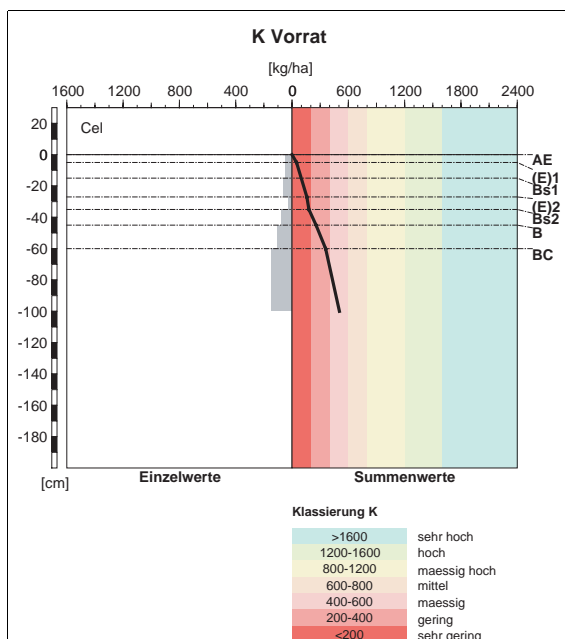


Abb. 81: Kalium-Vorrat

Die Vorräte aller Nährstoffkationen nehmen zur Tiefe hin nur langsam zu.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca mittel
- Mg mittel
- K gering

Der Boden ist bis mindestens 120cm Tiefe durchwurzelt. Damit wird der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt. Bis 120cm Tiefe werden die Vorräte etwas optimistischer bewertet:

- Ca mittel
- Mg mittel
- K mässig

Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als mittel beurteilt.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen günstige Bedingungen vor (siehe Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte").

#### 2.2.4.6 Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 1 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

##### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 33) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 33: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Celerina

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	1850m
Exposition	NE
Neigung	34%
Klima	
Jahresniederschlag	816mm
Jahrestemperatur	0.7°C
Ausgangsgestein	Carbonatfreies Moränematerial
Baumbestand	
Struktur	weitgehend einschichtig, lückig
Schlussgrad	25%
Baumarten (Deckung)	15% Arve, 15% Lärche
Oberhöhe	rund 20m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 59: Lärchen-Arvenwald
<b>Bodenkennwerte</b> (beziehen sich auf das Profil Nr. 1)	
Bodensystematik	
Bodentyp	Eisenpodsol (Horizontfolge ist gestört)
Bodentyp (LWF-Fläche)	Braunerde-Podsol (überwiegend Podsol)
Humusform	Mull
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-Rohhumus (überwiegend Mull)
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	Im Profil sind keine morphologischen Vernässungsmerkmale vorhanden. Einschränk-



Durchwurzelung	kungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind nicht zu erwarten.  Im Profil (120cm) ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Der Boden wird physiologisch als sehr tiefgründig klassiert. Er ist bis mindestens 120cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird damit vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.
pflanzenverfügbares Wasser	Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als hoch klassiert. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen ist an diesem Standort kaum je mit Trockenstress für die Bäume zu rechnen.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	Der Boden ist profilumfassend stark sauer, wobei der pH-Wert von oben nach unten nur langsam zunimmt. Es ist keine Kalkgrenze vorhanden.
Al-Toxizität	In der Bodenmatrix werden minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.45 erreicht. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird nur in der Tiefenstufe 5-35cm unterschritten. Es besteht folglich ein nur sehr kleines Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Das als mässig weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine niedrige Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Da aber die Humusform auf nahezu der gesamten Fläche ein Mull ist, wird die Verfügbarkeit insgesamt als günstig beurteilt.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelten Boden (120cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als mittel klassiert. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen günstige Bedingungen vor.
Verankerung	Da die Nadelbäume diesen Boden tief durchwurzeln und keine Limiten für das Wurzelwachstum erkennbar sind, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes als günstig beurteilt.
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert in Nässeperioden empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil gering und der Schluffanteil hoch ist.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der aktuell vorhandene Nadelholzmischwald wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als relativ standortgerecht bezeichnet. Wir können davon ausgehen, dass Arve und Lärche die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten im Vergleich zu den übrigen Baumarten am besten zu nutzen vermögen. Der aktuell recht hohe Lärchenanteil dürfte auf frühere Bewirtschaftung zurückzuführen sein.

Im Streueintrag überwiegen in diesem Wald seit Jahrzehnten Nadeln, aber auch der Anteil an Reitgras ist recht hoch. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

#### *Keimbeet, Anwuchs- und Aufwuchsphase*

An diesem subalpinen Standort hängt die Baumartenwahl weniger vom Boden, sondern von anderen Standortfaktoren, insbesondere den klimatischen Bedingungen ab. In den standortkundlichen Grundlagewerken sind für den vorliegenden Standort nur die Arve und die Lärche sowie die Vogelbeere in der Strauchschicht als standortgerechte Baumarten aufgeführt. Es

ist dem Waldbauer hier somit weitgehend verwehrt, durch gezielte Baumartenwahl Einfluss auf den Boden zu nehmen.

### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 34):

Tab. 34: Baumartenempfehlung

<b>Hauptbaumart</b>	Arve, Lärche, (Fichte)
<b>Beimischung</b>	Vogelbeere

## 2.2.5 LWF-Fläche Chironico (Bodenprofil Nr. 1)

### 2.2.5.1 Themenbereich "Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie"

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 1 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Chironico und zum Bodenprofil Nr. 1

Die Tab. 35 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Chironico und zum Profil Nr. 1. Die Tab. 36 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 35: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Chironico und zum Profil Nr. 1

<b>Lokalname</b>	Bosco Savert (Gemeinde Chironico, Kt. TI)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1272 Campo Tencia
	Koordinaten 705 538 / 144 866
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 47: Landschilf-Fichten-Tannenwald ( <i>Calamagrostio villosae-Abietetum</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-F-Ah-AB1-AB2-B1-B2-BC
<b>Humusform</b>	Moder
<b>Bodentyp</b>	Braunerde (podsoliert)
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Podsol

Tab. 36: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 1

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	1370m	
	Exposition	N	
	Neigung	35%	
	Geländeform	Mittelhang	
<b>Ausgangsgestein</b>	Oberfläche	Carbonatfreie Moräne vermischt mit Gehängeschutt.	
	Untergrund	Paragneise und Glimmerschiefer.	
	Beobachtung am Profilort	Die Mächtigkeit der Lockergesteinsschicht beträgt auf der LWF-Fläche rund 3-5m. Darunter liegt Fels.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	5.8°C / 1427mm	
	T / N Januarmittel	- 2.7°C / 78mm	
	T / N Julimittel	14.7°C / 127mm	
	Tage mit Schneedecke	130	
	Wärmegliederung	ziemlich rauh	
	Länge der Vegetationsperiode	150-165 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (30m Höhe)	75%	60% Fichte ( <i>Picea abies</i> ) 15% Tanne ( <i>Abies alba</i> ) 15% Lärche ( <i>Larix decidua</i> )
	Strauchschicht	1%	-
	Krautschicht	30%	Heidelbeere ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ) Behaartes Reitgras ( <i>Calamagrostis villosa</i> ) Waldhainsimse ( <i>Luzula sylvatica</i> ) Sauerklee ( <i>Oxalis acetosella</i> )
	Moosschicht	2%	-

## Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit W7 (alpine kristalline Berglandschaften, Paragneis, steile Nordhänge). W7 stellt 424 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 3.6% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

### Besonderheiten am Profilort

An der Oberfläche des Felsuntergrundes, also in einigen Metern Tiefe, fliesst Hangwasser. Es ist nicht bekannt, ob der Baumbestand dieses Wasser mit seinem Wurzelwerk erschliesst.

Auf der LWF-Fläche tritt an zwei Stellen Quellwasser aus.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 37 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 37: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 1

LWF-Chironico Nr. 1		Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
+20		F	2.5-0	-	-	-	-	-	-	-
0		Ah	0-3	stark	IS	Krümnel	locker	ohne	10 YR 3/1	mittel
		AB1	3-8	stark	IS	Krümnel	locker	ohne	7.5 YR 4/2	mittel
		AB2	8-15	sehr stark	IS	Subpolyeder	locker	ohne	7.5 YR 3/4	mittel
20		B1	15-50	sehr stark	IS	Subpolyeder	locker	ohne	5 YR 4/4	schwach
40		B2	50-110	sehr stark	IS	Subpolyeder	locker	ohne	10 YR 4/4	schwach
60		B2	50-110	sehr stark	IS	Subpolyeder	locker	ohne	10 YR 4/4	schwach
80		B2	50-110	sehr stark	IS	Subpolyeder	locker	ohne	10 YR 4/4	schwach
100		B2	50-110	sehr stark	IS	Subpolyeder	locker	ohne	10 YR 4/4	schwach
120		BC	> 110	sehr stark	IS	Subpolyeder	locker	ohne	10 YR 4/3	wurzelfrei
140		BC	> 110	sehr stark	IS	Subpolyeder	locker	ohne	10 YR 4/3	wurzelfrei
160		BC	> 110	sehr stark	IS	Subpolyeder	locker	ohne	10 YR 4/3	wurzelfrei

Das Vorhandensein einer organischen Auflage zeigt, dass die biologische Aktivität gehemmt ist. Die überwiegend von Fichten und Tannen stammende Streu wird langsam und unvollständig zersetzt. Mit der Horizontfolge L-F-Ah wird die Humusform als Moder klassiert.

Im rund 1.5m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch sechs Horizonte mit folgender Abfolge unterscheiden: Ah-AB1-AB2-B1-B2-BC. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als podsolierte Braunerde klassiert. Die Spuren der Podsolierungsprozesse sind im Boden allerdings nur undeutlich erkennbar. Es kommen keine hydromorphen Merkmale vor.

### *Besonderheiten des Profils*

Das Ausgangsgestein enthält kein Kalk. Der Boden ist extrem skelettreich, wobei insbesondere viel Groskskelett vorhanden ist. Im Profil sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar.

Obwohl im Profil Podsolierungserscheinungen (Auswaschung und Anreicherung) nur undeutlich erkennbar sind, wurde der Boden als podsolierte Braunerde klassiert. Unmittelbar

neben der LWF-Fläche kann an einigen Stellen eine deutliche Podsolierung festgestellt werden.

Die Beprobung des Profils erfolgte in Abweichung zu den europäischen Monitoringstandards nicht nach fixen Tiefenstufen, sondern nach genetischen Horizonten.

### 2.2.5.2 Themenbereich ‘‘Physikalische Bodenkennwerte‘‘

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 1 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

#### Skelettgehalt und Bodenart

In Abb. 82 ist der Skelettgehalt und in Abb. 83 die Bodenart dargestellt.

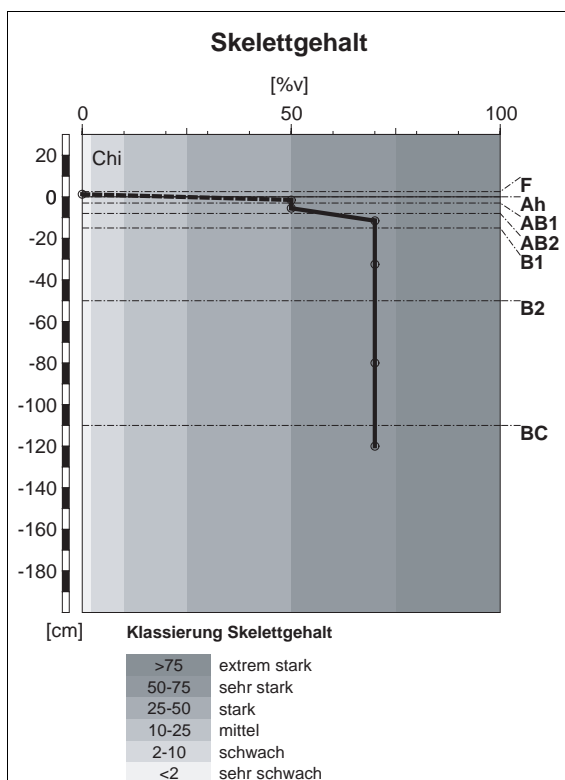


Abb. 82: Skelettgehalt

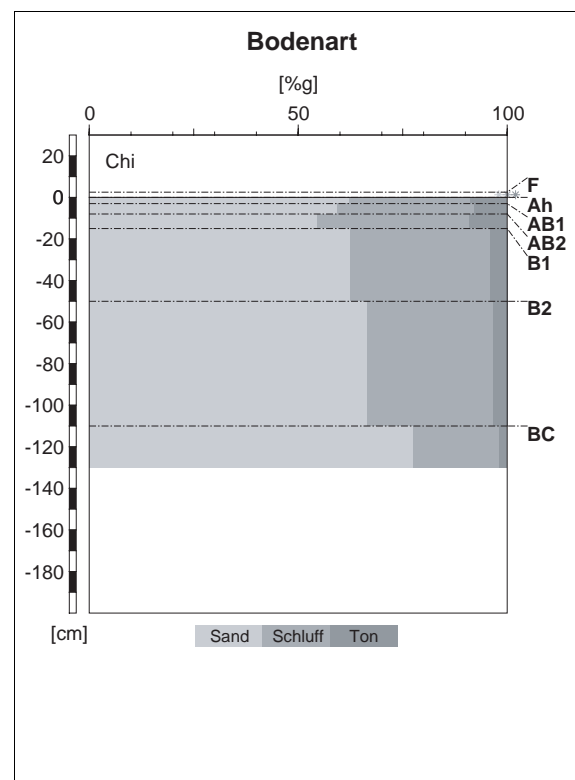


Abb. 83: Bodenart

An der Bodenoberfläche liegt an manchen Stellen Geröllschutt. Der Boden ist sehr stark skeletthaltig. Auffällig ist der hohe Anteil an groben Blöcken. In einigen Bereichen des Profils ist kaum Feinerde zwischen den Gesteinsblöcken vorhanden.

Die Feinerde setzt sich überwiegend aus Sand und viel Schluff zusammen, Ton ist nur wenig vorhanden. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen sehr leichten Boden.

## Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 84 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 85 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

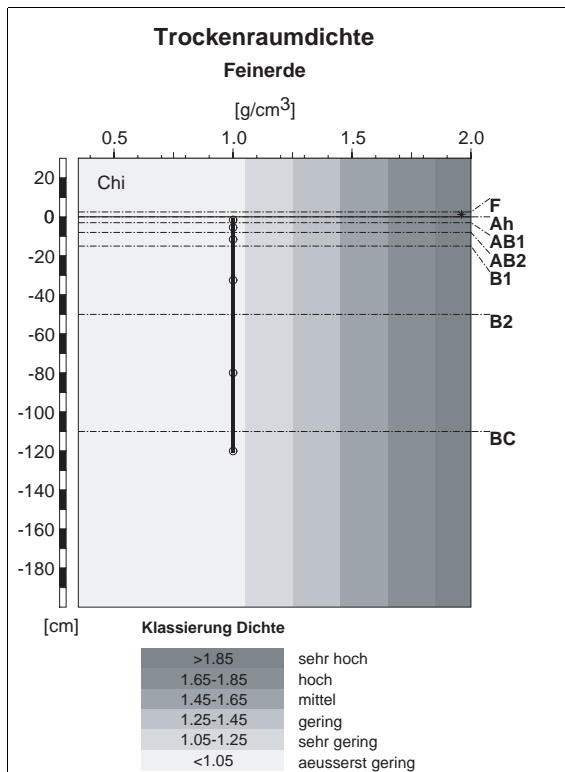


Abb. 84: Dichte der Feinerde

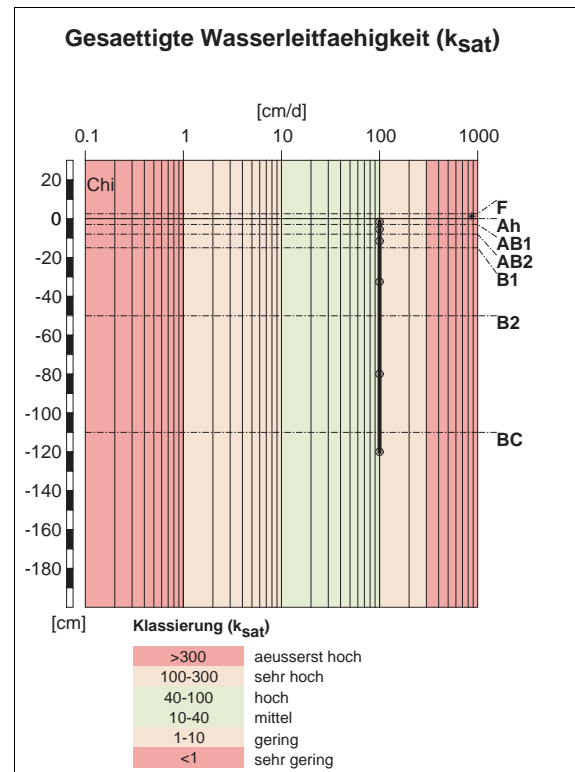


Abb. 85: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Wegen dem hohen Gesteinsgehalt und der Grösse der einzelnen Gesteinsblöcke konnten keine Dichteproben entnommen werden. Die in Abb. 84 eingetragenen Werte wurden bei der Profilsprache gutachtlich geschätzt. Die Dichte der Feinerde wird profulumfassend als äusserst gering eingestuft.

Der Boden ist aufgrund seiner geringen Dichte und seines niedrigen Tongehaltes hochdurchlässig.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 86 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

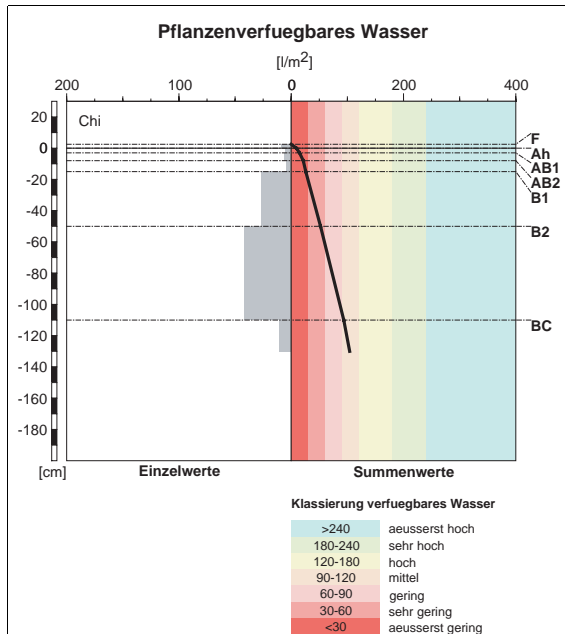


Abb. 86: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als mittel klassiert. Namentlich der hohe Skelettgehalt vermindert die Speicherkapazität. Der Wurzelraum ist nach unten offen.

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Im Profil sind keine morphologischen Vernässungsmerkmale erkennbar. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind also nicht zu erwarten. Unterstützt wird diese Einschätzung durch die Leitfähigkeitskurve, welche für das gesamte Profil eine hohe Durchlässigkeit angibt.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Im gesamten Profil ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Die Dichte der Feinerde liegt weit unter der für das Wurzelwachstum als kritisch erachteten Grenze von  $1,4\text{kg/dm}^3$ . Der Boden wird als sehr tiefgründig ( $>130\text{cm}$ ) klassiert. Er ist bis  $110\text{cm}$  durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von  $120\text{cm}$  Mächtigkeit ist damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach spätestens 15 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Da der Boden tiefer als  $120\text{cm}$  durchwurzelt ist, kann Trockenstress auch später eintreten.

### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Boden ist nicht empfindlich für ein Befahren mit schweren Maschinen, weil er extrem viele Steine enthält. Diese fangen das Gewicht der Auflast ab und verteilen es auf das sich im Boden vorhandene Skelettgerüst. Dadurch wird die Feinerde vor Verdichtung geschützt.

Es wird trotzdem davon abgeraten, den Bestand mit schwerem Gerät zu befahren, weil mit Schäden am verbleibenden Bestand gerechnet werden muss.

### 2.2.5.3 Themenbereich "Säurezustand"

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 1 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

#### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 87), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 88) sowie der Basensättigung (Abb. 89) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.

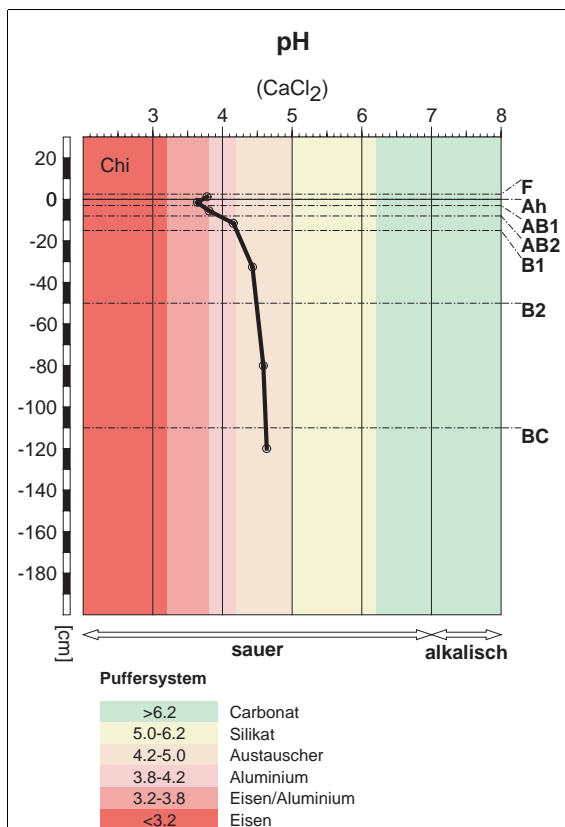


Abb. 87: pH-Wert und Pufferbereiche

Der Boden ist in den obersten 10cm sehr stark sauer. Darunter steigt der pH-Wert bis 50cm Tiefe an und verharrt ab dieser Tiefe bei rund 4.5 und damit im stark sauren Bereich.

In den Boden eingetragene Säuren werden in den obersten 15cm überwiegend durch Auflösung pedogener Fe- und Al-Hydroxide gepuffert; darunter erfolgt die Pufferung überwiegend durch den Kationenaustauscher, zusätzlich aber auch durch Silikatverwitterung.



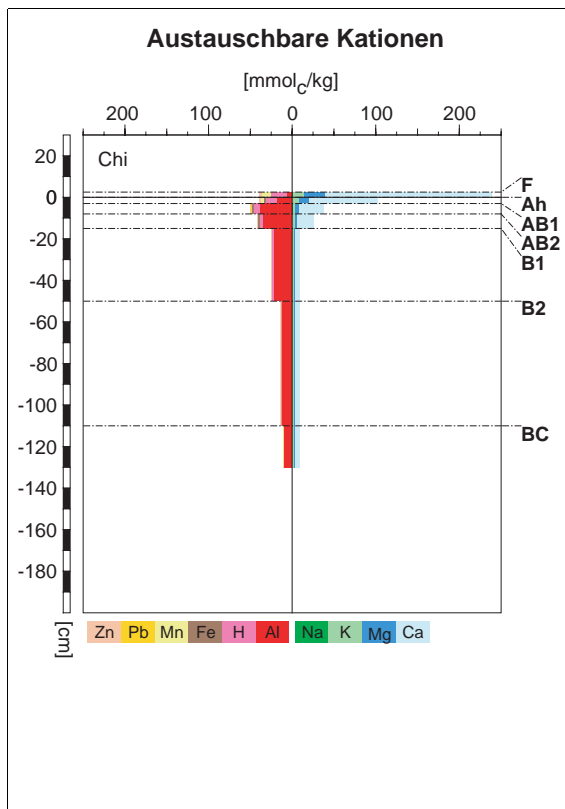


Abb. 88: Austauschbare Kationen

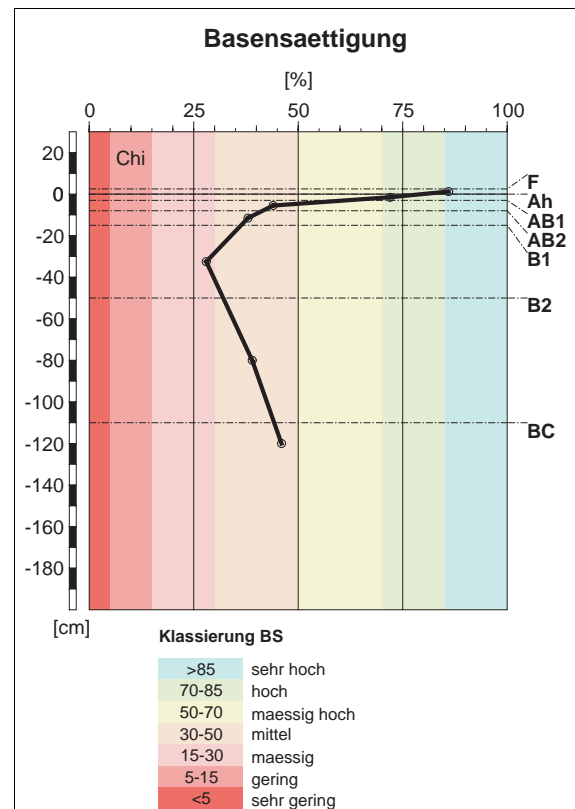


Abb. 89: Basensättigung

Im humushaltigen Oberboden ist der Austauscher bis in eine Tiefe von 15cm, entsprechend der hier wirksamen Pufferung durch Fe- und Al-Hydroxide, stark mit sauren Kationen, insbesondere Al belegt. Neben Al sind aber auch relativ hohe Gehalte an Nährstoffkationen am Austauscher vorhanden, was durch eine mittlere bis hohe Basensättigung von 40 bis 80% zum Ausdruck kommt.

Ab 15cm Tiefe dominiert Al am Austauscher, obwohl hier aufgrund des pH-Wertes vor allem der Kationenaustauscher als Puffer wirkt. Die Basensättigung liegt zwischen 30 und 45% und wird demnach als mittel klassiert.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem kristallinen Ausgangsgestein eine podsolierte Braunerde entwickelt. Der Grad der Versauerung ist in diesem Boden nur schwer abschätzbar, weil die Pufferungseigenschaften des Ausgangsgesteins nicht bekannt sind. Der Verlauf des pH-Wertes und der Basensättigung deuten jedoch darauf hin, dass der Boden mässig versauert ist. Die Versauerung ist vor allem in den obersten 50cm weit fortgeschritten, was sich am ausgeprägten pH-Gradienten und an der gegenüber dem Unterboden verminderten Basensättigung erkennen lässt.

Obwohl der Boden profulumfassend sehr sauer reagiert, ist die Basensättigung in der organischen Auflage und im humushaltigen Oberboden deutlich erhöht, was durch die ständige Nachlieferung von Nährstoffen mit dem Streufall erklärt werden kann.

Das Vorhandensein von austauschbarem Al ab 20cm Tiefe ist kaum durch Pufferung und damit durch Auflösung von Al-Hydroxiden, sondern durch Gesteinsverwitterung (Silikatverwitterung) bedingt. Die bei der Verwitterung freigesetzten Al-Ionen werden aufgrund ihrer hohen Wertigkeit vorzugsweise am Austauscher gebunden.

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird als empfindlich für eine weitere Versauerung beurteilt, zumal praktisch der gesamte Wurzelraum sehr sauer ist.

Der Abbau der organischen Substanz ist neben anderen Faktoren auch durch den tiefen pH-Wert gehemmt, so dass sich auf der LWF-Fläche mancherorts eine organische Auflage (Moder-Rohhumus) gebildet hat. Bei weiter fortschreitender Bodenversauerung wird diese Auflage noch mächtiger werden, wodurch die Versauerungsprozesse zusätzlich beschleunigt werden.

Bis in eine Tiefe von 15cm befindet sich der Boden im Fe/Al- oder Al-Pufferbereich, darunter im Austauscher-Pufferbereich. Eine fortschreitende Bodenversauerung hat zur Folge, dass am Austauscher die Verdrängung von kationischen Nährstoffen weitergehen wird. Dabei wird einerseits die Basensättigung abnehmen; andererseits wird sich die Zone mit niedriger Basensättigung in die Tiefe ausdehnen, wodurch eine verstärkte Nährstoffauswaschung aus dem gesamten Wurzelraum zu erwarten ist.

Das Baumwachstum dürfte bei einer weitergehenden Bodenversauerung durch die Verarmung an Nährstoffen sowie durch das enger werdenden BC/Al-Verhältnis im Wurzelraum beeinträchtigt werden. In der Bodenmatrix werden minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.4 erreicht, allerdings nur im B1-Horizont. Im grössten Teil des Bodens wird der als kritisch erachtete Wert von 0.5 nicht unterschritten. Aktuell besteht daher an diesem Fichten-Tannen-Standort kein Risiko für Al-Toxizität. Eine weitere Versauerung könnte jedoch ein solches Risiko mit sich bringen. Mit fortschreitender Bodenversauerung wird sich die nährstoffarme Risikozone ausdehnen und es vor allem den Jungbäumen erschweren, die Nährstoffe im besser versorgten Unterboden zu erschliessen.

Eine zunehmende und tiefergreifende Versauerung erhöht das Risiko für die Tiefenverlagerung von Schwermetallen. Da an diesem Standort nicht nur der Boden, sondern auch der Untergrund sauer reagiert, wird das Risiko einer Grundwasserkontamination schon zum aktuellen Zeitpunkt und erst recht bei weiter fortschreitender Versauerung als hoch eingestuft.

#### **2.2.5.4 Themenbereich "Schwermetalle"**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Die VBBo-Richtwerte gelten bei einem Humusgehalt <15% in mg/kg, ansonsten in mg/dm<sup>3</sup>. Im F- und Ah-Horizont konnte der volumenbezogene Gehalt (mg/dm<sup>3</sup>) mangels Kenntnis der Dichte nicht berechnet werden. Daher erfolgt dort keine Richtwertbeurteilung.

Der Gehängeschutt auf der LWF-Fläche Chironico besteht aus Paragneis. Daher wurde die Lithofazies 6 (glimmerreiche Schiefer) als geochemische Referenzeinheit gewählt. Solche Schiefer bilden den Sockel der LWF-Fläche.

### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus Paragneis besteht, liegen die Cr-, Ni-, Cu- und Zn-Gehalte oberhalb und die Pb-Gehalte innerhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 6 (glimmerreiche Gneise).

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet der Alpen, ausserordentlich hohe Gehalte an Cu und Ni, sehr hohe Cr-, hohe Zn- und erhöhte Pb-Gehalte vor.

### Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 90 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 91 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als "Δ", die Richtwerte der VBBo als "◇" markiert.

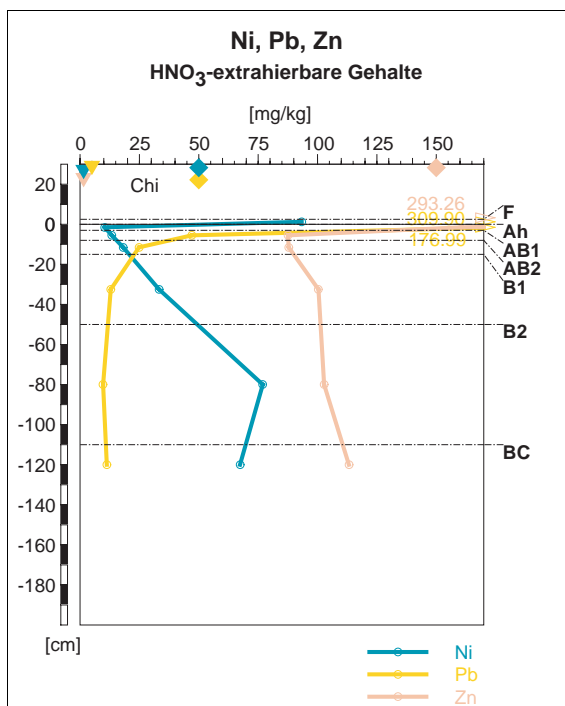


Abb. 90: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

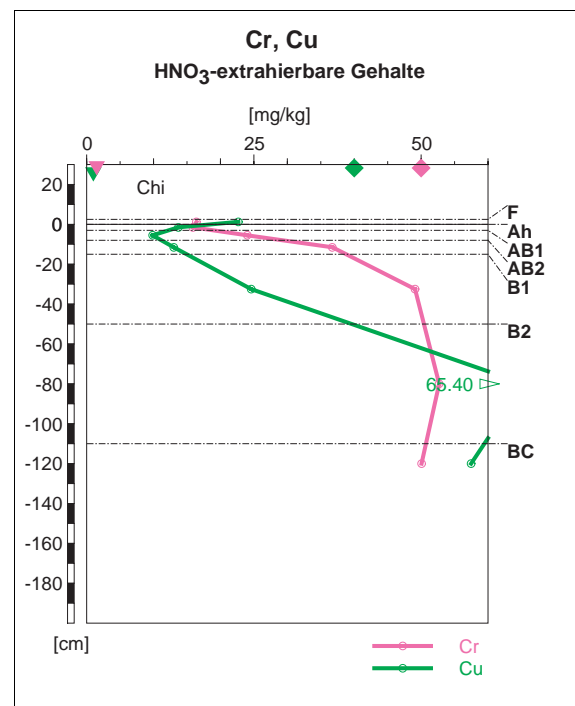


Abb. 91: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen für Pb, je nach Horizont, sehr niedrige bis hohe Gehalte und für Zn erhöhte bis hohe Gehalte vor. Sehr grosse Gehaltsspektren weisen die Elemente Cr, Cu und Ni auf. Je nach Horizont sind ihre Gehalte sehr niedrig bis sehr hoch, wobei die sehr hohen Gehalte ausschliesslich im Unterboden zu finden sind.

Für Cr wird der VBBo-Richtwert leicht, für Cu und Ni dagegen deutlich überschritten. Alle Überschreitungen liegen unterhalb 50cm Tiefe.

### Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den Mineralerdehorizonten des Oberbodens werden Cr-, Zn- und Pb-Gehalte erreicht, welche für die Bodenfauna von Waldböden als kritisch erachtet werden. Während die kritischen Werte im Mineralboden nur leicht überschritten werden, sind die Verhältnisse in der organischen Auflage gravierender. Hier sind die kritischen Werte für Cr stark und für Cu und Zn deutlich überschritten.

### Anreicherungsfaktoren

Die Anreicherungsfaktoren sind in Tab. 38 dargestellt.

Tab. 38: Anreicherungsfaktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungsfaktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Ah	0	- 3	10.68	1.98	0.30	0.30	0.48
AB1	3	- 8	1.97	0.70	0.15	0.20	0.56
AB2	8	- 15	1.20	0.70	0.20	0.24	0.58
B1	15	- 50	0.93	0.94	0.38	0.25	0.69
B2	50	- 110	1.12	1.15	0.93	0.93	0.96
BC	110	- 130	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Die hohen Anreicherungsfaktoren von Pb in den obersten 8cm und von Zn in den obersten 3cm weisen auf atmogene Einträge hin.

Die oberen Bodenpartien scheinen an gewissen Schwermetallen verarmt zu sein. Cu und Ni sind stark, Cr mässig stark in tiefere Schichten verlagert worden. Eine deutlich ausgeprägte Anreicherungszone im Unterboden kann allerdings nicht festgestellt werden. Immerhin sind aber die Anreicherungsfaktoren von Cu, Ni und Cr im B2-Horizont im Vergleich zu den oberen Bodenpartien deutlich erhöht. Aufgrund der Schwermetallverteilung muss in diesem Profil mit Podsolierungsprozessen gerechnet werden, obwohl die morphologischen Merkmale im Bodenprofil kaum Hinweise darauf geben.

Für Pb und Zn ist in den obersten Bodenschichten eine anthropogene Belastung zu erkennen, wobei beim Zn auch eine Anreicherung via Nährstoffkreislauf erfolgt sein kann.

Die Richtwertüberschreitungen von Cr, Cu und Ni sind nicht anthropogen sondern lithogen bedingt, wie die Anreicherungsfaktoren dieser Elemente belegen. Dieser Befund wird auch durch die Beurteilung der lithogenen Grundgehalte unterstützt, welche zeigt, dass die Schwermetallgehalte im Ausgangsgestein vergleichsweise hoch sind.

## Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 92.

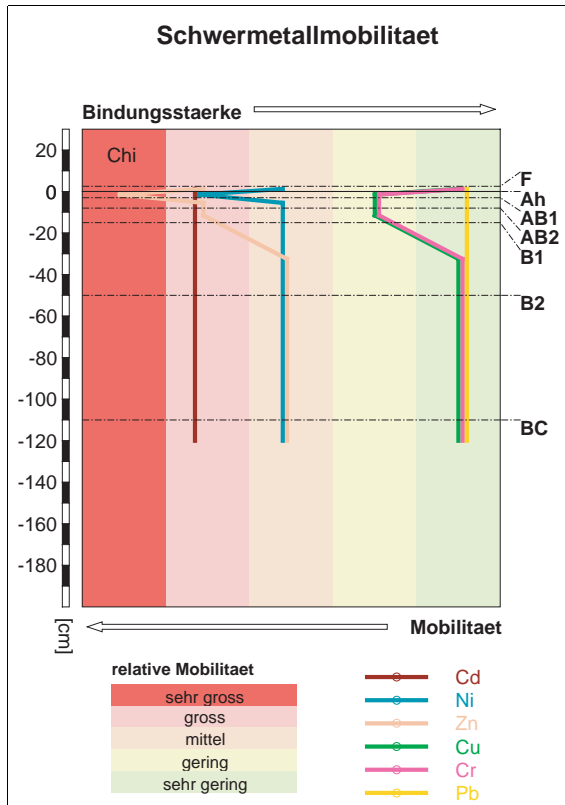


Abb. 92: Mobilität von Schwermetallen

Die Schwermetalle lassen sich gemäss ihren Mobilitätsindices in zwei Gruppen einteilen. Relativ mobil sind Cd, Ni und Zn, wenig mobil dagegen Cr, Cu und Pb.

Die im Bodenwasser gelösten organischen Stoffe dürften hier aber einen stark modifizierenden Einfluss auf die Mobilität der Schwermetalle ausüben. Die relativ hohen Humusgehalte bis in grosse Bodentiefen sind in diesem sauren Boden nämlich weniger auf biologische Aktivität als vielmehr auf Verlagerung und Einwaschung von organischer Substanz mit dem Bodenwasser, und damit auf Podsolierungsvorgänge zurückzuführen. Dementsprechend hoch dürfte auch die Mobilität der meisten Schwermetalle sein.

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort relativ gross, zumal der Boden extrem wasserdurchlässig ist und bis in grosse Tiefen sauer reagiert.

### 2.2.5.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Das Vorhandensein einer organischen Auflage und das nur wenig krümelige Gefüge im humushaltigen Oberboden deuten darauf hin, dass die Nährstoffverfügbarkeit nicht optimal ist. Die Bodenorganismen vermögen die anfallende, schwer abbaubare Fichten- und Tannestreue nicht innert Jahresfrist vollständig zu zersetzen. Die Mächtigkeit der organischen Auflage variiert auf der LWF-Fläche. Die Humusform ist oft Moder oder Rohhumus, stellenweise kommt auch Mull vor. Für den gehemmten Abbau dürften an diesem Standort der stark saure Oberboden, die schwer abbaubare Streu und das kühle Klima verantwortlich sein.

Das C/N-Verhältnis in der organischen Auflage beträgt rund 25 und liegt damit in einem Bereich, der, gemäss Literaturangaben, für Moder üblich ist. Das als mässig weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine niedrige Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen.

## Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 93) und die Austauscherbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 94).

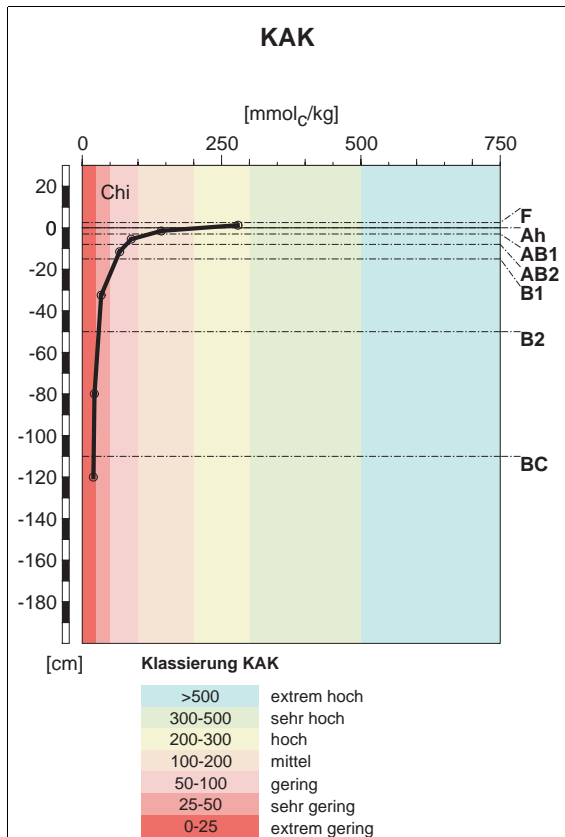


Abb. 93: Kationenaustauschkapazität (KAK)

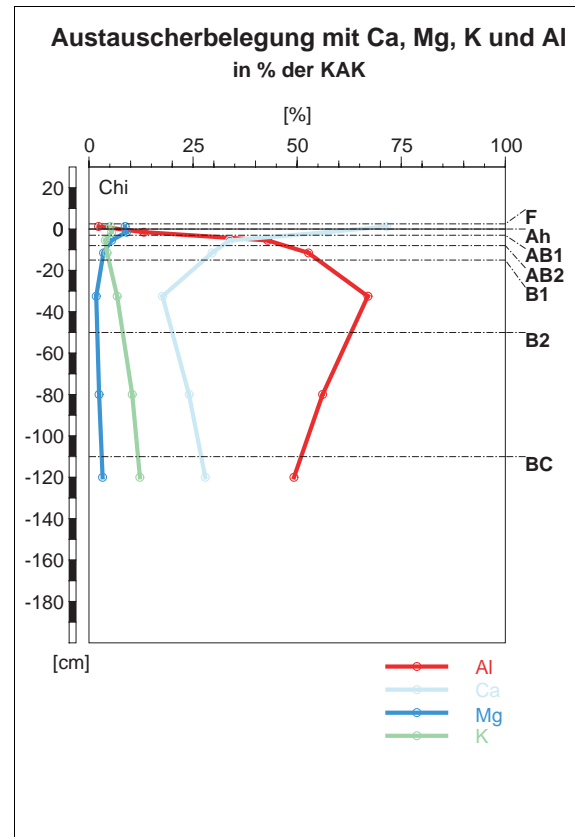


Abb. 94: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Der Verlauf der KAK weist im Profil einen deutlichen Gradienten auf. Im F-Horizont ist die KAK hoch, im humosen Oberboden gering bis mittel und darunter sehr gering bis extrem gering.

Mit Ausnahme des humosen Oberbodens dominiert Al infolge der stark sauren Bodenverhältnisse am Kationenaustauscher. Seine Belegung schwankt im mittleren und unteren Profilmittelbereich zwischen 50 und 70%. Die Belegungen mit Nährstoffkationen zeigen zwei Maxima. Das eine liegt im humosen Oberboden, das andere im untersten Horizont. Die Maxima sind besonders deutlich beim Ca ausgeprägt, welches profulumfassend eine relativ hohe Belegung aufweist. Auffällig ist die im Vergleich zum Mg hohe Belegung mit K.

## Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Größe der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 95-97 dargestellt.

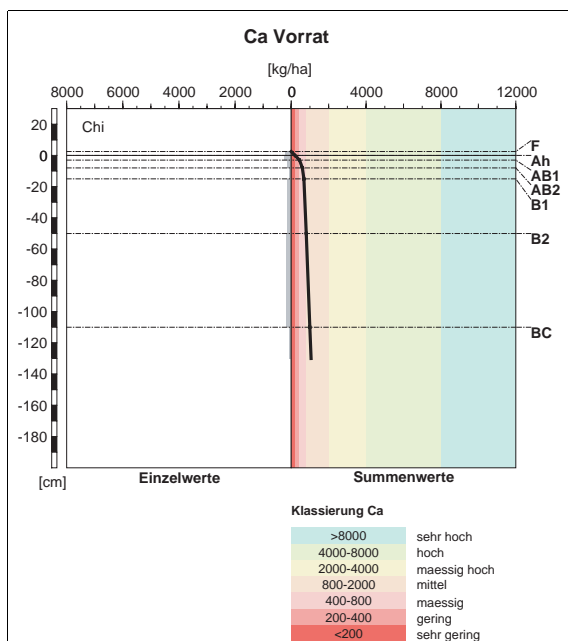


Abb. 95: Calcium-Vorrat

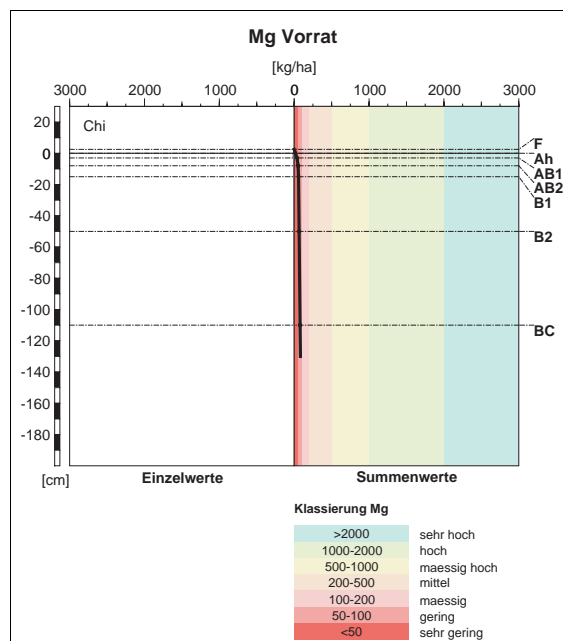


Abb. 96: Magnesium-Vorrat

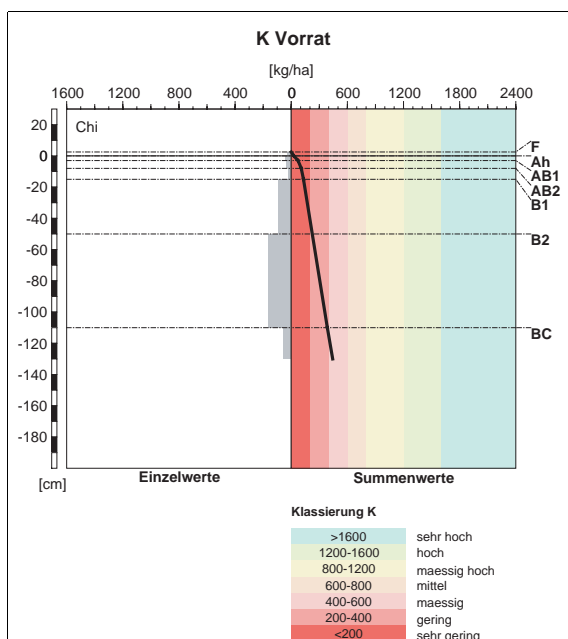


Abb. 97: Kalium-Vorrat

Die Vorräte aller Nährstoffkationen nehmen mit der Tiefe nur langsam zu.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca mässig
- Mg gering
- K gering

Der Boden ist bis mindestens 130cm Tiefe durchwurzelt. Damit wird der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt. Bis 130cm Tiefe werden die Vorräte optimistischer bewertet:

- Ca mittel
- Mg gering
- K mässig

Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als mässig bewertet.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen recht gute Bedingungen vor (siehe Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte").

### 2.2.5.6 Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 1 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 39) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 39: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Chironico

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	1370m
Exposition	N
Neigung	35%
Klima	
Jahresniederschlag	1427mm
Jahrestemperatur	5.8°C
Ausgangsgestein	Mischung aus carbonatfreiem Moränematerial und kristallinem Gehängeschutt
Baumbestand	
Struktur	einschichtig
Schlussgrad	75%
Baumarten (Deckung)	60% Fichte, 15% Tanne, 15% Lärche
Oberhöhe	rund 30m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 47: Landschilf-Fichten-Tannenwald
<b>Bodenkennwerte (beziehen sich auf das Profil Nr. 1)</b>	
Bodensystematik	
Bodentyp	Braunerde, podsoliert
Bodentyp (LWF-Fläche)	Ranker-podsolierte Braunerde (überwiegend podsolierte Braunerde)
Humusform	Moder
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-Rohhumus (überwiegend Moder)
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	Im Profil sind keine morphologischen Vernässungsmerkmale vorhanden. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind nicht zu erwarten.
Durchwurzelung	Im Profil (130cm) ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Der Boden wird physiologisch als sehr tiefgründig klassiert. Er ist bis mindestens 130cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird damit vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.
pflanzenverfügbares Wasser	Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als mittel klassiert. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen ist an diesem Standort kaum je mit Trockenstress für die Bäume zu rechnen.
Säurezustand	



pH-Wert / Kalkgrenze	Der Boden ist bis auf das Ausgangsgestein hinunter stark sauer. Es ist keine Kalkgrenze vorhanden.
Al-Toxizität	In der Bodenmatrix werden minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.4 erreicht. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird nur in der Tiefenstufe 15-50cm unterschritten. Es besteht folglich ein nur kleines Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Das als mässig weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine niedrige Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten, was durch das Vorkommen der Humusform Moder bestätigt wird.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelten Boden (130cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als mässig klassiert. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen recht günstige Bedingungen vor.
Verankerung	Da die Nadelbäume diesen Boden tief durchwurzeln und keine Limiten für das Wurzelwachstum erkennbar sind, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes als günstig beurteilt.
Befahrbarkeit	Der Boden ist unempfindlich für ein Befahren mit schweren Maschinen, weil er extrem viele Steine enthält.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der aktuell vorhandene Nadelholzmischwald wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als relativ standortgerecht bezeichnet. Wir können davon ausgehen, dass Fichte und Tanne die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten im Vergleich zu den übrigen Baumarten am besten zu nutzen vermögen. Die aktuelle Beimischung der Lärche dürfte auf frühere Bewirtschaftung zurückzuführen sein. Diese Lichtbaumart hat längerfristig nur geringe Chancen, sich an diesem Standort gegenüber Fichte und Tanne zu behaupten.

Im Streueintrag überwiegen in diesem Wald seit Jahrzehnten Nadeln. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

#### *Keimbeet, Anwuchs- und Aufwuchsphase*

An diesem Standort hängt die Baumartenwahl weniger vom Boden, sondern von anderen Standortfaktoren, insbesondere den klimatischen Bedingungen ab. In den standortkundlichen Grundlagewerken sind für den vorliegenden Standort nur die Fichte und die Tanne sowie die Vogelbeere in der Strauchschicht als standortgerechte Baumarten aufgeführt. Je nach Lichtverhältnissen kann auch die Lärche beigemischt sein. Es ist dem Waldbauer hier somit weitgehend verwehrt, durch gezielte Baumartenwahl Einfluss auf den Boden zu nehmen.

Aus bodenkundlicher Sicht lässt sich zur Baumartenwahl lediglich beifügen, dass durch einen hohen Tannen- und allenfalls auch Lärchenanteil die Bestandesstabilität erhöht werden kann, weil diese Baumarten den Boden sehr tief durchwurzeln. Durch Beimischen von geeigneten Laubhölzern kann örtlich eine besser abbaubare Streu und damit eine etwas schnellere Mineralisierung von Nährstoffen erzielt werden.

### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 40):

Tab. 40: Baumartenempfehlung

<b>Hauptbaumart</b>	Tanne, Fichte, (Lärche)
<b>Beimischung</b>	Vogelbeere, (Mehlbeere, Grünerle)

## 2.2.6 LWF-Fläche Isona (Bodenprofil Nr. 1)

### 2.2.6.1 Themenbereich "Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie"

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 1 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Isona und zum Bodenprofil Nr. 1

Die Tab. 41 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Isona und zum Profil Nr. 1. Die Tab. 42 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 41: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Isona und zum Profil Nr. 1

<b>Lokalname</b>	Crono di sopra (Gemeinde Isona, Kt. TI)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1333, Tesserete
	Koordinaten 721 303 / 109 369
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 4: Farnreicher Schneesimsen-Buchenwald ( <i>Luzulo niveae-Fagetum dryopteridetosum</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-Ah1-Ah2-A1-A2-B-BC-C
<b>Humusform</b>	Mull
<b>Bodentyp</b>	Braunerde
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Podsol

Tab. 42: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 1

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	1240m	
	Exposition	NE	
	Neigung	58%	
	Geländeform	Mittelhang	
<b>Ausgangsgestein</b>	Oberfläche	Quartär und Gehängeschutt.	
	Untergrund	Südalpin. Präpermisches Grundgebirge. Ceneri Zone.	
	Beobachtung am Profilort	Der Boden besteht aus einer Mischung von kalkfreier Moräne und Gehängeschutt. Im westlichen Teil der Fläche überwiegt relativ skelettarmes Moränematerial. Im oberen Bereich der Fläche sowie im Ostteil sind grössere Anteile an grobem Gehängeschutt vorhanden. Der kristalline Felsuntergrund wurde bei den Bodenuntersuchungen nicht erschlossen.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	7.5°C / 1819mm	
	T / N Januarmittel	- 0.3°C / 78mm	
	T / N Julimittel	16.4°C / 166mm	
	Tage mit Schneedecke	94	
	Wärmegliederung	sehr kühl	
	Länge der Vegetationsperiode	165-180 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (15m Höhe)	95%	85% Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> ) 3% Birke ( <i>Betula pendula</i> )
	Strauchschicht	1%	-
	Krautschicht	1%	Rostblättrige Alpenrose ( <i>Rhododendron ferrugineum</i> ) Heidelbeere ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ) Draht-Schmiele ( <i>Avenella flexuosa</i> ) Schneehainsimse ( <i>Luzula nivea</i> )
	Moosschicht	1%	-

## Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit W7 (alpine kristalline Berglandschaften, Paragneis, steile Nordhänge). W7 stellt 424 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 3.6% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

### Besonderheiten am Profilort

Der Bestand, der früher als Niederwald bewirtschaftet wurde, wird heute nicht mehr gepflegt. Die Stockausschläge der Buche sind rund 15m hoch und stehen sehr dicht beisammen.

Auf der LWF-Fläche sind an einigen Stellen ehemalige Köhlerplätze vorhanden. Es handelt sich dabei um horizontal angelegte Plätze oder Terrassen. An diesen Stellen ist der Bodenaufbau stark gestört.

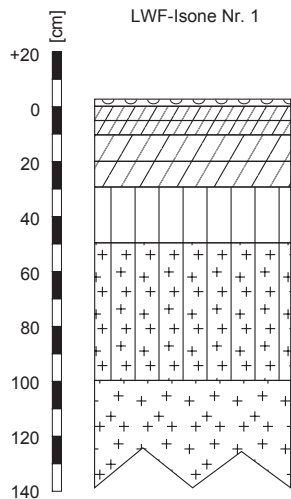
Mehrere Quellaustritte auf der Fläche deuten darauf hin, dass der kristalline Felsuntergrund örtlich recht oberflächennah verläuft.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 43 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 43: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 1

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
L	1-0	-	IU	-	-	-	-	-
Ah1	0-5	sehr schwach	IU	Krümel	locker	ohne	2.5 Y 2/1	extrem stark
Ah2	5-10	sehr schwach	IU	Krümel	locker	ohne	10 YR 2/2	stark
A1	10-20	schwach	IU	Subpolyeder	locker	ohne	10 YR 3/2	stark
A2	20-30	stark	IU	Subpolyeder	locker	ohne	10 YR 4/4	mittel
B	30-50	stark	IU	Subpolyeder	locker	ohne	10 YR 4/3	mittel
BC	50-100	sehr stark	IS	Einzelkorn	mittel	ohne	2.5 Y 4/2	schwach
C	> 100	extrem stark	U	Einzelkorn	mittel	ohne	2.5 Y 5/3	schwach



Das Fehlen einer organischen Auflage deutet darauf hin, dass die biologische Aktivität an der Bodenoberfläche gross ist. Die überwiegend von Buchen stammende Streu wird trotz ihrer relativ schlechten Abbaubarkeit innerhalb eines Jahres zersetzt. Mit der Horizontfolge L-Ah wird die Humusform als Mull klassiert. Der hohe Humusgehalt in den obersten 20-30cm des Bodens lässt auf eine gehemmte Zersetzung der organischen Substanz in den Mineralerhorizonten schliessen. Diese Beobachtung kann in Böden der Alpensüdseite häufig gemacht werden.

Im rund 1.4m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch sieben Horizonte mit folgender Abfolge erkennen: Ah1-Ah2-A1-A2-B-BC-C. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Braunerde klassiert. Der durch Verwitterungsprozesse verbrauchte B-Horizont ist nicht sehr mächtig. Es kommen keine hydromorphen Merkmale vor.

### Besonderheiten des Profils

Das Ausgangsgestein enthält kein Kalk. Im Profil sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar.

Der Oberboden ist bis 30cm Tiefe sehr humos und daher auffällig dunkel gefärbt. Eine Podsolierung konnte in diesem Boden mit rein morphologischen Kriterien aber nicht festgestellt werden. Daher wurde der Boden als Braunerde und nicht als Kryptopodsol klassiert.

Der Boden wurde bis 20cm Tiefe nach fixen Tiefenstufen (sie entsprechen bezüglich Mächtigkeit in etwa den genetischen Horizonten), darunter nach genetischen Horizonten beprobt.

### 2.2.6.2 Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte"

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 1 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

#### *Skelettgehalt und Bodenart*

In Abb. 98 ist der Skelettgehalt und in Abb. 99 die Bodenart dargestellt.

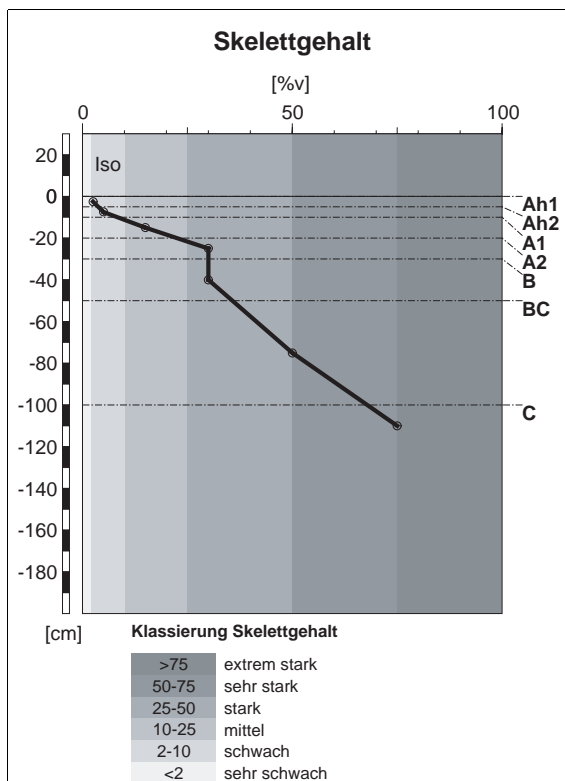


Abb. 98: Skelettgehalt

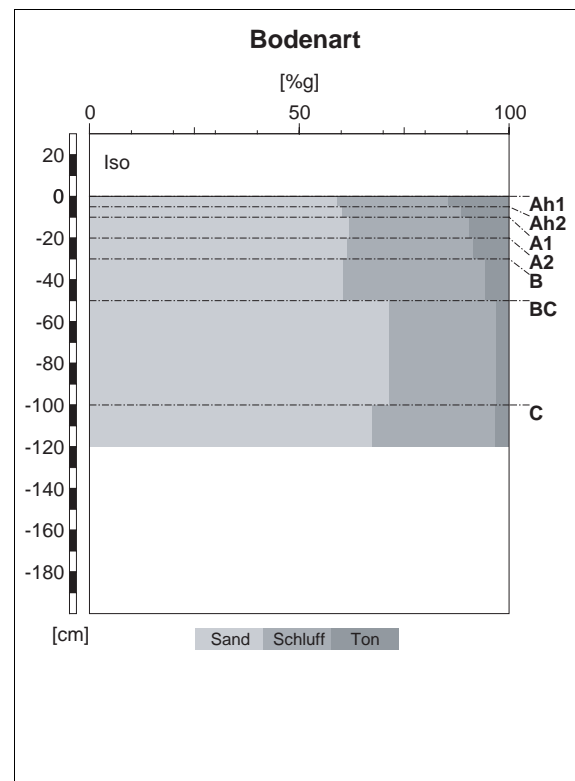


Abb. 99: Bodenart

Der Skelettgehalt nimmt nach unten kontinuierlich zu und übersteigt ab 80cm Tiefe die 50% Schwelle. Der Boden wird gesamthaft als stark skeletthaltig bezeichnet.

Die Feinerde setzt sich überwiegend aus Sand und viel Schluff zusammen, Ton ist nur wenig vorhanden. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen leichten Boden.

### Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 100 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 101 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

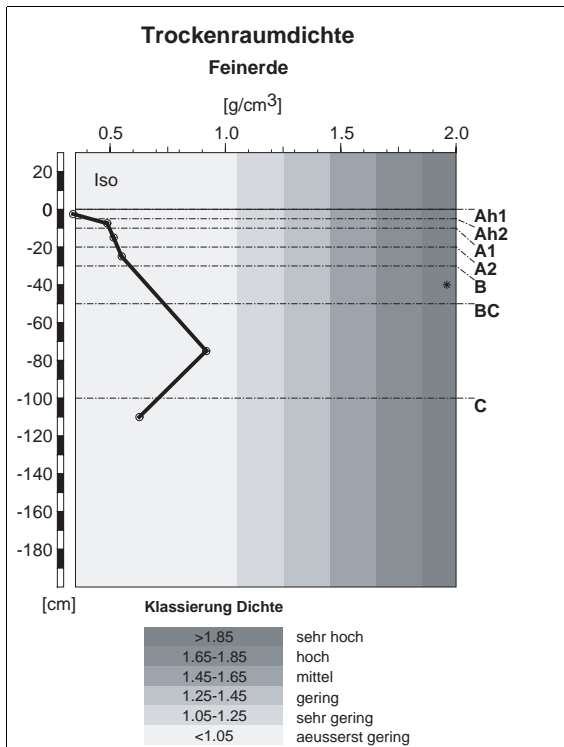


Abb. 100: Dichte der Feinerde

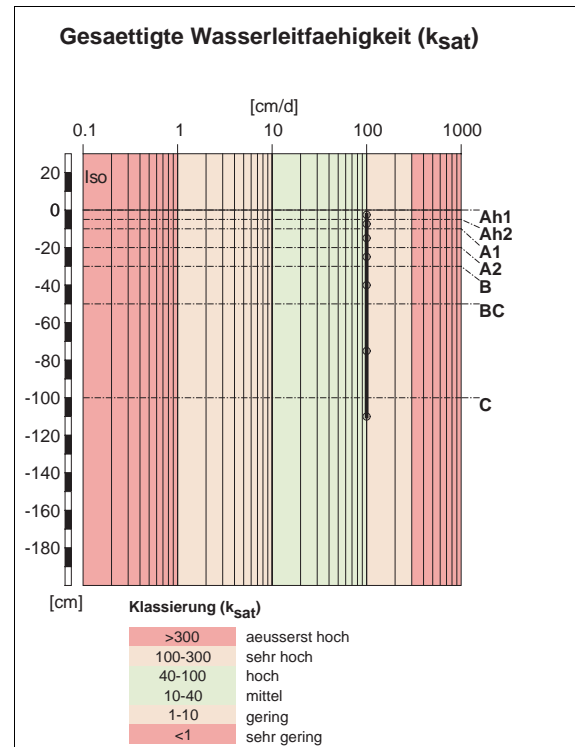


Abb. 101: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Die Dichte der Feinerde ist im gesamten Boden äusserst gering. Vor allem im humusarmen Unterboden ist die Dichte, verglichen mit anderen Böden auf Moränestandorten, extrem niedrig. Das Profil ist infolge geringer Dichte und niedrigem Tongehalt hochdurchlässig.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 102 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

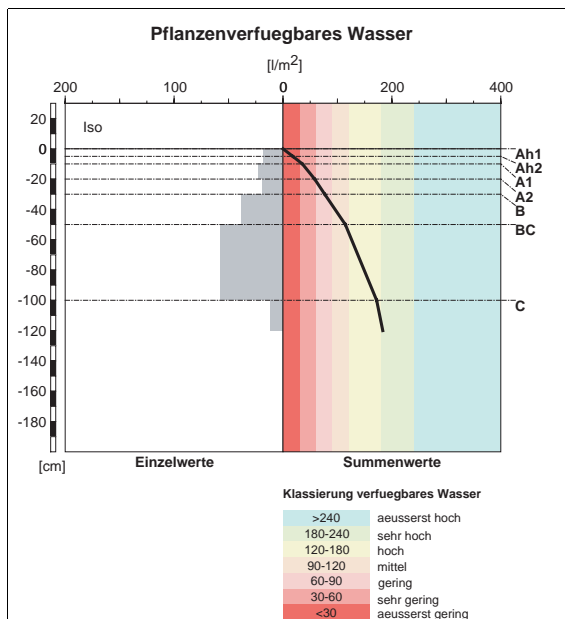


Abb. 102: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als hoch klassiert. Der hohe Humusgehalt und das günstige Verhältnis zwischen Sand- und Schluffanteil wirken sich positiv auf die Speicherkapazität aus. Es ist anzunehmen, dass der Wurzelraum nach unten offen ist.

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Im Profil sind keine morphologischen Vernässungsmerkmale erkennbar. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind also nicht zu erwarten. Unterstützt wird diese Einschätzung durch die Leitfähigkeitskurve, welche für das gesamte Profil eine hohe Durchlässigkeit angibt.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Im gesamten Profil ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Die Dichte der Feinerde liegt im gesamten Boden weit unter der als kritisch erachteten Grenze von  $1,4\text{kg/dm}^3$ . Der Boden wird als sehr tiefgründig (>120cm) klassiert. Er ist tiefer als 120cm durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von 120cm Mächtigkeit ist damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 25 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Da der Boden tiefer als 120cm durchwurzelt, kann Trockenstress auch später eintreten.

### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Oberboden ist nur wenig empfindlich für ein Befahren mit schweren Maschinen, da er recht viele Steine sowie viel Humus und Sand enthält.

Es wird jedoch trotzdem davon abgeraten, den Bestand mit schwerem Gerät zu befahren, weil mit Schäden am verbleibenden Bestand gerechnet werden muss.

### 2.2.6.3 Themenbereich "Säurezustand"

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 1 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

#### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 103), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 104) sowie der Basensättigung (Abb. 105) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.

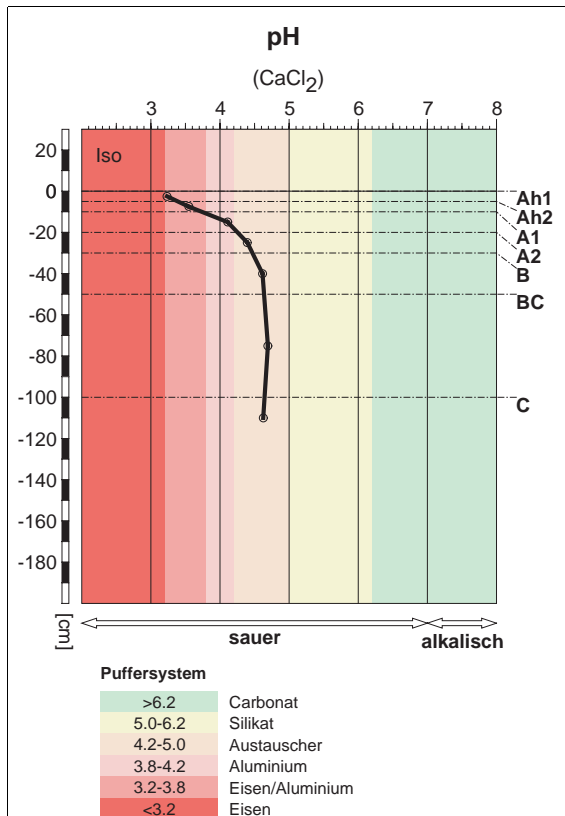


Abb. 103: pH-Wert und Pufferbereiche

Der Boden ist bis zum Ausgangsgestein stark sauer, die obersten 10cm sind sogar sehr stark sauer. Der pH-Wert nimmt von oben nach unten zuerst sehr deutlich zu, verharrt dann aber ab 50cm Tiefe bei einem Wert von rund 4.6.

Eingetragene Säuren werden im Boden in den obersten 10cm überwiegend durch organische Fe- und Al-Komplexe gepuffert. Zwischen 10 und 20cm Tiefe sind vor allem pedogene Al-Hydroxide als Puffer wirksam. Ab 20cm Tiefe werden Säuren überwiegend durch den Kationenaustauscher, zusätzlich aber auch durch Silikatverwitterung neutralisiert.



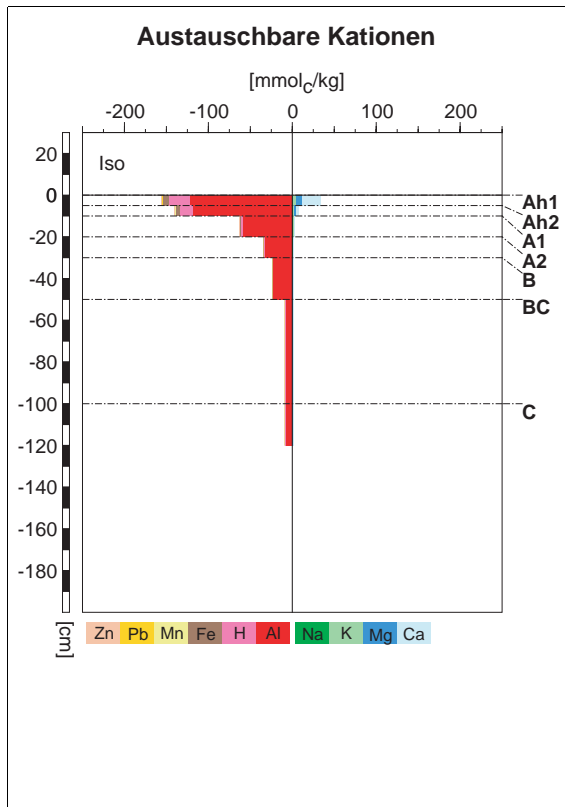


Abb. 104: Austauschbare Kationen

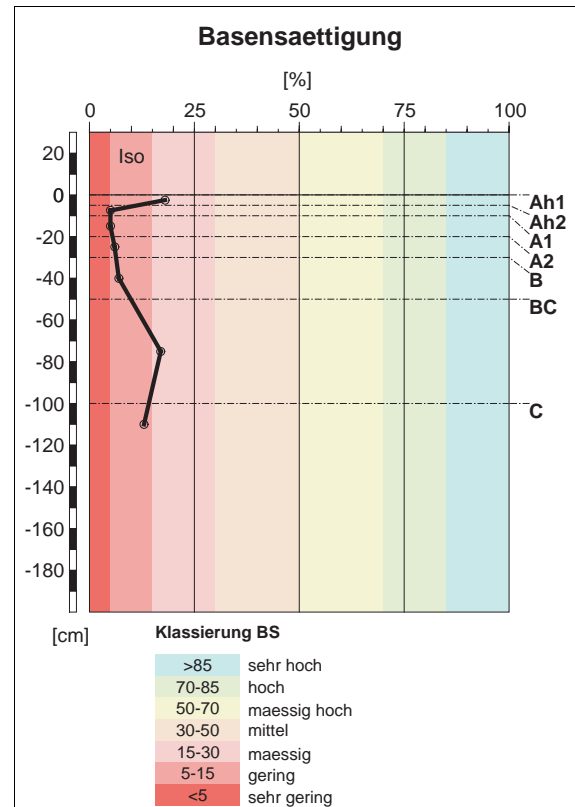


Abb. 105: Basensättigung

Im Oberboden ist der Austauscher bis in eine Tiefe von 10cm, entsprechend der hier wirksamen Pufferung durch organische Fe- und Al-Komplexe, überwiegend mit sauren Kationen, insbesondere Al belegt. Nur im Ah1-Horizont, also in den obersten 5cm, befinden sich trotz tiefem pH-Wert erhöhte Gehalte an Nährstoffkationen am Austauscher. Die Basensättigung ist hier im Vergleich zu den unmittelbar darunterliegenden Horizonten mit rund 20% deutlich erhöht.

Auch unterhalb von 10cm Tiefe ist der Austauscher überwiegend mit Al belegt, obwohl hier vor allem der Kationenaustauscher als Puffer wirkt. Bemerkenswert sind die sehr niedrigen Gehalte an austauschbaren Nährstoffkationen. Die Basensättigung beträgt rund 5 bis 15% und ist damit gering.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem kristallinen Ausgangsgestein eine Braunerde entwickelt. Der Grad der Versauerung ist in diesem Boden nur schwer abschätzbar, weil die Pufferungseigenschaften des Ausgangsgesteins nicht bekannt sind. Die Verläufe des pH-Wertes und der Basensättigung deuten jedoch darauf hin, dass der Boden stark versauert ist. Die Versauerung des Bodens ist vor allem in den obersten 50cm weit fortgeschritten, was sich am stark ausgeprägten pH-Gradienten und an der gegenüber dem Unterboden reduzierten Basensättigung erkennen lässt.

Obwohl der Boden profilumfassend sehr sauer reagiert, ist die Basensättigung im Oberboden deutlich erhöht, was durch die ständige Nachlieferung von Nährstoffen mit dem Streufall

erklärt werden kann. Diesen Effekt findet man allerdings nur in den obersten 5cm, obwohl der Boden bis 30cm Tiefe sehr humusreich ist. Dies deutet darauf hin, dass die organische Substanz vor allem im Ah1-Horizont mineralisiert wird, weiter unten jedoch in einer Form vorliegt, welche für die Bodenorganismen schlecht abbaubar ist. Altersdatierungen aus humusreichen Böden des Tessins (Kryptopodsol) haben ergeben, dass die organische Substanz hier sehr lange im Boden verweilt, also weitgehend resistent ist gegenüber biologischem Abbau.

Das Vorhandensein von austauschbarem Al ab 20cm Tiefe ist kaum durch Pufferung und damit durch Auflösung von Al-Hydroxiden, sondern durch Gesteinsverwitterung (Silikatverwitterung) bedingt. Die bei der Verwitterung freigesetzten Al-Ionen werden aufgrund ihrer hohen Wertigkeit vorzugsweise am Austauscher gebunden.

Dass in den obersten 10cm des Bodens tatsächlich eine Pufferung durch Fe-Hydroxide stattfindet, wird durch das am Austauscher vorhandene Fe belegt.

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird als empfindlich für eine weitere Versauerung beurteilt, zumal praktisch der gesamte Wurzelraum sehr sauer ist.

Der Abbau der organischen Substanz ist neben anderen Faktoren auch durch den tiefen pH-Wert gehemmt, so dass sich auf der LWF-Fläche mancherorts eine organische Auflage (Moder-Rohhumus) gebildet hat. Bei weiter fortschreitender Bodenversauerung wird diese Auflage noch mächtiger werden, wodurch die Versauerungsprozesse zusätzlich beschleunigt werden.

Bis in eine Tiefe von 20cm befindet sich der Boden im Fe/Al- oder Al-Pufferbereich, darunter im Austauscher-Pufferbereich. Eine fortschreitende Bodenversauerung hat zur Folge, dass am Austauscher die Verdrängung von kationischen Nährstoffen weitergehen wird. Dabei wird einerseits die Basensättigung abnehmen; andererseits wird sich die Zone mit niedriger Basensättigung in die Tiefe ausdehnen, wodurch eine verstärkte Nährstoffauswaschung aus dem gesamten Wurzelraum zu erwarten ist.

Das Baumwachstum dürfte bei einer weitergehenden Bodenversauerung durch die Verarmung an Nährstoffen sowie durch das enger werdenden BC/Al-Verhältnis im Wurzelraum beeinträchtigt werden. In der Bodenmatrix werden minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.06 erreicht. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird damit unterschritten. An diesem Buchenstandort besteht folglich ein Risiko für Al-Toxizität. Eine weitere Versauerung wird dieses Risiko zusätzlich vergrössern. Mit fortschreitender Bodenversauerung wird sich die nährstoffarme Risikozone ausdehnen und es vor allem den Jungbäumen erschweren, die Nährstoffe im etwas besser versorgten Unterboden zu erschliessen.

Eine zunehmende und tiefergreifende Versauerung erhöht das Risiko für die Tiefenverlagerung von Schwermetallen. Da an diesem Standort nicht nur der Boden, sondern auch der Untergrund sauer reagiert, wird das Risiko einer Grundwasserkontamination schon zum aktuellen Zeitpunkt und erst recht bei weiter fortschreitender Versauerung als hoch eingestuft.

#### **2.2.6.4 Themenbereich “Schwermetalle“**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Die VBBo-Richtwerte gelten bei einem Humusgehalt <15% in mg/kg, ansonsten in mg/dm<sup>3</sup>. In den Abbildungen, in welchen die Tiefenverteilung der Schwermetalle dargestellt ist, sind die Gehalte in mg/kg angegeben. Für die Schwermetallgehalte in mg/dm<sup>3</sup> (Ah1-, Ah2- und A1-Horizont) wird auf die Datentabelle im Anhang verwiesen.

Obwohl am Profilort Moränematerial und Hangschutt vorhanden sind, ist das Ausgangsgestein der Lithofazies 7 (Quarzite des Grundgebirges) zugeteilt. Diese bildet den Sockel unter der LWF-Fläche.

##### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus Gneis-Hangschutt besteht, liegen die Gehalte aller erfassten Schwermetalle oberhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 7 (Quarzite des Grundgebirges).

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet der Alpen, ausserordentlich hohe Gehalte an Cu, sehr hohe Gehalte an Cr und Ni sowie hohe Zn-Gehalte vor. Der Pb-Gehalt dagegen ist niedrig.

##### Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 106 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 107 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als “Δ“, die Richtwerte der VBBo als “◇“ markiert.

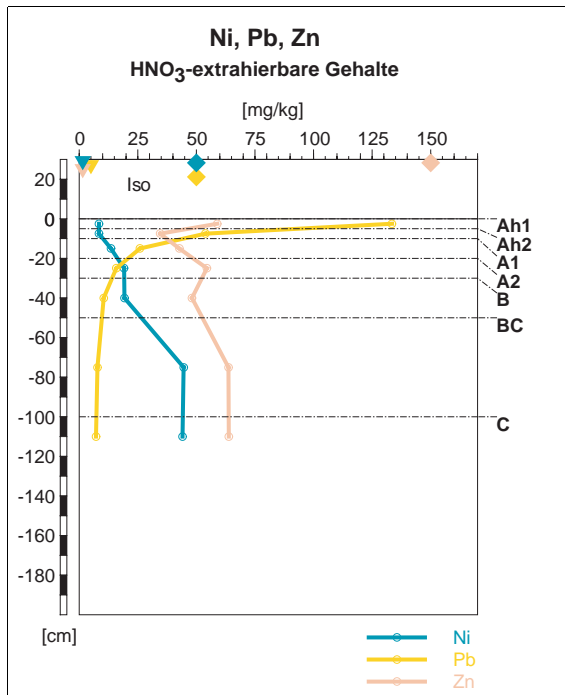


Abb. 106: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

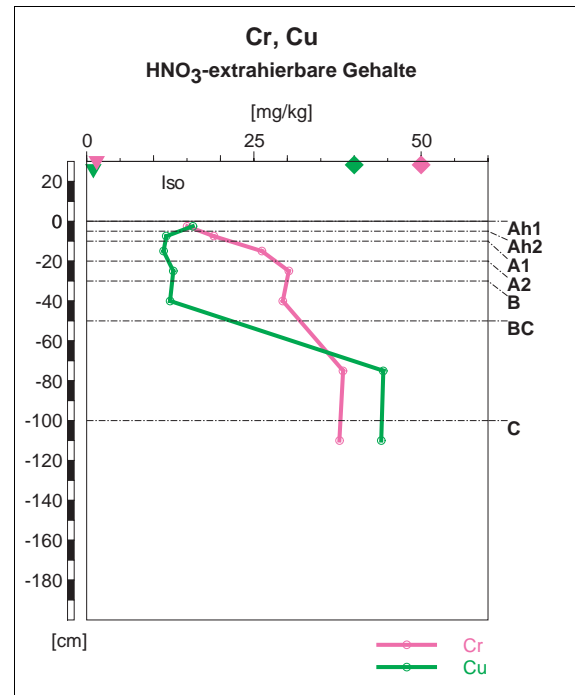


Abb. 107: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen für Zn, je nach Horizont, sehr niedrige bis niedrige Gehalte vor. Grosse Gehaltsspektren weisen die Elemente Cr, Ni und Pb auf. Je nach Horizont sind ihre Gehalte sehr niedrig bis hoch. Das grösste Spektrum weist Cu auf, welches im Oberboden sehr niedrige und im Unterboden sehr hohe Gehalte verzeichnet.

Für Cu wird der Richtwert leicht überschritten, allerdings nur unterhalb 50cm Tiefe.

#### Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den Mineralerdehorizonten bis 10cm Tiefe werden Cr- und Pb-Gehalte erreicht, welche für die Bodenfauna von Waldböden als kritisch erachtet werden. Die kritischen Werte werden allerdings nur leicht überschritten.

#### Anreicherungs-faktoren

Die Anreicherungs-faktoren sind in Tab. 44 dargestellt.

Tab. 44: Anreicherungs-faktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungs-faktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Ah1	0	- 5	12.66	1.27	0.44	0.38	0.58
Ah2	5	- 10	4.88	0.70	0.28	0.32	0.93
A1	10	- 20	2.28	0.69	0.28	0.43	0.70
A2	20	- 30	2.20	1.08	0.37	0.42	1.13
B	30	- 50	1.27	0.86	0.32	0.61	0.92
BC	50	- 100	0.95	0.80	0.57	1.02	0.84
C	100	- 120	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Die extrem hohen Anreicherungs-faktoren von Pb in den obersten 30cm weisen auf atmo-gene Einträge hin.

Die Anreicherungs-faktoren von Cu und Ni lassen vermuten, dass diese beiden Schwer-metalle aus dem Oberboden in tiefere Schichten verlagert wurden. Eine deutlich ausgeprägte Anreicherungs-zone im Unterboden kann allerdings nicht festgestellt werden. Bei Zn und Cr

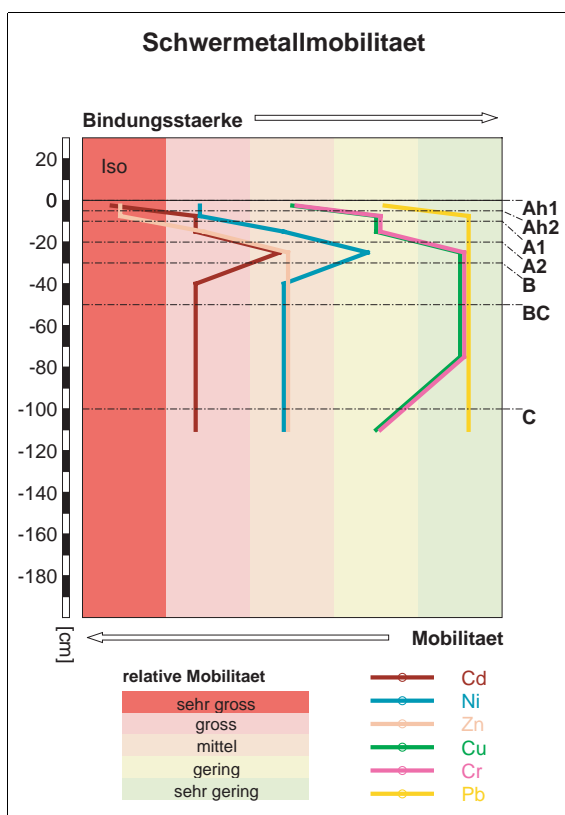
kommt die Verarmung im Oberboden anhand der Anreicherungsfaktoren nur undeutlich zum Ausdruck. Aufgrund der Schwermetallverteilung muss in diesem Profil mit Podsolierungsprozessen gerechnet werden, obwohl die morphologischen Merkmale im Bodenprofil kaum Hinweise darauf geben.

Für Pb ist bis 30cm Tiefe sehr deutlich eine anthropogene Belastung zu erkennen.

Die Richtwertüberschreitung von Cu ist nicht anthropogen, sondern lithogen bedingt, wie die Anreicherungsfaktoren dieses Elementes belegen. Dieser Befund wird auch durch die Beurteilung der lithogenen Grundgehalte unterstützt, welche zeigt, dass die Schwermetallgehalte im Ausgangsgestein vergleichsweise hoch sind. Es ist jedoch zu bedenken, dass der Richtwert für Cu möglicherweise nur aufgrund der Verlagerung von Cu in den Unterboden überschritten wird, das heisst, dass auch Bodenprozesse für die Überschreitung verantwortlich sind.

### Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 108.



Gemäss den Mobilitätsindices lassen sich die Schwermetalle in zwei Gruppen einteilen. Relativ mobil sind Cd, Ni und Zn, wenig mobil dagegen Cr, Cu und Pb.

Die im Bodenwasser gelösten organischen Stoffe dürften hier aber einen modifizierenden Einfluss auf die Mobilität der Schwermetalle gemäss Mobilitätsindices ausüben. Die bis in grosse Bodentiefen vorhandenen, relativ hohen Humusgehalte dürften in diesem sauren Boden nämlich weniger auf biologische Aktivität als vielmehr auf Verlagerung und Einwaschung von organischer Substanz mit dem Bodenwasser, und damit auf Podsolierungsvorgänge zurückzuführen sein. Dementsprechend hoch dürfte auch die Mobilität der meisten Schwermetalle sein.

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort relativ gross, zumal der Boden extrem wasserdurchlässig ist und bis in grosse Tiefen sauer reagiert.

Abb. 108: Mobilität von Schwermetallen

### 2.2.6.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Das verbreitete Vorkommen einer organischen Auflage und eines sauren, extrem humusreichen Oberbodens lassen eine geringe Nährstoffverfügbarkeit erwarten. Der Abbau der organischen Substanz ist in diesem Boden ganz offensichtlich gehemmt. Es gelingt den Bodenorganismen nicht, die anfallende, recht schwer abbaubare Buchenstreu innert Jahresfrist vollständig zu zersetzen. Die Mächtigkeit der organischen Auflage variiert auf der LWF-Fläche. Mull ist zwar die häufigste Humusform, zusammengerechnet nehmen Moder und Rohhumus jedoch die grössere Fläche ein. Für den gehemmten Abbau dürften an diesem nordexponierten Standort der extrem saure Oberboden, die schwer abbaubare Streu und das niederschlagsreiche, insubrische Klima verantwortlich sein.

Das C/N-Verhältnis in den obersten 5cm der Mineralerde beträgt rund 17 und liegt damit, gemäss Literaturangaben, im Übergangsbereich vom Mull zum Moder. Das als mittel klassierte C/N-Verhältnis lässt eine nur mittlere (etwas gehemmte) Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit recht gut in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen.

### Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 109) und die Austauschbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 110).

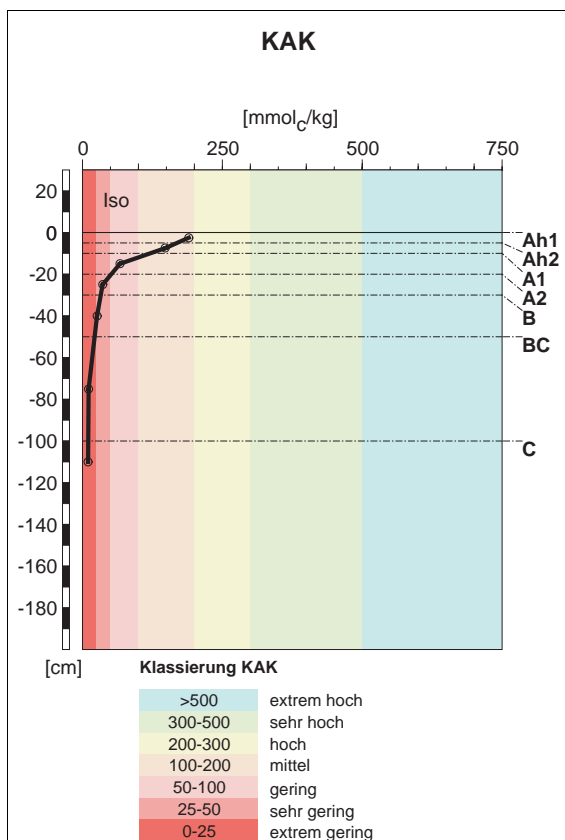


Abb. 109: Kationenaustauschkapazität (KAK)

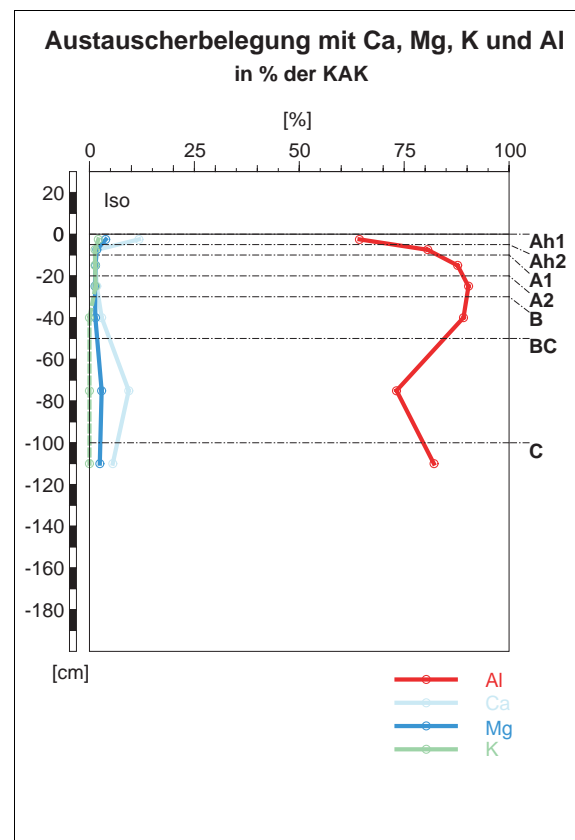


Abb. 110: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Der Verlauf der KAK weist im Profil einen deutlichen Gradienten auf. Im humosen Oberboden ist die KAK gering bis mittel, darunter extrem gering.

Infolge der stark sauren Verhältnisse dominiert Al profilumfassend am Kationenaustauscher. Die Al-Belastung liegt zwischen 60 und 90%. Die Belegung mit Nährstoffkationen (Ca, Mg, K) ist im gesamten Profil auffallend gering.

## Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Grösse der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 111 bis 113 dargestellt.

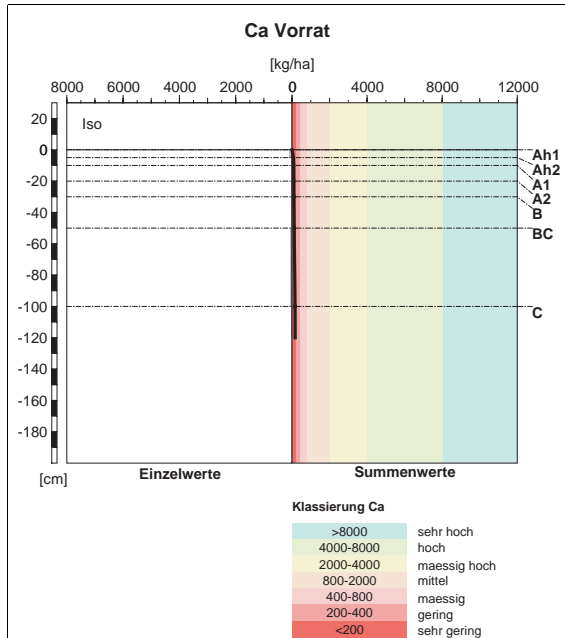


Abb. 111: Calcium-Vorrat

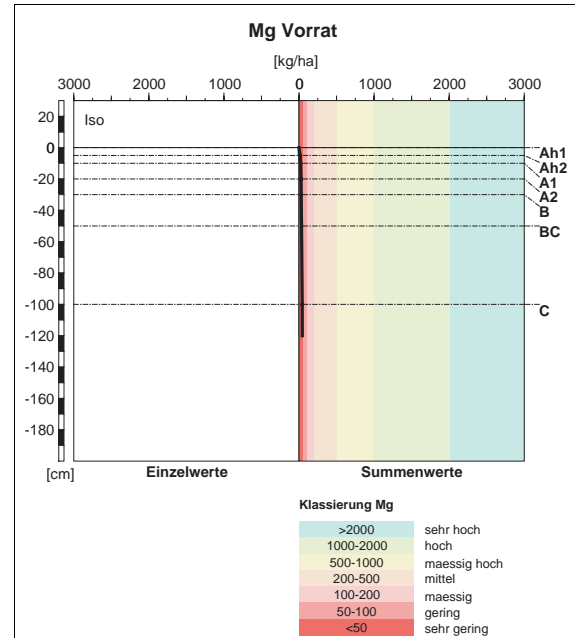


Abb. 112: Magnesium-Vorrat

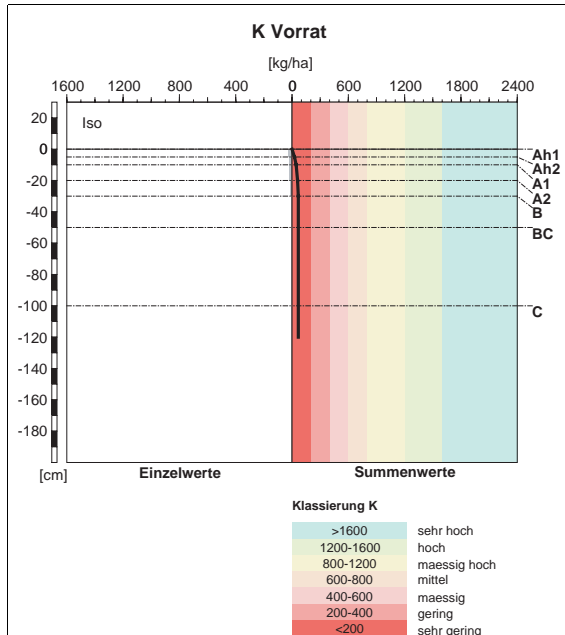


Abb. 113: Kalium-Vorrat

Die Vorräte aller Nährstoffkationen nehmen mit der Tiefe nur ausserordentlich langsam zu.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca sehr gering
- Mg sehr gering
- K sehr gering

Der Boden ist bis mindestens 120cm Tiefe durchwurzelt. Damit wird der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt. Aber selbst bis 120cm Tiefe sind die Vorräte an Nährstoffkationen durchwegs sehr gering:

- Ca sehr gering
- Mg sehr gering
- K sehr gering

Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als kritisch beurteilt.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen günstige Bedingungen vor (siehe Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte").

### 2.2.6.6 Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 1 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 45) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 45: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Isona

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	1240m
Exposition	NE
Neigung	58%
Klima	
Jahresniederschlag	1819mm
Jahrestemperatur	7.5°C
Ausgangsgestein	Mischung aus carbonatfreiem Moränematerial und kristallinem Gehängeschutt
Baumbestand	
Struktur	mehrheitlich einschichtig (ehemaliger Niederwald)
Schlussgrad	95%
Baumarten (Deckung)	85% Buche, 3% Birke
Oberhöhe	rund 15m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 4: Farnreicher Schneesimsen-Buchenwald
<b>Bodenkennwerte</b> (beziehen sich auf das Profil Nr. 1)	
Bodensystematik	
Bodentyp	Braunerde
Bodentyp (LWF-Fläche)	Braunerde-Kryptopodsol (überwiegend Braunerde)
Humusform	Mull
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-Rohhumus (überwiegend Mull)
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	Im Profil sind keine morphologischen Vernässungsmerkmale vorhanden. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind nicht zu erwarten.
Durchwurzelung	Im Profil (120cm) ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Der Boden wird physiologisch als sehr tiefgründig klassiert. Er ist bis mindestens 120cm Tiefe



pflanzenverfügbares Wasser	durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird damit vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.  Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als hoch klassiert. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen ist an diesem Standort kaum je mit Trockenstress für die Bäume zu rechnen.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	Der Boden ist bis auf das Ausgangsgestein hinunter stark sauer. Es ist keine Kalkgrenze vorhanden.
Al-Toxizität	In der Bodenmatrix werden minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.06 erreicht. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird im ganzen Bodenprofil unterschritten. Es besteht folglich ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Das als mittel klassierte C/N-Verhältnis lässt eine nur mittlere (etwas gehemmte) Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten, was durch das Vorkommen der Humusform Moder bestätigt wird.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelt Boden (120cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als sehr gering klassiert. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen günstige Bedingungen vor.
Verankerung	Da die Buchen diesen Boden tief durchwurzeln und keine Limiten für das Wurzelwachstum erkennbar sind, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes als günstig beurteilt.
Befahrbarkeit	Der Oberboden ist nur wenig empfindlich für ein Befahren mit schweren Maschinen, da er recht viele Steine sowie viel Humus und Sand enthält.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der Bestand ist ein nahezu reiner Buchen-Niederwald. Die Baumartenmischung des aktuellen Bestandes wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als weitgehend standortgerecht bezeichnet. Die vereinzelt eingesprengten Birken werden sich längerfristig nicht halten können. Sie stammen aus der Zeit, in welcher der Bestand als Niederwald bewirtschaftet wurde (Köhlerei, Alpbewirtschaftung).

Wir können davon ausgehen, dass die vorhandenen Baumarten die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten gut nutzen.

Im Streueintrag überwiegt in diesem Wald seit Jahrzehnten Buchenlaub. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

#### *Keimbeet, Anwuchs- und Aufwuchsphase*

An diesem Standort ist die Baumartenauswahl durch klimatische Einflüsse und Nährstoffarmut des Bodens eingeschränkt. In den standortkundlichen Grundlagewerken sind für den vorliegenden Standort folgende Baumarten als standortgerecht aufgeführt: Buche, Tanne und Fichte sowie Vogelbeere in der Strauchschicht.

Aus bodenkundlicher Sicht sollten Buche, Vogelbeere und Tanne bevorzugt werden. Der heute rund zwei Zentimeter mächtige F-Horizont würde durch Einbringen eines zu hohen Fichtenanteils im Verlaufe der Zeit anwachsen. Dadurch würden grössere Nährstoffmengen in

der organischen Auflage blockiert, welche dann mittelfristig nicht für das Pflanzenwachstum verfügbar wären.

Umgekehrt kann durch Einbringen von geeigneten Laubhölzern eine noch besser abbaubare Streumischung und damit eine schnellere Mineralisierung von Nährstoffen erzielt werden. Da Laubstreu generell weniger sauer wirkt als Nadelstreu, kann mit der Erhaltung eines hohen Laubholzanteils längerfristig das Risiko von durch Al-Toxizität verursachten Wurzelschäden verringert werden.

#### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 46):

Tab. 46: Baumartenempfehlung

<b>Hauptbaumarten</b>	Buche, Tanne
<b>Baumarten im Nebenbestand oder beigemischt</b>	Bei erhöhtem Nadelholzanteil können geeignete Baumarten als Bodenverbesserer eingebracht werden. Mögliche Baumarten sind Buche, Vogelbeere, Mehlbeere, Birke und Grünerle.

## 2.2.7 LWF-Fläche Jussy (Bodenprofil Nr. 1)

### 2.2.7.1 Themenbereich “Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie“

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 1 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Jussy und zum Bodenprofil Nr. 1

Die Tab. 47 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Jussy und zum Profil Nr. 1. Die Tab. 48 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 47: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Jussy und zum Profil Nr. 1

<b>Lokalname</b>	Les Grands Bois (Gemeinde Jussy, Kt. GE)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1301, Genève
	Koordinaten 511 454 / 120 471
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 35: Waldlabkraut-Hainbuchenmischwald ( <i>Galio silvatici-Carpinetum</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-AG1-AG2-BG1-BG2-BG3-Go,r
<b>Humusform</b>	Feuchtmull
<b>Bodentyp</b>	Braunerde, verglejt, grundnass
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Eutric Gleysol

Tab. 48: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 1

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	500m	
	Exposition	-	
	Neigung	3%	
	Geländeform	Ebene	
<b>Ausgangsgestein</b>	Kartengrundlagen	Quartär. Würmmoräne. Grundmoräne.	
	Beobachtung am Profilort	Sehr tonreiches Substrat.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	9.5°C / 960mm	
	T / N Januarmittel	0.7°C / 76mm	
	T / N Julimittel	19.0°C / 69mm	
	Tage mit Schneedecke	25	
	Wärmegliederung	sehr mild	
	Länge der Vegetationsperiode	210-215 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (20m Höhe)	95%	85% Hagebuche ( <i>Carpinus betulus</i> ) 35% Stieleiche ( <i>Quercus robur</i> ) 35% Zitterpappel ( <i>Populus tremula</i> )
	Strauchschicht	10%	-
	Krautschicht	60%	Rasenschmiele ( <i>Deschampsia caespitosa</i> ) Echter Waldmeister ( <i>Galium odoratum</i> ) Gundelrebe ( <i>Glechoma hederacea</i> ) Berg-Goldnessel ( <i>Lamium montanum</i> ) Gamander-Ehrenpreis ( <i>Veronica chamaedrys</i> )
	Moosschicht	1%	-

#### Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit H1 (tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung, leicht gewellte Plateaus und Hangterrassen, Ostschweiz und Genferseege-

biet). H1 stellt 216 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 1.8% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

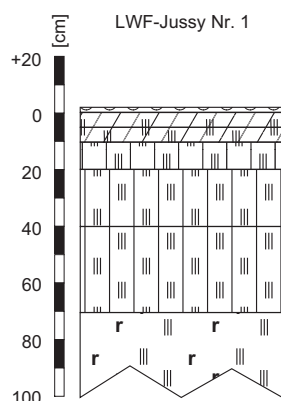
### Besonderheiten am Profilort

keine

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 49 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 49: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 1



Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
L	1-0	-	-	-	-	-	-	-
AG1	0-5	sehr schwach	tU	Krümel	locker	Rostflecken	10 YR 3/2	schwach
AG2	5-10	sehr schwach	tU	Subpolyeder	mittel	Rostflecken	10 YR 4/2	schwach
BG1	10-20	schwach	tU	Polyeder	mittel	Rostflecken	10 YR 5/2	schwach
BG2	20-40	schwach	tU	Polyeder	mittel	Konkretionen Rostflecken Marmorierungen	10 YR 5/2	schwach
BG3	40-70	schwach	tL	Polyeder	dicht	alle Merkmale	10 YR 4/1	schwach
Go,r	> 70	mittel	tL	Fragmente	dicht	alle Merkmale	10 YR 5/1	schwach

Das Fehlen einer organischen Auflage deutet darauf hin, dass die biologische Aktivität hoch ist. Die überwiegend von Hagebuche und Eiche stammende Streu wird innerhalb eines Jahres abgebaut. Mit der Horizontfolge L-AG wird die Humusform als Feuchtmull klassiert.

Im rund 1m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch sechs Horizonte mit folgender Abfolge erkennen: AG1-AG2-BG1-BG2-BG3-Go,r. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als vergleyte, grundnasse Braunerde klassiert. Vernässungsercheinungen sind im gesamten Bodenprofil dominant. Die Vernässung wird überwiegend durch Grundwasser verursacht.

### *Besonderheiten des Profils*

Die Kalkgrenze verläuft in 70cm Tiefe. Im Profil sind trotz Vernässung offensichtlich keine unüberwindbaren Grenzen für das Wurzelwachstum vorhanden.

Obwohl im Profil einzelne Merkmale einer Pseudovergleyung erkennbar sind (Marmorierungen), wurde der Boden als vergleyt klassiert. Aufgrund der vorhandenen hydromorphen Merkmale sind wir der Meinung, dass in diesem Boden die Bedeutung des Grundwassers größer ist als jene des Stauwassers.

Der Boden wurde bis 40cm Tiefe nicht nach Horizonten, sondern, entsprechend dem europäischen Monitoringstandard, nach fixen Tiefenstufen beprobt. Unterhalb 40cm wurde das Profil nach Horizonten beprobt.

### **2.2.7.2 Themenbereich “Physikalische Bodenkennwerte“**

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 1 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

## Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

### Skelettgehalt und Bodenart

In Abb. 114 ist der Skelettgehalt und in Abb. 115 die Bodenart dargestellt.

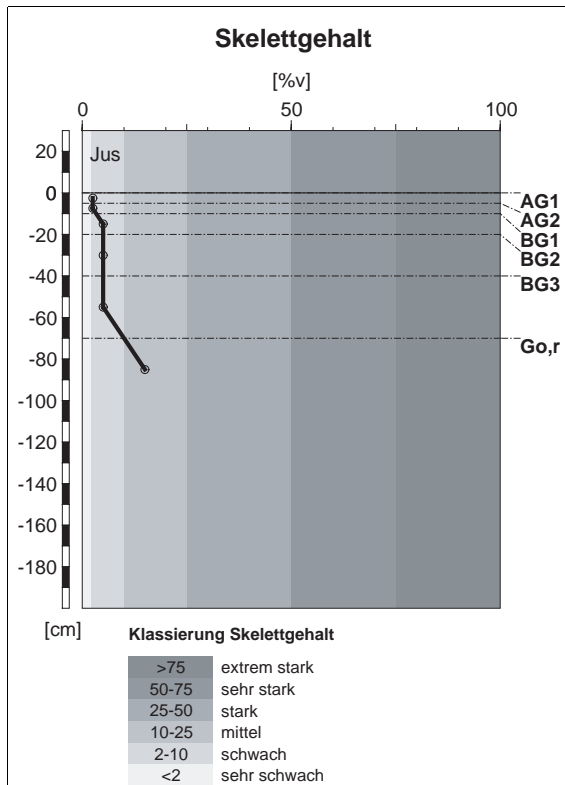


Abb. 114: Skelettgehalt

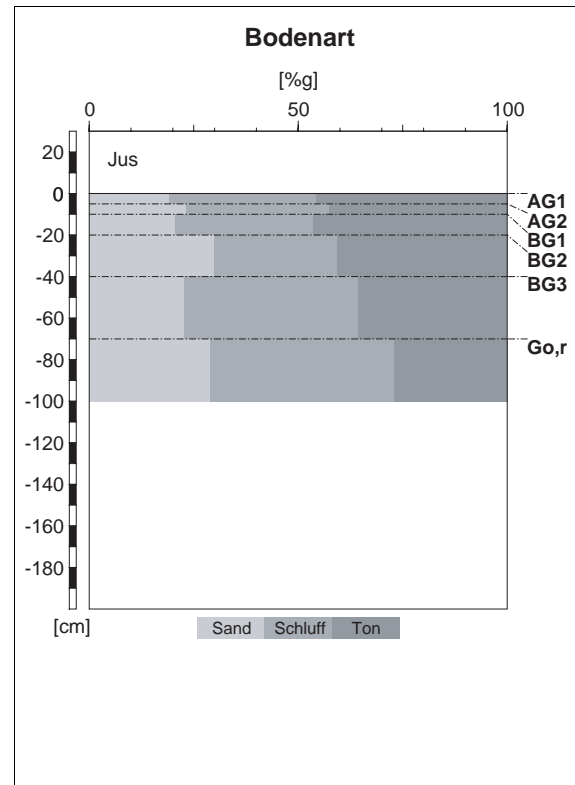


Abb. 115: Bodenart

Der Boden wird insgesamt als schwach skeletthaltig beurteilt. Unterhalb der Kalkgrenze, also im weitgehend unverwitterten Unterboden, ist der Skelettgehalt etwas grösser.

Es handelt sich hier um einen relativ feinkörnigen Boden mit hohem Tonanteil. Der Sandgehalt liegt im gesamten Profil unter 30%. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen schweren Boden.

## Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 116 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 117 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

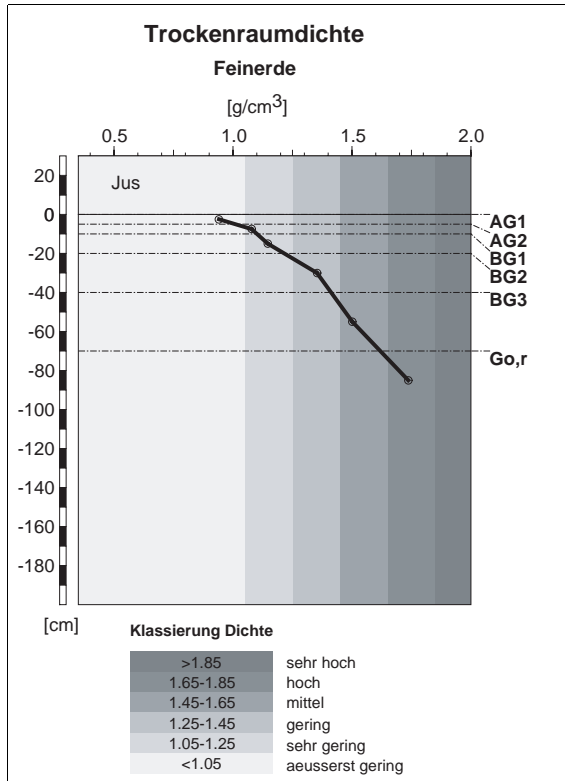


Abb. 116: Dichte der Feinerde

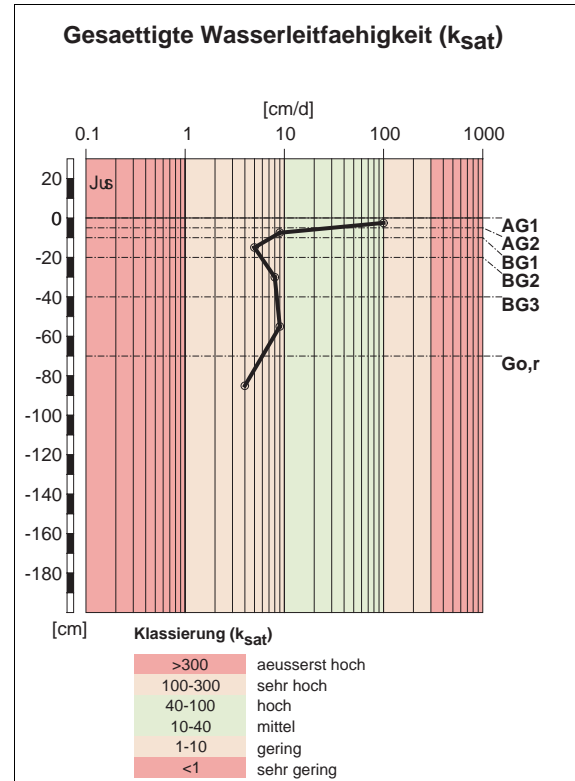


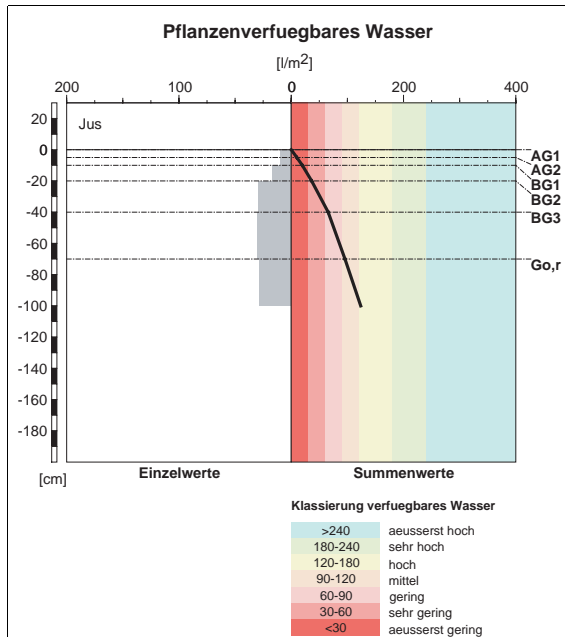
Abb. 117: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Der Oberboden ist aufgrund seines Humusgehaltes und Gefüges sehr locker gelagert. Die Dichte der Feinerde nimmt zur Tiefe hin ausserordentlich rasch zu und erreicht im Unterboden mit 1.74kg/dm<sup>3</sup> einen ungewöhnlich hohen Wert. Die Verdichtung im Unterboden dürfte mit dem geologischen Ausgangsgestein in Zusammenhang stehen, welches hier als Grundmoräne vorliegt. In der Würmeiszeit war die Region von dicken Eismassen begraben, wobei der Untergrund besonders stark zusammengesprengt wurde.

Die Leitfähigkeit ist im gesamten Profil infolge hohen Tongehaltes und relativ grosser Dichte gering. Im stark verdichteten CG-Horizont ist die Leitfähigkeit am kleinsten.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 118 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.



Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe ist trotz geringem Skelettgehalt nur mässig hoch. Der hohe Tongehalt und die grosse Bodendichte wirken sich negativ auf die Speichermenge von pflanzenverfügbarem Wasser aus. Die Gründigkeit dieses Bodens ist nicht bekannt.

Abb. 118: Pflanzenverfügbares Wasser

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

In diesem Profil sind Vernässungserscheinungen offensichtlich. Sie treten ab einer Tiefe von rund 10cm auf. Im Oberboden ist die Vernässung jedoch nur schwach, was an der Humusform Mull ersichtlich ist. Für stark vernässte Oberböden sind anmoorige Humusformen typisch.

Zur Tiefe hin sind viele verschiedene hydromorphe Merkmale im Profil vorhanden, was auf wechselnde Wassersättigungsphasen in diesen Bodenpartien schliessen lässt. Eine regelmässige Verbraunung fehlt, was ebenfalls bezeichnend ist für hydromorphe Böden.

Die Vernässung wird vermutlich durch eine Kombination von Stau- und Grundwasser verursacht, denn der Boden zeigt hydromorphe Merkmale sowohl von Pseudogley- als auch von Gleyböden. Der stark verdichtete, relativ tonreiche Untergrund ist nur schwach wasserdurchlässig (Abb. 117), so dass er einsickerndes Regenwasser staut. Nach Aussagen des lokalen Forstdienstes ist der Grundwasserspiegel während den Wintermonaten relativ hoch, so dass der Boden dann nicht nur durch Stau- sondern auch durch Grundwasser beeinflusst wird.

Der Boden weist bezüglich Vernässung grosse saisonale Schwankungen auf, was durch periodisch durchgeführte Saugspannungsmessungen belegt wird. In der Vegetationszeit trocknet der Boden stark aus, im Winter ist er weitgehend wassergesättigt.

Der Boden wird aufgrund der beobachteten Vernässungsmerkmale als vergleht und stark grundnass klassiert.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Bis mindestens 100cm Tiefe ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Die Vernässung und damit einhergehende mangelnde Durchlüftung während der Vegetationsruhe vermag die im Sommer wachsenden Wurzeln offensichtlich nicht zum Absterben zu bringen. Der Unterboden ist trotz seiner grossen Dichte durchwurzelt, wenn auch nur spärlich. Erfahrungswerte zeigen, dass das Wurzelwachstum ab einer Dichte von  $1.8\text{kg/dm}^3$  an seine Grenze stösst. Wir vermuten, dass die Gründigkeit des Bodens etwas mehr als einen Meter beträgt.

Der Boden wird damit als sehr tiefgründig klassiert. Er ist tiefer als 100cm durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von 120cm Mächtigkeit ist damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 20 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Falls der Boden noch tiefer als 120cm durchwurzelbar sein sollte, kann Trockenstress auch später eintreten. In der Vegetationszeit dürfte der stauende Untergrund während Trockenperioden positive Auswirkungen auf die Wasserversorgung der Bäume haben, indem er Sickerwasser im Wurzelraum zurückhält.

Das Fehlen der Buche auf diesem Standort dürfte einerseits mit der ausgeprägten und lange dauernden Vernässung während der Vegetationsruhe, andererseits mit der periodischen Austrocknung des Bodens bis in grosse Tiefen während der Vegetationszeit zusammenhängen. Stark schwankenden Verhältnisse im Bodenwasserhaushalt verträgt die Buche erfahrungsgemäss schlecht. Dass der Boden an diesem Standort im Sommer effektiv bis in grosse Tiefen austrocknet, zeigen die periodisch durchgeführten Saugspannungsmessungen in den Jahren 1996-2001 (Daten hier nicht gezeigt). In dieser Periode fielen während der Vegetationszeit im Vergleich zu den langjährigen monatlichen Minimalwerten (25% Quantil  $\approx 100\%$ ) folgende monatlichen Summen (Station Genève-Cointrin (420 M.ü.M.; 498580/122320; Messperiode 1962-2002); Daten Meteo Schweiz, bearbeitet durch M. Rebetez):

	Mai		Juni		Juli		August		September	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
<b>1996</b>	76	147	96	186	127	264	90	164	31	68
<b>1997</b>	117	226	164	318	140	290	54	99	45	100
<b>1998</b>	19	37	68	131	77	159	30	54	173	382
<b>1999</b>	83	160	98	189	87	180	123	224	153	337
<b>2000</b>	53	102	23	45	121	250	109	200	105	233
<b>2001</b>	74	142	127	246	108	224	73	133	97	213

Im langjährigen Vergleich relativ niederschlagsarm (Niederschlagsmengen  $<25\%$  Quantil ( $\approx 100\%$ )) waren im Jahr 1996 der Monat September, im Jahr 1998 die Monate Mai und August und im Jahr 2000 der Monat Juni. Wie die Saugspannungsmessungen belegen, trocknet der Boden in solchen niederschlagsarmen Perioden stark und tiefgründig aus.

### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil gering und der Ton- und Schluffanteil hoch sind. Vor allem im Winter ist das Befahren aus bodenökologischer Sicht problematisch, weil der Boden dann meistens wassergesättigt ist und nur oberflächlich gefriert.

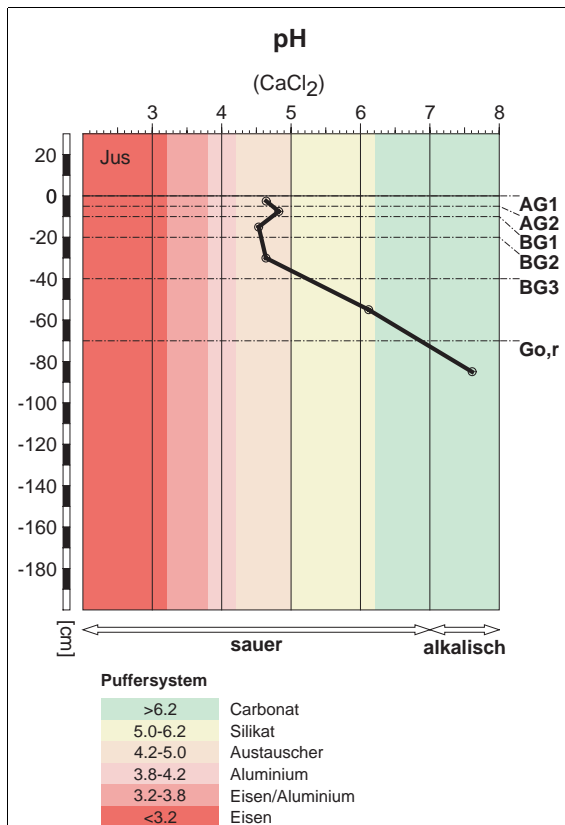


### 2.2.7.3 Themenbereich "Säurezustand"

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 1 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

#### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 119), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 120) sowie der Basensättigung (Abb. 121) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.



Der Boden ist bis 40cm Tiefe stark sauer, darunter nimmt der pH-Wert rasch zu. Er erreicht beim Übergang zum kalkhaltigen Moränematerial in 70cm Tiefe Werte von über 7 und liegt damit im alkalischen Bereich.

Eingetragene Säuren werden im Boden bis 40cm Tiefe überwiegend durch den Kationenaustauscher, zusätzlich aber auch durch Silikatverwitterung gepuffert. Zwischen 40 und 70cm dominiert die Silikatverwitterung. Im unverwitterten Ausgangsgestein, und damit ab rund 70cm Tiefe, werden eingetragene Säuren durch Carbonatverwitterung neutralisiert.

Abb. 119: pH-Wert und Pufferbereiche

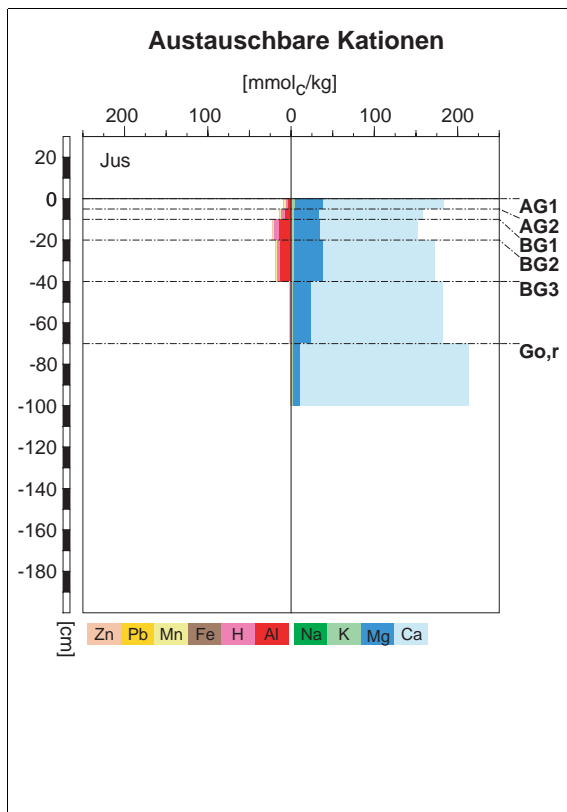


Abb. 120: Austauschbare Kationen

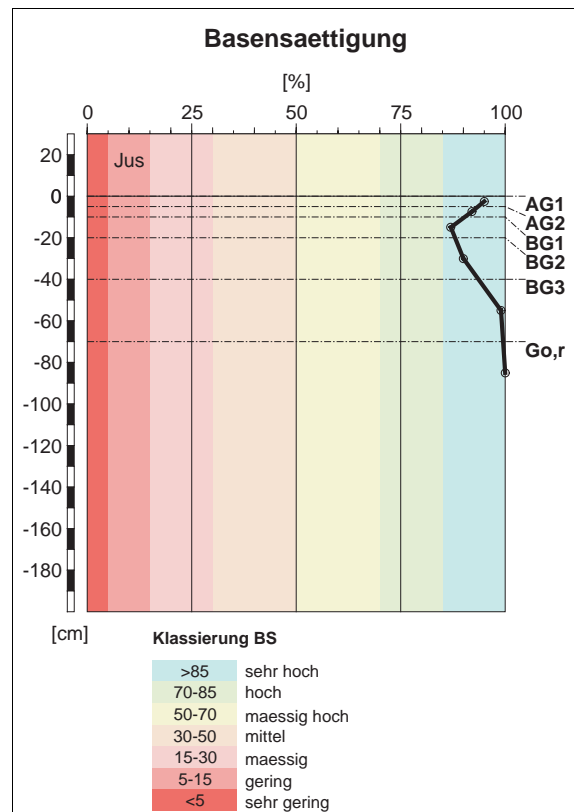


Abb. 121: Basensättigung

Der Austauscher ist im gesamten Profil überwiegend mit Nährstoffkationen belegt. Die Basensättigung liegt im gesamten Profil über 85% und ist damit sehr hoch. Bis in eine Tiefe von 40cm sind auch saure Kationen, insbesondere Al, am Austauscher vorhanden.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem carbonathaltigen Ausgangsgestein (Würmmoräne) eine vergleyte Braunerde entwickelt.

Der Boden ist nur mässig versauert. Dies lässt sich daran erkennen, dass nur die obersten 40cm des Bodens einen deutlich erniedrigten pH-Wert haben. Die geringe Tiefe der Kalkgrenze und die profulumfassend hohe Basensättigung deuten ebenfalls auf eine nur mässige Versauerung hin. Die Kalkgrenze verläuft heute in einer Tiefe von 70cm, was bedeutet, dass das ursprünglich vorhandene Carbonat bis in diese Tiefe für die Säurepufferung aufgebraucht worden ist.

Nährstoffkationen werden bis in eine Tiefe von 40cm durch saure Kationen, insbesondere Al, vom Austauscher verdrängt. Dies wird durch die reduzierte Basensättigung belegt.

Obwohl der Oberboden sauer ist, beträgt die Basensättigung in den obersten 10cm nahezu 100%. Dies lässt sich mit der ständigen Nährstoffnachlieferung durch den Streufall erklären.

Das Vorhandensein von austauschbarem Al ist in diesem Boden nicht durch Pufferung und damit durch Auflösung von Al-Hydroxiden, sondern durch Gesteinsverwitterung (Silikatverwitterung) bedingt. Die bei der Verwitterung freigesetzten Al-Ionen werden aufgrund ihrer hohen Wertigkeit vorzugsweise am Austauscher gebunden.

Es wird vermutet, dass in diesem Boden die periodisch auftretenden Vernässungsphasen einer Versauerung entgegenwirken. In gesättigten Phasen werden nämlich im nährstoffreichen Grundwasser enthaltene Nährstoffkationen an den Austauscher gebunden. Mit jeder Vernässungsphase wird damit nicht nur die Basensättigung, sondern auch das Säurepufferungsvermögen teilweise regeneriert.

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird aufgrund seines, der Versauerung entgegenwirkenden Wasserhaushalts, als nur wenig empfindlich für eine weitere Versauerung bewertet. Da in Wassersättigungsphasen Nährstoffkationen in den Oberboden nachgeliefert werden, dürfte die Versauerung in diesem Boden auch in Zukunft nur langsam fortschreiten.

Trotz des relativ tiefen pH-Wertes im Oberboden verläuft der Abbau der organischen Substanz an diesem Standort optimal. Eine organische Auflage kann auf der LWF-Fläche nirgendwo beobachtet werden. Die Humusform ist Mull. Dies dürfte unter anderem am günstigen Bestandesklima (mit Ausnahme des Sommers meist gute Bodendurchfeuchtung; hohe Temperaturen) und an der gut abbaubaren, gemischten Streu (Hagebuche, Eiche, Pappel) liegen. Da der Boden in Zukunft wenig empfindlich auf weitere Säureinträge reagieren dürfte, ist in absehbarer Zeit auch nicht mit einer säurebedingten Veränderung der Abbaubedingungen zu rechnen.

Der Boden befindet sich bis in eine Tiefe von 40cm im Austauscher-Pufferbereich. Da der Kationenaustauscher in Vernässungsphasen offensichtlich mit Nährstoffkationen angereichert wird, dürften sich die Pufferungsbedingungen in Zukunft kaum wesentlich verändern. In diesem Zusammenhang erwähnenswert sind die vereinzelt in der Fläche vorkommenden Drainagegräben. Würde das Netz dieser Gräben verdichtet, müsste in Zukunft mit einer deutlich stärkeren Bodenversauerung gerechnet werden, weil dann das nährstoffreiche Grundwasser weggeführt und nicht mehr bis in den Oberboden aufsteigen würde.

An diesem Eichen- und Hagebuchenstandort sind hinsichtlich Bodenversauerung in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen auf die Vegetation zu erwarten. In der Bodenmatrix werden minimale BC/Al-Verhältnisse von rund 10 gemessen. Der für das Wurzelwachstum als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird damit nicht erreicht.

In diesem Boden besteht in Vernässungsphasen die Gefahr, dass Schwermetalle lateral durch den sauren Oberboden ausgewaschen und in den Drainagegräben abgeleitet werden. Mit einer vertikalen Verlagerung von Schwermetallen ins Grundwasser ist hingegen weniger zu rechnen, da ab 70cm Tiefe Kalk vorhanden ist. Diese Situation wird sich mittelfristig nicht wesentlich verändern.

#### **2.2.7.4 Themenbereich "Schwermetalle"**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurtei-

lung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf  $\text{HNO}_3$ -extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Das Ausgangsgestein besteht aus grobklastischen Moräneablagerungen der Würmeiszeit. Da für solche Ablagerungen (Lithofazies 29) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, wird das Ausgangsgestein der nächstverwandten Lithofazies mit geochemischen Angaben zugeordnet, in diesem Fall der Lithofazies 24 (Glaziallehme).

### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus skelettarmer Grundmoräne der Würmeiszeit besteht, liegen die Cr-, Ni- und Cu-Gehalte oberhalb und die Zn- und Pb-Gehalte innerhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 24 (Glaziallehme).

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet Mittelland, hohe Gehalte an Cr und Ni vor. Die Gehalte von Cu und Zn sind erhöht. Pb dagegen kommt für mittelländische Verhältnisse nur in niedrigen Gehalten vor.

### Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 122 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 123 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als "Δ", die Richtwerte der VBBo als "◇" markiert.

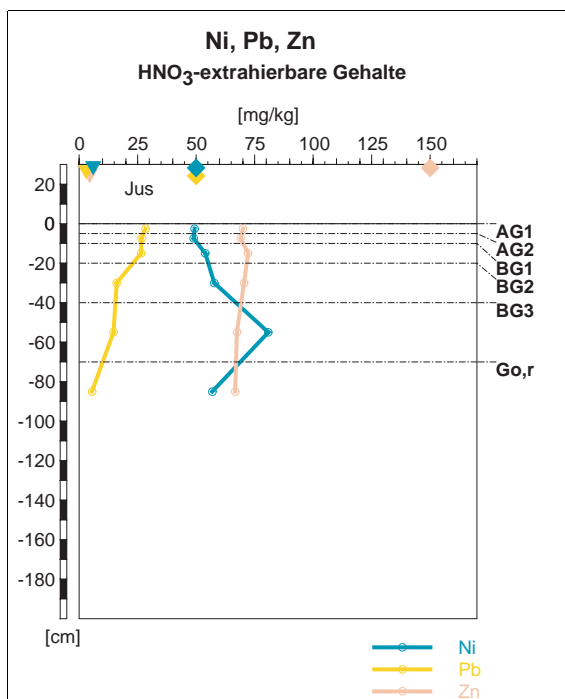


Abb. 122: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

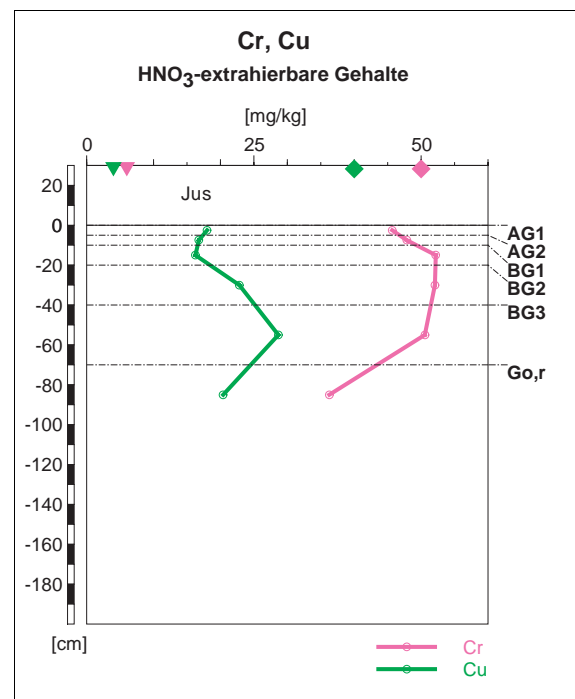


Abb. 123: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen nur für Zn profilumfassend niedrige Gehalte vor. Die Cr- und Ni-Gehalte sind hoch bis sehr hoch. Erhöhte Pb-Gehalte finden sich in den obersten 20cm des Bodens, darunter sind die Gehalte niedrig bis sehr niedrig. Cu verhält sich genau umgekehrt wie Pb: hier sind die Gehalte im Oberboden niedrig, ab 20cm Tiefe dagegen erhöht bis hoch.

Der Richtwert der VBBo wird für Cr leicht, für Ni mässig stark überschritten, und zwar jeweils ab einer Tiefe von 10cm.

### Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den obersten 10cm des Bodens sind mit Ausnahme von Cr alle Metalle in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden. Für Cr werden die in der Literatur angegebenen kritischen Werte leicht überschritten.

### Anreicherungsfaktoren

Die Anreicherungsfaktoren sind in Tab. 50 dargestellt.

Tab. 50: Anreicherungsfaktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungsfaktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
AG1	0	- 5	2.08	1.12	0.69	0.79	0.70
AG2	5	- 10	1.46	0.96	0.47	0.52	0.73
BG1	10	- 20	1.81	1.13	0.49	0.82	0.73
BG2	20	- 40	1.41	1.08	0.82	0.98	1.07
BG3	40	- 70	1.36	1.07	0.89	1.17	0.65
Go, r	70	- 100	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Die hohen Anreicherungsfaktoren von Pb in den obersten 20cm weisen auf atmogene Einträge hin. Das aus der Luft eingetragene Pb wird im Oberboden an die organische Substanz gebunden. Beim Cu hat vor allem im sauren Oberboden eine Verarmung stattgefunden. Bei Zn, Ni und Cr ist weder eine eindeutige Verarmung noch Anreicherung im Profil erkennbar.

Im Boden ist nur für Pb in den obersten 20cm eine anthropogene Belastung zu erkennen.

Die Richtwertüberschreitungen von Cr und Ni sind nicht anthropogen, sondern lithogen bedingt, wie die Anreicherungsfaktoren dieser Elemente belegen. Dieser Befund wird auch durch die Beurteilung der lithogenen Grundgehalte unterstützt, welche zeigt, dass die Schwermetallgehalte im Ausgangsgestein vergleichsweise hoch sind.



## Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 125) und die Austauscherbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 126).

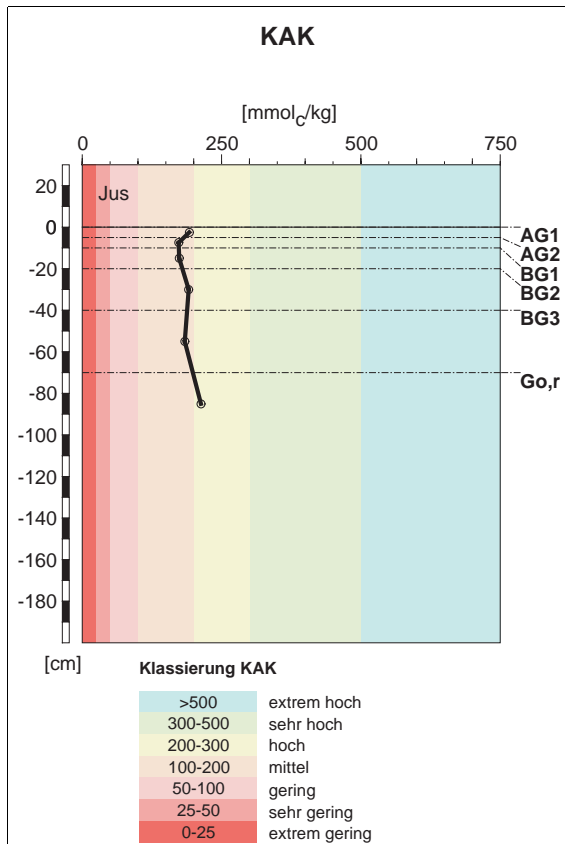


Abb. 125: Kationenaustauschkapazität (KAK)

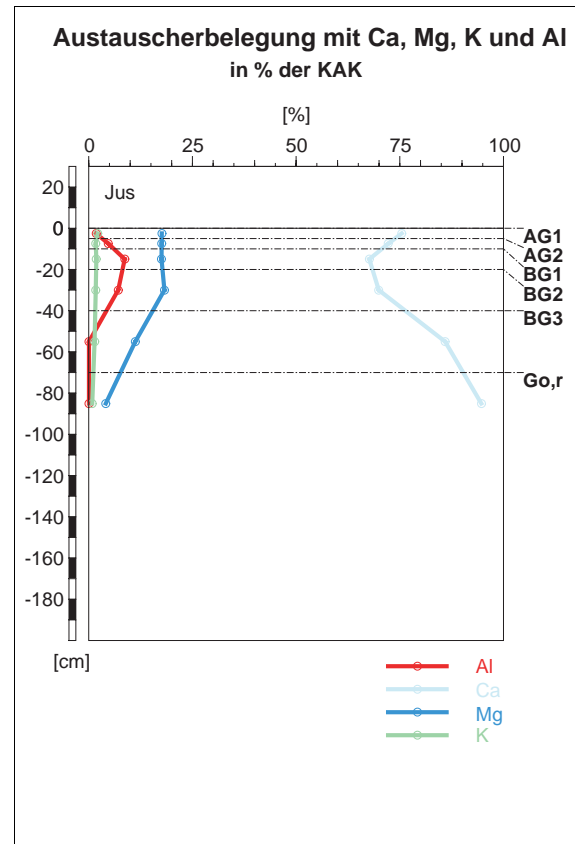


Abb. 126: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK wird mit Ausnahme des carbonathaltigen CG-Horizontes im gesamten Profil als mittel eingestuft. Ihr Verlauf im Profil ist auffällig konstant. Die etwas erhöhte KAK im CG-Horizont ist methodisch bedingt. Sie wird durch die Auflösung von Kalk bei der Extraktion verursacht.

Trotz der bis 40cm Tiefe stark sauren Bodenverhältnisse hat Al in diesem Tiefenbereich nur eine marginale Bedeutung am Kationenaustauscher (Begründung siehe Themenbereich Säurezustand). Dementsprechend hoch ist die Ca-Belegung. Sie liegt in diesem stark sauren Profilbereich bei 60%, steigt dann nach unten rasch an und erreicht im carbonathaltigen CG-Horizont einen maximalen Wert von rund 95%. Mg ist, in Abhängigkeit der Konkurrenz von Ca und Al, vor allem im oberen Profilbereich vorhanden. Seine Belegung ist dort relativ hoch. Die K-Belegung am Kationenaustauscher ist im gesamten Profil konstant.

## Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Größe der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 127 bis 129 dargestellt.

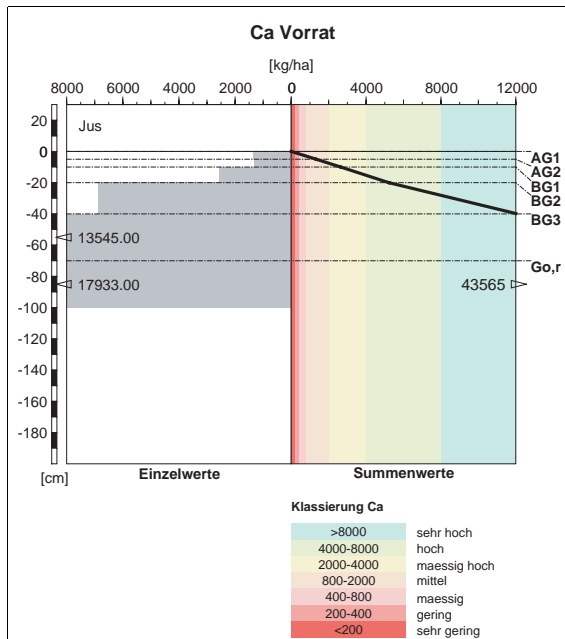


Abb. 127: Calcium-Vorrat

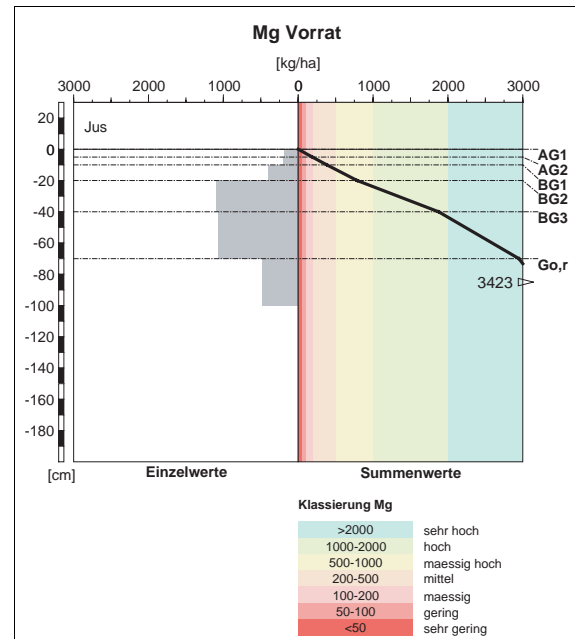


Abb. 128: Magnesium-Vorrat

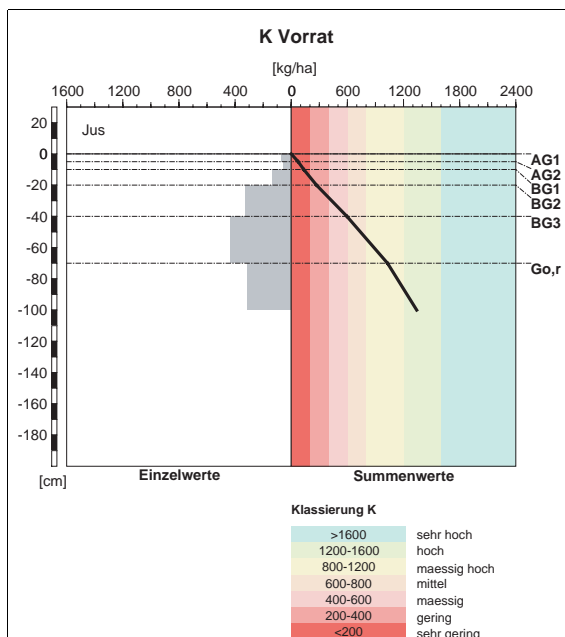


Abb. 129: Kalium-Vorrat

Die Vorräte aller Nährstoffkationen nehmen zur Tiefe hin rasch zu.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca sehr hoch
- Mg sehr hoch
- K mässig hoch

Der Boden ist bis mindestens 120cm Tiefe durchwurzelt. Damit wird der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt. Bis 120cm Tiefe werden die Vorräte noch optimistischer bewertet:

- Ca sehr hoch
- Mg sehr hoch
- K sehr hoch



Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als sehr hoch bewertet.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen nicht optimale Bedingungen vor. Der Boden trocknet im Sommer oft bis in grosse Tiefen aus (siehe Themenbereich “Physikalische Bodenkennwerte“).

### 2.2.7.6 Themenbereich “Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl“

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 1 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 51) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 51: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Jussy

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	500m
Exposition	-
Neigung	Ebene
Klima	
Jahresniederschlag	960mm
Jahrestemperatur	9.5°C
Ausgangsgestein	Grundmoräne der Würmeiszeit
Baumbestand	
Struktur	zweischichtig (ehemaliger Mittelwald)
Schlussgrad	95%
Baumarten (Deckung)	85% Hagebuche, 35% Stieleiche, 35% Zitterpappel
Oberhöhe	20-25m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 35: Waldlabkraut-Hainbuchenmischwald
<b>Bodenkennwerte (beziehen sich auf das Profil Nr. 1)</b>	
Bodensystematik	
Bodentyp	Braunerde, vergleyst, grundnass
Humusform	Feuchtmull
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-Feuchtmull
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	In diesem Boden sind Vernässungserscheinungen offensichtlich. Die Vernässung wird vermutlich durch eine Kombination von Stau- und Grundwasser verursacht. Im ganzen Profil ist mit periodischer Wassersättigung und damit verbundenen, nachteiligen Auswirkungen auf den Lufthaushalt zu rechnen. Der Boden kann vor allem in den Wintermonaten stark vernässt sein, im Sommer ist er dagegen oft bis in grosse Tiefen ausgetrocknet.
Durchwurzelung	Bis mindestens 100cm Tiefe ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Die periodische Vernässung und damit einhergehende mangelnde Durchlüftung während der Vegetationsruhe vermag die im Sommer wachsenden Wurzeln offensichtlich nicht zum Absterben zu bringen. Der Boden wird physiologisch als sehr tiefgründig klassiert. Er ist tiefer als 100cm durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens

pflanzenverfügbares Wasser	wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.  Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe ist trotz geringem Skelettgehalt nur mässig hoch. An diesem Standort deuten Saugspannungsmessungen darauf hin, dass in der Vegetationszeit für einige Baumarten Wassermangel limitierend sein könnte. Dies hängt mit dem warmen und trockenen Klima und dem hohen Tongehalt des Bodens zusammen.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	Der Boden ist bis 40cm Tiefe stark sauer, darunter nimmt der pH-Wert rasch zu. Er erreicht beim Übergang zum kalkhaltigen Moränematerial in 70cm Tiefe Werte von >7 und liegt damit ab dieser Tiefe im alkalischen Bereich. Die Kalkgrenze verläuft in 70cm Tiefe.
Al-Toxizität	In der Bodenmatrix werden minimale BC/Al-Verhältnisse von rund 10 erreicht. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird damit nicht unterschritten. Es sind keine toxischen Gehalte an Aluminium in der Bodenlösung zu erwarten.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Das als mässig eng klassierte C/N-Verhältnis lässt eine mässig hohe Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten, was in Einklang steht mit der Humusform Mull.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelten Boden (120cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als sehr hoch klassiert. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen nicht optimale Bedingungen vor. Der Boden trocknet im Sommer oft bis in grosse Tiefen aus, wodurch die Nährstoffaufnahme der Bäume eingeschränkt wird.
Verankerung	Da die vorhandenen Baumarten den Boden tief durchwurzeln und keine absoluten Limiten für das Wurzelwachstum erkennbar sind, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes als günstig beurteilt.
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil gering und der Ton- und Schluffanteil hoch sind. Vor allem im Winter ist das Befahren aus bodenökologischer Sicht problematisch, weil der Boden dann meistens wassergesättigt ist und nur oberflächlich gefriert.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der Bestand ist ein Laubmischwald (Hagebuche, Eiche, Pappel u.a.). Er wurde früher als Mittelwald bewirtschaftet. Es handelt sich hier nicht um einen typischen Waldlabkraut-Hainbuchenmischwald, weil der Bodenwasserhaushalt im Jahresverlauf zu stark schwankt. Aber immerhin tritt am vorliegenden Standort die für diese Waldgesellschaft charakteristische Sommertrockenheit auf. Diese schwächt die Konkurrenzkraft der Buche. Sie kommt im vorliegenden Bestand nicht vor.

Die aktuelle Baumartenmischung wird, mit Ausnahme der Zitterpappel, nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als standortgerecht bezeichnet. Das Vorkommen der Pappel dürfte auf die frühere Bewirtschaftung als Mittelwald und damit auf die hellen Lichtverhältnisse nach den periodisch vorgenommenen Nutzungen zurückzuführen sein. Aufgrund der aktuellen Baumartenmischung gehen wir davon aus, dass die vorhandenen Baumarten die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten gut nutzen.

Im Streueintrag überwiegt in diesem Wald seit Jahrzehnten gemischte Laubstreu. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht

sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

#### *Keimbeet*

Auf der LWF-Fläche kommen ausschliesslich die Humusform Mull und Feuchtmull vor. Durch Einbringen eines zu hohen Nadelholzanteils würde sich an diesem Standort vermutlich eine organische Auflage bilden. Die Humusform würde sich in Richtung Moder entwickeln, was den Keimungserfolg der Fichte und damit ihre Konkurrenzkraft in der Verjüngungsphase vergrössern dürfte. Zudem würden Nährstoffe in der organischen Auflage blockiert, welche dann mittelfristig nicht für das Pflanzenwachstum verfügbar wären. Schliesslich wäre auch mit einer verstärkten Versauerung des Bodens zu rechnen, denn in organischen Auflagen werden durch den unvollständigen Abbau der organischer Substanz Säuren gebildet.

#### *Anwuchs- und Aufwuchsphase*

In der Anwuchs- und Aufwuchsphase hat der Boden für einige Baumarten ungünstige Eigenschaften, und zwar hinsichtlich Wasser- und Lufthaushalt. Wie bereits erwähnt, ist es für die Buche im Sommer zu trocken und im Winter möglicherweise zu nass. Auch andere Baumarten sind durch diese ungünstigen Bodeneigenschaften in ihrer Konkurrenzkraft geschwächt.

Tiefwurzelnde Baumarten sind hier weniger für die Mobilisierung von Nährstoffen im Unterboden sondern für die Stabilität des Bestandes gegenüber Sturmschäden von Bedeutung.

Da Laubstreu generell weniger sauer wirkt als Nadelstreu, kann mit der Erhaltung eines hohen Laubholzanteils längerfristig das Risiko von durch Al-Toxizität verursachten Wurzelschäden verringert werden.

#### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 52):

Tab. 52: Baumartenempfehlung

<b>Baumarten im Hauptbestand</b>	Hagebuche, Eiche, (Kirschbaum, Linde)
<b>Laubholzanteil</b>	mindestens 50%
<b>Baumarten im Nebenbestand</b>	Bei erhöhtem Nadelholzanteil im Hauptbestand können im Nebenbestand geeignete Baumarten als Bodenverbesserer eingebracht werden. Mögliche Baumarten sind Winterlinde, Hagebuche, Vogelbeere, Mehlbeere, Elsbeere und Feldahorn.

## 2.2.8 LWF-Fläche Lausanne (Bodenprofil Nr. 2)

### 2.2.8.1 Themenbereich “Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie“

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 2 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Lausanne und zum Bodenprofil Nr. 2

Die Tab. 53 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Lausanne und zum Profil Nr. 2. Die Tab. 54 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 53: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Lausanne und zum Profil Nr. 2

<b>Lokalname</b>	Bois-du-Benenté (Gemeinde Lausanne, Kt. VD)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1223, Echallens
	Koordinaten 540 171 / 159 464
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 8: Waldhirschen-Buchenwald ( <i>Milio-Fagetum</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-A(Sw)1-A(Sw)2-A(Sw)3-A(Sw)4-B(Sd)1-B(Sd)2-B(Sd)3-BC-C
<b>Humusform</b>	Mull (Feuchtmull)
<b>Bodentyp</b>	Braunerde, schwach pseudovergleyt
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Dystric Cambisol

Tab. 54: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 2

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	810m	
	Exposition	NE	
	Neigung	7%	
	Geländeform	Mittelhang	
<b>Ausgangsgestein</b>	Oberfläche	Quartär. Würmmoräne.	
	Untergrund	Tertiär. Miozän. Burdigalien. Obere Meeresmolasse. Sandstein.	
	Beobachtung am Profilort	Die Mächtigkeit der Moränebedeckung variiert auf der LWF-Fläche zwischen 0.5 und >2.5m.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	8.6°C / 1062mm	
	T / N Januarmittel	- 0.5°C / 85mm	
	T / N Julimittel	17.6°C / 96mm	
	Tage mit Schneedecke	63	
	Wärmegliederung	kühl	
	Länge der Vegetationsperiode	180-190 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (35m Höhe)	95%	85% Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> ) 15% Tanne ( <i>Abies alba</i> )
	Strauchschicht	3%	-
	Krautschicht	10%	Buschwindröschen ( <i>Anemone nemorosa</i> ) Pariser Hexenkraut ( <i>Circea lutetiana</i> ) Echter Waldmeister ( <i>Galium odoratum</i> ) Weisswurz ( <i>Polygonatum multiflorum</i> )
	Moosschicht	1%	-

#### Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit H5 (tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung, leicht gewellte Plateaus und Hangterrassen mit sandiger Moräne oder Molas-

se der Westschweiz). H5 stellt 173 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 1.5% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

### Besonderheiten am Profilort

Der Boden ist auf der LWF-Fläche mancherorts aus zwei verschiedenen geologischen Substraten aufgebaut. Oberflächlich ist vor allem Moränematerial aus der Würmeiszeit vorhanden. Die Mächtigkeit dieser Ablagerungen variiert auf der Fläche zwischen 0.5 und >2.5m. Darunter befindet sich Molasse-Sandstein, der mancherorts bereits durch Bodenbildungsprozesse geprägt und verwittert ist. Das beschriebene Bodenprofil ist ausschliesslich aus Moränematerial aufgebaut und daher für die LWF-Fläche nur bedingt repräsentativ.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 55 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 55: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 2

LWF-Lausanne Nr. 2		Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
	L	2-0	-	-	-	-	-	-	-	-
	A(Sw)1	0-5	sehr schwach	IU	Krümel	locker	Marmorierungen	10 YR 3/3	mittel	
	A(Sw)2	5-10	sehr schwach	IU	Krümel	locker	Marmorierungen	10 YR 3/3	mittel	
	A(Sw)3	10-20	schwach	IU	Fragmente	mittel	Marmorierungen	10 YR 5/4	mittel	
	A(Sw)4	20-50	schwach	IU	Fragmente	mittel	Marmorierungen	10 YR 5/4	mittel	
	B(Sd)1	50-110	mittel	IU	Fragmente	dicht	Konkretionen Rostflecken Marmorierungen	10 YR 5/3	mittel	
	B(Sd)2	110-180	mittel	IU	Fragmente	dicht	Konkretionen Rostflecken Marmorierungen	10 YR 5/3	schwach	
	B(Sd)3	180-240	mittel	IU	Fragmente	dicht	Rostflecken Marmorierungen	10 YR 5/3	schwach	
	BC	240-300	mittel	sL	Fragmente	mittel	Rostflecken	2.5 Y 5/3	wurzelfrei	
	C	> 300	stark	sL	Fragmente	dicht	ohne	2.5 Y 6/3	wurzelfrei	

Das Fehlen einer organischen Auflage deutet darauf hin, dass die biologische Aktivität hoch ist. Die überwiegend von Buchen stammende Streu wird innerhalb eines Jahres abgebaut. Mit der Horizontfolge L-A(Sw) wird die Humusform als Feuchtmull klassiert. Es gilt jedoch zu beachten, dass Vernässungsmerkmale im Oberboden des Profils und seiner unmittelbaren Umgebung nur örtlich auftreten. Die Vernässung im Oberboden hängt vermutlich mit Verdichtung durch Befahren zusammen. Wo der Oberboden nicht vernässt ist, liegt die Humusform Mull vor.

Im rund 3m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch fünf Horizonte unterscheiden. Da der A(Sw)- und B(Sd)-Horizont in verschiedenen Tiefen beprobt wurden, sieht die Horizontfolge des Profils wie folgt aus:

L-A(Sw)1-A(Sw)2-A(Sw)3-A(Sw)4-B(Sd)1-B(Sd)2-B(Sd)3-BC-C.

Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als schwach pseudovergleyte Braunerde klassiert. Vernässungserscheinungen treten zwar nahezu im gesamten Bodenprofil auf. Sie sind jedoch in der Regel kleinflächig und vermögen das durch Verwitterungsprozesse regelmässig verbraunte Erscheinungsbild der Profilwand farblich nicht zu überprägen. Die Vernässung wird durch Stauwasser verursacht.

### Besonderheiten des Profils

Die Kalkgrenze verläuft in 300cm Tiefe. Obwohl ab 240cm keine Wurzeln im Profil beobachtet werden, kann der Boden bis in den C-Horizont durchwurzelt werden, denn im Profil sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar. Der Boden wurde bis 50cm Tiefe nicht nach Horizonten, sondern, gemäss europäischen Monitoringstandards, nach fixen Tiefenstufen beprobt. Unterhalb 50cm wurde das Profil nach Horizonten beprobt, wobei der B(Sd)-Horizont infolge seiner grossen Mächtigkeit in verschiedenen Tiefen beprobt wurde.

### 2.2.8.2 Themenbereich “Physikalische Bodenkennwerte“

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 2 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird vorerst auf jegliche Interpretation verzichtet, um nur gesicherte Sachverhalte zu präsentieren.

#### Skelettgehalt und Bodenart

In Abb. 130 ist der Skelettgehalt und in Abb. 131 die Bodenart dargestellt.

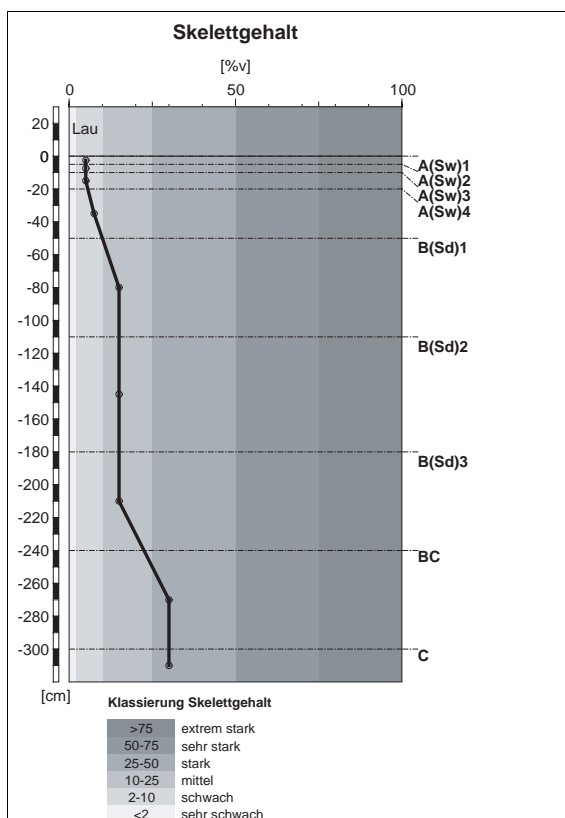


Abb. 130: Skelettgehalt

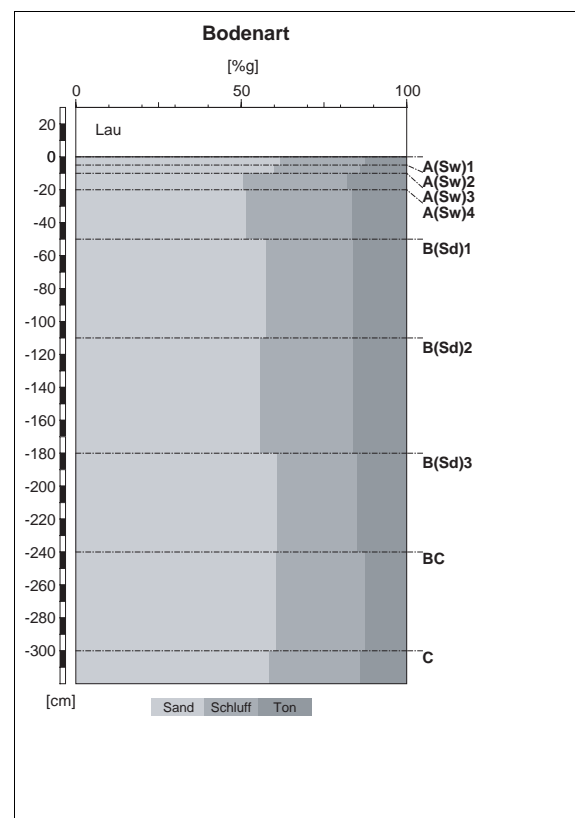


Abb. 131: Bodenart

Der Skelettgehalt nimmt zur Tiefe hin nur langsam zu. Ab rund 200cm Tiefe sind viele Steine im Boden vorhanden. Der Skelettgehalt des Bodens wird insgesamt als mittel beurteilt.

Der Sandanteil des Bodens überwiegt, es ist aber auch reichlich Schluff und Ton vorhanden. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen mittelschweren Boden. Auffällig ist, dass die Anteile der einzelnen Korngrößenklassen über das gesamte Profil hinweg konstant sind.

### Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 132 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 133 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

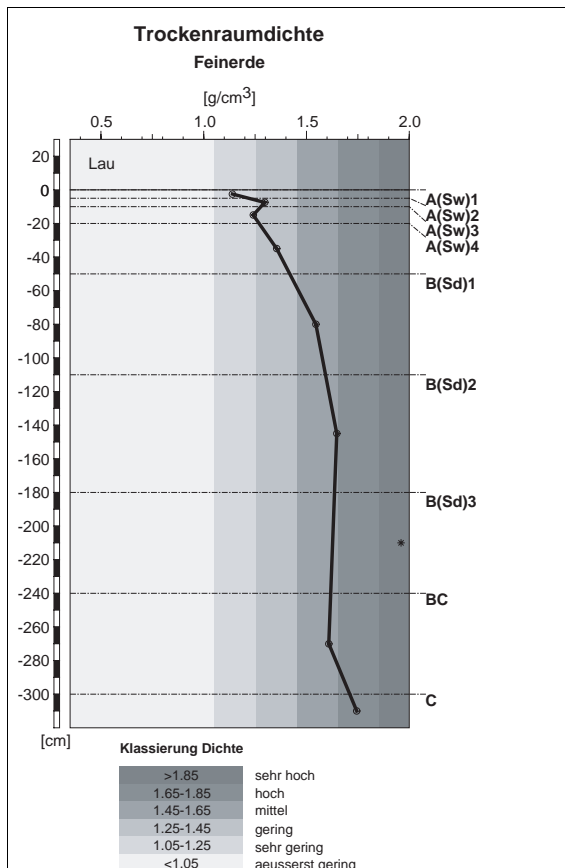


Abb. 132: Dichte der Feinerde

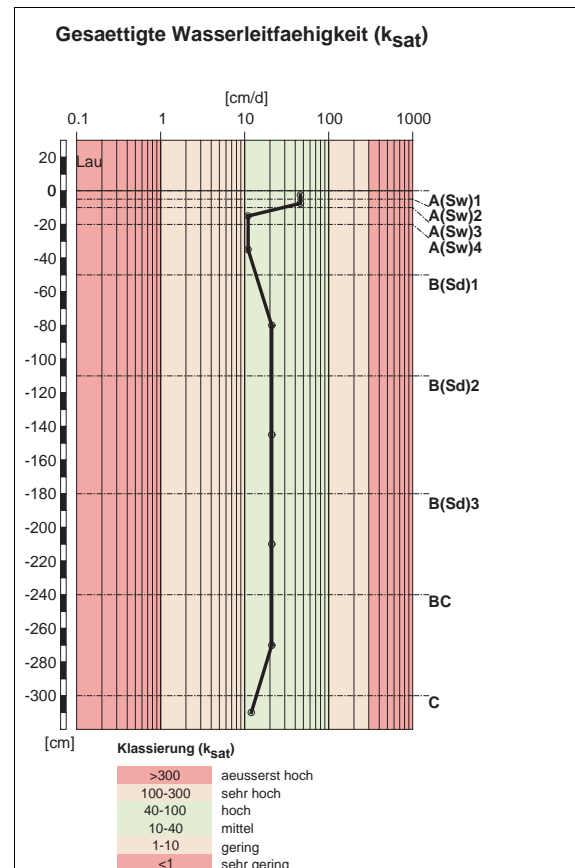


Abb. 133: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Der Oberboden ist aufgrund des Humusgehaltes und Gefüges locker gelagert. Die Dichte der Feinerde nimmt bis 150cm Tiefe kontinuierlich zu, verharrt dann bis 300cm auf mittlerem Wert und steigt im unverwitterten Ausgangsgestein auf hohe 1.74kg/dm<sup>3</sup> an.

Der Boden ist überwiegend normal durchlässig. In einzelnen Horizonten ist die Durchlässigkeit etwas reduziert. Sie wird dort als gering-mittel klassiert.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 134 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

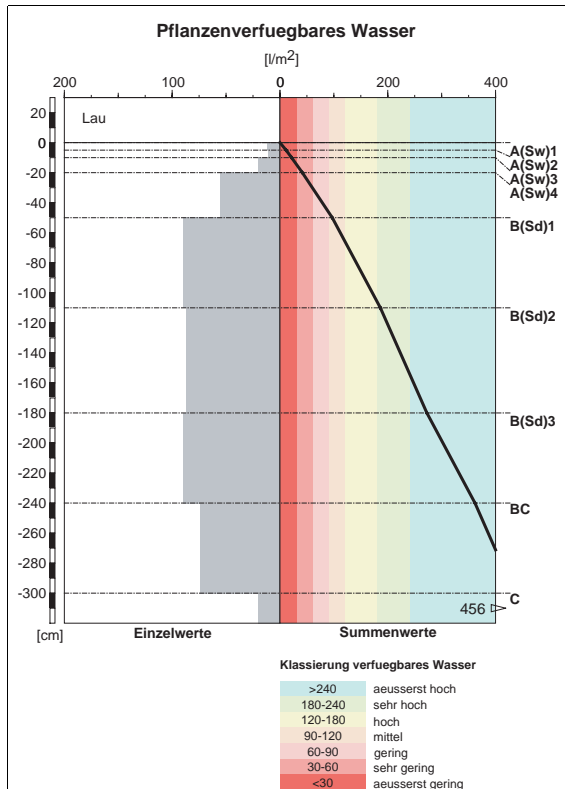


Abb. 134: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als hoch klassiert. Der relativ geringe Skelettgehalt, die ausgeglichene Korngrößenverteilung der Feinerde und die mittlere Dichte wirken sich günstig auf die Speicherkapazität aus. Der Wurzelraum ist nach unten offen.

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Im gesamten Profil herrschen Brauntöne vor, Vernässungserscheinungen treten oberhalb 60cm Tiefe nur vereinzelt, darunter zahlreicher auf. Aufgrund der beobachteten morphologischen Vernässungsmerkmale scheint der Luft- und Wasserhaushalt des Oberbodens recht ausgeglichen zu sein. Im Unterboden ist dagegen mit periodisch gesättigten Verhältnissen mit angespanntem Lufthaushalt zu rechnen. Unterstützt wird diese, auf morphologischen Kriterien basierende Einschätzung durch die Leitfähigkeitskurve, welche für das Profil eine Durchlässigkeit im Übergangsbereich gering-normal angibt.

Der Boden ist als schwach pseudovergleyt klassiert.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Im Profil ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Der Boden wird als äußerst tiefgründig (>320cm) klassiert. Er ist bis 240cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt. Die durch schwach ausgeprägte Pseudovergleyung angezeigte, periodisch mangelhafte Durchlüftung vermag das Wurzelwachstum offensichtlich nicht nachteilig zu beeinflussen.



In der Vegetationszeit dürfte der stauende Untergrund sogar positive Auswirkungen auf die Wasserversorgung der Bäume haben, indem er Sickerwasser im Wurzelraum zurückhält.

Saugspannungsmessungen in den Jahren 1996-2001 haben auf diesem Standort gezeigt, dass die Wasserversorgung des Baumbestandes in dieser Messperiode während der Vegetationszeit nie kritisch war. Unterhalb von rund 130cm war der Boden nie stark ausgetrocknet (Daten hier nicht gezeigt). In dieser Periode fielen während der Vegetationszeit im Vergleich zu den langjährigen monatlichen Minimalwerten (25% Quantil  $\approx$  100%) folgende monatlichen Summen (Station Pully (461 M.ü.M.; 540820/151570; Messperiode 1978-2002); Daten Meteo Schweiz, bearbeitet durch M. Rebetez):

	Mai		Juni		Juli		August		September	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
<b>1996</b>	90	130	91	190	132	193	191	276	40	65
<b>1997</b>	191	277	225	466	130	190	85	123	68	111
<b>1998</b>	37	53	42	86	51	75	68	98	222	363
<b>1999</b>	153	223	175	363	68	100	209	302	145	237
<b>2000</b>	55	80	48	100	157	230	157	227	75	123
<b>2001</b>	113	164	193	400	139	203	82	118	148	241

Im langjährigen Vergleich relativ niederschlagsarm (Niederschlagsmengen  $<$ 25% Quantil ( $\approx$ 100%)) waren im Jahr 1996 der Monat September, im Jahr 1998 die Monate Mai, Juni, Juli und August und im Jahr 2000 der Monat Mai. Wie die Saugspannungsmessungen belegen, war der Boden aber selbst während diesen relativ niederschlagsarmen Perioden nur bis 130 cm Tiefe stark ausgetrocknet.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von 120cm Mächtigkeit ist gemäss unseren Berechnungen damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 25 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Da der Boden aber wesentlich tiefer als 120cm durchwurzelbar ist, wird auf diesem Standort unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen kaum Trockenstress für die Bäume auftreten.

#### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Oberboden reagiert in Nässeperioden empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da er nur wenig Steine und reichlich Schluff und Ton enthält. Auf der LWF-Fläche ist der Boden durch Befahren bereits an manchen Stellen verdichtet, was durch hydromorphe Merkmale knapp unter der Bodenoberfläche belegt wird.

#### **2.2.8.3 Themenbereich "Säurezustand"**

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 2 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

##### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 135), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 136) sowie der Basensättigung (Abb. 137) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.

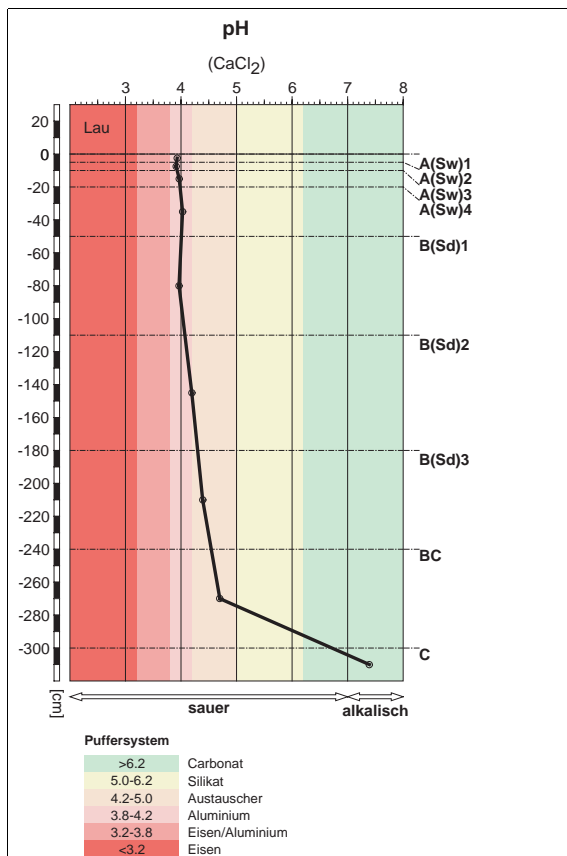


Abb. 135: pH-Wert und Pufferbereiche

Der Boden ist nahezu profilumfassend stark sauer, wobei der pH-Wert von oben nach unten nur sehr langsam zunimmt. Im Untergrund ist in 300cm Tiefe beim Übergang zum kalkhaltigen Moränematerial ein pH-Sprung auf über 7 und damit in den alkalischen Bereich festzustellen.

Eingetragene Säuren werden im Boden bis 110cm Tiefe überwiegend durch Auflösung von Al-Hydroxiden gepuffert. Zwischen 110 und 300cm Tiefe ist vor allem der Kationenaustauscher als Puffer wirksam. Im unverwitterten Ausgangsgestein, und damit ab rund 300cm Tiefe, werden eingetragene Säuren durch Carbonatverwitterung neutralisiert.

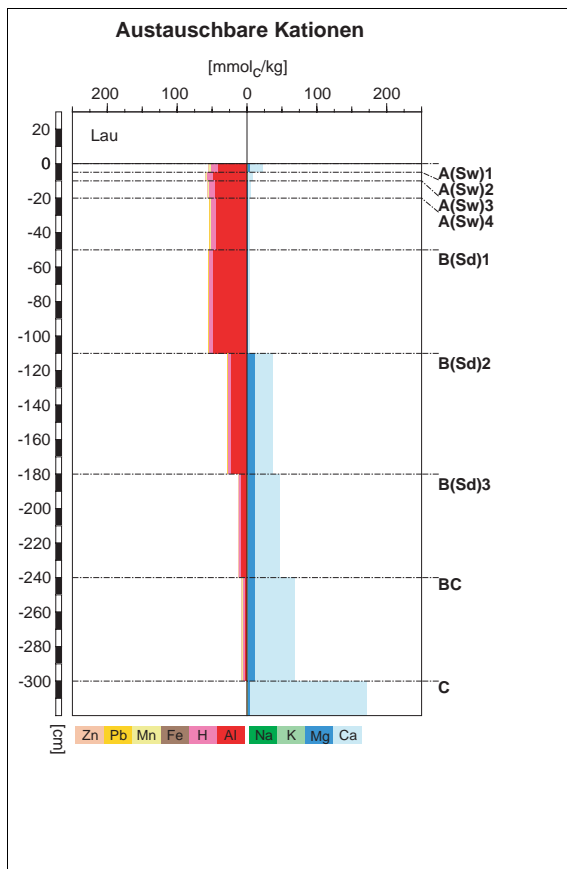


Abb. 136: Austauschbare Kationen

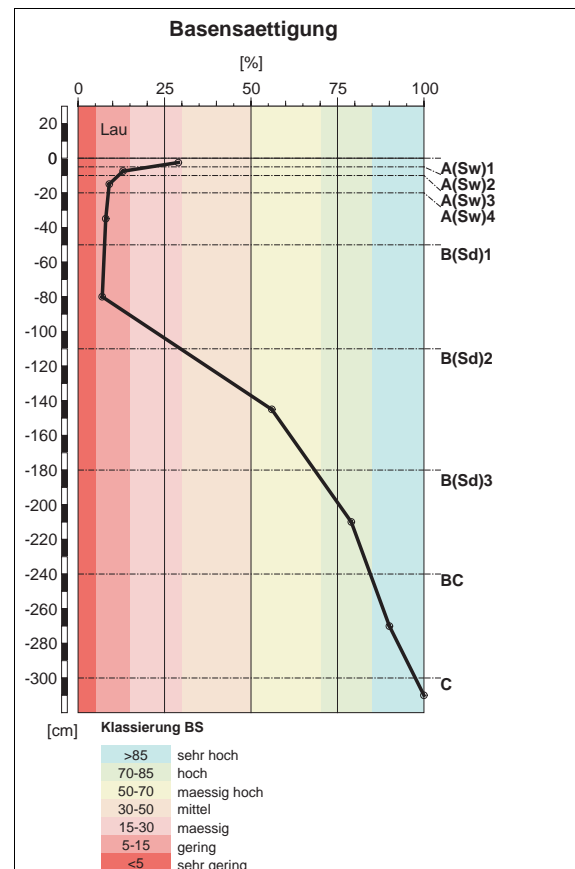


Abb. 137: Basensättigung

In den humusreichen, obersten 10cm des Bodens befinden sich trotz tiefem pH-Wert erhöhte Gehalte an Nährstoffkationen am Austauscher. Die Basensättigung ist hier im Vergleich zu den unmittelbar darunterliegenden Horizonten mit rund 15-30% deutlich grösser.

Zwischen 10 und 110cm Tiefe ist der Austauscher überwiegend mit sauren Kationen, insbesondere Al belegt. Die Basensättigung beträgt hier 5-10% und ist damit gering.

Unterhalb 110cm Tiefe nimmt der Anteil an Nährstoffkationen am Austauscher kontinuierlich zu. Die Basensättigung erreicht im Bereich der Kalkgrenze in rund 300cm Tiefe 100%.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem carbonathaltigen Ausgangsgestein (Würmmoräne) eine Braunerde entwickelt. Der Boden ist sehr stark und sehr tiefgründig versauert, was sich an der grossen Tiefe der Kalkgrenze, am nahezu profilumfassend tiefen pH-Wert und an der bis rund 100cm Tiefe deutlich reduzierten Basensättigung erkennen lässt. Die Kalkgrenze verläuft heute in einer Tiefe von rund 3m, was bedeutet, dass das ursprünglich vorhandene Carbonat bis in diese Tiefe für die Säurepufferung aufgebraucht worden ist.

Nährstoffkationen werden bis in eine Tiefe von 300cm durch saure Kationen, insbesondere Al, vom Austauscher verdrängt. Dies wird durch die reduzierte Basensättigung belegt.

Obwohl der Boden nahezu profilumfassend sehr sauer reagiert, ist die Basensättigung im humushaltigen Oberboden deutlich erhöht, was durch die ständige Nachlieferung von Nährstoffen mit dem Streufall erklärt werden kann. Unterhalb von rund 100cm steigt die Basensättigung relativ rasch an. Dies dürfte nicht nur mit den in dieser Tiefe wirksamen Pufferbereichen zusammenhängen. Wir vermuten, dass mit dem Bodenwasser periodisch Nährstoffe aus dem carbonathaltigen Untergrund in den Boden aufsteigen.

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird als empfindlich für eine weitere Versauerung beurteilt, zumal praktisch der gesamte Wurzelraum sehr sauer ist.

Infolge des tiefen pH-Wertes ist der Abbau der organischen Substanz gehemmt, so dass sich auf der LWF-Fläche mancherorts eine organische Auflage (Moder) gebildet hat. Bei weiter fortschreitender Bodenversauerung wird diese Auflage noch mächtiger werden, wodurch die Versauerungsprozesse zusätzlich beschleunigt werden.

Von 110 bis 180cm Tiefe befindet sich der Boden im Übergangsbereich vom Aluminium- zum Kationenaustauscher-Pufferbereich. Eine fortschreitende Bodenversauerung hat in dieser Tiefenstufe zur Folge, dass am Kationenaustauscher die Verdrängung von kationischen Nährstoffen weitergehen wird. Die Zone mit sehr geringer Basensättigung wird sich dadurch in die Tiefe ausdehnen, wodurch eine verstärkte Nährstoffauswaschung aus dem gesamten Wurzel-

raum zu erwarten ist. Über sehr lange Zeiträume betrachtet, wird auch die Entcarbonatung im Unterboden fortschreiten.

Das Baumwachstum dürfte bei einer weitergehenden Bodenversauerung durch die Verarmung an Nährstoffen sowie durch das enger werdenden BC/Al-Verhältnis im Wurzelraum beeinträchtigt werden. In der Bodenmatrix werden heute minimale BC/Al-Verhältnisse am Kationenaustauscher von 0.1 erreicht. Die als kritisch erachtete Grenze von 0.5 wird damit unterschritten. Dies stellt für empfindliche Baumarten besonders in der Anwuchsphase ein Risiko dar, welches sich mit zunehmender Versauerung akzentuieren wird. Mit fortschreitender Bodenversauerung wird sich die nährstoffarme Risikozone ausdehnen und es vor allem den Jungbäumen erschweren, die Nährstoffe im besser versorgten Unterboden zu erschließen.

Die Versauerung erhöht das Risiko für die Tiefenverlagerung von Schwermetallen. In diesem Boden mit kalkhaltigem Untergrund kann eine Gefährdung des Grundwassers durch Schwermetallbelastung allerdings vernachlässigt werden. Dies gilt aber nur dann, wenn keine präferentiellen Fliesswege eine rasche Tiefensickerung verursachen oder lateral fließendes Bodenwasser in ein Gewässer abzieht.

#### **2.2.8.4 Themenbereich “Schwermetalle“**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 2 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Das Ausgangsgestein besteht aus grobklastischen Moräneablagerungen der Würmeiszeit. Da für solche Ablagerungen (Lithofazies 29) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, wird das Ausgangsgestein der nächstverwandten Lithofazies mit geochemischen Angaben zugeordnet, in diesem Fall der Lithofazies 24 (Glaziallehme).

##### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus Würmmoräne besteht, liegen die Cr- und Ni-Gehalte oberhalb, die Zn- und Pb-Gehalte innerhalb und der Cu-Gehalt unterhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 24 (Glaziallehme).

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet Mittelland, hohe Gehalte an Cr und Ni vor. Für die drei übrigen erfassten Schwermetalle Cu, Zn und Pb sind die entsprechenden Gehalte niedrig.

##### Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 138 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 139 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als “Δ“, die Richtwerte der VBBo als “◇“ markiert.

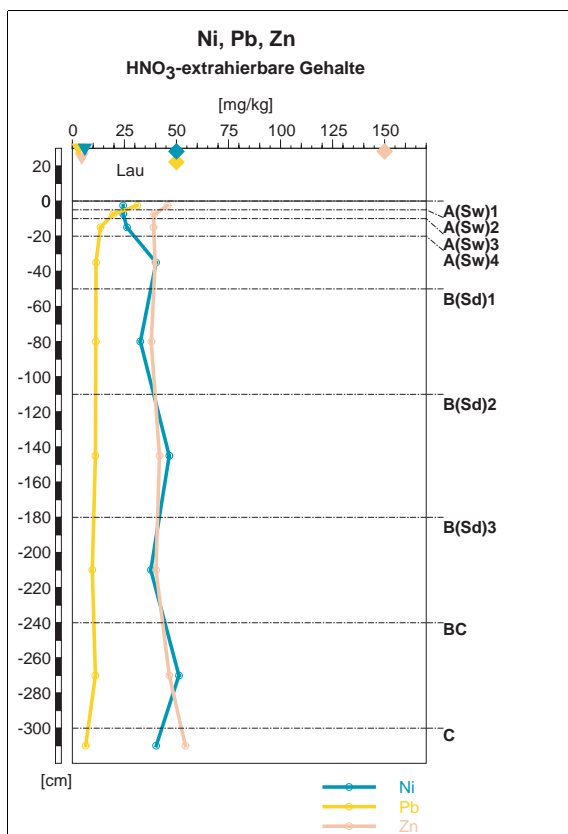


Abb. 138: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

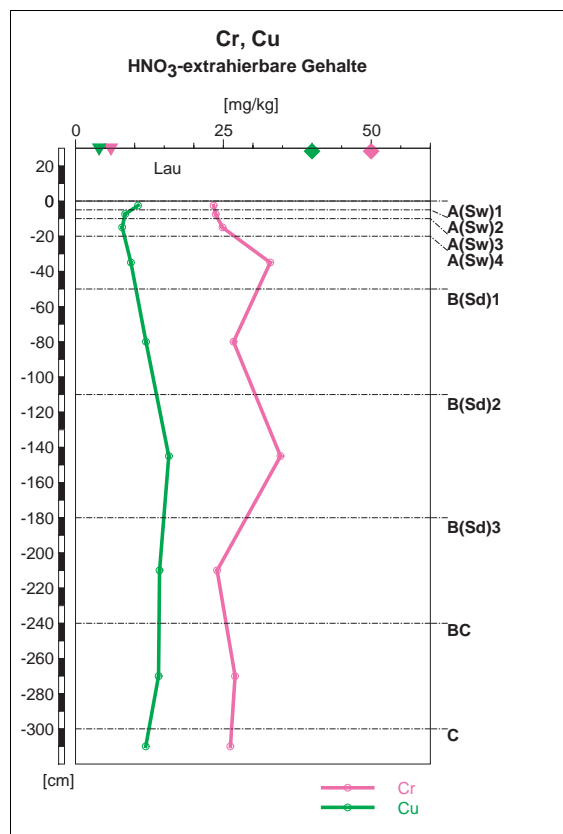


Abb. 139: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen für Zn und Cu profilumfassend niedrige bis sehr niedrige Gehalte vor. Die Cr-Gehalte sind je nach Horizont niedrig bis erhöht und für Ni niedrig bis sehr hoch. Erhöhte Pb-Gehalte schliesslich finden sich in den obersten 5cm des Bodens, darunter sind die Gehalte niedrig bis sehr niedrig.

Einzig für Ni wird der Richtwert leicht überschritten, allerdings nur in einer Tiefe von 240-300cm.

### Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den obersten 10cm des Bodens sind mit Ausnahme von Cr alle Metalle in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden. Für Cr werden die in der Literatur angegebenen kritischen Werte leicht überschritten.

### Anreicherungs-faktoren

Die Anreicherungs-faktoren sind in Tab. 56 dargestellt.

Tab. 56: Anreicherungs-faktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungs-faktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
A(Sw)1	0	- 5	2.50	0.98	0.69	0.48	0.71
A(Sw)2	5	- 10	1.87	1.15	0.67	0.59	0.89
A(Sw)3	10	- 20	1.01	0.78	0.55	0.50	0.69
A(Sw)4	20	- 50	1.18	0.93	0.52	0.80	1.59
B(Sd)1	50	- 110	1.28	1.10	1.08	0.76	0.90
B(Sd)2	110	- 180	1.20	0.96	1.27	0.82	1.08
B(Sd)3	180	- 240	1.08	0.95	1.06	0.61	0.41
BC	240	- 300	0.88	0.87	1.02	0.87	0.60
C	300	- 320	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Die hohen Anreicherungsfaktoren von Pb in den obersten 10cm weisen auf atmogene Einträge hin. Das aus der Luft eingetragene Pb wird im A(Sw)-Horizont an die organische Substanz gebunden und angereichert. Beim Ni hat vor allem im Oberboden eine Verarmung stattgefunden. Cu scheint bis 50cm Tiefe leicht verarmt und darunter leicht angereichert zu sein. Bei Zn und Cr ist weder eine eindeutige Verarmung noch Anreicherung im Profil feststellbar.

Im Boden ist nur für Pb in den obersten 10cm eine anthropogene Belastung zu erkennen.

Die Richtwertüberschreitung von Ni in 240-300cm Tiefe ist nicht anthropogen sondern lithogen bedingt, wie die Anreicherungsfaktoren dieses Elementes belegen. Dieser Befund wird auch durch die Beurteilung der lithogenen Grundgehalte unterstützt, welche zeigt, dass der Ni-Gehalt im Ausgangsgestein vergleichsweise hoch ist.

### Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 140.

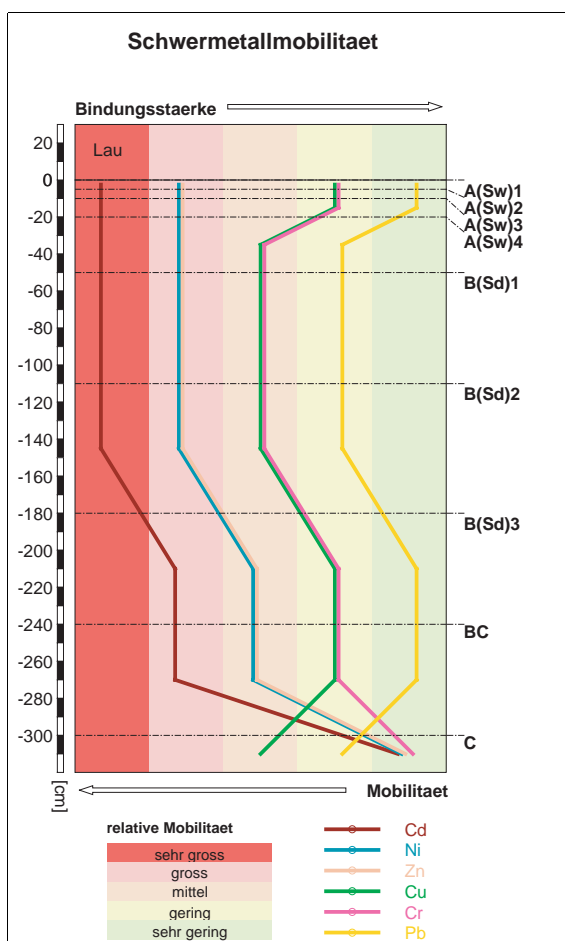


Abb. 140: Mobilität von Schwermetallen

Der bis in grosse Tiefe niedrige pH-Wert bewirkt, dass die Schwermetalle mit Ausnahme des Pb im grössten Teil des Profils relativ mobil sind. Im Oberboden sorgt der Humus für eine erhöhte Bindungsstärke von Cu, Cr und Pb, welche eine grosse Affinität zu organischer Substanz besitzen.

Die starke pH-Zunahme im C-Horizont verringert die Mobilität der meisten Schwermetalle sehr stark. Anders verhalten sich im carbonathaltigen Untergrund nur Cu und Pb, welche wegen der Bildung löslicher Carbonatkomplexe etwas mobiler sein dürften.

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort relativ gering, zumal der Boden profillumfassend nur wenig vernässt ist. Es ist hier also kaum mit Schwermetallauswaschung, weder durch vertikal noch durch horizontal verlaufende Wasserflüsse zu rechnen.

### 2.2.8.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 2 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Die Nährstoffverfügbarkeit ist, beurteilt aufgrund von Humusform und Bodengefüge, nicht optimal. Auf der LWF-Fläche ist verbreitet eine geringmächtige, organische Auflage vorhanden. Dies deutet auf einen gehemmten Abbau der organischen Substanz hin. Offensichtlich gelingt es den Bodenorganismen nicht, die anfallende, recht schwer abbaubare Buchenlaubstreu innert Jahresfrist vollständig zu zersetzen. Die Humusform ist meistens Moder, stellenweise auch Mull. Die an diesem Standort wirkenden Abbaubedingungen, insbesondere die stark saure Bodenreaktion, die recht schwer abbaubare Streu und das kühlfeuchte Klima sind für die Entstehung einer organischen Auflage verantwortlich.

Das C/N-Verhältnis beträgt in den obersten 5cm der Mineralerde rund 15 und liegt damit in einem Bereich, der, gemäss Literaturangaben, für Mull üblich ist. Das als mässig eng klassierte C/N-Verhältnis lässt eine mässig hohe Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit etwas im Widerspruch zu den morphologischen Beobachtungen, und zwar insofern, dass trotz relativ niedrigem C/N-Verhältnis verbreitet eine organische Auflage vorhanden ist. Diese ist allerdings nur geringmächtig.

#### Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 141) und die Austauscherbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 142).

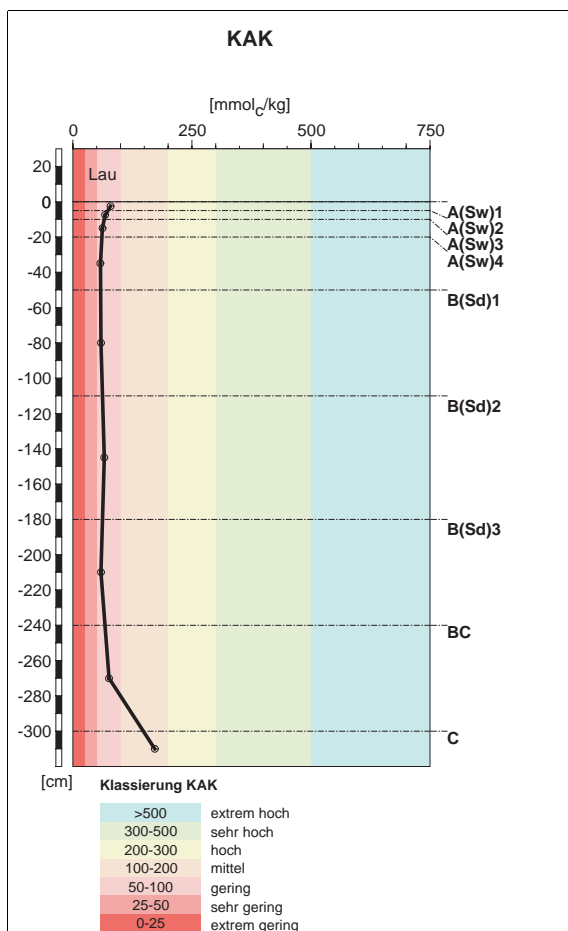


Abb. 141: Kationenaustauschkapazität (KAK)

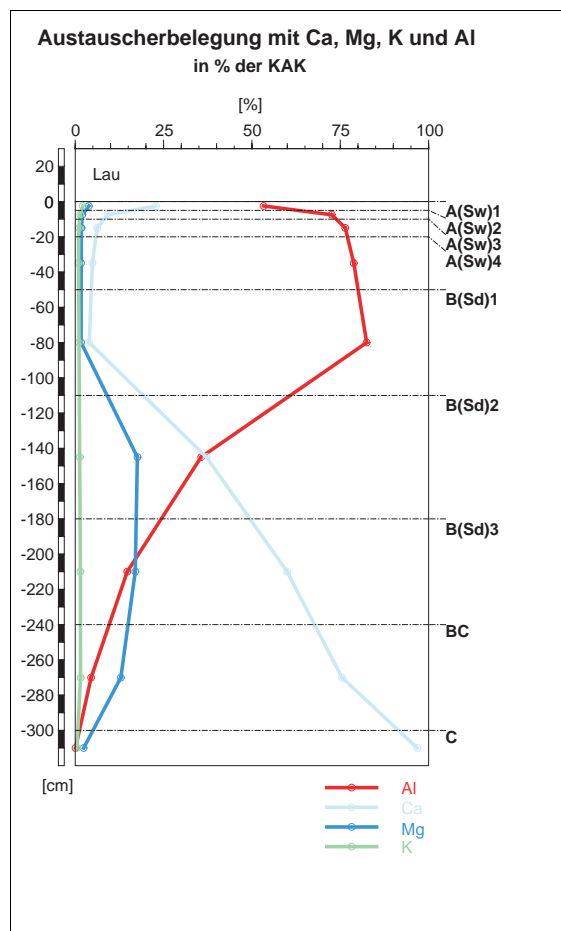


Abb. 142: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK wird mit Ausnahme des carbonathaltigen C-Horizontes im gesamten Profil als gering eingestuft. Sie ist im humosen Oberboden im Vergleich zum Unterboden nur leicht erhöht. Die deutlich erhöhte KAK im C-Horizont ist methodisch bedingt. Sie wird durch die Auflösung von Kalk bei der Extraktion verursacht.

Infolge der stark sauren Bodenverhältnisse dominiert Al bis in eine Tiefe von rund 110cm am Kationenaustauscher, die Belegung mit Nährstoffkationen ist in diesem Tiefenbereich gering. In grösserer Tiefe nimmt die Ca-Belegung rasch zu und erreicht im C-Horizont einen maximalen Wert von nahezu 100%. Mg ist, in Abhängigkeit der Konkurrenz von Al und Ca, vor allem im mittleren und unteren Profilbereich vorhanden. Die K-Belegung am Kationenaustauscher ist im gesamten Profil konstant.



## Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Grösse der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 143 bis 145 dargestellt.

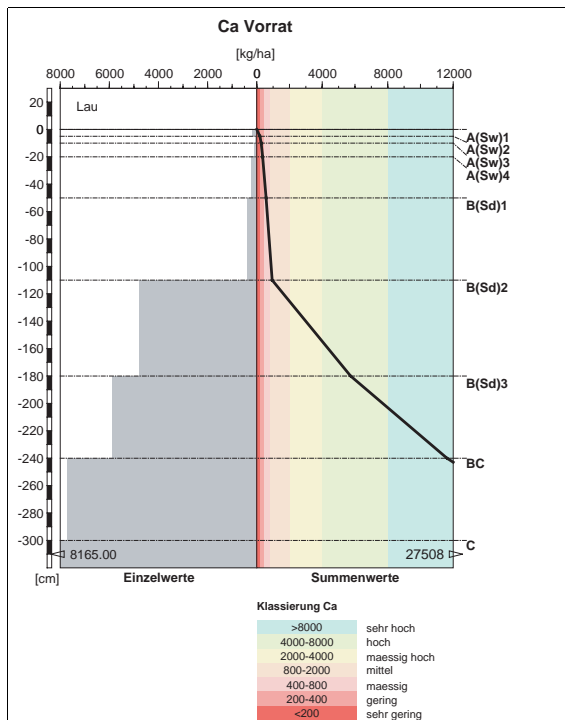


Abb. 143: Calcium-Vorrat

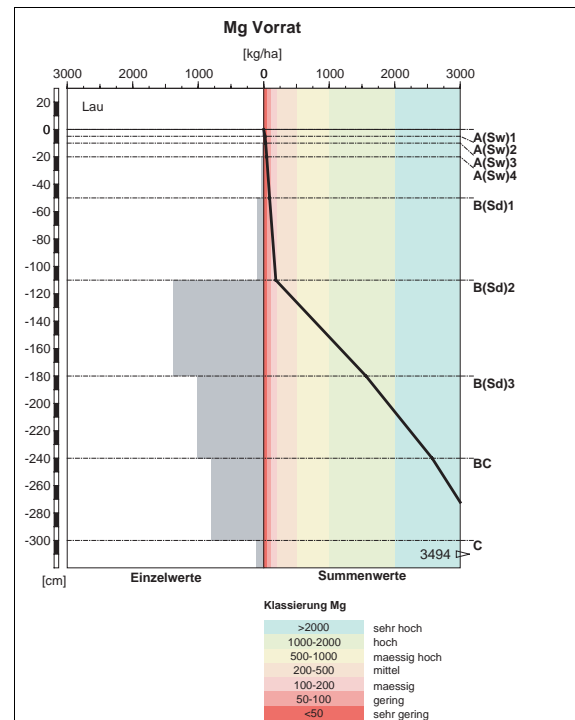


Abb. 144: Magnesium-Vorrat

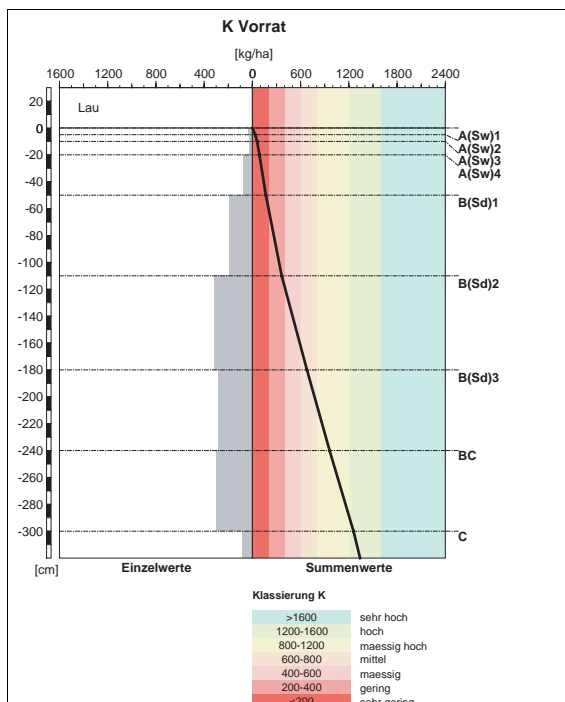


Abb. 145: Kalium-Vorrat

Die Vorräte an Ca und Mg nehmen bis 110cm Tiefe nur langsam, darunter jedoch deutlich zu. Die K-Vorräte steigen mit zunehmender Tiefe ziemlich kontinuierlich an.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca mässig
- Mg gering
- K gering

Der Boden ist bis mindestens 220cm Tiefe durchwurzelt. Damit wird der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt. Bis 220cm Tiefe werden die Vorräte optimistischer bewertet:

- Ca sehr hoch
- Mg sehr hoch
- K hoch

Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als hoch bis sehr hoch bewertet.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen günstige Bedingungen vor (siehe Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte").

### 2.2.8.6 Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 2 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 57) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 57: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Lausanne

Standortangaben	
Relief	
Höhe	810m
Exposition	NE
Neigung	7%
Klima	
Jahresniederschlag	1062mm
Jahrestemperatur	8.6°C
Ausgangsgestein	Würmmoräne über Molasse-Sandstein
Baumbestand	
Struktur	mehrheitlich einschichtig
Schlussgrad	95%
Baumarten (Deckung)	85% Buche, 15% Tanne
Oberhöhe	30-35m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 8: Waldhirschen-Buchenwald
Bodenkennwerte (beziehen sich auf das Profil Nr. 2)	
Bodensystematik	
Bodentyp	Braunerde, schwach pseudovergleyt
Bodentyp (LWF-Fläche)	Braunerde, sehr schwach p.vergleyt-Pseudogley (meist Braunerde, p.vergleyt)
Humusform	Mull (Feuchtmull)
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-Moder (überwiegend Moder)
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	Aufgrund der beobachteten morphologischen Vernässungsmerkmale scheint der Luft-

Durchwurzelung	und Wasserhaushalt im Oberboden recht ausgeglichen zu sein. Ab 50cm Tiefe ist dagegen mit periodischer Wassersättigung und damit verbundenen, nachteiligen Auswirkungen auf den Lufthaushalt zu rechnen.
pflanzenverfügbares Wasser	Im Profil (320cm) ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Der Boden wird physiologisch als äusserst tiefgründig klassiert. Er ist bis mindestens 220cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird damit vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt. Die durch schwache Pseudovergleyung angezeigte, periodisch mangelhafte Durchlüftung vermag das Wurzelwachstum offensichtlich nicht zu unterbinden.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als hoch klassiert. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen ist an diesem Standort kaum je mit Trockenstress für die Bäume zu rechnen.
Al-Toxizität	Der Boden ist nahezu profulumfassend stark sauer. Im Untergrund ist in 300cm Tiefe beim Übergang zum kalkhaltigen Moränematerial ein pH-Sprung auf >7 und damit in den alkalischen Bereich festzustellen. Die Kalkgrenze verläuft in 300cm Tiefe.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	In der Bodenmatrix werden bis in eine Tiefe von rund 100cm minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.1 gemessen. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird damit unterschritten. In den obersten 100cm besteht folglich ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Das als mässig eng klassierte C/N-Verhältnis lässt zwar eine mässig hohe Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Das örtliche Vorkommen der Humusform Moder zeigt jedoch, dass der Abbau der organischen Substanz etwas gehemmt abläuft.
Verankerung	Im durchwurzelteten Boden (220cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als hoch bis sehr hoch klassiert. Die obersten 100cm des Bodens sind jedoch relativ nährstoffarm. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen günstige Bedingungen vor.
Befahrbarkeit	Da die Buchen diesen Boden sehr tief durchwurzeln und keine Limiten für das Wurzelwachstum erkennbar sind, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes als günstig beurteilt.
	Der Oberboden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da er nur wenig Steine und reichlich Schluff und Ton enthält.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der Bestand ist ein ausgewachsener, nahezu reiner Buchenwald. Er wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als standortgerecht bezeichnet. Wir können also davon ausgehen, dass die vorhandenen Baumarten die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten gut nutzen.

Im Streueintrag überwiegt in diesem Wald seit Jahrzehnten Buchenlaub. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

### *Keimbeet*

Auf der LWF-Fläche ist die Humusform meistens Moder. Der aktuell nur geringmächtige F-Horizont würde durch Einbringen eines zu hohen Nadelholzanteils im Verlaufe der Zeit deutlich mächtiger werden und einen immer grösseren Teil der LWF-Fläche bedecken. Als Folge davon dürfte der Keimungserfolg der Fichte und damit ihre Konkurrenzkraft in der Verjüngungsphase ansteigen. Zudem würden grössere Nährstoffmengen in der organischen Auflage blockiert, welche dann mittelfristig nicht für das Pflanzenwachstum verfügbar wären. Schliesslich wäre auch mit einer verstärkten Versauerung des Bodens zu rechnen, denn in organischen Auflagen werden durch den unvollständigen Abbau der organischer Substanz Säuren gebildet.

Umgekehrt kann durch Einbringen von geeigneten Laubböhlzern in den Haupt- oder Nebenbestand eine noch besser abbaubare Streumischung und damit eine schnellere Mineralisierung von Nährstoffen erzielt werden.

### *Anwuchs- und Aufwuchsphase*

Für die Anwuchs- und Aufwuchsphase birgt der Boden für die Mehrzahl der Baumarten keine Probleme, da nicht nur der Wasser- und Lufthaushalt sondern auch die Nährstoffversorgung günstig beurteilt werden. Für Edellaubhölzer (Bergahorn, Esche, Kirschbaum, Bergulme, Linden) dürfte jedoch die Versorgung mit Nährstoffkationen (Ca, Mg, K) in den obersten 100cm des Bodens an der unteren Grenze des Nötigen liegen.

Mit tiefwurzelnden Baumarten können die Vorräte an Nährstoffkationen im Oberboden vergrössert werden, da diese Baumarten die in der Tiefe reichlich vorhandenen Nährstoffvorräte in Umlauf bringen. Als positiver Nebeneffekt der tiefen Durchwurzelung wird die Stabilität des Bestandes gegenüber Sturmschäden erhöht.

Da Laubstreu generell weniger sauer wirkt als Nadelstreu, kann mit der Erhaltung eines hohen Laubholzanteils längerfristig das Risiko von durch Al-Toxizität verursachten Wurzelschäden verringert werden.

### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 58):

Tab. 58: Baumartenempfehlung

<b>Baumarten im Hauptbestand</b>	Buche, Tanne, (Bergahorn, Bergulme, Esche, Eiche)
<b>Laubholzanteil</b>	mindestens 50%
<b>Baumarten im Nebenbestand</b>	Bei erhöhtem Nadelholzanteil im Hauptbestand können im Nebenbestand geeignete Baumarten als Bodenverbesserer eingebracht werden. Mögliche Baumarten sind Winterlinde, Hagebuche, Vogelbeere und Buche.

## 2.2.9 LWF-Fläche Lens (Bodenprofil Nr. 3)

### 2.2.9.1 Themenbereich “Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie“

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 3 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Lens und zum Bodenprofil Nr. 3

Die Tab. 59 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Lens und zum Profil Nr. 3. Die Tab. 60 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 59: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Lens und zum Profil Nr. 3

<b>Lokalname</b>	La Vereilla (Gemeinde Lens, Kt. VS)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1286, St-Léonard
	Koordinaten 599 792 / 124 126
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 64: Geissklee-(Wald-)Föhren-Mischwald ( <i>Cytiso-Pinetum silvestris</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-F-A-AB-B1-B2-B3-B4-C
<b>Humusform</b>	Moder
<b>Bodentyp</b>	Braunerde
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Haplic Calcisol

Tab. 60: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 3

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	1040m	
	Exposition	SE	
	Neigung	75%	
	Geländeform	Mittelhang	
<b>Ausgangsgestein</b>	Oberfläche	Postglazialer, kalkreicher Gehängeschutt.	
	Untergrund	Penninikum. Ferret-Zone. Mesozoikum. Trias. Sandiger Kalkstein.	
	Beobachtung am Profilort	Die petrographische Zusammensetzung des Gehängeschuttes ist schwer abzuschätzen.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	8.0°C / 954mm	
	T / N Januarmittel	- 0.2°C / 105mm	
	T / N Julimittel	17.1°C / 72mm	
	Tage mit Schneedecke	106	
	Wärmegliederung	ziemlich mild	
	Länge der Vegetationsperiode	200-205 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (15m Höhe)	80%	85% Waldföhre ( <i>Pinus sylvestris</i> ) 15% Lärche ( <i>Larix decidua</i> )
	Strauchschicht	2%	-
	Krautschicht	5%	Niedrige Segge ( <i>Carex humilis</i> ) Rotes Seifenkraut ( <i>Saponaria ocymoides</i> ) Edelgamander ( <i>Teucrium chamaedrys</i> ) Espansetten-Tragant ( <i>Astragalus onobrychis</i> )
	Moosschicht	1%	-

#### Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit U5 (alpine Kalk-Berglandschaften, steile Südhänge). U5 stellt 543 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 4.6% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

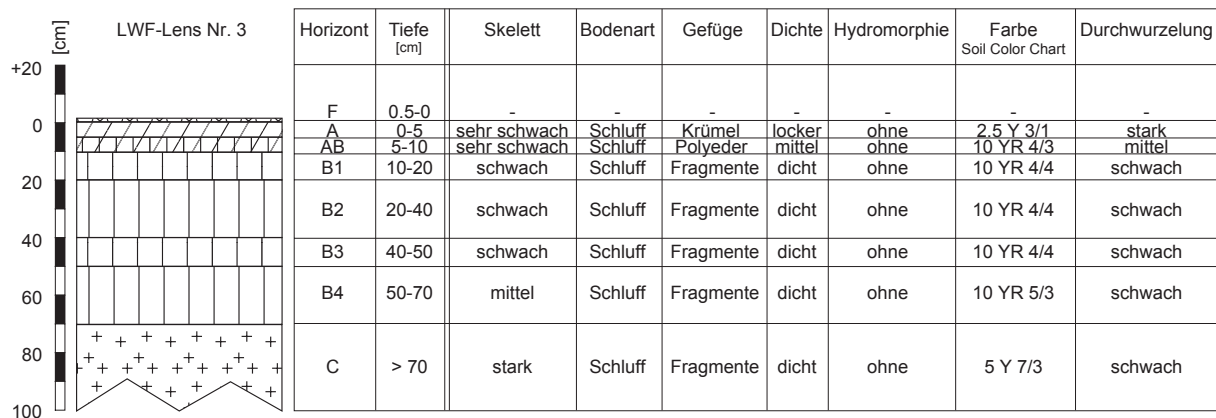
### Besonderheiten am Profilort

Da die LWF-Fläche an einem sehr steil gelegenen, südexponierten Hang liegt und zudem windexponiert ist, müssen die klimatischen Angaben mit Vorsicht interpretiert werden. Der Wasserhaushalt des Standortes ist sicher wesentlich angespannter, als aufgrund der obenstehenden klimatischen Angaben vermutet wird. Die Periode mit einer Schneedecke dauert an diesem Sonnenhang mit Sicherheit deutlich weniger lang als die angegebenen 106 Tage.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 61 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 61: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 3



Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
F	0,5-0	-	-	-	-	-	-	-
A	0-5	sehr schwach	Schluff	Krümel	locker	ohne	2,5 Y 3/1	stark
AB	5-10	sehr schwach	Schluff	Polyeder	mittel	ohne	10 YR 4/3	mittel
B1	10-20	schwach	Schluff	Fragmente	dicht	ohne	10 YR 4/4	schwach
B2	20-40	schwach	Schluff	Fragmente	dicht	ohne	10 YR 4/4	schwach
B3	40-50	schwach	Schluff	Fragmente	dicht	ohne	10 YR 4/4	schwach
B4	50-70	mittel	Schluff	Fragmente	dicht	ohne	10 YR 5/3	schwach
C	> 70	stark	Schluff	Fragmente	dicht	ohne	5 Y 7/3	schwach

Das Vorhandensein einer organischen Auflage deutet darauf hin, dass die biologische Aktivität gehemmt ist. Die überwiegend von Waldföhren stammende Streu wird langsam und unvollständig abgebaut. Mit der Horizontfolge L-F-A wird die Humusform als Moder klassiert.

Im rund 1m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch fünf Horizonte unterscheiden. Da der B-Horizont in verschiedenen Tiefen beprobt wurde, sieht die Horizontfolge des Profils wie folgt aus: A-AB-B1-B2-B3-B4-C. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Braunerde klassiert. Die durch Verwitterungsprozesse verbrauchten Horizonte sind gesamthaft geringmächtig. Bemerkenswert ist, dass auch unterhalb der Kalkgrenze eine Verbraunung stattgefunden hat (B3- und B4-Horizont). Es kommen keine hydromorphen Merkmale vor.

### *Besonderheiten des Profils*

Die Kalkgrenze verläuft in 40cm Tiefe. Im Profil sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar. Kalkausfällungen unterhalb 50cm deuten darauf hin, dass das Sickerwasser im Unterboden häufig vollständig verdunstet. Der im Wasser gelöste Kalk fällt dabei als Kalkflaum aus.

Der Boden wurde bis 40cm Tiefe nicht nach Horizonten, sondern, entsprechend dem europäischen Monitoringstandard, nach fixen Tiefenstufen beprobt. Unterhalb 40cm wurde das Profil nach Horizonten beprobt.

### 2.2.9.2 Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte"

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 3 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

#### *Skelettgehalt und Bodenart*

In Abb. 146 ist der Skelettgehalt und in Abb. 147 die Bodenart dargestellt.

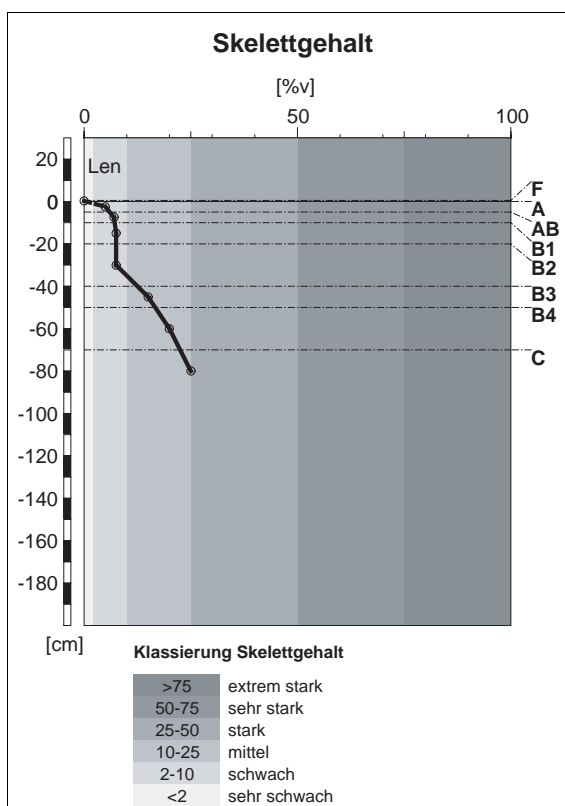


Abb. 146: Skelettgehalt

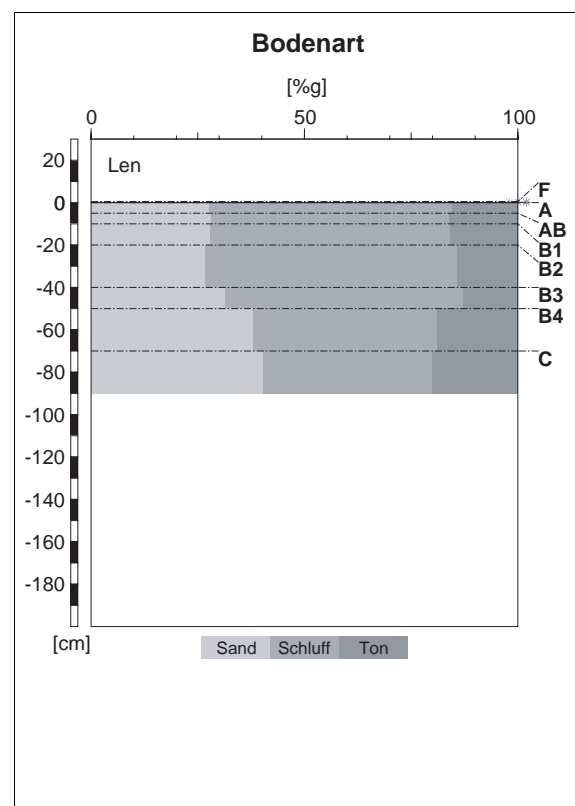


Abb. 147: Bodenart

Der Boden ist bis 40cm Tiefe schwach, darunter mittel skeletthaltig.

Die Feinerde setzt sich überwiegend aus Schluff zusammen, es ist aber auch reichlich Sand und Ton vorhanden. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen mittelschweren Boden. Auffällig ist, dass der Tongehalt über das gesamte Profil hinweg relativ konstant ist, nach unten sogar leicht zunimmt.

## Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 148 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 149 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

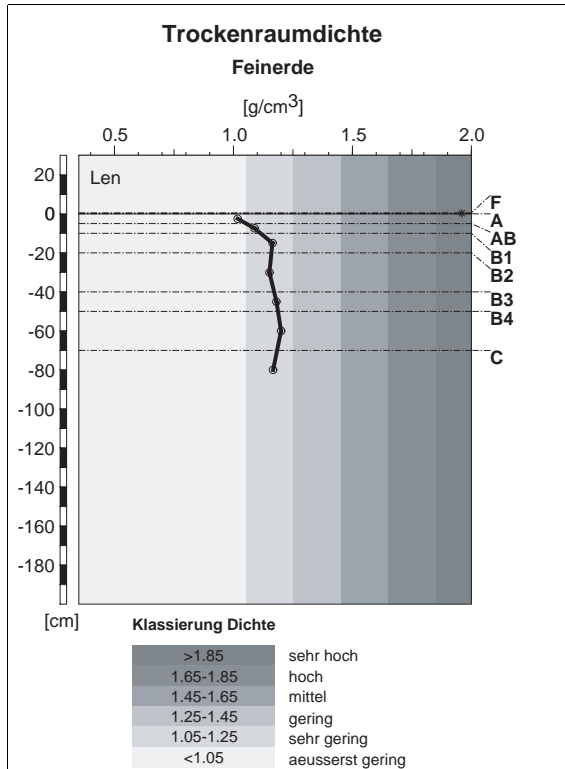


Abb. 148: Dichte der Feinerde

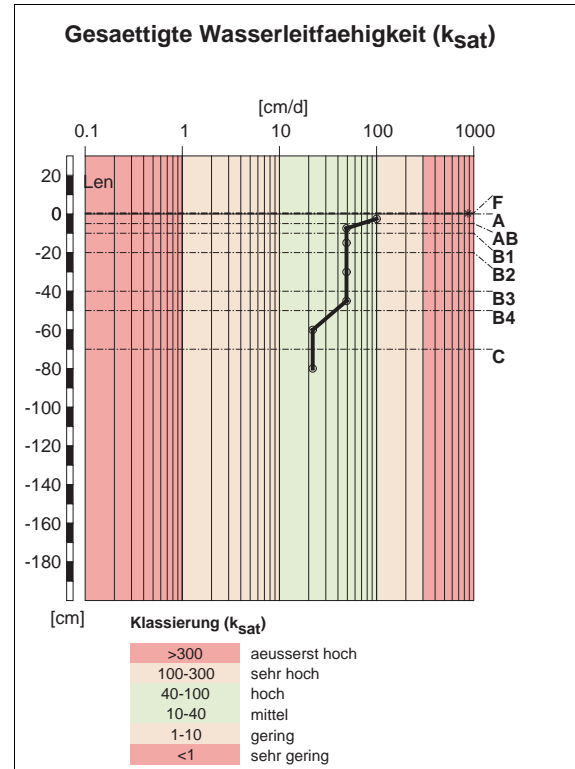


Abb. 149: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Die Dichte der Feinerde ist profulumfassend sehr gering. Die Dichtewerte sind über das gesamte Profil hinweg konstant, was nur in wenigen Böden beobachtet werden kann.

Das Profil ist bis 50cm Tiefe hochdurchlässig, darunter ist seine Durchlässigkeit infolge des etwas grösseren Tongehaltes mittel.



## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 150 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

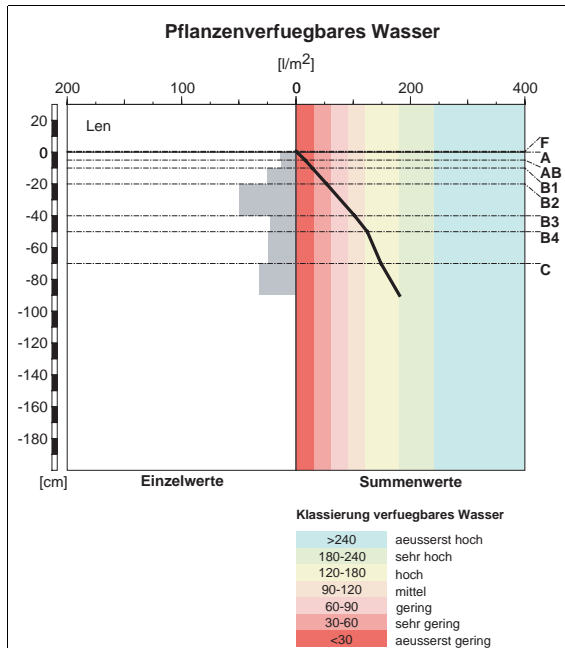


Abb. 150: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis in eine Tiefe von 120cm wird als hoch klassiert. Der geringe Skelett- und der hohe Schluffgehalt wirken sich günstig auf die Speicherleistung aus. Es wird angenommen, dass der Wurzelraum nach unten offen ist.

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Im Profil sind keine morphologischen Vernässungsmerkmale erkennbar. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind also nicht zu erwarten. Unterstützt wird diese Einschätzung durch die Leitfähigkeitskurve, welche für das gesamte Profil eine normale Durchlässigkeit angibt.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Im gesamten Profil ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Die Dichte der Feinerde liegt im gesamten Profil unterhalb der als kritisch erachteten Grenze von 1.4kg/dm<sup>3</sup>. Der Boden wird als sehr tiefgründig (>120cm) klassiert. Er ist tiefer als 90cm durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von 120cm Mächtigkeit ist damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 30 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Da der Boden tiefer als 120cm durchwurzelbar ist, kann Trockenstress auch später eintreten.

Obenstehende Angaben bezüglich Trockenstress sind mit Vorsicht zu betrachten, denn sie gelten für Standorte mit normalem Relief und normalem Mikroklima. Diese Voraussetzungen sind auf der LWF-Fläche Lens nicht gegeben, denn sie liegt in einem Trockengebiet im Zentralwallis an einem südexponierten, dem Talwind ausgesetzten Steilhang. Der berechnete Zeitraum von 30 Tagen bis zum Beginn von Trockenstress ist hier kaum realistisch, weil der verfügbare Wasserspeicher in der Vegetationszeit kaum je vollständig aufgefüllt wird. Es ist

anzunehmen, dass der Bestand unter dem hier herrschenden Lokalklima häufig unter Trockenstress leidet.

### Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in Nässeperioden empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil gering und der Schluffanteil hoch ist.

### 2.2.9.3 Themenbereich "Säurezustand"

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 3 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

#### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 151), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 152) sowie der Basensättigung (Abb. 153) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.

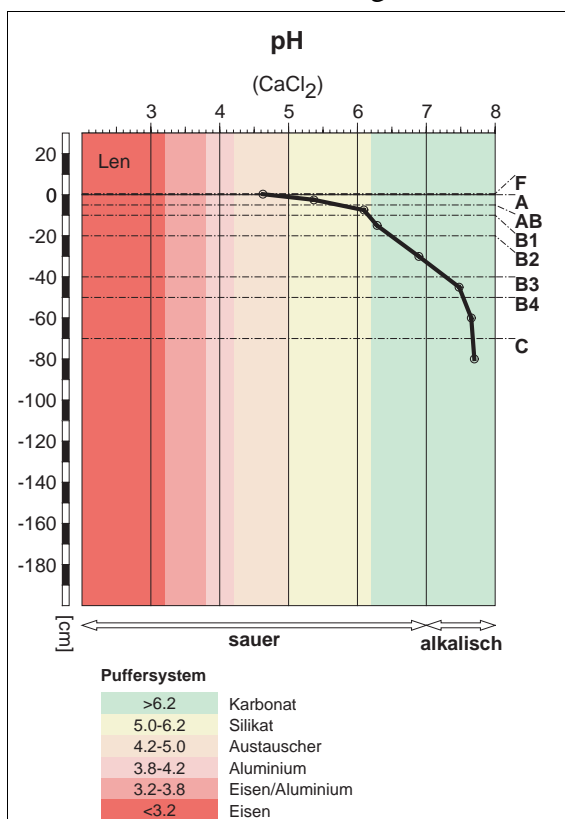


Abb. 151: pH-Wert und Pufferbereiche

Der Boden ist nur im sehr geringmächtigen Fermentationshorizont an der Bodenoberfläche stark sauer. Darunter nimmt der pH-Wert rasch zu und erreicht in 40cm Tiefe beim Übergang ins carbonathaltige Substrat Werte über 7 und liegt damit ab dieser Tiefe im alkalischen Bereich.

Eingetragene Säuren werden im Mineralboden bis 10cm Tiefe überwiegend durch Silikat-, darunter durch Carbonatverwitterung gepuffert.

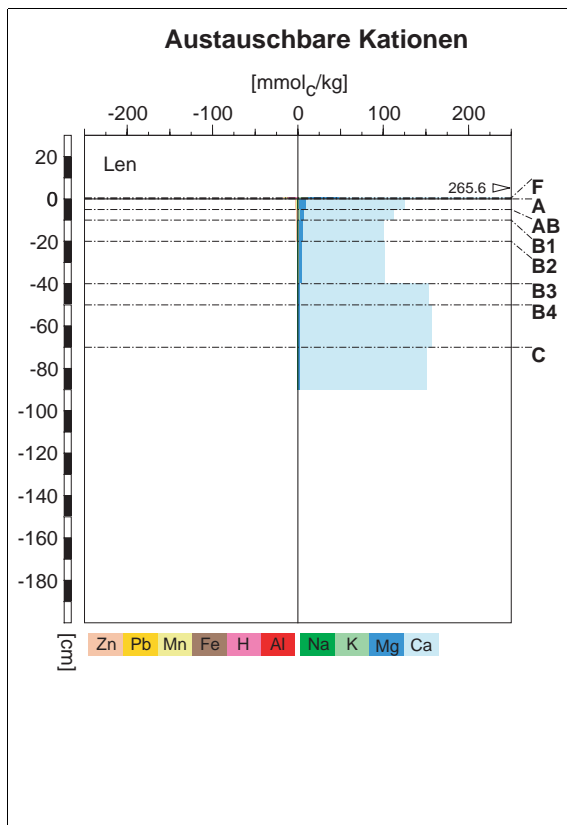


Abb. 152: Austauschbare Kationen

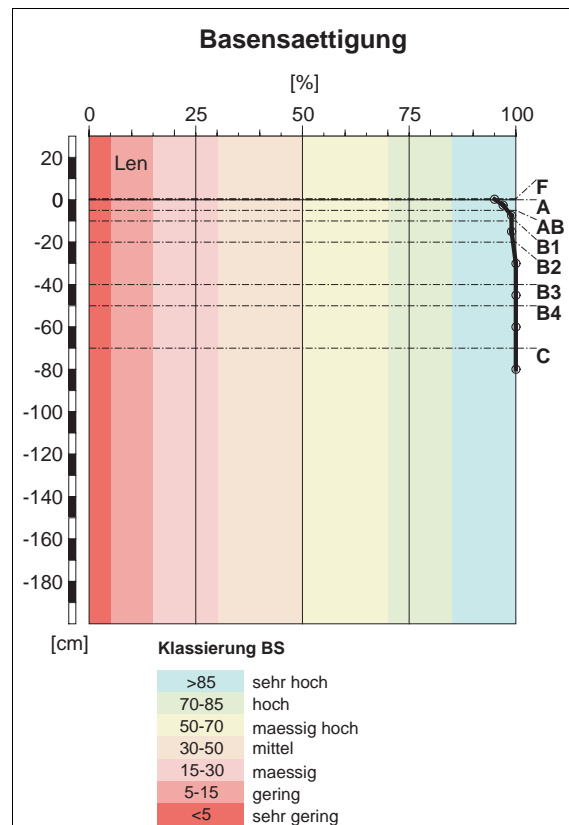


Abb. 153: Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist profilumfassend überwiegend mit Nährstoffkationen belegt. Dementsprechend hoch ist die Basensättigung. Sie liegt im gesamten Profil zwischen 95 und 100%.

In der organischen Auflage (F-Horizont) und in der Mineralerde sind bis 10cm Tiefe neben Nährstoffkationen auch sehr geringe Mengen an sauren Kationen am Austauscher vorhanden.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem carbonathaltigen Ausgangsgestein (Kalk-Gehängeschutt) eine Braunerde entwickelt.

Der Boden ist nur schwach und oberflächlich versauert. Dies lässt sich daran erkennen, dass nur die obersten 20cm des Bodens einen deutlich erniedrigten pH-Wert haben. Die geringe Tiefe der Kalkgrenze und die profilumfassend hohe Basensättigung deuten ebenfalls auf eine nur schwache Versauerung hin. Die Kalkgrenze verläuft heute in einer Tiefe von 40cm, was bedeutet, dass das ursprünglich vorhandene Carbonat bis in diese Tiefe für die Säurepufferung aufgebraucht worden ist.

Nährstoffkationen werden lediglich in den obersten 5cm (und dort auch nur in geringem Ausmass) durch saure Kationen vom Austauscher verdrängt. Dies wird durch die reduzierte Basensättigung belegt.

### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird aufgrund seiner nur oberflächlichen Versauerung und aufgrund seines vermutlich grossen Puffervermögens als nur wenig empfindlich für eine weitere Versauerung bewertet. Eine zukünftige Versauerung wird mittelfristig höchstens in den obersten 10 bis 20cm des Bodens bemerkbar werden.

An diesem südexponierten Waldföhrenstandort ist der Abbau der organischen Substanz infolge der schwer abbaubaren Nadelstreu und der periodischen Sommertrockenheit gehemmt, so dass sich auf der LWF-Fläche eine fast flächendeckende organische Auflage (Moder) gebildet hat. Die verminderte biologische Aktivität ist hier also nicht durch den pH-Wert bedingt. Da der Boden in Zukunft wenig empfindlich auf weitere Säureinträge reagieren dürfte, ist in absehbarer Zeit auch nicht mit einer säurebedingten Veränderung der Abbaubedingungen zu rechnen.

Der Boden befindet sich bis in eine Tiefe von 10cm im Silikat-Pufferbereich. Eine fortschreitende Bodenversauerung hat zur Folge, dass das bei der Silikatverwitterung freigesetzte Al vorzugsweise am Austausch gebunden wird und damit kationische Nährstoffe vom Austauscher verdrängt. Dadurch wird die Basensättigung vermindert. Über sehr lange Zeiträume betrachtet wird auch die Entcarbonatung im Unterboden fortschreiten.

An diesem Waldföhrenstandort sind hinsichtlich Bodenversauerung in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen auf die Vegetation zu erwarten.

Die Versauerung erhöht das Risiko für die Tiefenverlagerung von Schwermetallen. Da der Oberboden nur sehr langsam weiter versauern dürfte und ab 40cm Tiefe carbonathaltiges Substrat vorliegt, wird das Risiko einer Grundwasserkontamination als sehr gering eingestuft, zumal an diesem sehr trockenen Südhang nur wenig Wasser in die Tiefe versickert und der Boden nicht durch lateral fließendes Wasser beeinflusst ist.

#### **2.2.9.4 Themenbereich "Schwermetalle"**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 3 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Die VBBo-Richtwerte gelten bei einem Humusgehalt <15% in mg/kg, ansonsten in mg/dm<sup>3</sup>. Im F-Horizont konnte der volumenbezogene Gehalt (mg/dm<sup>3</sup>) mangels Kenntnis der Dichte nicht berechnet werden. Daher erfolgt dort keine Richtwertbeurteilung.

### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus kalkreichem Hangschutt besteht, liegt der Cu-Gehalt oberhalb und die Ni-, Zn- und Pb-Gehalte innerhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 12 (geschieferte Kalksteine). Für Cr kann keine Aussage gemacht werden, da der Gehalt im untersten Horizont unter der Bestimmungsgrenze liegt.

Im Ausgangsgestein liegt, verglichen mit den Angaben für das Gebiet der Alpen, ein sehr hoher Gehalte an Cu vor. Der Ni-Gehalt ist hoch und die Zn- und Pb-Gehalte erhöht. Für Cr kann keine Aussage gemacht werden, da der Gehalt unter der Bestimmungsgrenze liegt.

### Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 154 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 155 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als "Δ", die Richtwerte der VBBo als "◇" markiert.

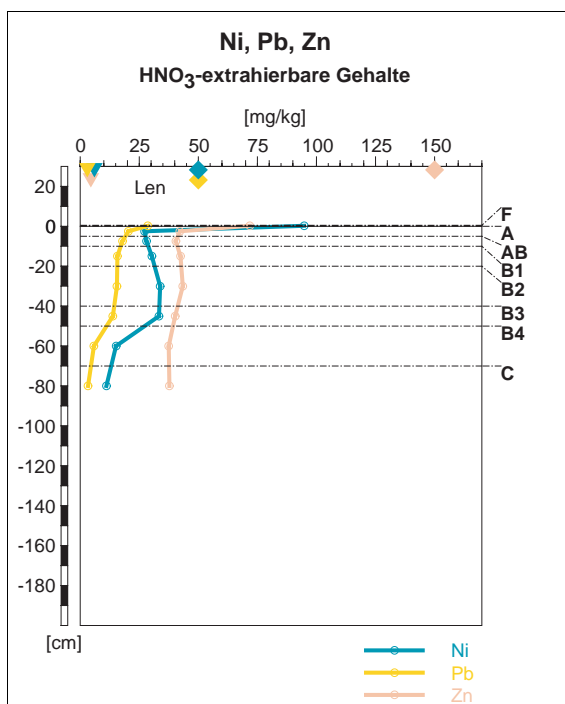


Abb. 154: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

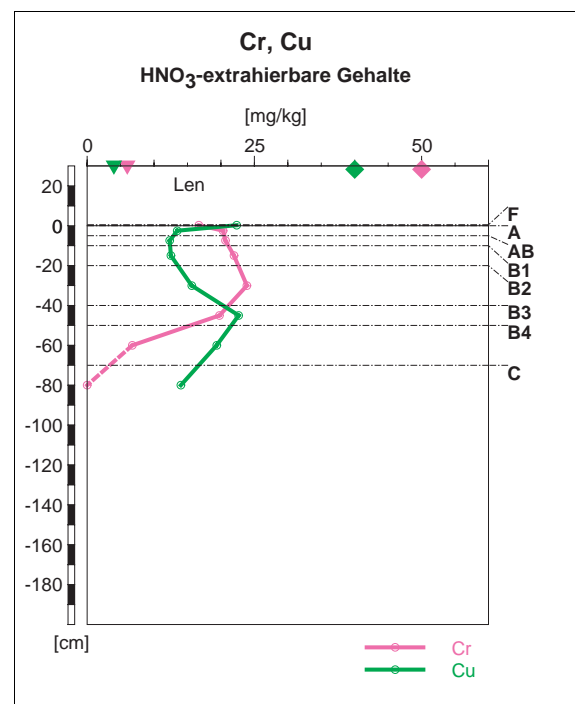


Abb. 155: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen für Zn profilumfassend sehr niedrige Gehalte vor. Für Cr und Pb sind die Gehalte je nach Horizont niedrig bis sehr niedrig, für Ni und Cu sehr niedrig bis erhöht. Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

### Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In der sehr geringmächtigen organischen Auflage werden die in der Literatur angegebenen kritischen Werte für Cr deutlich und für Cu leicht überschritten. In den obersten 10cm des Mineralbodens dagegen sind alle Schwermetalle in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden.

## Anreicherungs-faktoren

Die Anreicherungs-faktoren sind in Tab. 62 dargestellt.

Tab. 62: Anreicherungs-faktoren

Horizont	Tiefe		Anreicherungs-faktor				
	[cm]		Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
A	0	- 5	1.65	0.56	0.18	1.04	nb
AB	5	- 10	1.71	0.62	0.25	1.02	nb
B1	10	- 20	1.75	0.77	0.26	1.15	nb
B2	20	- 40	1.49	0.69	0.32	1.01	nb
B3	40	- 50	1.60	0.76	0.46	1.30	nb
B4	50	- 70	0.98	0.77	0.74	1.03	nb
C	70	- 90	1.00	1.00	1.00	1.00	nb

Die hohen Anreicherungs-faktoren von Pb in den obersten 50cm weisen auf atmogene Ein-träge hin. Das eingetragene Pb scheint in diesem Boden bis in grössere Tiefen verlagert und angereichert zu sein. Beim Cu dagegen hat bis 50cm Tiefe eine sehr starke Verarmung statt-gefunden. Bei Zn und Ni ist weder eine eindeutige Verarmung noch Anreicherung im Profil feststellbar und für Cr fehlen entsprechende Messwerte.

Im Boden ist nur für Pb in den obersten 50cm eine anthropogene Belastung zu erkennen.

## Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 156.

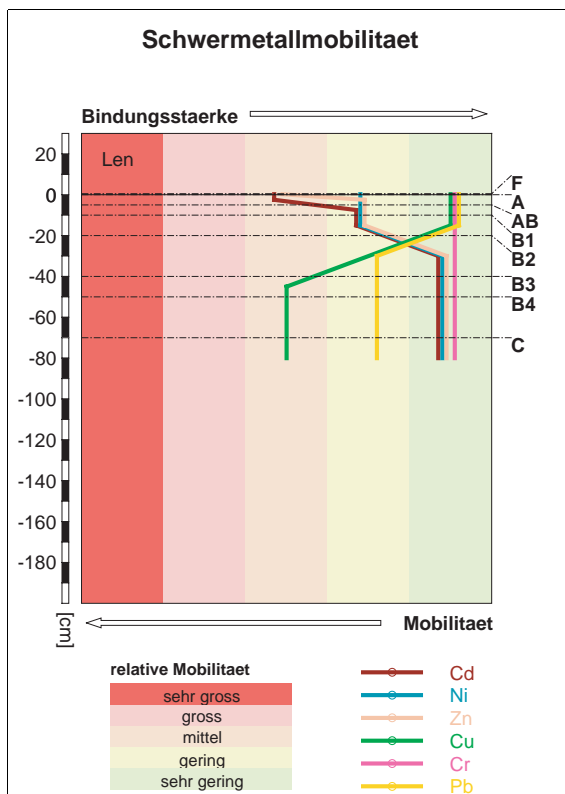


Abb. 156: Mobilität von Schwermetallen

Entsprechend dem geringen Säuregrad im grössten Teil des Bodens sind die Schwermetalle nur wenig mobil (siehe Mobilitätsindices). Eine Ausnahme bilden Cu und Pb, die wegen der Bildung löslicher Carbonatkomplexe etwas mobiler sein dürften. Dass Pb und Cu in diesem Boden relativ mobil sind, ist auch anhand der Anreicherungs-faktoren ersichtlich.

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort gering, zumal an diesem südexponierten Hang mit trockenem Klima selten mit Tiefensik-kerung von grösseren Wassermengen gerechnet werden muss.

### 2.2.9.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 3 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Humusform und Bodengefüge lassen auf eine eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit schliessen. Das Vorhandensein einer organischen Auflage zeigt, dass der Abbau der organischen Substanz gehemmt ist. Die Bodenorganismen bauen die anfallenden Föhren- und Lärchennadeln nicht innert Jahresfrist ab. Die Mächtigkeit der organischen Auflage variiert auf der LWF-Fläche. Die Humusform ist verbreitet Moder, stellenweise kommt Mull vor. Der gehemmte Abbau dürfte an diesem südexponierten und niederschlagsarmen Standort mit der zeitweiligen Austrocknung des Oberbodens aber auch mit der schlecht abbaubaren Streu zusammenhängen.

Das C/N-Verhältnis in der organischen Auflage beträgt rund 40 und liegt damit in einem Bereich, der, gemäss Literaturangaben, für Rohhumus üblich ist. Das als sehr weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine extrem niedrige Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses vorgenommene Beurteilung der Nährstoffverfügbarkeit ist etwas pessimistischer als jene, welche auf morphologischen Beobachtungen beruht.

#### Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 157) und die Austauschbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 158).

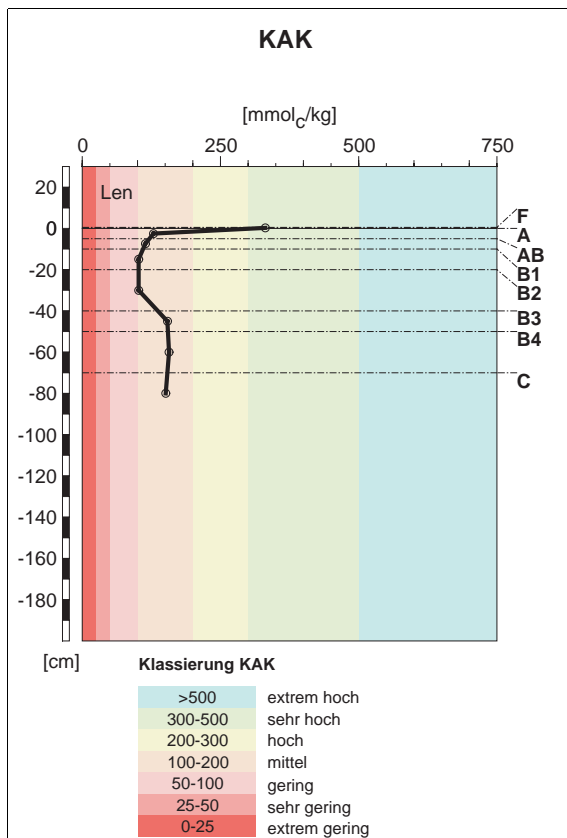


Abb. 157: Kationenaustauschkapazität (KAK)

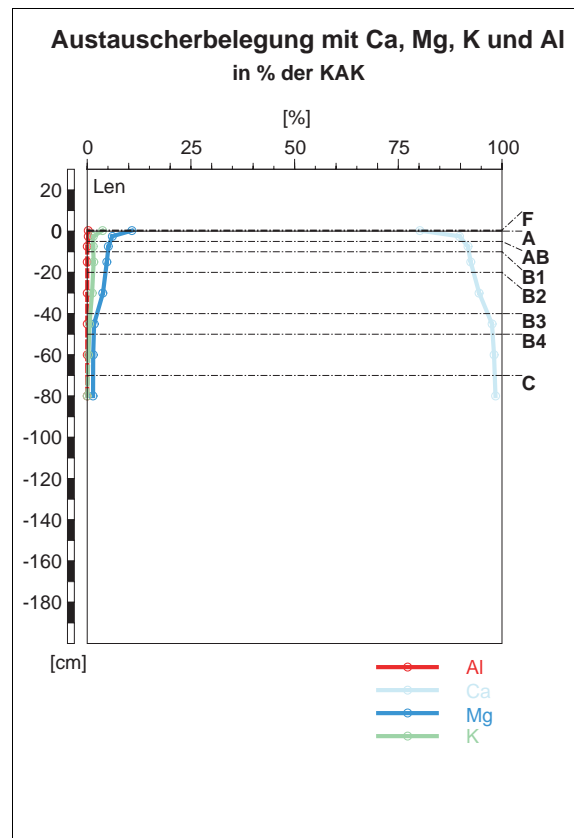


Abb. 158: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK wird im Mineralboden als mittel eingestuft, in der geringmächtigen organischen Auflage ist sie sehr hoch. Die ab 40cm sprunghafte Erhöhung der KAK ist methodisch bedingt. Sie wird durch die Auflösung von Kalk bei der Extraktion verursacht.

Im gesamten Mineralboden dominiert Ca mit über 90% Belegung am Kationenaustauscher und unterhalb der Kalkgrenze, also ab 40cm Tiefe, ist der Austauscher fast zu 100% mit Ca belegt. Austauschbares Mg ist vor allem oberhalb der Kalkgrenze vorhanden. Die K-Belegung ist im gesamten Profil relativ niedrig und konstant. Austauschbares Al hat in diesem Boden keine Bedeutung.

### Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Größe der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 159 bis 161 dargestellt.



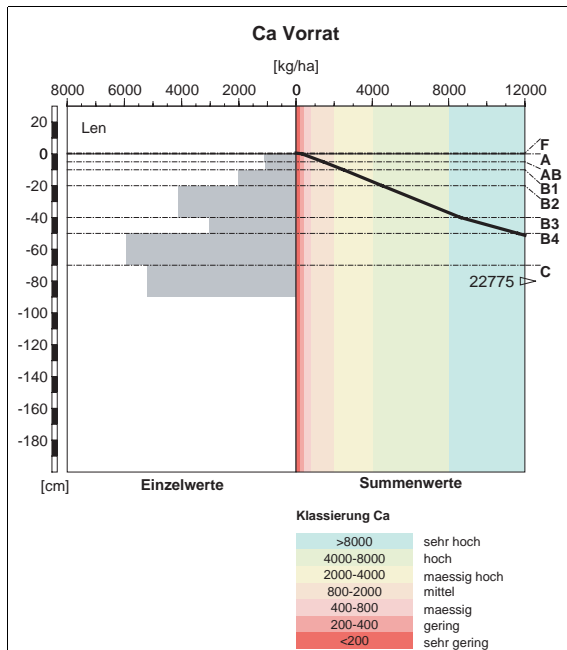


Abb. 159: Calcium-Vorrat

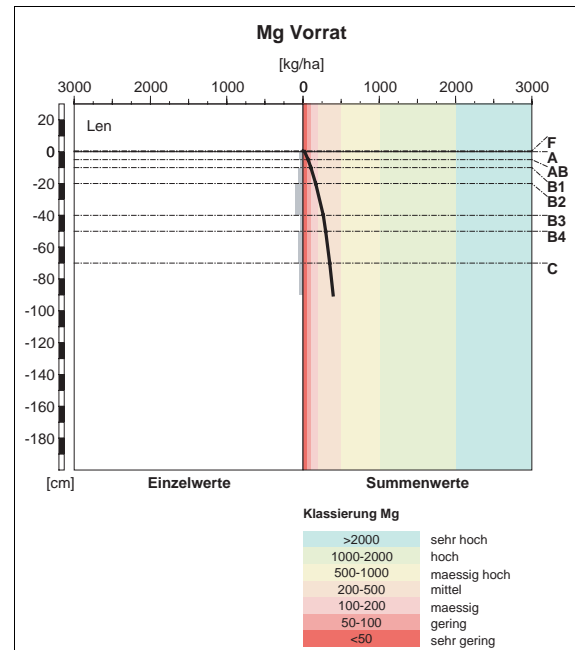


Abb. 160: Magnesium-Vorrat

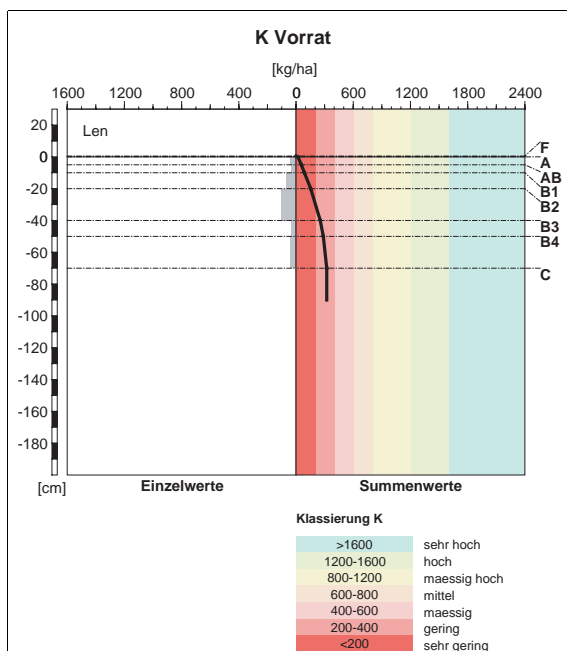


Abb. 161: Kalium-Vorrat

Die Vorräte der einzelnen Nährstoffkationen nehmen zur Tiefe hin in unterschiedlichem Ausmass zu. Der Ca-Vorrat nimmt rasch, jener von Mg langsam und jener von K sehr langsam zu.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca sehr hoch
- Mg mittel
- K gering

Der Boden ist bis mindestens 100cm Tiefe durchwurzelt, der potentielle Wurzelraum wird damit durch den Bestand gut ausgenutzt. Bis 100cm Tiefe werden die Vorräte kaum optimistischer bewertet:

- Ca sehr hoch
- Mg mittel
- K gering

Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als unausgewogen beurteilt.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen an diesem südexponierten und niederschlagsarmen Standort ungünstige Bedingungen vor (siehe Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte").

### 2.2.9.6 Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 3 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 63) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 63: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Lens

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	1040 m
Exposition	SE
Neigung	75%
Klima	
Jahresniederschlag	954mm
Jahrestemperatur	8.0°C
Ausgangsgestein	Kalkreicher Gehängeschutt
Baumbestand	
Struktur	mehrheitlich einschichtig
Schlussgrad	80%
Baumarten (Deckung)	85% Waldföhre, 15% Lärche
Oberhöhe	10-15 m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 64: Geissklee-(Wald-)Föhren-Mischwald
<b>Bodenkennwerte</b> (beziehen sich auf das Profil Nr. 3)	
Bodensystematik	
Bodentyp	Braunerde
Bodentyp (LWF-Fläche)	Syrosem-Braunerde (überwiegend Kalkbraunerde)
Humusform	Moder
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-Moder (überwiegend Moder)
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	Im Profil sind keine morphologischen Vernässungsmerkmale vorhanden. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind also nicht zu erwarten.

Durchwurzelung	Im Profil (100cm) ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Der Boden wird physiologisch als sehr tiefgründig klassiert. Er ist bis mindestens 100cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird damit vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.
pflanzenverfügbares Wasser	Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als hoch klassiert. Es ist aber trotzdem anzunehmen, dass der Bestand unter dem trockenen Lokalklima häufig an Trockenstress leidet.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	Der Boden ist nur im geringmächtigen Fermentationshorizont an der Bodenoberfläche stark sauer. Darunter nimmt der pH-Wert rasch zu und erreicht in 40cm Tiefe beim Übergang ins carbonathaltige Substrat Werte >7 und liegt damit ab dieser Tiefe im alkalischen Bereich. Die Kalkgrenze verläuft in 40cm Tiefe.
Al-Toxizität	Al-Toxizität ist in diesem Boden kein Thema. Es sind hinsichtlich Bodenversauerung in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen auf die Vegetation zu erwarten.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Das als sehr weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine extrem niedrige Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Morphologisch deutet die Humusform Moder auf gehemmten Abbau hin.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelten Boden (100cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen wie folgt beurteilt: Ca: sehr hoch, Mg: mittel, K: gering Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen ungünstige Bedingungen vor. In Trockenperioden dürfte der Bestand nicht nur an Trockenstress sondern auch an Nährstoffmangel leiden.
Verankerung	Da die Föhren diesen Boden tief durchwurzeln und keine Limiten für das Wurzelwachstum erkennbar sind, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes als günstig beurteilt.
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert in Nässeperioden empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil relativ gering und der Schluffanteil hoch ist.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der Bestand ist ein nahezu reiner Föhrenwald. Nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen muss die aktuelle Bestockung als teilweise standortfremd bezeichnet werden. Namentlich die Lärche ist nicht standortgerecht. Natürlicherweise wäre wohl auch eine stärkere Beimischung der Flaumeiche vorhanden.

#### *Keimbeet, Anwuchs- und Aufwuchsphase*

Auf der LWF-Fläche ist die Humusform meistens Moder. Die Mächtigkeit des Fermentationshorizontes beträgt durchschnittlich rund 2cm. Durch Einbringen von geeigneten Laubhölzern in den Haupt- oder Nebenbestand kann eine besser abbaubare Streumischung und damit eine schnellere Mineralisierung von Nährstoffen erzielt werden. Die Humusform würde sich in Richtung Mull entwickeln. Aus bodenkundlicher Sicht wäre ein grösserer Laubholzanteil aber nicht nur für die Erhöhung der Nährstoffumsetzung wünschenswert. Durch die generell tiefe Durchwurzelung der Laubhölzer würde auch die Bestandesstabilität erhöht.

Die Baumartenwahl ist an diesem Standort jedoch klimatisch bedingt stark eingeschränkt, insbesondere infolge der grossen Sommertrockenheit. Unter den Laubhölzern kommt im Hauptbestand einzig die Flaumeiche als Beimischung zur Föhre in Frage, jene ist hier jedoch

im oberen Bereich ihres Verbreitungsgebietes. Alle übrigen Laubhölzer dürften klimatisch bedingt nur wenige Meter hoch werden und daher nur für den Nebenbestand in Frage kommen.

#### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 64):

Tab. 64: Baumartenempfehlung

<b>Baumarten im Hauptbestand</b>	Waldföhre, Flaumeiche
<b>Baumarten im Nebenbestand oder beigemischt</b>	Als Bodenverbesserer sind folgende Baumarten möglich: Flaumeiche, Mehlsbeere, Zitterpappel, Vogelbeere, Kirschbaum

## 2.2.10 LWF-Fläche Nationalpark (Bodenprofil Nr. 1)

### 2.2.10.1 Themenbereich “Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie“

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 1 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Nationalpark und zum Bodenprofil Nr. 1

Die Tab. 65 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Nationalpark und zum Profil Nr. 1. Die Tab. 66 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 65: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Nationalpark und zum Profil Nr. 1

<b>Lokalname</b>	Lingia Lungia (Gemeinde Zerne, Kt. GR)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1219, S-charl
	Koordinaten 813 599 / 171 719
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 67: Schneeheide-Bergföhrenwald ( <i>Erico-Pinetum montanae</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-F-Ah-AC-C1-C2-C3-C4-CSd
<b>Humusform</b>	Moder
<b>Bodentyp</b>	Rendzina
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Calcaric Fluvisol

Tab. 66: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 1

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	1900 m	
	Exposition	S	
	Neigung	11%	
	Geländeform	Mittelhang	
<b>Ausgangsgestein</b>	Kartengrundlagen	Postglazialer Schwemmfächer.	
	Beobachtung am Profilort	Schwemmfächer aus Dolomiten, Kalken, Tonschiefern und Rauhwacken.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	0.9°C / 895mm	
	T / N Januarmittel	- 8.6°C / 50mm	
	T / N Julimittel	10.7°C / 111mm	
	Tage mit Schneedecke	189	
	Wärmegliederung	sehr rau	
	Länge der Vegetationsperiode	120-135 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (10 m Höhe)	40%	35% Bergföhre ( <i>Pinus montana</i> )
	Strauchschicht	5%	-
	Krautschicht	85%	Schneeheide ( <i>Erica herbacea</i> ) Preiselbeere ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> ) Blaugras ( <i>Sesleria caerulea</i> ) Weisse Segge ( <i>Carex alba</i> ) Heide-Wachtelweizen ( <i>Melampyrum pratense</i> ) Buchsblättrige Kreuzblume ( <i>Polygala chamaebuxus</i> )
	Moosschicht	15%	-

#### Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit R4 (enge Alpentäler, Schwemmfächer). R4 stellt 16 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 0.1% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

### Besonderheiten am Profilort

Das Ausgangsgestein ist bezüglich Korngrössenzusammensetzung sehr heterogen aufgebaut. Im Profil wechseln sich kiesige bis schluffige Schichten ab. Die Ablagerung und Sortierung erfolgte durch den nahegelegenen Wildbach.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 67 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab.67: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 1

[cm]	Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
+20	F	4-0	-	-	-	-	-	-	-
0	Ah	0-5	sehr schwach	U	Kohärent	locker	ohne	10 YR 2/2	stark
	AC	5-10	sehr schwach	U	Fragmente	locker	ohne	10 YR 4/2	stark
20	C1	10-20	sehr schwach	U	Fragmente	mittel	ohne	2.5 Y 6/3	mittel
40	C2	20-40	sehr stark	IS	Einzelkorn	mittel	ohne	2.5 Y 6/2	mittel
60	C3	40-60	sehr stark	IS	Einzelkorn	mittel	ohne	2.5 Y 6/2	mittel
80	C4	60-95	sehr stark	S	Einzelkorn	mittel	ohne	2.5 Y 6/2	schwach
100	CSd	> 95	sehr schwach	U	Fragmente	dicht	Rostflecken	2.5 Y 7/3	schwach
120									

Das Vorhandensein einer organischen Auflage deutet darauf hin, dass die biologische Aktivität gehemmt ist. Die überwiegend von Bergföhren und Zwergsträuchern stammende Streu wird langsam und unvollständig abgebaut. Mit der Horizontfolge L-F-Ah wird die Humusform als Moder klassiert.

Im rund 1.2 m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch fünf Horizonte unterscheiden. Da der C-Horizont in verschiedenen Tiefen beprobt wurde, sieht die Horizontfolge des Profils wie folgt aus: Ah-AC-C1-C2-C3-C4-CSd. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Rendzina klassiert. Der Boden ist wenig verwittert, eine Verbraunung ist morphologisch nicht erkennbar. Da Vernässungserscheinungen nur unterhalb von 95cm Tiefe auftreten, werden sie bei der Klassierung der Bodenvernässung nicht berücksichtigt.

### *Besonderheiten des Profils*

Die Kalkgrenze verläuft in 10cm Tiefe. Im Profil sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar. Kohlestückchen in 20cm Tiefe sind Zeugen eines ehemaligen Waldbrandes.

Der Boden wurde bis 40cm Tiefe nicht nach Horizonten, sondern, entsprechend dem europäischen Monitoringstandard, nach fixen Tiefenstufen beprobt. Unterhalb 40cm wurde das Profil nach Horizonten beprobt.

### 2.2.10.2 Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte"

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 1 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

#### *Skelettgehalt und Bodenart*

In Abb. 162 ist der Skelettgehalt und in Abb. 163 die Bodenart dargestellt.

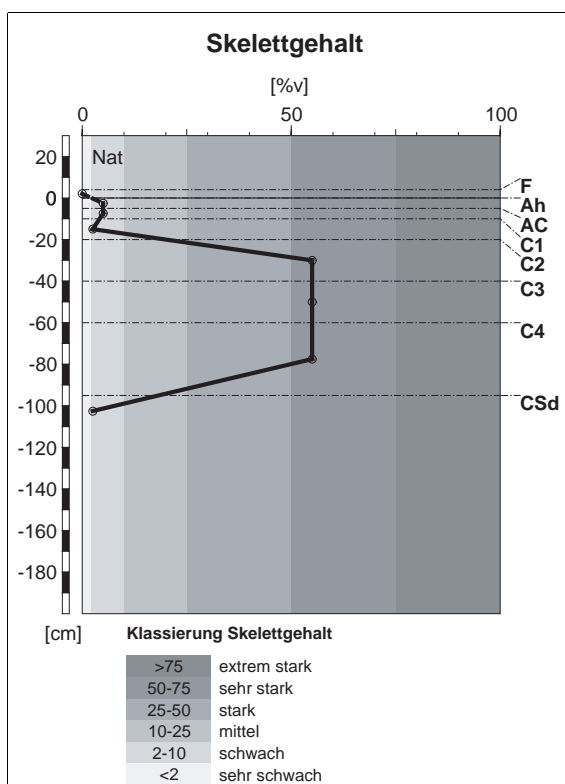


Abb. 162: Skelettgehalt

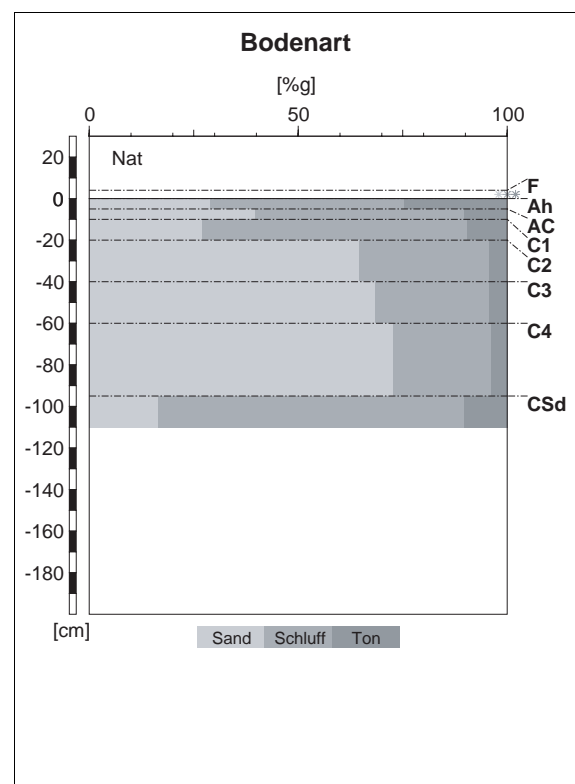


Abb. 163: Bodenart

Die Verteilung des Skelettes ist in diesem Boden von der Aktivität des nahen Wildbaches geprägt. Der Oberboden und Untergrund sind nahezu skelettfrei, die Profilmitte ist sehr stark skeletthaltig.

Die LWF-Fläche liegt auf einem Schwemmfächer, der durch einen Wildbach abgelagert wurde. Im Boden sind mehrere Schichten vorhanden, die sich bezüglich Korngrößenverteilung stark unterscheiden. Die einzelnen Schichten wurden durch den nahe gelegenen Wildbach sedimentiert. Die Horizonte im Boden wurden in erster Linie aufgrund ihrer Korngrössenzusammensetzung festgelegt. In den Horizonten, welche kaum Geröll enthalten, ist viel Schluff vorhanden, die skelettreichen Horizonte sind dagegen sandig. Ton kommt im gesamten Profil nur untergeordnet vor. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen leichten Boden.

## Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 164 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 165 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

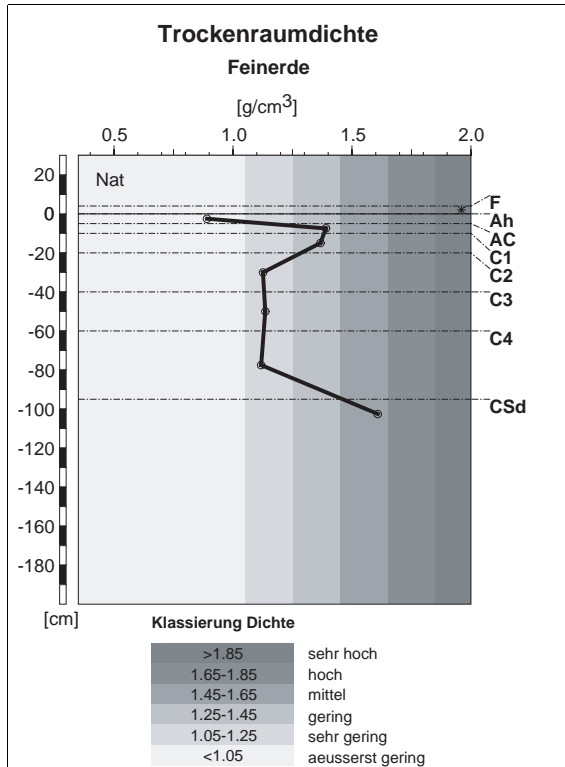


Abb. 164: Dichte der Feinerde

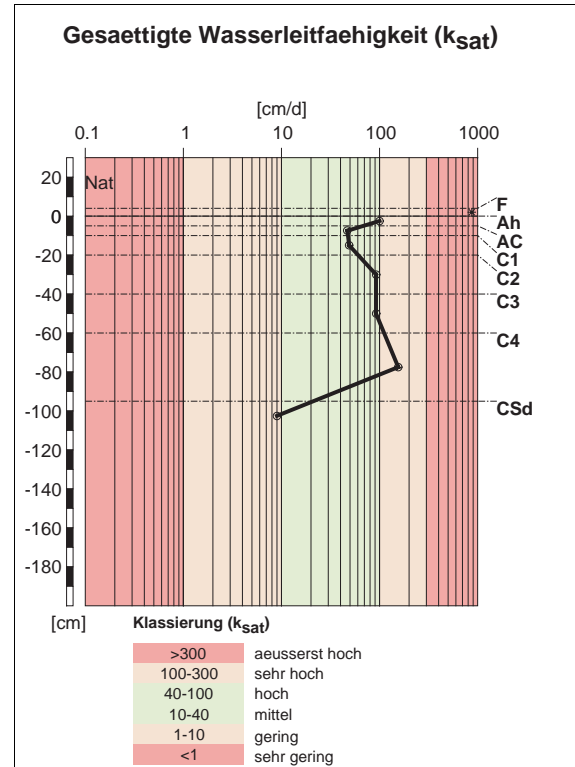


Abb. 165: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

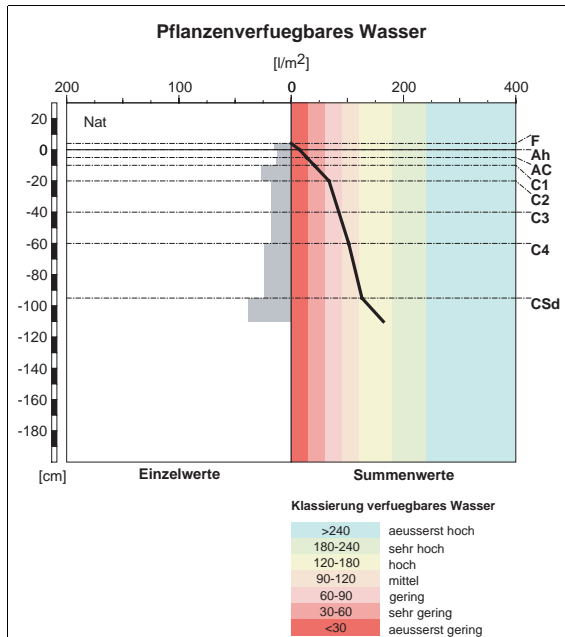
Die schluffigen Schichten weisen eine höhere Dichte auf als die skelettreichen, sandigen Horizonte. Die Dichte der Feinerde ist nahezu im gesamten Profil sehr gering bis gering, im untersten Horizont ist sie mittel.

Das Profil ist aufgrund der geringen Dichte und des niedrigen Tongehaltes mittel bis sehr hoch durchlässig. Im dichteren CSd-Horizont ist die Leitfähigkeit gering.



## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 166 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.



Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis in eine Tiefe von 120cm wird als mässig hoch klassiert. Es wird angenommen, dass der Wurzelraum nach unten offen ist.

Abb. 166: Pflanzenverfügbares Wasser

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Im Profil sind lediglich im untersten Horizont (CSd) vereinzelte morphologische Vernässungsmerkmale erkennbar. Dieser Sachverhalt stimmt gut mit der Leitfähigkeitskurve überein, welche nur für diesen Horizont eine geringe Durchlässigkeit anzeigt. Gravierende Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind aber in diesem Boden nicht zu erwarten.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Im gesamten Profil ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar, obwohl die Dichte der Feinerde ab rund 100cm Tiefe die als kritisch erachtete Grenze von 1.4kg/dm<sup>3</sup> überschreitet. Der Boden wird als sehr tiefgründig (>120cm) klassiert. Er ist tiefer als 110cm durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.

Saugspannungsmessungen in den Jahren 1998-2001 auf diesem Standort zeigen, dass der Boden in dieser Messperiode während der Vegetationszeit nur oberflächlich austrocknet, im Unterboden aber stets genügend pflanzenverfügbares Wasser vorhanden war (Daten hier nicht gezeigt). In dieser Periode fielen während der Vegetationszeit im Vergleich zu den langjährigen monatlichen Minimalwerten (25% Quantil  $\approx$  100%) folgende monatlichen Summen (Station Buffalora (1970 M.ü.M.; 816500/170250; Messperiode 1964-2002); Daten Meteo Schweiz, bearbeitet durch M. Rebetez):

	Mai		Juni		Juli		August		September	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
<b>1998</b>	31	54	154	214	142	172	68	84	116	321
<b>1999</b>	67	116	119	165	71	86	125	155	148	409
<b>2000</b>	46	79	52	72	134	163	120	148	88	243
<b>2001</b>	28	49	141	195	115	139	125	155	66	184

Im langjährigen Vergleich relativ niederschlagsarm (Niederschlagsmengen <25% Quantil ( $\approx 100\%$ )) waren im Jahr 1998 die Monate Mai und August, im Jahr 1999 der Monat Juli, im Jahr 2000 die Monate Mai und Juni und im Jahr 2001 der Monat Mai. Wie die Saugspannungsmessungen belegen, war der Boden aber selbst während diesen relativ niederschlagsarmen Perioden nur oberflächlich ausgetrocknet.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von 120cm Mächtigkeit ist gemäss unseren Berechnungen damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 20 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Da der Boden tiefer als 120cm durchwurzelbar ist, kann Trockenstress auch später eintreten.

#### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Oberboden reagiert in Nässeperioden empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil gering und der Schluffanteil hoch ist. Die tieferen Bodenschichten sind weniger gefährdet für Verdichtung, da der Boden ab 20cm Tiefe sehr steinig ist.

#### **2.2.10.3 Themenbereich "Säurezustand"**

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 1 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

##### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 167), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 168) sowie der Basensättigung (Abb. 169) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.

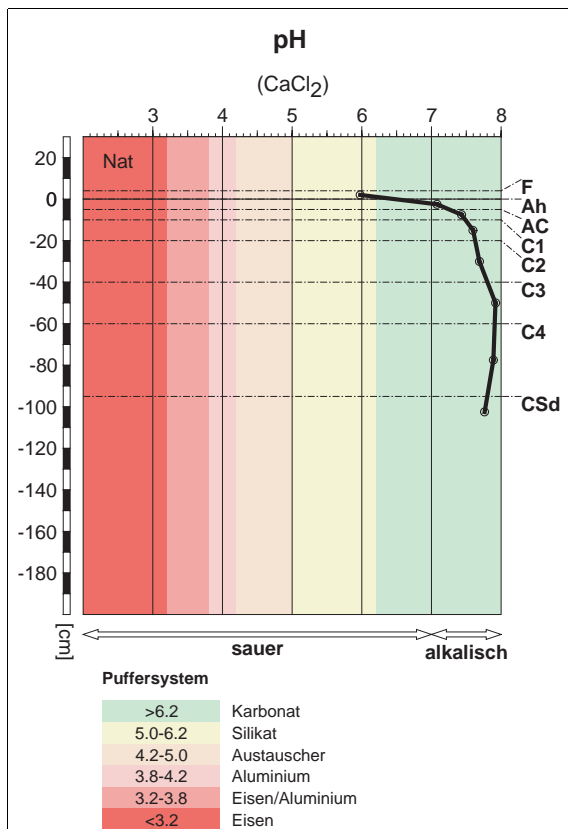


Abb. 167: pH-Wert und Pufferbereiche

In diesem Boden ist lediglich die organische Auflage (F-Horizont) schwach sauer. Der Mineralboden dagegen reagiert durchwegs alkalisch.

Eingetragene Säuren werden im gesamten Mineralboden vorwiegend durch Carbonatverwitterung gepuffert.

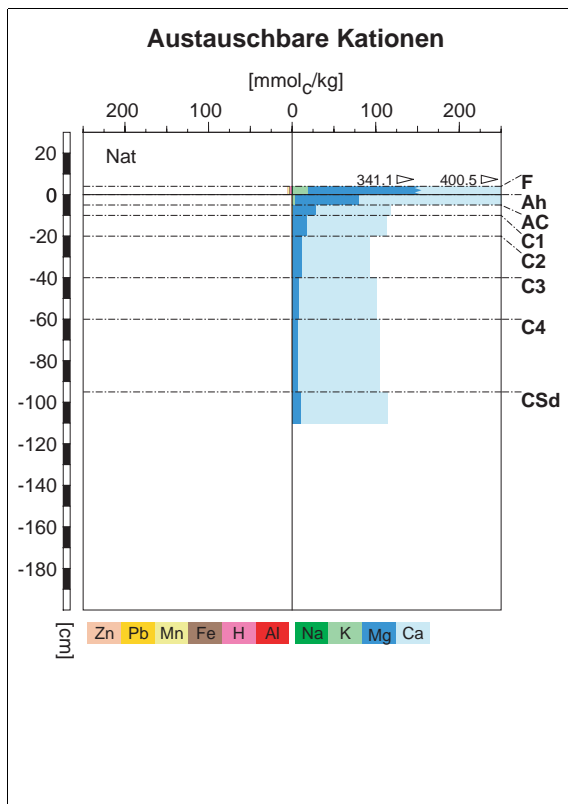


Abb. 168: Austauschbare Kationen

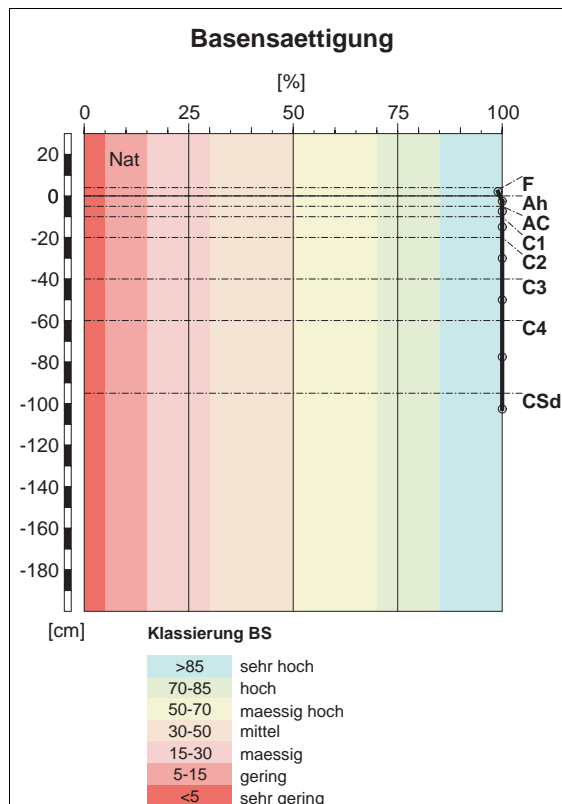


Abb. 169: Basensaettigung

Der Kationenaustauscher ist im ganzen Profil fast ausschliesslich durch Nährstoffkationen, insbesondere Ca belegt. Dementsprechend beträgt die Basensättigung nahezu 100%. Selbst in der schwach sauren organischen Auflage liegt sie bei 99%.

#### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem carbonathaltigen Ausgangsgestein (Kalke, Dolomite, Rauhacken) eine Rendzina gebildet. Eine schwache Versauerung lässt sich nur in der organischen Auflage erkennen. Die Mineralerde ist nicht versauert. Die Kalkgrenze verläuft heute in einer Tiefe von rund 10cm, was bedeutet, dass das ursprünglich vorhandene Carbonat bis in diese Tiefe für die Säurepufferung aufgebraucht worden ist.

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird aufgrund seines grossen Puffervermögens als unempfindlich für eine weitere Versauerung bewertet. An diesem Waldstandort sind hinsichtlich Bodenversauerung in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen für den Boden, die Vegetation und das Grundwasser zu erwarten.

An diesem Bergföhrenstandort ist der Abbau der organischen Substanz infolge der schwer abbaubaren Nadelstreu und der klimatischen Bedingungen (kontinentales Klima) gehemmt, so dass sich auf der LWF-Fläche vielerorts eine organische Auflage (Moder-Rohhumus) gebildet hat. Die verminderte biologische Aktivität ist hier also nicht durch den pH-Wert bedingt.

#### **2.2.10.4 Themenbereich “Schwermetalle“**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt.

#### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Die VBBo-Richtwerte gelten bei einem Humusgehalt <15% in mg/kg, ansonsten in mg/dm<sup>3</sup>. Im F-Horizont konnte der volumenbezogene Gehalt (mg/dm<sup>3</sup>) mangels Kenntnis der Dichte nicht berechnet werden. Daher erfolgt dort keine Richtwertbeurteilung.

Die LWF-Fläche liegt auf einem Schuttkegel eines Wildbaches. Da der Schuttkegel überwiegend aus Dolomiten und Rauhacke zusammengesetzt ist, wurde das Ausgangsgestein der Lithofazies 19 (Dolomite und Rauhacken) zugeteilt.

### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches überwiegend aus Dolomit und Rauhwanke zusammengesetzt ist, liegen sämtliche erfassten Schwermetalle oberhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 19 (Dolomite und Rauhwancken).

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet der Alpen, sehr hohe Gehalte an Pb und hohe Gehalte an Ni und Cu vor. Die Zn-Gehalte sind erhöht. Für Cr kann keine Aussage gemacht werden, da der Gehalt im untersten Horizont unter der Bestimmungsgrenze liegt.

### Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 170 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 171 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als "Δ", die Richtwerte der VBBo als "◇" markiert.

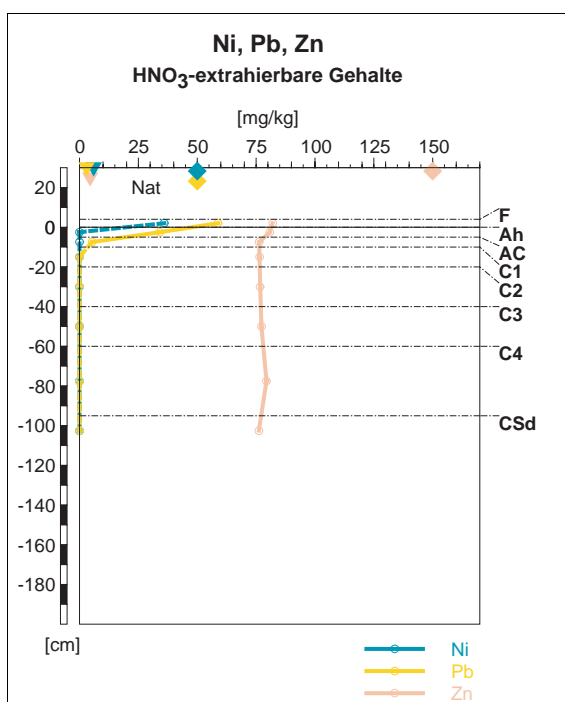


Abb. 170: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

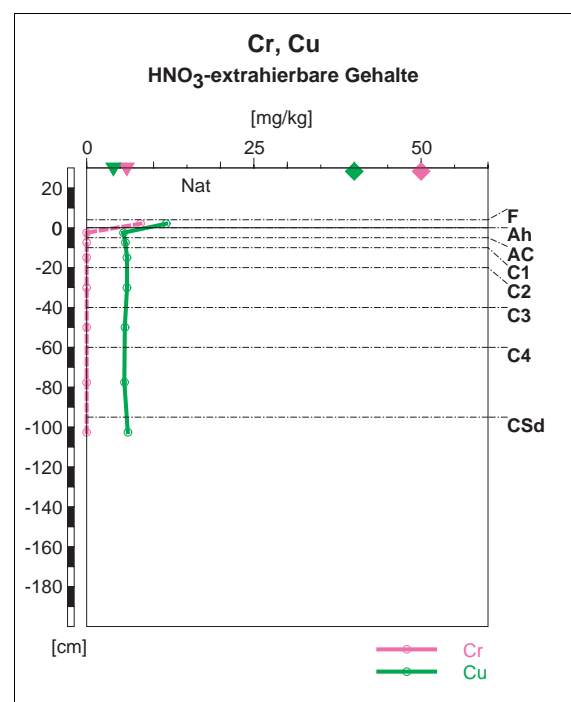


Abb. 171: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen für Cr, Cu und Ni profilumfassend sehr niedrige Gehalte vor. Erhöhte Bleigehalte finden sich in den obersten 5cm des Mineralbodens, darunter sind die Gehalte sehr niedrig. Die Zi-Gehalte schliesslich sind im gesamten Boden erhöht.

Die Richtwerte der VBBo werden in der Mineralerde nicht überschritten.

In der organischen Auflage kann die Richtwertbeurteilung nicht vorgenommen werden, weil die dazu nötigen volumenbezogenen Gehalte (mg/dm<sup>3</sup>) nicht bekannt sind. Rein gutachtlich beurteilt dürften die Richtwerte in der organischen Auflage jedoch nicht überschritten sein.

### Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

Die in der Literatur angegebenen kritischen Werte für die Bodenfauna werden nur für Cr in der organischen Auflage leicht überschritten. In den obersten 10cm des Mineralbodens sind alle Metalle in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden.

## Anreicherungs-faktoren

Die Anreicherungs-faktoren sind in Tab. 68 dargestellt.

Tab. 68: Anreicherungs-faktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungs-faktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Ah	0	- 5	2.42	1.34	0.58	0.41	nb
AC	5	- 10	1.19	1.10	nb	0.61	nb
C1	10	- 20	1.08	1.00	0.48	0.86	nb
C2	20	- 40	1.01	1.14	1.62	1.09	nb
C3	40	- 60	1.10	1.06	1.36	0.93	nb
C4	60	- 95	0.81	1.24	0.88	1.26	nb
CSd	95	- 110	1.00	1.00	1.00	1.00	nb

Der hohe Anreicherungs-faktor von Pb in den obersten 5cm weist auf atmogene Einträge hin. Das aus der Luft eingetragene Pb wird im Ah-Horizont an die organische Substanz gebunden und angereichert. Beim Ni hat vor allem im Oberboden eine Verarmung stattgefunden. Die etwas widersprüchlichen Anreicherungs-faktoren bei Cu hängen vermutlich mit der geologisch bedingten Schichtung des Profils zusammen. Beim Zn ist weder eine eindeutige Verarmung noch Anreicherung im Profil feststellbar und beim Cr liegen die Gehalte unter der Bestimmungsgrenze.

Im Boden ist nur für Pb in den obersten 5cm eine anthropogene Belastung zu erkennen.

## Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 172.

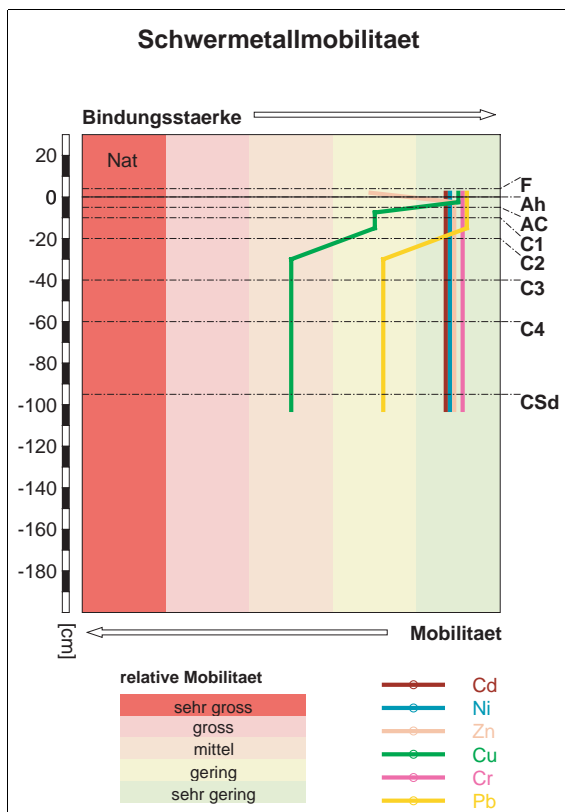


Abb. 172: Mobilität von Schwermetallen

Entsprechend dem geringen Säuregrad des Bodens sind die Schwermetalle im ganzen Profil nur wenig mobil (siehe Mobilitätsindices). Eine Ausnahme bilden Cu und Pb, die ab 20cm wegen der Bildung löslicher Carbonatkomplexe eine leicht erhöhte Mobilität aufweisen.

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort gering.

### 2.2.10.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis bezogen.

Humusform und Bodengefüge lassen auf eine eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit schliessen. Die Bodenorganismen vermögen die anfallenden Bergföhrennadeln und die Blätter der vielerorts den Boden bedeckenden Schneeheide nicht innert Jahresfrist abzubauen. Die Mächtigkeit der organischen Auflage variiert auf der LWF-Fläche extrem stark. In einem kleinflächigen Mosaik kommen alle drei Humusformen, also Mull, Moder und Rohhumus vor. Die organische Auflage ist an manchen Stellen mässig bis stark sauer und hebt sich hinsichtlich Säuregrad stark von der darunterliegenden, alkalischen Mineralerde ab. Der gehemmte Abbau dürfte an diesem südexponierten und niederschlagsarmen Standort nicht nur auf die schlecht abbaubare Streu, sondern auch auf die zeitweilige Austrocknung des Oberbodens zurückzuführen sein.

Das C/N-Verhältnis in der organischen Auflage beträgt rund 39 und liegt damit in einem Bereich, der, gemäss Literaturangaben, für Rohhumus üblich ist. Das als sehr weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine extrem niedrige Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit recht gut in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen.

#### Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 173) und die Austauscherbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 174).

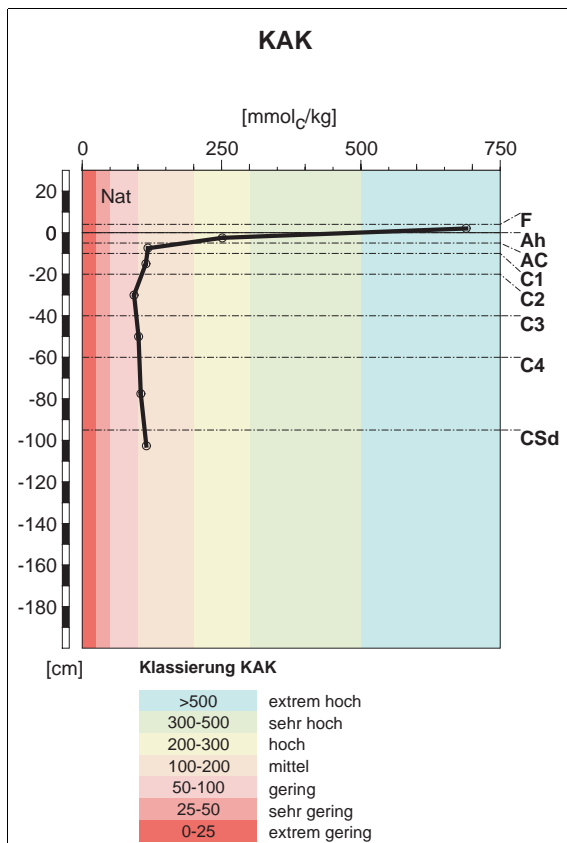


Abb. 173: Kationenaustauschkapazität (KAK)

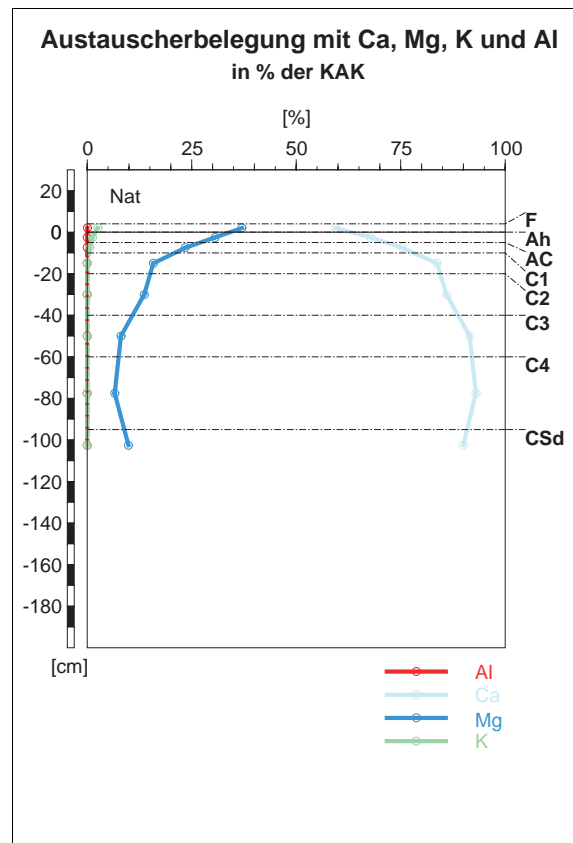


Abb. 174: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK weist im obersten Profilabschnitt in Abhängigkeit des Humusgehaltes einen deutlichen Gradienten auf. In der organischen Auflage und im stark humosen Oberboden ist sie hoch bis extrem hoch, nimmt dann aber sprunghaft ab und ist ab 5cm Tiefe nur noch mittel bis gering. In den humusarmen Mineralerdehorizonten ist die KAK, trotz dem durch Bachablagerungen verursachten geschichteten Aufbau des Profils, bemerkenswert konstant.

Im gesamten Profil dominiert Ca mit einer Belegung von über 60% am Kationenaustauscher und unterhalb der Kalkgrenze, also ab 10cm Tiefe, ist der Austauscher sogar zu 80 bis 90% mit Ca belegt. Auffällig ist die profilumfassend hohe Belegung des Austauschers mit Mg. Es wird offensichtlich bei der Verwitterung des dolomithaltigen Ausgangsgesteins in relativ grossen Mengen freigesetzt. Oberhalb der Kalkgrenze ist die Mg-Belegung maximal. Er erreicht dort sehr hohe 25 bis 35%. K ist nur in den humusreichen, obersten Bodenhorizonten in messbaren Gehalten vorhanden. Die K-Belegung des Austauschers ist damit im gesamten Boden bemerkenswert niedrig. Austauschbares Al schliesslich hat in diesem Boden keine Bedeutung.

### Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Grösse der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 175 bis 177 dargestellt.



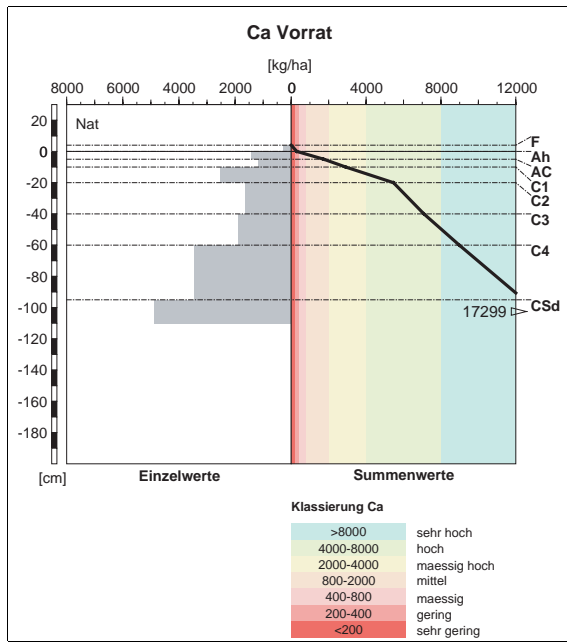


Abb. 175: Calcium-Vorrat

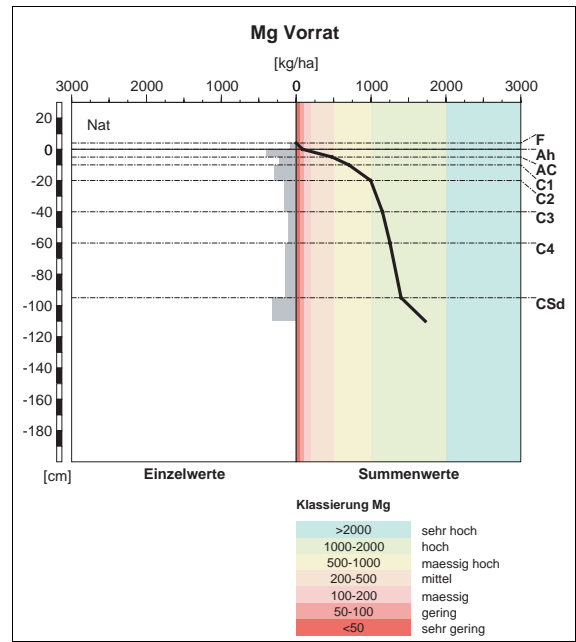


Abb. 176: Magnesium-Vorrat

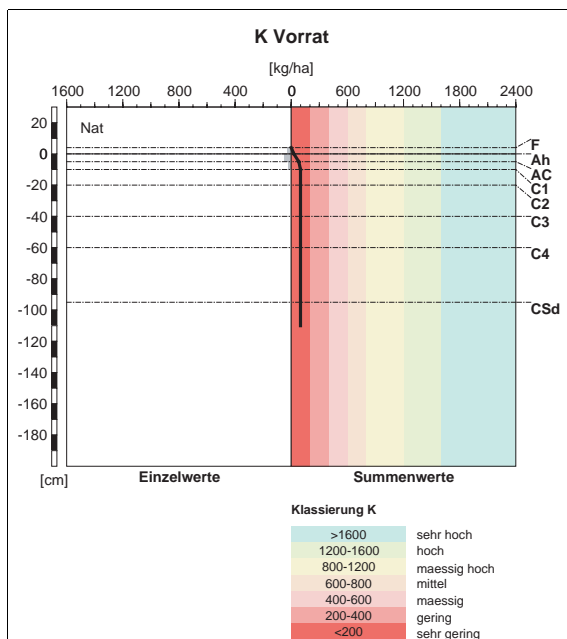


Abb. 177: Kalium-Vorrat

Die Vorräte der einzelnen Nährstoffkationen nehmen zur Tiefe hin in unterschiedlichem Ausmass zu. Der Ca-Vorrat nimmt sehr rasch, jener von Mg rasch und jener von K sehr langsam zu.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca sehr hoch
- Mg hoch
- K sehr gering

Der Boden ist bis mindestens 120cm Tiefe durchwurzelt, der potentielle Wurzelraum wird damit durch den Bestand gut ausgenutzt. Bis 120cm Tiefe werden die Vorräte aber kaum optimistischer bewertet:

- Ca sehr hoch
- Mg hoch
- K sehr gering

Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als unausgewogen beurteilt. Der K-Gehalt ist kritisch.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen lediglich mässig gute Bedingungen vor (siehe Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte").

### 2.2.10.6 Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 1 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 69) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 69: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Nationalpark

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	1900m
Exposition	S
Neigung	11%
Klima	
Jahresniederschlag	895mm
Jahrestemperatur	0.9°C
Ausgangsgestein	Schwemmfächer aus Dolomiten, Kalken, Tonschiefern und Rauhwacken.
Baumbestand	
Struktur	stufig, stellenweise lückig
Schlussgrad	40%
Baumarten (Deckung)	35% Bergföhre
Oberhöhe	rund 10m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 67: Schneeheide-Bergföhrenwald
<b>Bodenkennwerte</b> (beziehen sich auf das Profil Nr. 1)	
Bodensystematik	
Bodentyp	Rendzina
Bodentyp (LWF-Fläche)	Rendzina
Humusform	Moder
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-Rohhumus (überwiegend Rohhumus)
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	Im Profil sind lediglich ab rund 100cm Tiefe vereinzelte morphologische Vernässungsmerkmale vorhanden. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind also nicht zu befürchten.

Durchwurzelung	Im Profil (120cm) ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Der Boden wird als physiologisch sehr tiefgründig klassiert. Er ist bis mindestens 120cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird damit vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.
pflanzenverfügbares Wasser	Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als mässig hoch klassiert. Das Risiko für Trockenstress ist an diesem Standort vermutlich recht gering. Allerdings haben Saugspannungsmessungen gezeigt, dass der Oberboden zeitweise recht stark austrocknet.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	In diesem Boden ist lediglich die organische Auflage sauer. Der Mineralboden dagegen reagiert durchwegs alkalisch. Die Kalkgrenze verläuft in 10cm Tiefe.
Al-Toxizität	Al-Toxizität ist in diesem Boden kein Thema. Hinsichtlich Bodenversauerung sind in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen auf die Vegetation zu erwarten.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Neben den Humusformen Moder und Rohhumus lässt auch das als sehr weit klassierte C/N-Verhältnis eine extrem niedrige Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten (Mull kommt auf der LWF-Fläche nur lokal vor).
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelten Boden (120cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen als unausgewogen beurteilt. Ca und Mg sind reichlich vorhanden, der K-Vorrat ist dagegen sehr gering. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen recht günstige Bedingungen. Lediglich der Oberboden trocknet in längeren Trockenperioden aus, wie mehrjährige Saugspannungsmessungen zeigen.
Verankerung	Da die Bergföhre den Boden tief durchwurzelt, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes einerseits als recht günstig beurteilt. Andererseits erhält man an geworfenen Bergföhren den Eindruck, dass der Durchmesser der Wurzelteller relativ gering und die Durchwurzelung insgesamt eher schwach ist.
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert aufgrund seines hohen Skelettgehaltes nur wenig empfindlich auf das Befahren mit schweren Maschinen.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der aktuell vorhandene Bergföhrenwald wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als standortgerecht bezeichnet. Wir können davon ausgehen, dass die Bergföhre die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten im Vergleich zu den übrigen Baumarten am besten zu nutzen vermag. Ob die mancherorts büschelweise aufkommende, meist erst wenige Zentimeter hohe Arvenverjüngung auf diesem Standort eine Zukunft hat, wird sich weisen.

Im Streueintrag überwiegen in diesem Wald seit Jahrzehnten Föhrennadeln, aber auch der Anteil an Schneeheideblättern ist stellenweise recht hoch. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

### *Keimbeet, Anwuchs- und Aufwuchsphase*

Auf diesem subalpinen Standort ist die Baumartenauswahl vor allem durch klimatische Bedingungen stark eingeschränkt. Generelle Nährstoffarmut und zeitweilige Austrocknung des Oberbodens dürften jedoch ausschlaggebend sein, dass hier nur noch die anspruchslose Bergföhre bestandesbildend zu gedeihen vermag. Es ist dem Waldbauer hier somit weitgehend verwehrt, durch gezielte Baumartenwahl Einfluss auf den Boden zu nehmen.

### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 70):

Tab. 70: Baumartenempfehlung

<b>Baumarten</b>	Bergföhre (Lärche, Arve, Fichte)
------------------	----------------------------------

## 2.2.11 LWF-Fläche Neunkirch (Bodenprofil Nr. 1)

### 2.2.11.1 Themenbereich “Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie“

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 1 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Neunkirch und zum Bodenprofil Nr. 1

Die Tab. 71 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Neunkirch und zum Profil Nr. 1. Die Tab. 72 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 71: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Neunkirch und zum Profil Nr. 1

<b>Lokalname</b>	Zieglerhalde (Gemeinde Neunkirch, Kt. SH)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1031, Neunkirch
	Koordinaten 682 373 / 282 029
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 13: Linden-Zahnwurz-Buchenwald ( <i>Cardamino-Fagetum tilietosum</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-Ah1-Ah2-Ah3-AC1-AC2-AC3-C
<b>Humusform</b>	Mull
<b>Bodentyp</b>	Rendzina
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Rendzic Leptosol

Tab. 72: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 1

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	590m	
	Exposition	N	
	Neigung	58%	
	Geländeform	Mittelhang	
<b>Ausgangsgestein</b>	Kartengrundlagen	Tafeljura. Mesozoikum. Jura. Malm.	
	Beobachtung am Profilort	Gehängeschutt aus hartem Malmkalk.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	8.3°C / 1020mm	
	T / N Januarmittel	- 0.8°C / 84mm	
	T / N Julimittel	17.8°C / 91mm	
	Tage mit Schneedecke	58	
	Wärmegliederung	ziemlich mild	
	Länge der Vegetationsperiode	200-205 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (25m Höhe)	95%	85% Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> )
	Strauchschicht	0%	-
	Krautschicht	15%	Fingerblättrige Zahnwurz ( <i>Dentaria pentaphyllos</i> ) Ausdauerndes Bingelkraut ( <i>Mercurialis perennis</i> ) Frühlings-Platterbse ( <i>Lathyrus vernus</i> ) Christophskraut ( <i>Actea spicata</i> ) Türkenbundlilie ( <i>Lilium martagon</i> )
	Moosschicht	1%	-

#### Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit A3 (Tafeljura, nordexponierte Steilhänge). A3 stellt 121 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 1.0% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

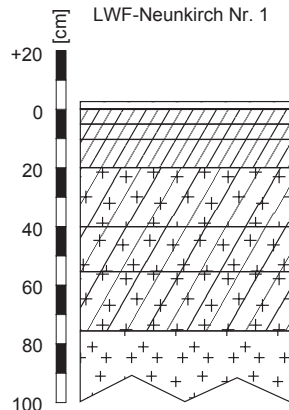
### Besonderheiten am Profilort

Da das Profil auf einer leichten Hangverflachung liegt, ist bis rund 50cm Tiefe Feinskelett-Gehängeschutt vorhanden (gravitative Sortierung). Ab 50cm Tiefe sind die Steine grösser.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 73 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 73: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 1



Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
L	2-0	-	-	-	-	-	-	-
Ah1	0-5	stark	tU	Krümnel	locker	ohne	2.5 Y 3/1	stark
Ah2	5-10	stark	tU	Krümnel	locker	ohne	2.5 Y 4/1	stark
Ah3	10-20	stark	tU	Krümnel	locker	ohne	2.5 Y 4/2	stark
AC1	20-40	sehr stark	tU	Subpolyeder	mittel	ohne	2.5 Y 4/2	stark
AC2	40-55	sehr stark	tU	Fragmente	mittel	ohne	2.5 Y 5/3	stark
AC3	55-75	sehr stark	tU	Fragmente	mittel	ohne	10 YR 5/3	schwach
C	> 75	sehr stark	tU	Fragmente	dicht	ohne	10 YR 6/2	schwach

Das Fehlen einer organischen Auflage zeigt, dass die biologische Aktivität hoch ist. Die überwiegend von der Buche stammende Streu wird innerhalb eines Jahres zersetzt. Mit der Horizontfolge L-Ah wird die Humusform als Mull klassiert.

Im rund 100cm tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch sieben Horizonte mit folgender Abfolge unterscheiden: Ah1-Ah2-Ah3-AC1-AC2-AC3-C. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Rendzina klassiert. Der Boden ist wenig verwittert, eine Verbraunung ist morphologisch nicht erkennbar. Im gesamten Profil sind keine hydromorphen Merkmale vorhanden.

### *Besonderheiten des Profils*

Kalk kommt profilumfassend vor. Im Profil sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar. Es ist nicht bekannt, ab welcher Tiefe der unverwitterte Malmkalk-Untergrund vorliegt.

Das Profil wurde bis 40cm Tiefe, entsprechend dem europäischen Monitoringstandard, nach fixen Tiefenstufen beprobt. Diese Tiefenstufen stimmen zufälligerweise mit den genetischen Horizonten überein. Unterhalb 40cm wurde das Profil nach Horizonten beprobt.

### **2.2.11.2 Themenbereich “Physikalische Bodenkennwerte“**

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 1 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

### Skelettgehalt und Bodenart

In Abb. 178 ist der Skelettgehalt und in Abb. 179 die Bodenart dargestellt.

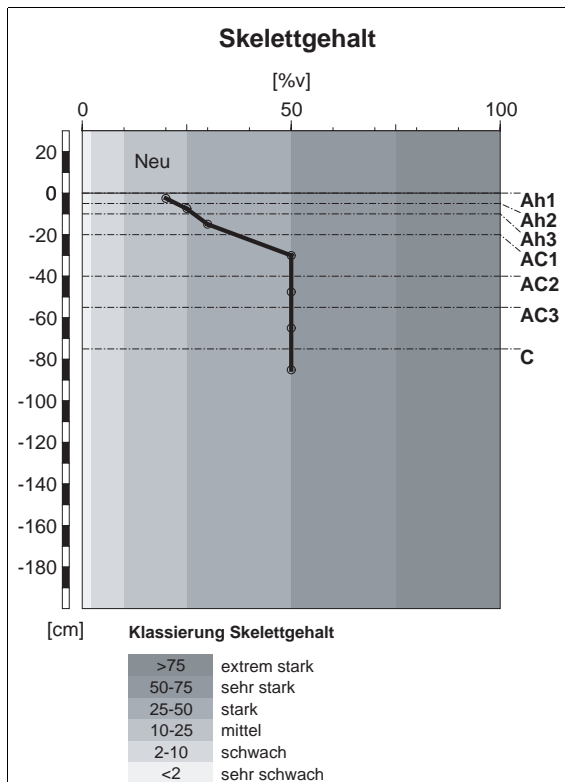


Abb. 178: Skelettgehalt

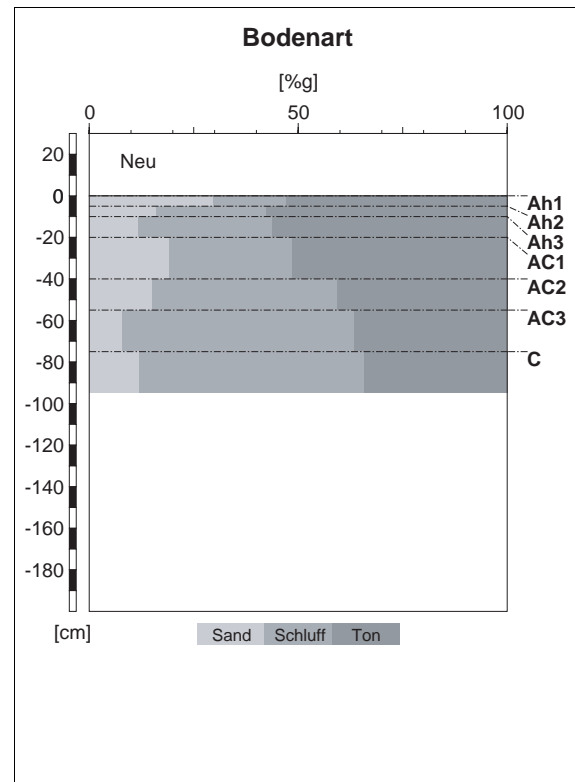


Abb. 179: Bodenart

Bis in eine Tiefe von 20cm ist der Boden mässig, darunter stark skeletthaltig. Kompakter Kalkfels wurde im Profil nicht erschlossen. Er liegt tiefer als 120cm.

Die Feinerde ist profilumfassend relativ tonreich, was in Böden des Jura gebirges häufig beobachtet werden kann. Gemessen am Tongehalt handelt es sich um einen schweren Boden. Es ist auffallend wenig Sand vorhanden.

### Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 180 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 181 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

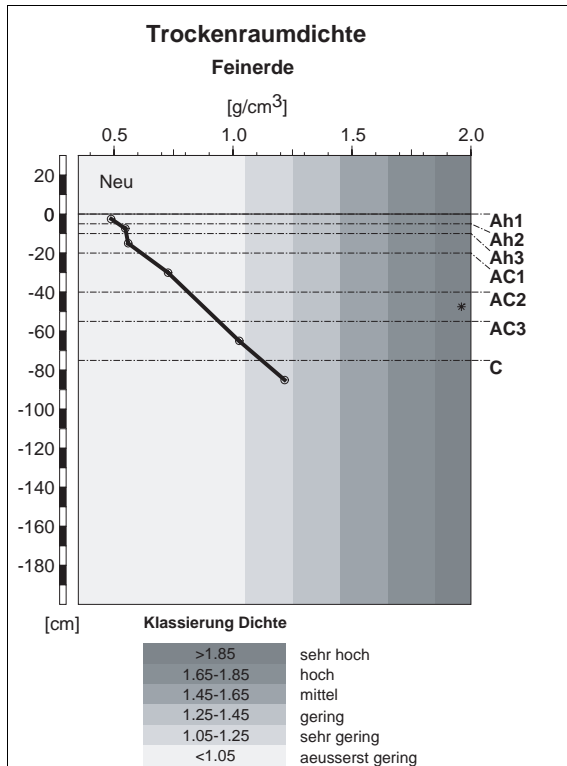


Abb. 180: Dichte der Feinerde

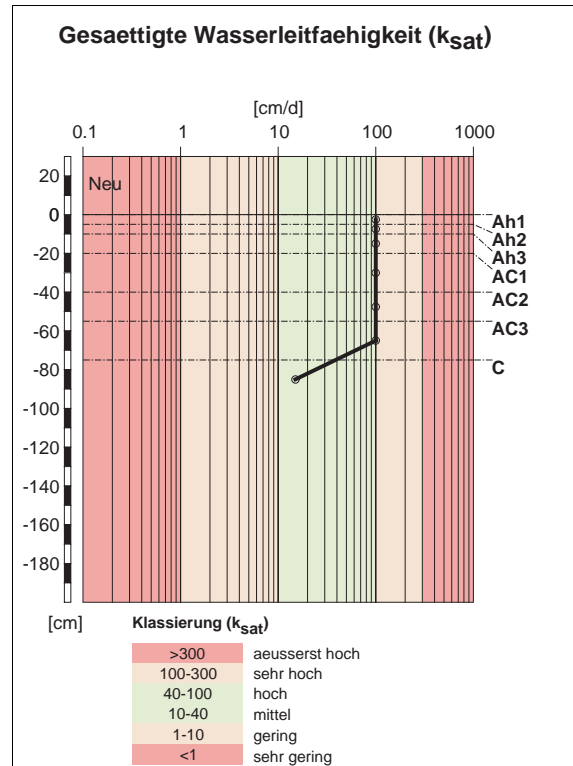


Abb. 181: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Die Dichte der Feinerde nimmt zwar von oben nach unten kontinuierlich zu, der Boden ist insgesamt aber äusserst locker gelagert. Selbst zuunterst im Profil ist die Dichte sehr gering. Dies ist auf den hohen Humusgehalt und das stark ausgeprägte Bodengefüge zurückzuführen.

Im humusreichen, lockeren Oberboden ist die Durchlässigkeit sehr hoch. Der etwas dichtere Unterboden ist mittel durchlässig.

### Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 182 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

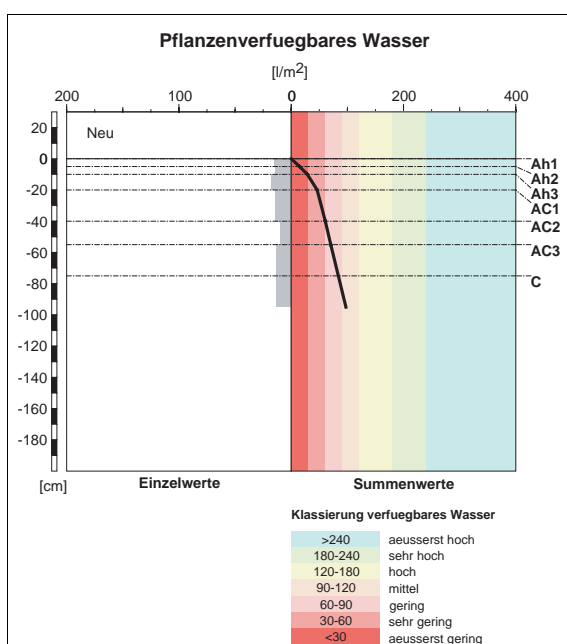


Abb. 182: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe ist mittel. Sie wird durch den hohen Skelettgehalt vermindert. Es ist anzunehmen, dass der Wurzelraum nach unten offen ist.



## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Im gesamten Profil treten keine Vernässungserscheinungen auf, was aufgrund der Durchlässigkeitskurve auch zu erwarten ist. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind also nicht zu befürchten.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Im gesamten Profil ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Die für das Wurzelwachstum als kritisch erachtete Grenze von  $1.4\text{kg/dm}^3$  wird im gesamten Profil nicht erreicht. Der Boden wird als sehr tiefgründig ( $>120\text{cm}$ ) klassiert. Er ist tiefer als  $95\text{cm}$  durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.

Der Boden trocknet im Sommer oft bis in grosse Tiefen aus, wie periodische Saugspannungsmessungen in den Jahren 1997-1999 an diesem Standort zeigen (Daten hier nicht gezeigt). In dieser Periode fielen während der Vegetationszeit im Vergleich zu den langjährigen monatlichen Minimalwerten (25% Quantil  $\approx 100\%$ ) folgende monatlichen Summen (Station Hallau (432 M.ü.M.; 676530/283550; Messperiode 1964-2002); Daten Meteo Schweiz, bearbeitet durch M. Rebetez):

	Mai		Juni		Juli		August		September	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
<b>1997</b>	80	142	165	234	83	143	79	117	23	72
<b>1998</b>	21	37	87	123	131	226	74	110	119	368
<b>1999</b>	147	261	203	286	120	207	111	164	104	322

Im langjährigen Vergleich relativ niederschlagsarm (Niederschlagsmengen  $<25\%$  Quantil ( $\approx 100\%$ )) waren im Jahr 1997 der Monat September und im Jahr 1998 der Monat Mai. Wie die Saugspannungsmessungen belegen, trocknet der Boden in solchen niederschlagsarmen Perioden stark und tiefgründig aus.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von  $120\text{cm}$  Mächtigkeit ist gemäss unseren Berechnungen damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 15 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Da der Boden tiefer als  $120\text{cm}$  durchwurzelt ist, kann Trockenstress auch später eintreten.

### *Bodenbefahrbarkeit*

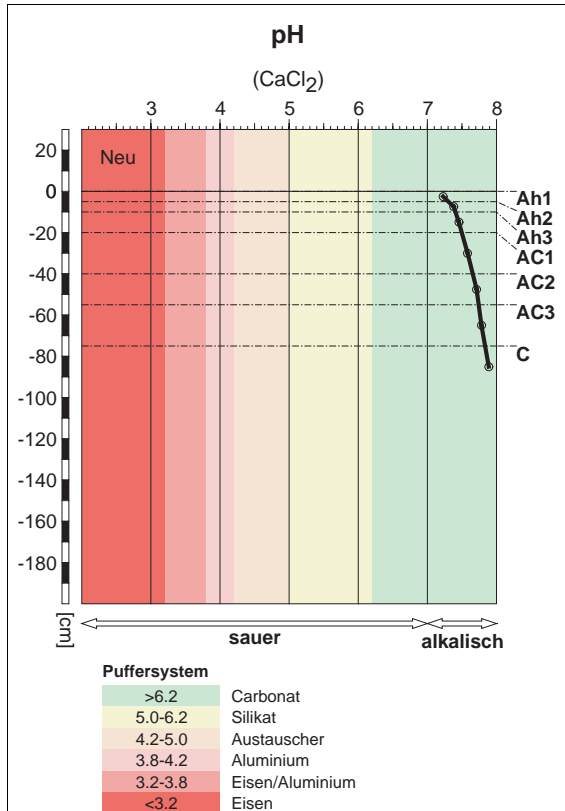
Der Boden reagiert aufgrund seines hohen Skelettgehaltes nicht empfindlich auf ein Befahren mit schweren Maschinen. Es wird trotzdem davon abgeraten, den Bestand mit schwerem Gerät zu befahren, weil mit Schäden am verbleibenden Bestand gerechnet werden muss.

### 2.2.11.3 Themenbereich "Säurezustand"

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 1 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

#### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 183), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 184) sowie der Basensättigung (Abb. 185) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.



Der Boden reagiert profilumfassend alkalisch, wobei der pH-Wert zur Tiefe hin leicht zunimmt.

Eingetragene Säuren werden im gesamten Boden vorwiegend durch Carbonatverwitterung gepuffert.

Abb. 183: pH-Wert und Pufferbereiche

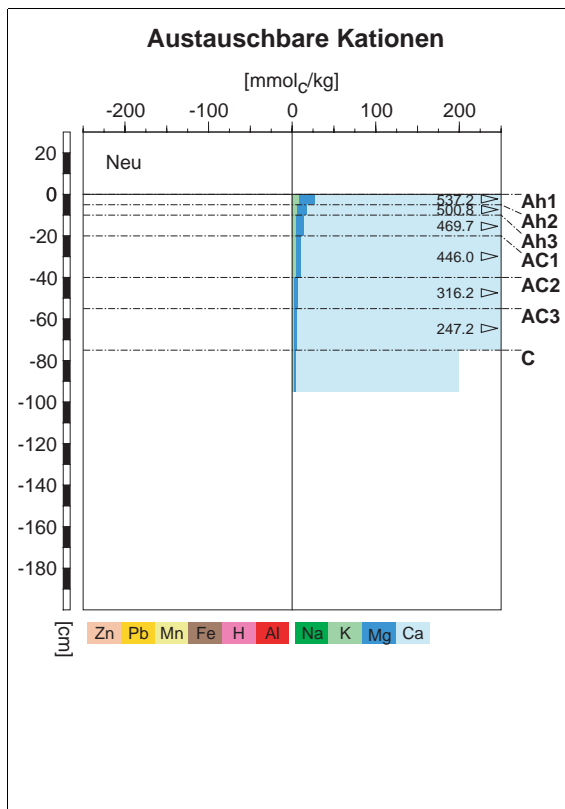


Abb. 184: Austauschbare Kationen

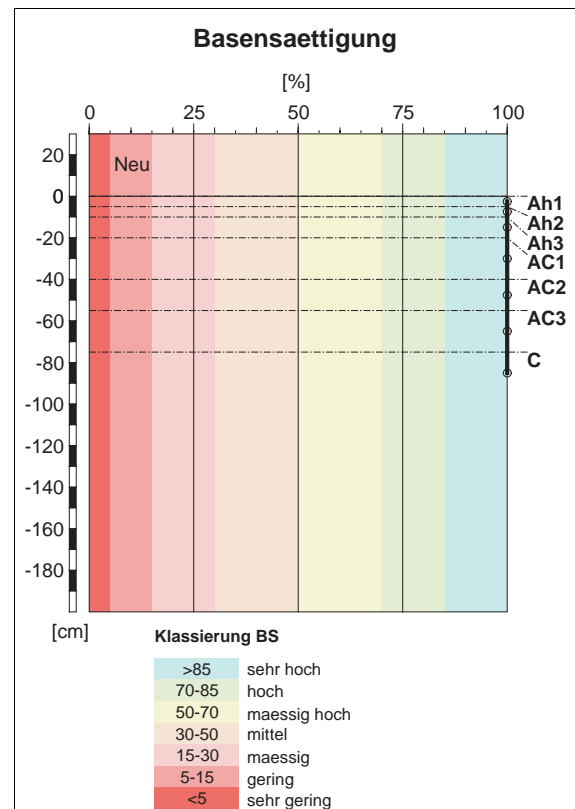


Abb. 185: Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist profilumfassend ausschliesslich durch Nährstoffkationen, insbesondere Ca belegt. Dementsprechend beträgt die Basensättigung im gesamten Profil 100%.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### Stand der Bodenversauerung

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem stark carbonathaltigen Ausgangsgestein (harter Malmkalk) eine Rendzina gebildet. Es lässt sich keine Versauerung erkennen. Der Boden enthält profilumfassend Kalk.

#### Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird aufgrund seines grossen Puffervermögens als unempfindlich für eine weitere Versauerung bewertet. An diesem Waldstandort sind hinsichtlich Bodenversauerung in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen für den Boden, die Vegetation und das Grundwasser zu erwarten.

An diesem Buchenstandort ist der Abbau der organischen Substanz infolge der schwer abbaubaren Streu und vermutlich auch aufgrund der periodischen Sommertrockenheit etwas

gehemmt, so dass sich auf der LWF-Fläche stellenweise eine organische Auflage (Moder) gebildet hat. Die verminderte biologische Aktivität ist hier also nicht durch den pH-Wert bedingt.

#### **2.2.11.4 Themenbereich “Schwermetalle“**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Die VBBo-Richtwerte gelten bei einem Humusgehalt <15% in mg/kg, ansonsten in mg/dm<sup>3</sup>. In den Abbildungen, in welchen die Tiefenverteilung der Schwermetalle dargestellt ist, sind die Gehalte in mg/kg angegeben. Für die Schwermetallgehalte in mg/dm<sup>3</sup> (Ah1-, Ah2- und Ah3-Horizont) wird auf die Datentabelle im Anhang verwiesen.

Bei der Wertung der lithogenen Grundgehalte im untersten Horizont wurde für Pb 2.5mg/kg und für Cr 40mg/kg angenommen, da die Gehalte unter der Bestimmungsgrenze liegen.

Die Anreicherungsfaktoren von Pb wurden gutachtlich berechnet, indem der eigentlich unter der Bestimmungsgrenze liegende Pb-Gehalt im untersten Horizont auf die Bestimmungsgrenze, und damit auf 2.5mg/kg gesetzt wurde (beim Cr ist die Bestimmungsgrenze so hoch, dass ein analoges Vorgehen wie beim Pb nicht vertretbar ist). Die effektiven Anreicherungsfaktoren von Pb dürften damit grösser sein als die gutachtlich berechneten Werte.

##### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus hartem Malmkalk besteht, liegen die Cr-, Ni- und Zn-Gehalte oberhalb, die Cu- und Pb-Gehalte innerhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 18 (mesozoische Kalkgesteine).

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet Jura, niedrige Gehalte an Cr und Ni vor. Für die drei übrigen erfassten Schwermetalle Cu, Zn und Pb sind die Gehalte sehr niedrig.

## Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 186 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 187 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als “Δ“, die Richtwerte der VBBo als “◇“ markiert.

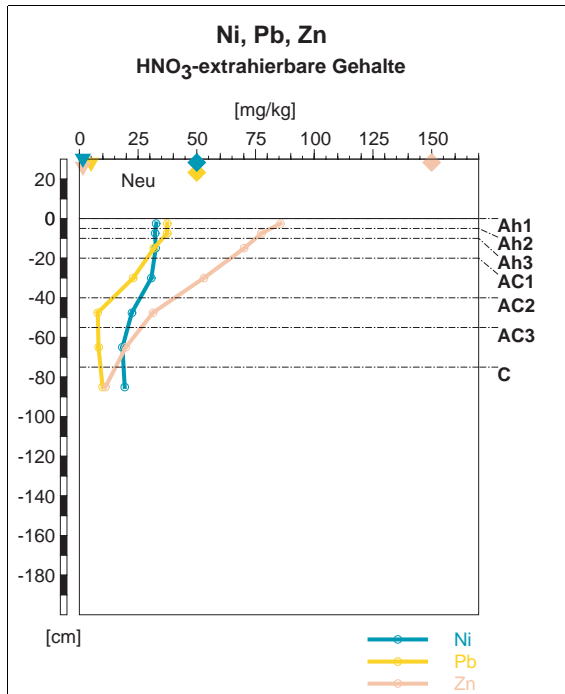


Abb. 186: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

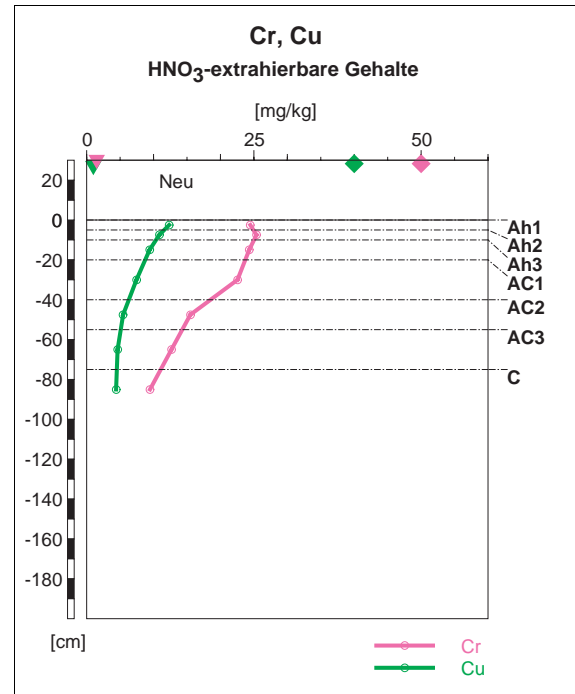


Abb. 187: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen für Cu profilumfassend sehr niedrige Gehalte vor. Für Cr und Zn sind die Gehalte, je nach Horizont, niedrig bis sehr niedrig und für Ni und Pb sehr niedrig bis erhöht.

Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

## Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den obersten 10cm des Bodens sind alle Schwermetalle in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden.

## Anreicherungsfaktoren

Die Anreicherungsfaktoren sind in Tab. 74 dargestellt.

Tab. 74: Anreicherungsfaktoren

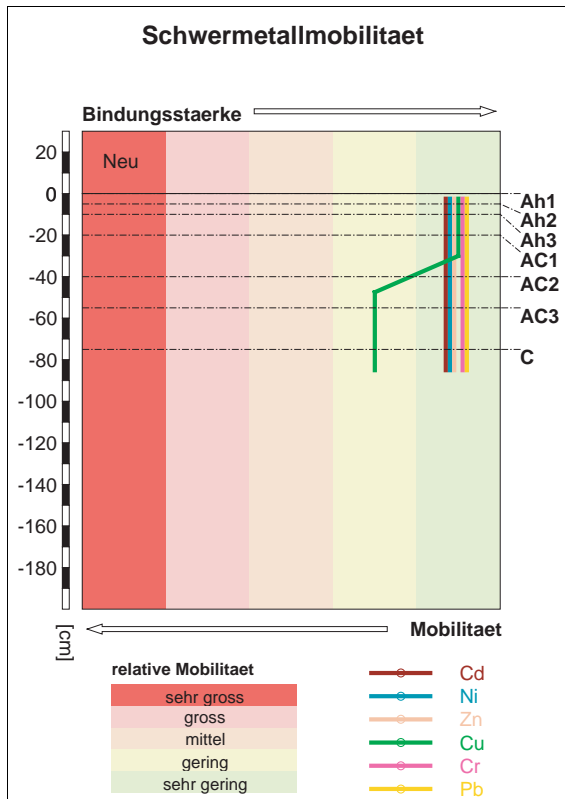
Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungsfaktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Ah1	0	- 5	7	1.94	1.74	1.44	nb
Ah2	5	- 10	7	1.87	1.94	0.95	nb
Ah3	10	- 20	6	1.76	1.81	1.01	nb
AC1	20	- 40	5	1.65	1.65	0.92	nb
AC2	40	- 55	2	1.43	1.53	1.15	nb
AC3	55	- 75	2	1.78	1.63	1.95	nb
C	75	- 95	1	1.00	1.00	1.00	nb

Die hohen Anreicherungsfaktoren von Pb, Zn und Cu in den obersten 75cm weisen auf at-mogene Einträge hin, wobei bei Zn und Cu auch mit Einträgen via Streufall zu rechnen ist.

Bei Ni ist weder eine eindeutige Verarmung noch Anreicherung im Profil feststellbar. Für Cr können keine Angaben gemacht werden, weil der Gehalt im untersten Horizont unter der Bestimmungsgrenze liegt. Im Boden muss für Pb, Zn und Cu in den obersten 75cm eine anthropogene Belastung vermutet werden. Bemerkenswert ist dabei die grosse Mächtigkeit der Anreicherungszone. Es wird davon ausgegangen, dass die Schwermetalle trotz hohem pH-Wert, Ton- und Humusgehalt, welche die Mobilität der Schwermetalle hemmen, mit der Bodenlösung in grössere Tiefen verlagert werden.

### Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 188.



Gemäss den Mobilitätsindices sind die Schwermetalle im ganzen Profil nur wenig mobil. Wie stark jedoch die in der Bodenlösung gelösten organischen Substanzen die Mobilität der Schwermetalle erhöhen, kann hier nicht schlüssig beantwortet werden. Die periodische Erfassung des chemischen Zustandes der Bodenlösung auf einem vergleichbaren Kalkstandort hat ergeben, dass beträchtliche Mengen an organischer Substanz mit der Bodenlösung in die Tiefe verlagert werden. Dementsprechend erhöht dürfte auch die Mobilität der Schwermetalle sein.

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen wird an diesem Kalkstandort trotz Unwägbarkeiten als gering bewertet.

Abb. 188: Mobilität von Schwermetallen

### **2.2.11.5 Themenbereich "Nährstoffe"**

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Humusform und Bodengefüge lassen auf eine hohe Nährstoffverfügbarkeit schliessen. Der Oberboden ist krümelig und eine organische Auflage fehlt weitgehend. Die Bodenorganismen bauen die anfallende Buchenlaubstreu innert Jahresfrist nahezu vollständig ab. Eine geringmächtige Auflage tritt nur vereinzelt und kleinflächig auf. Die Humusform ist meistens Mull, stellenweise kommt Moder vor. Der lokal etwas gehemmte Abbau dürfte an diesem relativ

niederschlagsarmen Standort mit der zeitweiligen Austrocknung des Oberbodens und dem grossen Eintrag von recht schwer abbaubarem Buchenlaub zusammenhängen.

Das C/N-Verhältnis beträgt in den obersten 5cm der Mineralerde rund 15 und liegt damit in einem Bereich, der, gemäss Literaturangaben, für Mull üblich ist. Das als mässig eng klassierte C/N-Verhältnis lässt eine mässig hohe Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen.

### Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 189) und die Austauschbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 190).

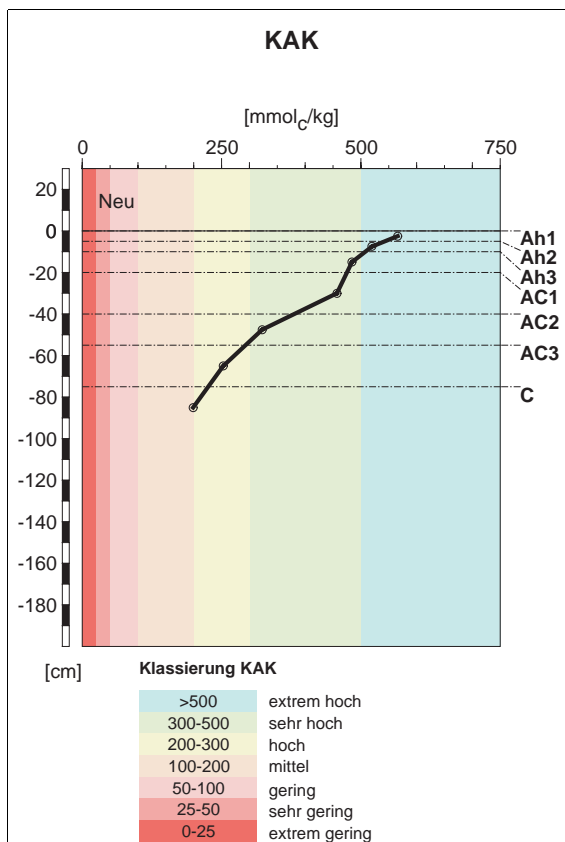


Abb. 189: Kationenaustauschkapazität (KAK)

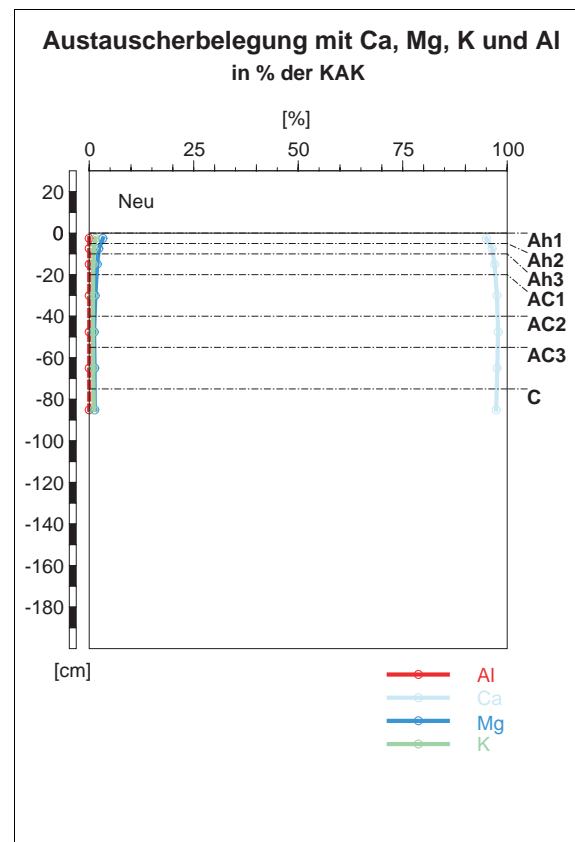


Abb. 190: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK weist in diesem Boden in Abhängigkeit des Ton- und Humusgehaltes einen deutlichen Gradienten auf. Sie nimmt, wie der Ton- und Humusgehalt, von oben nach unten kontinuierlich ab. Im humosen Oberboden ist sie extrem hoch und im C-Horizont wird sie als mittel klassiert.

Im gesamten Profil dominiert Ca mit rund 95% am Kationenaustauscher. Die Mg- und K-Belegungen sind im gesamten Profil relativ niedrig und konstant. Austauschbares Al hat in diesem Boden keine Bedeutung.

### Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Grösse der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 191 bis 193 dargestellt.

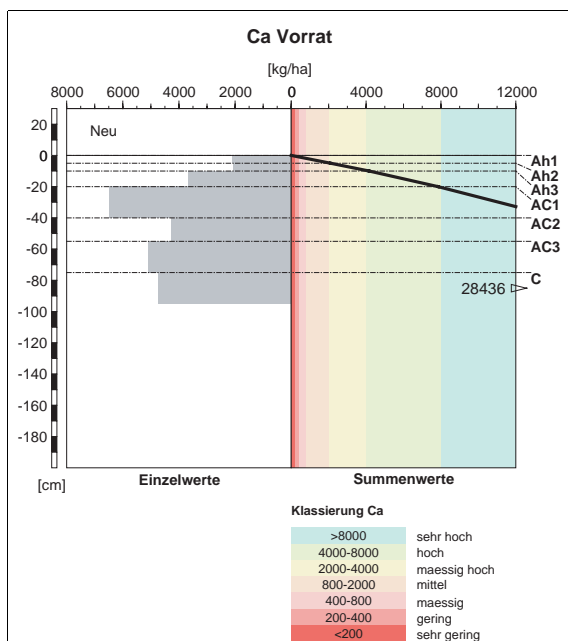


Abb. 191: Calcium-Vorrat

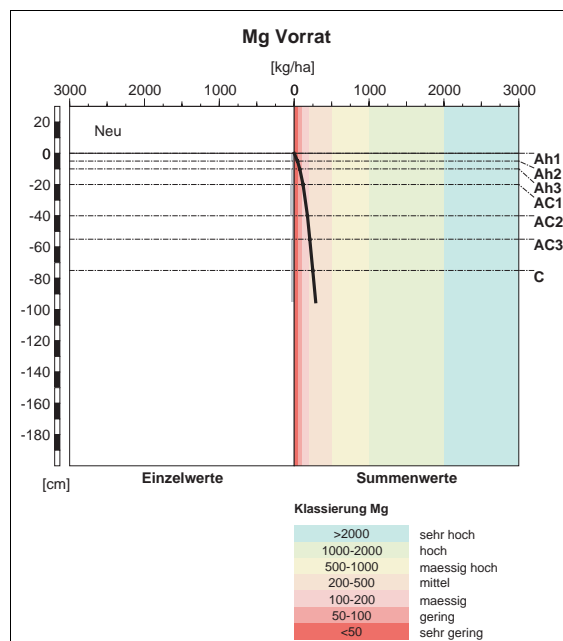


Abb. 192: Magnesium-Vorrat

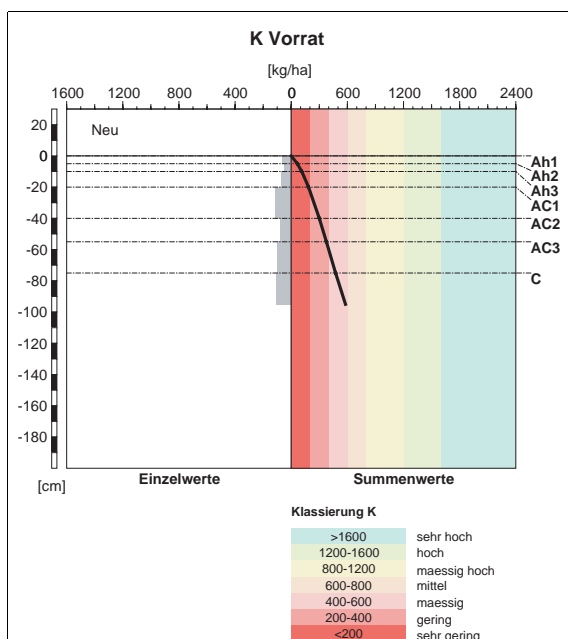


Abb. 193: Kalium-Vorrat

Die Vorräte der einzelnen Nährstoffkationen nehmen zur Tiefe hin in unterschiedlichem Ausmass zu. Der Ca-Vorrat nimmt mit zur Tiefe hin kontinuierlich und rasch, jener von Mg und K dagegen nur langsam zu.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca sehr hoch
- Mg mittel
- K gering

Der Boden ist bis mindestens 120cm Tiefe durchwurzelt. Damit wird der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt. Bis 120cm Tiefe werden die Vorräte optimistischer bewertet:

- Ca sehr hoch
- Mg mittel
- K mittel



Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als mittel bis hoch bewertet.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen nicht optimale Bedingungen vor. Der Boden trocknet im Sommer oft bis in grosse Tiefen aus (siehe Themenbereich “Physikalische Bodenkennwerte“).

### 2.2.11.6 Themenbereich “Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl“

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 1 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 75) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 75: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Neunkirch

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	590m
Exposition	N
Neigung	58%
Klima	
Jahresniederschlag	1020mm
Jahrestemperatur	8.3°C
Ausgangsgestein	Gehängeschutt aus hartem Malmkalk
Baumbestand	
Struktur	einschichtig
Schlussgrad	95%
Baumarten (Deckung)	85% Buche
Oberhöhe	rund 25m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 13: Linden-Zahnwurz-Buchenwald
<b>Bodenkennwerte (beziehen sich auf das Profil Nr. 1)</b>	
Bodensystematik	
Bodentyp	Rendzina
Bodentyp (LWF-Fläche)	Rendzina
Humusform	Mull
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-Moder (überwiegend Mull)
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	Im gesamten Profil treten keine Vernässungserscheinungen auf. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind also nicht zu befürchten.
Durchwurzelung	Im Profil (100cm) ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Der Boden wird als physiologisch sehr tiefgründig klassiert. Er ist bis mindestens 120cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird damit vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.
pflanzenverfügbares Wasser	Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als mittel klassiert. Das Risiko für Trockenstress ist an diesem Standort nicht abschätzbar, weil nicht bekannt ist, ob und wie intensiv die Bäume die Klüfte und Ritzen des Kalkgesteinun-

	tergrundes durchwurzeln. Saugspannungsmessungen deuten aber darauf hin, dass an diesem Standort Wassermangel für einige Baumarten limitierend sein könnte.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	Der Boden enthält profillumfassend Kalk und reagiert dementsprechend alkalisch.
Al-Toxizität	Al-Toxizität ist in diesem Boden kein Thema. Hinsichtlich Bodenversauerung sind in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen auf die Vegetation zu erwarten.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Die Humusform Mull lässt eine hohe, das als mässig eng klassierte C/N-Verhältnis eine mässig hohe Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Moder kommt auf der LWF-Fläche nur lokal vor.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelteten Boden (120cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als mittel bis hoch klassiert. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Dieser dürfte auf dem vorliegenden Standort zeitweise kritisch sein, so dass mit periodischem Wasser- und damit auch Nährstoffmangel gerechnet werden muss.
Verankerung	Da der vorhandene Baumbestand den Boden sehr tief durchwurzelt und sich seine Wurzeln vermutlich auch in der zerklüfteten Kalkgesteinunterlage festklammern, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes als günstig beurteilt.
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert aufgrund seines hohen Skelettgehaltes nicht empfindlich auf das Befahren mit schweren Maschinen.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der Bestand ist ein ausgewachsener, nahezu reiner Buchenwald. Die Baumartenmischung des aktuellen Bestandes wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als standortgerecht bezeichnet. Wir können also davon ausgehen, dass die vorhandenen Baumarten die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten gut nutzen.

Im Streueintrag überwiegt in diesem Wald seit Jahrzehnten Buchenlaub. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

### *Keimbeet*

Auf der LWF-Fläche ist die Humusform meistens Mull. Stellenweise ist Moder mit einem F-Horizont von nur wenigen Millimetern Mächtigkeit vorhanden.

Durch Einbringen eines zu hohen Nadelholzanteils würde sich im Verlaufe der Zeit vermutlich ein Moder entwickeln, der jedoch wegen den für den Humusabbau generell günstigen Standortbedingungen kaum sehr mächtig werden dürfte. Durch die Moderbildung würde der Keimungserfolg der Fichte und damit ihre Konkurrenzkraft in der Verjüngungsphase vergrössert. Zudem würden grössere Nährstoffmengen in der organischen Auflage blockiert, welche dann mittelfristig nicht für das Pflanzenwachstum verfügbar wären.

Umgekehrt kann durch Einbringen von geeigneten Laubhölzern in den Haupt- oder Nebenbestand eine noch besser abbaubare Streumischung und damit eine schnellere Mineralisierung von Nährstoffen erzielt werden.

### *Anwuchs- und Aufwuchsphase*

Hinsichtlich der Nährstoffversorgung bietet der Boden in der Anwuchs- und Aufwuchsphase für die meisten Baumarten gute Voraussetzungen. Kritisch könnte in längeren Trockenperioden dagegen die Wasserversorgung sein, insbesondere für die diesbezüglich anspruchsvolleren Edellaubhölzer wie Esche, Bergahorn und Bergulme.

Tiefwurzelnde Baumarten sind hier weniger für die Mobilisierung der Nährstoffvorräte im Unterboden sondern für die Erhöhung der Bestandesstabilität von Bedeutung.

### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 76):

Tab. 76: Baumartenempfehlung

<b>Baumarten im Hauptbestand</b>	Buche, Linde, Eiche, Spitzahorn, Kirschbaum (Bergahorn, Bergulme, Esche)
<b>Laubholzanteil</b>	mindestens 50%
<b>Baumarten im Nebenbestand</b>	Bei erhöhtem Nadelholzanteil im Hauptbestand können im Nebenbestand geeignete Baumarten als Bodenverbesserer eingebracht werden. Mögliche Baumarten sind Hagebuche, Winterlinde, Vogelbeere und Buche.

## 2.2.12 LWF-Fläche Novaggio (Bodenprofil Nr. 2)

### 2.2.12.1 Themenbereich "Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie"

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 2 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Novaggio und zum Bodenprofil Nr. 2

Die Tab. 77 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Novaggio und zum Profil Nr. 2. Die Tab. 78 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 77: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Novaggio und zum Profil Nr. 2

<b>Lokalname</b>	Pianca Comune (Gemeinde Novaggio, Kt. TI)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1353, Lugano
	Koordinaten 708 066 / 97 746
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 42: Rapunzel-Eichenmischwald mit Edelkastanie ( <i>Phyteumo betonicifoliae-Quercetum castanosum</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-F-Ah1-Ah2-Ah3-A-AB-B-BC-C
<b>Humusform</b>	Moder
<b>Bodentyp</b>	Braunerde
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Podsol

Tab. 78: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 2

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	900m	
	Exposition	S	
<b>Ausgangsgestein</b>	Oberfläche	Quartär. Carbonatfreie Moräne.	
	Untergrund	Südalpin. Präpermisches Grundgebirge. Orthogneis. Schieferiger Biotitplagioklasgneis.	
<b>Klima</b>	Beobachtung am Profilort	Die Mächtigkeit der Moräne variiert auf der LWF-Fläche stark. An einigen Stellen ist der Felsuntergrund anstehend, anderorts beträgt ihre Mächtigkeit mehr als 5m.	
	T / N Jahresmittel	9.1°C / 1887mm	
	T / N Januarittel	1.3°C / 96mm	
	T / N Julimittel	17.0°C / 154mm	
	Tage mit Schneedecke	48	
	Wärmegliederung	ziemlich kühl	
<b>Pflanzen</b>	Länge der Vegetationsperiode	190-200 Tage	
	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (35m Höhe)	80%	60% Cerr-Eiche ( <i>Quercus cerris</i> ) 15% Edelkastanie ( <i>Castanea sativa</i> )
	Strauchschicht	50%	-
	Krautschicht	70%	Strand-Pfeifengras ( <i>Molinia arundinacea</i> ) Adlerfarn ( <i>Pteridium aquilinum</i> ) Heidelbeere ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ) Salbeiblättriger Gamander ( <i>Teucrium scorodonia</i> )
Moosschicht	1%	-	

## Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit V5 (alpine, kristalline Berglandschaft (Orthogneis), steile Südhänge). V5 stellt 331 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 2.8% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

### Besonderheiten am Profilort

Im Profil ist nur Moränematerial vorhanden. Der kristalline Sockel wurde nicht erschlossen.

Obwohl der Standort hohe jährliche Niederschlagsmengen verzeichnet, muss wegen der Unregelmässigkeit der Niederschlagsereignisse und der südlichen Hangexposition mit zeitweiliger Trockenheit gerechnet werden.

Die Periode mit einer Schneedecke dürfte an diesem südexponierten Standort wesentlich kürzer sein als in der Tab. 78 angegeben ist.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 79 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 79: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 2

LWF-Novaggio Nr. 2		Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
	F	3-0	-	-	-	-	-	-	-	
	Ah1	0-5	sehr schwach	IS	Krümel	locker	ohne	-	-	
	Ah2	5-10	sehr schwach	IS	Krümel	locker	ohne	10 YR 2/1	extrem stark	
	Ah3	10-20	mittel	IS	Subpolyeder	mittel	ohne	10 YR 2/1	stark	
	A	20-40	mittel	IS	Subpolyeder	mittel	ohne	10 YR 2/1	stark	
	AB	40-55	mittel	IS	Subpolyeder	mittel	ohne	10 YR 3/2	stark	
	B	55-90	stark	IS	Fragmente	mittel	ohne	10 YR 4/6	mittel	
	BC	90-130	stark	S	Einzelkorn	mittel	ohne	10 YR 4/5	schwach	
	C	> 130	sehr stark	S	Einzelkorn	mittel	ohne	10 YR 6/4	schwach	

Das Vorhandensein einer organischen Auflage deutet darauf hin, dass die biologische Aktivität gehemmt ist. Die von krautigen Pflanzen, Eichen und Kastanien stammende Streu wird langsam und unvollständig zersetzt. Mit der Horizontfolge L-F-Ah wird die Humusform als Moder klassiert. Der hohe Humusgehalt in den obersten 50cm des Bodens lässt auf eine gehemmte Zersetzung der organischen Substanz in den Mineralerdehorizonten schliessen. Diese Beobachtung kann in Böden der Alpensüdseite häufig gemacht werden. In Abweichung zum Xeromoder ist der Humusabbau aber vermutlich nicht überwiegend durch Trockenheit, sondern durch eine Kombination mehrerer Faktoren (Säuregrad, Qualität der Streu, Klima) gehemmt.

Im rund 2m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch sechs Horizonte deutlich voneinander unterscheiden. Da der Ah-Horizont in drei verschiedenen Tiefen

beprobte wurde, lautet die Horizontfolge des Profils wie folgt: Ah1-Ah2-Ah3-A-AB-B-BC-C. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Braunerde klassiert. Die durch Verwitterungsprozesse verbrauchten Horizonte sind gesamthaft recht mächtig. Es kommen keine hydromorphen Merkmale vor.

### Besonderheiten des Profils

Das Ausgangsgestein enthält kein Kalk. Im Profil sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar.

Der Oberboden ist bis 55cm Tiefe sehr humos und daher auffällig dunkel gefärbt. Eine Podsolierung konnte in diesem Boden mit rein morphologischen Kriterien nicht festgestellt werden. Daher wurde der Boden als Braunerde und nicht als Kryptopodsol klassiert.

Der Boden wurde bis 40cm Tiefe nach fixen Tiefenstufen, darunter nach genetischen Horizonten beprobt.

### 2.2.12.2 Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte"

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 2 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird vorerst auf eine Interpretation verzichtet, um nur gesicherte Sachverhalte zu präsentieren.

#### Skelettgehalt und Bodenart

In Abb. 194 ist der Skelettgehalt und in Abb. 195 die Bodenart dargestellt.

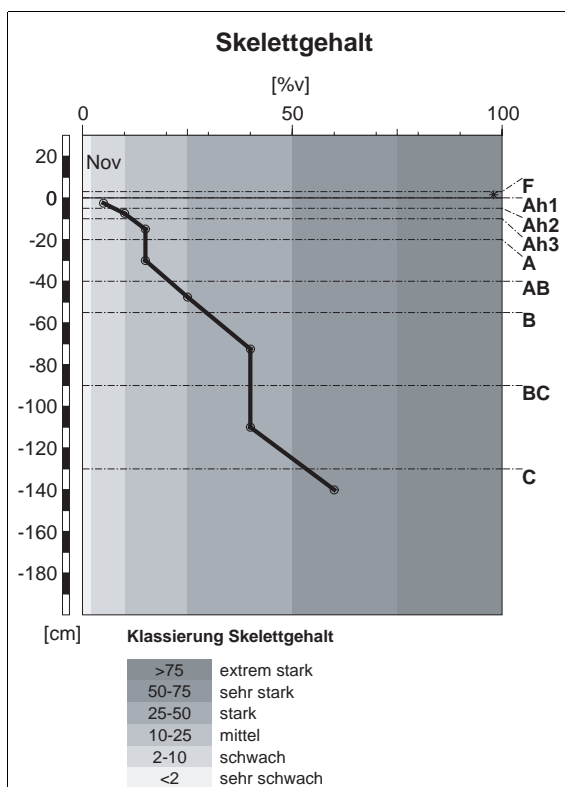


Abb. 194: Skelettgehalt

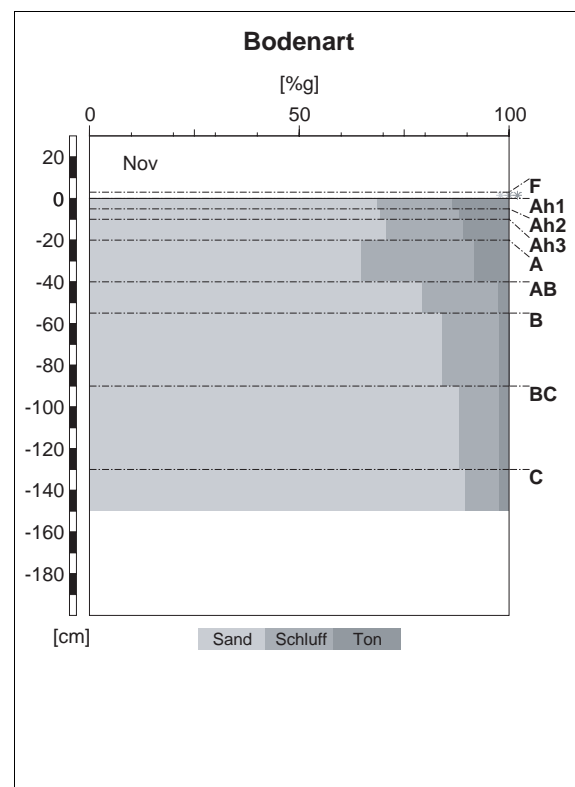


Abb. 195: Bodenart

Der Skelettgehalt nimmt nach unten kontinuierlich zu. Der Oberboden ist schwach bis mittel skeletthaltig, ab 50cm Tiefe ist der Boden sehr steinig.

Die Feinerde ist extrem sandig. Es ist nur wenig Schluff und sehr wenig Ton vorhanden. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen sehr leichten Boden.

### Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 196 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 197 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

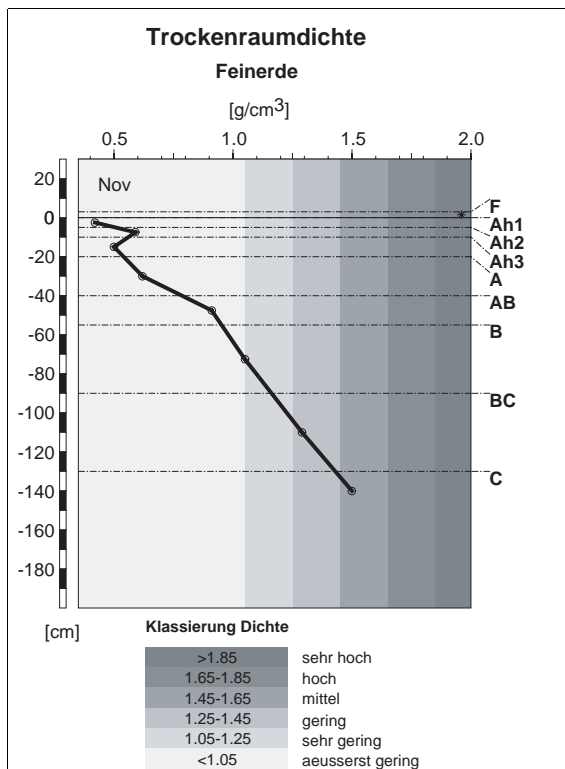


Abb. 196: Dichte der Feinerde

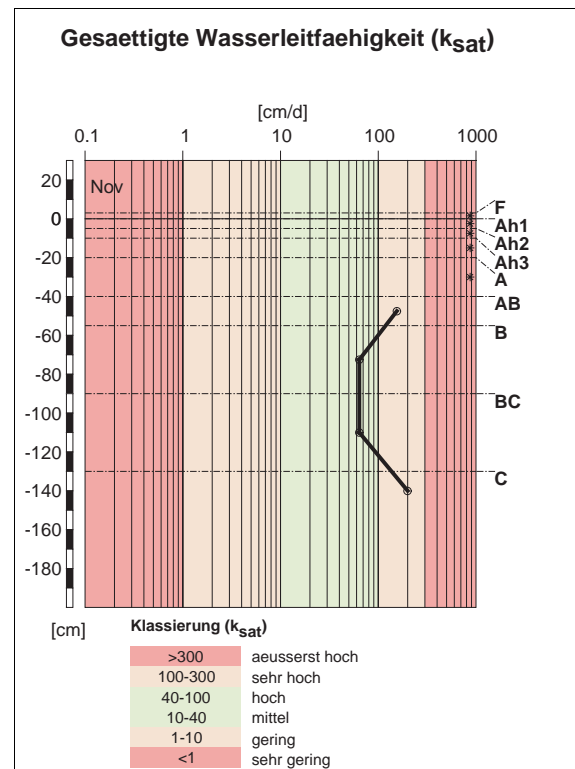


Abb. 197: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Die Dichte der Feinerde nimmt nach unten kontinuierlich zu. Der humusreiche Oberboden ist äusserst locker gelagert. Im Unterboden ist die Dichte gering bis mittel.

Der Boden ist aufgrund seiner geringen Dichte und dem hohen Sandgehalt hoch bis sehr hoch durchlässig.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 198 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

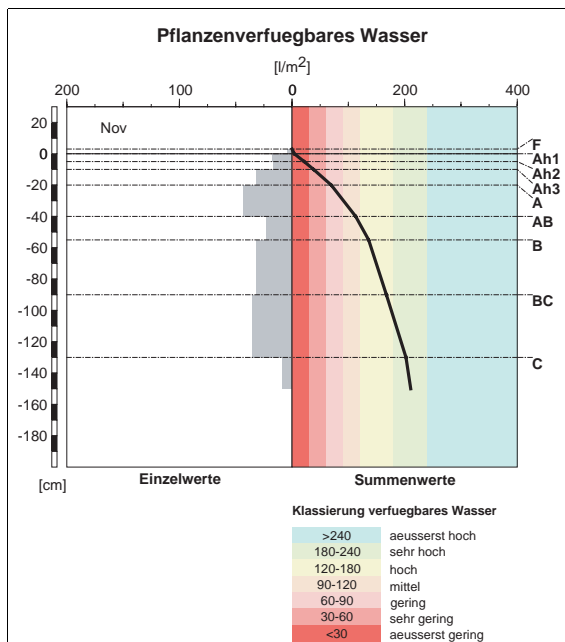


Abb. 198: Pflanzenverfügbares Wasser

Der hohe Humusgehalt im Oberboden wirkt sich positiv auf die Wasserspeicherleistung aus. Sie wird bis 120cm Tiefe als hoch klassiert. Der Wurzelraum ist nach unten offen.

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Im Profil sind keine morphologischen Vernässungsmerkmale erkennbar. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind also nicht zu erwarten. Unterstützt wird diese Einschätzung durch die Leitfähigkeitskurve, welche für das gesamte Profil eine hohe bis sehr hohe Durchlässigkeit angibt.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Im gesamten Profil gibt es kein unüberwindbares Hindernis für die Durchwurzelung. Die Dichte der Feinerde liegt nur im C-Horizont ab 130cm Tiefe leicht über der als kritisch erachteten Grenze von 1.4kg/dm<sup>3</sup>. Der Boden wird als sehr tiefgründig (>150cm) klassiert. Er ist tiefer als 150cm durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.

Saugspannungsmessungen in den Jahren 1997-2001 haben auf diesem Standort gezeigt, dass die Wasserversorgung des Baumbestandes in dieser Messperiode während der Vegetationszeit nie kritisch war. Unterhalb von rund 100cm war der Boden nie stark ausgetrocknet (Daten hier nicht gezeigt). In dieser Periode fielen während der Vegetationszeit im Vergleich zu den langjährigen monatlichen Minimalwerten (25% Quantil  $\approx$  100%) folgende monatlichen Summen (Station Lugano (273 M.ü.M.; 717880/95870; Messperiode 1901-2002); Daten Meteo Schweiz, bearbeitet durch M. Rebetez):



	Mai		Juni		Juli		August		September	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
<b>1997</b>	89	73	383	321	139	131	41	41	27	32
<b>1998</b>	173	141	231	194	143	134	112	110	250	301
<b>1999</b>	157	128	191	160	134	126	301	296	233	281
<b>2000</b>	251	205	75	63	368	346	89	88	211	254
<b>2001</b>	104	85	244	204	230	216	246	241	69	83

Im langjährigen Vergleich relativ niederschlagsarm (Niederschlagsmengen <25% Quantil ( $\approx 100\%$ )) waren im Jahr 1997 die Monate Mai, August und September, im Jahr 2000 die Monate Juni und August und im Jahr 2001 die Monate Mai und September. Wie die Saugspannungsmessungen belegen, war der Boden aber selbst während diesen relativ niederschlagsarmen Perioden nur bis rund 100 cm Tiefe stark ausgetrocknet.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von 120cm Mächtigkeit ist gemäss unseren Berechnungen damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 25 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Da der Boden jedoch tiefer als 120cm durchwurzelbar ist, kann Trockenstress auch später eintreten.

#### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Oberboden ist nur wenig gefährdet für ein Befahren mit schweren Maschinen, da er recht viele Steine sowie viel Humus und Sand enthält.

Es wird jedoch auch hier davon abgeraten, den Bestand mit schwerem Gerät zu befahren, weil mit Schäden am verbleibenden Bestand zu rechnen ist.

### **2.2.12.3 Themenbereich "Säurezustand"**

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 2 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

#### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 199), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 200) sowie der Basensättigung (Abb. 201) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.

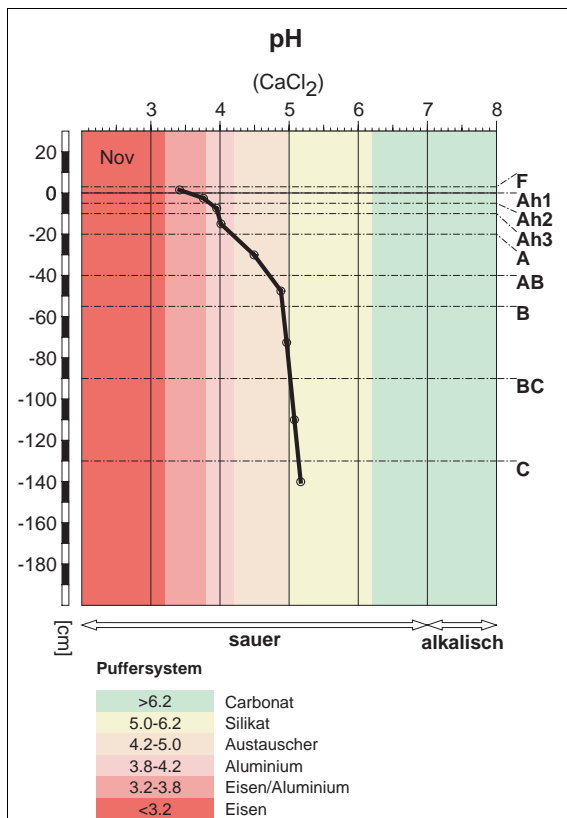


Abb. 199: pH-Wert und Pufferbereiche

Der Boden ist in den obersten 10cm sehr stark sauer. Darunter steigt der pH-Wert bis 50cm Tiefe rasch an, verhardt dann aber ab dieser Tiefe bei einem Wert von rund 5.0 und damit im mässig sauren Bereich.

Eingetragene Säuren werden im Boden in den obersten 5cm überwiegend durch organische Fe- und Al-Komplexe gepuffert. Zwischen 5 und 20cm Tiefe sind vor allem pedogene Al-Hydroxide als Puffer wirksam. In der Tiefenstufe 20-90cm werden Säuren überwiegend durch den Kationenaustauscher, zusätzlich aber auch durch Silikatverwitterung gepuffert. Ab 90cm wirkt vor allem die Silikatverwitterung als Puffer.

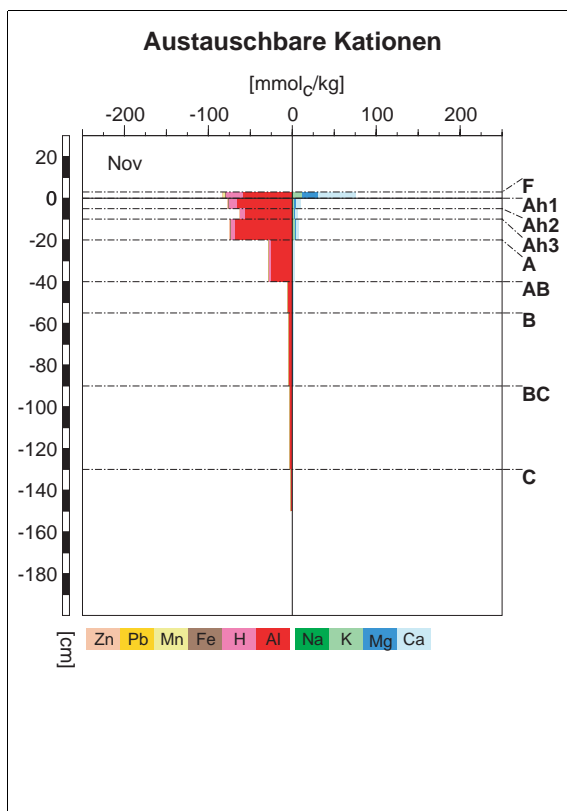


Abb. 200: Austauschbare Kationen

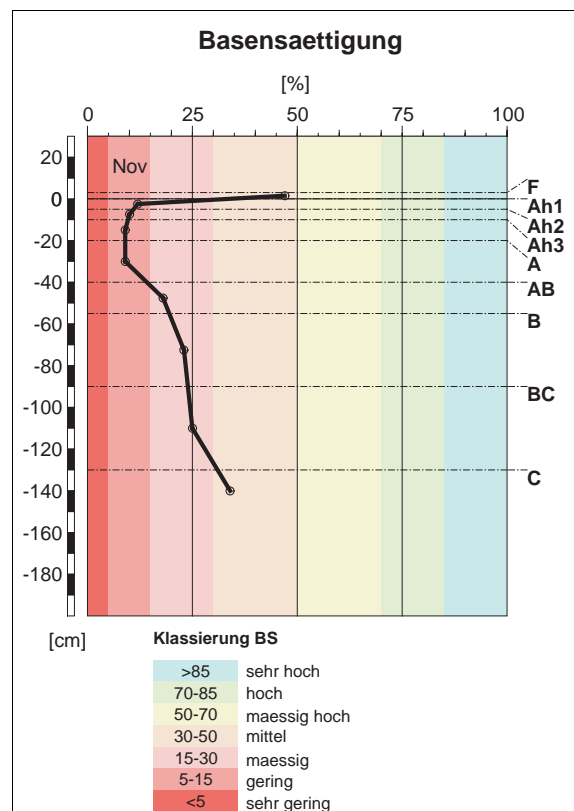


Abb. 201: Basensaettigung

Im Oberboden ist der Austauscher bis in eine Tiefe von 20cm, entsprechend der hier wirkenden Pufferung durch Fe- und Al-Verbindungen, überwiegend mit sauren Kationen, insbe-

sondere Al belegt. Die Basensättigung beträgt rund 10% und ist damit gering. Nur im F-Horizont befinden sich trotz tiefem pH-Wert erhöhte Gehalte an Nährstoffkationen am Austausch. Die Basensättigung ist hier im Vergleich zu den unmittelbar darunterliegenden Mineralerdehorizonten mit rund 50% deutlich grösser.

Auch unterhalb von 20cm Tiefe ist der Austauscher überwiegend mit Al belegt, obwohl hier aufgrund des pH-Wertes vor allem der Kationenaustauscher als Puffer wirkt. Die Basensättigung beträgt rund 10-30% und ist damit gering bis mittel.

#### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem kristallinen Ausgangsgestein (Moräne) eine Braunerde entwickelt. Der Grad der Versauerung ist in diesem Boden nur schwer abschätzbar, weil die Pufferungseigenschaften des Ausgangsgesteins nicht bekannt sind. Die Verläufe des pH-Wertes und der Basensättigung deuten jedoch darauf hin, dass der Boden stark versauert ist. Die Versauerung ist vor allem in den obersten 40cm weit fortgeschritten, wie der tiefe pH-Wert und die niedrige Basensättigung belegen.

Obwohl der Boden profillumfassend sehr sauer reagiert, ist die Basensättigung in der organischen Auflage deutlich erhöht, was durch die ständige Nachlieferung von Nährstoffen mit dem Streufall erklärt werden kann. Diesen Effekt findet man allerdings nur in der organischen Auflage, obwohl der Boden bis 40cm Tiefe sehr humusreich ist. Dies deutet darauf hin, dass die organische Substanz vor allem im F-Horizont mineralisiert wird, weiter unten jedoch in einer Form vorliegt, welche für die Bodenorganismen schlecht abbaubar ist. Altersdatierungen aus humusreichen Böden des Tessins (Kryptopodsole) haben ergeben, dass die organische Substanz hier sehr lange im Boden verweilt, also weitgehend resistent ist gegenüber biologischem Abbau.

Das Vorhandensein von austauschbarem Al ab 20cm Tiefe ist kaum durch Pufferung und damit durch Auflösung von Al-Hydroxiden, sondern durch Gesteinsverwitterung (Silikatverwitterung) bedingt. Die bei der Verwitterung freigesetzten Al-Ionen werden aufgrund ihrer hohen Wertigkeit vorzugsweise am Austauscher gebunden.

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird als empfindlich für eine weitere Versauerung beurteilt, zumal praktisch der gesamte Wurzelraum sehr sauer ist.

Der Abbau der organischen Substanz ist neben anderen Faktoren auch durch den tiefen pH-Wert gehemmt, so dass sich auf der LWF-Fläche mancherorts eine organische Auflage (Moder-Rohhumus) gebildet hat. Bei weiter fortschreitender Bodenversauerung wird diese Auflage noch mächtiger werden, wodurch die Versauerungsprozesse zusätzlich beschleunigt werden.

Bis in eine Tiefe von 20cm befindet sich der Boden im Fe/Al- oder Al-Pufferbereich, darunter im Austauscher-Pufferbereich. Eine fortschreitende Bodenversauerung hat zur Folge,

dass am Austauscher die Verdrängung von kationischen Nährstoffen weitergehen wird. Dabei wird einerseits die Basensättigung abnehmen; andererseits wird sich die Zone mit niedriger Basensättigung in die Tiefe ausdehnen, wodurch eine verstärkte Nährstoffauswaschung aus dem gesamten Wurzelraum zu erwarten ist.

Das Baumwachstum dürfte bei einer weitergehenden Bodenversauerung durch die Verarmung an Nährstoffen sowie durch das enger werdenden BC/Al-Verhältnis im Wurzelraum beeinträchtigt werden. In der Bodenmatrix werden minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.1 erreicht. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird damit unterschritten. An diesem Eichenstandort besteht folglich ein Risiko für Al-Toxizität. Eine weitere Versauerung wird dieses Risiko zusätzlich vergrößern. Mit fortschreitender Bodenversauerung wird sich die nährstoffarme Risikozone ausdehnen und es vor allem den Jungbäumen erschweren, die Nährstoffe im besser versorgten Unterboden zu erschliessen.

Eine zunehmende und tiefergreifende Versauerung erhöht das Risiko für die Tiefenverlagerung von Schwermetallen. Da an diesem Standort nicht nur der Boden, sondern auch der Untergrund sauer reagiert, wird das Risiko einer Grundwasserkontamination schon zum aktuellen Zeitpunkt und erst recht bei weiter fortschreitender Versauerung als hoch eingestuft.

#### **2.2.12.4 Themenbereich “Schwermetalle“**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 2 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Da von Profil 2 keine XRF-Messwerte vorhanden sind, werden jene von Profil 1 beigezogen. Dies ist zulässig, weil die beiden Profile morphologisch und bezüglich der Schwermetallgehalte sehr ähnlich sind. Die Distanz zwischen den beiden Profilen beträgt rund 100m.

Die VBBo-Richtwerte gelten bei einem Humusgehalt <15% in mg/kg, ansonsten in mg/dm<sup>3</sup>. In den Abbildungen, in welchen die Tiefenverteilung der Schwermetalle dargestellt ist, sind die Gehalte in mg/kg angegeben. Für die Schwermetallgehalte in mg/dm<sup>3</sup> (Ah1-, Ah2- und Ah3-Horizont) wird auf die Datentabelle im Anhang verwiesen. Im F-Horizont konnte der volumenbezogene Gehalt (mg/dm<sup>3</sup>) mangels Kenntnis der Dichte nicht berechnet werden. Daher erfolgt dort keine Richtwertbeurteilung.

Obwohl eigentlich mehrheitlich Moräne anstehend ist, wurde die Lithofazies 3 (Orthogneise) als Referenz für die Wertung der geochemischen Gehalte gewählt. Orthogneise bilden den Sockel unter der LWF-Fläche.

##### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus carbonatfreiem Moränematerial und Orthogneis besteht, liegen die Gehalte aller Schwermetalle mit Ausnahme von Pb oberhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 3 (Orthogneise). Der Pb-Gehalt liegt innerhalb des typischen Wertebereichs.

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet der Alpen, erhöhte Gehalte an Cr, Zn und Pb vor. Die Cu- und Ni- Gehalte sind niedrig.

## Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 202 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 203 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als “Δ”, die Richtwerte der VBBo als “◇” markiert.

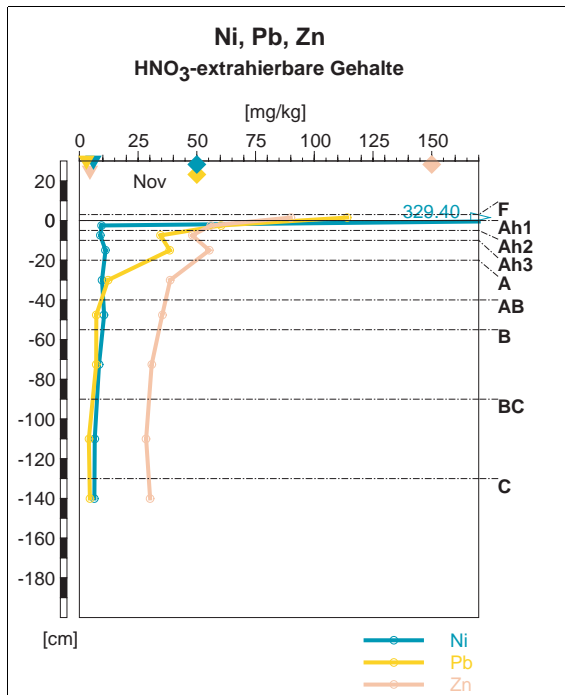


Abb. 202: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

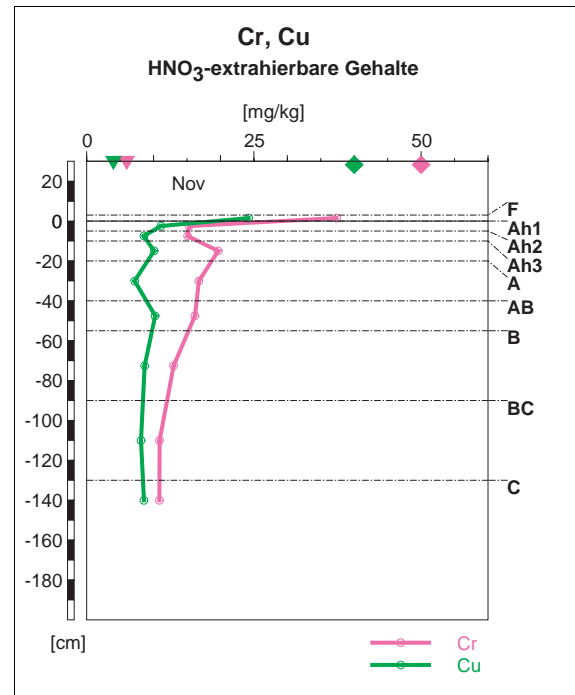


Abb. 203: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen in der Mineralerde für Zn, Cu und Ni sehr niedrige und für Cr niedrige bis sehr niedrige Gehalte vor. Erhöhte Bleigehalte finden sich in den obersten 5cm des Mineralbodens, darunter sind die Gehalte niedrig bis sehr niedrig.

Die Richtwerte der VBBo werden in der Mineralerde nicht überschritten.

In der organischen Auflage kann die Richtwertbeurteilung nicht vorgenommen werden, weil die dazu nötigen volumenbezogenen Gehalte (mg/dm<sup>3</sup>) nicht bekannt sind. Rein gutachtlich beurteilt dürfte in der organischen Auflage der Richtwerte für Ni deutlich und jener für Pb leicht überschritten sein.

## Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den obersten 10cm der Mineralerde sind alle Schwermetalle in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden. In der organischen Auflage werden die kritischen Werte für Cr deutlich und für Cu leicht überschritten.

## Anreicherungs-faktoren

Die Anreicherungs-faktoren sind in Tab. 80 dargestellt.

Tab. 80: Anreicherungs-faktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungs-faktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Ah1	0	- 5	4.16	1.45	1.84	1.10	nb
Ah2	5	- 10	2.71	0.97	1.37	0.53	1.03
Ah3	10	- 20	2.09	1.14	1.47	1.19	nb
A	20	- 40	1.37	1.21	1.42	1.12	nb
AB	40	- 55	0.75	0.60	0.65	0.51	nb
B	55	- 90	nb	nb	nb	nb	nb
BC	90	- 130	0.90	0.96	1.42	0.87	nb
C	130	- 150	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Die hohen Anreicherungs-faktoren von Pb in den obersten 20cm weisen auf atmogene Ein-träge hin. Das aus der Luft eingetragene Pb wird im humusreichen Oberboden an die organi-sche Substanz gebunden und angereichert. Dasselbe gilt in etwas abgeschwächter Form für Cu und Zn in den obersten 5cm der Mineralerde. Bei diesen beiden Elementen ist neben at-mogener Deposition auch mit Einträgen via Streu zu rechnen. Bei Ni ist weder eine eindeuti-ge Verarmung noch Anreicherung im Profil feststellbar. Für Cr kann keine Aussage gemacht werden, weil die Gehalte teilweise unter der Bestimmungsgrenze liegen.

Im Boden wird für Pb in den obersten 20cm und für Zn und Cu in den obersten 5cm der Mineralerde eine anthropogene Belastung vermutet.

## Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 204.

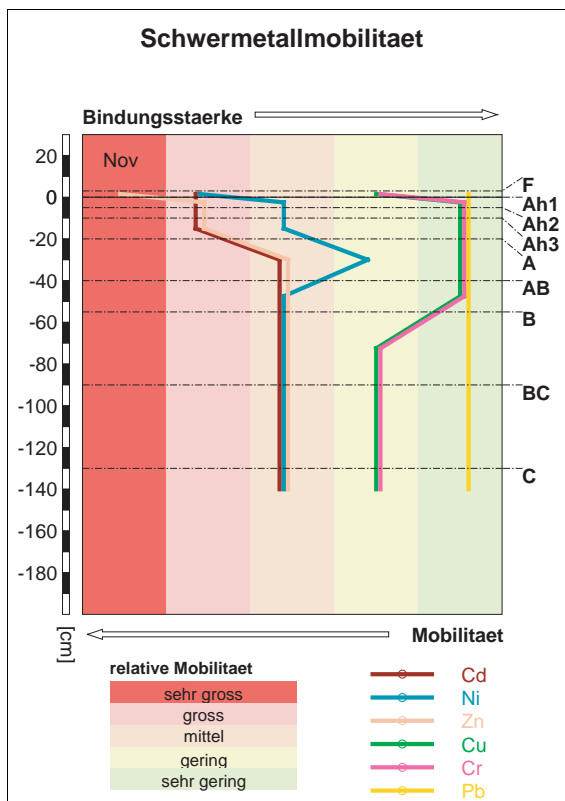


Abb. 204: Mobilität von Schwermetallen

Die Schwermetalle lassen sich gemäss den Mobilitätsindices in zwei Gruppen einteilen. Relativ mobil sind Cd, Ni und Zn, wenig mobil dagegen Cr, Cu und Pb.

Die im Bodenwasser gelösten organischen Stoffe dürften hier aber einen modifizierenden Einfluss auf die Mobilität der Schwermetalle gemäss Mobilitätsindices ausüben. Periodische Messungen der Bodenlösung haben nämlich ergeben, dass eine nicht zu vernachlässigende Menge an gelöster organischer Substanz in die Tiefe verlagert wird und damit die Mobilität der Schwermetalle erhöht.

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort recht gross, zumal der Boden sehr wasser-durchlässig ist und bis in grosse Tiefen sauer reagiert.

### 2.2.12.5 Themenbereich “Nährstoffe“

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 2 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Es ist eine organische Auflage und ein saurer, mächtiger und extrem humusreicher Oberboden vorhanden. Dies lässt eine eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit erwarten. Der Abbau der organischen Substanz ist in diesem Boden ganz offensichtlich gehemmt. Es gelingt den Bodenorganismen nicht, die anfallende, recht schwer abbaubare Streu der Eiche und Edelkastanie innert Jahresfrist vollständig zu zersetzen. Die Mächtigkeit der organischen Auflage variiert zwar auf der LWF-Fläche, die Humusform ist aber meist ein Rohhumus. Für den gehemmten Abbau dürften an diesem südexponierten Standort der extrem saure Oberboden, die schwer abbaubare Streu und die zeitweilige Bodentrockenheit verantwortlich sein.

Das C/N-Verhältnis in der organischen Auflage beträgt rund 24 und liegt damit in einem Bereich, der, gemäss Literaturangaben, für Moder üblich ist. Das als mässig weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine niedrige Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit recht gut in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen.

#### Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 205) und die Austauschbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 206).

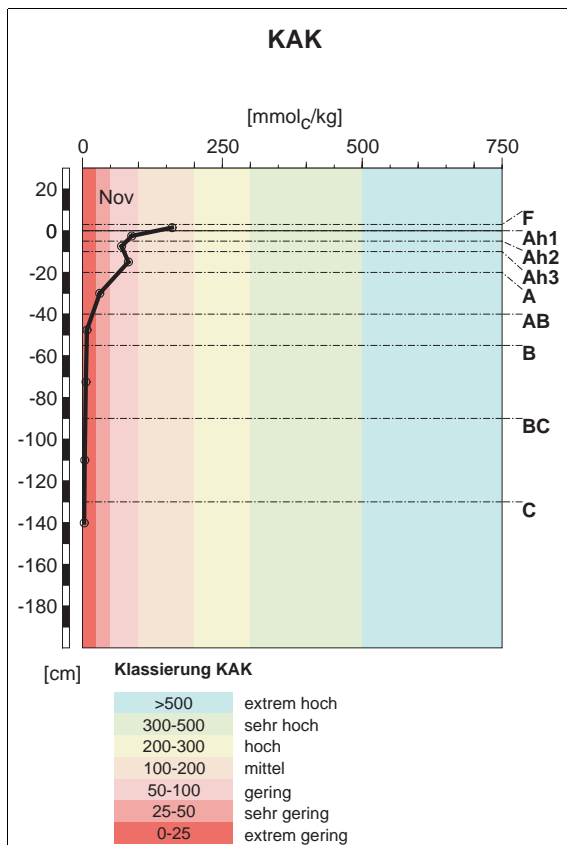


Abb. 205: Kationenaustauschkapazität (KAK)

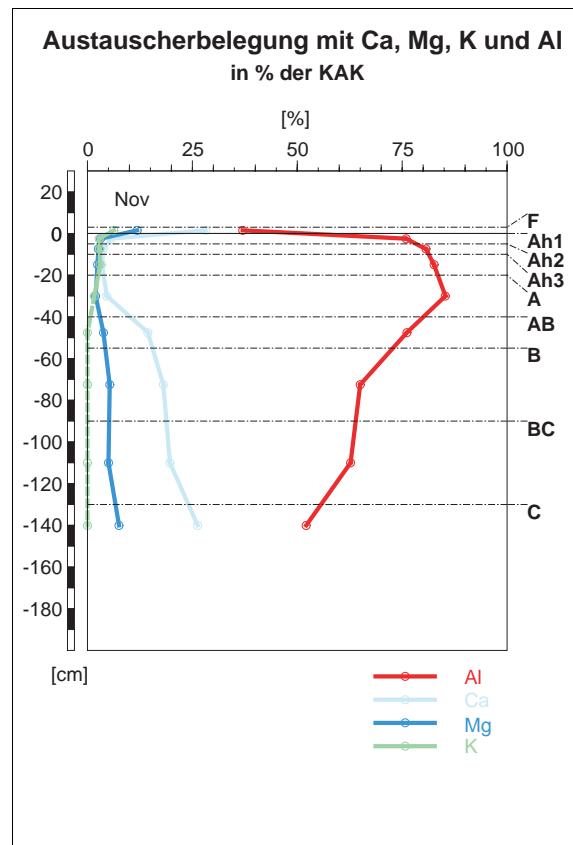


Abb. 206: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK weist im Profil in Abhängigkeit des Humusgehaltes einen recht deutlichen Gradienten auf. In der organischen Auflage und im stark humosen Oberboden ist sie gering bis mittel, nimmt dann aber nach unten deutlich ab. Ab 40cm Tiefe ist die KAK extrem gering. Es ist bemerkenswert, dass selbst der stark humose Oberboden nur eine relativ geringe KAK aufweist.

Infolge der stark sauren Bodenverhältnisse dominiert Al profilumfassend am Kationenaustauscher. Selbst im C-Horizont in rund 130cm Tiefe beträgt die Al-Belegung noch rund 50%. Insbesondere in der Tiefenstufe 0-40cm werden die Nährstoffkationen fast vollständig durch Al vom Austauscher verdrängt. Ab 40cm Tiefe nehmen die Belegungen von Mg und Ca deutlich zu. Die K-Belegung am Kationenaustauscher ist im humosen Oberboden relativ hoch (Mineralisierung), ab 40cm Tiefe jedoch unterhalb des messbaren Bereiches.

### Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Größe der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 207 bis 209 dargestellt.



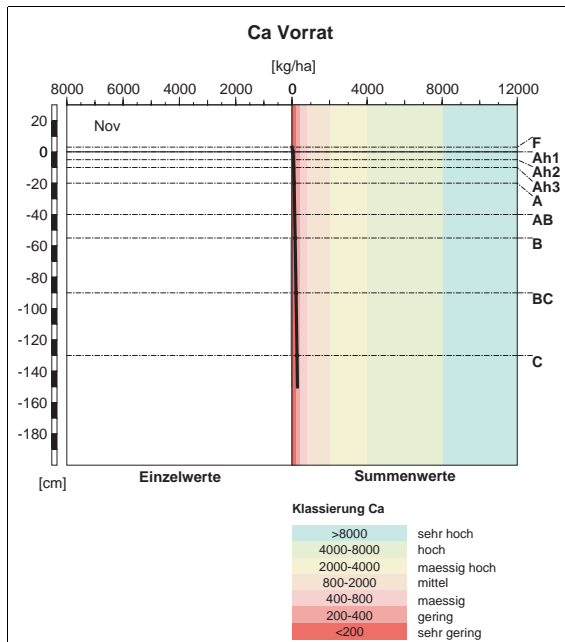


Abb. 207: Calcium-Vorrat

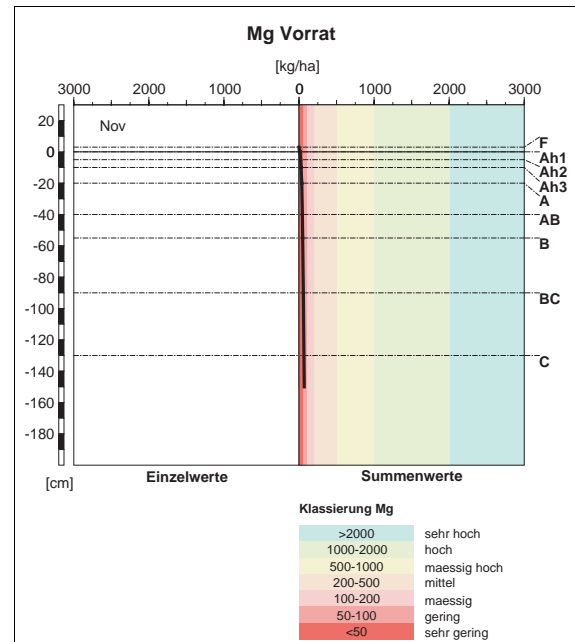


Abb. 208: Magnesium-Vorrat

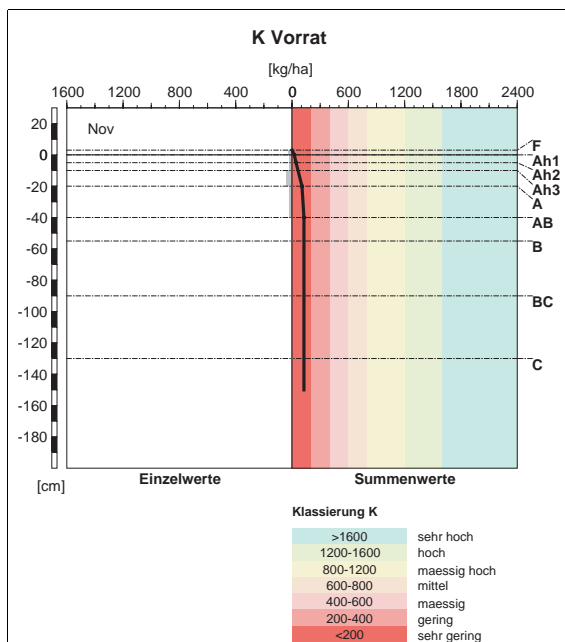


Abb. 209: Kalium-Vorrat

Die Vorräte der drei Nährstoffkationen Ca, Mg und K nehmen zur Tiefe hin nur ausserordentlich langsam zu.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca sehr gering
- Mg sehr gering
- K sehr gering

Der Boden ist bis mindestens 160cm Tiefe durchwurzelt. Damit wird der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt. Aber selbst bis in eine Tiefe von 160cm werden die Vorräte an Nährstoffkationen kaum besser bewertet:

- Ca gering
- Mg gering
- K sehr gering

Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als gering, für K sogar als kritisch beurteilt.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen recht günstige Bedingungen vor (siehe Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte").

### 2.2.12.6 Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 2 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 81) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 81: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Novaggio

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	900m
Exposition	S
Neigung	68%
Klima	
Jahresniederschlag	1887mm
Jahrestemperatur	9.1°C
Ausgangsgestein	meist carbonatfreie Moräneablagerungen, stellenweise anstehender Gneis
Baumbestand	
Struktur	stufig
Schlussgrad	80%
Baumarten (Deckung)	60% Cerr-Eiche, 15% Edelkastanie
Oberhöhe	10-15m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 42: Rapunzel-Eichenmischwald mit Edelkastanie
<b>Bodenkennwerte</b> (beziehen sich auf das Profil Nr. 2)	
Bodensystematik	
Bodentyp	Braunerde
Bodentyp (LWF-Fläche)	Braunerde-undifferenzierter Kryptopodsol (überwiegend undiff. Kryptopodsol)
Humusform	Moder
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-Rohhumus (überwiegend Rohhumus)
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	Im Profil sind keine morphologischen Vernässungsmerkmale vorhanden. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind also nicht zu erwarten.

Durchwurzelung	Im Profil (160cm) ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Der Boden wird physiologisch als sehr tiefgründig klassiert. Er ist bis mindestens 160cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird damit vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.
pflanzenverfügbares Wasser	Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als hoch klassiert. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen dürfte der Bestand nur in ausgesprochen langen Trockenperioden an Trockenstress leiden.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	Der Boden ist in den obersten 10cm sehr stark sauer. Darunter steigt der pH-Wert bis 50cm Tiefe rasch an, verhartet dann aber ab dieser Tiefe bei einem Wert von rund 5.0 und damit im mässig sauren Bereich. Es ist keine Kalkgrenze vorhanden.
Al-Toxizität	In der Bodenmatrix werden minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.1 erreicht. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird bis in 130cm Tiefe unterschritten. Es besteht folglich ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Das als mässig weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine niedrige Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten, was durch die Humusform Moder bestätigt wird.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelten Boden (160cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als gering bis sehr gering klassiert. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen recht günstige Bedingungen vor.
Verankerung	Die Bodengründigkeit und damit auch die Verankerungsmöglichkeit der Bäume variiert auf der LWF-Fläche. Die Verankerung des Bestandes wird insgesamt als gut, an flachgründigen Stellen als mässig beurteilt.
Befahrbarkeit	Der Oberboden ist nur wenig empfindlich für ein Befahren mit schweren Maschinen, da er recht viele Steine sowie viel Humus und Sand enthält.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der Bestand ist ein Laubmischwald (Eiche, Edelkastanie u.a.). Die Baumartenmischung des aktuellen Bestandes wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als standortgerecht bezeichnet. Wir können also davon ausgehen, dass die vorhandenen Baumarten die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten gut nutzen.

Im Streueintrag überwiegt in diesem Wald seit Jahrzehnten Laubstreu. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

#### *Keimbeet, Anwuchs- und Aufwuchsphase*

An diesem Standort ist die Baumartenwahl durch zeitweilige Trockenheit während der Vegetationszeit eingeschränkt. Auch periodisch auftretende Waldbrände dürften einen Einfluss auf die Baumartenmischung haben.

Es stehen nur wenige standortgerechte Baumarten zur Auswahl. Aus bodenkundlicher Sicht lässt sich beifügen, dass alle diesem Standort angepassten Baumarten Laubhölzer sind und durch deren Einbringen günstige Auswirkungen auf die Nährstoffumsetzung zu erwarten sind. Wenn sich der Waldbauer bei der Baumartenwahl an die standortgerechten Arten hält,

werden sich die für das Baumwachstum wichtigen Bodeneigenschaften nicht wesentlich verändern.

### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 82):

Tab. 82: Baumartenempfehlung

<b>Hauptbaumarten</b>	diverse Eichenarten, Edelkastanie
<b>Beimischung</b>	Birke, Mehlbeere, Vogelbeere, Kirschbaum, Zitterpappel

## 2.2.13 LWF-Fläche Othmarsingen (Bodenprofil Nr. 4)

### 2.2.13.1 Themenbereich “Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie“

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 4 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Othmarsingen und zum Bodenprofil Nr. 4

Die Tab. 83 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Othmarsingen und zum Profil Nr. 4. Die Tab. 84 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 83: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Othmarsingen und zum Profil Nr. 4

<b>Lokalname</b>	Berg (Gemeinde Othmarsingen, Kt. AG)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1090, Wohlen
	Koordinaten 659 495 / 250 156
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 7: Typischer Waldmeister-Buchenwald ( <i>Galio odorati-Fagetum typicum</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-A-AE11-AE12-E1-Bt-Bt(Sd)-BC-C
<b>Humusform</b>	Mull
<b>Bodentyp</b>	Parabraunerde
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Haplic Acrisol

Tab. 84: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 4

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	470m	
	Exposition	S	
	Neigung	27%	
	Geländeform	Hangfuss	
<b>Ausgangsgestein</b>	Oberfläche	Quartär. Kalkhaltige Würmmoräne.	
	Untergrund	Tertiär. Miozän. Burdigalien. Obere Meeresmolasse. Sandstein.	
	Beobachtung am Profilort	Die Mächtigkeit der Moräne variiert auf der LWF-Fläche stark. Im Oberhang beträgt sie nur rund 0.5m, hangabwärts nimmt sie rasch zu und übersteigt am Hangfuss 2.5m.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	8.6°C / 1045mm	
	T / N Januarmittel	- 0.8°C / 84mm	
	T / N Julimittel	17.9°C / 110mm	
	Tage mit Schneedecke	57	
	Wärmegliederung	ziemlich mild	
	Länge der Vegetationsperiode	200-205 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (30m Höhe)	90%	85% Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> )
	Strauchschicht	2%	-
	Krautschicht	60%	Gewimperte Segge ( <i>Carex pilosa</i> ) Echter Waldmeister ( <i>Galium odoratum</i> ) Rüchmichnichtan ( <i>Impatiens noli-tangere</i> ) Pariser Hexenkraut ( <i>Circea lutetiana</i> ) Weisswurz ( <i>Polygonatum multiflorum</i> )
	Moosschicht	0%	-

## Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit H2 (tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung, Hanglagen, Ostschweiz und Genferseegebiet). H2 stellt 339 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 2.9% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

### Besonderheiten am Profilort

Der Boden ist auf der LWF-Fläche mancherorts aus zwei verschiedenen geologischen Substraten aufgebaut. Oberflächlich ist vor allem Moränematerial aus der Würmeiszeit vorhanden. Die Mächtigkeit dieser Ablagerungen variiert auf der Fläche zwischen 0.5 und >2.5m. Darunter befindet sich Molasse-Sandstein, der mancherorts bereits durch Bodenbildungsprozesse geprägt und verwittert ist. Das beschriebene Bodenprofil ist ausschliesslich aus Moränematerial aufgebaut und daher für die LWF-Fläche nur bedingt repräsentativ.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 85 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 85: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 4

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
L	4-0	-	-	-	-	-	-	-
A	0-5	mittel	sL	Krümel	mittel	ohne	10 YR 3/1	mittel
AEI1	5-10	mittel	sL	Krümel	mittel	ohne	10 YR 5/3	schwach
AEI2	10-20	mittel	sL	Krümel	mittel	ohne	10 YR 5/3	schwach
El	20-40	mittel	sL	Subpolyeder	mittel	ohne	10 YR 6/4	schwach
Bt	40-90	stark	L	Polyeder	dicht	ohne	10 YR 4/5	schwach
Bt(Sd)	90-125	stark	L	Polyeder	dicht	Rostflecken	10 YR 4/5	schwach
BC	125-170	stark	L	Fragmente	mittel	ohne	10 YR 5/4	schwach
C	>170	stark	sL	Einzelkorn	mittel	ohne	2.5 Y 5/3	schwach

Das Fehlen einer organischen Auflage deutet darauf hin, dass die biologische Aktivität hoch ist. Die überwiegend von Buchen stammende Streu wird innerhalb eines Jahres abgebaut. Mit der Horizontfolge L-A wird die Humusform als Mull klassiert.

Im rund 2m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch sieben Horizonte unterscheiden. Da der AEI-Horizont in verschiedenen Tiefen beprobt wurde, sieht die Horizontfolge des Profils wie folgt aus: A-AEI1-AEI2-El-Bt-Bt(Sd)-BC-C. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Parabraunerde klassiert. Der Prozess der Tonverlagerung ist im Profil morphologisch gut erkennbar. Der Auswaschungshorizont (El) ist im Vergleich zu den darunterliegenden Horizonten aufgehellt. Der Tonanreicherungshorizont (Bt) ist im Vergleich zum Oberboden spürbar tonreicher und dichter. Da Vernässungserscheinungen nur

unterhalb von 90cm Tiefe auftreten, werden sie bei der Klassierung der Bodenvernässung nicht berücksichtigt.

### Besonderheiten des Profils

Die Kalkgrenze verläuft in 170cm Tiefe. Im Profil sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar.

Der Boden wurde bis 40cm Tiefe nicht nach Horizonten, sondern, entsprechend dem europäischen Monitoringstandard, nach fixen Tiefenstufen beprobt. Unterhalb 40cm wurde das Profil nach Horizonten beprobt.

### 2.2.13.2 Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte"

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 4 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

#### Skelettgehalt und Bodenart

In Abb. 210 ist der Skelettgehalt und in Abb. 211 die Bodenart dargestellt.

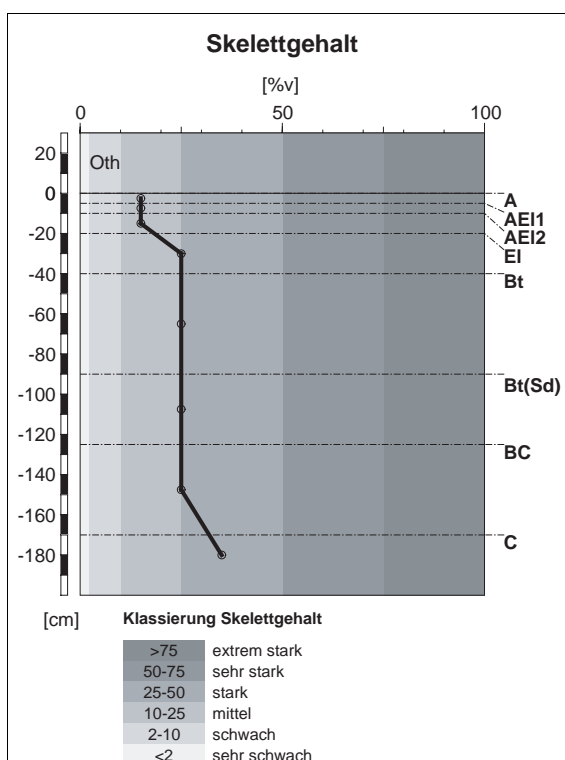


Abb. 210: Skelettgehalt

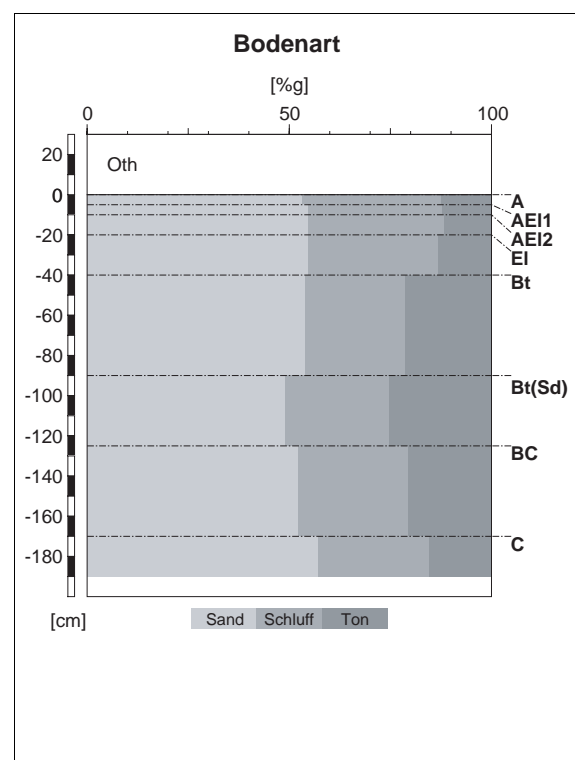


Abb. 211: Bodenart

Der Gesteinsgehalt nimmt zur Tiefe hin nur langsam zu. Im Oberboden ist er mittel, darunter mittel-stark.

Der Sandanteil des Bodens überwiegt, es ist aber auch reichlich Schluff und Ton vorhanden. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen mittelschweren Boden. Im Bt(Sd)-

Horizont ist der Tonanteil am grössten, was auf Tonverlagerung zurückzuführen ist. In Böden mit einer Tonverlagerung ist im Oberboden und im Ausgangsgestein stets weniger Ton vorhanden als in der Tonanreicherungszone. Diese liegt meist in mittlerer Profiltiefe.

### Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 212 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 213 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

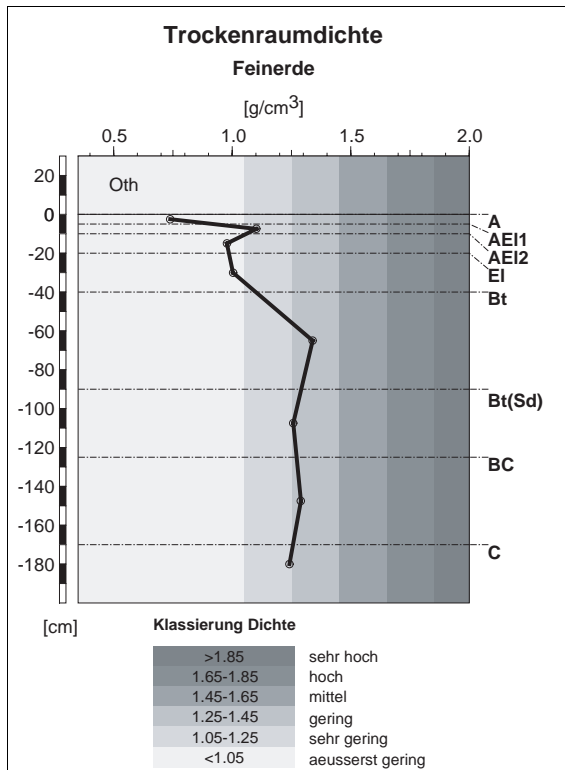


Abb. 212: Dichte der Feinerde

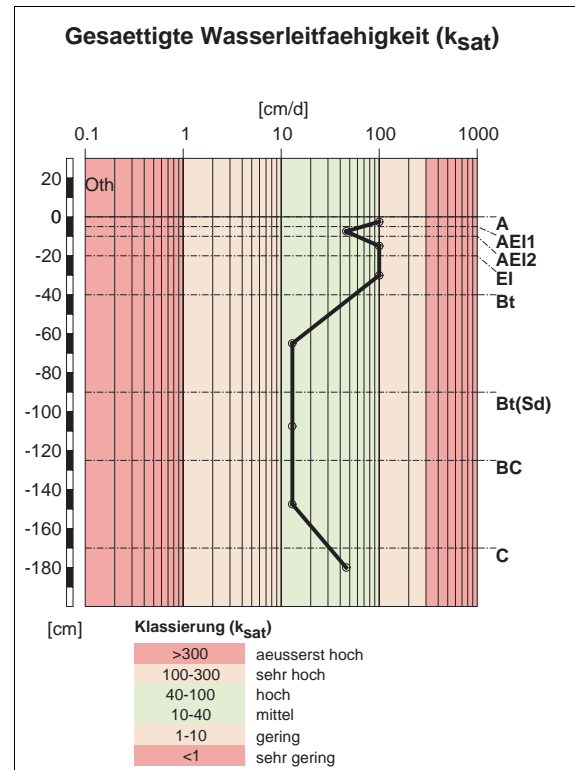


Abb. 213: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Der Oberboden ist aufgrund des Humusgehaltes und des Gefüges sehr locker gelagert. In rund 50cm Tiefe nimmt die Dichte der Feinerde sprunghaft zu und verbleibt dann bis zur Profilsohle relativ konstant. Die Feinerde-Dichte im Unterboden ist mit rund 1.3kg/dm<sup>3</sup> relativ gering für einen Boden, der aus Würmmoräne entstanden ist.

Der Oberboden ist hochdurchlässig. Im tonreicheren und dichteren Unterboden ist die Durchlässigkeit etwas reduziert, liegt aber noch im normalen Bereich.



## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 214 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

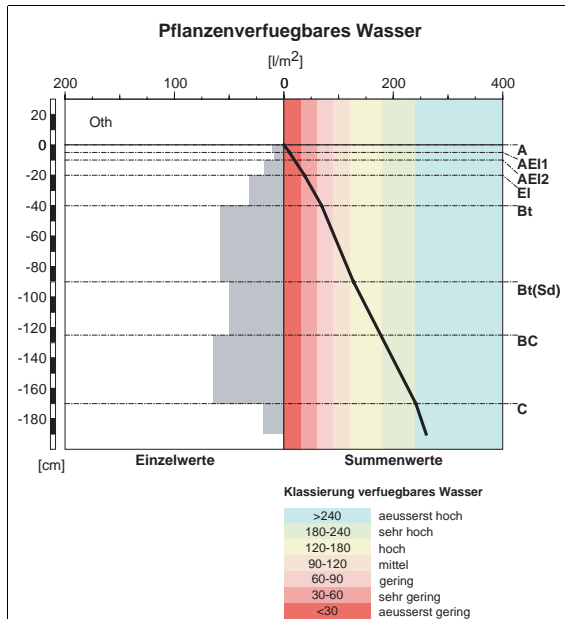


Abb. 214: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als mässig bis hoch klassiert. Der relativ grosse Skelettgehalt vermindert die Speicherleistung. Der Wurzelraum ist nach unten offen.

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Im gesamten Profil herrschen Brauntöne vor, vereinzelte Vernässungserscheinungen treten nur im etwas tonreicheren Bt(Sd)-Horizont ab rund 90cm Tiefe auf. Aufgrund der beobachteten morphologischen Vernässungsmerkmale scheint der Luft- und Wasserhaushalt des Bodens recht ausgeglichen zu sein. Unterstützt wird diese auf morphologischen Kriterien basierende Einschätzung durch die Leitfähigkeitskurve, welche für das gesamte Profil normale Durchlässigkeiten angibt.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Im Profil ist weder aufgrund der Dichte noch aufgrund der Hydromorphie mit einer Einschränkung des Wurzelwachstums zu rechnen. Der Boden wird als sehr tiefgründig (>190cm) klassiert. Er ist bis mindestens 190cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.

Saugspannungsmessungen in den Jahren 1998-2000 auf diesem Standort zeigen, dass der Boden in dieser Messperiode während der Vegetationszeit nie stärker ausgetrocknet und die Wasserversorgung des Baumbestandes demnach nie kritisch war (Daten hier nicht gezeigt). In dieser Periode fielen während der Vegetationszeit im Vergleich zu den langjährigen monatlichen Minimalwerten (25% Quantil  $\approx$  100%) folgende monatlichen Summen (Station Buchs-Suhr (387 M.ü.M.; 648400/248380; Messperiode 1985-2002); Daten Meteo Schweiz, bearbeitet durch M. Rebetez):

	Mai		Juni		Juli		August		September	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
<b>1998</b>	28	48	104	114	125	167	68	94	127	226
<b>1999</b>	232	398	158	173	88	118	96	134	116	207
<b>2000</b>	112	192	63	69	172	230	101	141	93	165

Im langjährigen Vergleich relativ niederschlagsarm (Niederschlagsmengen <25% Quantil ( $\approx 100\%$ )) waren im Jahr 1998 die Monate Mai und August und im Jahr 2000 der Monat Juni. Wie die Saugspannungsmessungen belegen, war der Boden aber selbst während diesen relativ niederschlagsarmen Perioden nicht übermässig trocken.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von 120cm Mächtigkeit ist gemäss unseren Berechnungen damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 20 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Da der Boden jedoch deutlich tiefer als 120cm durchwurzelbar ist, wird auf diesem Standort unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen kaum Trockenstress für die Bäume auftreten.

#### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Oberboden reagiert in Nässeperioden empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen. Der recht hohe Skelettgehalt wirkt sich positiv, die mässig hohen Schluff- und Tongehalte negativ auf die Befahrbarkeit aus. Auf der LWF-Fläche ist der Boden durch Befahren bereits an einigen Stellen verdichtet, was durch hydromorphe Merkmale knapp unter der Bodenoberfläche belegt wird.

#### **2.2.13.3 Themenbereich "Säurezustand"**

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 4 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

##### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 215), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 216) sowie der Basensättigung (Abb. 217) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.

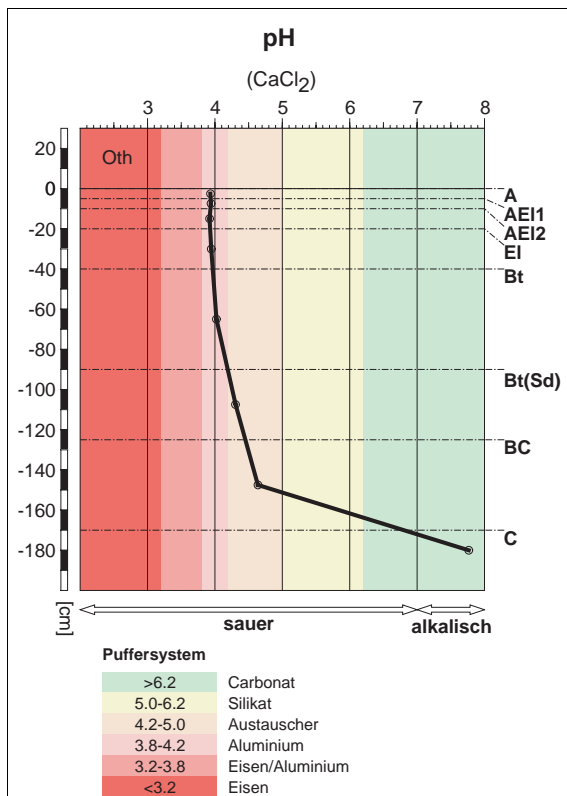


Abb. 215: pH-Wert und Pufferbereiche

Der Boden ist nahezu profilumfassend stark sauer, wobei der pH-Wert von oben nach unten nur sehr langsam ansteigt. Im Untergrund ist in 170cm Tiefe beim Übergang zum kalkhaltigen Moränematerial ein pH-Sprung auf über 7 und damit in den alkalischen Bereich festzustellen. Bis in eine Tiefe von 90cm befindet sich der Boden im Al-Pufferbereich. Die Säuren werden überwiegend durch Auflösung von Al-Hydroxiden gepuffert. Zwischen 90 und 170cm Tiefe ist der Kationenaustauscher als Puffer dominant. Im unverwitterten Ausgangsgestein, und damit ab rund 170cm Tiefe, werden eingetragene Säuren durch Carbonatverwitterung neutralisiert.

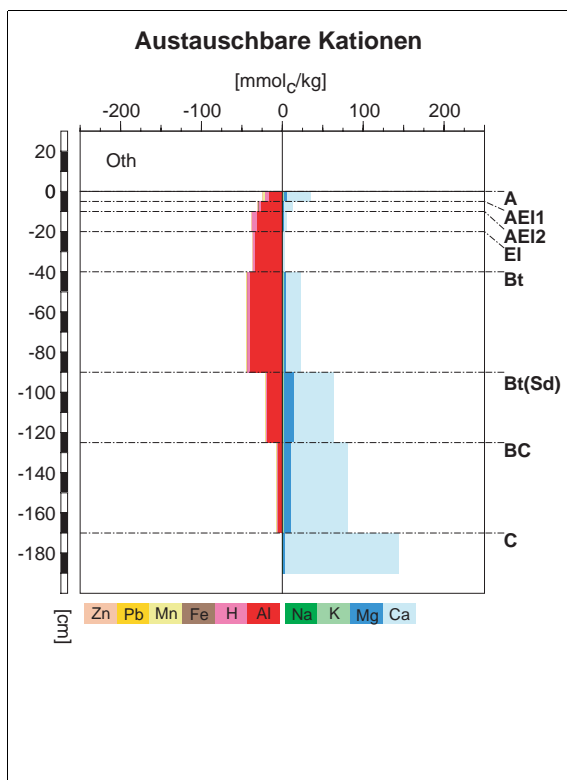


Abb. 216: Austauschbare Kationen

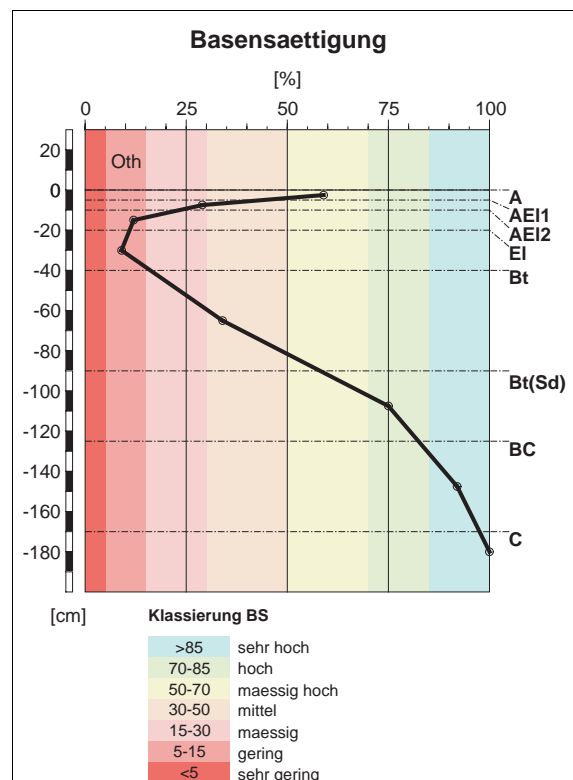


Abb. 217: Basensaetigung

Im A-Horizont ist der Kationenaustauscher trotz des tiefen pH-Wertes etwa zu gleichen Teilen mit Nährstoffen und sauren Kationen belegt. Zwischen 5 und 40cm Tiefe ist die Belegung des Kationenaustauschers mit austauschbaren Nährstoffen nur noch gering; die Basensaetigung liegt zwischen 9 und 15%. Die Austauscherplätze sind zum grössten Teil mit Al

besetzt. Auch der Bt-Horizont befindet sich im Al-Pufferbereich. Am Kationenaustauscher dominiert Al, wogegen Ca und Mg zusammen etwa 30% der Austauschkapazität belegen. Ab ca. 90cm nehmen die Nährstoffkationen mit zunehmender Tiefe am Kationenaustauscher rasch zu. Im carbonathaltigen C-Horizont beträgt die Basensättigung 100%.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Profilort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem carbonathaltigen Ausgangsgestein im Laufe der Zeit eine tiefgründige Parabraunerde entwickelt. Der Boden ist stark und tiefgründig versauert, was sich an der grossen Tiefe der Kalkgrenze, am nahezu profilumfassend niedrigen pH-Wert und an der in 20-40cm Tiefe stark reduzierten Basensättigung erkennen lässt. Die Kalkgrenze verläuft heute in einer Tiefe von 170cm, was bedeutet, dass das ursprünglich vorhandene Carbonat bis in diese Tiefe für die Säurepufferung aufgebraucht worden ist.

Nährstoffkationen werden bis in eine Tiefe von 170cm durch saure Kationen, insbesondere Al, vom Austauscher verdrängt. Dies wird durch die reduzierte Basensättigung belegt.

Im Vergleich zum pH-Wert ist die Basensättigung in den obersten 10cm relativ hoch, was durch die ständige Nährstoffnachlieferung mit dem Streufall erklärt werden kann. Im El-Horizont erreicht die Basensättigung ein Minimum und steigt mit zunehmender Tiefe viel rascher an, als dies der pH-Verlauf erwarten lassen würde. Dies kann verschiedene Ursachen haben. Die Säurepufferung durch Auflösung von pedogenen Al-Hydroxiden steht im Bt-Horizont vermutlich erst am Anfang der Entwicklung. Die aktuelle Säurepufferung dürfte hier am intensivsten ablaufen. Zusätzlich könnte auch der Wasserhaushalt dieses Bodens zu der relativ hohen Basensättigung beitragen. Der leicht rostfleckige Bt(Sd)-Horizont zeigt an, dass zwischen ca. 90 und 120cm Tiefe das Sickerwasser zeitweilig gestaut wird. Dadurch sind Tiefensickerung und Nährstoffauswaschung gehemmt, so dass die Nährstoffe z.T. im Bt-Horizont zurückgehalten werden. Ferner wird vermutet, dass unter bestimmten Feuchtigkeitszuständen in den verschiedenen Bodentiefen Nährstoffe aus tieferen Bodenhorizonten aufwärts verlagert werden. Hinweise dazu gibt die relativ hohe Basensättigung zwischen 90 und 170cm Tiefe bei vergleichsweise niedrigem pH-Wert, sowie der Umstand, dass in 170cm das Ausgangsgestein aus kalkhaltiger Moräne besteht.

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird als empfindlich für eine weitere Versauerung beurteilt, zumal praktisch der gesamte Wurzelraum stark sauer ist. Trotz des tiefen pH-Wertes ist der Abbau der organischen Substanz nicht wesentlich gehemmt, so dass auf dem grössten Teil der LWF-Fläche ein Mull vorliegt. Dies dürfte dem milden und recht ausgeglichenen Bestandesklima zuzuschreiben sein, welches den Abbau der verhältnismässig schwer zersetzbaren Buchenlaubstreu begünstigt. Allerdings ist stellenweise auch ein geringmächtiger Moder vorhanden, was auf den labilen Zustand der Humusbildung hinweist. Bei fortschreitender Versauerung dürfte sich

vermehrt Moder bilden, was mit einer gehemmten Nährstoffumsetzung einhergeht. Der Boden befindet sich bis in eine Tiefe von 90cm im Al-, zwischen 90 und ca. 170cm Tiefe im Kationenaustauscher-Pufferbereich. Eine fortschreitende Bodenversauerung hat damit zur Folge, dass am Kationenaustauscher des Bt- und des Bt(Sd)-Horizontes die Verdrängung von kationischen Nährstoffen weitergehen wird. Die Zone mit sehr geringer Basensättigung wird sich dadurch in die Tiefe ausdehnen, wodurch eine verstärkte Nährstoffauswaschung aus dem gesamten Wurzelraum zu erwarten ist. Über sehr lange Zeiträume betrachtet, wird auch die Entcarbonatung im Unterboden fortschreiten.

Das Baumwachstum dürfte bei einer weitergehenden Bodenversauerung durch die Verarmung an Nährstoffen sowie durch das enger werdende BC/Al-Verhältnis im Wurzelraum beeinträchtigt werden. In der Bodenmatrix werden heute in den Ton-Eluvialhorizonten minimale BC/Al-Verhältnisse am Kationenaustauscher von 0.1 erreicht. Die als kritisch erachtete Grenze von 0.5 wird damit unterschritten. Dies stellt für empfindliche Baumarten besonders in der Anwuchsphase ein Risiko dar, welches sich mit zunehmender Versauerung akzentuieren wird. Mit fortschreitender Bodenversauerung wird sich die nährstoffarme Risikozone ausdehnen und es vor allem den Jungbäumen erschweren, die Nährstoffe im besser versorgten Unterboden zu erschliessen.

Die Versauerung erhöht das Risiko für die Tiefenverlagerung von Schwermetallen. In diesem tonreichen Boden mit kalkhaltigem Untergrund kann eine Gefährdung des Grundwassers durch Schwermetallbelastung allerdings vernachlässigt werden. Dies gilt aber nur dann, wenn keine präferentiellen Fliesswege eine rasche Tiefsickerung verursachen oder lateral fließendes Bodenwasser in ein Gewässer abzieht.

#### **2.2.13.4 Themenbereich “Schwermetalle“**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 4 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBö (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Das Ausgangsgestein besteht aus grobklastischen Moräneablagerungen der Würmeiszeit. Da für solche Ablagerungen (Lithofazies 29) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, wird das Ausgangsgestein der nächstverwandten Lithofazies mit geochemischen Angaben zugeordnet, in diesem Fall der Lithofazies 24 (Glaziallehme).

##### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus Würmmoräne besteht, liegen der Cr-Gehalt oberhalb, die Zn- und Pb-Gehalte innerhalb und die Cu- und Ni-Gehalte unterhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 24 (Glaziallehme).

Im Ausgangsgestein liegen, im Vergleich zu den Angaben für das Gebiet Mittelland, erhöhte Gehalte an Cr vor. Für die drei Schwermetalle Ni, Zn und Pb sind die Gehalte niedrig, für Cu sogar sehr niedrig.

## Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 218 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 219 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als “Δ“, die Richtwerte der VBBo als “◇“ markiert.

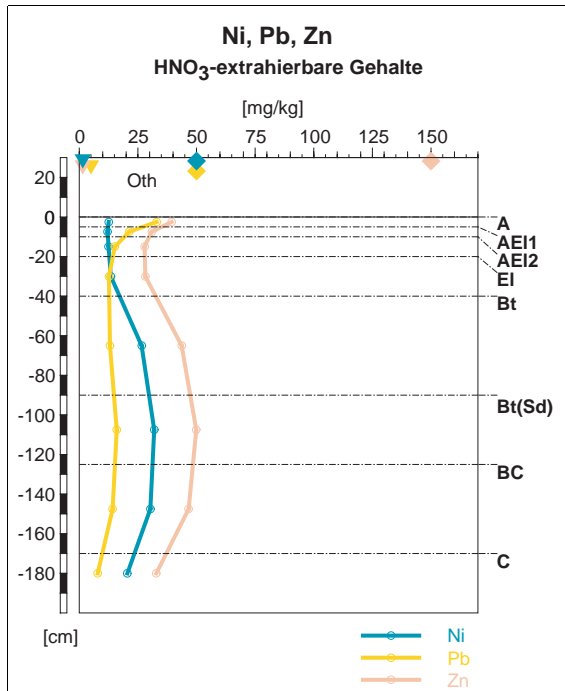


Abb. 218: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

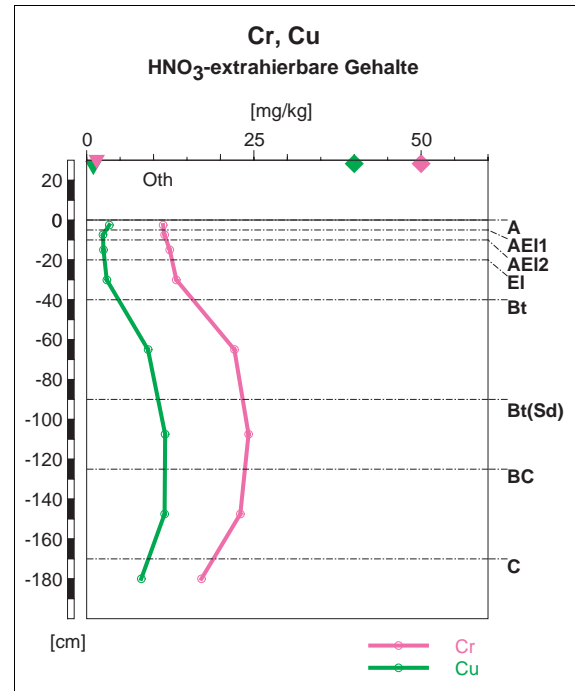


Abb. 219: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen für Cu sehr niedrige Gehalte vor. Für Cr und Zn sind die Gehalte niedrig bis sehr niedrig und für Ni und Pb sehr niedrig bis erhöht. Die erhöhten Gehalte finden sich beim Pb in den obersten 5cm, beim Ni dagegen in einer Tiefe von 40-170cm. Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

## Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den obersten 10cm des Bodens sind alle Schwermetalle in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden.

## Anreicherungs-faktoren

Die Anreicherungs-faktoren sind in Tab. 86 dargestellt.

Tab. 86: Anreicherungs-faktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungs-faktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
A	0	- 5	2.68	0.94	1.27	0.56	0.44
AEI1	5	- 10	1.81	0.84	nb	0.46	0.47
AEI2	10	- 20	1.13	0.51	0.65	0.52	0.36
EI	20	- 40	1.11	0.69	0.69	0.58	0.37
Bt	40	- 90	1.52	1.41	3.24	1.59	0.90
Bt(Sd)	90	- 125	1.61	1.64	3.62	1.80	0.60
BC	125	- 170	1.87	1.72	4.16	1.74	0.89
C	170	- 190	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Auffällig ist in diesem Profil die Zone mit erhöhten Anreicherungs-faktoren in der Tiefe von 40-170cm. Wie bereits gesehen, ist dafür der erhöhte Tongehalt in diesem Tiefenbereich

verantwortlich. Die Anreicherung von Pb, Zn, Cu und Ni hängt hier mit dem Prozess der Tonverlagerung zusammen. Das abweichende Verhalten von Cr kann nicht erklärt werden. Insbesondere ist unklar, wo das aus dem Oberboden verlagerte Cr angereichert wurde.

Die hohen Anreicherungsfaktoren von Pb in den obersten 10cm weisen auf atmogene Einträge hin. Das aus der Luft eingetragene Pb wird im Oberboden an die organische Substanz gebunden und angereichert. Erwähnenswert ist, dass nicht alles eingetragene Blei im humosen Oberboden fixiert wird, wie die Anreicherungsfaktoren von Pb weiter unten im Profil belegen. Der Umstand, dass Pb noch nicht sehr lange Zeit anthropogen und damit in grösseren Mengen in den Boden eingetragen wird, verdeutlicht, dass selbst ein immobiles Element wie Pb relativ rasch tief in den Boden verlagert und dort angereichert wird.

Im Boden ist nur für Pb in den obersten 10cm eine eindeutig anthropogene Belastung zu erkennen. Wie viel der anthropogene Anteil bei den in grösserer Tiefe angereicherten Schwermetallen ausmacht, kann in dieser Arbeit nicht beurteilt werden.

### Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 220.

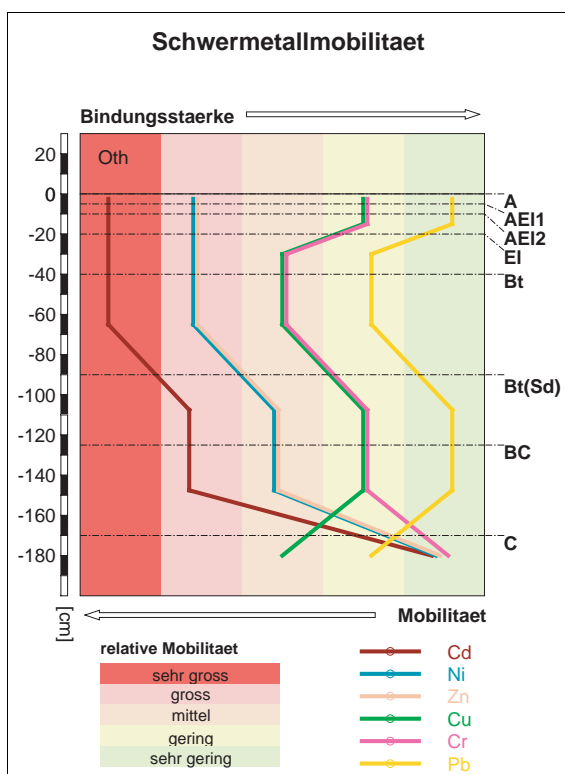


Abb. 220: Mobilität von Schwermetallen

Der bis rund 80cm Tiefe niedrige pH-Wert bewirkt, dass die Schwermetalle in den oberen Bodenpartien mit Ausnahme des Pb relativ mobil sind. In grösserer Tiefe nimmt die Mobilität aller Schwermetalle infolge des pH-Anstiegs ab. Unterhalb der Kalkgrenze, die in 170cm Tiefe verläuft, sind die meisten Schwermetalle nur noch wenig mobil. Nur Cu und Pb dürften hier wegen der Bildung löslicher Carbonatkomplexe etwas mobiler sein.

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort relativ gering, zumal der Boden profulumfassend kaum vernässt ist. Es ist hier also kaum mit Schwermetallauswaschung, weder durch vertikal noch durch horizontal verlaufende Wasserflüsse zu rechnen.

### 2.2.13.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 4 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Das nur wenig krümelige Gefüge des Oberbodens und die auf der LWF-Fläche stellenweise vorhandene, geringmächtige organische Auflage lassen einen leicht gehemmten Abbau der organischen Substanz und damit eine etwas eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit erwarten. Offensichtlich gelingt es den Bodenorganismen nicht, die anfallende, recht schwer abbaubare Buchenlaubstreu innert Jahresfrist vollständig zu zersetzen. Die Mächtigkeit der organischen Auflage variiert auf der LWF-Fläche. Die Humusform ist meistens Mull, stellenweise kommt Moder vor. Der etwas gehemmte Humusabbau dürfte auf die saure Bodenreaktion und die recht schwer abbaubare Buchenstreu zurückzuführen sein.

Das C/N-Verhältnis beträgt in den obersten 5cm der Mineralerde rund 17 und liegt damit, gemäss Literaturangaben, im Übergangsbereich vom Mull zum Moder. Das als mittel klassierte C/N-Verhältnis lässt eine nur mittlere (etwas gehemmte) Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen.

### Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 221) und die Austauscherbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 222).

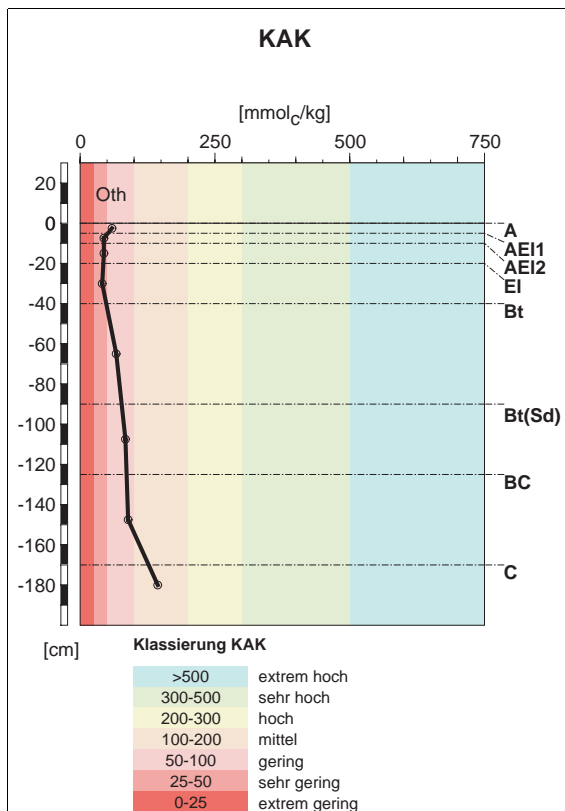


Abb. 221: Kationenaustauschkapazität (KAK)

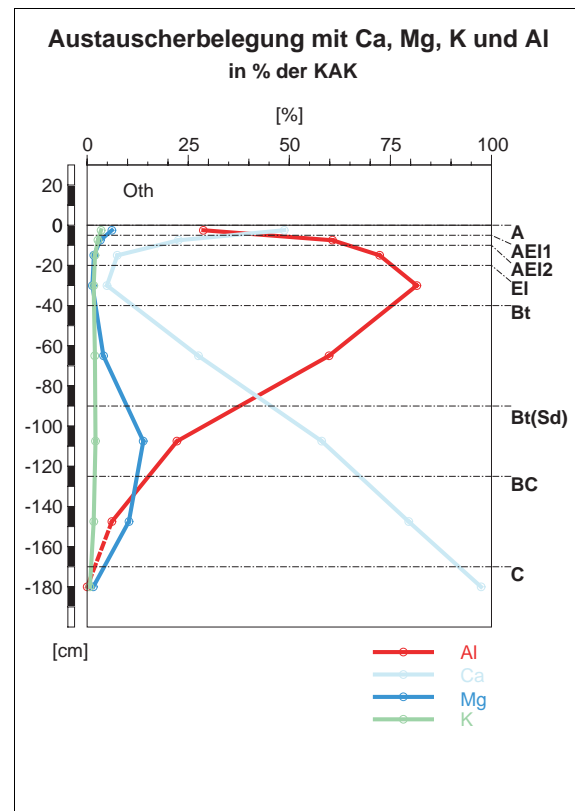


Abb. 222: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK wird mit Ausnahme des carbonathaltigen C-Horizontes im gesamten Profil als gering bis sehr gering eingestuft. Sie ist im humosen Oberboden im Vergleich zum Unterboden nur leicht erhöht. Die im C-Horizont vergleichsweise hohe KAK ist methodisch bedingt. Sie wird durch die Auflösung von Kalk bei der Extraktion verursacht.

Infolge der stark sauren Bodenverhältnisse dominiert Al bis in eine Tiefe von 90cm am Kationenaustauscher. Es vermag insbesondere in 10-30cm Tiefe die Nährstoffkationen fast vollständig vom Austauscher zu verdrängen. Im humosen Oberboden und ab 40cm Tiefe sind mehr Nährstoffe am Austauscher vorhanden. Die Ca-Belegung nimmt bereits ab 40cm Tiefe



rasch zu und erreicht im kalkhaltigen C-Horizont einen maximalen Wert von nahezu 100%. Mg ist, in Abhängigkeit der Konkurrenz durch Al und Ca, vor allem im unteren Profilibereich vorhanden. Die K-Belegung am Kationenaustauscher ist im gesamten Profil relativ konstant.

### Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Grösse der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 223 bis 225 dargestellt.

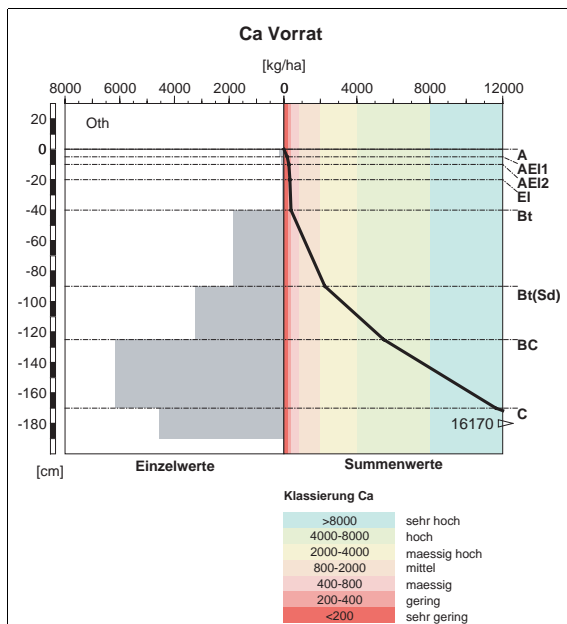


Abb. 223: Calcium-Vorrat

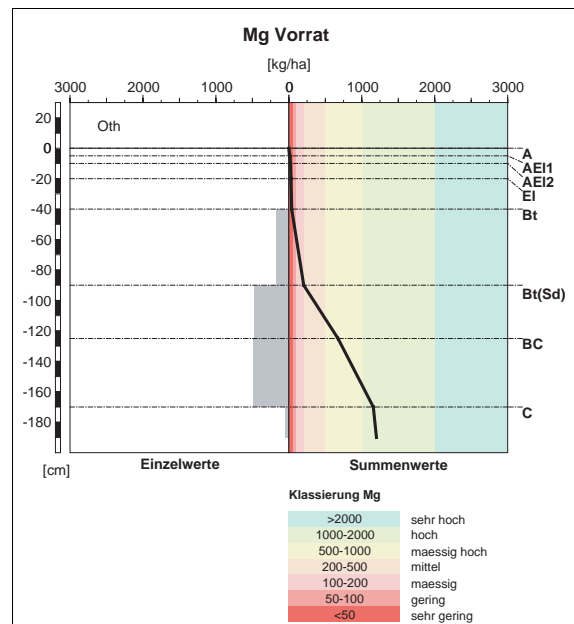


Abb. 224: Magnesium-Vorrat

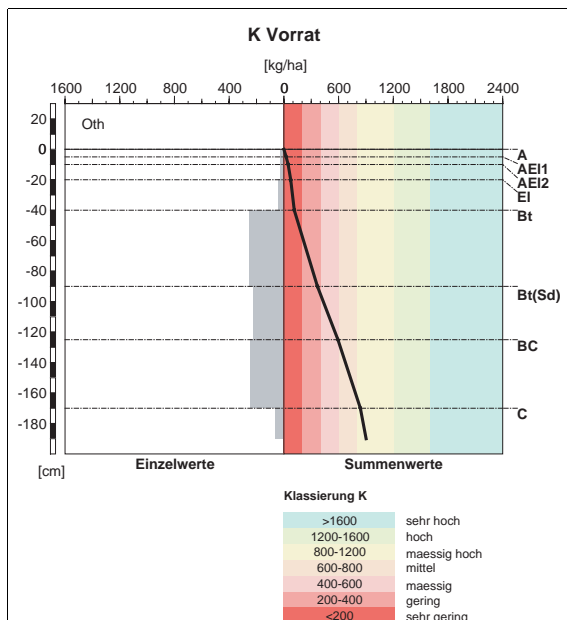


Abb. 225: Kalium-Vorrat

Die Vorräte nehmen bis 40cm Tiefe nur langsam, darunter jedoch deutlich zu. Dies gilt vor allem für Ca.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca mittel
- Mg mässig
- K gering

Der Boden ist bis mindestens 200cm Tiefe durchwurzelt. Damit wird der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt. Bis 200cm Tiefe werden die Vorräte optimistischer bewertet:

- Ca sehr hoch
- Mg hoch
- K mässig hoch

Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als hoch bewertet.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen günstige Bedingungen vor (siehe Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte").

### 2.2.13.6 Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 4 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 87) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 87: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Othmarsingen

Standortangaben	
Relief	
Höhe	470m
Exposition	S
Neigung	27%
Klima	
Jahresniederschlag	1045mm
Jahrestemperatur	8.6°C
Ausgangsgestein	Würmmoräne über Molasse-Sandstein
Baumbestand	
Struktur	einschichtig
Schlussgrad	90%
Baumarten (Deckung)	85% Buche
Oberhöhe	rund 30m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 7: Typischer Waldmeister-Buchenwald
Bodenkennwerte (beziehen sich auf das Profil Nr. 4)	
Bodensystematik	
Bodentyp	Parabraunerde
Bodentyp (LWF-Fläche)	Parabraunerde-Parabraunerde, stark pseudovergleyt (überwiegend Parabraunerde, sehr schwach pseudovergleyt)
Humusform	Mull
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-Moder (überwiegend Mull)

Wasser- und Lufthaushalt Hydromorphie	Aufgrund der beobachteten morphologischen Vernässungsmerkmale scheint der Luft- und Wasserhaushalt des Bodens recht ausgeglichen zu sein. Nur ab 90cm Tiefe ist mit periodischer Wassersättigung und damit verbundenen, nachteiligen Auswirkungen auf den Lufthaushalt zu rechnen.
Durchwurzelung	Im Profil (200cm) ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Der Boden wird physiologisch als äusserst tiefgründig klassiert. Er ist bis mindestens 200cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird damit vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt. Die durch schwache Hydromorphie angezeigte, periodisch mangelhafte Durchlüftung vermag das Wurzelwachstum offensichtlich nicht zu unterbinden.
pflanzenverfügbares Wasser	Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als mässig bis hoch klassiert. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen ist an diesem Standort kaum je mit Trockenstress für die Bäume zu rechnen.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	Der Boden ist nahezu profilumfassend stark sauer. Im Untergrund ist in 170cm Tiefe beim Übergang zum kalkhaltigen Moränematerial ein pH-Sprung auf >7 und damit in den alkalischen Bereich festzustellen. Die Kalkgrenze verläuft in 170cm Tiefe.
Al-Toxizität	In der Bodenmatrix werden bis in eine Tiefe von rund 40cm minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.1 gemessen. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird damit unterschritten. In den obersten 40cm besteht folglich ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Das als mittel klassierte C/N-Verhältnis lässt eine nur mittlere (etwas gehemmte) Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten, was durch das örtliche Vorkommen der Humusform Moder bestätigt wird.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelten Boden (200cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als hoch klassiert. Die obersten 40cm des Bodens sind jedoch relativ nährstoffarm. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen günstige Bedingungen vor.
Verankerung	Da die Buchen diesen Boden sehr tief durchwurzeln und keine Limiten für das Wurzelwachstum erkennbar sind, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes als günstig beurteilt.
Befahrbarkeit	Der Oberboden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen. Der recht hohe Skelettgehalt wirkt sich positiv, die mässig hohen Schluff- und Tongehalte negativ auf die Befahrbarkeit aus.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der Bestand ist ein ausgewachsener, nahezu reiner Buchenwald. Die Baumartenmischung des aktuellen Bestandes wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als standortgerecht bezeichnet. Wir können also davon ausgehen, dass die vorhandenen Baumarten die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten gut nutzen.

Im Streueintrag überwiegt in diesem Wald seit Jahrzehnten Buchenlaub. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

### *Keimbeet*

Auf der LWF-Fläche ist die Humusform meistens Mull. Stellenweise ist Moder mit einem F-Horizont von nur wenigen Millimetern Mächtigkeit vorhanden.

Der heute nur stellenweise vorhandene und geringmächtige F-Horizont würde durch Einbringen eines zu hohen Nadelholzanteils im Verlaufe der Zeit deutlich mächtiger werden und einen grossen Teil der LWF-Fläche bedecken. Die Humusform würde sich also in Richtung Moder entwickeln, was den Keimungserfolg der Fichte und damit ihre Konkurrenzkraft in der Verjüngungsphase vergrössern dürfte. Zudem würden grössere Nährstoffmengen in der organischen Auflage blockiert, welche dann mittelfristig nicht für das Pflanzenwachstum verfügbar wären. Schliesslich wäre auch mit einer verstärkten Versauerung des Bodens zu rechnen, denn in organischen Auflagen werden durch den unvollständigen Abbau der organischer Substanz Säuren gebildet.

Umgekehrt kann durch Einbringen von geeigneten Laubhölzern in den Haupt- oder Nebenbestand eine noch besser abbaubare Streumischung und damit eine schnellere Mineralisierung von Nährstoffen erzielt werden.

### *Anwuchs- und Aufwuchsphase*

Für die Anwuchs- und Aufwuchsphase birgt der Boden für die Mehrzahl der Baumarten keine Probleme, da nicht nur der Wasser- und Lufthaushalt sondern auch die Nährstoffversorgung günstig beurteilt werden. Für Edellaubhölzer (Bergahorn, Esche, Kirschbaum, Bergulme, Linden) dürfte jedoch die Versorgung mit Nährstoffkationen (Ca, Mg, K) in den obersten 40cm des Bodens an der unteren Grenze des Nötigen liegen.

Mit tiefwurzelnden Baumarten können die Vorräte an Nährstoffkationen im Oberboden vergrössert werden, da diese Baumarten die in der Tiefe reichlich vorhandenen Nährstoffvorräte in Umlauf bringen. Als positiver Nebeneffekt der tiefen Durchwurzelung wird die Stabilität des Bestandes gegenüber Sturmschäden erhöht.

Da Laubstreu generell weniger sauer wirkt als Nadelstreu, kann mit der Erhaltung eines hohen Laubholzanteils längerfristig das Risiko von durch Al-Toxizität verursachten Wurzelschäden verringert werden.

### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 88):

Tab. 88: Baumartenempfehlung

<b>Baumarten im Hauptbestand</b>	Buche, Eiche, (Kirschbaum, Bergahorn, Bergulme, Esche, Winterlinde)
<b>Laubholzanteil</b>	mindestens 50%
<b>Baumarten im Nebenbestand</b>	Bei erhöhtem Nadelholzanteil im Hauptbestand können im Nebenbestand geeignete Baumarten als Bodenverbesserer eingebracht werden. Mögliche Baumarten sind Winterlinde, Hagebuche, Vogelbeere und Buche.

## 2.2.14 LWF-Fläche Schänis (Bodenprofil Nr. 1)

### 2.2.14.1 Themenbereich “Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie“

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 1 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Schänis und zum Bodenprofil Nr. 1

Die Tab. 89 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Schänis und zum Profil Nr. 1. Die Tab. 90 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 89: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Schänis und zum Profil Nr. 1

<b>Lokalname</b>	Buholz (Gemeinde Schänis, Kt. SG)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000      1133, Linthebene
	Koordinaten                      723 464 / 225 068
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 13: Linden-Zahnwurz-Buchenwald ( <i>Cardamino-Fagetum tilietosum</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-A1-A2-AB-B(Sw)-B(Sd)-BC-C-IIC
<b>Humusform</b>	Mull
<b>Bodentyp</b>	Braunerde, schwach pseudovergleyt
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Eutric Cambisol

Tab. 90: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 1

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	710m	
	Exposition	W	
<b>Ausgangsgestein</b>	Kartengrundlagen	Tertiär. Subalpine Molasse. Oligocän. Chattien. Kalknagelfluh und Gehängeschutt.	
	Beobachtung am Profilort	Stellenweise sind im Untergrund stark tonige, skelettarme Schichten vorhanden.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	7.0°C / 1965mm	
	T / N Januarmittel	- 1.9°C / 146mm	
	T / N Julimittel	16.3°C / 204mm	
	Tage mit Schneedecke	97	
	Wärmegliederung	ziemlich kühl	
	Länge der Vegetationsperiode	190-200 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (35m Höhe)	90%	60% Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> ) 35% Bergahorn ( <i>Acer pseudoplatanus</i> ) 15% Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> )
	Strauchschicht	0%	-
	Krautschicht	80%	Ausdauerndes Bingelkraut ( <i>Mercurialis perennis</i> ) Bärlauch ( <i>Allium ursinum</i> ) Zahnwurz ( <i>Dentaria polyphylla</i> ) Aronstab ( <i>Arum maculatum</i> ) Gelappter Schildfarn ( <i>Polystichum aculeatum</i> )
	Moosschicht	1%	-

## Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit P7 (Alpenrand, vorwiegend Nagelfluh, nordexponierte Steilhänge). P7 stellt 165 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 1.4% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

### Besonderheiten am Profilort

Der Boden ist auf der LWF-Fläche mancherorts aus verschiedenen geologischen Substraten aufgebaut. Oberflächlich ist vor allem Gehängeschutt aus Nagelfluh oder verwitterte Nagelfluh vorhanden. Die Mächtigkeit dieser skelettreichen Schicht variiert auf der Fläche zwischen rund 1.0 und 2.0m. Darunter befinden sich sehr tonige, nahezu skelettfreie, mergelige Schichten von rötlicher Farbe. Örtlich stösst man auf der LWF-Fläche ab rund 100cm Tiefe auf Nagelfluhfels.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 91 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 91: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 1

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
L	0.5-0	-	-	-	-	-	-	-
A1	0-5	schwach	IU	Krümnel	locker	ohne	10 YR 4/2	stark
A2	5-10	schwach	IU	Krümnel	locker	ohne	10 YR 4/2	stark
AB	10-20	mittel	IU	Krümnel	locker	ohne	10 YR 4/3	stark
B(Sw)	20-40	mittel	IU	Subpolyeder	mittel	Rostflecken	7.5 YR 4/4	mittel
B(Sd)	40-100	mittel	tU	Subpolyeder	dicht	Rostflecken Konkretionen	7.5 YR 4/4	schwach
BC	100-160	stark	sL	Fragmente	dicht	ohne	-	schwach
C	160-190	stark	sL	-	-	-	10 YR 5/3	-
IIC	>190	schwach	IT	-	-	-	10 YR 5/4	-

Das Fehlen einer organischen Auflage deutet darauf hin, dass die biologische Aktivität hoch ist. Die von verschiedenen Laubholzarten stammende Streu wird innerhalb eines Jahres abgebaut. Mit der Horizontfolge L-A wird die Humusform als Mull klassiert.

Im rund 2m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch sieben Horizonte unterscheiden. Da der A-Horizont in verschiedenen Tiefen beprobt wurde, sieht die Horizontfolge des Profils wie folgt aus: A1-A2-AB-B(Sw)-B(Sd)-BC-C-IIC. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als schwach pseudovergleyte Braunerde klassiert. Vernäsungserscheinungen treten nur zwischen 20 und 100cm Tiefe auf. Sie sind in der Regel kleinflächig und vermögen das durch Verwitterungsprozesse regelmässig verbrauchte Erscheinungsbild der Profilwand farblich nicht zu überprägen. Die Vernässung wird durch Stauwasser verursacht.

### Besonderheiten des Profils

Die Kalkgrenze verläuft in 100cm Tiefe. Ab 190cm Tiefe kommt rötlicher Mergel vor (IIC-Horizont). Im Profil sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar.

Der Boden wurde bis 40cm Tiefe nicht nach Horizonten, sondern, entsprechend dem europäischen Monitoringstandard, nach fixen Tiefenstufen beprobt. Unterhalb 40cm wurde das Profil nach Horizonten beprobt.

### 2.2.14.2 Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte"

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 1 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

#### Skelettgehalt und Bodenart

In Abb. 226 ist der Skelettgehalt und in Abb. 227 die Bodenart dargestellt.

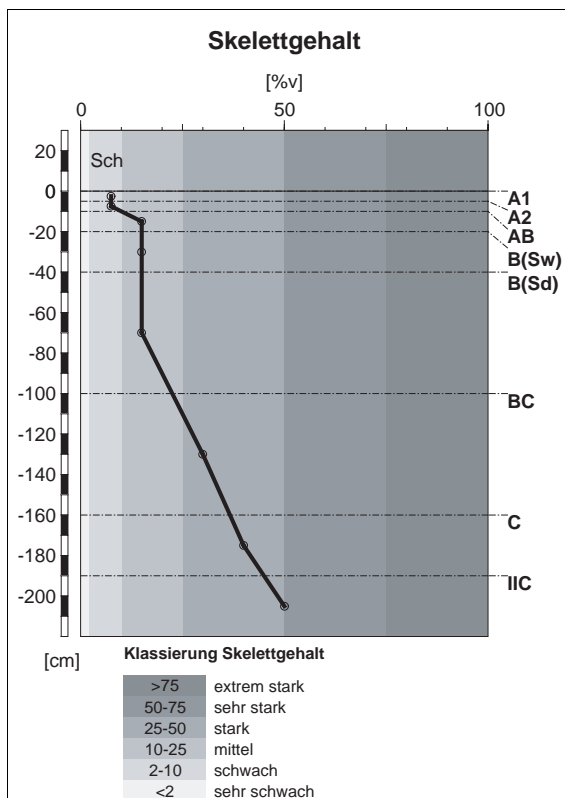


Abb. 226: Skelettgehalt

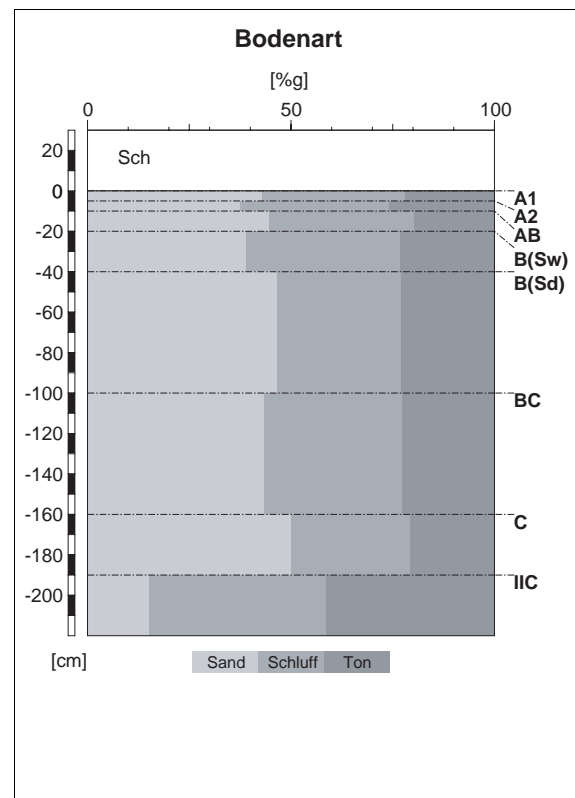


Abb. 227: Bodenart

Der Gesteinsgehalt nimmt zur Tiefe hin zu. Im Oberboden ist er schwach bis mittel, darunter mittel bis stark.

Im Profil liegen relativ ausgeglichene Anteile an Ton, Schluff und Sand vor. Zur Tiefe hin bleiben die Anteile der einzelnen Korngrößenklassen konstant. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen mittelschweren Boden. Eine Ausnahme bildet der IIC-Horizont. Hier ist

der Schluff- und Tongehalt wesentlich höher als in den darüberliegenden Bodenpartien. Dies ist nicht auf bodengenetische Prozesse, sondern auf einen geologischen Schichtwechsel zurückzuführen. Vermutlich handelt es sich beim IIC-Horizont um eine Mergelbank, welche in der Molassenagelfluh eingelagert ist.

### Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 228 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 229 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

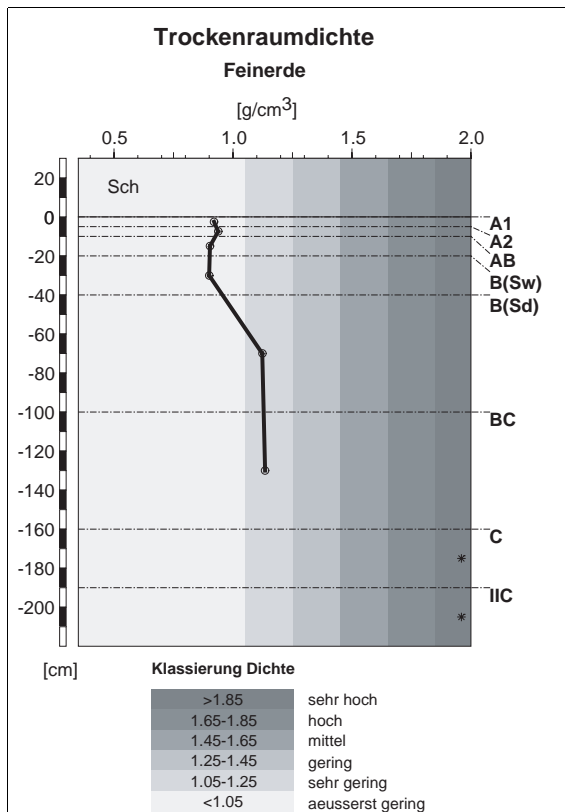


Abb. 228: Dichte der Feinerde

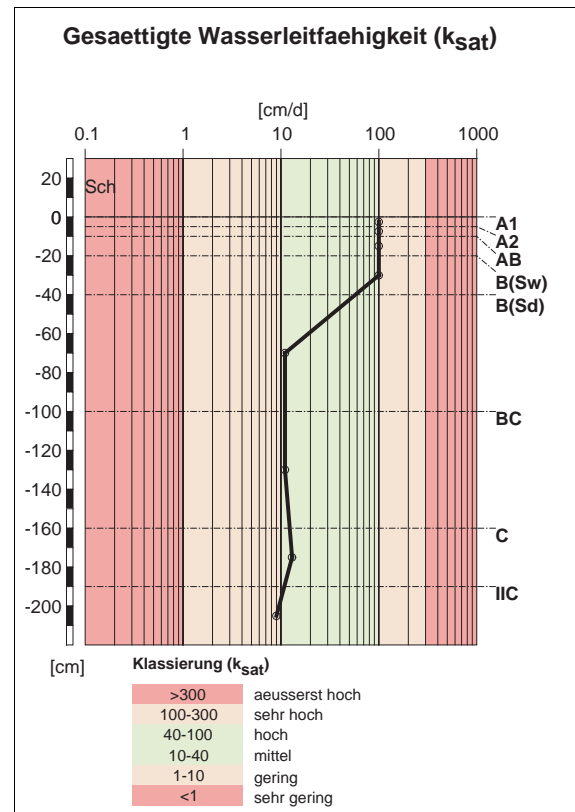


Abb. 229: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Der Boden ist bis 50cm Tiefe äusserst locker gelagert. Bemerkenswert ist aber vor allem die sehr geringe Dichte unterhalb 50cm Tiefe. Sie beträgt nur rund 1.15kg/dm<sup>3</sup>.

Der Oberboden ist aufgrund seiner sehr geringen Dichte hochdurchlässig. Im etwas dichteren Unterboden ist die Durchlässigkeit reduziert. Sie liegt im Übergangsbereich gering-mittel.



## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 230 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

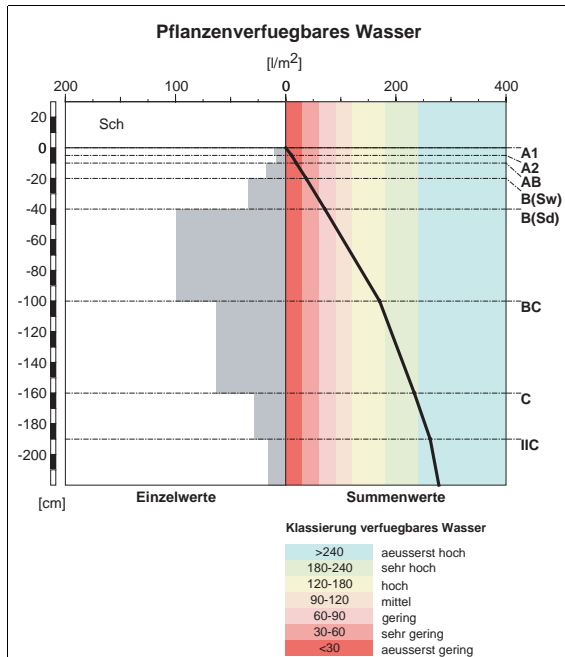


Abb. 230: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als hoch klassiert. Der Wurzelraum ist nach unten offen.

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### Luft- und Wasserhaushalt des Bodens

Im gesamten Profil herrschen Brauntöne vor, vereinzelte Vernässungserscheinungen treten nur zwischen 30 und 100cm Tiefe auf. Aufgrund der beobachteten morphologischen Vernässungsmerkmale scheint der Luft- und Wasserhaushalt des Bodens recht ausgeglichen zu sein. Aufgrund der Leitfähigkeitskurve würde man eher mehr Vernässungserscheinungen im Profil erwarten, als tatsächlich erkennbar sind. Selbst die an diesem Standort ausserordentlich hohen Niederschlagsmengen von rund 2000mm scheinen also den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens nicht negativ zu beeinflussen. Dies dürfte auf die ausgesprochenen Hanglage des Standortes zurückzuführen sein, welche die Wasserdrainage begünstigt.

Der Boden ist als sehr schwach pseudovergleyt klassiert.

### Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes

Im Profil ist weder aufgrund der Dichte noch aufgrund der Hydromorphie mit einer Einschränkung des Wurzelwachstum zu rechnen. Der Boden wird als äusserst tiefgründig (>220cm) bewertet. Er ist bis mindestens 160cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.

Saugspannungsmessungen in den Jahren 1998-2001 auf diesem Standort zeigen, dass der Boden in dieser Messperiode während der Vegetationszeit nie stärker ausgetrocknet und die Wasserversorgung des Baumbestandes demnach nie kritisch war (Daten hier nicht gezeigt). In dieser Periode fielen während der Vegetationszeit im Vergleich zu den langjährigen monatlichen Minimalwerten (25% Quantil  $\approx$  100%) folgende monatlichen Summen (Station Ebnat-

Kappel (623 M.ü.M.; 726370/237220; Messperiode 1966-2002); Daten Meteo Schweiz, bearbeitet durch M. Rebetez):

	Mai		Juni		Juli		August		September	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
<b>1998</b>	55	45	182	120	172	121	124	80	314	297
<b>1999</b>	333	273	200	132	126	89	202	130	135	128
<b>2000</b>	160	131	140	92	330	232	190	122	169	160
<b>2001</b>	83	68	252	166	124	87	145	93	275	260

Im langjährigen Vergleich relativ niederschlagsarm (Niederschlagsmengen <25% Quantil ( $\approx 100\%$ )) waren im Jahr 1998 die Monate Mai und August, im Jahr 1999 der Monat Juli, im Jahr 2000 der Monat Juni und im Jahr 2001 die Monate Mai, Juli und August. Wie die Saugspannungsmessungen belegen, war der Boden aber selbst während diesen relativ niederschlagsarmen Perioden nicht übermässig trocken.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von 120cm Mächtigkeit ist gemäss unseren Berechnungen damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 20 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Da der Boden jedoch deutlich tiefer als 120cm durchwurzelbar ist, wird auf diesem Standort unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen kaum Trockenstress für die Bäume auftreten.

#### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Oberboden reagiert in Nässeperioden empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen. Der relativ grosse Gesteinsgehalt im Unterboden wirkt sich positiv, die recht hohen Schluff- und Tongehalte negativ auf die Befahrbarkeit aus.

#### **2.2.14.3 Themenbereich "Säurezustand"**

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 1 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

##### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 231), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 232) sowie der Basensättigung (Abb. 233) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.

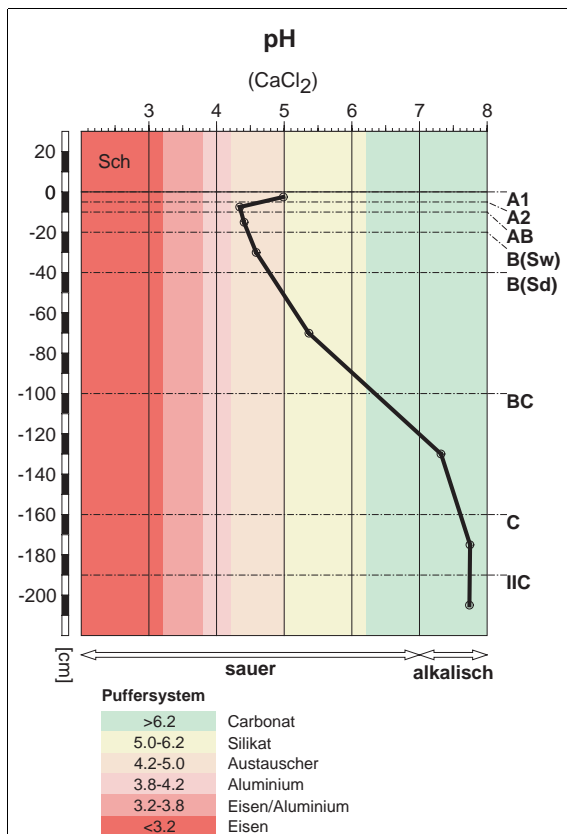


Abb. 231: pH-Wert und Pufferbereiche

Der Boden ist nur oberflächlich bis rund 40cm Tiefe stark sauer. Der pH-Wert nimmt bereits unterhalb 5cm Tiefe rasch zu. In 100cm Tiefe ist beim Übergang zum kalkhaltigen Molassematerial ein pH-Sprung auf über 7 und damit in den alkalischen Bereich festzustellen. Auffällig ist der pH-Anstieg in den obersten 5cm. So deutliche pH-Unterschiede im Oberboden können nur in wenigen Böden beobachtet werden.

Eingetragene Säuren werden im Boden bis 40cm Tiefe überwiegend durch den Kationenaustauscher, zusätzlich aber auch durch Silikatverwitterung gepuffert. Zwischen 40 und 100cm Tiefe wird vor allem durch Silikatverwitterung gepuffert. Im carbonathaltigen Ausgangsgestein, und damit ab rund 100cm Tiefe, erfolgt die Säureneutralisation durch Carbonatverwitterung.

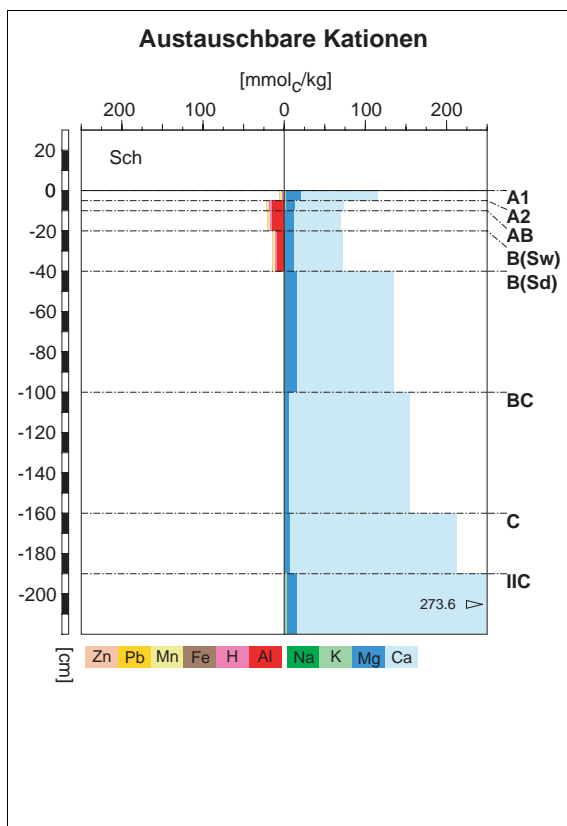


Abb. 232: Austauschbare Kationen

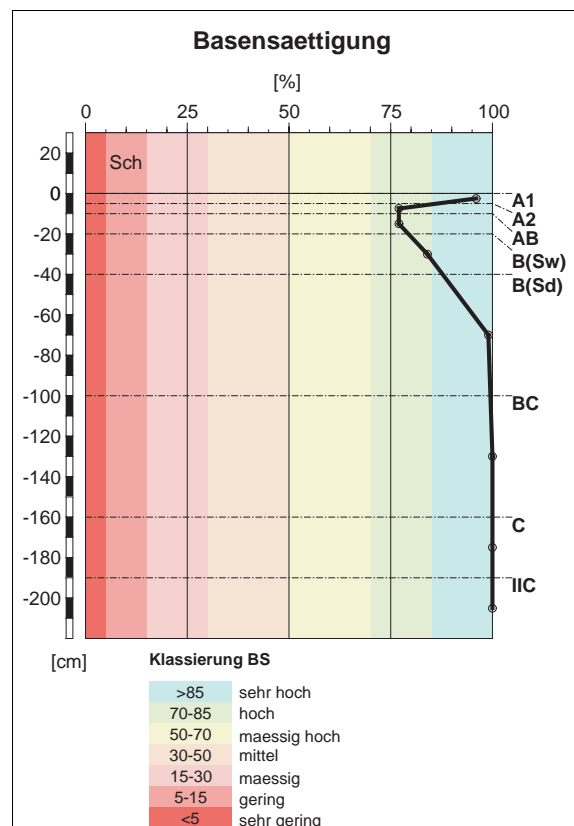


Abb. 233: Basensättigung

Der Austauscher ist profilumfassend überwiegend mit Nährstoffkationen belegt. Die Basensättigung liegt im gesamten Profil zwischen 75 und 100% und ist damit hoch bis sehr hoch.

In den humusreichen, obersten 5cm des Bodens befinden sich erhöhte Gehalte an Nährstoffkationen am Austauscher. Die Basensättigung und der pH-Wert sind hier, im Vergleich zu den unmittelbar darunterliegenden Horizonten, deutlich erhöht. Bis in eine Tiefe von 40cm sind auch saure Kationen, insbesondere Al, am Austauscher vorhanden.

#### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem carbonathaltigen Ausgangsgestein (Nagelfluh) eine Braunerde entwickelt.

Der Boden ist nur mässig versauert. Dies lässt sich daran erkennen, dass nur die obersten 40cm des Bodens einen deutlich erniedrigten pH-Wert haben. Die relativ geringe Tiefe der Kalkgrenze und die profilumfassend hohe Basensättigung deuten ebenfalls auf eine nur mässige Versauerung hin. Die Kalkgrenze verläuft heute in einer Tiefe von 100cm, was bedeutet, dass das ursprünglich vorhandene Carbonat bis in diese Tiefe für die Säurepufferung aufgebraucht worden ist.

Nährstoffkationen werden bis in eine Tiefe von 40cm durch saure Kationen, insbesondere Al, vom Austauscher verdrängt. Dies wird durch die reduzierte Basensättigung belegt.

Obwohl der Oberboden sauer ist, beträgt die Basensättigung in den obersten 5cm nahezu 100%. Dies lässt sich mit der ständigen Nährstoffnachlieferung durch den Streufall erklären.

Das Vorhandensein von austauschbarem Al ist in diesem Boden nicht durch Pufferung und damit durch Auflösung von Al-Hydroxiden, sondern durch Gesteinsverwitterung (Silikatverwitterung) bedingt. Die bei der Verwitterung freigesetzten Al-Ionen werden aufgrund ihrer hohen Wertigkeit vorzugsweise am Austauscher gebunden.

Besonderheiten: i) es ist möglich, dass die Bodenentwicklung und eine damit einhergehende Versauerung an diesem recht steilen Hang durch oberflächliche Erosionsprozesse gehemmt ist; ii) es ist bemerkenswert, dass der Boden trotz der sehr hohen jährlichen Niederschlagsmengen von rund 2000mm nicht stärker versauert ist

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird aufgrund seiner wenig tiefgreifenden Versauerung und aufgrund seines vermutlich recht grossen Puffervermögens als nur mässig empfindlich für eine weitere Versauerung bewertet.

Trotz des relativ sauren Oberbodens verläuft der Abbau der organischen Substanz an diesem Standort optimal. Eine organische Auflage kann auf der LWF-Fläche nirgendwo beobachtet werden. Die Humusform ist Mull. Dies dürfte unter anderem am günstigen Bestandesklima (hohe Niederschlagsmengen und relativ milde Temperaturen) und an der gut abbauba-

ren, gemischten Streu (Buche, Esche, Bärlauch) liegen. Da der Boden in Zukunft nur mässig empfindlich auf weitere Säureeinträge reagieren dürfte, ist in absehbarer Zeit auch nicht mit einer säurebedingten Veränderung der Abbaubedingungen zu rechnen.

Der Boden befindet sich bis in eine Tiefe von 40cm nahe dem Aluminium-Pufferbereich. Eine fortschreitende Bodenversauerung hat damit zur Folge, dass in dieser Tiefenstufe die Verdrängung von kationischen Nährstoffen am Kationenaustauscher weitergehen wird. Dadurch wird die Basensättigung vermindert und die Zone mit reduzierter Basensättigung wird sich in die Tiefe ausdehnen. Über sehr lange Zeiträume betrachtet wird auch die Entcarbonatung im Unterboden fortschreiten.

An diesem Buchenstandort sind hinsichtlich Bodenversauerung in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen auf die Vegetation zu erwarten. Das aktuell am Kationenaustauscher vorhandene Al stellt keine Gefahr für die Baumwurzeln dar, denn in der Bodenmatrix liegt das BC/Al-Verhältnis bei minimal 4.7, also deutlich über dem als kritisch erachteten Wert von 0.5. Bei einem solchen Verhältnis sind keine toxischen Al-Konzentrationen in der Bodenlösung zu erwarten.

Die Versauerung erhöht das Risiko für die Tiefenverlagerung von Schwermetallen. Da jedoch ab 100cm Tiefe carbonathaltiges Substrat vorliegt und der Boden nicht durch lateral fließendes Wasser beeinflusst ist, wird das Risiko einer Grundwasserkontamination als gering eingestuft.

#### **2.2.14.4 Themenbereich “Schwermetalle“**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Da in 190cm Tiefe ein Gesteinswechsel erfolgt (IIC-Horizont), wurden die Anreicherungs-faktoren aufgrund der Gehalte im C-Horizont berechnet.

Das Ausgangsgestein, welches aus Nagelfluh-Hangschutt besteht, müsste eigentlich der Lithofazies 20 A zugeordnet werden. Da für diese grobklastische Einheit keine geochemischen Daten vorliegen, wurde das Substrat der nächstverwandten Einheit zugeteilt. Dies ist die Lithofazies 21 (Molassemergel).

##### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus Nagelfluh-Hangschutt besteht, liegen alle Schwermetalle ausser Pb innerhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 21 (Molassemergel). Die Pb-Gehalte liegen unter dem typischen Wertebereich.

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet Mittelland, erhöhte Gehalte an Cr, Ni, Cu und Zn vor. Die Pb-Gehalte sind niedrig.

## Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 234 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 235 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als “Δ”, die Richtwerte der VBBo als “◇” markiert.

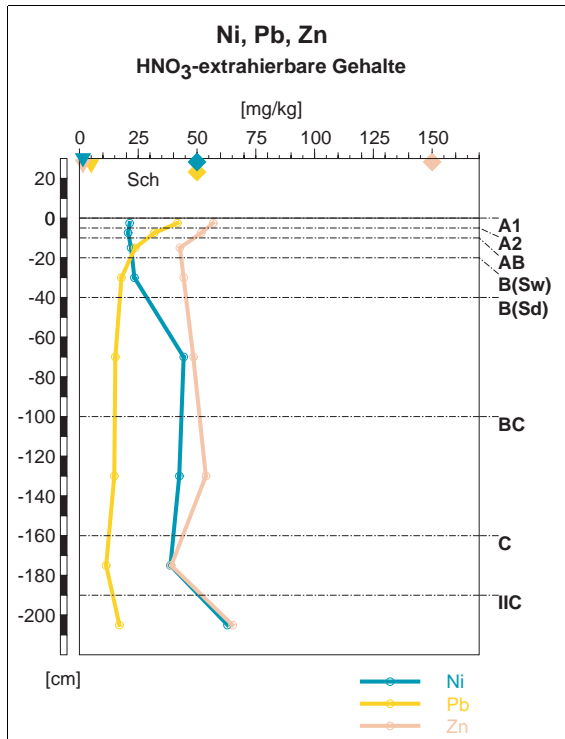


Abb. 234: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

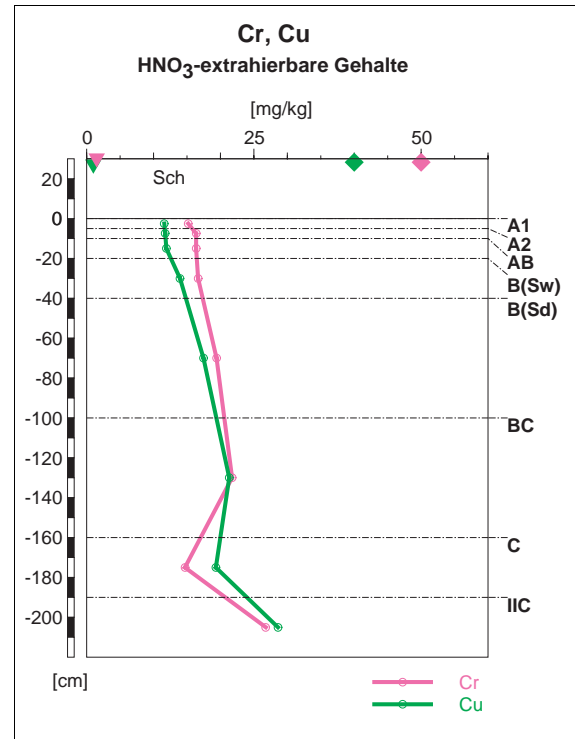


Abb. 235: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen für Cr, Cu und Zn profilumfassend niedrige bis sehr niedrige Gehalte vor. Sehr niedrige bis hohe Gehalte finden sich, je nach Horizont, bei Ni und Pb. Beim Pb finden sich die hohen Gehalte im Oberboden bis 10cm Tiefe, beim Ni dagegen ab 40cm Tiefe. Die Richtwerte der VBBo werden für Ni im IIC-Horizont überschritten.

## Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den obersten 10cm des Bodens sind mit Ausnahme von Cr alle Metalle in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden. Für Cr werden die in der Literatur angegebenen kritischen Werte deutlich überschritten.

## Anreicherungsfaktoren

Die Anreicherungsfaktoren sind in Tab. 92 dargestellt.

Tab. 92: Anreicherungsfaktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungsfaktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
A1	0	- 5	2.55	1.02	0.61	0.57	1.11
A2	5	- 10	2.26	1.26	0.73	0.61	1.71
AB	10	- 20	1.54	0.89	0.68	0.52	3.19
B(Sw)	20	- 40	1.20	0.94	0.76	0.56	1.63
B(Sd)	40	- 100	1.16	1.05	1.05	0.89	2.28
BC	100	- 160	1.14	0.96	0.94	0.96	1.17
C	160	- 190	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
IIC	190	- 220	nb	nb	nb	nb	nb

Die hohen Anreicherungsfaktoren von Pb in den obersten 20cm weisen auf atmogene Einträge hin. Das aus der Luft eingetragene Pb wird im Oberboden an die organische Substanz gebunden und angereichert. Bei den übrigen Schwermetallen ist weder eine eindeutige Verarmung noch Anreicherung im Profil feststellbar. Die hohen Anreicherungsfaktoren von Cr im mittleren Profilbereich können nicht erklärt werden. Vermutlich ist diese Anomalie methodisch bedingt und steht im Zusammenhang mit den sehr niedrigen Cr-Gehalten im C-Horizont.

Im Boden ist nur für Pb in den obersten 20cm eine anthropogene Belastung zu erkennen.

### Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 236.

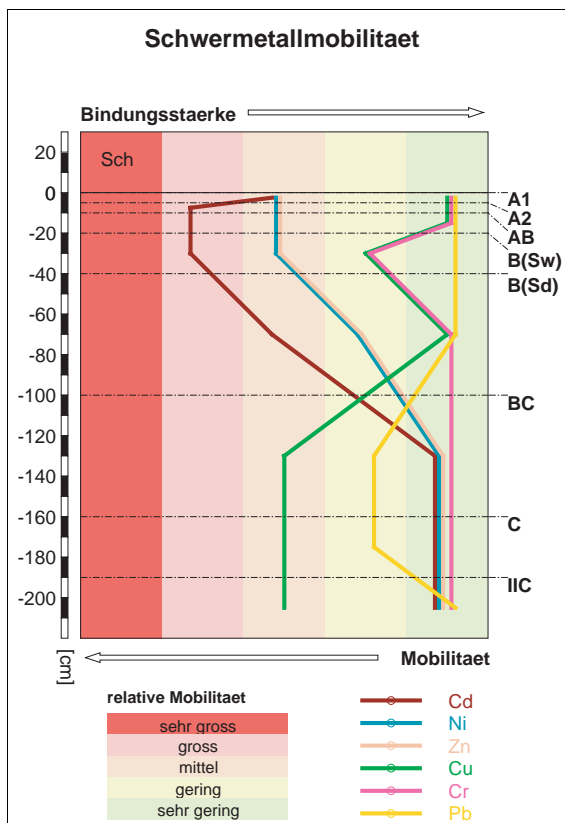


Abb. 236: Mobilität von Schwermetallen

Der bis in 40cm Tiefe recht niedrige pH-Wert bewirkt, dass im Oberboden einzelne Schwermetalle relativ mobil sind (siehe Mobilitätsindizes). Unterhalb 40cm ist die Mobilität der meisten Schwermetalle gering, was auf den hohen pH-Wert im Unterboden zurückzuführen ist. Eine Ausnahme bildet hier nur Cu, das wegen der Bildung löslicher Carbonatkomplexe etwas mobiler ist.

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort relativ gering, zumal der Boden profilmfassend nur wenig vernässt ist. Es ist hier also kaum mit Schwermetallauswaschung, weder durch vertikal noch durch horizontal verlaufende Wasserflüsse zu rechnen.

### 2.2.14.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Humusform und Bodengefüge lassen auf eine grosse Nährstoffverfügbarkeit schliessen. Der Oberboden ist krümelig und eine organische Auflage fehlt. Die Bodenorganismen bauen

die anfallende Streu innert Jahresfrist vollständig ab. Neben schwer abbaubarer Buchenstreu ist auf dem Standort auch die wesentlich besser zersetzbare Streu von Bergahorn und Esche sowie Bärlauch von Bedeutung. Die Humusform ist auf der ganzen Fläche einheitlich und wird als Mull klassiert.

Das C/N-Verhältnis beträgt in den obersten 5cm der Mineralerde rund 11 und liegt damit in einem Bereich, der, gemäss Literaturangaben, für Mull üblich ist. Das als eng klassierte C/N-Verhältnis lässt eine hohe Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen.

### Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 237) und die Austauschbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 238).

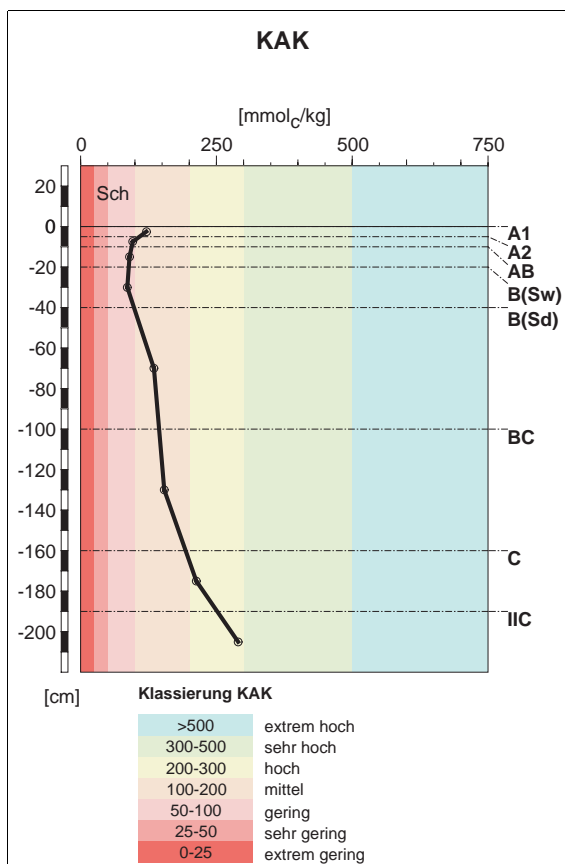


Abb. 237: Kationenaustauschkapazität (KAK)

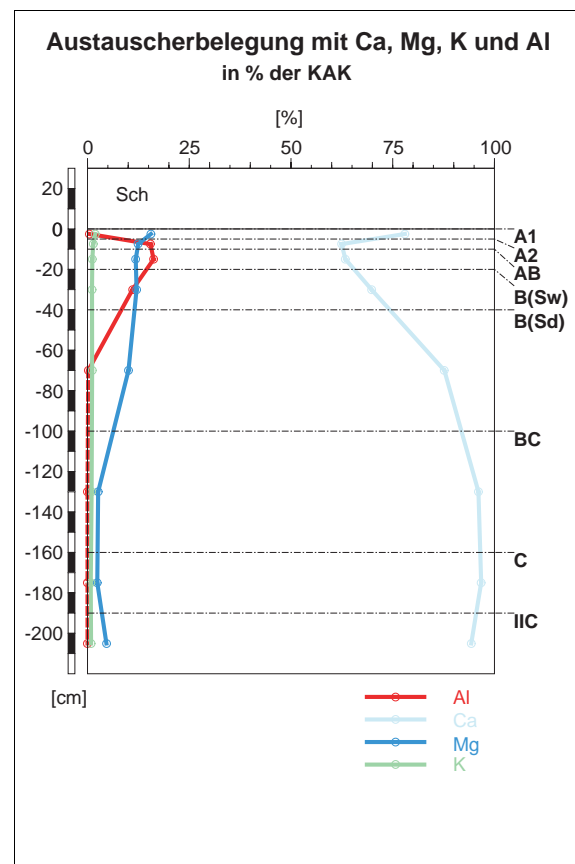


Abb. 238: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK zeigt in diesem Boden auf den ersten Blick einen etwas untypischen Verlauf, indem sie nämlich von oben nach unten zunimmt. Die deutliche Zunahme der KAK unterhalb der Kalkgrenze (ab 100cm Tiefe) ist aber vor allem methodisch bedingt. Sie wird durch die Auflösung von Kalk bei der Extraktion verursacht. Einzig im IIC-Horizont hängt die hohe KAK neben der Auflösung von Kalk auch mit dem hohen Tongehalt zusammen. Die KAK wird in diesem Boden gesamtheitlich als mittel klassiert.

Austauschbares Al ist nur in einer Tiefe von 5-40cm vorhanden. Es vermag hier einen Teil des Ca vom Austauscher zu verdrängen. Ca ist aber trotzdem im gesamten Profil das dominierende Nährstoffkation (Belegung 60-95%). Mg ist, in Abhängigkeit der Konkurrenz durch Al



und Ca, vor allem im oberen und mittleren Profilbereich vorhanden. Die K-Belegung am Kationenaustauscher ist im gesamten Profil relativ konstant.

### Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Grösse der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 239 bis 241 dargestellt.

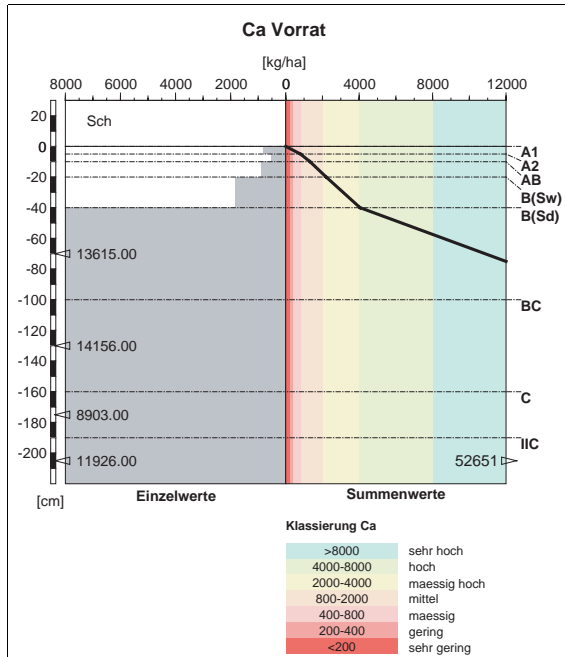


Abb. 239: Calcium-Vorrat

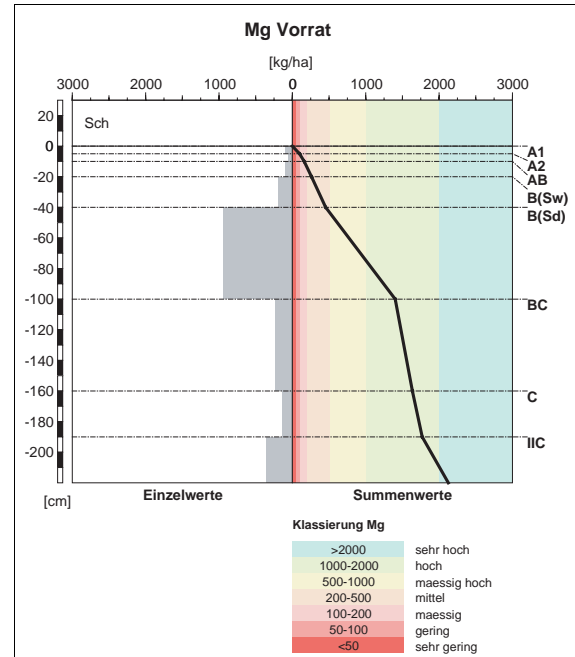


Abb. 240: Magnesium-Vorrat

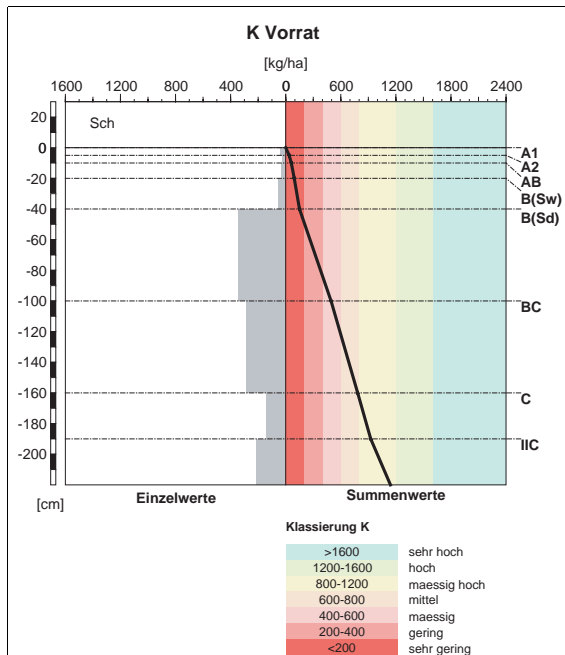


Abb. 241: Kalium-Vorrat

Die Vorräte an Ca und Mg nehmen zur Tiefe hin rasch, jene von K dagegen nur langsam zu.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca sehr hoch
- Mg mässig hoch
- K gering

Der Boden ist bis mindestens 150cm Tiefe durchwurzelt. Damit wird der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt. Bis 150cm Tiefe werden die Vorräte optimistischer bewertet:

- Ca sehr hoch
- Mg hoch
- K mittel

Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als hoch bewertet.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen günstige Bedingungen vor (siehe Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte").

#### 2.2.14.6 Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 1 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

##### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 93) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 93: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Schänis

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	710m
Exposition	W
Neigung	60%
Klima	
Jahresniederschlag	1965mm
Jahrestemperatur	7.0°C
Ausgangsgestein	Gehängeschutt aus kalkhaltiger Nagelfluh
Baumbestand	
Struktur	einschichtig
Schlussgrad	90%
Baumarten (Deckung)	60% Buche, 35% Bergahorn, 15% Esche
Oberhöhe	rund 35m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 13: Linden-Zahnwurz-Buchenwald
<b>Bodenkennwerte</b> (beziehen sich auf das Profil Nr. 1)	
Bodensystematik	
Bodentyp	Braunerde, schwach pseudovergleyt
Bodentyp (LWF-Fläche)	Braunerde-Braunerde, schwach pseudovergleyt (überwiegend Braunerde)
Humusform	Mull
Humusform (LWF-Fläche)	Mull

Wasser- und Lufthaushalt Hydromorphie	Aufgrund der beobachteten morphologischen Vernässungsmerkmale scheint der Luft- und Wasserhaushalt des Bodens recht ausgeglichen zu sein. Einzig in der Tiefenstufe 20-100cm ist mit periodischer Wassersättigung und damit verbundenen, nachteiligen Auswirkungen auf den Lufthaushalt zu rechnen.
Durchwurzelung	Im Profil (190cm) ist kein Hindernis für die Durchwurzelung erkennbar. Der Boden wird physiologisch als sehr tiefgründig klassiert. Er ist bis mindestens 150cm Tiefe durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird damit vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt. Die durch schwache Pseudovergleyung angezeigte, periodisch mangelhafte Durchlüftung vermag das Wurzelwachstum offensichtlich nicht zu unterbinden.
pflanzenverfügbares Wasser	Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als hoch klassiert. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen ist an diesem Standort kaum je mit Trockenstress für die Bäume zu rechnen.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	Der Boden ist nur oberflächlich bis rund 40cm Tiefe stark sauer. Im Untergrund ist in 100cm Tiefe beim Übergang zum kalkhaltigen Gehängeschutt ein pH-Sprung auf >7 und damit in den alkalischen Bereich festzustellen. Die Kalkgrenze verläuft in 100cm Tiefe.
Al-Toxizität	In der Bodenmatrix liegt das BC/Al-Verhältnis bei minimal 4,7, also deutlich über dem als kritisch erachteten Wert von 0,5. Bei einem solchen Verhältnis sind keine toxischen Gehalte an Al in der Bodenlösung zu erwarten.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Das als eng klassierte C/N-Verhältnis lässt eine hohe Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten, was durch die Humusform Mull bestätigt wird.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelt Boden (150cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als hoch klassiert. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen günstige Bedingungen vor.
Verankerung	Da die bestandesbildenden Baumarten diesen Boden sehr tief durchwurzeln und keine Limiten für das Wurzelwachstum erkennbar sind, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes als günstig beurteilt.
Befahrbarkeit	Der Oberboden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen. Nachteilig auf die Befahrbarkeit wirken sich insbesondere die relativ hohen Schluff- und Tongehalte aus.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der Bestand ist ein ausgewachsener Laubmischwald (Buche, Bergahorn, Esche). Die Baumartenmischung wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als standortgerecht bezeichnet. Wir können also davon ausgehen, dass die vorhandenen Baumarten die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten gut nutzen.

Im Streueintrag überwiegt in diesem Wald seit Jahrzehnten gemischte Streu von verschiedenen Laubbaumarten. Zudem fallen auch beträchtliche Mengen an Streu von gut abbaubaren Krautpflanzen, insbesondere Bärlauch und Zahnwurz an. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

### *Keimbeet*

Auf der LWF-Fläche ist die Humusform durchwegs Mull. Durch Einbringen eines zu hohen Nadelholzanteils würde sich im Verlaufe der Zeit vermutlich ein Moder entwickeln, der jedoch wegen den für den Humusabbau generell günstigen Standortbedingungen kaum sehr mächtig werden dürfte. Durch die Moderbildung würde der Keimungserfolg der Fichte und damit ihre Konkurrenzkraft in der Verjüngungsphase vergrössert. Zudem würden Nährstoffe in der organischen Auflage blockiert, welche dann mittelfristig nicht für das Pflanzenwachstum verfügbar wären. Schliesslich wäre auch mit einer verstärkten Versauerung des Bodens zu rechnen, denn in organischen Auflagen werden durch den unvollständigen Abbau der organischer Substanz Säuren gebildet.

### *Anwuchs- und Aufwuchsphase*

Für die Anwuchs- und Aufwuchsphase bietet der Boden für die meisten Baumarten gute Voraussetzungen, da sowohl der Wasser- und Lufthaushalt als auch die Nährstoffversorgung als sehr günstig beurteilt werden.

Tiefwurzelnde Baumarten sind hier weniger für die Mobilisierung der Nährstoffvorräte im Unterboden sondern für die Erhöhung der Bestandesstabilität von Bedeutung.

Da Laubstreu generell weniger sauer wirkt als Nadelstreu, kann mit der Erhaltung eines hohen Laubholzanteils längerfristig das Risiko von durch Al-Toxizität verursachten Wurzelschäden verringert werden.

### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 94):

Tab. 94: Baumartenempfehlung

<b>Baumarten im Hauptbestand</b>	Buche, Bergahorn, Esche, Bergulme, Linde, Kirschbaum, (Tanne)
<b>Laubholzanteil</b>	mindestens 50%
<b>Baumarten im Nebenbestand</b>	Bei erhöhtem Nadelholzanteil im Hauptbestand können im Nebenbestand geeignete Baumarten als Bodenverbesserer eingebracht werden. Mögliche Baumarten sind Winterlinde, Hagebuche, Vogelbeere und Buche.

## 2.2.15 LWF-Fläche Visp (Bodenprofil Nr. 1)

### 2.2.15.1 Themenbereich “Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie“

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 1 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Visp und zum Bodenprofil Nr. 1

Die Tab. 95 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Visp und zum Profil Nr. 1. Die Tab. 96 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 95: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Visp und zum Profil Nr. 1

<b>Lokalname</b>	Grauberg (Gemeinde Visp, Kt. VS)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1288, Raron
	Koordinaten 632 338 / 127 361
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 38: Turmkressen-Flaumeichenwald ( <i>Arabidi turritae-Quercetum pubescentis</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-F-Ah-A1-A2-(A)C1-(A)C2-(A)C3-R
<b>Humusform</b>	Moder (Xeromoder)
<b>Bodentyp</b>	Pararendzina
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Calcaric Phaeozeme

Tab. 96: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 1

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	730m	
	Exposition	N	
	Neigung	80%	
	Geländeform	Mittelhang	
<b>Ausgangsgestein</b>	Oberfläche	Gehängeschutt aus Kalkphylliten.	
	Untergrund	Penninikum. Mesozoikum. Jura. Bündnerschiefer. Kalkphyllite.	
	Beobachtung am Profilort	Mancherorts in der LWF-Fläche ist der Bündnerschiefer-Fels anstehend.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	8.8°C / 615mm	
	T / N Januarmittel	- 1.5°C / 56mm	
	T / N Julimittel	19.0°C / 40mm	
	Tage mit Schneedecke	55	
	Wärmegliederung	mild	
Länge der Vegetationsperiode	205-210 Tage		
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (15m Höhe)	50%	35% Waldföhre ( <i>Pinus sylvestris</i> ) 15% Mehlbeere ( <i>Sorbus aria</i> )
	Strauchschicht	25%	-
	Krautschicht	60%	Niedrige Segge ( <i>Carex humilis</i> ) Gewimpertes Perlgras ( <i>Melica ciliata</i> ) Fieder-Zwenke ( <i>Brachypodium pinnatum</i> ) Edel-Gamander ( <i>Teucrium chamaedrys</i> ) Gemeine Weisswurz ( <i>Polygonatum odoratum</i> )
	Mooschicht	5%	-

## Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit T1 (Bündnerschiefer im Bereich des oberen Rhonets und Tessins, felsbänderdurchzogene Hänge). T1 stellt 17 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 0.1% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

### Besonderheiten am Profilort

Das sehr trockene Klima wirkt sich hemmend auf die Bodenentwicklung aus.

Es ist unsicher, ob im Profil der Gehängeschutt aus demselben Gestein besteht wie der Felsuntergrund.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 97 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 97: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 1

LWF-Visp Nr. 1		Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
+20		F	2-0	-	-	-	-	-	-	-
0		Ah	0-5	mittel	Schluff	Krümel	locker	ohne	10 YR 2/2	stark
		A1	5-10	stark	Schluff	Krümel	locker	ohne	10 YR 3/1	stark
20		A2	10-20	stark	Schluff	Krümel	locker	ohne	10 YR 3/1	stark
40		(A)C1	20-40	stark	Schluff	Fragmente	mittel	ohne	2.5 Y 4/2	mittel
60		(A)C2	40-75	stark	Schluff	Fragmente	mittel	ohne	2.5 Y 4/2	mittel
80		(A)C3	75-105	stark	Schluff	Fragmente	mittel	ohne	2.5 Y 4/2	mittel
100										
120		R	> 105	extrem stark	Schluff	Einzelkorn	-	-	5 Y 4/1	-
140										

Das Vorhandensein einer organischen Auflage deutet darauf hin, dass die biologische Aktivität an der Bodenoberfläche gehemmt ist. Die überwiegend von Waldföhren stammende Streu wird langsam und unvollständig abgebaut. Andererseits kann aufgrund des mächtigen Oberbodens auf eine ausgeprägte Wühltätigkeit von Bodenorganismen in tieferen Bodenschichten geschlossen werden. Mit der Horizontfolge L-F-Ah lässt sich die Humusform als Moder, allenfalls sogar als Xeromoder klassieren.

Im rund 1.5m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch vier Horizonte unterscheiden. Da der A- und (A)C-Horizont in verschiedenen Tiefen beprobt wurde, sieht die Horizontfolge des Profils wie folgt aus: Ah-A1-A2-(A)C1-(A)C2-(A)C3-R. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Pararendzina klassiert. Der Boden ist wenig verwittert, eine Verbraunung ist morphologisch nicht erkennbar. Es kommen keine hydromorphen Merkmale vor.

### *Besonderheiten des Profils*

Die Kalkgrenze verläuft in 15cm Tiefe. Der Wurzelraum ist in rund 100cm Tiefe durch Bündnerschiefer-Fels begrenzt.

Der Boden gleicht morphologisch einem Steppenboden, da bis in grosse Tiefen recht viel Humus vorhanden ist. Er wurde daher in der FAO-Systematik als Phaeozeme klassiert. Da

zusätzlich zum mächtigen, humushaltigen Oberboden eine organische Auflage vorhanden ist, kann die Humusform als Xeromoder klassiert werden.

Das Profil wurde bis 40cm Tiefe nicht nach Horizonten, sondern, entsprechend dem europäischen Monitoringstandard, nach fixen Tiefenstufen beprobt. Unterhalb 40cm wurde das Profil nach Horizonten beprobt.

### 2.2.15.2 Themenbereich “Physikalische Bodenkennwerte“

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 1 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

#### *Skelettgehalt und Bodenart*

In Abb. 242 ist der Skelettgehalt und in Abb. 243 die Bodenart dargestellt.

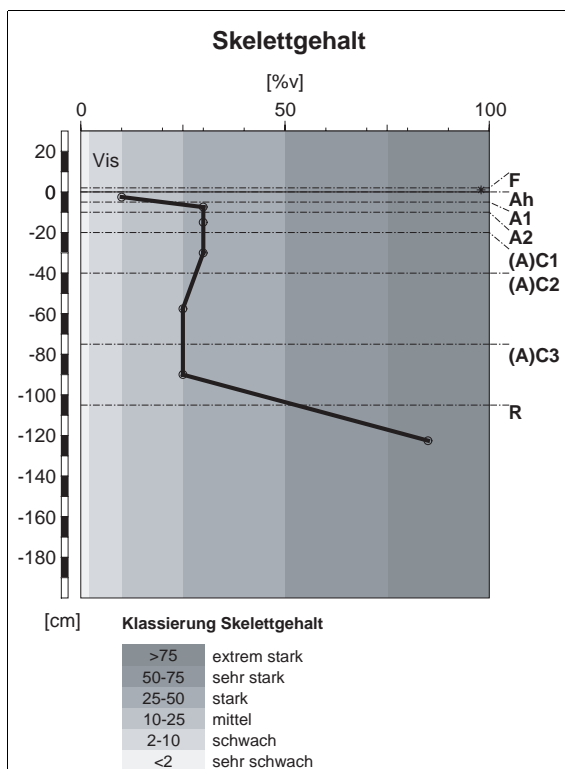


Abb. 242: Skelettgehalt

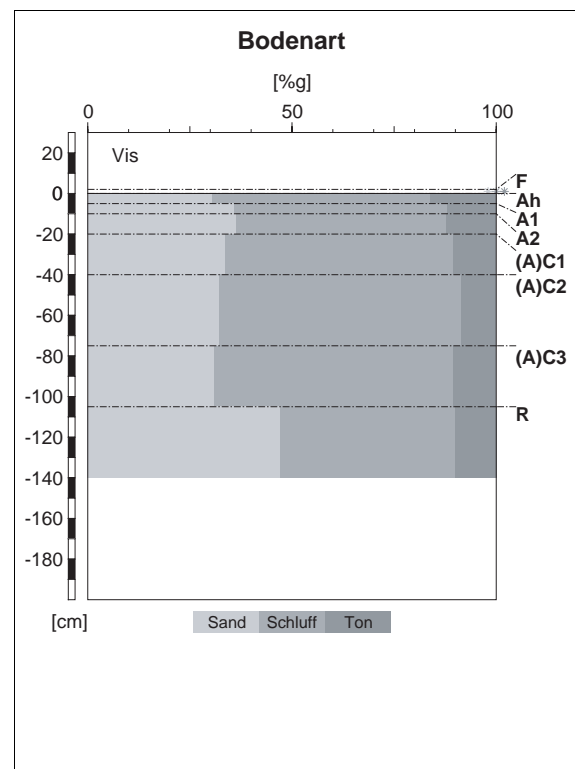


Abb. 243: Bodenart

Der Boden ist mittel-stark skeletthaltig. Im Übergangsbereich zum Ausgangsgestein sind deutlich mehr Steine vorhanden. In rund 100cm Tiefe wird der Boden durch anstehenden Bündnerschiefer abgeschlossen.

Die Feinerde ist überwiegend schluffig. Sie enthält aber auch reichlich Sand. Ton ist nur wenig vorhanden. Gemessen am Tonanteil handelt es sich um einen leichten Boden. Auffällig ist, dass die Anteile der einzelnen Korngrößenklassen über das gesamte Profil hinweg konstant sind. Im zerklüfteten R-Horizont, also im Übergangshorizont zum unverwitterten Ausgangsgestein, ist der Sandanteil stark erhöht.

## Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 244 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 245 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

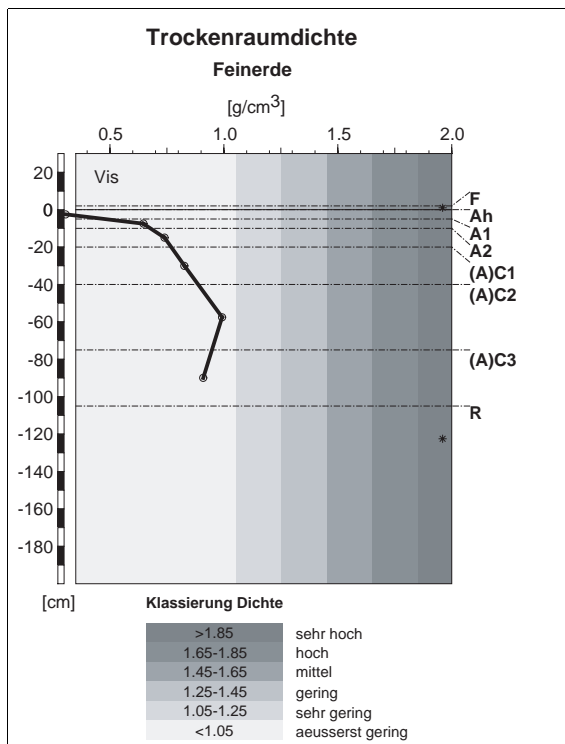


Abb. 244: Dichte der Feinerde

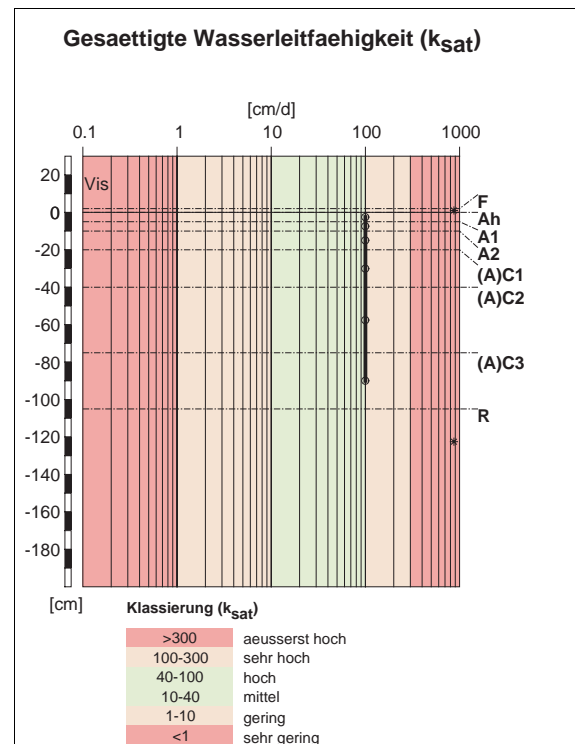


Abb. 245: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Die Dichte der Feinerde ist im ganzen Profil ausserordentlich gering.

Der Boden ist infolge sehr geringer Dichte und niedrigen Tongehaltes hochdurchlässig.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 246 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

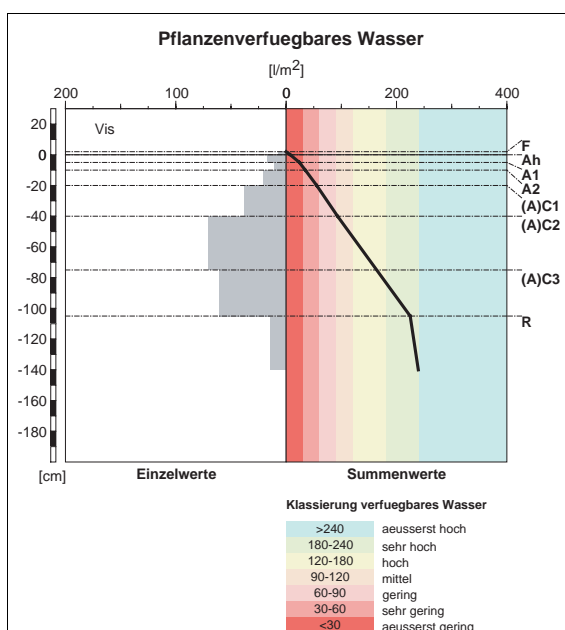


Abb. 246: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis in eine Tiefe von 100cm wird als hoch klassiert. Der hohe Schluffgehalt wirkt sich positiv auf die Speicherleistung aus. Der Wurzelraum ist durch anstehenden Fels in rund 100cm Tiefe begrenzt.



### Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

#### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Im Profil sind keine morphologischen Vernässungsmerkmale erkennbar. Einschränkungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind also nicht zu erwarten. Unterstützt wird diese Einschätzung durch die Leitfähigkeitskurve, welche für das gesamte Profil eine hohe Durchlässigkeit angibt.

#### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Die Mächtigkeit des Wurzelraumes beträgt rund 100cm. Der felsige Untergrund ist für die Wurzeln nur begrenzt erschliessbar. Der Boden wird als tiefgründig klassiert. Er ist bis rund 100cm durchwurzelt, die physiologische Gründigkeit des Bodens wird vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von 100cm Mächtigkeit ist damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 25 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Die LWF-Fläche Visp liegt im niederschlagsärmsten Gebiet der Schweiz (durchschnittlich rund 600 mm Niederschlag pro Jahr). Der berechnete Zeitraum von 25 Tagen bis zum Beginn von Trockenstress ist hier kaum realistisch, weil die maximale Wasserspeichermenge von rund 200mm im Sommer kaum je vollständig aufgefüllt wird. Trockenstress dürfte an diesem Standort darum die Regel und nicht die Ausnahme sein. Periodische Messungen des Wassergehaltes auf der Untersuchungsfläche im Jahre 2001 haben ergeben, dass der Boden während der Vegetationszeit effektiv häufig profilumfassend ausgetrocknet ist.

#### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Boden reagiert in Nässeperioden nur wenig empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil recht hoch ist. Ungünstig wirkt sich dagegen der hohe Schluffanteil aus.

### **2.2.15.3 Themenbereich "Säurezustand"**

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 1 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

#### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 247), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 248) sowie der Basensättigung (Abb. 249) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.

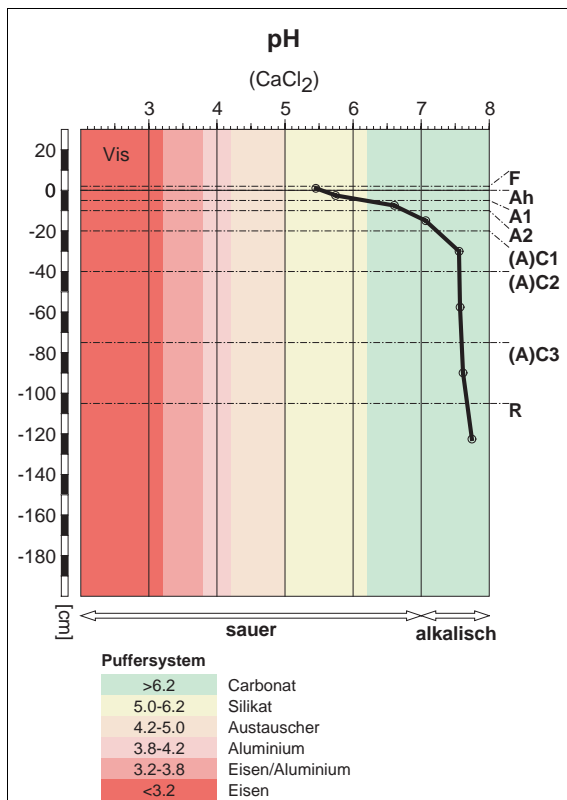


Abb. 247: pH-Wert und Pufferbereiche

Der Boden ist nur in der organischen Auflage (F-Horizont) und im obersten Mineralerdehorizont mässig sauer. Darunter nimmt der pH-Wert rasch zu und erreicht in 15cm Tiefe beim Übergang ins carbonathaltige Substrat Werte von über 7 und liegt damit ab dieser Tiefe im alkalischen Bereich.

Eingetragene Säuren werden im Mineralboden bis 5cm Tiefe überwiegend durch Silikat-, weiter unten durch Carbonatverwitterung gepuffert.

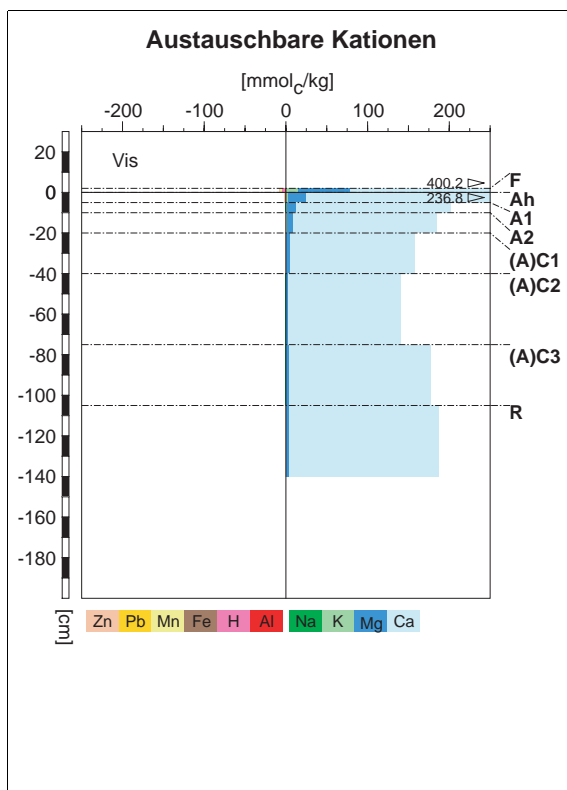


Abb. 248: Austauschbare Kationen

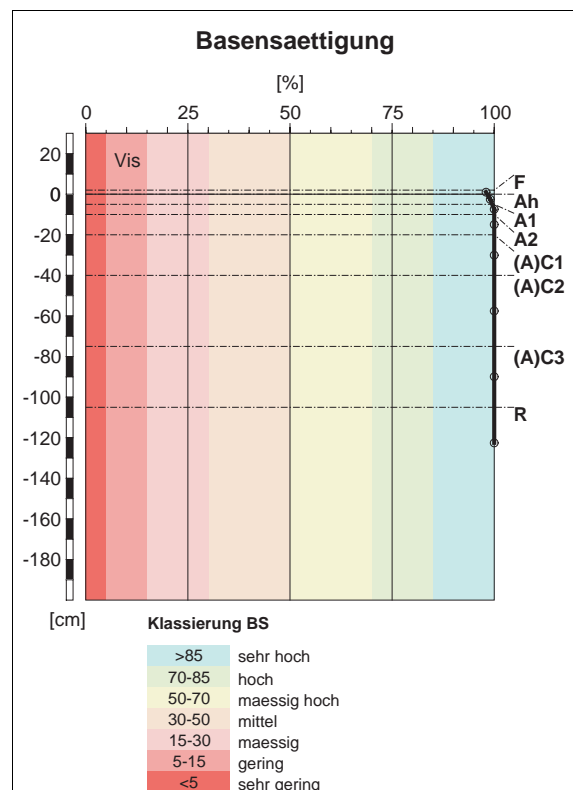


Abb. 249: Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist profilumfassend überwiegend durch Nährstoffkationen, insbesondere Ca belegt. Dementsprechend liegt die Basensättigung im gesamten Profil zwischen

98 und 100%. Nur in der organischen Auflage und in der Mineralerde sind bis 5cm Tiefe neben Nährstoffkationen auch geringe Mengen an sauren Kationen am Austauscher vorhanden.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem carbonathaltigen Ausgangsgestein (Bündnerschiefer) eine Pararendzina entwickelt.

Der Boden ist nur sehr schwach und oberflächlich versauert. Dies lässt sich daran erkennen, dass nur die obersten 5cm des Mineralbodens einen deutlich erniedrigten pH-Wert haben. Die geringe Tiefe der Kalkgrenze und die profilumfassend hohe Basensättigung deuten ebenfalls auf eine sehr schwache Versauerung hin. Die Kalkgrenze verläuft heute in einer Tiefe von 15cm, was bedeutet, dass das ursprünglich vorhandene Carbonat bis in diese Tiefe für die Säurepufferung aufgebraucht worden ist.

In der Mineralerde werden Nährstoffkationen nur in den obersten 5cm (und dort auch nur in geringem Ausmass) durch saure Kationen vom Austauscher verdrängt. Dies wird durch die leicht reduzierte Basensättigung belegt.

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird aufgrund seiner nur oberflächlichen Versauerung und aufgrund seines vermutlich grossen Puffervermögens als nur wenig empfindlich für eine weitere Versauerung bewertet. Eine zukünftige Versauerung wird mittelfristig höchstens in den obersten 10 bis 20cm des Bodens bemerkbar werden.

An diesem Waldföhren- und Flaumeichenstandort ist der Abbau der organischen Substanz infolge der schwer abbaubaren Streu und der periodischen Sommertrockenheit gehemmt, so dass sich auf der LWF-Fläche eine fast flächendeckende organische Auflage (Moder bis Xeromoder) gebildet hat. Die verminderte biologische Aktivität ist hier also nicht durch den pH-Wert bedingt. Da der Boden in Zukunft wenig empfindlich auf weitere Säureinträge reagieren dürfte, ist in absehbarer Zeit auch nicht mit einer säurebedingten Veränderung der Abbaubedingungen zu rechnen.

Der Boden befindet sich in den obersten 5cm im Silikat-Pufferbereich. Eine fortschreitende Bodenversauerung hat zur Folge, dass das bei der Silikatverwitterung freigesetzte Al vorzugsweise am Austauscher gebunden wird und damit kationische Nährstoffe vom Austauscher verdrängt. Dadurch wird die Basensättigung vermindert. Über sehr lange Zeiträume betrachtet wird auch die Entcarbonatung im Unterboden fortschreiten.

An diesem Waldstandort sind hinsichtlich Bodenversauerung in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen auf die Vegetation zu erwarten.

Die Versauerung erhöht das Risiko für die Tiefenverlagerung von Schwermetallen. Da der Oberboden nur sehr langsam weiter versauern dürfte und ab 15cm Tiefe carbonathaltiges Substrat vorliegt, wird das Risiko einer Grundwasserkontamination als sehr gering eingestuft,

zumal an diesem sehr trockenen Hang nur wenig Wasser in die Tiefe versickert und der Boden nicht durch lateral fließendes Wasser beeinflusst ist.

#### **2.2.15.4 Themenbereich “Schwermetalle“**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Die VBBo-Richtwerte gelten bei einem Humusgehalt <15% in mg/kg, ansonsten in mg/dm<sup>3</sup>. In den Abbildungen, in welchen die Tiefenverteilung der Schwermetalle dargestellt ist, sind die Gehalte in mg/kg angegeben. Für die Schwermetallgehalte in mg/dm<sup>3</sup> (Ah-Horizont) wird auf die Datentabelle im Anhang verwiesen. Im F-Horizont konnte der volumenbezogene Gehalt (mg/dm<sup>3</sup>) mangels Kenntnis der Dichte nicht berechnet werden. Daher erfolgt dort keine Richtwertbeurteilung.

##### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus Bündnerschiefer besteht, liegen die Cr- und Ni-Gehalte oberhalb, die Cu-, Zn- und Pb-Gehalte innerhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 11 (Bündnerschiefer).

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet der Alpen, hohe Gehalte an Cr, Ni und Cu vor. Für Zn sind die Gehalte erhöht und für Pb niedrig.

##### Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 250 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 251 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als “Δ“, die Richtwerte der VBBo als “◇“ markiert.

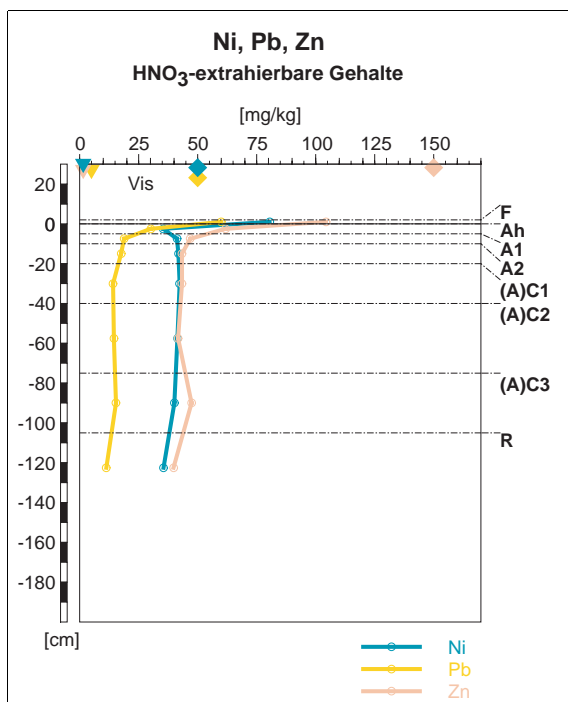


Abb. 250: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

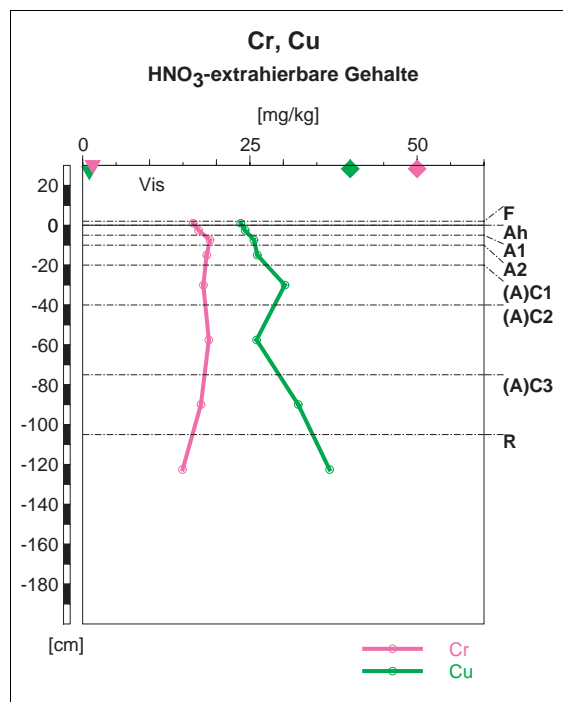


Abb. 251: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo liegen für Cr, Pb und Zn profilumfassend niedrige bis sehr niedrige Gehalte vor. Für Cu und Ni sind die Gehalte, je nach Horizont, sehr niedrig bis hoch.

Die Richtwerte der VBBo werden in der Mineralerde nicht überschritten. In der organischen Auflage kann die Richtwertbeurteilung nicht vorgenommen werden, weil die dazu nötigen volumenbezogenen Gehalte (mg/dm<sup>3</sup>) nicht bekannt sind. Rein gutachtlich beurteilt dürften die Richtwerte in der organischen Auflage jedoch nicht überschritten sein.

#### Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In der organischen Auflage werden die in der Literatur angegebenen kritischen Werte für Cr deutlich und für Cu leicht überschritten. In den obersten 10cm des Mineralbodens wird der kritische Wert wiederum für Cr überschritten. Alle übrigen Schwermetalle sind in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden.

#### Anreicherungs-faktoren

Die Anreicherungs-faktoren sind in Tab. 98 dargestellt.

Tab. 98: Anreicherungs-faktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungs-faktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Ah	0	- 5	2.57	1.70	0.97	1.26	1.31
A1	5	- 10	1.71	1.43	0.99	1.12	2.17
A2	10	- 20	1.21	1.14	0.93	1.06	0.85
(A)C1	20	- 40	0.94	1.03	0.96	1.07	1.21
(A)C2	40	- 75	1.11	1.13	0.89	1.15	1.14
(A)C3	75	- 105	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Die hohen Anreicherungs-faktoren von Pb in den obersten 10cm weisen auf atmogene Einträge hin. Das aus der Luft eingetragene Pb wird im Oberboden an die organische Substanz gebunden und angereichert. Atmogene Einträge können auch für Zn und Cr vermutet werden. Die Anreicherungs-faktoren im Oberboden sind bei beiden Elementen im Vergleich zum Un-

terboden deutlich erhöht. Beim Zn ist jedoch auch mit einem Eintrag über die Streu zu rechnen. Bei Cu und Ni ist weder eine eindeutige Verarmung noch Anreicherung im Profil feststellbar.

Im Boden wird bei Pb, Zn und Cr in den obersten 10cm von einer anthropogenen Belastung ausgegangen.

### Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 252.

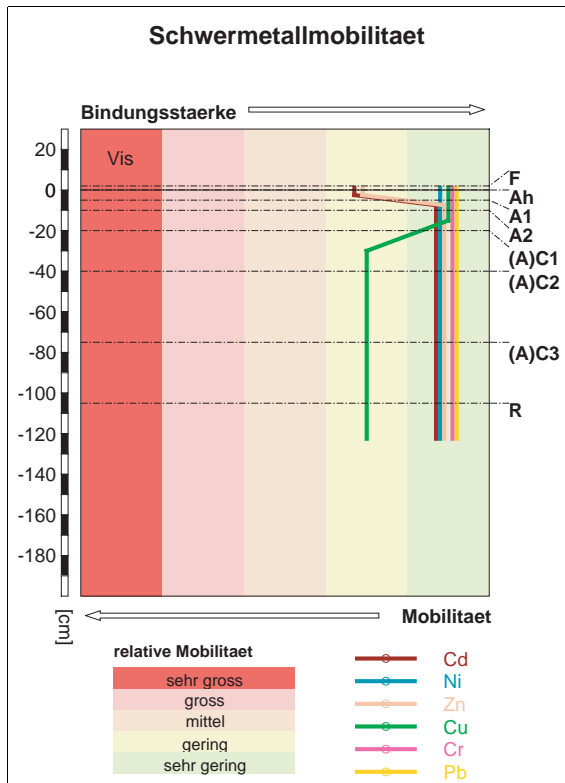


Abb. 252: Mobilität von Schwermetallen

Entsprechend dem geringen Säuregrad des Bodens sind die Schwermetalle im gesamten Profil nur wenig mobil (siehe Mobilitätsindices).

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort gering. Zudem ist das Klima in Visp so trocken, dass kaum mit Tiefensickerung von grösseren Wassermengen gerechnet werden muss, wie periodische Wassergehaltsmessungen im Boden der LWF-Fläche zeigen.

### 2.2.15.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Die Beurteilung der Nährstoffverfügbarkeit ist in diesem Boden kontrovers. Positiv wird die grosse Mächtigkeit und das krümelige Gefüge des humushaltigen und nur schwach sauren Oberbodens bewertet (intensive Wühlätigkeit der Bodenorganismen). Die organische Auflage deutet jedoch darauf hin, dass die Mineralisierung zumindest oberflächlich gehemmt ist. Die Bodenorganismen vermögen die anfallenden Föhrennadeln und die Blätter verschiedener Straucharten nicht innert Jahresfrist abzubauen. Die Mächtigkeit der organischen Auflage variiert auf der LWF-Fläche. Die Humusform ist meist Moder, stellenweise kommt Mull vor.

Der gehemmte Abbau dürfte an diesem extrem niederschlagsarmen Standort mit der zeitweiligen Austrocknung des Oberbodens aber auch mit der schlecht abbaubaren Streu zusammenhängen. Aufgrund der Kombination von organischer Auflage und gleichzeitig mächtigem Oberboden kann die Humusform auch als Xeromoder klassiert werden.

Das C/N-Verhältnis in der organischen Auflage beträgt rund 19 und liegt damit, gemäss Literaturangaben, im Übergangsbereich vom Mull zum Moder. Das als mittel klassierte C/N-Verhältnis lässt eine nur mittlere (etwas gehemmte) Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten.

### Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 253) und die Austauschbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 254).

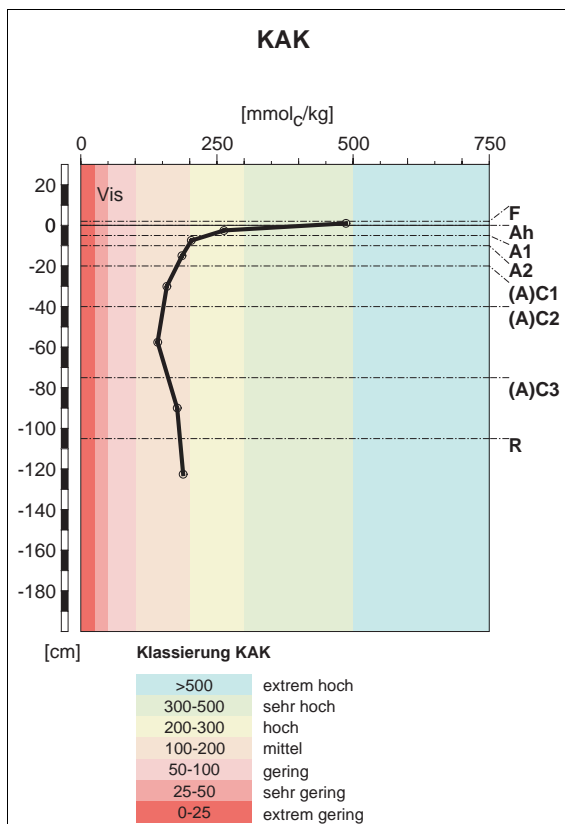


Abb. 253: Kationenaustauschkapazität (KAK)

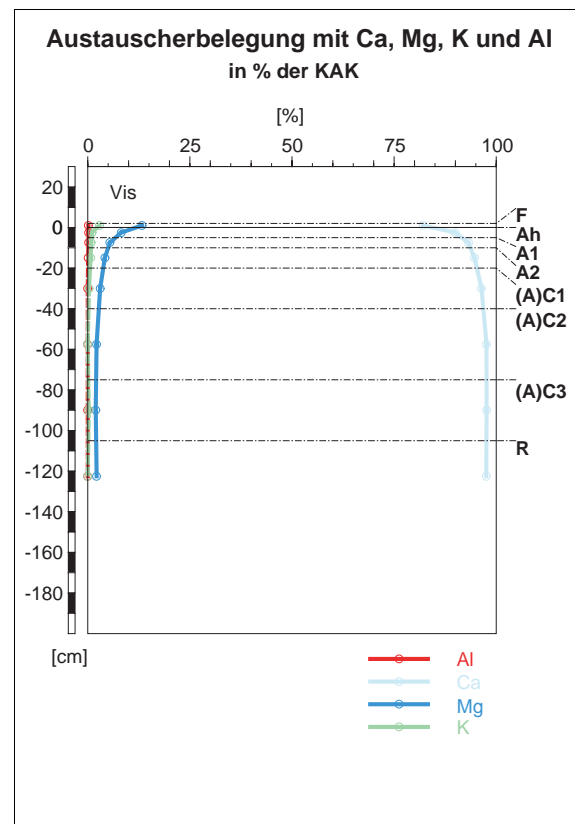


Abb. 254: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK weist im obersten Profilabschnitt in Abhängigkeit des Humusgehaltes einen deutlichen Gradienten auf. In der organischen Auflage und im stark humosen Oberboden ist sie hoch bis sehr hoch, nimmt dann aber deutlich ab und ist in den ab 10cm vorhandenen humusarmen Horizonten nur noch mittel.

Im gesamten Profil dominiert Ca mit einer Belegung von über 80% am Kationenaustauscher und unterhalb der Kalkgrenze, also ab 15cm Tiefe, ist der Austauscher sogar zu rund 95% mit Ca belegt. Mg ist in Abhängigkeit der Konkurrenz durch Ca vor allem im Oberboden und insbesondere oberhalb der Kalkgrenze vorhanden. Die Mg-Belegung erreicht dort nahezu 15%. K ist nur in den humusreichen, obersten Bodenhorizonten in messbaren Gehalten vorhanden. Die K-Belegung des Austauschers ist damit im gesamten Boden bemerkenswert niedrig. Austauschbares Al schliesslich hat in diesem Boden keine Bedeutung.

## Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Grösse der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 255 bis 257 dargestellt.

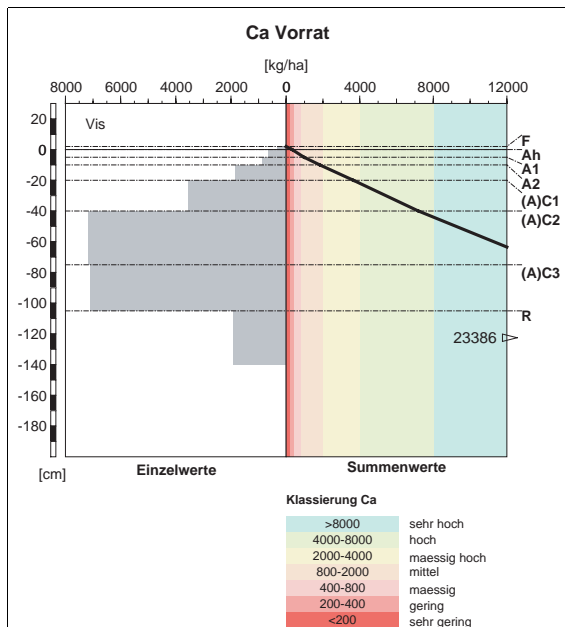


Abb. 255: Calcium-Vorrat

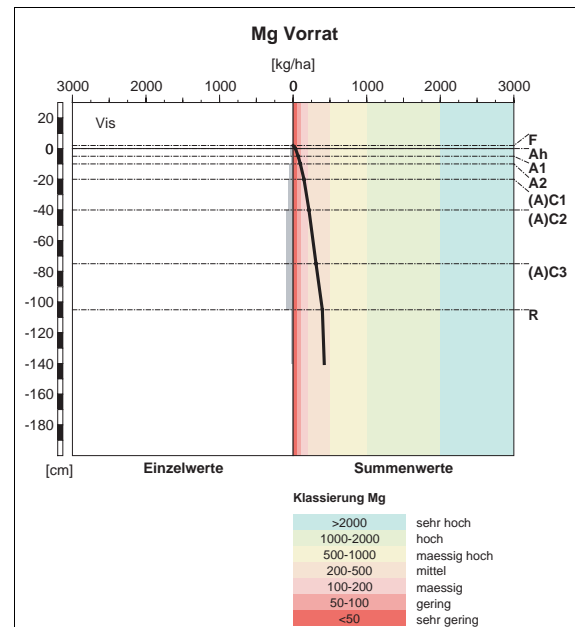


Abb. 256: Magnesium-Vorrat

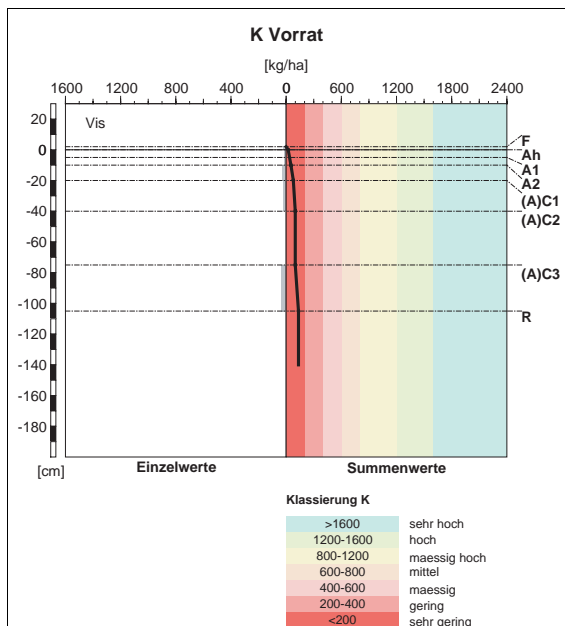


Abb. 257: Kalium-Vorrat

Die Mächtigkeit des Wurzelraumes ist infolge des Felsuntergrundes auf 100cm beschränkt. Dies vermindert die Nährstoffvorräte.

Die Vorräte der einzelnen Nährstoffkationen nehmen zur Tiefe hin in unterschiedlichem Ausmass zu. Der Ca-Vorrat nimmt rasch, jener von Mg langsam und jener von K sehr langsam zu.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca sehr hoch
- Mg mittel
- K sehr gering



Der Boden ist bis 100cm Tiefe durchwurzelt, darunter folgt Fels aus Bündnerschiefer. Der potentielle Wurzelraum wird somit vom Bestand vollständig ausgenutzt. Im gesamten Wurzelraum sind die Vorräte kaum höher als im Hauptwurzelraum. Sie werden wie folgt bewertet:

- Ca sehr hoch
- Mg mittel
- K sehr gering

Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als unausgewogen bewertet. Der K-Gehalt ist kritisch.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen an diesem extrem niederschlagsarmen Standort sehr ungünstige Bedingungen vor. Während der Vegetationszeit ist der Boden häufig bis in grosse Tiefen sehr trocken (siehe Themenbereich "Physikalische Bodenkennwerte").

### 2.2.15.6 Themenbereich "Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl"

Einleitend sind die am Profilort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 1 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 99) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 99: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Visp

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	730m
Exposition	N
Neigung	80%
Klima	
Jahresniederschlag	615mm
Jahrestemperatur	8.8°C
Ausgangsgestein	Gehängeschutt aus Bündnerschiefer
Baumbestand	
Struktur	stark aufgelichtet und stufig
Schlussgrad	50%
Baumarten (Deckung)	35% Waldföhre, 15% Mehlbeere
Oberhöhe	10-15m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 38: Turmkressen-Flaumeichenwald
<b>Bodenkennwerte</b> (beziehen sich auf das Profil Nr. 1)	
Bodensystematik	
Bodentyp	Pararendzina
Bodentyp (LWF-Fläche)	Syroseem-Braunerde (überwiegend Braunerde)
Humusform	Moder (Xeromoder)
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-(Xero-) Moder (überwiegend (Xero-) Moder)
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	Im Profil sind keine morphologischen Vernässungsmerkmale vorhanden. Einschränk-

Durchwurzelung	kungen des Luft- und Wasserhaushaltes durch Vernässung sind also nicht zu erwarten.  In 100cm Tiefe wird der Wurzelraum durch Fels aus Bündnerschiefer begrenzt. Der Boden wird damit physiologisch als tiefgründig klassiert. Er ist bis 100cm Tiefe durchwurzelt. Die physiologische Gründigkeit des Bodens wird damit vom aktuellen Baumbestand gut ausgenutzt.
pflanzenverfügbares Wasser	Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 100cm Tiefe wird als hoch klassiert. Es ist aber trotzdem anzunehmen, dass der Bestand unter dem trockenen Lokalklima häufig an Trockenstress leidet.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	Der Boden ist nur in der organischen Auflage (F-Horizont) und im obersten Mineralerdehorizont mässig sauer. Darunter nimmt der pH-Wert rasch zu und erreicht in 15cm Tiefe beim Übergang ins carbonathaltige Substrat Werte >7 und liegt damit ab dieser Tiefe im alkalischen Bereich. Die Kalkgrenze verläuft in 15cm Tiefe.
Al-Toxizität	Al-Toxizität ist in diesem Boden kein Thema. Es sind hinsichtlich Bodenversauerung in absehbarer Zeit keine negativen Auswirkungen auf die Vegetation zu erwarten.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Das als mittel klassierte C/N-Verhältnis lässt eine nur mittlere (etwas gehemmte) Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten, was durch die vorherrschende Humusform Moder bestätigt wird.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelteten Boden (100cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen wie folgt beurteilt: Ca: sehr hoch, Mg: mittel, K: sehr gering. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen ungünstige Bedingungen vor. In Trockenperioden dürfte der Bestand nicht nur an Trockenstress sondern auch an Nährstoffmangel leiden.
Verankerung	Die Bodengründigkeit und damit auch die Verankerung der Bäume variiert auf der LWF-Fläche stark. An flachgründigen Stellen ist die Verankerung mangelhaft - allerdings erreichen die Bäume dort nur bescheidene Höhen.
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert in Nässeperioden nur wenig empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil recht hoch ist. Ungünstig wirkt sich allerdings der hohe Schluffanteil aus.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der Bestand ist ein lückiger Föhrenwald mit üppiger Strauchschicht. Nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen wird die aktuelle Bestockung als nur teilweise standortgerecht bezeichnet. Natürlicherweise wäre neben der Föhre eine stärkere Beimischung der Flaumeiche vorhanden. Der Bestand ist seit einigen Jahren von einem grossen Föhrensterben betroffen. Daher ist er stellenweise aufgelichtet und stark verbuscht. Ferner gilt es zu beachten, dass die flachgründigen Partien infolge Wassermangel nicht waldfähig sind und nur von Buschvegetation bewachsen werden können.

#### *Keimbeet, Anwuchs- und Aufwuchsphase*

Auf der LWF-Fläche ist die Humusform meistens Moder oder Xeromoder. Die Mächtigkeit des Fermentationshorizontes beträgt durchschnittlich rund 2cm. Durch Einbringen von geeigneten Laubhölzern kann eine besser abbaubare Streumischung und damit eine schnellere Mineralisierung von Nährstoffen erzielt werden. Die Humusform würde sich in Richtung Mull entwickeln. Aus bodenkundlicher Sicht wäre ein grösserer Laubholzanteil aber nicht nur

für die Erhöhung der Nährstoffumsetzung wünschenswert. Durch die generell tiefe Durchwurzelung der Laubhölzer würde auch die Bestandesstabilität erhöht.

Die Baumartenwahl ist an diesem Standort jedoch klimatisch bedingt stark eingeschränkt, insbesondere infolge der grossen Sommertrockenheit. Unter den Laubhölzern kommen einzig die Flaumeiche und allenfalls die Mehlbeere als Beimischung zur Föhre im Hauptbestand in Frage. Alle übrigen Laubhölzer dürften klimatisch bedingt nur wenige Meter hoch werden und daher nur für den Nebenbestand in Frage kommen.

#### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 100):

Tab. 100: Baumartenempfehlung

<b>Baumarten im Hauptbestand</b>	Waldföhre, Flaumeiche, (Mehlbeere)
<b>Baumarten im Nebenbestand oder beigemischt</b>	Als Bodenverbesserer sind folgende Baumarten möglich: Flaumeiche, Mehlbeere, Zitterpappel, Vogelbeere, Kirschbaum, Esche

## 2.2.16 LWF-Fläche Vordemwald (Bodenprofil Nr. 1)

### 2.2.16.1 Themenbereich "Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie"

Dieser Themenbereich ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche, zum Bodenprofil Nr. 1 und zu den Bodenbildungsfaktoren gegeben. Danach wird kurz auf die Verbreitung dieses Bodens in der Schweiz und auf Besonderheiten am Profilort eingegangen. Der zweite Abschnitt ist der Morphologie und Klassierung des Bodens gewidmet.

#### Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Vordemwald und zum Bodenprofil Nr. 1

Die Tab. 101 enthält zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Vordemwald und zum Profil Nr. 1. Die Tab. 102 orientiert über die Bodenbildungsfaktoren am Profilort.

Tab. 101: Zusammenfassende Angaben zur LWF-Fläche Vordemwald und zum Profil Nr. 1

<b>Lokalname</b>	Untervald (Gemeinde Vordemwald, Kt. AG)
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1108, Murgenthal
	Koordinaten 633 909 / 236 004
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli, 1972)	Nr. 46: Peitschenmoos-Fichten-Tannenwald ( <i>Bazzanio-Abietetum</i> )
<b>Horizontfolge</b>	L-F-Ah-ASw-ESw-Sw-Sd1-Sd2-Sd3
<b>Humusform</b>	Moder (Feuchtmoder)
<b>Bodentyp</b>	Stagnogley
<b>Bodentyp nach FAO</b>	Dystric Planosol

Tab. 102: Bodenbildungsfaktoren beim Profil Nr. 1

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	480m	
	Exposition	NW	
	Neigung	14%	
	Geländeform	Mittelhang	
<b>Ausgangsgestein</b>	Oberfläche	Quartär. Rissgrundmoräne.	
	Untergrund	Tertiär. Oligozän. Aquitanien. Untere Süsswassermolasse. Bunte Mergel.	
	Beobachtung am Profilort	Bunte Mergel kommen ab einer Tiefe von 2m vor.	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	8.4°C / 1106mm	
	T / N Januarmittel	- 0.6°C / 85mm	
	T / N Julimittel	17.8°C / 93mm	
	Tage mit Schneedecke	51	
	Wärmegliederung	ziemlich mild	
	Länge der Vegetationsperiode	200-205 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	<b>häufigste Arten</b>
	Baumschicht (30m Höhe)	95%	60% Tanne ( <i>Abies alba</i> ) 15% Eiche ( <i>Quercus robur</i> , <i>Quercus petraea</i> )
	Strauchschicht	0%	-
	Krautschicht	8%	Dorniger Wurmfarne ( <i>Dryopteris austriaca</i> ) Heidelbeere ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ) Gemeiner Sauerklee ( <i>Oxalis acetosella</i> )
	Mooschicht	10%	-

#### Verbreitung gemäss Kartierungseinheit der Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit K1 (mittleres Molassehügelland mit teilweiser glazialer Überformung, Plateaus und Hangterrassen). K1 stellt 41 Stichproben des Landesforstinventars. Das Profil repräsentiert damit 0.4% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11863 Stichproben.

### Besonderheiten am Profilort

Der Boden ist auf der LWF-Fläche vermutlich aus zwei verschiedenen geologischen Substraten aufgebaut. Oberflächlich ist vor allem Moränematerial (evtl. mit Beimengung von Löss) aus der Risseiszeit vorhanden. Ab rund 2m Tiefe stösst man auf Schichten von braunen bis rötlichen Mergeln und Sanden. Das Profil wird nur bis 2m Tiefe und damit im Bereich der Rissmoräne dokumentiert.

### Profilmorphologie und Klassierung

Einige wichtige im Bodenprofil angesprochene Bodenmerkmale sind in Tab. 103 zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Tab. 103: Skizze und morphologische Merkmale des Profils Nr. 1

[cm]	LWF-Vorderwald Nr. 1	Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydromorphie	Farbe Soil Color Chart	Durchwurzelung
+20		F	3.5-0	-	-	-	-	-	-	-
0		Ah	0-5	sehr schwach	IU	Einzelkorn	locker	ohne	10 YR 1.7	stark
5		ASw	5-10	sehr schwach	IU	Fragmente	locker	(Nassbleichung)	10 YR 3/4	mittel
10		ESw	10-20	sehr schwach	IU	Fragmente	mittel	Nassbleichung	2.5 Y 7/3	schwach
20		Sw	20-60	sehr schwach	IU	Fragmente	mittel	Konkretionen Marmorierungen	10 YR 7/3	schwach
40		Sd1	60-100	mittel	L	Fragmente	dicht	Konkretionen Marmorierungen	fleckig	wurzelfrei
60	Sd2	100-155	mittel	L	Fragmente	dicht	Konkretionen Marmorierungen	fleckig	wurzelfrei	
80	Sd3	155-210	mittel	L	Fragmente	dicht	Konkretionen Marmorierungen	fleckig	wurzelfrei	
100										
120										
140										
160										
180										
200										

Das Vorhandensein einer organischen Auflage deutet darauf hin, dass die biologische Aktivität gehemmt ist. Die überwiegend von Nadelhölzern stammende Streu wird langsam und unvollständig abgebaut. Mit der Horizontfolge L-F-Ah wird die Humusform als Moder klassiert. Im Profil und seiner unmittelbaren Umgebung kommen Vernässungsmerkmale stellenweise bis unmittelbar unter den F-Horizont vor. Dort ist die Humusform ein Feuchtmoder.

Im rund 2m tief aufgeschlossenen Mineralboden lassen sich morphologisch fünf Horizonte unterscheiden. Da der Sd-Horizont in verschiedenen Tiefen beprobt wurde, sieht die Horizontfolge des Profils wie folgt aus: Ah-ASw-ESw-Sw-Sd1-Sd2-Sd3. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Stagnogley klassiert. Typisch für diesen Bodentyp ist die Nassbleichung im Oberboden (ESw-Horizont). Der überwiegende Teil des Bodenprofils ist zudem durch grossflächige Vernässungserscheinungen gekennzeichnet, was auf einen häufig wechselnden Vernässungsgrad schliessen lässt.

### *Besonderheiten des Profils*

Bis in eine Tiefe von fünf Metern wurde keine Kalkgrenze gefunden. Der pH-Wert liegt selbst in dieser Tiefe bei rund 5.0 und damit im stark sauren Bereich. Die Verwitterung ist in diesem Boden sehr weit fortgeschritten. Man kann davon ausgehen, dass der ursprünglich in der Moräne und im darunterliegenden Mergel vorhandene Kalk für die Säurepufferung verbraucht wurde.

Das Profil ist nur bis 60cm Tiefe durchwurzelt. Untersuchungen im Nahbereich der Bäume haben jedoch ergeben, dass Feinwurzeln in diesem Boden bis mindestens in eine Tiefe von 150cm vorstossen. Weder die starke Vernässung noch die relativ grosse Dichte im Unterboden vermögen also das Wurzelwachstum vollständig zu unterbinden.

Der Boden wurde bis 20cm Tiefe nicht nach Horizonten, sondern, entsprechend dem europäischen Monitoringstandard, nach fixen Tiefenstufen beprobt. Unterhalb 20cm wurde das Profil nach Horizonten beprobt. Der Sd-Horizont wurde aufgrund seiner grossen Mächtigkeit in drei Zonen aufgeteilt und zonenweise beprobt.

### 2.2.16.2 Themenbereich “Physikalische Bodenkennwerte“

Im ersten Abschnitt des Themenbereichs wird das Bodenprofil Nr. 1 anhand gemessener oder mittels Literaturangaben hergeleiteter physikalischer Bodenkennwerte charakterisiert. Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie seiner Eignung als Pflanzenstandort.

#### Physikalische Charakterisierung des Bodens

Nachfolgend werden einige physikalische Kennwerte des Bodens beschrieben. Dabei wird bewusst auf jegliche Interpretation verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte präsentiert werden sollen.

#### *Skelettgehalt und Bodenart*

In Abb. 258 ist der Skelettgehalt und in Abb. 259 die Bodenart dargestellt.

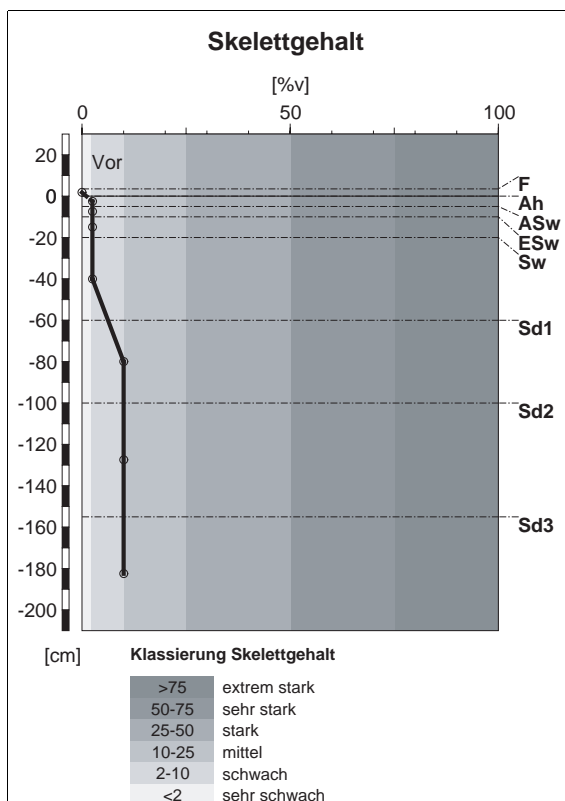


Abb. 258: Skelettgehalt

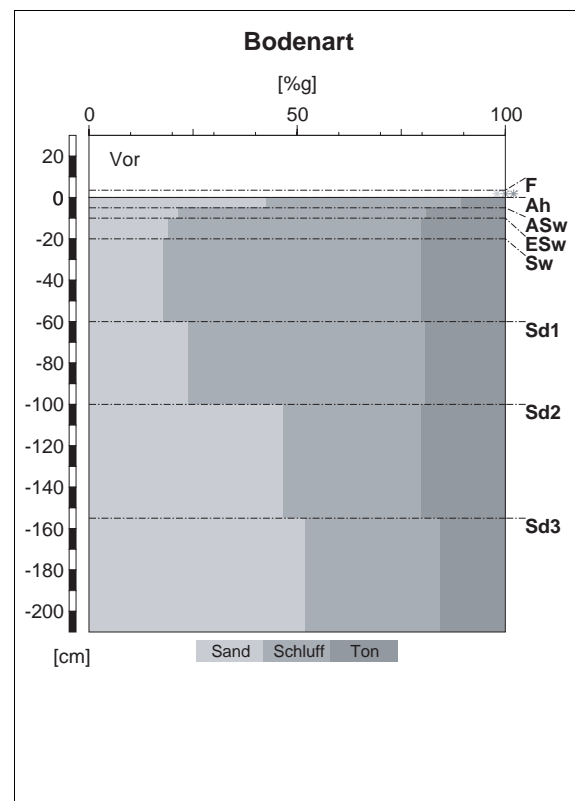


Abb. 259: Bodenart

Der Boden wird insgesamt als schwach skeletthaltig beurteilt. Auch in grösserer Bodentiefe sind nur wenige Steine vorhanden. Dies ist kaum erstaunlich, denn es handelt sich um einen sehr alten Boden, der aus Rissmoräne entstanden ist. Die ursprünglich vorhandenen Steine sind durch die Verwitterung bereits weitgehend zu Feinerde umgewandelt worden.

Bis in eine Tiefe von 100cm ist der Boden ausgesprochen schluffig. Weiter unten dominiert der Sandanteil. Ton kommt über das gesamte Profil hinweg in relativ konstanten Mengen vor. Gemessen am Tongehalt handelt es sich um einen mittelschweren Boden.

### Dichte und Wasserleitfähigkeit

In Abb. 260 ist die Dichte der Feinerde und in Abb. 261 die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden dargestellt.

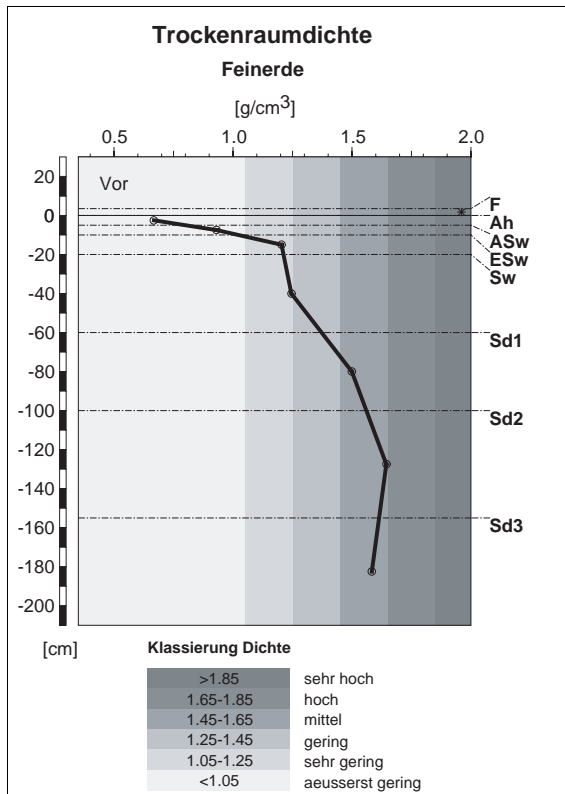


Abb. 260: Dichte der Feinerde

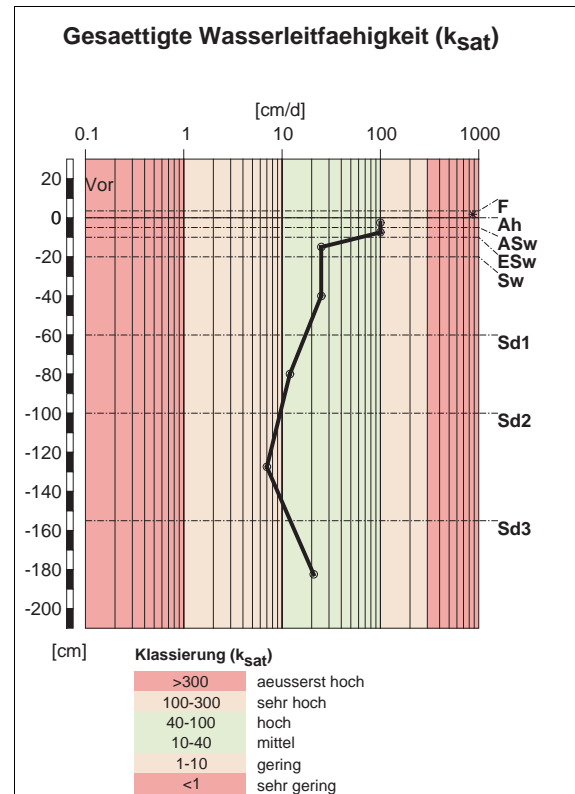


Abb. 261: Leitfähigkeit im gesättigten Boden

Der Oberboden ist sehr humusreich und daher äusserst locker. Die Dichte der Feinerde nimmt nach unten rasch zu und erreicht im Sd2-Horizont das Maximum. Die Dichte der Feinerde des Unterbodens liegt im Bereich mittel-hoch.

Der Oberboden ist aufgrund seiner sehr geringen Dichte hochdurchlässig. Nach unten nimmt die Durchlässigkeit stark ab. Die geringste Leitfähigkeit weist der Sd2-Horizont auf. Die bei der Profilansprache im Wald vorgenommene Einteilung in Stauwasserleiter (Sw) und stauender Horizont (Sd) wird durch die Dichte- und Leitfähigkeitskurve bestätigt.

## Pflanzenverfügbares Wasser

Die Abb. 262 orientiert über das im Boden speicherbare pflanzenverfügbare Wasser.

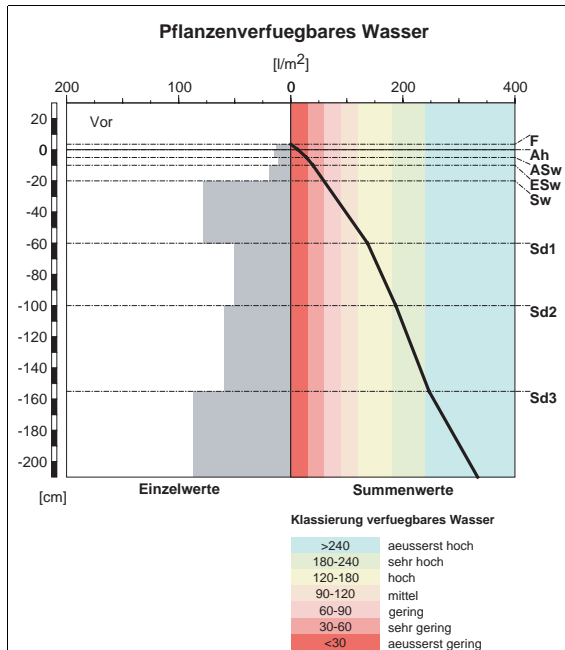


Abb. 262: Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe ist sehr hoch. Der grosse Schluffanteil und der geringe Skelettgehalt wirken sich positiv auf die Speicherkapazität aus. Es wird angenommen, dass der Wurzelraum nach unten offen ist.

## Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten ableiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

### *Luft- und Wasserhaushalt des Bodens*

Im Profil sind Vernässungserscheinungen offensichtlich. Infolge der periodischen Wassersättigung des Oberbodens und dem damit verbundenen Sauerstoffmangel wurden Stoffe aus den oberen Bodenpartien ausgewaschen. Dieser Auswaschungsprozess, der als Nassbleichung bezeichnet wird, kommt durch den hellgrauen, gleich unterhalb an den dunklen Oberboden anschliessenden ESw-Horizont zum Ausdruck.

Unter dem ESw-Horizont folgt zuerst der mässig wasserleitende Stauwasserleiter (Sw-Horizont) und anschliessend jene Zone, welche den Wasserstau verursacht (Sd-Horizont). Am intensivsten wird das Wasser im Sd2-Horizont gestaut, weil dort, gemäss Leitfähigkeitskurve, die Durchlässigkeit am geringsten ist.

Im gesamten Profil sind rostige, oxidierte Stellen erkennbar, was auf zeitweilige Versorgung des Bodens mit Sauerstoff schliessen lässt.

Der Boden wird aufgrund der beobachteten Vernässungsmerkmale als sehr stark pseudo-vergleyt bewertet. Die periodische Vernässung wird durch Rückstau von Regenwasser verursacht. Grundwasser hat in diesem Boden keine Bedeutung.

### *Durchwurzelung und Wasserversorgung des Baumbestandes*

Nur die obersten 60cm des Profils sind durchwurzelt. Es ist anzunehmen, dass das Wurzelwachstum sowohl durch die Bodendichte als auch durch die periodisch begrenzte Sauerstoffverfügbarkeit infolge Vernässung beeinträchtigt wird. Unterhalb 60cm überschreitet die Dichte der Feinerde den für das Wurzelwachstum als kritisch erachteten Wert von 1.4kg/dm<sup>3</sup>.



Der Boden wird als sehr tiefgründig (>150cm) klassiert, obwohl er im Profil nur bis 60cm durchwurzelt ist. Untersuchungen im Nahbereich der Bäume haben ergeben, dass Feinwurzeln in diesem Boden bis mindestens 150cm Tiefe vorstossen.

Saugspannungsmessungen in den Jahren 1996-2001 auf diesem Standort zeigen, dass der Boden in dieser Messperiode während der Vegetationszeit nie stärker ausgetrocknet und die Wasserversorgung des Baumbestandes demnach stets ausreichend war (Daten hier nicht gezeigt). In dieser Periode fielen während der Vegetationszeit im Vergleich zu den langjährigen monatlichen Minimalwerten (25% Quantil  $\approx$  100%) folgende monatlichen Summen (Station Wynau (422 M.ü.M.; 626400/233860; Messperiode 1978-2002); Daten Meteo Schweiz, bearbeitet durch M. Rebetez):

	Mai		Juni		Juli		August		September	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
<b>1996</b>	107	168	78	100	71	87	134	186	37	77
<b>1997</b>	44	68	159	204	106	130	49	68	72	148
<b>1998</b>	30	47	118	151	101	125	95	131	201	415
<b>1999</b>	139	217	142	183	101	125	157	217	130	269
<b>2000</b>	124	193	107	138	188	231	103	143	97	200
<b>2001</b>	64	100	178	229	125	153	123	170	153	316

Im langjährigen Vergleich relativ niederschlagsarm (Niederschlagsmengen <25% Quantil ( $\approx$ 100%)) waren im Jahr 1996 die Monate Juli und September, im Jahr 1997 die Monate Mai und August und im Jahr 1998 der Monat Mai. Wie die Saugspannungsmessungen belegen, war der Boden aber selbst während diesen relativ niederschlagsarmen Perioden nicht übermässig trocken.

Unter der Annahme eines Wurzelraumes von 120cm Mächtigkeit ist gemäss unseren Berechnungen damit zu rechnen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 25 Tagen unter Trockenstress zu leiden beginnt. Da der Boden aber tiefer als 120cm durchwurzelt ist, dürfte Trockenstress erst später eintreten.

Der stauende Untergrund hat während Trockenperioden positive Auswirkungen auf die Wasserversorgung der Bäume, indem er Wasser im Wurzelraum zurückhält.

#### *Bodenbefahrbarkeit*

Der Boden reagiert sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil sehr gering und der Ton- und Schluffanteil hoch ist. Da der Boden an diesem Standort häufig nass ist und im Winter nur oberflächlich gefriert, ist eine forstliche Bewirtschaftung aus bodenökologischer Sicht nur in Trockenperioden wenig problematisch.

### **2.2.16.3 Themenbereich "Säurezustand"**

Im ersten Abschnitt dieses Themenbereichs wird der Säurezustand des Bodenprofils Nr. 1 charakterisiert. Im zweiten Abschnitt folgen Interpretationen zum Säurezustand.

#### Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden Abbildungen des pH-Wertes (Abb. 263), der Belegung des Kationenaustauschers (Abb. 264) sowie der Basensättigung (Abb. 265) verwendet. In unseren Ausführungen wird bewusst auf jegliche Interpretation der Daten verzichtet, weil vorerst nur gesicherte Sachverhalte dargestellt werden sollen.

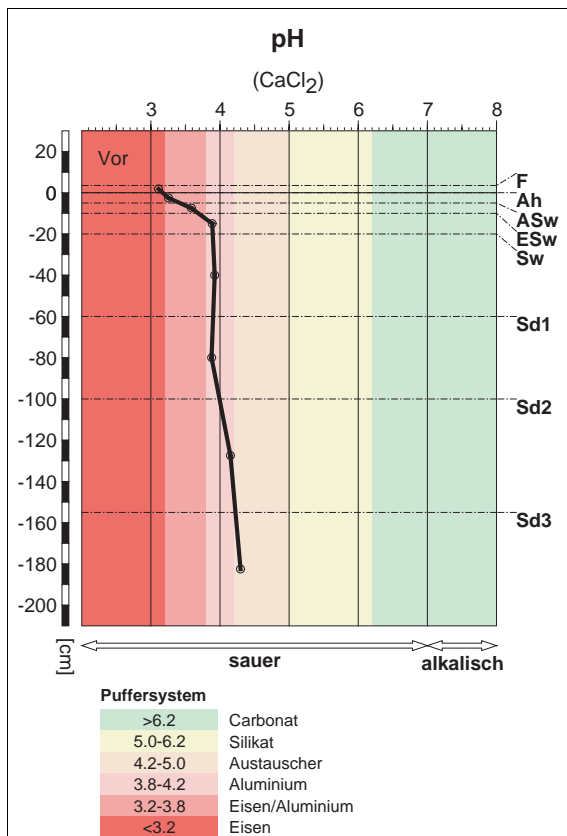


Abb. 263: pH-Wert und Pufferbereiche

Der Boden ist bis 100cm Tiefe sehr stark, darunter stark sauer. Die organische Auflage und der humushaltige Oberboden sind am stärksten versauert.

Hier werden eingetragene Säuren überwiegend durch Auflösung pedogener Fe- und Al-Hydroxide gepuffert. Zwischen 10 und 150cm Tiefe sind vor allem Al-Hydroxide als Puffer wirksam. Ab 150cm Tiefe werden eingetragene Säuren mehrheitlich durch Kationenaustausch neutralisiert.

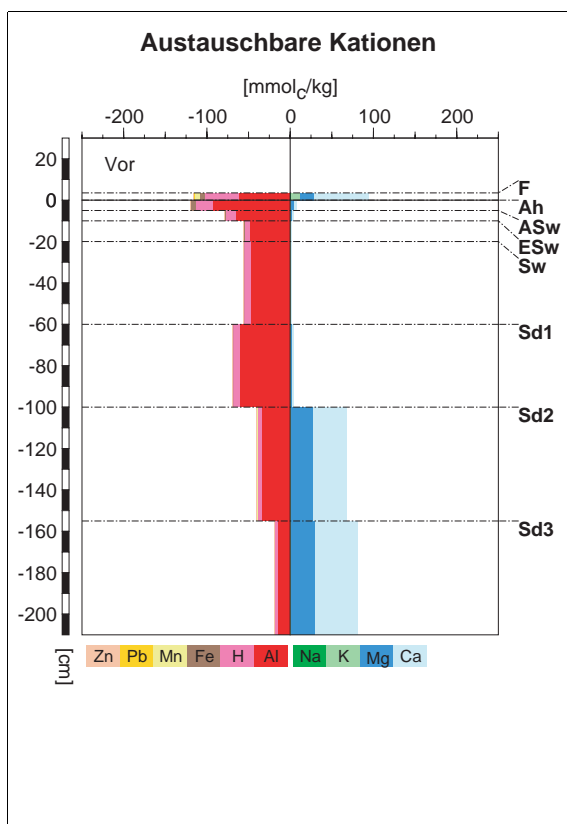


Abb. 264: Austauschbare Kationen

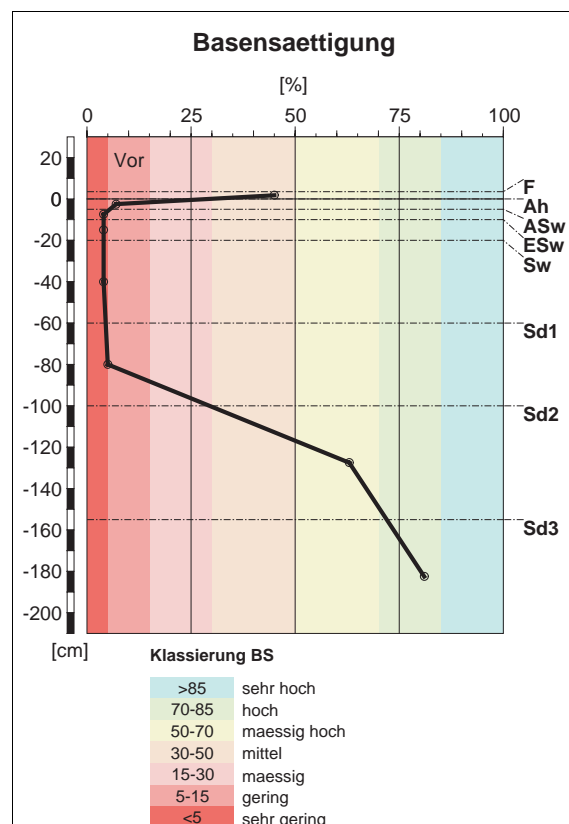


Abb. 265: Basensättigung

Im Fermentationshorizont befinden sich trotz tiefem pH-Wert erhöhte Gehalte an Nährstoffkationen am Austauscher. Im Vergleich zu den unmittelbar darunterliegenden Oberbodenhorizonten ist die Basensättigung im F-Horizont mit rund 45% deutlich erhöht.

Im humosen Oberboden ist der Kationenaustauscher, entsprechend der hier wirksamen Pufferung durch pedogene Fe- und Al-Hydroxide, überwiegend mit sauren Kationen, insbesondere Al belegt. Dass neben Al- auch Fe-Hydroxide an den Pufferungsprozessen beteiligt sind, wird durch die relativ hohe Fe-Belegung am Austauscher ersichtlich. Die Basensättigung beträgt rund 5% und ist damit sehr gering.

Unter dem humosen Oberboden ist der Austauscher bis in eine Tiefe von rund 100cm, entsprechend der hier wirksamen Pufferung durch Al-Hydroxide, überwiegend mit Al belegt. Die Basensättigung ist mit rund 5% sehr gering.

Ab 100cm Tiefe nehmen die Gehalte an sauren Kationen mit zunehmender Tiefe kontinuierlich ab, jene der Nährstoffkationen entsprechend zu. Daher steigt auch die Basensättigung an. Sie übersteigt ab einer Tiefe von 150cm Werte von 75% und ist damit, verglichen mit der immer noch stark sauren Bodenreaktion (pH CaCl<sub>2</sub> 4.3), relativ hoch.

### Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand des Bodens zu interpretieren. Dabei geht es darum, den Stand der Bodenversauerung zu beurteilen und die Disposition des Bodens für weitere Versauerung abzuschätzen.

#### *Stand der Bodenversauerung*

Als Folge der an diesem Standort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem Ausgangsgestein (Rissmoräne) ein sehr tiefgründiger Stagnogley entwickelt.

Der Boden ist sehr stark und sehr tiefgründig versauert, was sich an der grossen Tiefe der Kalkgrenze, am profillumfassend niedrigen pH-Wert und an der bis 100cm Tiefe stark reduzierten Basensättigung erkennen lässt. Die Kalkgrenze verläuft heute in einer Tiefe von mehr als 4.5m, was bedeutet, dass das ursprünglich vorhandene Carbonat bis in diese Tiefe für die Säurepufferung aufgebraucht worden ist.

Nährstoffkationen werden im gesamten Profil durch saure Kationen, insbesondere Al, vom Austauscher verdrängt. Dies wird durch die reduzierte Basensättigung belegt.

Obwohl der Boden profillumfassend stark sauer reagiert, ist die Basensättigung in der organischen Auflage relativ hoch, was durch die ständige Nachlieferung von Nährstoffen mit dem Streufall erklärt werden kann. Unterhalb 100cm steigt die Basensättigung viel schneller an als dies der pH-Verlauf erwarten lässt. Mögliche Gründe sind, dass hier die Säurepufferung durch Auflösung von pedogenen Hydroxiden noch nicht sehr lange wirkt und / oder die Nährstoffkationen infolge des speziellen Wasserhaushaltes nicht oder nur langsam in den Untergrund ausgewaschen werden (Stauwasser) oder sich sogar anreichern (kapillarer Aufstieg von Nährstoffen im Bodenwasser).

#### *Risikoabschätzung und mögliche Auswirkungen einer weitergehenden Bodenversauerung*

Der Risikoabschätzung liegt die Annahme zugrunde, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Bei der Risikobeurteilung einer Grundwasserkontamination mit Schwermetallen werden die effektiv gemessenen Schwermetallgehalte nicht berücksichtigt. Es erfolgt also lediglich eine Schätzung, ob in Zukunft mit einer Kontamination gerechnet werden muss. Über das Ausmass einer allfälligen Grundwasserbelastung kann keine präzise Aussage gemacht werden.

Der Boden wird als empfindlich für eine weitere Versauerung beurteilt, zumal der gesamte Wurzelraum sehr sauer ist.

Infolge des tiefen pH-Wertes ist der Abbau der organischen Substanz gehemmt, so dass sich auf der LWF-Fläche eine geschlossene und recht mächtige organische Auflage (Moder) gebildet hat. Bei weiter fortschreitender Bodenversauerung wird die organische Auflage noch mächtiger werden, wodurch die Versauerungsprozesse zusätzlich beschleunigt werden.

Eine fortschreitende Bodenversauerung hat zur Folge, dass insbesondere unterhalb von 100cm Tiefe die Verdrängung von Nährstoffkationen durch Al fortschreiten wird. Die Zone mit sehr geringer Basensättigung wird sich dadurch in die Tiefe ausdehnen. Dabei ist mit einer verstärkten Nährstoffauswaschung aus dem gesamten Wurzelraum zu rechnen.

Das Baumwachstum dürfte bei einer weitergehenden Bodenversauerung durch die Verarmung an Nährstoffen sowie durch das enger werdende BC/Al-Verhältnis im Wurzelraum beeinträchtigt werden. Den Pflanzen stehen mit fortschreitender Bodenversauerung immer weniger Nährstoffkationen (Ca, Mg, K) zur Verfügung, weil einerseits die Basensättigung abnimmt und sich andererseits die nährstoffverarmte Zone in die Tiefe ausdehnt. In der Bodenmatrix werden bis in eine Tiefe von rund 100cm minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.05 erreicht. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird damit unterschritten. An diesem Nadelholzstandort besteht folglich ein Risiko für Al-Toxizität. Durch weitergehende Versauerung wird dieses Risiko zusätzlich erhöht. Eine Beeinträchtigung des Wurzelwerkes durch Al wäre auf diesem Standort auch deshalb kritisch, weil dadurch die vorwiegend im Unterboden gespeicherten Vorräte an Nährstoffkationen schlechter genutzt werden könnten und in der Folge mit Nährstoffmangel und einseitiger Ernährung des Baumbestandes gerechnet werden müsste.

Durch weitere Versauerung nimmt die Mobilität der meisten Schwermetalle zu, so dass ein erhöhtes Risiko für die Tiefenverlagerung solcher Schwermetalle besteht. Da der Boden bis in grosse Tiefen stark sauer reagiert und in den oberen Bodenpartien durch lateral fließendes Wasser beeinflusst ist, wird das bereits heute bestehende Risiko für eine Grundwasserkontamination bei weitergehender Versauerung noch zusätzlich erhöht.

#### **2.2.16.4 Themenbereich “Schwermetalle“**

In diesem Themenbereich werden verschiedene schwermetallrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt.

##### Methodische Angaben

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF) ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBo (1998), der auf HNO<sub>3</sub>-extrahierbaren Gehalten beruht.

Im Falle von Cadmium waren die verwendeten Methoden für eine einwandfreie Interpretation der Daten zu wenig nachweisstark.

Die VBBo-Richtwerte gelten bei einem Humusgehalt <15% in mg/kg, ansonsten in mg/dm<sup>3</sup>. In den Abbildungen, in welchen die Tiefenverteilung der Schwermetalle dargestellt ist, sind die Gehalte in mg/kg angegeben. Für die Schwermetallgehalte in mg/dm<sup>3</sup> (Ah-Horizont) wird auf die Datentabelle im Anhang verwiesen. Im F-Horizont konnte der volumenbezogene Gehalt (mg/dm<sup>3</sup>) mangels Kenntnis der Dichte nicht berechnet werden. Daher erfolgt dort keine Richtwertbeurteilung.

Das unverwitterte Ausgangsgestein liegt hier sehr tief. Die Totalgehalte im Sd3-Horizont, welche als Referenz für die Berechnung der Anreicherungsfaktoren und Wertung der lithogenen Grundgehalte verwendet wurden, entsprechen kaum den effektiven lithogenen Grundgehalten.

Bei der Wertung der lithogenen Grundgehalte wird im untersten Horizont für Cr ein Gehalt von 40mg/kg angenommen, da der Gehalt unter der Bestimmungsgrenze liegt.

### Wertung der lithogenen Grundgehalte

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus skelettarmer Rissmoräne besteht, liegen die Ni-, Cu-, Zn- und Pb-Gehalte innerhalb und die Cr-Gehalte unterhalb typischer Wertebereiche der Lithofazies 24 (Glaziallehme).

Im Ausgangsgestein liegen, verglichen mit den Angaben für das Gebiet Mittelland, erhöhte Gehalte an Ni, Cu und Zn vor. Für die zwei Schwermetalle Pb und Cr sind die Gehalte niedrig.

### Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Die Tiefenverteilung der Schwermetalle ist in Abb. 266 (Ni, Pb, Zn) und Abb. 267 (Cr, Cu) dargestellt. Die Bestimmungsgrenzen sind als "Δ", die Richtwerte der VBBo als "◇" markiert.

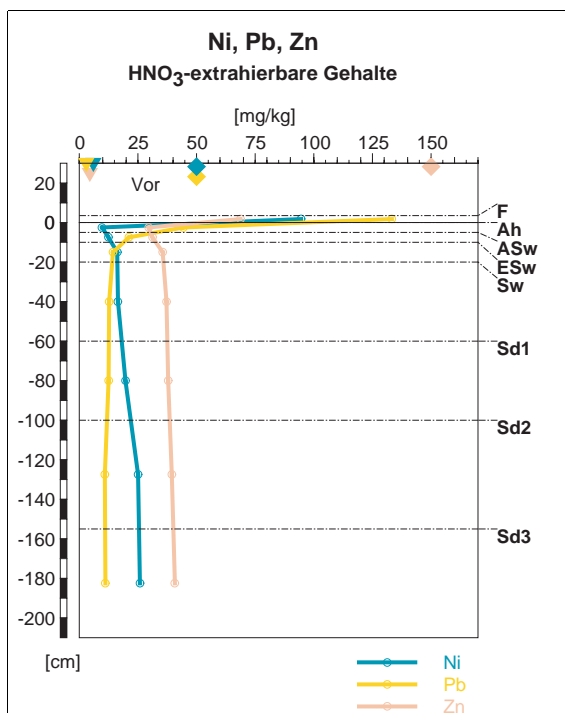


Abb. 266: Ni-, Pb- und Zn-Gehalte

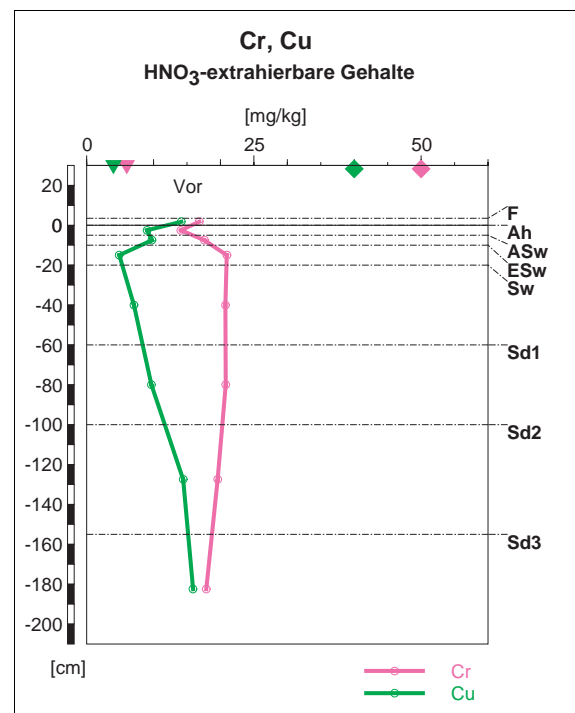


Abb. 267: Cr- und Cu-Gehalte

Im Vergleich zur VBBo sind die Zn-Gehalte in der Mineralerde niedrig. Die Cr- und Cu-Gehalte sind niedrig bis sehr niedrig und die Ni- und Pb-Gehalte sehr niedrig bis erhöht. Die erhöhten Gehalte finden sich beim Pb in den obersten 5cm, beim Ni dagegen ab 100cm Tiefe.

Die Richtwerte der VBBo werden in der Mineralerde nicht überschritten.

In der organischen Auflage kann die Richtwertbeurteilung nicht vorgenommen werden, weil die dazu nötigen volumenbezogenen Gehalte ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) nicht bekannt sind. Rein gutachtlich beurteilt dürften die Richtwerte in der organischen Auflage für Pb und allenfalls auch für Ni überschritten sein.

### Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den Mineralerdehorizonten des Oberbodens sind alle Schwermetalle in Gehalten vorhanden, welche für die Bodenfauna von Waldböden nicht als kritisch erachtet werden. In der organischen Auflage wird jedoch für Cr der in der Literatur angegebene kritische Wert deutlich überschritten.

## Anreicherungsfaktoren

Die Anreicherungsfaktoren sind in Tab. 104 dargestellt.

Tab. 104: Anreicherungsfaktoren

Horizont	Tiefe [cm]		Anreicherungsfaktor				
			Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Ah	0	- 5	1.40	0.38	0.15	0.21	nb
ASw	5	- 10	0.67	0.37	0.18	0.22	nb
ESw	10	- 20	0.64	0.48	0.13	0.36	nb
Sw	20	- 60	0.53	0.52	0.22	0.31	nb
Sd1	60	- 100	0.47	0.51	0.35	0.45	nb
Sd2	100	- 155	1.10	1.19	1.21	1.17	nb
Sd3	155	- 210	1.00	1.00	1.00	1.00	nb

Auffällig ist in diesem Profil die relativ tiefgreifende Verarmungszone für Cu, Ni und Zn und in abgeschwächter Form auch für Pb. Für diese Verarmung dürfte einerseits der sehr tiefe pH-Wert, andererseits aber auch die häufig bis an die Bodenoberfläche durchgreifende Vernässung sowie die saure organische Auflage mit ihren unvollständig abgebauten organischen Substanzen verantwortlich sein. In Nässeperioden werden die Schwermetalle von den in der Bodenlösung vorhandenen organischen Komplexbildnern gebunden und in die Tiefe verlagert. Ein Hinweis für eine derartige Auswaschung gibt der nassgebleichte, helle ESw-Horizont.

Im Profil findet sich bis in eine Tiefe von 200cm keine deutliche Anreicherungszone für die in die Tiefe verlagerten Schwermetalle. Im Sd2-Horizont sind die Anreicherungsfaktoren aller Schwermetalle aber immerhin deutlich grösser als in den oberen Bodenpartien, was auf eine geringfügige Anreicherung in diesem Horizont deutet.

In 0-5cm Tiefe weist der erhöhte Anreicherungsfaktor von Pb auf atmogene Einträge hin. Die Anreicherung von Pb dürfte anthropogen bedingt sein. Das aus der Luft eingetragene Pb wird im Ah-Horizont an die organische Substanz gebunden und angereichert.

## Schätzung der Mobilität von Schwermetallen im Bodenprofil

Über die Mobilität ausgewählter Schwermetalle im Profil orientiert Abb. 268.

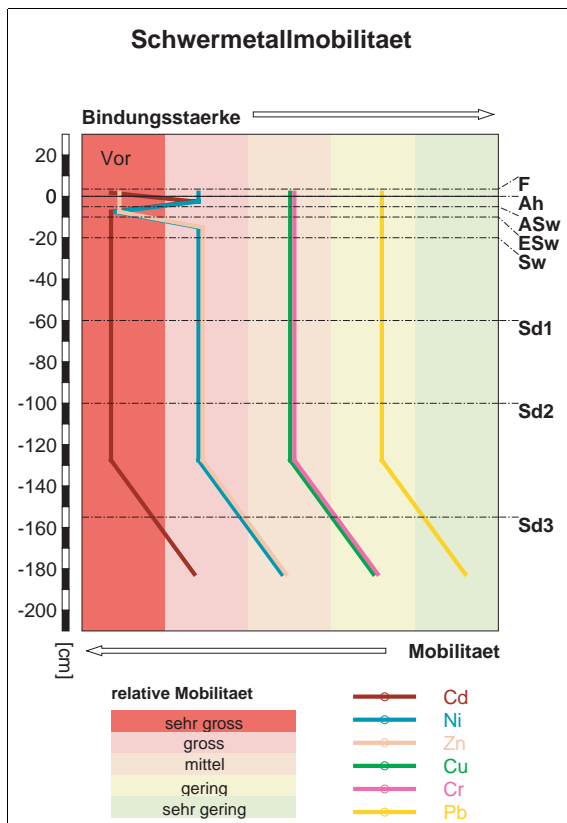


Abb. 268: Mobilität von Schwermetallen

Gemäss Mobilitätsindices ist in diesem stark sauren Boden mit hohen Mobilitäten der meisten Schwermetalle zu rechnen. Mobilitätsfördernd wirkt sich die zeitweilige Vernässung des Bodens in Kombination mit organischen Komplexbildnern in der Bodenlösung aus. In diesem nassgebleichten Stagnogley dürfte die Mobilität der meisten Schwermetalle hoch sein.

Einen weiteren, in der vorliegenden Arbeit nicht quantifizierbaren Einfluss auf die Schwermetallverlagerung haben die im Jahresverlauf häufig schwankenden Redoxverhältnisse.

Das Risiko für eine Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist an diesem Standort gross. Bohrungen haben ergeben, dass der Boden selbst in 4.5m Tiefe noch sauer ist und damit die Mobilität der Schwermetalle bis in grosse Tiefen begünstigt. Da der Boden temporär stark vernässt ist, können Schwermetalle sowohl lateral als auch vertikal aus dem Profil ins Grundwasser ausgewaschen werden.

### 2.2.16.5 Themenbereich "Nährstoffe"

Dieser Themenbereich, der verschiedene nährstoffrelevante Aspekte des Bodenprofils Nr. 1 behandelt, ist in drei Abschnitte gegliedert. Einleitend wird die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden beurteilt. Der zweite Abschnitt thematisiert die Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bodentiefen. Im letzten Abschnitt werden die Nährstoffvorräte im Boden bewertet.

#### Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit werden neben morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge zusätzlich der pH-Wert sowie das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen.

Humusform und Bodengefüge lassen auf eine eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit schliessen. Der Abbau der organischen Substanz ist stark gehemmt. Den Bodenorganismen gelingt es nicht, die anfallende Streu innert Jahresfrist vollständig zu zersetzen. Die Mächtigkeit der organischen Auflage beträgt auf der LWF-Fläche durchschnittlich rund 2cm. Die Humusform ist meist Moder, vereinzelt kommt auch Mull vor. Der gehemmte Abbau ist an diesem Standort durch die stark sauren und nassen Bodenverhältnisse sowie die schwer abbaubare Nadelstreu bedingt.

Das C/N-Verhältnis beträgt in der organischen Auflage rund 21 und liegt damit in einem Bereich, der, gemäss Literaturangaben, für Moder üblich ist. Das als mässig weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine niedrige Mineralisierungsrate für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen.

## Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität (Abb. 269) und die Austauscherbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K (Abb. 270).

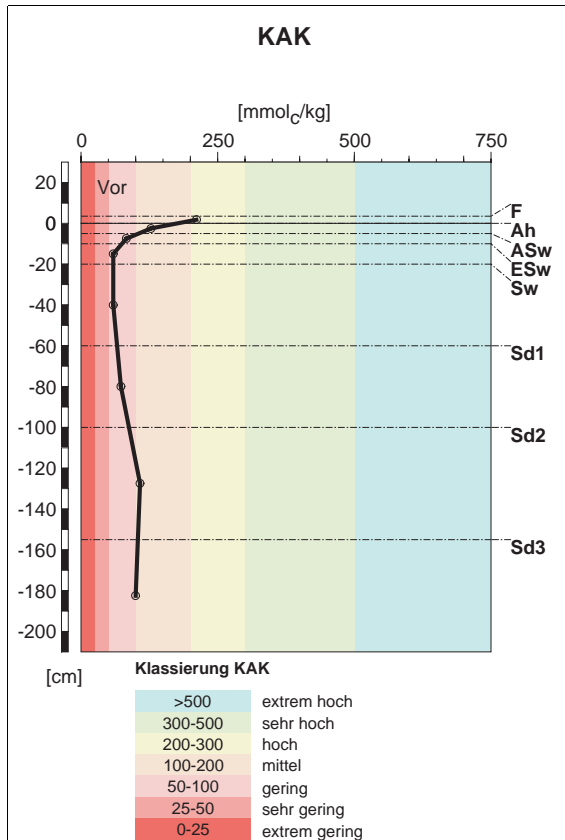


Abb. 269: Kationenaustauschkapazität (KAK)

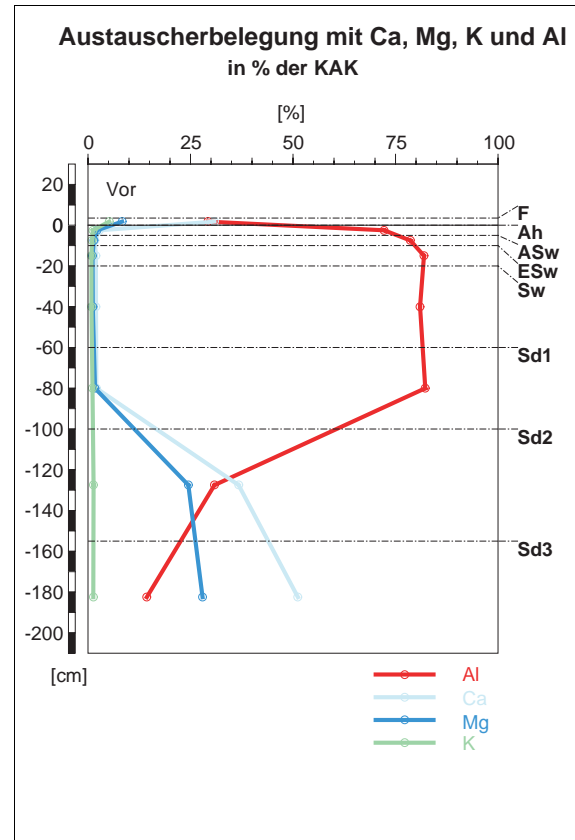


Abb. 270: Belegung mit Ca, Mg, K und Al

Die KAK wird mit Ausnahme des stark humosen Oberbodens im gesamten Profil als gering eingestuft. In den obersten 5cm der Mineralerde und in der organischen Auflage ist sie, verursacht durch den hohen Humusgehalt, mittel bis hoch.

Infolge der stark sauren Bodenverhältnisse dominiert Al in der Mineralerde bis in eine Tiefe von rund 100cm am Kationenaustauscher. Die Belegung mit Nährstoffkationen ist in diesem Tiefenbereich sehr gering. Ab 100cm nimmt die Ca-Belegung rasch zu und erreicht im Sd3-Horizont einen maximalen Wert von rund 50%. Mg ist, in Abhängigkeit der Konkurrenz durch Al und Ca, vor allem im unteren Profilbereich vorhanden. Es erreicht dort relativ hohe Belegungen von rund 25%. Die K-Belegung am Kationenaustauscher ist im gesamten Profil konstant.

## Nährstoffvorräte

Hier geht es darum, den Boden aufgrund seiner Vorräte an Ca, Mg und K als Pflanzenstandort zu beurteilen. Es ist zu beachten, dass die Größe der Vorräte nicht nur von den Nährstoffgehalten, sondern auch vom Skelettgehalt, der Bodendichte und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Die Vorräte an Nährstoffkationen sind in den Abb. 271 bis 273 dargestellt.



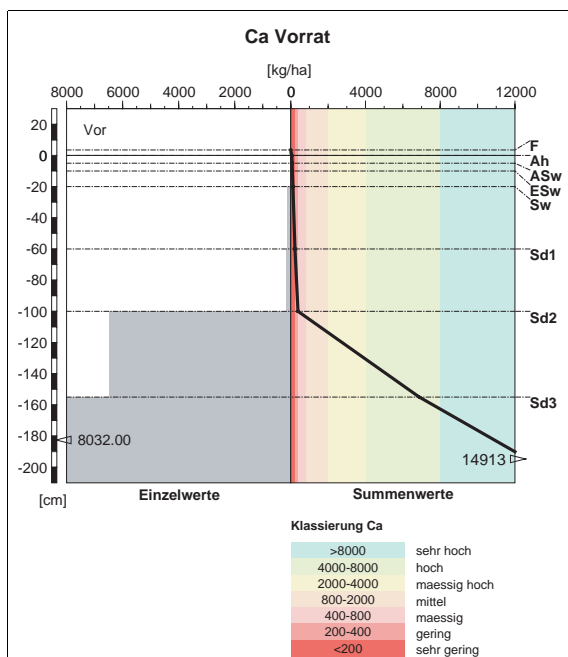


Abb. 271: Calcium-Vorrat

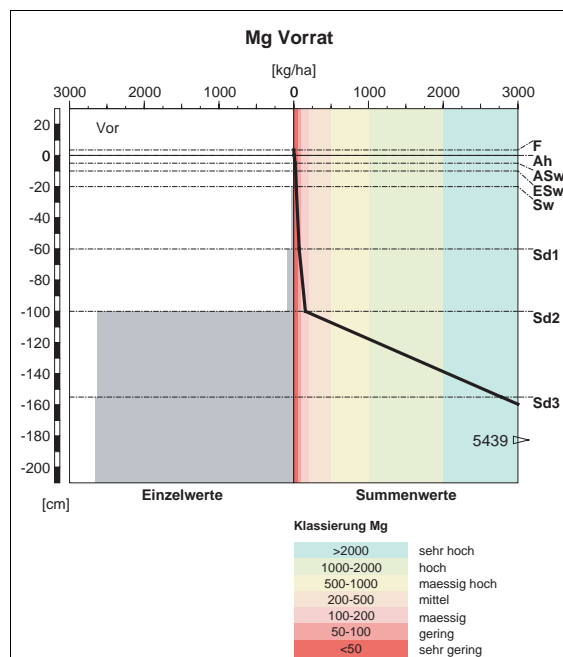


Abb. 272: Magnesium-Vorrat

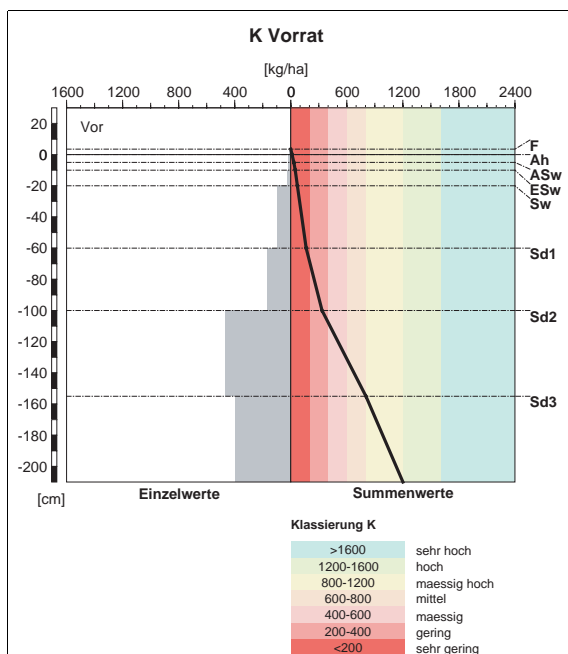


Abb. 273: Kalium-Vorrat

Die Vorräte an Ca und Mg nehmen bis 100cm Tiefe nur sehr langsam, darunter jedoch deutlich zu. Die K-Vorräte steigen mit zunehmender Tiefe ziemlich kontinuierlich an.

Im Hauptwurzelraum (0-60cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca gering
- Mg gering
- K sehr gering

Der Boden ist bis mindestens 150cm Tiefe durchwurzelt. Damit wird der potentielle Wurzelraum recht gut ausgenutzt. Bis 150cm Tiefe werden die Vorräte optimistischer bewertet:

- Ca hoch
- Mg sehr hoch
- K mässig hoch

Insgesamt werden die Nährstoffvorräte in diesem Boden als hoch bewertet.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen recht günstige Bedingungen vor (siehe Themenbereich “Physikalische Bodenkennwerte”).

### 2.2.16.6 Themenbereich “Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl“

Einleitend sind die am Profilotort wirkenden Standortfaktoren und die aus unserer Sicht waldbaulich relevanten Bodenkennwerte des Profils Nr. 1 in einem Steckbrief zusammengefasst. Anschliessend wenden wir uns der Baumartenwahl zu und schliessen mit einer Baumartenempfehlung ab.

#### Waldbaulicher Steckbrief

Der Steckbrief (Tab. 105) orientiert über die Standortfaktoren und einige waldbaulich relevante Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den voranstehenden bodenkundlichen Themenbereichen.

Tab. 105: Waldbaulicher Steckbrief der LWF-Fläche Vordemwald

<b>Standortangaben</b>	
Relief	
Höhe	480m
Exposition	NW
Neigung	14%
Klima	
Jahresniederschlag	1106mm
Jahrestemperatur	8.4°C
Ausgangsgestein	Rissmoräne über Molassemergel
Baumbestand	
Struktur	einschichtig
Schlussgrad	95%
Baumarten (Deckung)	60% Tanne, 15% Stieleiche
Oberhöhe	rund 30m
Waldgesellschaft nach E&K (1972)	Nr. 46: Peitschenmoos-Fichten-Tannenwald
<b>Bodenkennwerte (beziehen sich auf das Profil Nr. 1)</b>	
Bodensystematik	
Bodentyp	Stagnogley
Bodentyp (LWF-Fläche)	Pseudovergleyte Braunerde-Pseudogley (überwiegend Pseudogley)
Humusform	Moder (Feuchtmoder)
Humusform (LWF-Fläche)	Mull-Moder (überwiegend Moder)
Wasser- und Lufthaushalt	
Hydromorphie	Der Boden wird aufgrund der beobachteten Vernässungsmerkmale als sehr stark pseudovergleyt bewertet. Die Vernässung wird durch Rückstau von Regenwasser verursacht. Im ganzen Profil ist mit periodischer Wassersättigung und damit verbundenen, nachteiligen Auswirkungen auf den Lufthaushalt zu rechnen.
Durchwurzelung	Der Boden wird als physiologisch sehr tiefgründig klassiert, obwohl das Profil nur bis 60cm Tiefe durchwurzelt ist. Untersuchungen im Nahbereich der Bäume haben ergeben, dass Feinwurzeln auf diesem Standort trotz der im Boden zahlreich vorhandenen hydromorphen Merkmale und der grossen Dichte im Unterboden mindestens bis in eine Tiefe von 150cm vorstossen. Die durch sehr starke Pseudovergleyung angezeigte, periodisch mangelhafte Durchlüftung vermag das Wurzelwachstum offensichtlich nicht vollständig zu unterbinden.

pflanzenverfügbares Wasser	Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120cm Tiefe wird als sehr hoch klassiert. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen ist an diesem Standort kaum je mit Trockenstress für die Bäume zu rechnen.
Säurezustand pH-Wert / Kalkgrenze	Der Boden ist profulumfassend stark sauer. Eine allfällig vorhandene Kalkgrenze verläuft tiefer als 4.5m, wie Bohrungen gezeigt haben.
Al-Toxizität	In der Bodenmatrix werden bis in eine Tiefe von rund 100cm minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.05 gemessen. Der als kritisch erachtete Wert von 0.5 wird damit unterschritten. In den obersten 100cm besteht folglich ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe Verfügbarkeit im Oberboden	Das als mässig weit klassierte C/N-Verhältnis lässt eine niedrige Mineralisierung für Nährstoffe und insbesondere für Stickstoff erwarten, was durch die Humusform Moder bestätigt wird.
Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelten Boden (150cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als hoch klassiert. Die obersten 100cm des Bodens sind jedoch relativ nährstoffarm. Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. An diesem Standort ist kaum je mit kritischer Trockenheit zu rechnen, so dass eine ausreichende Versorgung der Bäume mit Wasser gewährleistet sein dürfte. Negative Auswirkungen auf die Nährstoffversorgung während einer allfälligen, länger andauernden Vermässungsphase in der Vegetationszeit sind wahrscheinlich, können aber nicht quantifiziert werden.
Verankerung	Da die Tannen und Eichen den Boden tief durchwurzeln und trotz hydromorphen Merkmalen keine absoluten Limiten für das Wurzelwachstum erkennbar sind, wird die Verankerung und die damit einhergehende Stabilität des Baumbestandes als günstig beurteilt.
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, da der Skelettanteil sehr gering und der Ton- und Schluffanteil hoch ist. Da der Boden an diesem Standort häufig nass ist und im Winter meist nur oberflächlich gefriert, ist das Befahren aus bodenökologischer Sicht nur in Trockenperioden zu empfehlen.

### Baumartenwahl in Abhängigkeit des Bodens

Nachfolgend wird der Boden in Bezug auf die Keimungs-, Anwuchs- und Aufwuchsphase von Waldbäumen beurteilt. Daraus wird eine Baumartenempfehlung für die Waldverjüngung abgeleitet.

#### *Beurteilung der aktuellen Baumartenmischung*

Der Bestand ist reich an Nadelholz (Tanne, Fichte), wobei auch einzelne Laubhölzer (Eiche, Buche) beigemischt sind. Die Baumartenmischung des aktuellen Bestandes wird nach den heutigen standortkundlichen Auffassungen als standortgerecht bezeichnet. Über die Rolle der Eiche in dieser Waldgesellschaft bestehen unterschiedliche Auffassungen, wir beurteilen ihr Vorkommen als standortgerecht. Wir können also davon ausgehen, dass die vorhandenen Baumarten die standörtlichen und damit auch pedogenen Gegebenheiten gut nutzen.

Im Streueintrag überwiegt in diesem Wald seit Jahrzehnten eine gemischte Streu von Nadel- und Laubbäumen. Wir gehen davon aus, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform standortgerecht sind. Wir nehmen auch an, dass in diesem ausgewachsenen Wald ein relativ stabiles Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht.

#### *Keimbeet*

Auf der LWF-Fläche kommt nahezu flächendeckend Moder vor. Die Mächtigkeit des Fermentationshorizontes beträgt meist 1-3cm.

Durch Einbringen eines noch höheren Nadelholzanteils würde die Mächtigkeit der organischen Auflage im Verlaufe der Zeit zunehmen. Die Humusform würde sich in Richtung Roh-

humus entwickeln. Dadurch würden grössere Nährstoffmengen in der organischen Auflage blockiert, welche dann mittelfristig nicht für das Pflanzenwachstum verfügbar wären. Schliesslich wäre mit einer noch verstärkten Versauerung des Bodens zu rechnen, denn im Vergleich zum Moder werden im Rohhumus beim unvollständigen Humusabbau grössere Säuremengen produziert.

Umgekehrt kann durch Einbringen von geeigneten Laubhölzern in den Haupt- oder Nebenbestand eine besser abbaubare Streumischung und damit eine schnellere Mineralisierung von Nährstoffen erzielt werden.

#### *Anwuchs- und Aufwuchsphase*

Für die Anwuchs- und Aufwuchsphase birgt der Boden für die Mehrzahl der Baumarten Probleme, da nicht nur der Wasser- und Lufthaushalt sondern auch die Nährstoffversorgung ungünstig sind. Für die Buche ist der Standort zu nass und für die Edellaubhölzer (Bergahorn, Esche, Kirschbaum, Bergulme, Linden) ist die Versorgung mit Nährstoffkationen (Ca, Mg, K) und wohl auch mit anderen Nährstoffen in den obersten 100cm des Bodens nicht ausreichend.

Mit tiefwurzelnenden Baumarten können die Vorräte an Nährstoffkationen im Oberboden vergrössert werden, da diese Baumarten die in der Tiefe reichlich vorhandenen Nährstoffvorräte in Umlauf bringen. Als positiver Nebeneffekt der tiefen Durchwurzelung wird die Stabilität des Bestandes gegenüber Sturmschäden erhöht.

Da Laubstreu generell weniger sauer wirkt als Nadelstreu, kann mit dem Einbringen eines grösseren Laubholzanteils längerfristig das Risiko von durch Al-Toxizität verursachten Wurzelschäden verringert werden.

#### *Baumartenempfehlung*

Aus den obigen Ausführungen wird für den vorliegenden Standort folgende Baumartenempfehlung abgeleitet (Tab. 106):

Tab. 106: Baumartenempfehlung

<b>Baumarten im Hauptbestand</b>	Tanne, Eiche, (Fichte, Buche)
<b>Laubholzanteil</b>	Diese Waldgesellschaft wird natürlicherweise von Nadelhölzern dominiert.
<b>Baumarten im Nebenbestand</b>	Da sich im Hauptbestand nur vereinzelte Laubbaumarten gegen die Nadelbäume zu behaupten vermögen, kommt dem Nebenbestand eine grosse Bedeutung für die Bodenverbesserung zu. Empfehlenswerte Baumarten für den Nebenbestand sind: Buche, Vogelbeere, (Winterlinde, Hagebuche)

## 2.3 Bodenkartierung

Während die Bodencharakterisierung anhand eines Bodenprofils oft nur am Profilort bzw. in seiner unmittelbaren Umgebung Gültigkeit hat, kann mit der Kartierung eine räumliche Aussage zur Bodenbeschaffenheit gemacht werden. Die Kartierung soll die räumliche Variabilität ausgewählter Bodenparameter dokumentieren, wobei unter räumlicher Variabilität sowohl jene in vertikaler Richtung (Bodentiefe) als auch jene in horizontaler Richtung (LWF-Fläche) gemeint ist.

Im vorliegenden Kapitel wird der Boden von 16 LWF-Flächen mit Kartierungsdaten charakterisiert. Je nach Bodenbeschaffenheit der LWF-Flächen unterscheiden sich Art und Anzahl der kartierten Bodenparameter. Bei den Parametern handelt es sich, mit Ausnahme des pH-Wertes, um morphologische Bodenmerkmale. Die wichtigsten Resultate der Kartierung werden nachfolgend in Tabellen, als Bodenkarten und in einem zusammenfassenden Beschrieb dokumentiert.

### *Tabellen*

In den Tabellen sind alle uns wichtig erscheinenden Kartierparameter mit einfachen statistischen Angaben (Median, Minimum, Maximum) zusammengestellt. Die Tabellenwerte lassen sich für bodenkundliche Fragestellungen mit Flächenbezug, wie sie beispielsweise Vorratsberechnungen darstellen, verwenden. Für solche Berechnung werden die Stoffgehalte eines Bodenprofils und die bei der Kartierung erfassten mittleren Horizontmächtigkeiten verwendet, wobei die Horizontmächtigkeiten nur mittels Kartierung flächenrepräsentativ erhoben werden können. Die Tabellenwerte lassen sich aber auch für die Charakterisierung der LWF-Flächen und vergleichende Betrachtungen zwischen den LWF-Flächen einsetzen. Um einen Vergleich zwischen Kartierung und Bodenprofil zu ermöglichen, sind in den Tabellen auch die entsprechenden Angaben zum Bodenprofil aufgeführt. In den Tabellen ist der Informationsgehalt zur räumlichen Variabilität der Bodenparameter gering.

### *Bodenkarten*

Eine bessere Vorstellung von der Variabilität vermitteln die Bodenkarten. Sie zeigen die Ausprägung einiger wichtiger Bodenparameter an den Kartierpunkten. Die räumliche Auflösung der Karten beträgt je nach LWF-Fläche 15-30m. Die Farbgebung für die auf den Karten dargestellten Bodenparameter ist für die 16 LWF-Flächen identisch, so dass die Flächen verglichen werden können. Ein kurzer Kommentar fasst jeweils den auf der Karte dargestellten Sachverhalt zusammen. Um die Ausprägung eines Bodenparameters auf der Bodenkarte und im Bodenprofil vergleichen zu können, ist neben der Bodenkarte der entsprechende Wert aus dem Bodenprofil abgebildet.

### *Zusammenfassende Übersicht*

In einer zusammenfassenden Übersicht wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter fokussiert. Hier geht es darum, Zonen unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit zu deklarieren, mögliche Gründe für die Bodenvariabilität zu nennen und auf Zusammenhänge zwischen Bodenparametern hinzuweisen.

Im Anhang A 5.2 sind für jede LWF-Fläche als Ergänzung zu den im Text integrierten Datentabellen (sie enthalten nur zusammenfassenden Angaben zur Kartierung) die an den einzelnen Kartierpunkten erfassten Bodendaten tabellarisch aufgeführt. Im Datenarchiv sind dieselben Tabellen in einem bearbeitbaren Datenformat (Excel-Datei) gespeichert.

## 2.3.1 LWF-Fläche Alptal (Kartierung)

### 2.3.1.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 107 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Alptal. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 108 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 107: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Alptal

Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 4
Mächtigkeit F-/H-Horizonte	cm	0.5	0.0	10.0	25	0.0
Mächtigkeit Oberboden	cm	13	0	47	25	30
pH CaCl <sub>2</sub> H-Horizont	-	3.3	3.1	3.8	11	n.b.
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	5.1	3.4	6.4	25	5.3
pH CaCl <sub>2</sub> 20-30cm	-	n.b.	4.1	>7	25	5.1
pH CaCl <sub>2</sub> 50-60cm	-	n.b.	4.8	>7	25	7.0
pH CaCl <sub>2</sub> 80-90cm	-	n.b.	4.9	>7	25	>7
Tiefe der Kalkgrenze	cm	n.b.	16	>100	25	40
Obergrenze Gr-Horizont	cm	n.b.	20	>100	25	40

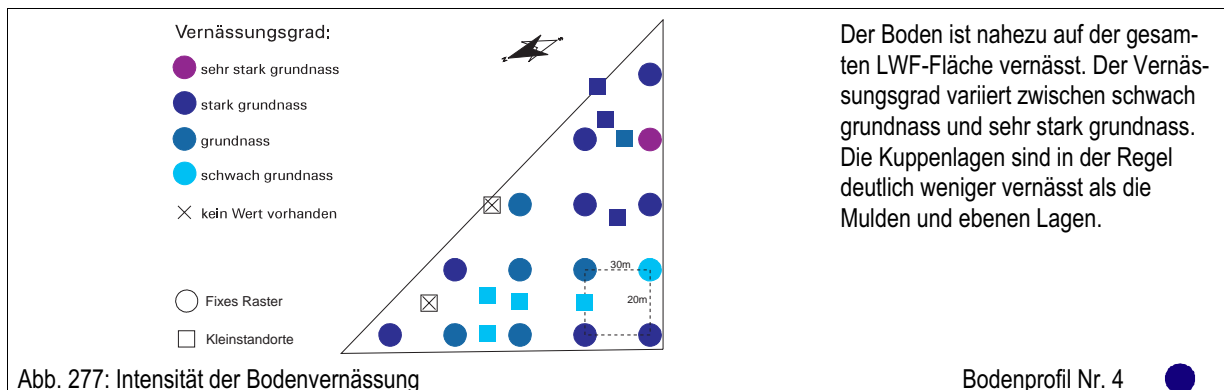
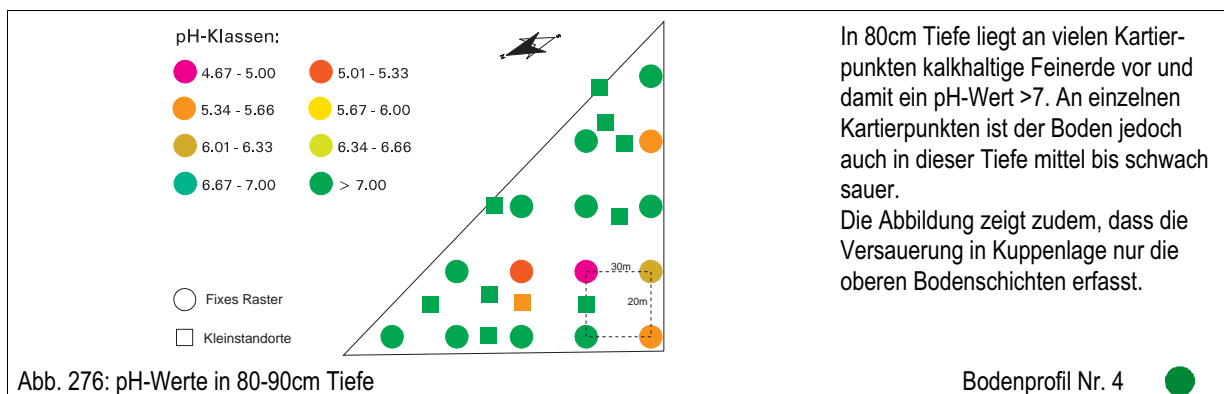
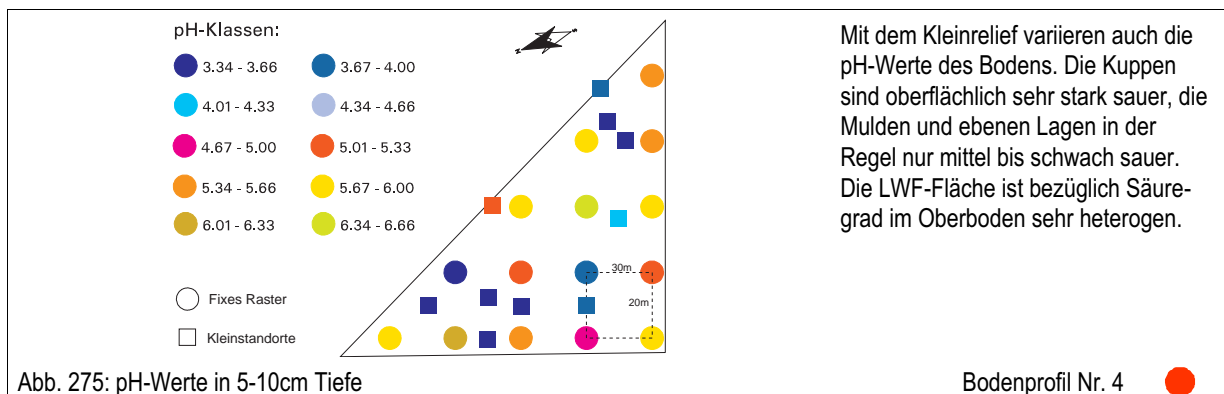
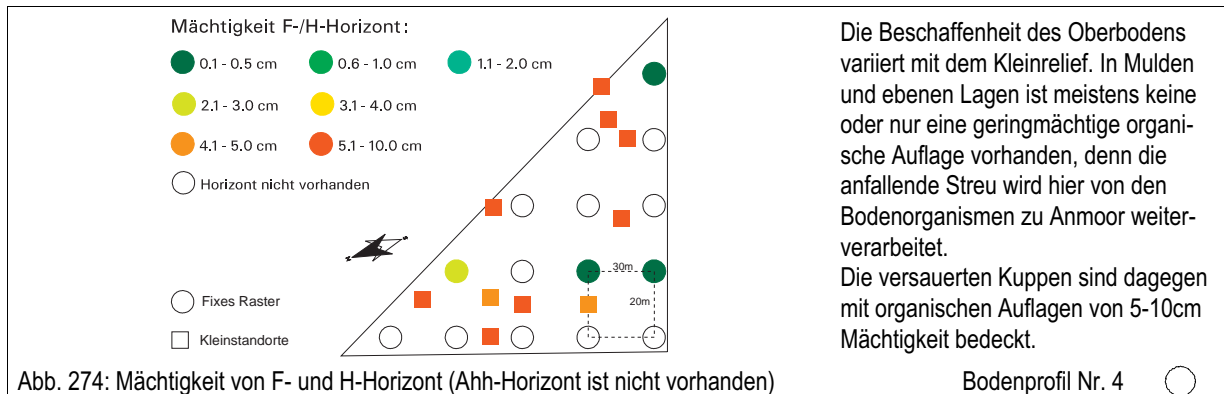
Tab. 108: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Alptal)

Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Anmoor bis Rohhumus	extrem variabel (Kleinrelief)
Bodentyp	vergleyte Braunerde bis Hanggley	
Vernässungsgrad	schwach grundnass bis sehr stark grundnass	

### 2.3.1.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden, pH-Wert und Vernässung)

Die Abb. 274 bis 277 zeigen die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Alptal.

15 Kartierpunkte liegen auf einem fixen Raster von 20x30m, meist in ebener Lage oder in Mulden. Zur Erfassung der kleinstandörtlichen Variabilität wurden 10 zusätzliche Kartierpunkte (Kleinstandorte) auf versauerten Kuppen zwischen die Rasterpunkte gelegt.



### 2.3.1.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Alptal fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Bis in die mit der Kartierung erfassten Tiefe von 80-100cm wurde kein Gesteinswechsel festgestellt. Bodenbildendes Substrat ist auf der gesamten LWF-Fläche ein sehr tonreiches Flyschgestein.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Im Verlaufe der Bodenbildung wurde das Ausgangsgestein mehr oder weniger tiefgreifend entcarbonatet. Die Tiefe der Kalkgrenze verläuft, dem coupierten Kleinrelief auf der Fläche entsprechend, extrem heterogen. Sie liegt minimal in 15cm, maximal in über einem Meter Tiefe. Auch der pH-Wert in den carbonatfreien Horizonten variiert je nach Lage im Gelände. In Mulden und in ebener Lage sind die carbonatfreien Horizonte meist mittel bis schwach, auf Kuppen dagegen stark sauer. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist im Oberboden gross, nimmt dann aber mit zunehmender Bodentiefe deutlich ab.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Die Beschaffenheit des Oberbodens variiert mit dem Kleinrelief. In Mulden und in ebener Lage ist der Abbau der organischen Substanz infolge Vernässung gehemmt, so dass es zur Bildung von Anmoor kommt. Auf Kuppen dagegen ist die biologische Aktivität vor allem aufgrund des hohen Säuregrades eingeschränkt. Zudem ist die Streu der hier wachsenden Pflanzen (Zwergsträucher) schlechter abbaubar als in Muldenlage (grossblättrige Krautpflanzen). Daher sind auf Kuppen organische Auflagen von 5-10cm Mächtigkeit vorhanden.

#### *Vernässung*

Der Boden ist auf der gesamten LWF-Fläche hydromorph geprägt wobei jedoch die Kuppen deutlich weniger vernässt sind als die Mulden und ebenen Lagen. Die Vernässung durch Hangwasser ist auf den undurchlässigen Untergrund zurückzuführen.

#### *Gründigkeit*

In Mulden und in ebener Lage ist der Boden nur bis an die Obergrenze des ständig wasser-gesättigten Gr-Horizontes durchwurzelt. Diese Obergrenze liegt an vielen Stellen zwischen 20 und 70cm Tiefe. In Kuppenlage ist der Boden in der Regel tiefer durchwurzelt. Hier wurden an einzelnen Kartierpunkten Wurzeln bis ein Meter Tiefe beobachtet.



## 2.3.2 LWF-Fläche Beatenberg (Kartierung)

### 2.3.2.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 109 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Beatenberg. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 110 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 109: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Beatenberg

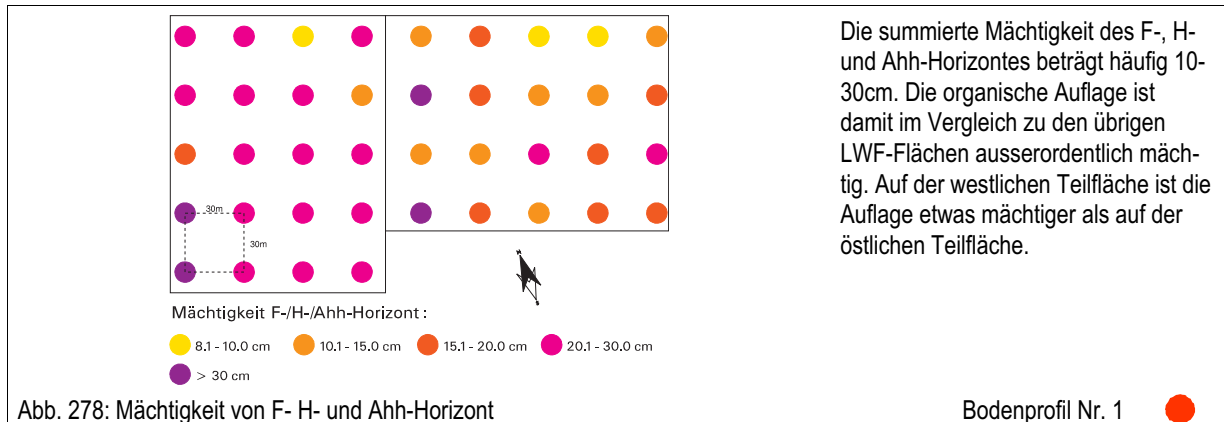
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 1
Mächtigkeit F-/H-Horizonte	cm	18.5	9.0	38.0	40	14
Mächtigkeit F-/H-/Ahh-Horizonte	cm	21.0	10.0	40.0	40	17
Mächtigkeit Oberboden	cm	4.5	0.0	80.0	40	3.0
pH CaCl <sub>2</sub> H-Horizont	-	2.7	2.3	3.5	40	2.7
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	3.2	2.8	3.7	40	3.4
pH CaCl <sub>2</sub> 70-80cm	-	3.8	3.1	5.8	33	4.0
Tiefe der Kalkgrenze	cm	n.b.	90	n.b.	40	>70
Untergrenze Bleichungszone	cm	20	4	80	40	35

Tab. 110: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Beatenberg)

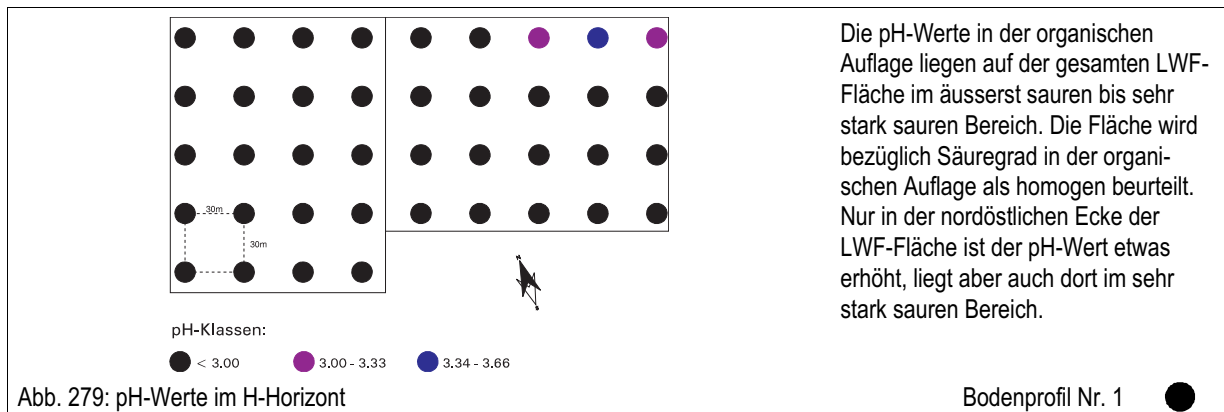
Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Rohhumus	Rohhumus
Bodentyp	Podsol bis Braunerde-Podsol (pseudovergleyt)	Podsol (pseudovergleyt)
Vernässungsgrad	vermutlich pseudovergleyt	vermutlich pseudovergleyt

### 2.3.2.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden, pH-Wert und Geologie)

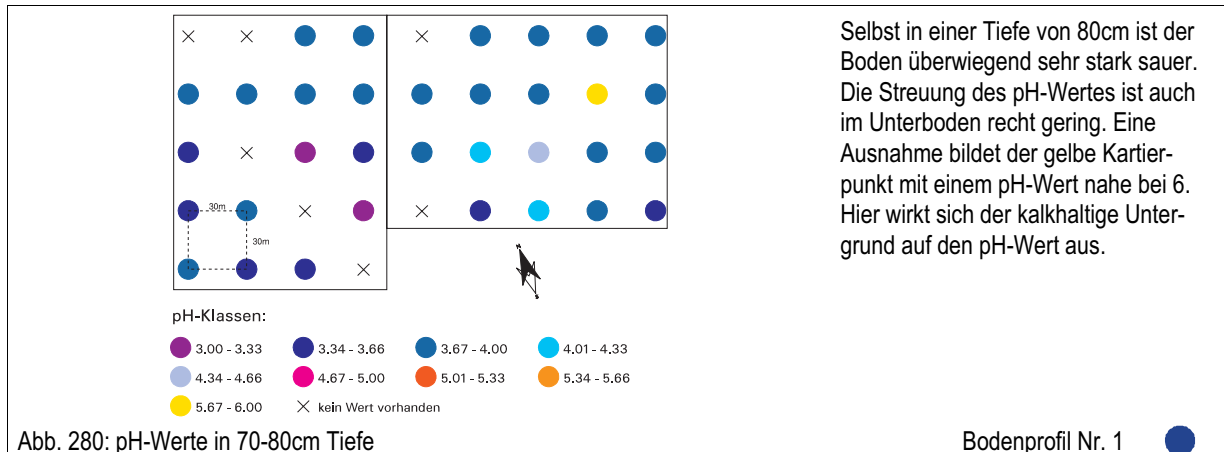
Die Abb. 278 bis 281 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von rund 25x30m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Beatenberg.



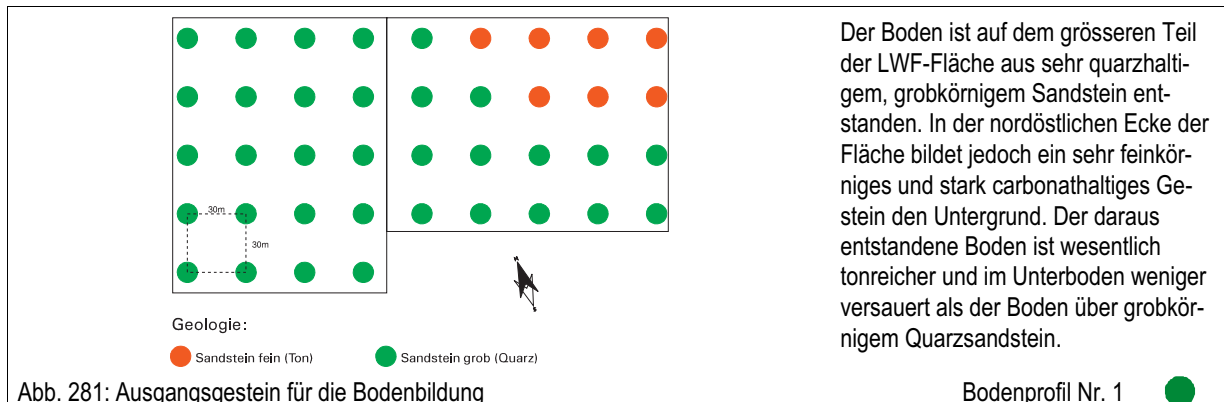
Die summierte Mächtigkeit des F-, H- und Ahh-Horizontes beträgt häufig 10-30cm. Die organische Auflage ist damit im Vergleich zu den übrigen LWF-Flächen ausserordentlich mächtig. Auf der westlichen Teilfläche ist die Auflage etwas mächtiger als auf der östlichen Teilfläche.



Die pH-Werte in der organischen Auflage liegen auf der gesamten LWF-Fläche im äusserst sauren bis sehr stark sauren Bereich. Die Fläche wird bezüglich Säuregrad in der organischen Auflage als homogen beurteilt. Nur in der nordöstlichen Ecke der LWF-Fläche ist der pH-Wert etwas erhöht, liegt aber auch dort im sehr stark sauren Bereich.



Selbst in einer Tiefe von 80cm ist der Boden überwiegend sehr stark sauer. Die Streuung des pH-Wertes ist auch im Unterboden recht gering. Eine Ausnahme bildet der gelbe Kartierpunkt mit einem pH-Wert nahe bei 6. Hier wirkt sich der kalkhaltige Untergrund auf den pH-Wert aus.



Der Boden ist auf dem grösseren Teil der LWF-Fläche aus sehr quarzhaltigem, grobkörnigem Sandstein entstanden. In der nordöstlichen Ecke der Fläche bildet jedoch ein sehr feinkörniges und stark carbonathaltiges Gestein den Untergrund. Der daraus entstandene Boden ist wesentlich tonreicher und im Unterboden weniger versauert als der Boden über grobkörnigem Quarzsandstein.

### 2.3.2.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Beatenberg fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Die Kartierung hat gezeigt, dass auf der LWF-Fläche zwei unterschiedliche Ausgangsgesteine vorhanden sind. Der Boden ist auf dem grösseren Teil der LWF-Fläche aus quarzreichem, kaum carbonathaltigem Sandstein entstanden. In der nordöstlichen Ecke der Fläche bildet jedoch ein schluff- und tonreiches, stark carbonathaltiges Gestein den Untergrund.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Im Verlaufe der Bodenbildung wurde das Ausgangsgestein mehr oder weniger tiefgreifend entcarbonatet. Während im Boden über Quarzsandstein nirgendwo eine Kalkgrenze beobachtet wurde, verläuft sie im feinkörnigen Boden in einer Tiefe von rund 1m. Der Boden ist in den carbonatfreien Horizonten durchwegs äusserst sauer. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist auf der westlichen Teilfläche in allen Bodenhorizonten sehr gering. Auf der östlichen Teilfläche ist sie im Oberboden gering, nimmt dann aber zur Tiefe hin, insbesondere ab 80cm, deutlich zu.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Auf der LWF-Fläche ist durchwegs eine mächtige organische Auflage vorhanden. Der Abbau der organischen Substanz ist gehemmt. Dies dürfte vor allem am hohen Säuregrad und an der zeitweiligen Vernässung des Bodens, an den klimatischen Bedingungen und an der schwer abbaubaren Nadelstreu liegen. Auf der westlichen Teilfläche ist die organische Auflage etwas mächtiger als auf der östlichen Teilfläche, was mit dem Carbonatgehalt im Untergrund zusammenhängen kann. Der Oberboden (humushaltige Mineralerde) ist auf der gesamten LWF-Fläche nur geringmächtig und von Podsolierungsprozessen (Bleichung) gezeichnet.

#### *Vernässung*

Der Vernässungsgrad des Bodens ist nur schwer abschätzbar, weil die eine Vernässung anzeigenden Sesquioxide (Konkretionen, Rostflecken) durch Podsolierung bereits weitgehend aus dem Boden ausgewaschen sind. Der Boden ist vermutlich vor allem im oberen, flacheren Bereich der LWF-Fläche vernässt. Dort reicht der kompakte Felsuntergrund bis nahe an die Bodenoberfläche und das Hangwasser kann aufgrund der flachen Neigung nur langsam abfliessen.

#### *Gründigkeit*

Die Mächtigkeit des Bodens beträgt über felsigem Sandsteinuntergrund rund 70-120cm, über feinkörnigem Felsuntergrund rund 150-200cm (inkl. organische Auflage). Im unteren Teil der LWF-Fläche ist der Untergrund vielerorts grobblockig. Hier kann die Bodenmächtigkeit nicht geschätzt werden.

Die Fichten bewurzeln den Boden über Sandsteinuntergrund extrem oberflächlich, Wurzeln sind hier nur in der organischen Auflage vorhanden. Mögliche Gründe für diese oberflächliche Bewurzelungsstrategie sind zeitweilige Bodenvernässung und / oder extreme Nährstoffarmut in der Mineralerde. Die Böden über feinkörnigem Felsuntergrund sind dagegen profillumfassend durchwurzelt.

### 2.3.3 LWF-Fläche Bettlachstock (Kartierung)

#### 2.3.3.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 111 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Bettlachstock. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 112 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 111: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Bettlachstock

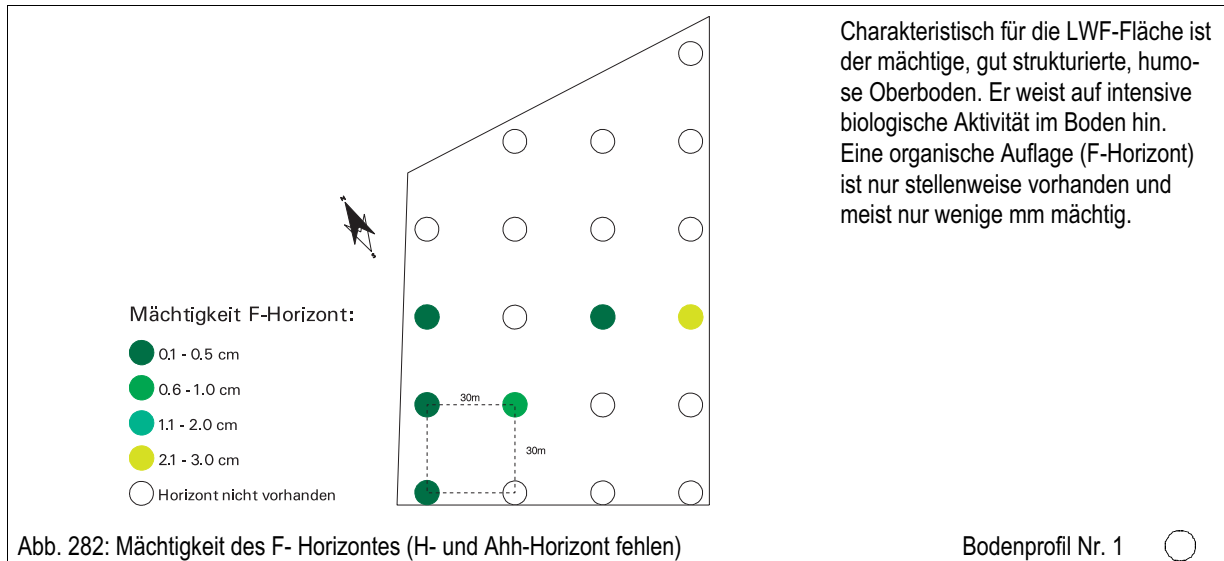
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 1
Mächtigkeit F-Horizont	cm	0	0	3	20	0
Mächtigkeit Ah-Horizont	cm	18	0	90	19	10
Mächtigkeit Oberboden	cm	n.b.	10	n.b.	19	35
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	6.9	6.5	7.2	20	6.9
pH CaCl <sub>2</sub> 20-30cm	-	>7	6.8	>7	19	7.4
pH CaCl <sub>2</sub> 40-50cm	-	>7	7.3	>7	16	7.5
Tiefe der Kalkgrenze	cm	38	0	90	20	5
Gründigkeit	cm	n.b.	10	n.b.	20	>140

Tab. 112: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Bettlachstock)

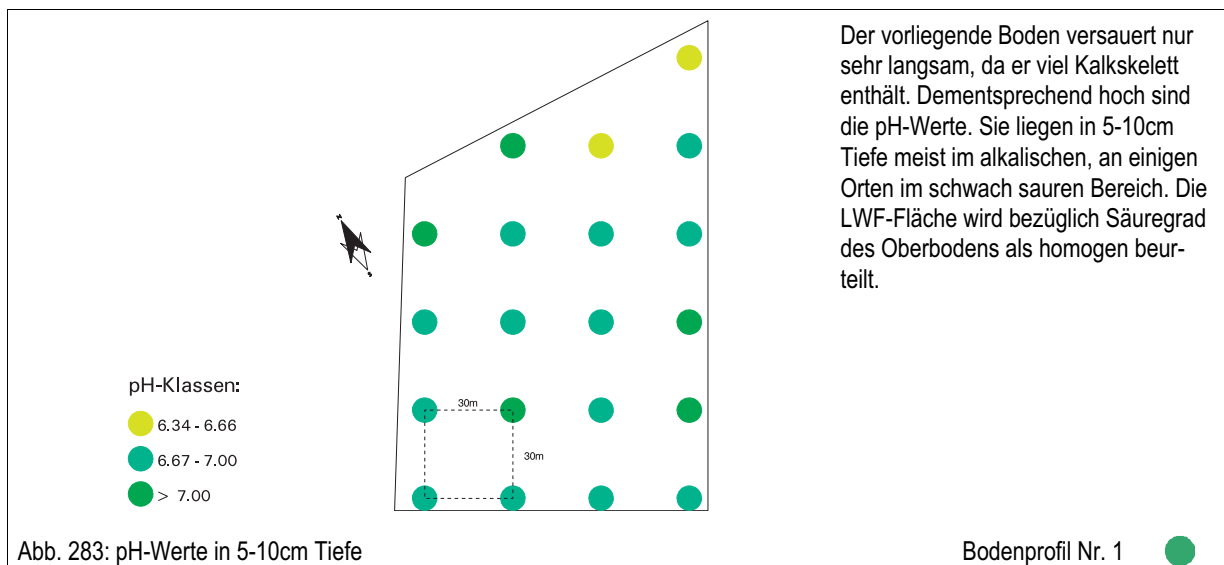
Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull bis Moder	Mull
Bodentyp	Lithosol bis initiale Braunerde	Rendzina
Vernässungsgrad	ohne Vernässung	-

### 2.3.3.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden, pH-Wert und Kalkgrenze)

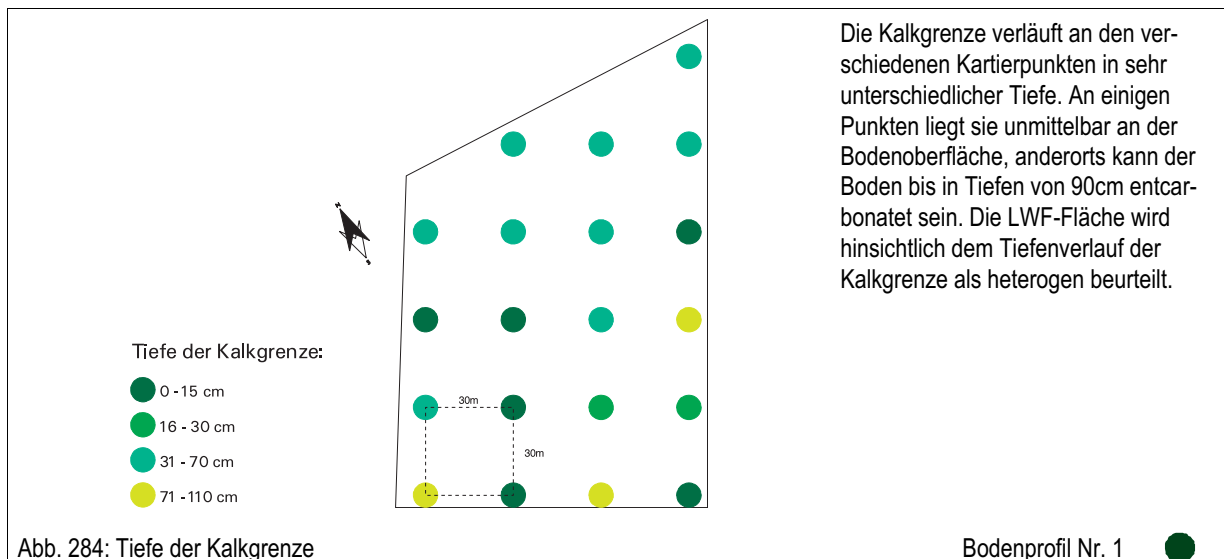
Die Abb. 282 bis 284 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von 30x30m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Bettlachstock.



Charakteristisch für die LWF-Fläche ist der mächtige, gut strukturierte, humose Oberboden. Er weist auf intensive biologische Aktivität im Boden hin. Eine organische Auflage (F-Horizont) ist nur stellenweise vorhanden und meist nur wenige mm mächtig.



Der vorliegende Boden versauert nur sehr langsam, da er viel Kalkskelett enthält. Dementsprechend hoch sind die pH-Werte. Sie liegen in 5-10cm Tiefe meist im alkalischen, an einigen Orten im schwach sauren Bereich. Die LWF-Fläche wird bezüglich Säuregrad des Oberbodens als homogen beurteilt.



Die Kalkgrenze verläuft an den verschiedenen Kartierpunkten in sehr unterschiedlicher Tiefe. An einigen Punkten liegt sie unmittelbar an der Bodenoberfläche, anderorts kann der Boden bis in Tiefen von 90cm entcarbonatet sein. Die LWF-Fläche wird hinsichtlich dem Tiefenverlauf der Kalkgrenze als heterogen beurteilt.

### 2.3.3.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Bettlachstock fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Bis in die mit der Kartierung erfassten Tiefe von rund 50-80cm konnte kein Gesteinswechsel festgestellt werden. Untersuchungen im Bodenprofil und Beobachtungen in der Umgebung der LWF-Fläche deuten aber darauf hin, dass auf der LWF-Fläche zwei unterschiedliche Ausgangsgesteine vorhanden sind. Oberflächlich findet man Gehängeschutt aus hartem Kalkgestein. Die Mächtigkeit dieser Schicht beträgt in der Regel rund ein Meter. Unter dem Gehängeschutt liegen kalkhaltige, mergelige Schichten, welche im Vergleich zum Gehängeschutt deutlich weniger Skelett enthalten.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Im Verlaufe der Bodenbildung wurde das Ausgangsgestein mehr oder weniger tiefgreifend entcarbonatet. Die Tiefe der Kalkgrenze verläuft heterogen. Sie liegt minimal an der Bodenoberfläche, maximal in rund 90cm Tiefe. Der Boden reagiert überwiegend alkalisch, in den carbonatfreien Horizonten bisweilen sehr schwach sauer. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist klein.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Stellenweise ist eine sehr geringmächtige organische Auflage vorhanden. Der Abbau der organischen Substanz ist demnach lokal leicht gehemmt. Dies dürfte an der zeitweiligen Austrocknung des Bodens liegen. An der grossen Mächtigkeit des Oberbodens lässt sich jedoch erkennen, dass im Jahresverlauf meist günstige Bedingungen für die bodendurchmischenden Organismen herrschen. Insgesamt wird die biologische Aktivität im Boden als hoch bewertet.

#### *Vernässung*

Im Boden wurden keine Vernässungsmerkmale beobachtet.

#### *Gründigkeit*

Die Gründigkeit des Bodens ist auf der LWF-Fläche nur schwer abschätzbar. Sie beträgt meistens mehr als ein Meter, an einigen Kartierpunkten ist sie aber aufgrund von anstehendem Kalkfels auf deutlich unter einen Meter beschränkt. Es ist damit zu rechnen, dass die Bäume an vielen Stellen die unter dem Gehängeschutt liegenden, feinerdereichen Mergelschichten zu erschliessen vermögen.

## 2.3.4 LWF-Fläche Celerina (Kartierung)

### 2.3.4.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 113 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Celerina. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 114 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 113: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Celerina

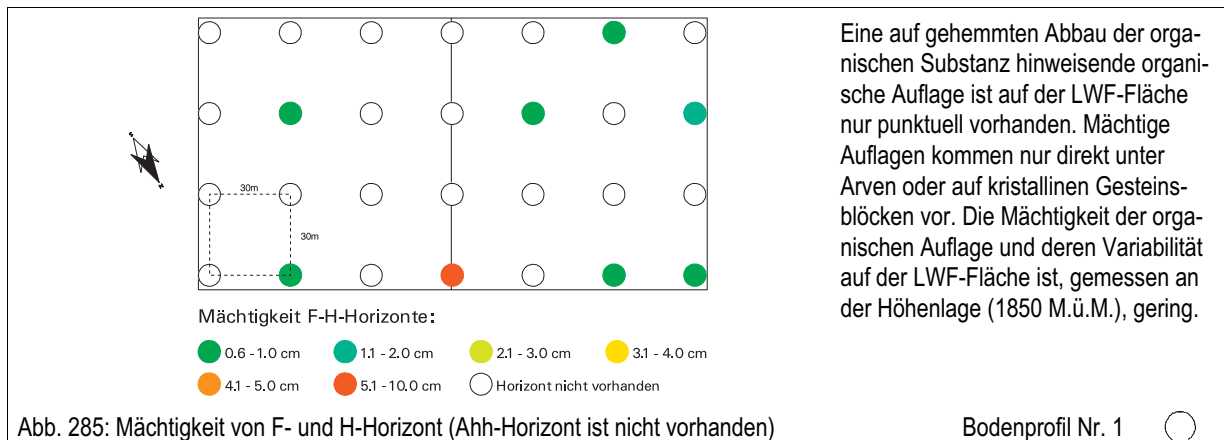
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 1
Mächtigkeit F-/H-Horizonte	cm	0	0	7	28	0
Mächtigkeit Oberboden	cm	10	2	30	28	4
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	4.2	3.4	4.7	28	4.0
pH CaCl <sub>2</sub> 30-40cm	-	4.7	4.5	5.0	28	4.2
pH CaCl <sub>2</sub> 70-80cm	-	4.8	4.5	5.2	28	4.5
pH CaCl <sub>2</sub> 100-110cm	-	4.8	4.5	5.8	21	4.5
Tiefe des Ausgangsgesteins	cm	n.b.	60	n.b.	28	>120
Tiefe der Kohlenfunde	cm	20	10	50	12	keine Kohle

Tab. 114: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Celerina)

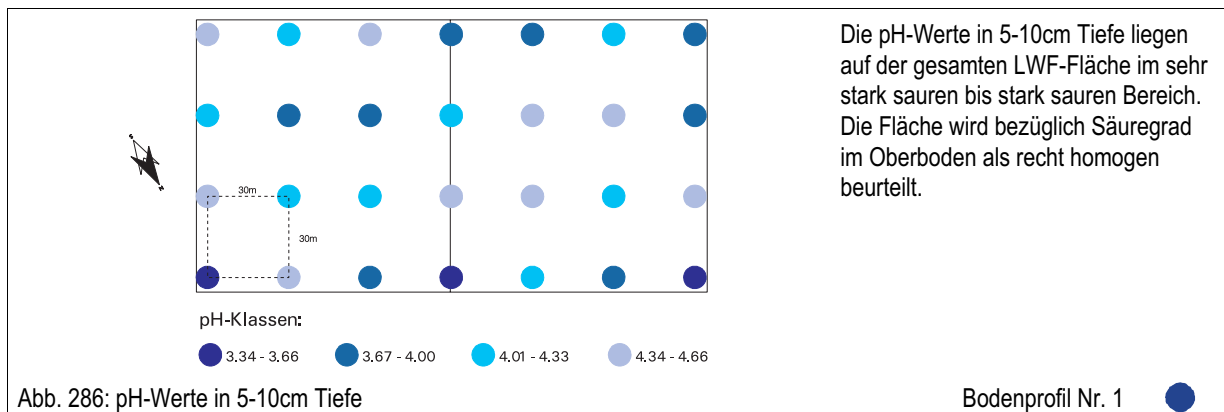
Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull bis Rohhumus	Mull
Bodentyp	Braunerde bis Podsol	Podsol
Vernässungsgrad	ohne Vernässung	-

### 2.3.4.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden, pH-Wert und Holzkohle)

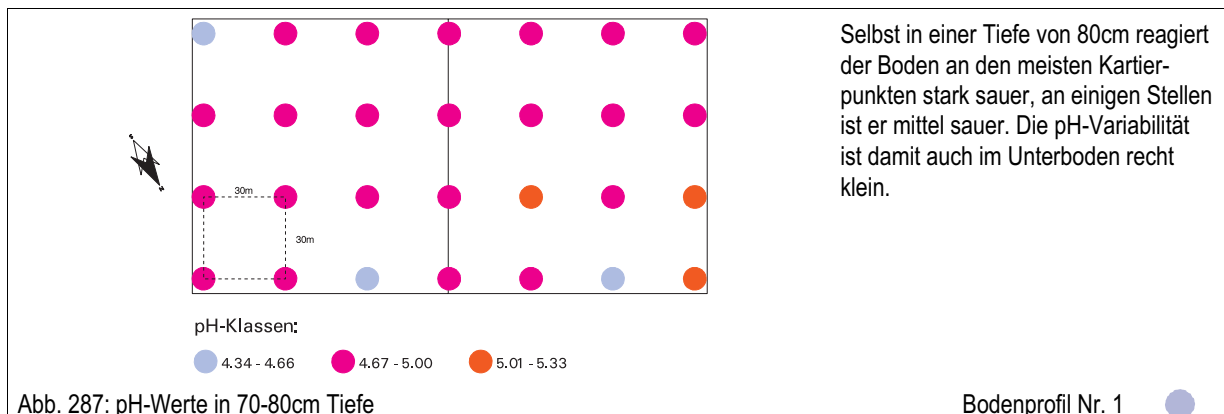
Die Abb. 285 bis 288 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von rund 30x30m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Celerina.



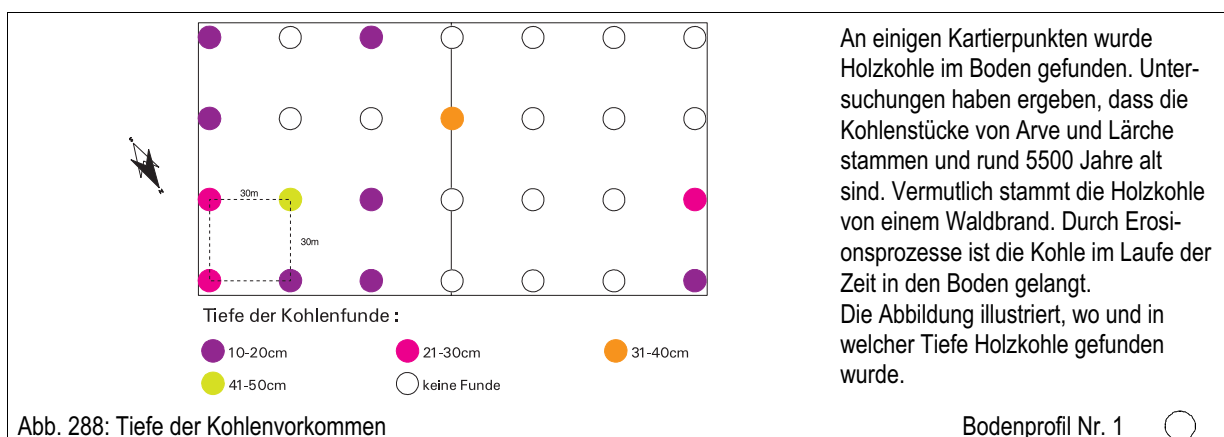
Eine auf gehemmten Abbau der organischen Substanz hinweisende organische Auflage ist auf der LWF-Fläche nur punktuell vorhanden. Mächtige Auflagen kommen nur direkt unter Arven oder auf kristallinen Gesteinsblöcken vor. Die Mächtigkeit der organischen Auflage und deren Variabilität auf der LWF-Fläche ist, gemessen an der Höhenlage (1850 M.ü.M.), gering.



Die pH-Werte in 5-10cm Tiefe liegen auf der gesamten LWF-Fläche im sehr stark sauren bis stark sauren Bereich. Die Fläche wird bezüglich Säuregrad im Oberboden als recht homogen beurteilt.



Selbst in einer Tiefe von 80cm reagiert der Boden an den meisten Kartierpunkten stark sauer, an einigen Stellen ist er mittel sauer. Die pH-Variabilität ist damit auch im Unterboden recht klein.



An einigen Kartierpunkten wurde Holzkohle im Boden gefunden. Untersuchungen haben ergeben, dass die Kohlenstücke von Arve und Lärche stammen und rund 5500 Jahre alt sind. Vermutlich stammt die Holzkohle von einem Waldbrand. Durch Erosionsprozesse ist die Kohle im Laufe der Zeit in den Boden gelangt. Die Abbildung illustriert, wo und in welcher Tiefe Holzkohle gefunden wurde.



### 2.3.4.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Celerina fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Der Untergrund wird durch kristallinen Fels aufgebaut. Er ist in der Fläche nirgends anstehend und wurde auch bei der Kartierung nicht freigelegt. Über dem kristallinen Fels liegt Moränematerial, welches von rezenten Gletschern abgelagert wurde. Es stellt das bodenbildende Substrat dar.

Kohlenfunde und überfahrene Horizonte in den oberen Bodenschichten deuten darauf hin, dass die ursprüngliche Bodenoberfläche nach einem Waldbrand mit einer Geröllschicht überdeckt wurde. Die Bodenbildung hat nach diesem Ereignis neu eingesetzt. Zeugen dieser Ereignisse sind lagige Holzkohleschichten von Lärche und Arve in einer Tiefe von 15-50cm, sowie überschüttete, scharf abgegrenzte A-, E- und Bfe-Horizonte einer Bodenbildung, die vor dem Waldbrand, und damit, gemäss Datierung der Holzkohle, vor mindestens 5500 Jahren stattgefunden haben muss.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Das Moränematerial enthält kein Carbonat. Der Boden reagiert bis in grosse Tiefen sehr sauer, die flächige Variabilität des pH-Wertes ist sowohl im Ober- als auch im Unterboden gering.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Eine auf gehemmten Abbau der organischen Substanz hinweisende organische Auflage ist auf der LWF-Fläche nur örtlich vorhanden. Die mächtigsten Auflagen findet man direkt unter Arven oder auf kristallinen Gesteinsblöcken. Hemmend auf den Streuabbau dürfte sich vor allem der hohe Säuregrad des Bodens und die Streu von Arve und Lärche auswirken. Es ist erstaunlich, dass auf der LWF-Fläche keine deckende organische Auflage vorhanden ist. Möglicherweise ist dies auf gut abbaubare Streu der Krautschicht (u. a. *Calamagrostis villosa*) zurückzuführen.

Die humushaltigen Oberbodenhorizonte sind meist geringmächtig, wobei in Muldenlage mit grossblättrigen, krautigen Pflanzen (u. a. *Peucedanum ostruthium*) auch mächtigere A-Horizonte vorkommen können. Erwähnenswert ist ferner, dass an vielen Kartierpunkten in mittlerer Profiltiefe überfahrene Oberbodenhorizonte vorkommen. Sie sind Zeugen früherer Erosionsprozesse.

#### *Vernässung*

In den obersten 90cm des Bodens wurde auf der gesamten LWF-Fläche keine Bodenvernässung festgestellt.

#### *Gründigkeit*

Die Gründigkeit des Bodens ist meistens gross. Eine Einschränkung des Wurzelraumes kommt nur punktuell vor. Sie wird durch grosse, unter der Bodenoberfläche liegende Felsblöcke verursacht.

## 2.3.5 LWF-Fläche Chironico (Kartierung)

### 2.3.5.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 115 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Chironico. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 116 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 115: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Chironico

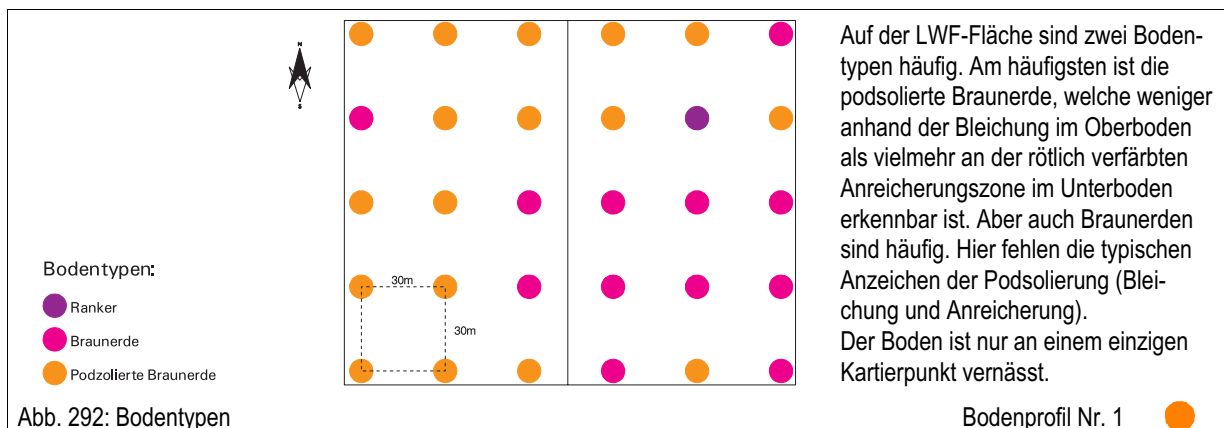
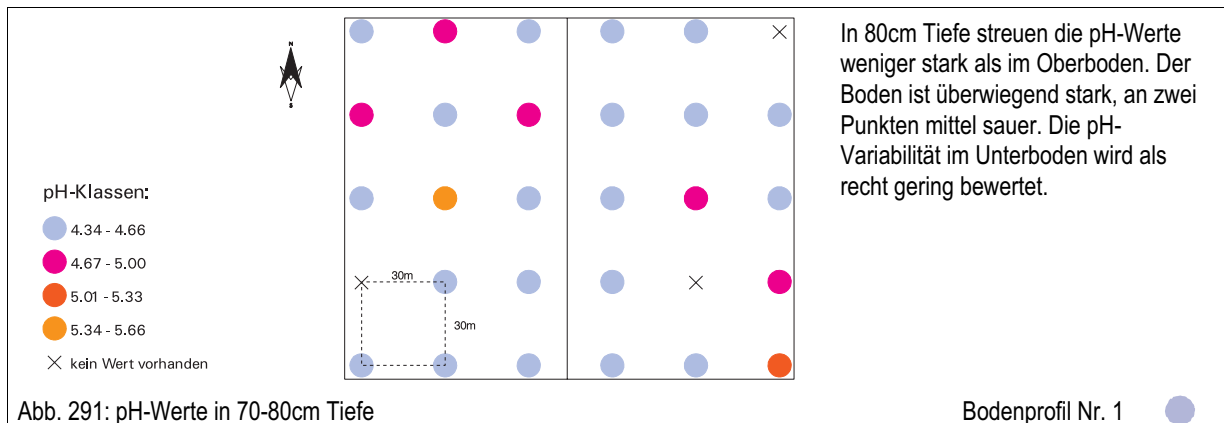
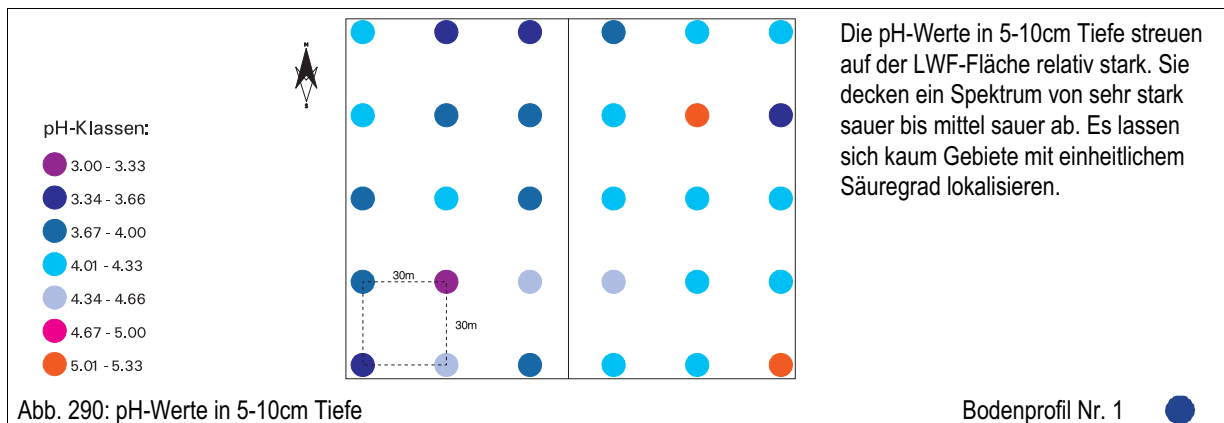
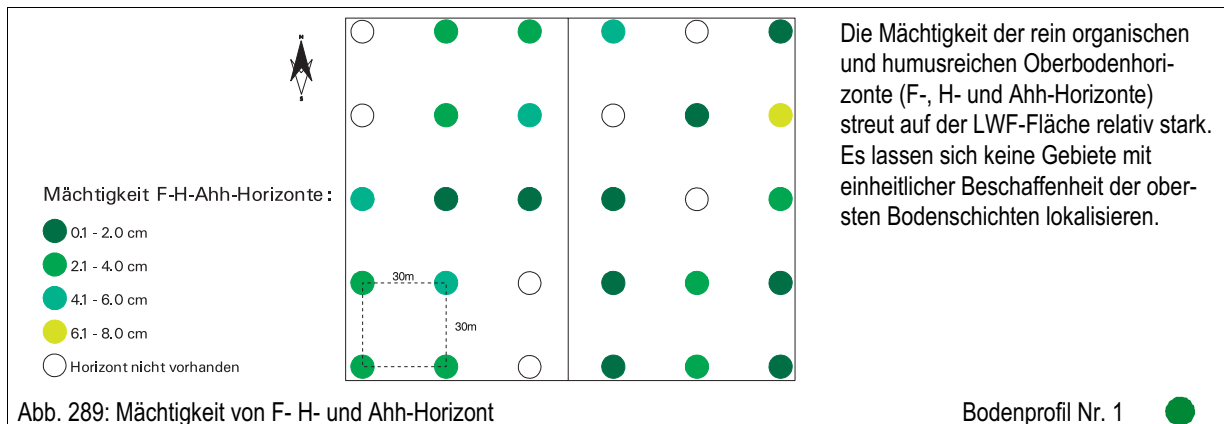
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 1
Mächtigkeit F-/H-Horizonte	cm	1	0	5	30	2
Mächtigkeit F-/H-/Ah-Horizonte	cm	2	0	7	30	3
Mächtigkeit Oberboden	cm	n.b.	8	n.b.	30	15
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	4.0	3.2	5.2	30	3.8
pH CaCl <sub>2</sub> 30-40cm	-	4.4	3.6	5.0	30	4.4
pH CaCl <sub>2</sub> 70-80cm	-	4.6	4.4	5.4	27	4.6
Gründigkeit	cm	>80	>80	>80	30	>130

Tab. 116: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Chironico)

Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull bis Rohhumus	Moder
Bodentyp	Ranker bis podsolierte Braunerde	podsolierte Braunerde
Vernässungsgrad	ohne Vernässung bis pseudovergleyt	ohne Vernässung

### 2.3.5.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden, pH-Wert und Bodentyp)

Die Abb. 289 bis 292 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von rund 30x30m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Chironico.



### 2.3.5.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Chironico fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Die LWF-Fläche liegt an einem nordexponierten Hang, der mit einer Mischung aus carbonatfreier Moräne und Gehängeschutt bedeckt ist. Der kristalline Felsuntergrund ist auf der LWF-Fläche nicht anstehend und wurde bei der Kartierung nirgendwo freigelegt. Die Lockergesteinsschicht über dem festen Sockel dürfte mehrere Meter mächtig sein.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Das Ausgangsgestein enthält kein Carbonat. Der Boden reagiert bis in grosse Tiefen sehr sauer. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist im Oberboden recht gross, nimmt dann aber mit zunehmender Tiefe ab.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Der Abbau der organischen Substanz ist gehemmt, was durch das Vorhandensein einer organischen Auflage zum Ausdruck kommt. Der gehemmte Abbau dürfte in erster Linie durch den hohen Säuregrad des Bodens und das kühlfeuchte Klima verursacht sein. In Chironico fällt der mächtige, humushaltige Mineralboden auf. Der relativ hohe Humusgehalt ist hier weniger auf bodenbiologische Prozesse (Durchmischung) sondern vielmehr auf Podsolierungsvorgänge zurückzuführen. Dabei wird organische Substanz in den Unterboden verlagert.

#### *Vernässung*

In diesem hochdurchlässigen Boden tritt keine Bodenvernässung auf. Einzige Ausnahme bildet ein Kartierpunkt im Bereich eines Quellaustrittes.

#### *Gründigkeit*

Die Gründigkeit des Bodens ist auf der ganzen LWF-Fläche sehr gross. An diesem Standort ist mit einer mehrere Meter mächtigen Schicht aus Lockergestein zu rechnen, welche grundsätzlich durchwurzelbar sein dürfte.

## 2.3.6 LWF-Fläche Isone (Kartierung)

### 2.3.6.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 117 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Isone. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 118 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 117: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Isone

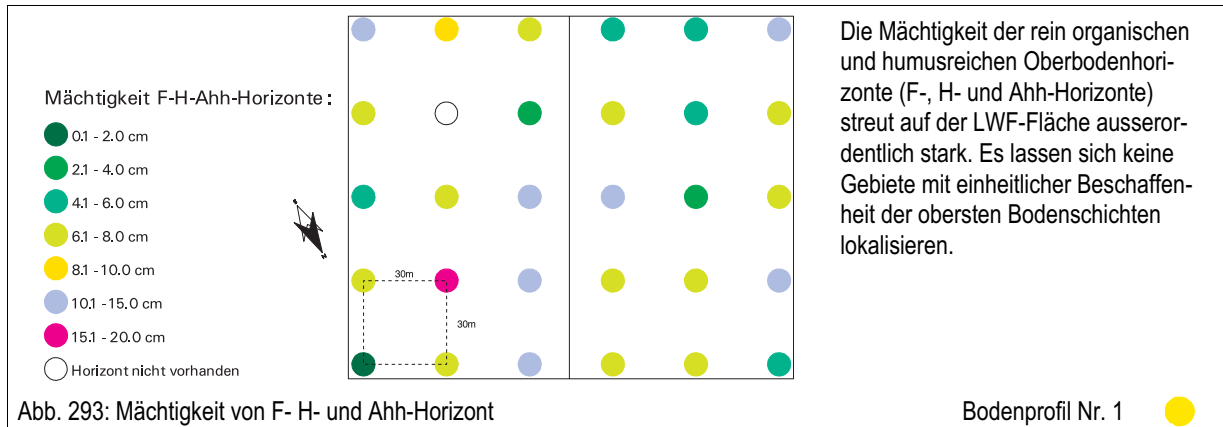
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 1
Mächtigkeit F-/H-Horizonte	cm	2	0	6	30	0
Mächtigkeit F-/H-/Ahh-Horizonte	cm	8	0	16	30	10
Mächtigkeit Oberboden	cm	43	20	90	30	30
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	3.8	3.1	4.7	30	3.5
pH CaCl <sub>2</sub> 30-40cm	-	4.5	4.1	4.8	30	4.6
pH CaCl <sub>2</sub> 70-80cm	-	4.8	4.5	5.2	30	4.7
Gründigkeit	cm	>90	>90	>90	30	>100

Tab. 118: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Isone)

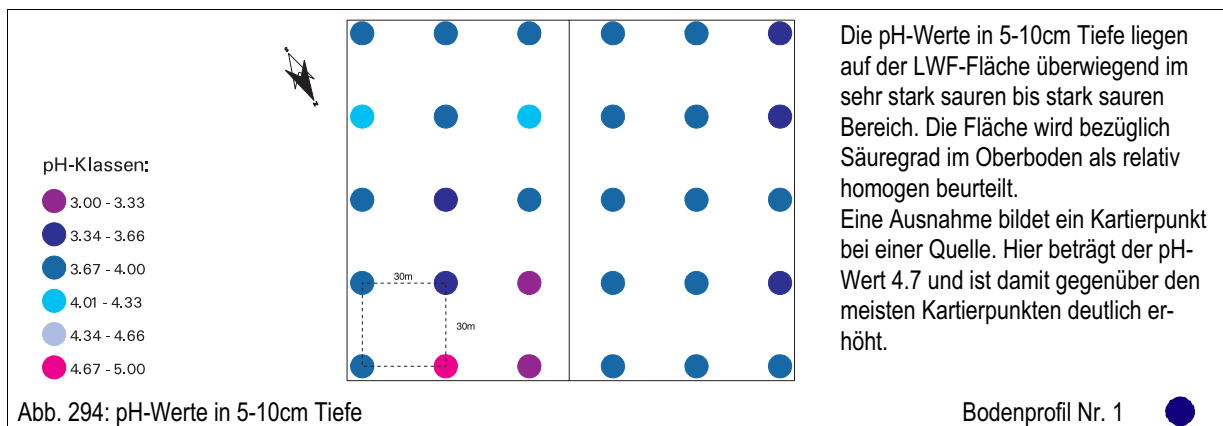
Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull bis Rohhumus	Mull
Bodentyp	Braunerde bis Kryptopodsol	Braunerde
Vernässungsgrad	ohne Vernässung bis pseudovergleyt	ohne Vernässung

### 2.3.6.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden, pH-Wert und Bodentyp)

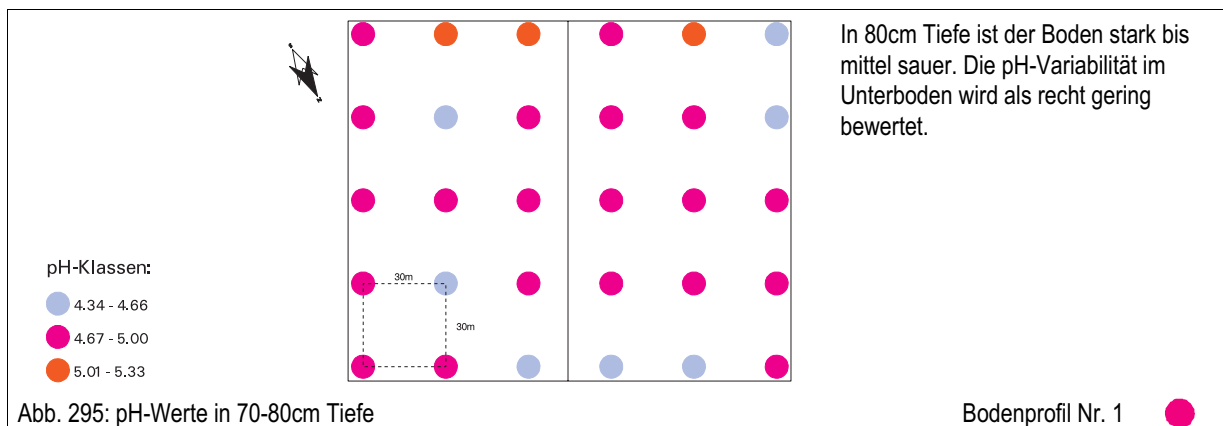
Die Abb. 293 bis 296 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von 30x30m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Isona.



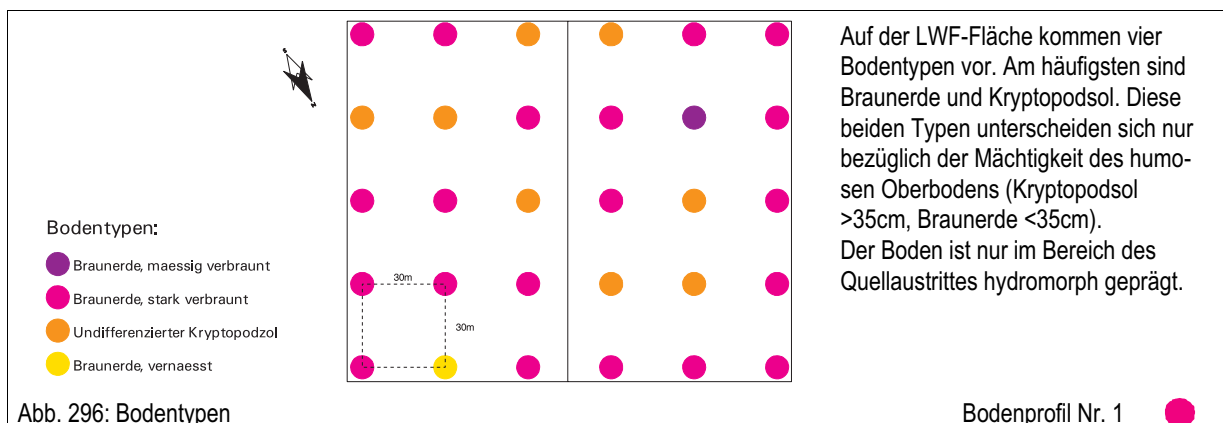
Die Mächtigkeit der rein organischen und humusreichen Oberbodenhorizonte (F-, H- und Ahh-Horizonte) streut auf der LWF-Fläche ausserordentlich stark. Es lassen sich keine Gebiete mit einheitlicher Beschaffenheit der obersten Bodenschichten lokalisieren.



Die pH-Werte in 5-10cm Tiefe liegen auf der LWF-Fläche überwiegend im sehr stark sauren bis stark sauren Bereich. Die Fläche wird bezüglich Säuregrad im Oberboden als relativ homogen beurteilt. Eine Ausnahme bildet ein Kartierpunkt bei einer Quelle. Hier beträgt der pH-Wert 4.7 und ist damit gegenüber den meisten Kartierpunkten deutlich erhöht.



In 80cm Tiefe ist der Boden stark bis mittel sauer. Die pH-Variabilität im Unterboden wird als recht gering bewertet.



Auf der LWF-Fläche kommen vier Bodentypen vor. Am häufigsten sind Braunerde und Kryptopodzol. Diese beiden Typen unterscheiden sich nur bezüglich der Mächtigkeit des humosen Oberbodens (Kryptopodzol >35cm, Braunerde <35cm). Der Boden ist nur im Bereich des Quellaustrittes hydromorph geprägt.

### 2.3.6.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Isona fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Die LWF-Fläche liegt an einem nordexponierten Steilhang, der mit einer Mischung aus carbonatfreier Moräne und Gehängeschutt bedeckt ist. Der kristalline Felsuntergrund ist auf der LWF-Fläche nicht anstehend und wurde bei der Kartierung nirgendwo freigelegt. Die Lockergesteinsschicht über dem festen Sockel dürfte mehrere Meter mächtig sein.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Das Ausgangsgestein enthält kein Carbonat. Der Boden reagiert bis in grosse Tiefen sehr sauer. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist in allen Bodentiefen relativ klein.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Der Abbau der organischen Substanz ist gehemmt, was durch das Vorhandensein einer organischen Auflage zum Ausdruck kommt. Der gehemmte Abbau dürfte in erster Linie durch den hohen Säuregrad des Bodens und das kühlfeuchte Klima verursacht sein. In Isona fällt der mächtige, humushaltige Mineralboden auf. Der relativ hohe Humusgehalt ist hier nicht nur auf bodenbiologische Prozesse (Durchmischung) sondern vermutlich auch auf Podsolierungsvorgänge zurückzuführen. Dabei wird organische Substanz in den Unterboden verlagert.

#### *Vernässung*

In diesem hochdurchlässigen Boden tritt keine Bodenvernässung auf. Einzige Ausnahme bildet ein Kartierpunkt im Bereich eines Quellaustrittes.

#### *Gründigkeit*

Die Gründigkeit des Bodens ist auf der ganzen LWF-Fläche sehr gross. An diesem Standort ist mit einer mehrere Meter mächtigen Schicht aus Lockergestein zu rechnen, welche grundsätzlich durchwurzelbar sein dürfte.

## 2.3.7 LWF-Fläche Jussy (Kartierung)

### 2.3.7.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 119 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Jussy. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 120 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 119: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Jussy

Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 1 (Jussy west!)
Mächtigkeit F-Horizont	cm	0	0	0	15	0
Mächtigkeit Oberboden	cm	3.0	0.2	6.0	15	12
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	4.1	3.6	4.6	13	4.8
pH CaCl <sub>2</sub> 70-80cm	-	n.b.	4.5	>7	15	7.6
Tiefe der Kalkgrenze	cm	72	62	90	15	70
Bodenverdichtung unterhalb	cm	40	30	50	15	40

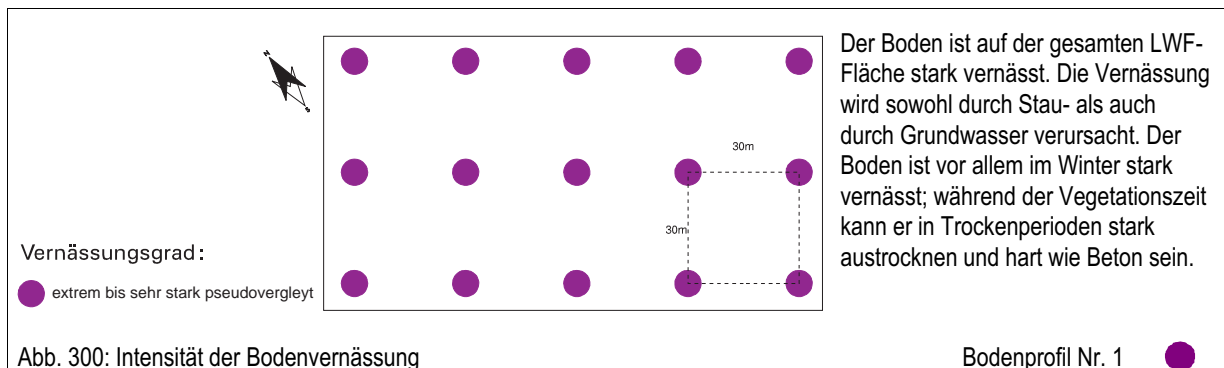
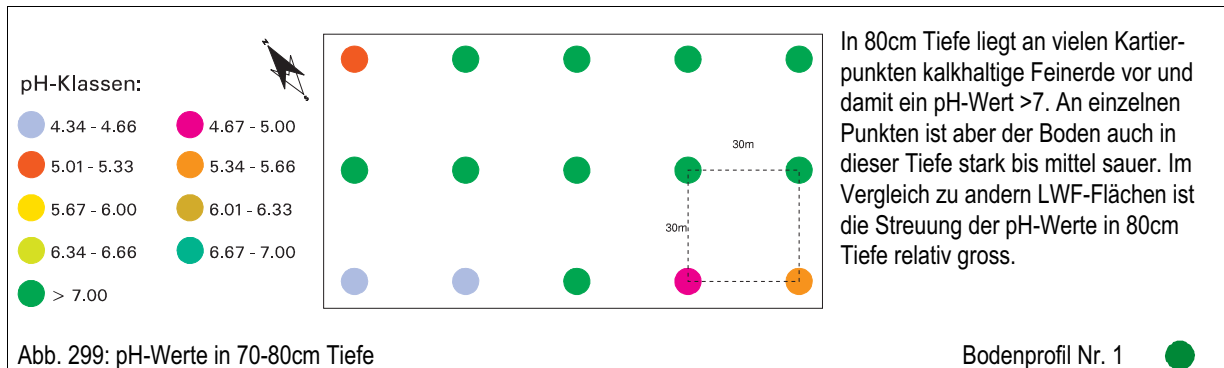
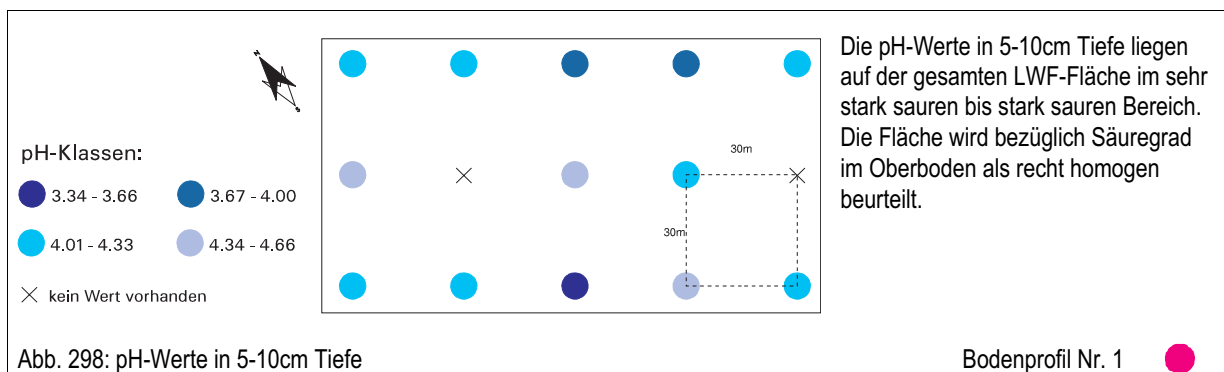
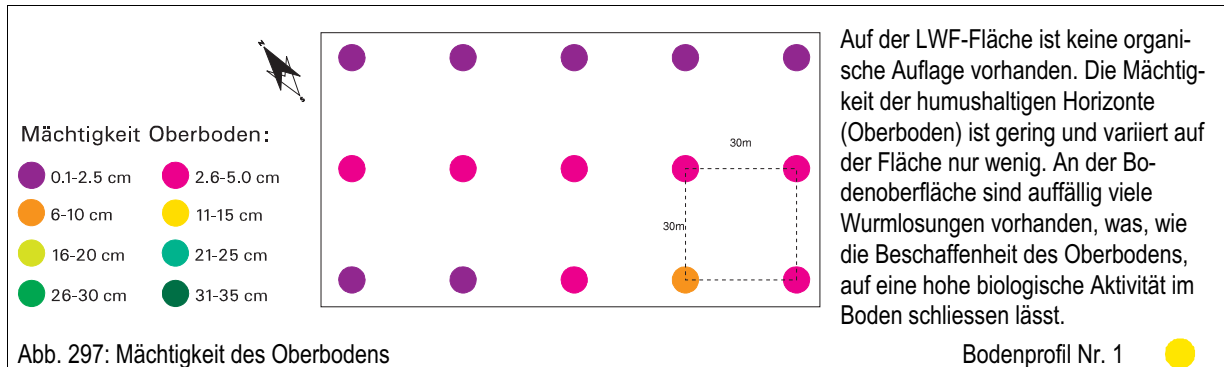
Tab. 120: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Jussy)

Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull	-
Bodentyp	Pseudogley	-
Vernässungsgrad	sehr stark bis extrem pseudovergleyt	extrem pseudovergleyt



### 2.3.7.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden, pH-Wert und Vernässung)

Die Abb. 297 bis 300 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von 30x30m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Jussy.



### 2.3.7.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Jussy fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Bis in die mit der Kartierung erfassten Tiefe von rund einem Meter konnte kein Gesteinswechsel festgestellt werden. Bodenbildendes Substrat ist auf der gesamten LWF-Fläche würmeiszeitliche, carbonathaltige Grundmoräne.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Im Verlaufe der Bodenbildung wurde das Ausgangsgestein mehr oder weniger tiefgreifend entcarbonatet. Die Tiefe der Kalkgrenze verläuft recht homogen. Sie liegt zwischen 60 und 90cm. Der Boden ist in den carbonatfreien Horizonten sehr sauer. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist im Oberboden gering, nimmt dann aber nach unten deutlich zu.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Es ist keine organische Auflage vorhanden. Der Abbau der organischen Substanz verläuft demnach optimal, was auch durch den gut strukturierten Oberboden und die Anhäufung von Wurmlösungen an der Bodenoberfläche zum Ausdruck kommt. Diese grosse biologische Aktivität erstaunt. Aufgrund des stark sauren Oberbodens und der wechselfeuchten Bedingungen mit ausgeprägter Sommertrockenheit würde man, zumindest phasenweise, mit einem gehemmten Streuabbau rechnen.

#### *Vernässung*

Der Boden ist auf der gesamten LWF-Fläche stark hydromorph geprägt, wobei dies sowohl auf Stau- als auch auf Grundwasser zurückzuführen ist. Der Bodenwasserhaushalt hat einen ausgeprägten Jahresgang. Im Winter ist der Boden oft bis nahe an die Bodenoberfläche wassergesättigt, im Sommer können dagegen lange und sehr trockene Perioden auftreten.

#### *Gründigkeit*

Die Gründigkeit des Bodens ist nur schwer abschätzbar. In mehreren, morphologisch detailliert beschriebenen Bodenprofilen wurden profilumfassend Wurzeln festgestellt. Auch unterhalb von 80-100cm kommen trotz grosser Dichte und starker Vernässung vereinzelt Feinwurzeln vor. Offensichtlich kommen Eiche und Hagebuche mit den für das Wurzelwachstum ungünstigen Bodeneigenschaften ganz gut zurecht.

## 2.3.8 LWF-Fläche Lausanne (Kartierung)

### 2.3.8.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 121 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Lausanne. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 122 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 121: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Lausanne

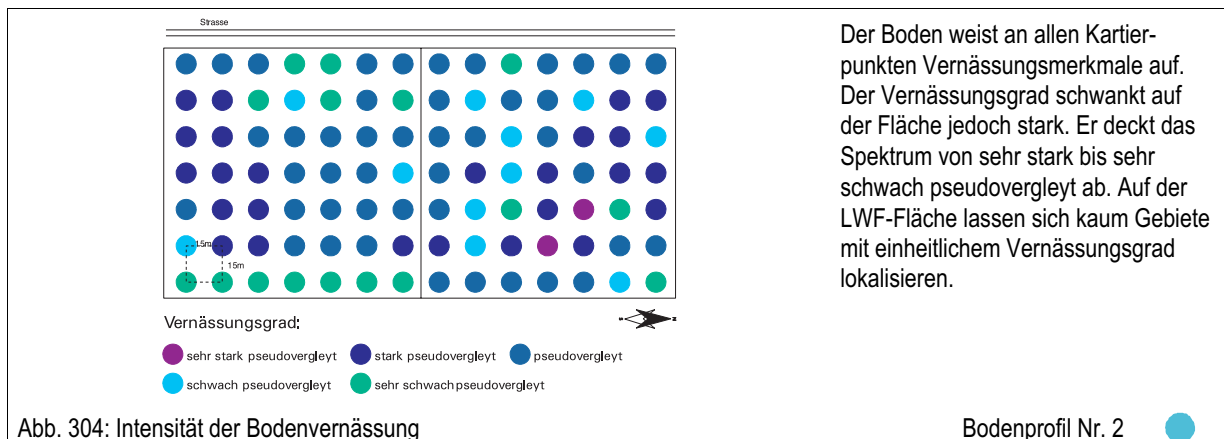
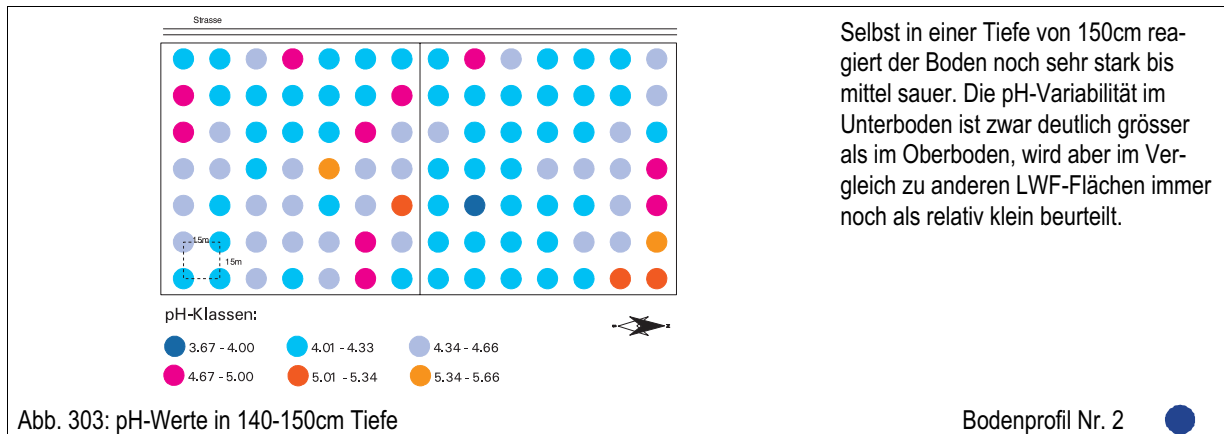
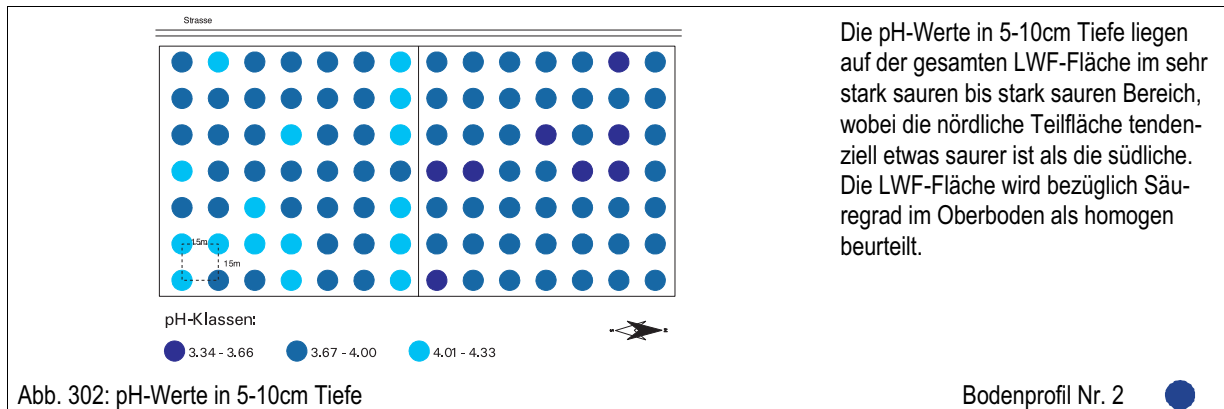
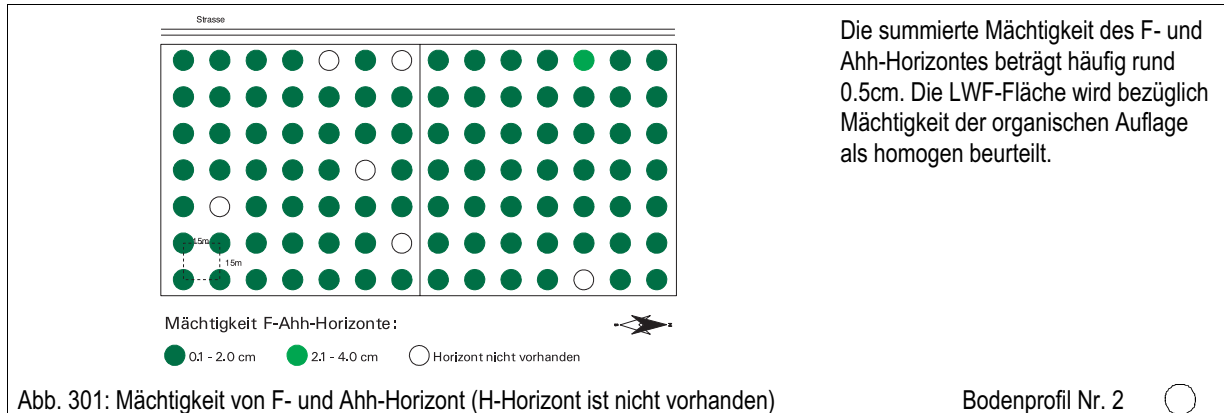
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 2
Mächtigkeit F-Horizont	cm	0.1	0.0	2.0	98	0
Mächtigkeit F- / Ahh-Horizont	cm	0.4	0.0	3.0	98	0
Mächtigkeit Oberboden	cm	40	8	60	98	60
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	3.9	3.4	4.2	98	3.9
pH CaCl <sub>2</sub> 70-80cm	-	4.1	3.9	5.0	98	4.0
pH CaCl <sub>2</sub> 140-150cm	-	4.3	4.0	5.6	98	4.2
Tiefe der Kalkgrenze	cm	n.b.	180	>300	98	300
Gründigkeit	cm	n.b.	90	>300	98	>300
Moränenüberdeckung	cm	n.b.	60	>300	46	>300

Tab. 122: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Lausanne)

Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull bis Moder	Moder
Bodentyp	Braunerde, s. schwach ps.vergleyt bis Pseudogley	Braunerde, pseudovergleyt
Vernässungsgrad	sehr schwach bis sehr stark pseudovergleyt	pseudovergleyt

### 2.3.8.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden, pH-Wert und Vernässung)

Die Abb. 301 bis 304 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von 15x15m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Lausanne.



### 2.3.8.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Lausanne fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Die Kartierung hat gezeigt, dass auf der LWF-Fläche zwei unterschiedliche Ausgangsgesteine vorhanden sind. Oberflächlich liegt überall Würmmoräne. Die Mächtigkeit dieser Moräneschicht variiert sehr stark. Sie ist minimal 0.6m, oft aber auch mehr als 3.0m mächtig. Unter der Moräne liegt Molasse-Sandstein. Sowohl die Moräne als auch der Sandstein sind im unverwitterten Zustand carbonathaltig.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Im Verlaufe der Bodenbildung wurde das Ausgangsgestein (Moräne, Molasse) mehr oder weniger tiefgreifend entcarbonatet. Die Kalkgrenze verläuft heute überall unterhalb von 1.5m Tiefe. Sie liegt minimal bei rund 1.8m, maximal bei über 3.0m Tiefe. Der Boden reagiert bis in grosse Tiefen sehr sauer. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist insbesondere im Oberboden gering, was dem hohen Verwitterungsgrad des Bodens entspricht.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Es ist eine geringmächtige organische Auflage vorhanden. Der Abbau der organischen Substanz ist demnach etwas gehemmt. Dies dürfte vor allem am hohen Säuregrad des Bodens liegen. Die Mächtigkeit der stark humushaltigen Bodenhorizonte (F- und Ahh-Horizonte) variiert auf der LWF-Fläche nur wenig. Die relativ grosse Mächtigkeit des Oberbodens und sein Aggregatgefüge lassen trotz organischer Auflage eine recht grosse biologische Aktivität im Mineralboden erwarten.

#### *Vernässung*

Der Boden ist auf der gesamten LWF-Fläche mehr oder weniger stark vernässt. Dies dürfte an manchen Stellen durch den in grösserer Tiefe vorhandenen Molasse-Sandstein verursacht werden. Im unverwitterten Zustand ist der Sandstein nämlich sehr kompakt und kann als Wasserstauer wirken.

#### *Gründigkeit*

Die Gründigkeit des Bodens ist meistens sehr gross und beträgt mehr als 1.5m. An einigen Stellen dürfte die Gründigkeit jedoch durch kompakten Sandstein reduziert sein. Hier kann der durchwurzelbare Boden auf rund ein Meter beschränkt sein.

Die Bodenvernässung ist offensichtlich nicht so stark, als dass sie das Wurzelwachstum zu unterbinden vermöchte.

## 2.3.9 LWF-Fläche Lens (Kartierung)

### 2.3.9.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 123 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Lens. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 124 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 123: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Lens

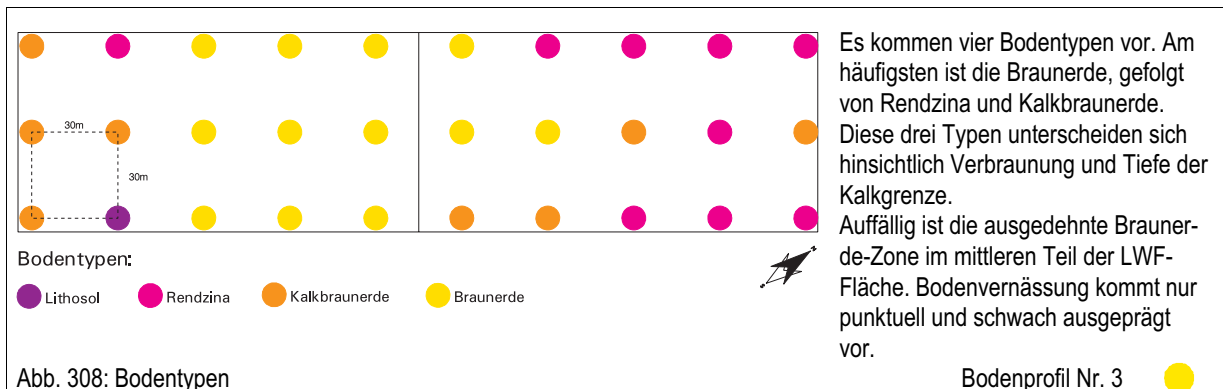
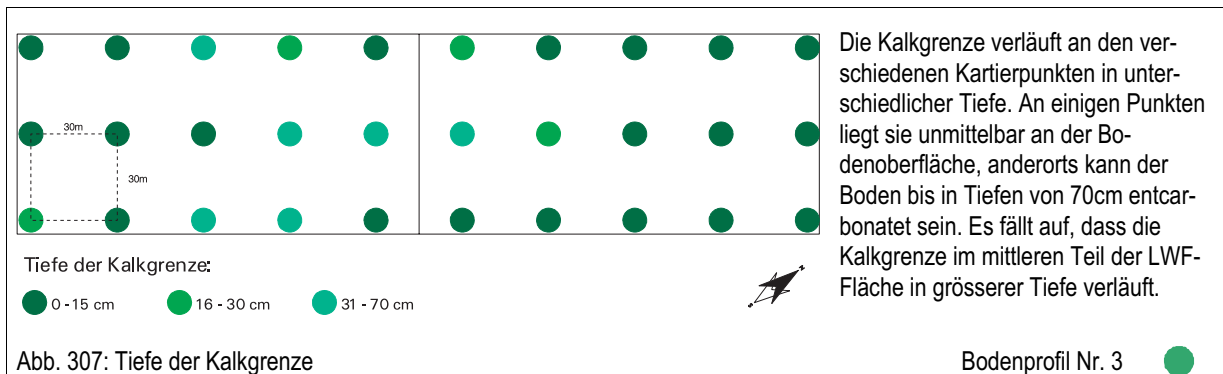
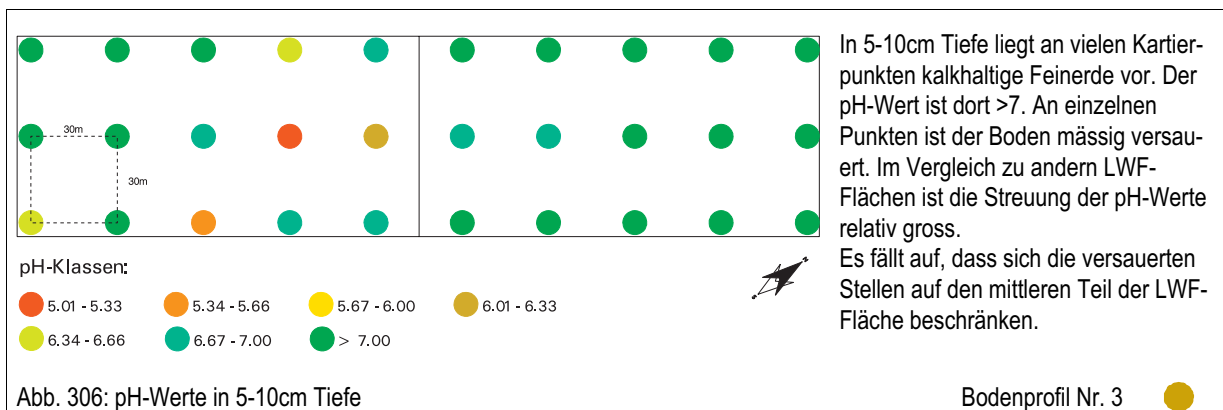
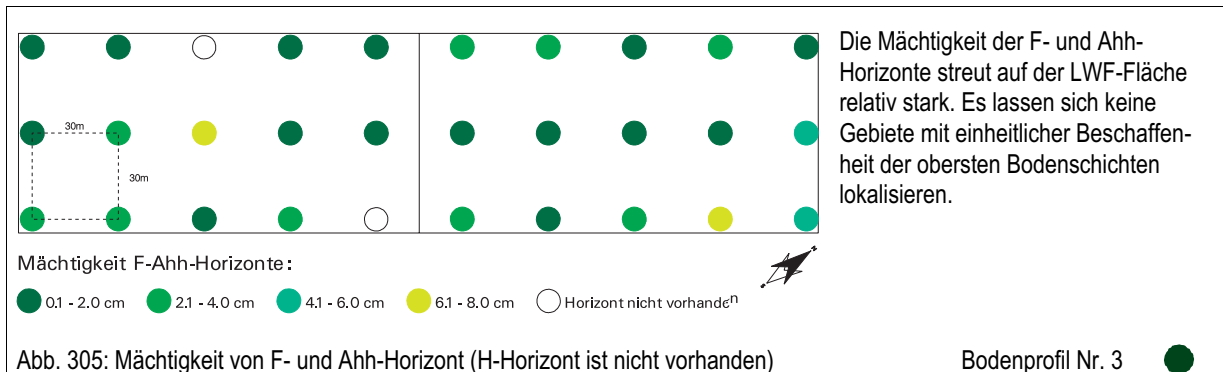
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 3
Mächtigkeit F-Horizont	cm	2.0	0.0	8.0	30	0.5
Mächtigkeit F- / Ahh-Horizonte	cm	2.0	0.0	8.0	30	0.5
Mächtigkeit Oberboden	cm	20	0	35	30	13
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	>7	5.1	>7	30	6.1
pH CaCl <sub>2</sub> 20-30cm	-	>7	6.5	>7	30	6.9
Tiefe der Kalkgrenze	cm	5	0	65	30	40
Mächtigkeit Verbraunungshorizonte	cm	25	0	90	30	47
Gründigkeit	cm	>110	10	>110	30	>100

Tab. 124: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Lens)

Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull bis Moder	Moder
Bodentyp	Lithosol bis Braunerde	Kalkbraunerde
Vernässungsgrad	ohne Vernässung bis sehr schwach pseudovergleyt	ohne Vernässung

### 2.3.9.2 Karten ausgewählter Parameter (Oberboden, pH-Wert, Kalkgrenze, Bodentyp)

Die Abb. 305 bis 308 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von 30x30m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Lens.



### 2.3.9.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Lens fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Die LWF-Fläche liegt an einem südexponierten Steilhang, der mit Gehängeschutt aus Carbonatgesteinen bedeckt ist. Der Felsuntergrund aus sandigem Kalkstein ist auf der LWF-Fläche nirgends anstehend, wurde jedoch bei der Kartierung an einigen Stellen freigelegt. Bodenbildendes Substrat ist auf der ganzen LWF-Fläche der Gehängeschutt.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Im Verlaufe der Bodenbildung wurde das Ausgangsgestein mehr oder weniger tiefgreifend entcarbonatet. Die Tiefe der Kalkgrenze verläuft heterogen. Sie liegt minimal an der Bodenoberfläche, maximal in rund 70cm Tiefe. Der Boden ist in den carbonatfreien Horizonten mässig versauert, die flächige Variabilität des pH-Wertes ist gross.

Im mittleren Teil der LWF-Fläche verläuft die Kalkgrenze am tiefsten. Hier werden auch die niedrigsten pH-Werte angetroffen.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Vielerorts ist eine organische Auflage vorhanden. Der Abbau der organischen Substanz ist demnach gehemmt. Dies dürfte weniger am Säuregrad, sondern vielmehr an der zeitweiligen Austrocknung des Bodens liegen. Die Mächtigkeit der stark humushaltigen Bodenhorizonte (F- und Ahh-Horizonte) variiert auf der LWF-Fläche stark.

An der relativ grossen Mächtigkeit des Oberbodens lässt sich erkennen, dass im Jahresverlauf zeitweise günstige Bedingungen für die bodendurchmischenden Organismen herrschen.

#### *Vernässung*

Im Boden wurden nur ausnahmsweise hydromorphe Merkmale angetroffen. An diesen Stellen ist der Boden aber nur sehr schwach vernässt.

#### *Gründigkeit*

Auf der LWF-Fläche variiert die Gründigkeit des Bodens stark. An einigen Stellen ist sie durch den felsigen Untergrund reduziert. Dort ist der durchwurzelbare Boden stellenweise auf weniger als 1.0m beschränkt.



## 2.3.10 LWF-Fläche Nationalpark (Kartierung)

### 2.3.10.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 125 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Nationalpark. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 126 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 125: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Nationalpark

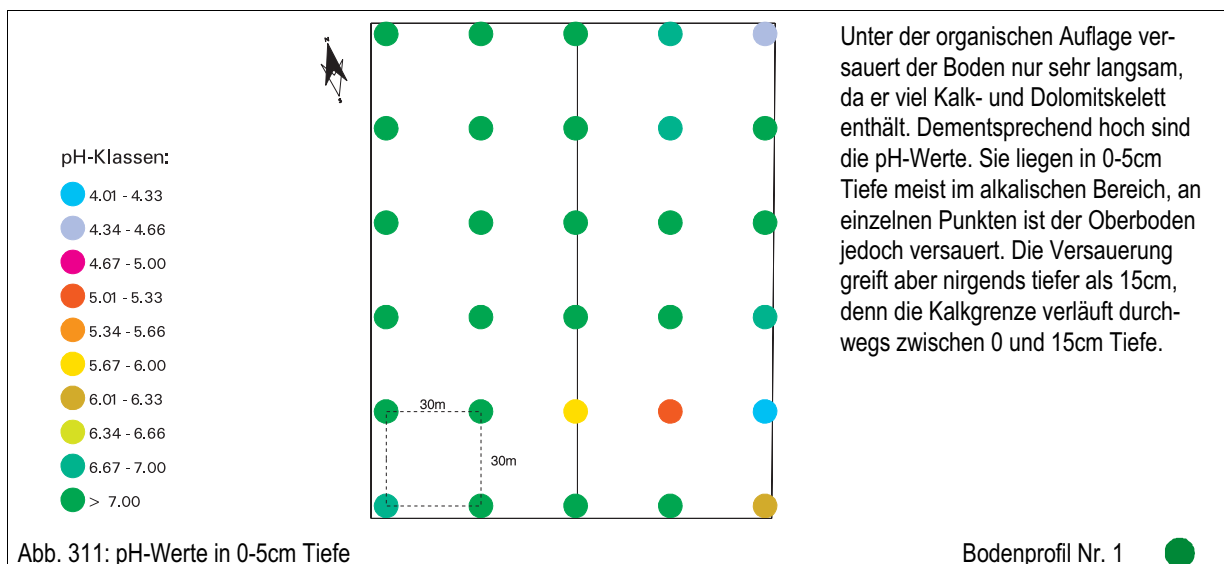
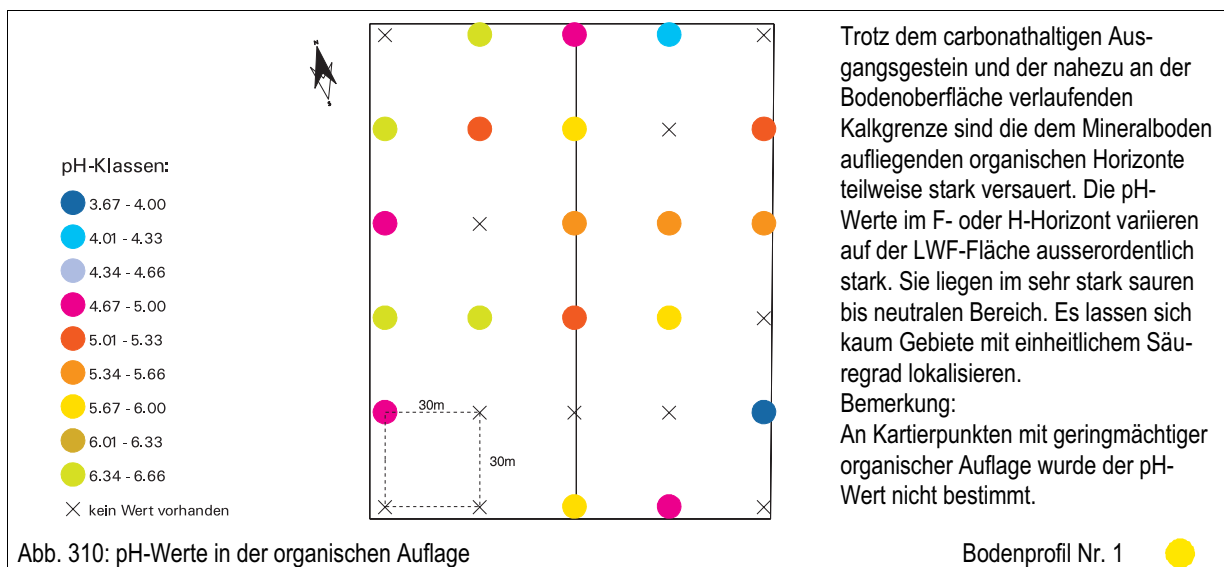
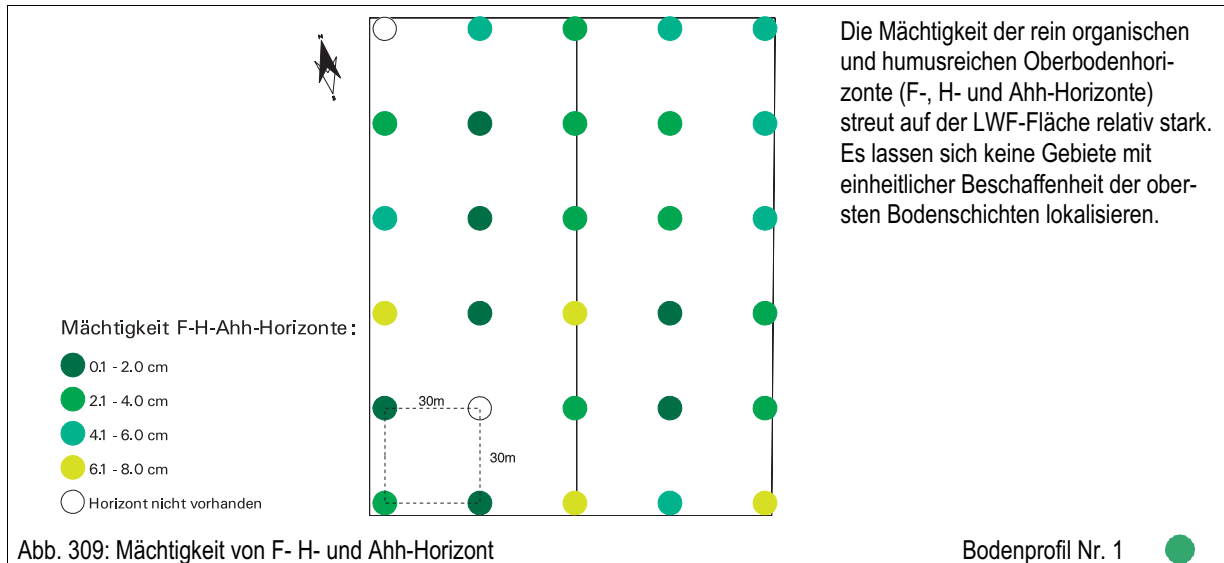
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 1
Mächtigkeit F-/H-Horizonte	cm	2.3	0.0	7.0	30	4.0
Mächtigkeit F-/H-/Ah-Horizonte	cm	3.0	0.0	8.0	30	6.0
Mächtigkeit Oberboden	cm	20	10	25	30	8
pH CaCl <sub>2</sub> organische Auflage	-	5.4	3.9	6.6	19	6.0
pH CaCl <sub>2</sub> 0-5cm	-	>7	4.2	>7	30	7.1
Tiefe der Kalkgrenze	cm	2	0	8	30	10
Gründigkeit	cm	>70	>70	>70	30	>110

Tab. 126: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Nationalpark)

Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull bis Rohhumus	Rohhumus
Bodentyp	Rendzina	-
Vernässungsgrad	ohne Vernässung bis sehr schwach pseudovergleyt	ohne Vernässung

### 2.3.10.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden und pH-Wert)

Die Abb. 309 bis 311 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von 30x30m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Nationalpark.



### 2.3.10.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Nationalpark fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Das Ausgangsgestein besteht überwiegend aus Kalken, Dolomiten und Rauhdecken. Die LWF-Fläche liegt auf einem nacheiszeitlichen Schwemmfächer. Durch den nahegelegenen Wildbach wurden Ablagerungen unterschiedlicher Korngrösse sedimentiert, so dass der Boden lagig aufgebaut ist. Schluff- und Sandlinsen wechseln sich mit skelettreichen Schichten ab.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Die organische Auflage weist auf der LWF-Fläche ein weites pH-Spektrum auf. Sie ist stellenweise stark sauer.

Das ursprünglich kalkhaltige Ausgangsgestein ist nur nahe der Bodenoberfläche entcarbonatet. Die Kalkgrenze verläuft in maximal 10cm Tiefe. Der Mineralboden ist in den carbonatfreien Horizonten örtlich stark versauert. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist im Oberboden gross, nimmt dann aber zur Tiefe hin rasch ab, weil sich hier das Carbonat nivellierend auf die pH-Werte auswirkt.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Vielerorts ist eine organische Auflage vorhanden. Der Abbau der organischen Substanz ist demnach gehemmt. Dies dürfte mit der zeitweiligen Austrocknung des Oberbodens zusammenhängen. Die Mächtigkeit der stark humushaltigen Bodenhorizonte (F-, H- und Ahh-Horizonte) variiert auf der LWF-Fläche recht stark. An der relativ grossen Mächtigkeit des Oberbodens lässt sich erkennen, dass im Jahresverlauf zeitweise günstige Bedingungen für die bodendurchmischenden Organismen herrschen.

#### *Vernässung*

Vernässungsmerkmale kommen nur in den Schlufflinsen vor. Es handelt sich dabei um kleinflächige, kaum sichtbare Rostflecken. Die bodenökologische Bedeutung der beobachteten Vernässung dürfte vernachlässigbar sein.

#### *Gründigkeit*

Die Gründigkeit des Bodens ist auf der ganzen LWF-Fläche sehr gross. Auf diesem Schwemmfächer ist mit einer mehrere Meter mächtigen Schicht aus Lockergestein zu rechnen, welche grundsätzlich durchwurzelbar sein dürfte.

## 2.3.11 LWF-Fläche Neunkirch (Kartierung)

### 2.3.11.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 127 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Neunkirch. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 128 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 127: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Neunkirch

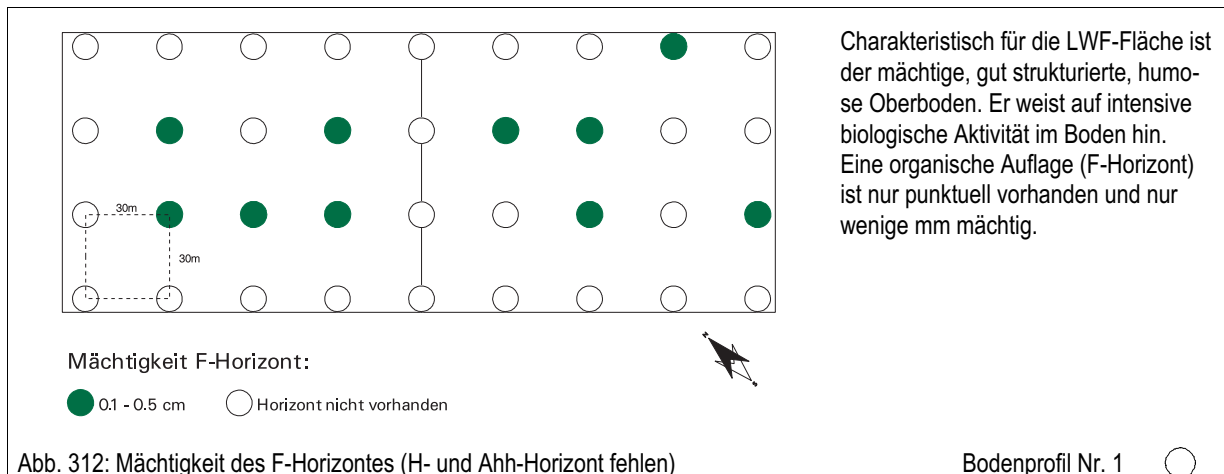
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 1
Mächtigkeit F-Horizont	cm	0.0	0.0	0.3	36	0.0
Mächtigkeit Oberboden	cm	>50	45	>50	36	75
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	>7	6.8	>7	36	7.4
Tiefe der Kalkgrenze	cm	0	0	15	36	0
Gründigkeit	cm	>50	>50	>50	36	>100

Tab. 128: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Neunkirch)

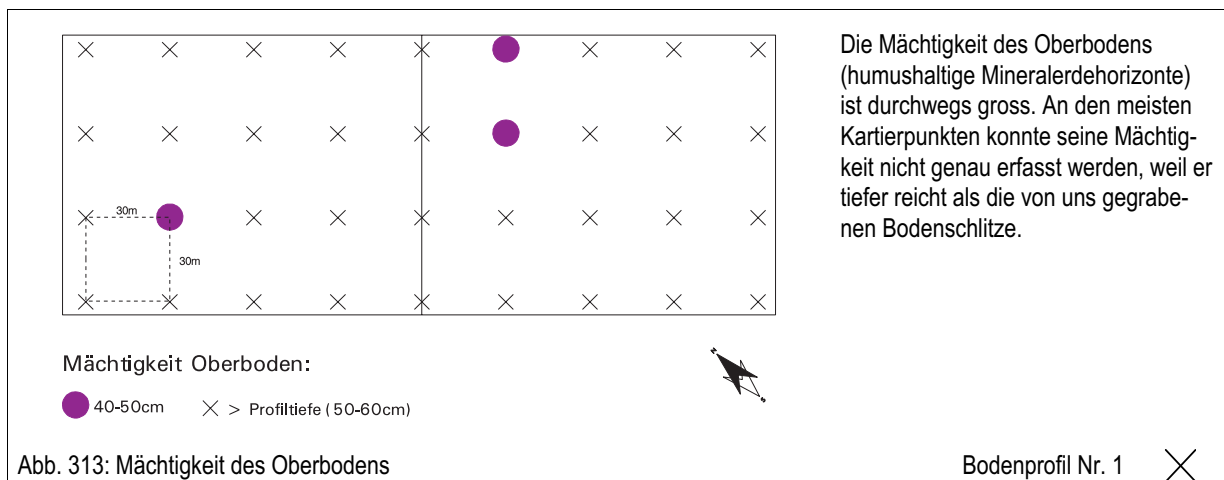
Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull bis Moder	Mull
Bodentyp	Rendzina	-
Vernässungsgrad	ohne Vernässung	-

### 2.3.11.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden und pH-Wert)

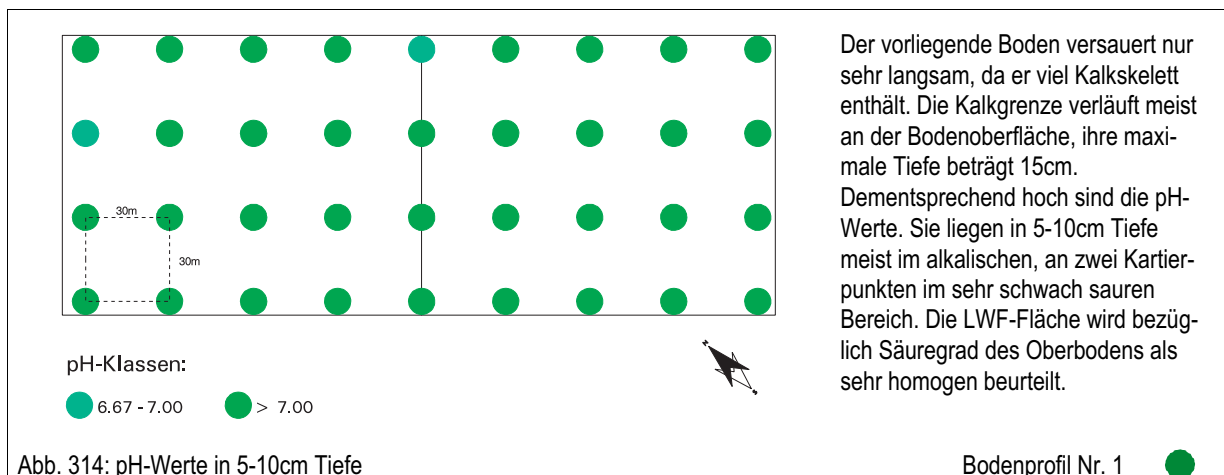
Die Abb. 312 bis 314 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von 30x30m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Neunkirch.



Charakteristisch für die LWF-Fläche ist der mächtige, gut strukturierte, humose Oberboden. Er weist auf intensive biologische Aktivität im Boden hin. Eine organische Auflage (F-Horizont) ist nur punktuell vorhanden und nur wenige mm mächtig.



Die Mächtigkeit des Oberbodens (humushaltige Mineralerdehorizonte) ist durchwegs gross. An den meisten Kartierpunkten konnte seine Mächtigkeit nicht genau erfasst werden, weil er tiefer reicht als die von uns gegrabenen Bodenschlitze.



Der vorliegende Boden versauert nur sehr langsam, da er viel Kalkskelett enthält. Die Kalkgrenze verläuft meist an der Bodenoberfläche, ihre maximale Tiefe beträgt 15cm. Dementsprechend hoch sind die pH-Werte. Sie liegen in 5-10cm Tiefe meist im alkalischen, an zwei Kartierpunkten im sehr schwach sauren Bereich. Die LWF-Fläche wird bezüglich Säuregrad des Oberbodens als sehr homogen beurteilt.

### 2.3.11.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Neunkirch fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Das Ausgangsgestein besteht aus hartem Kalkgestein-Gehängeschutt. Bis in die mit der Kartierung erfassten Tiefe von rund 50cm wurde kein Gesteinswechsel festgestellt. Der sich unter dem Gehängeschutt befindende Kalkgestein-Felsuntergrund wurde bei der Kartierung nicht erschlossen.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Im Verlaufe der Bodenbildung wurde das Ausgangsgestein nur sehr oberflächennah entcarbonatet. Die Kalkgrenze verläuft meist an der Bodenoberfläche, maximal in rund 15cm Tiefe. Der Boden reagiert überwiegend alkalisch, in den carbonatfreien Horizonten bisweilen sehr schwach sauer. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist klein.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Stellenweise ist eine sehr geringmächtige organische Auflage vorhanden. Der Abbau der organischen Substanz ist demnach lokal leicht gehemmt. Dies dürfte an der zeitweiligen Austrocknung des Bodens liegen. An der grossen Mächtigkeit des Oberbodens lässt sich jedoch erkennen, dass im Jahresverlauf meist günstige Bedingungen für die bodendurchmischenden Organismen herrschen. Insgesamt wird die biologische Aktivität im Boden als hoch bewertet.

#### *Vernässung*

Im Boden wurden keine Vernässungsmerkmale beobachtet.

#### *Gründigkeit*

Die Gründigkeit des Bodens ist auf der LWF-Fläche nur schwer abschätzbar. Bis in die mit der Kartierung erfassten Tiefe von 0.5m wurde nirgendwo der feste Kalkgestein-Untergrund erschlossen, so dass die Gründigkeit also mindestens 0.5m beträgt. Beobachtungen in Bodenprofilen legen jedoch nahe, dass die Gründigkeit auf der LWF-Fläche mindestens 1.2m betragen dürfte.

## 2.3.12 LWF-Fläche Novaggio (Kartierung)

### 2.3.12.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 129 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Novaggio. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 130 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 129: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Novaggio

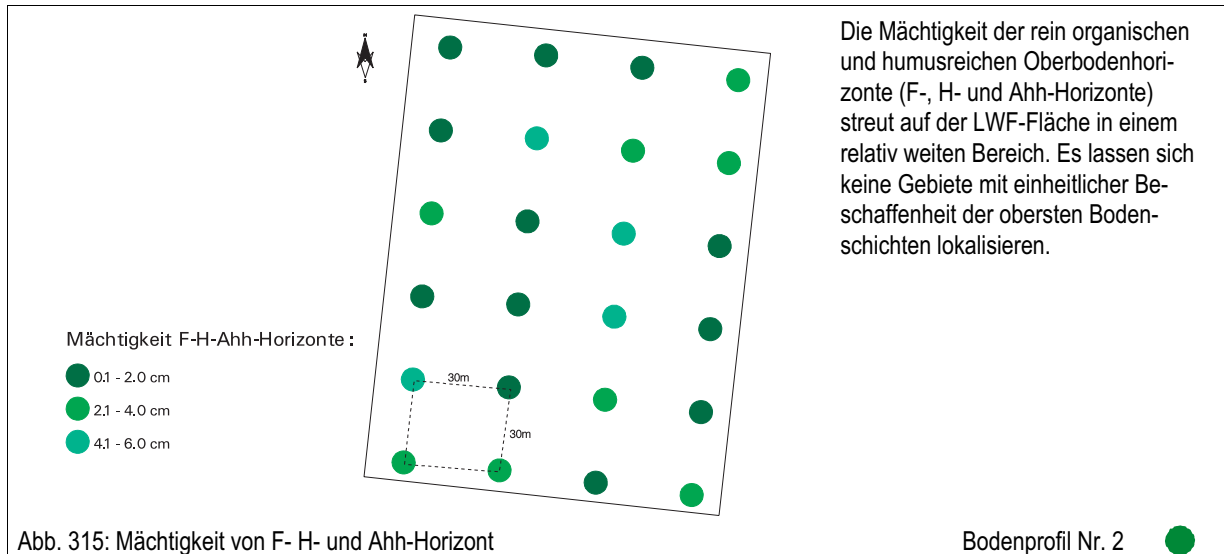
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 2
Mächtigkeit F-/H-Horizonte	cm	1.5	0.0	4.0	24	1.0
Mächtigkeit F-/H-/Ah-Horizonte	cm	2.1	0.4	5.5	24	3.0
Mächtigkeit Oberboden	cm	72	50	100	23	55
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	3.8	3.4	4.8	24	3.9
pH CaCl <sub>2</sub> 70-80cm	-	4.5	4.1	4.8	22	5.0
Gründigkeit	cm	>80	>80	>80	24	>170

Tab. 130: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Novaggio)

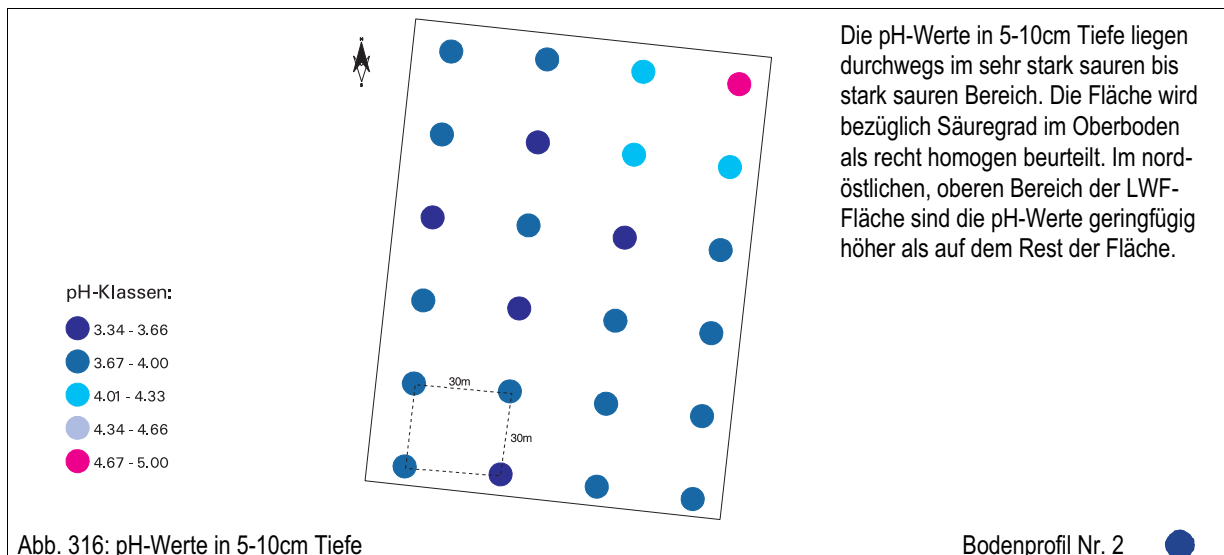
Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull bis Rohhumus	Rohhumus
Bodentyp	Braunerde bis Kryptopodsol, undifferenziert	Kryptopodsol, undifferenziert
Vernässungsgrad	keine Vernässung	-

### 2.3.12.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden und pH-Wert)

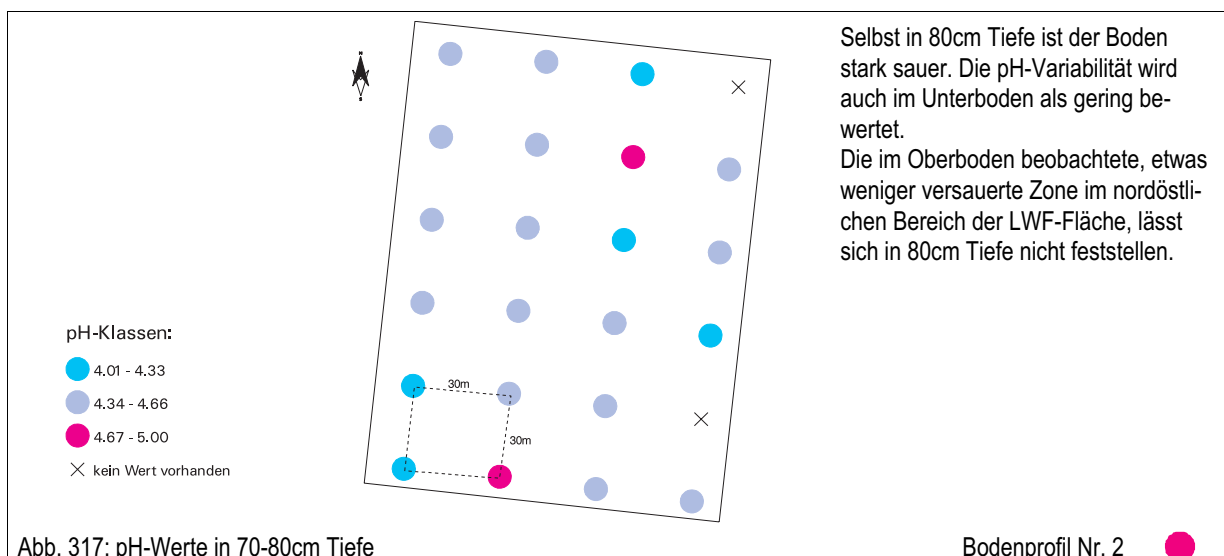
Die Abb. 315 bis 317 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von rund 30x30m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Novaggio.



Die Mächtigkeit der rein organischen und humusreichen Oberbodenhorizonte (F-, H- und Ahh-Horizonte) streut auf der LWF-Fläche in einem relativ weiten Bereich. Es lassen sich keine Gebiete mit einheitlicher Beschaffenheit der obersten Bodenschichten lokalisieren.



Die pH-Werte in 5-10cm Tiefe liegen durchwegs im sehr stark sauren bis stark sauren Bereich. Die Fläche wird bezüglich Säuregrad im Oberboden als recht homogen beurteilt. Im nordöstlichen, oberen Bereich der LWF-Fläche sind die pH-Werte geringfügig höher als auf dem Rest der Fläche.



Selbst in 80cm Tiefe ist der Boden stark sauer. Die pH-Variabilität wird auch im Unterboden als gering bewertet. Die im Oberboden beobachtete, etwas weniger versauerte Zone im nordöstlichen Bereich der LWF-Fläche, lässt sich in 80cm Tiefe nicht feststellen.



### 2.3.12.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Novaggio fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Die LWF-Fläche liegt an einem südexponierten Steilhang, der mit carbonatfreier Moräne bedeckt ist. Der kristalline Felsuntergrund ist auf der LWF-Fläche nicht anstehend. In der oberen, östlichen Ecke der Fläche dürfte der Felsuntergrund jedoch relativ nahe unter der Bodenoberfläche verlaufen. Die Mächtigkeit der Moräne (Lockergesteinsschicht) variiert stark auf der Fläche. Sie beträgt stellenweise über fünf Meter.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Das Ausgangsgestein enthält kein Carbonat. Der Boden reagiert bis in grosse Tiefen sehr sauer. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist in allen Bodentiefen relativ klein.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Der Abbau der organischen Substanz ist gehemmt, was durch das Vorhandensein einer organischen Auflage zum Ausdruck kommt. Der gehemmte Abbau dürfte in erster Linie durch den hohen Säuregrad des Bodens und die zeitweilige Trockenheit verursacht sein. In Novaggio fällt der mächtige, humushaltige Mineralboden auf. Der relativ hohe Humusgehalt ist hier nicht nur auf bodenbiologische Prozesse (Durchmischung) sondern vermutlich auch auf Podsolierungsvorgänge zurückzuführen. Dabei wird organische Substanz in den Unterboden verlagert.

#### *Vernässung*

In diesem hochdurchlässigen Boden tritt keine Bodenvernässung auf.

#### *Gründigkeit*

Der Boden ist auf dem grössten Teil der LWF-Fläche sehr tiefgründig. Die grundsätzlich durchwurzelbare Schicht aus Lockergestein dürfte meist mehrere Meter mächtig sein.

## 2.3.13 LWF-Fläche Othmarsingen (Kartierung)

### 2.3.13.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 131 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Othmarsingen. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 132 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 131: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Othmarsingen

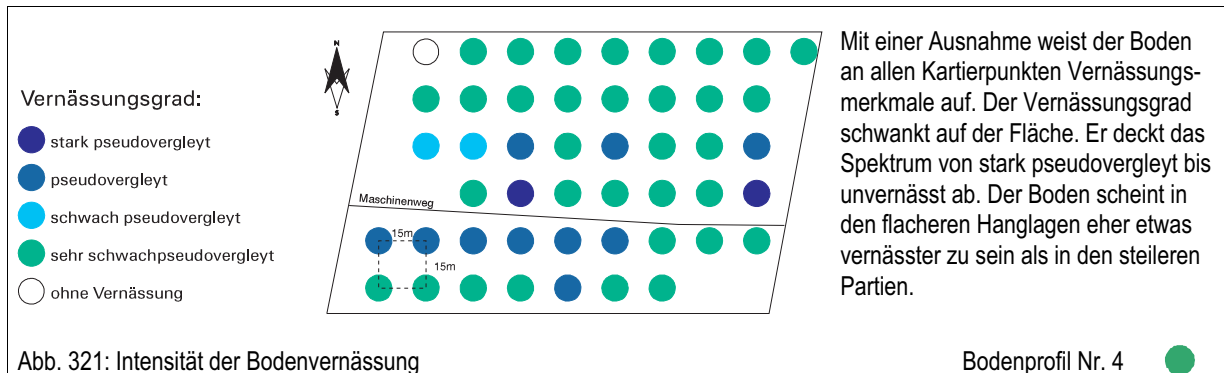
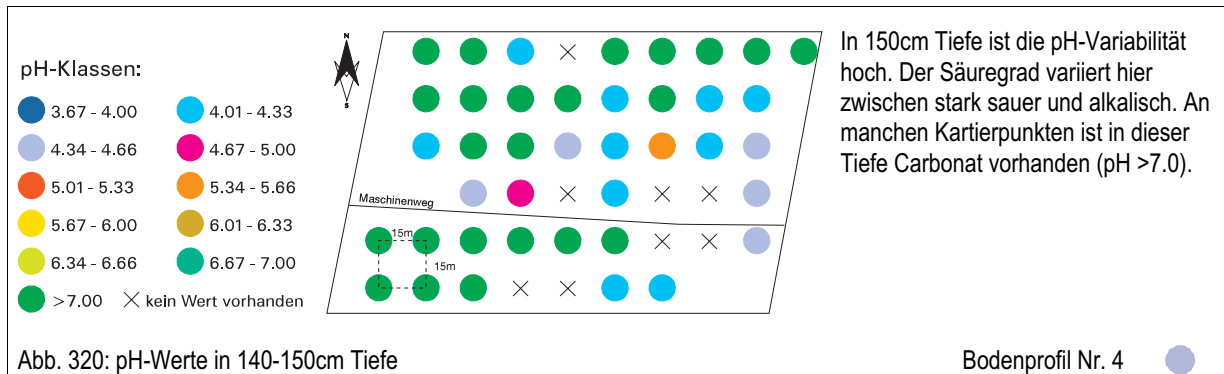
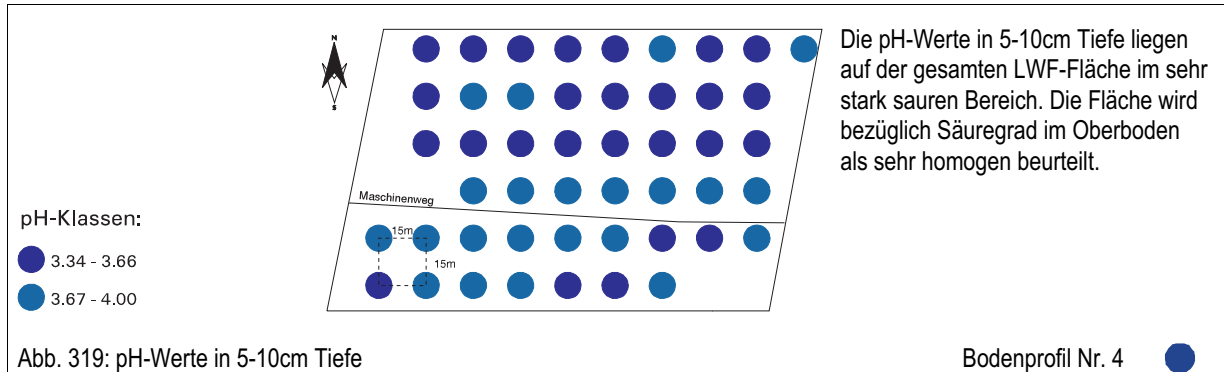
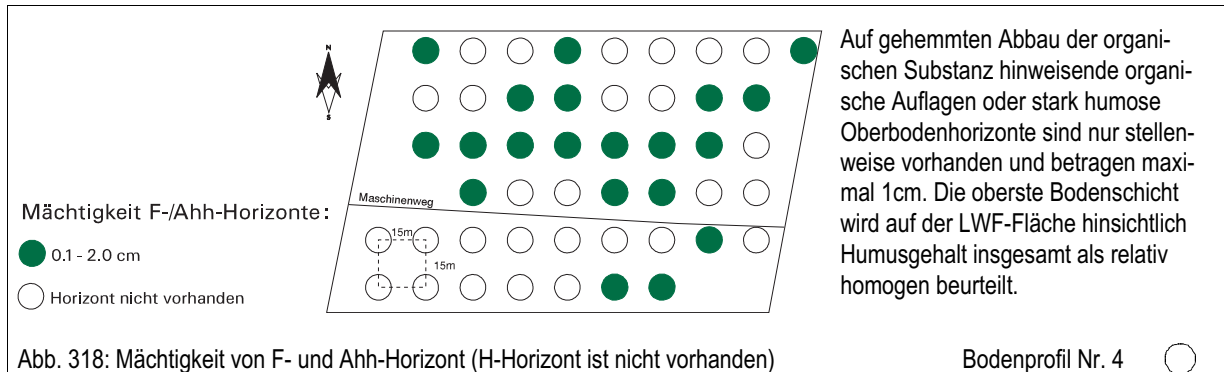
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 4
Mächtigkeit F-Horizont	cm	0.0	0.0	1.0	48	0.0
Mächtigkeit F-/Ahh-Horizonte	cm	0.0	0.0	1.0	48	0.0
Mächtigkeit Oberboden	cm	18	6	30	48	25
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	3.6	3.4	4.0	48	3.9
pH CaCl <sub>2</sub> 70-80cm	-	n.b.	3.7	>7	48	4.0
pH CaCl <sub>2</sub> 140-150cm	-	n.b.	4.1	>7	40	4.6
Tiefe der Kalkgrenze	cm	n.b.	50	>250	48	170
Gründigkeit	cm	n.b.	75	>300	48	>200

Tab. 132: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Othmarsingen)

Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull bis Moder	Mull
Bodentyp	Parabraunerde bis Parabraunerde, stark ps.vergleyt	Parabraunerde, sehr schwach ps.vergleyt
Vernässungsgrad	ohne Vernässung bis stark pseudovergleyt	sehr schwach pseudovergleyt

### 2.3.13.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden, pH-Wert und Vernässung)

Die Abb. 318 bis 321 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von 15x15m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Othmarsingen.



### 2.3.13.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Othmarsingen fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Die Kartierung hat gezeigt, dass auf der LWF-Fläche zwei unterschiedliche Ausgangsgesteine vorhanden sind. Oberflächlich liegt überall Würmmoräne. Die Mächtigkeit der Moräneschicht variiert sehr stark. Sie ist in Kuppennähe mit rund 0.5m Mächtigkeit am geringsten, hangabwärts wird sie kontinuierlich mächtiger. Unter der Moräne liegt Molasse-Sandstein. Er wurde bei der Kartierung jedoch nur im oberen Teil der LWF-Fläche erschlossen. Sowohl die Moräne als auch der Sandstein sind im unverwitterten Zustand carbonathaltig.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Im Verlaufe der Bodenbildung wurde das Ausgangsgestein (Moräne, Molasse) mehr oder weniger tiefgreifend entcarbonatet. Die Kalkgrenze verläuft minimal bei rund 0.5m, maximal bei über 2.5m Tiefe. Der Boden reagiert in den carbonatfreien Horizonten sehr sauer. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist im Oberboden sehr gering, nimmt dann aber zur Tiefe hin, insbesondere ab rund 80cm, rasch zu.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Es ist stellenweise eine geringmächtige organische Auflage vorhanden. Der Abbau der organischen Substanz ist demnach leicht gehemmt. Dies dürfte vor allem am hohen Säuregrad des Bodens liegen. Die Mächtigkeit der stark humushaltigen Bodenhorizonte (F- und Ahh-Horizonte) variiert auf der LWF-Fläche nur wenig. Der Oberboden ist nicht sehr mächtig, was, wie bereits bei der organischen Auflage gesehen, auf eine nur mässige biologische Aktivität im Mineralboden hindeutet.

#### *Vernässung*

Der Boden ist auf der gesamten LWF-Fläche mehr oder weniger stark vernässt. Dies dürfte an manchen Stellen auf den in mittlerer Profiltiefe vorhandenen, dichten Tonanreicherungshorizont zurückzuführen sein. Der Boden scheint in den flacheren Hanglagen eher etwas vernässeter zu sein als in den steileren Partien.

#### *Gründigkeit*

Die Gründigkeit des Bodens ist meistens sehr gross und beträgt in der Regel mehr als 1.5m. An einigen Stellen dürfte die Gründigkeit jedoch durch kompakten Sandstein reduziert sein. Dort ist der durchwurzelbare Boden stellenweise auf weniger als ein Meter beschränkt.

Die Bodenvernässung ist offensichtlich nicht so stark, als dass sie das Wurzelwachstum zu unterbinden vermöchte.

## 2.3.14 LWF-Fläche Schänis (Kartierung)

### 2.3.14.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 133 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Schänis. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 134 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 133: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Schänis

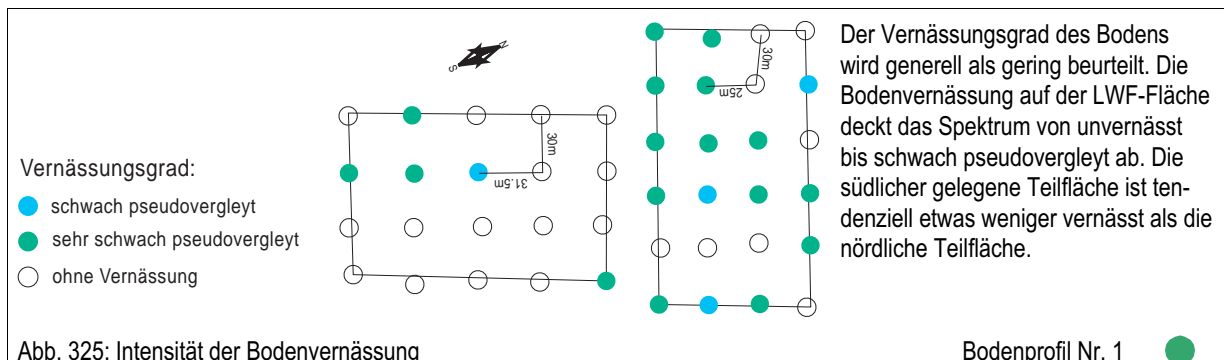
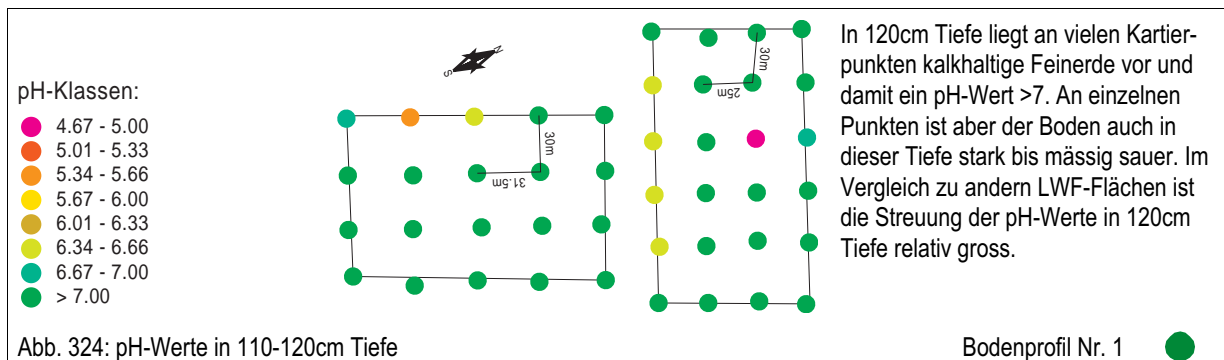
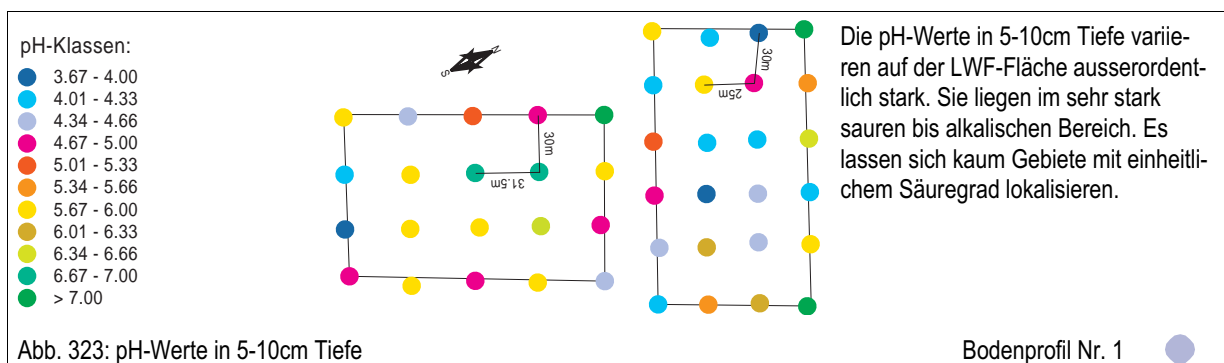
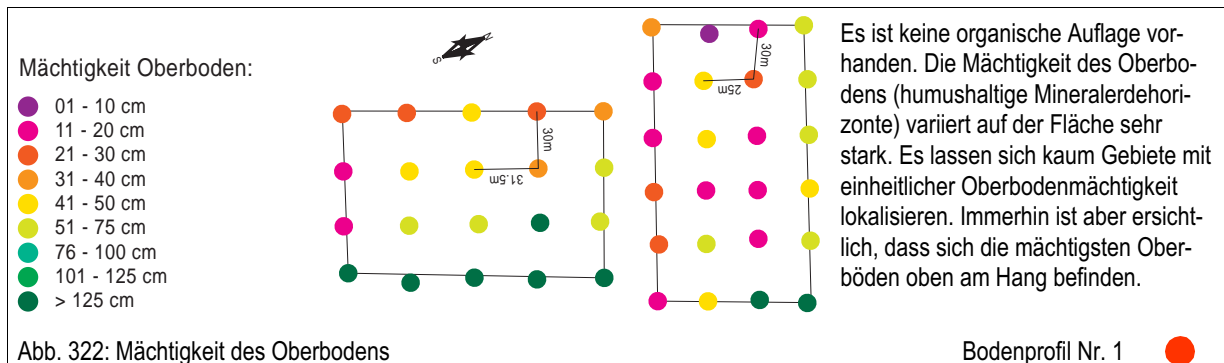
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 1
Mächtigkeit Oberboden	cm	n.b.	10	>125	44	30
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	5.1	3.9	>7	44	4.3
pH CaCl <sub>2</sub> 30-40cm	-	n.b.	3.8	>7	44	4.6
pH CaCl <sub>2</sub> 70-80cm	-	n.b.	4.4	>7	44	5.4
pH CaCl <sub>2</sub> 110-120cm	-	n.b.	4.8	>7	44	7.3
Tiefe der Kalkgrenze	cm	n.b.	0	>P	44	100
Gründigkeit	cm	n.b.	60	>160	44	>150

Tab. 134: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Schänis)

Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull	-
Bodentyp	Braunerde bis Braunerde, schwach pseudovergleyt	Braunerde
Vernässungsgrad	ohne Vernässung bis schwach pseudovergleyt	ohne Vernässung

### 2.3.14.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden, pH-Wert und Vernässung)

Die Abb. 322 bis 325 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von rund 30x30m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Schänis.



### 2.3.14.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Schänis fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Die Kartierung hat ergeben, dass das Ausgangsgestein auf der LWF-Fläche nicht sehr homogen ist. Auf dem grösseren Teil der Fläche überwiegt Boden, der aus Nagelfluhgeröll entstanden ist. In den obersten Hangpartien ist das Substrat dagegen wesentlich skelettärmer und toniger. Auffällig ist hier auch die rötliche Verfärbung des Ausgangsgesteins. Möglicherweise handelt es sich hier um mergelige Schichten, die mit der Nagelfluh in Wechsellagerung stehen. Das Ausgangsgestein (Nagelfluh und Mergel) ist im unverwitterten Zustand carbonathaltig.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Im Verlaufe der Bodenbildung wurde das Ausgangsgestein mehr oder weniger tiefgreifend entcarbonatet. Die Tiefe der Kalkgrenze verläuft sehr heterogen. Sie liegt minimal an der Bodenoberfläche, maximal bei über 1.5m Tiefe. Der Boden ist in den carbonatfreien Horizonten versauert. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist sowohl im Oberboden als auch in den unteren Bodenhorizonten ausserordentlich gross.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Es ist keine organische Auflage vorhanden. Der Abbau der organischen Substanz verläuft optimal, was auch durch den mächtigen und gut strukturierten Oberboden zum Ausdruck kommt. Die hohe biologische Aktivität dürfte an diesem Standort mit der günstigen Zusammensetzung der Streu, dem ausgeglichenen Wasserhaushalt und der nur oberflächlichen Bodenversauerung zusammenhängen.

#### *Vernässung*

Der Boden ist stellenweise schwach vernässt. Dies dürfte an einigen Stellen auf die im Unterboden vorhandenen, mergeligen Schichten zurückzuführen sein.

#### *Gründigkeit*

Die Gründigkeit des Bodens ist meistens gross und beträgt in der Regel mehr als 1.2m. An einigen Stellen ist die Gründigkeit jedoch durch den felsigen Untergrund reduziert. Dort ist der durchwurzelbare Boden stellenweise auf weniger als ein Meter beschränkt.

## 2.3.15 LWF-Fläche Visp (Kartierung)

### 2.3.15.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 135 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Visp. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 136 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 135: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Visp

Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 1
Mächtigkeit F-Horizont	cm	2.0	0.0	6.0	43	0.5
Mächtigkeit F-/Ahh-Horizonte	cm	3.0	0.0	12.0	43	2.5
Mächtigkeit Oberboden	cm	6	0	20	43	25
pH CaCl <sub>2</sub> 5-10cm	-	n.b.	5.3	>7	43	6.6
pH CaCl <sub>2</sub> 30-40cm	-	n.b.	5.8	>7	43	7.6
pH CaCl <sub>2</sub> 70-80cm	-	n.b.	7.1	>7	43	7.6
Tiefe der Kalkgrenze	cm	30	0	85	43	15
Gründigkeit	cm	n.b.	5	>100	43	105

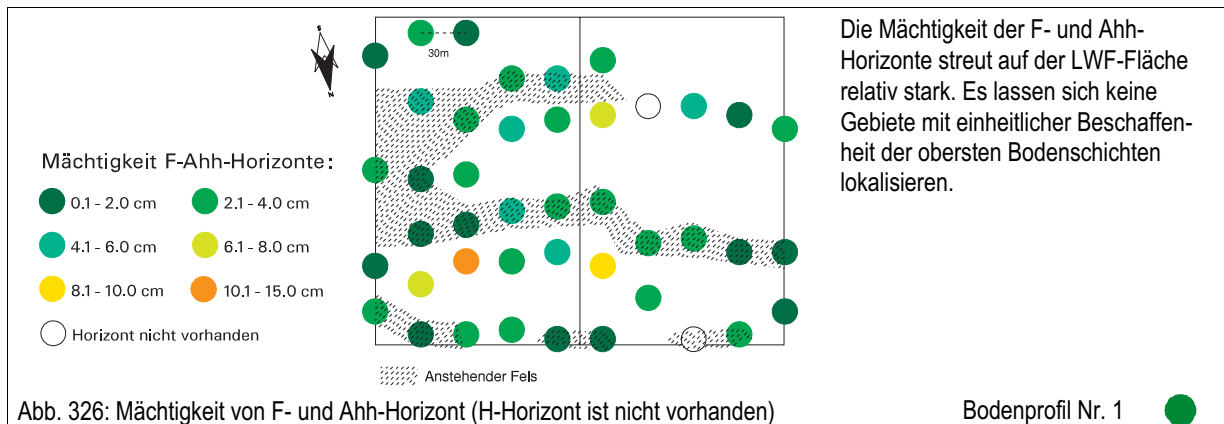
Tab. 136: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Visp)

Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull bis Moder	Moder
Bodentyp	Lithosol bis Braunerde	Braunerde
Vernässungsgrad	ohne Vernässung	-

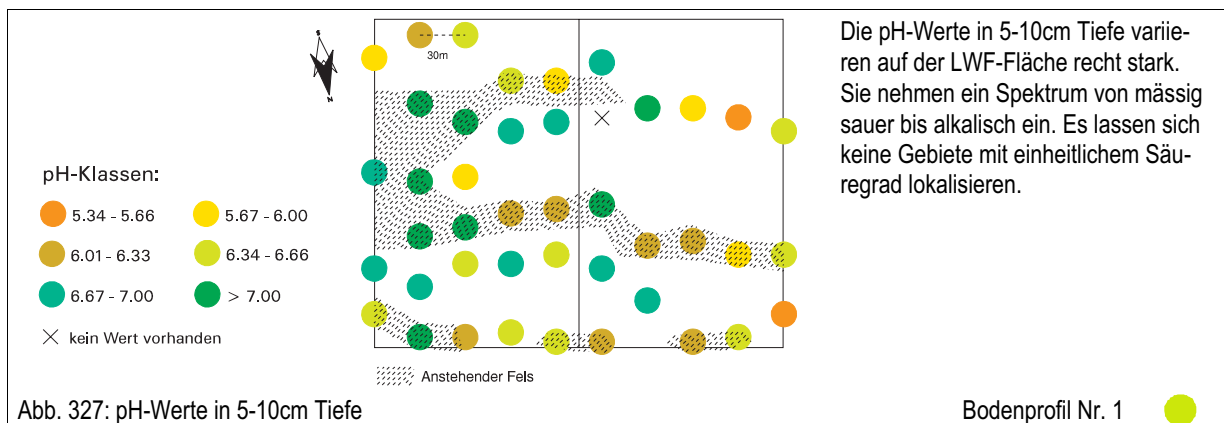


### 2.3.15.2 Karten ausgewählter Parameter (Oberboden, pH, Kalkgrenze, Gründigkeit)

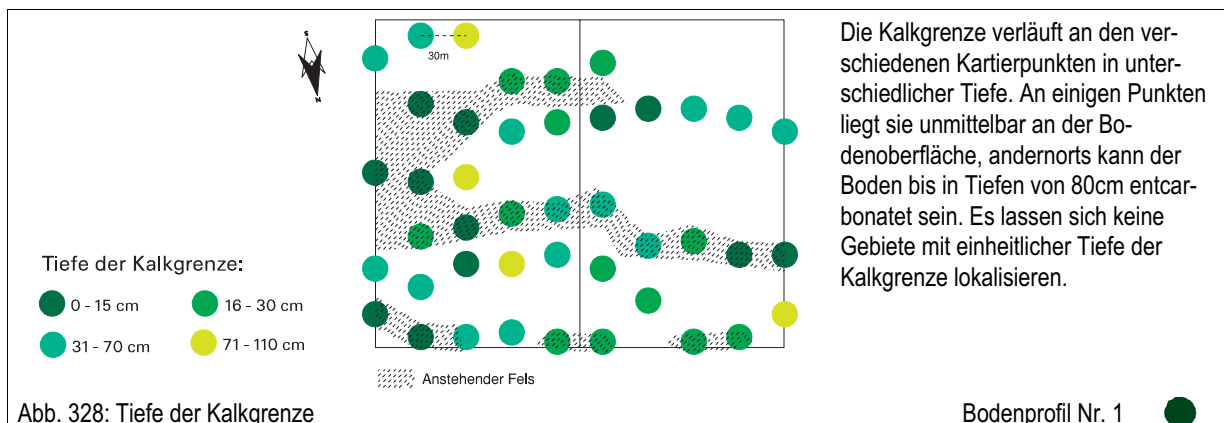
Die Abb. 326 bis 329 zeigen auf einem unregelmässigen Raster (hangparallel: 30m; in Fallinie: variabler Abstand) die Variabilität einiger Bodenparameter der LWF-Fläche Visp.



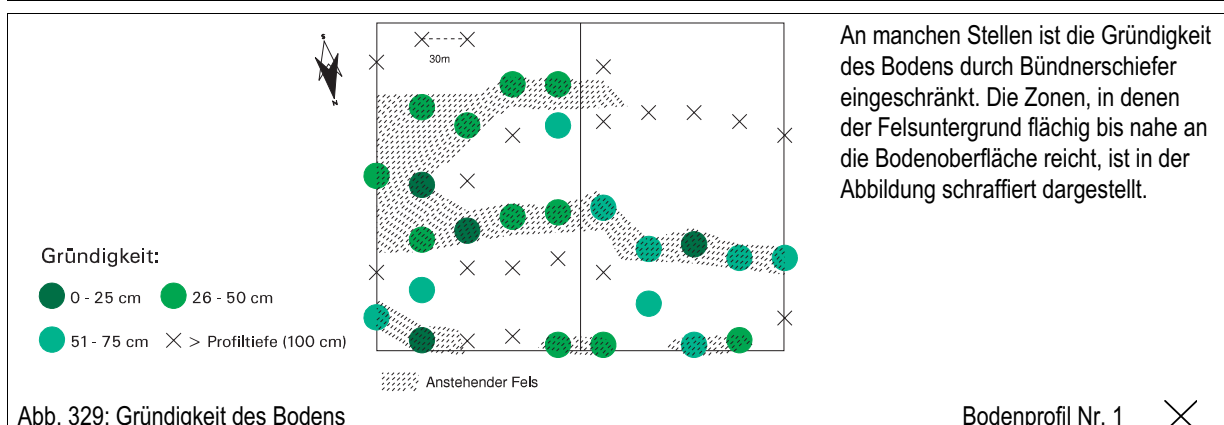
Die Mächtigkeit der F- und Ahh-Horizonte streut auf der LWF-Fläche relativ stark. Es lassen sich keine Gebiete mit einheitlicher Beschaffenheit der obersten Bodenschichten lokalisieren.



Die pH-Werte in 5-10cm Tiefe variieren auf der LWF-Fläche recht stark. Sie nehmen ein Spektrum von mässig sauer bis alkalisch ein. Es lassen sich keine Gebiete mit einheitlichem Säuregrad lokalisieren.



Die Kalkgrenze verläuft an den verschiedenen Kartierpunkten in unterschiedlicher Tiefe. An einigen Punkten liegt sie unmittelbar an der Bodenoberfläche, andernorts kann der Boden bis in Tiefen von 80cm entcarbonatet sein. Es lassen sich keine Gebiete mit einheitlicher Tiefe der Kalkgrenze lokalisieren.



An manchen Stellen ist die Gründigkeit des Bodens durch Bündnerschiefer eingeschränkt. Die Zonen, in denen der Felsuntergrund flächig bis nahe an die Bodenoberfläche reicht, ist in der Abbildung schraffiert dargestellt.

### 2.3.15.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Visp fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Die LWF-Fläche liegt an einem nordexponierten Steilhang, der mit Gehängeschutt aus Kalkphylliten bedeckt ist. Der Felsuntergrund aus Bündnerschiefer ist auf der LWF-Fläche an verschiedenen Stellen anstehend. Die Mächtigkeit der Gehängeschutt-Bedeckung variiert auf der Fläche zwischen einigen Zentimetern und mehr als einem Meter.

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Im Verlaufe der Bodenbildung wurde das Ausgangsgestein mehr oder weniger tiefgreifend entcarbonatet. Die Tiefe der Kalkgrenze verläuft heterogen. Sie liegt minimal an der Bodenoberfläche, maximal in rund 80cm Tiefe. Der Boden ist in den carbonatfreien Horizonten leicht bis mässig versauert. Die flächige Variabilität des pH-Wertes ist im Oberboden gross, nimmt dann aber zur Tiefe hin rasch ab, weil sich hier das Carbonat nivellierend auf die pH-Werte auswirkt.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Vielorts ist eine organische Auflage vorhanden. Der Abbau der organischen Substanz ist demnach gehemmt. Dies dürfte weniger am Säuregrad, sondern vielmehr an der zeitweiligen Austrocknung des Bodens liegen. Die Mächtigkeit der stark humushaltigen Bodenhorizonte (F- und Ahh-Horizonte) variiert auf der LWF-Fläche recht stark. Da der Oberboden nur geringmächtig ist, wird vermutet, dass im Jahresverlauf oft ungünstige Bedingungen für die bodendurchmischenden Organismen herrschen.

#### *Vernässung*

Im Boden wurden keine hydromorphen Merkmale beobachtet.

#### *Gründigkeit*

Die Mächtigkeit des durchwurzelbaren Bodens ist vielerorts auf der Fläche durch den felsigen Bündnerschiefer-Untergrund reduziert, so dass die Gründigkeit des Bodens ausserordentlich stark variiert. Sie beträgt oft nur wenige Zentimeter, stellenweise aber auch über einen Meter. Mit der Kartierung werden die Zonen unterschiedlicher Gründigkeit recht gut dokumentiert.

## 2.3.16 LWF-Fläche Vordemwald (Kartierung)

### 2.3.16.1 Tabellarische Übersicht

Die Tab. 137 vermittelt einen Eindruck von der Variabilität ausgewählter Kartierparameter der LWF-Fläche Vordemwald. Sie zeigt, zwischen welchen Minima und Maxima die Werte in vertikaler (Bodentiefe) und horizontaler Richtung (flächig) streuen.

Die Tab. 138 enthält Informationen zur Bodensystematik, wobei für die Klassierung von Humusform, Bodentyp und Vernässungsgrad nicht die Systematik aus dem Anhang A 2, sondern jene des für jede LWF-Fläche separat erstellten Kartierschlüssels verwendet wurde (Walther et al., 2002).

Tab. 137: Variabilität ausgewählter Bodenparameter der LWF-Fläche Vordemwald

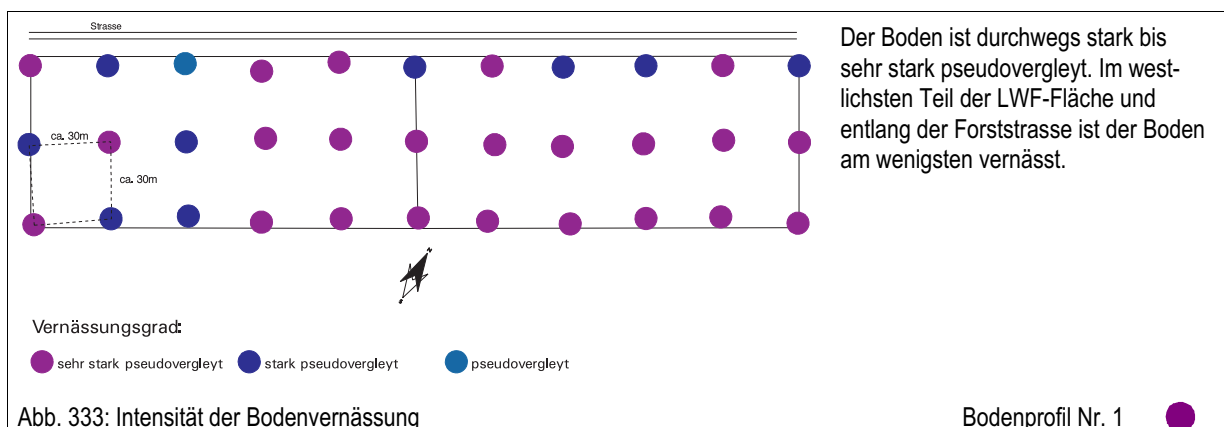
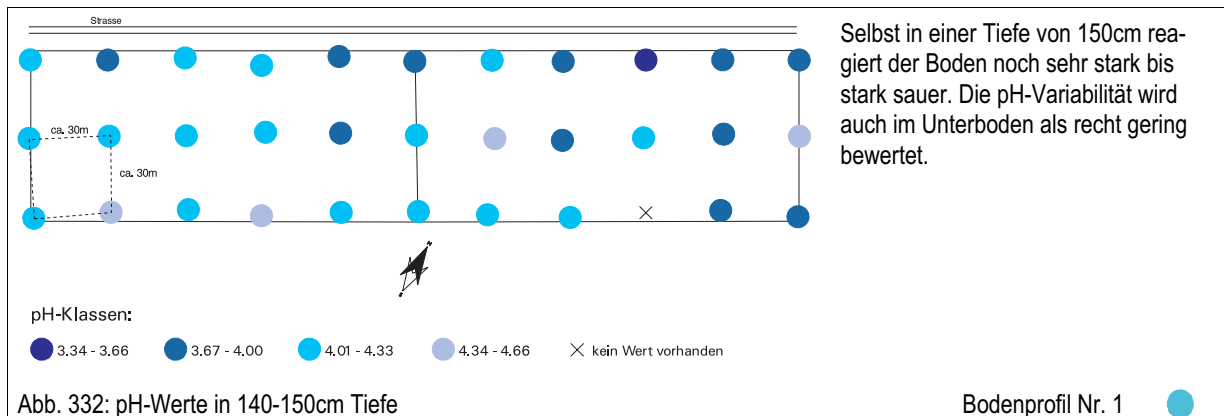
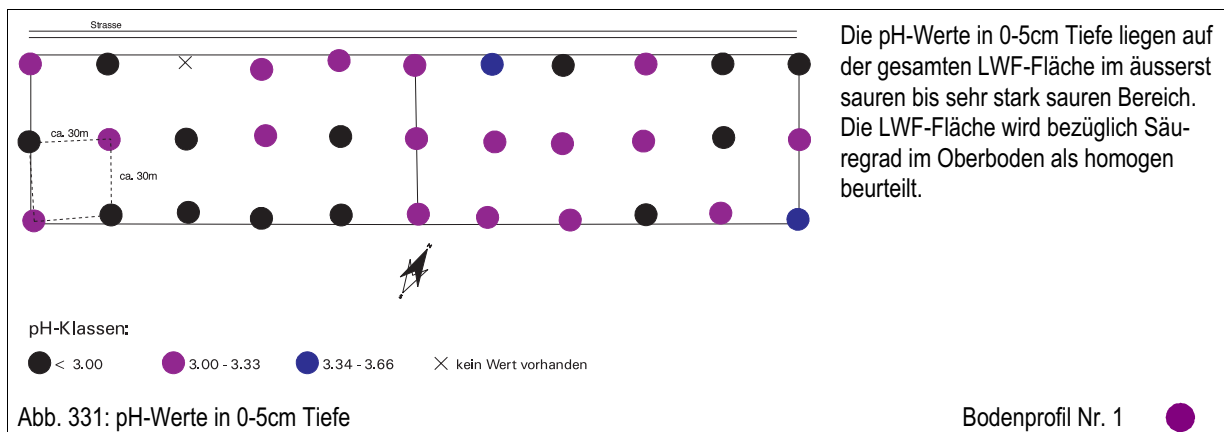
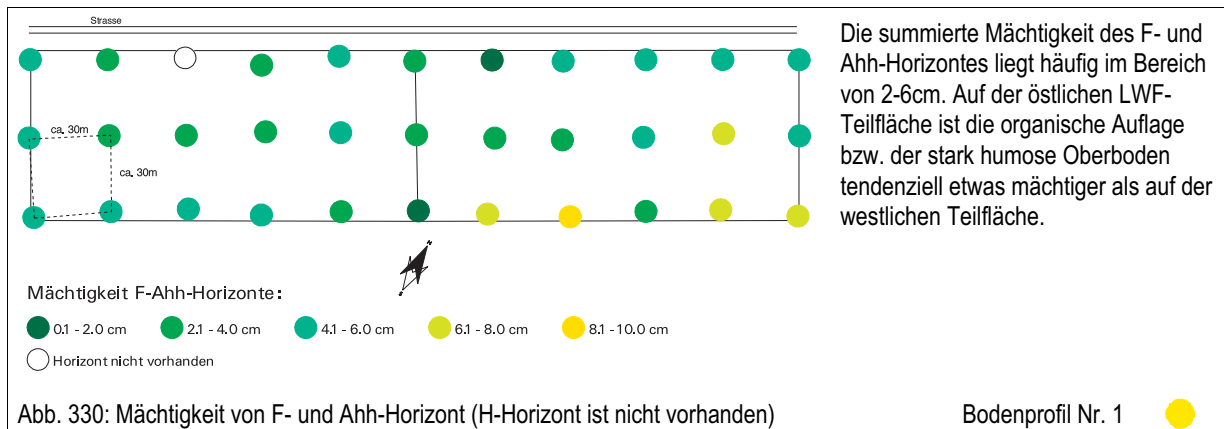
Bodenparameter	Einheit	Median	Min	Max	Stichprobenanzahl	Bodenprofil Nr. 1
Mächtigkeit F-/H-Horizonte	cm	2.0	0.0	6.0	33	3.5
Mächtigkeit F-/H-/Ahh-Horizonte	cm	5.0	0.0	9.0	33	8.5
pH CaCl <sub>2</sub> 0-5cm	-	3.1	2.7	3.4	32	3.3
pH CaCl <sub>2</sub> 15-20cm	-	3.8	3.6	4.1	33	3.9
pH CaCl <sub>2</sub> 70-80cm	-	3.8	3.6	4.0	33	3.9
pH CaCl <sub>2</sub> 140-150cm	-	4.0	3.7	4.5	32	4.2
Tiefe der Kalkgrenze	cm	>150	>150	>150	33	>450
Mächtigkeit B-Horizont	cm	15	0.0	53	33	0.0
Bodenverdichtung unterhalb	cm	80	35	100	33	60
Gründigkeit	cm	>150	>150	>150	33	>150
Wechsel Geologie (Tiefe)	cm	>150	>150	>150	33	210

Tab. 138: Bodensystematik (gemäss flächenspezifischem Kartierschlüssel Vordemwald)

Klassierung	Spektrum auf der LWF-Fläche	überwiegend
Humusform	Mull bis Moder	Moder
Bodentyp	pseudovergleyte Braunerde bis Pseudogley	Pseudogley
Vernässungsgrad	pseudovergleyt bis sehr stark pseudovergleyt	sehr stark pseudovergleyt

### 2.3.16.2 Karten ausgewählter Bodenparameter (Oberboden, pH-Wert und Vernässung)

Die Abb. 330 bis 333 zeigen mit einer räumlichen Auflösung von 30x30m die flächige Variabilität einiger wichtiger Bodenparameter der LWF-Fläche Vordemwald.



### 2.3.16.3 Zusammenfassende Übersicht

Hier wird auf die aus der Sicht der Autoren wichtigsten Kartierparameter der LWF-Fläche Vordemwald fokussiert.

#### *Ausgangsgestein*

Bis in die mit der Kartierung erfasste Tiefe von 150cm konnte kein Gesteinswechsel festgestellt werden. Untersuchungen im Bodenprofil deuten aber darauf hin, dass unter der oberflächlich vorhandenen Rissmoräne ab 210cm Tiefe Molasse folgt (mergelige Schichten).

#### *pH-Wert und Kalkgrenze*

Das ursprünglich wahrscheinlich kalkhaltige Ausgangsgestein (Rissmoräne) ist heute bis in grosse Tiefen verwittert und carbonatfrei. Bis zur erfassten Kartierungstiefe von 150cm ist kein carbonathaltiges Material vorhanden. Der Boden reagiert bis in grosse Tiefen sehr sauer, die flächige Variabilität des pH-Wertes ist, dem hohen Alter und Verwitterungsgrad des Bodens entsprechend, gering.

#### *Organische Auflage und Oberboden*

Der Abbau der organischen Substanz ist gehemmt, und zwar infolge des hohen Versauerungsgrades und der zeitweise bis an die Oberfläche reichenden Vernässung. Es ist eine organische Auflage vorhanden und die Vermischungstiefe im mineralischen Oberboden (A-Horizont) ist nur geringmächtig. Die Mächtigkeit der stark humushaltigen Bodenhorizonte (F- und Ahh-Horizonte) variiert auf der LWF-Fläche relativ stark.

#### *Vernässung*

Der Boden ist auf der gesamten LWF-Fläche stark vernässt. Dies ist auf die grosse Dichte in mittlerer Bodentiefe zurückzuführen, welche das Sickerwasser staut (Stauwasser). Entlang der Forststrasse ist der Boden weniger vernässt, was sich an den dort vorhandenen, verbräunten Horizonten in den oberen Bodenschichten erkennen lässt. Der Einschnitt der Strasse in den Hang führt offensichtlich zu einer Drainage des Bodens. Die Drainage wirkt oberhalb der Strasse auf eine Distanz von einigen Metern.

#### *Gründigkeit*

Die Gründigkeit des Bodens ist auf der ganzen LWF-Fläche sehr gross. Untersuchungen im Nahbereich von Bäumen haben gezeigt, dass diese den Boden trotz der ausgeprägten Bodenvernässung bis mindestens 150cm Tiefe durchwurzeln.

## 2.4 Bodenmonitoring

Beim Bodenmonitoring werden zahlreiche chemische Parameter nach Vorgabe europäischer Monitoringprogramme erfasst. Die Beprobungsstrategie ist so gewählt, dass die gemessenen Gehalte möglichst repräsentativ für die LWF-Flächen sind.

Im Gegensatz zu den Bodenprofilen, wo der Boden bis zum unverwitterten Ausgangsgestein erfasst wird, beträgt die Beprobungstiefe beim Monitoring maximal 80cm. Monitoringdaten sind daher weder geeignet, im Boden abgelaufene oder noch ablaufende Prozesse zu erkennen noch den Boden ganzheitlich zu erfassen und zu interpretieren.

Die Daten der ersten Erhebung (Zustandserhebung 1994–1999) auf den LWF-Flächen werden in der vorliegenden Publikation nicht interpretiert. Eine Interpretation wird anlässlich der Folgebeprobung stattfinden, wenn es darum geht, allfällige Veränderungen im Boden festzustellen.

Die Monitoringdaten sind im Anhang A 5.3 zusammengestellt. Im Datenarchiv sind dieselben Daten in einem bearbeitbaren Datenformat (Excel-Datei) gespeichert.