

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN

**UNTERSUCHUNG DER BODENENTWICKLUNG UND MINERALOGIE
AM NORDOST-ABHANG DES PIZ TURETTAS
(BIOSFERA VAL MÜSTAIR)**

Bachelorarbeit

von

Oliver Leisibach

Bachelorstudiengang 2007/10

Abgabedatum 24. Januar 2011

Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Fachkorrektoren:

Dr. Krebs, Rolf

Dozent, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Wädenswil

Dr. Zimmermann, Stephan

Gruppenleiter Bodenschutz, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Birmensdorf

Impressum

Schlagworte

Münstertal, Val Müstair, Pedogenese, Mineralogie, Geologie, Petrographie

Keywords

Val Müstair, Pedogenesis, Mineralogy, Geology, Petrography

Zitiervorschlag

Leisibach, O. (2011): Untersuchung der Bodenentwicklung und Mineralogie am Nordost-Abhang des Piz Turettas (Biosphera Val Müstair), Bachelorarbeit ZHAW

Adresse

Autor:

Oliver Leisibach

Küntwilerstrasse 40

6343 Rotkreuz

oliver_l@gmx.ch

Zusammenfassung

Die vorliegende Bachelorarbeit befasst sich mit der Bodenentwicklung innerhalb einer geologischen Sackung im Münstertal. Das Tal schliesst sich direkt an den Schweizer Nationalpark an und befindet sich am östlichsten Punkt der Schweiz. Klimatisch gesehen handelt es sich um ein inneralpines Trockental. Das Untersuchungsgebiet befindet sich vollständig innerhalb der Gesteinsmassen, die während der geologischen Sackung zwischen 1'500 und 2'200 m ü.M. abgelagert wurden. 1998 wurde bei Forschungsarbeiten innerhalb dieser Sackungsmasse eine spezielle Kombination von Bodeneigenschaften festgestellt, die nicht zufriedenstellend in die bestehende Bodenklassifikation eingeordnet werden konnten. Die Feinerde erschien bleich, war an Nährstoffen verarmt und wies eine sehr tiefe Basensättigung auf. Nur selten traten Braunfärbungen auf. Für eine starke, profilumfassende Podsolierung ist das Klima im Münstertal zu trocken.

Mit dieser Bachelorarbeit wurden die Eigenschaften der Feinerde im Untersuchungsgebiet anhand von 12 Bodenprofilen und zusätzlichen mineralogischen Analysen genauer untersucht. Die eigenen Untersuchungen haben die speziellen Kombinationen von Bodeneigenschaften, die 1998 festgestellt wurden, bestätigt. Weiter konnten die Gesteine innerhalb der Sackungsmasse als ‚Verrucano‘ identifiziert werden. Es handelt sich dabei um Sedimente aus dem Perm. Die mineralogische Analyse einiger dieser Gesteine ergab als Hauptbestandteile Quarz und Muskovit. Mit dem Mangel an Eisen, Magnesium und Kalzium in diesen Mineralien können die festgestellten Bodeneigenschaften begründet werden. Die nur in wenigen Profilen auftretenden braunen Horizonte und Flecken werden durch lokale Anreicherungen von eisenhaltigen Mineralien in gewissen Gesteinen des ‚Verrucanos‘ erklärt. Das Vorkommen der braunen Feinerde stimmt mit der Anwesenheit von braun anwitternden Gesteinen überein. Das zuständige eisenhaltige Mineral konnte mit den angewendeten, mineralogischen Messmethoden im Gestein nicht identifiziert werden, es besteht jedoch der Verdacht, dass es sich um Biotit oder Klinochlor (Chlorit) handelt. Der Boden innerhalb der Sackungsmasse wird abschliessend als Rohboden angesprochen, bei welchem eine lokal beginnende Verbraunungen stattfindet. Auf Gebieten innerhalb des Untersuchungsgebietes, die nicht vom ‚Verrucano‘ dominiert wurden, konnte eine differenziertere Bodenentwicklung festgestellt werden.

Abstract

This bachelor thesis analyzes the soil development in a geological landslide area in the valley "Val Müstair". The valley is located next to the National Park of Switzerland at the most eastern corner of Switzerland. Its climate is continental and dry. The research was carried out within the deposition area of the geological landslide which ranges from 1500 to 2000 meters above sea level. During investigations, carried out in 1998 in this area, soil characteristics were determined which were difficult to integrate into the existing soil classification system. The fine soil was bleached, nutrient poor and showed a low base saturation. Only sporadically brown horizons could have been detected. The climate of "Val Müstair" is too dry to allow a podzolization which bleaches the whole soil profile.

With this bachelor thesis further research within the deposition area of the geological landslide was performed by analyzing 12 soil profiles including the mineralogy of soil and rocks. The results showed the same soil characteristics as they were determined in 1998. Furthermore, the rocks within the geological landslide area were identified as 'Verrucano', which consists of Permian sediments. The mineralogical analysis of some of the collected rocks showed, that the rocks mainly consist of quartz and muscovite. The determined soil characteristic could be explained due to the lack of iron, magnesium and calcium within the mineralogy of the rocks. The sporadically detected brown horizons could be associated with the presence of local accumulations of ferruginous minerals in some rocks of the 'Verrucano'. These minerals could not be detected with the applied mineralogical analysis, but it is assumed to be biotite or clinochlore (chlorite). The soil within the deposition area of the geological landslide can conclusively be described as raw soil with a beginning brunification in parts where ferruginous minerals are present in the rocks. Some areas which were not dominated by the 'Verrucano', showed a more differentiated soil development.

Danksagung

Ein besonderer Dank gilt nachfolgenden Personen und Institutionen, die die Durchführung der Feldarbeiten ermöglicht und eine Unterkunft zur Verfügung gestellt haben:

Hansjörg Weber, Amt für Wald Graubünden und Biosfera Val Müstair
Mitarbeiter des Forstbetriebes Münstertal, Valchava

Für die chemischen Analysen bedanke ich mich beim Zentrallabor der WSL und seinen Mitarbeitern und für die mineralogischen Analysen bei Urs Eggenberger und Daniel Kurz der Fachstelle für Sekundärrohstoffe der Universität Bern.

Ein weiterer Dank geht an Herrn Dr. Michael Plötze des Institutes für Geotechnik der ETH Zürich für seine Unterstützung bei der Bestimmung der Gesteinshandstücke.

Bei Stephan Zimmermann, WSL Birmensdorf und Rolf Krebs, ZHAW Wädenswil, bedanke ich mich neben der Mithilfe bei den Feldarbeiten für ihre ausgezeichnete Betreuung. Der Grossteil der Betreuung wurde von der WSL durch Stephan Zimmermann übernommen. Daher hebe ich diese in meinem Dank besonders hervor.

Ein weiterer Dank gilt folgenden Personen für ihre Unterstützung bei Feld- und Laborarbeiten:

Roger Köchli, WSL Birmensdorf
Daniel Christen, WSL Birmensdorf

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Material und Methode	2
2.1. Das Untersuchungsgebiet.....	2
2.1.1. Abgrenzung.....	2
2.1.2. Beschreibung der Geologie.....	2
2.2. Methoden im Feld.....	6
2.2.1. Erkundung des Untersuchungsgebietes.....	6
2.2.2. Auswahl der Bodenprofilstandorte.....	7
2.2.3. Erstellung der Profile.....	7
2.3. Laborarbeiten	9
2.3.1. Aufbereitung der Bodenproben	9
2.3.2. pH-Messung.....	9
2.3.3. Ammonium-Chlorid-Extraktion.....	9
2.3.4. Körnung	10
2.3.5. C/N-Analyse.....	10
2.3.6. Mineralogie	10
3. Resultate.....	12
3.1. Erkundung des Untersuchungsgebietes.....	12
3.1. Bodenprofile	17
3.1.1. Standortauswahl	17
3.1.2. Morphologische Beschreibung	19
3.1.3. pH-Werte.....	22
3.1.4. Basensättigung und Kationenaustauschkapazität	25

3.1.5.	C _{org} /N – Verhältnisse	29
3.1.6.	Mineralogie	31
4.	Diskussion	35
4.1.	Bodenentwicklung auf ‚Verrucano‘ (Teilgebiete (T) 1 und 4)	36
4.1.1.	Steigende Basensättigungen und pH-Werte mit zunehmender Profiltiefe	37
4.1.2.	Die schluffigen, metallisch schimmernden Böden in Teilgebiet 4	39
4.1.3.	Der Nährstoffkreislauf und die Auflagehorizonte L, F und H	40
4.1.4.	Die braunen Horizonte	41
4.2.	Bodenentwicklung ausserhalb des Verrucanos (Teilgebiete 2 und 3)	45
4.2.1.	Teilgebiet 3	45
4.2.2.	Teilgebiet 2	46
4.3.	Fazit	48
5.	Literaturverzeichnis	49
6.	Verzeichnis der Bilder	51
7.	Verzeichnis der Tabellen	54
8.	Anhang	56

1. Einleitung

Das Münstertal bietet mit seinem speziellen Klima (Inneralpines Trockental (Reinalter, 2004)) und seiner Nähe zum Schweizer Nationalpark ein spannendes Forschungsfeld. Dies wird durch die Gründung des Reservates „Biosfera Val Müstair“ bekräftigt, das seit 2010 an das bestehende Unesco Biosphärenreservat des Nationalparks angeschlossen wurde.

1998 wurde im Münstertal eine Waldstandortskartierung durchgeführt (Frey et al., 1998). Zu diesem Zweck wurden auf der nordostexponierten Talflanke zwischen Fuldera und Valchava verschiedene Bodenprofile erstellt. Die Analyse der Feinerde ergab eine Armut an Nährstoffen (Ca, Mg, K) sowie eine tiefe Basensättigung (Anteil der Ca-, Mg-, Na-, K-Ionen an der Kationenaustauschkapazität). Die gefügelose Erscheinung der Feinerde, sowie der hohe Skelettanteil im Profil liessen auf eine rohe Bodenbildung schliessen. Auf einem Rohboden sind jedoch deutlich höhere Nährstoffkonzentrationen und Basensättigungen zu erwarten, da die entsprechenden Ionen aus dem verwitternden Gestein ständig nachgeliefert werden. Die Tatsache, dass die Feinerde profilumfassend bleich erschien und nur in einem der Profile ab 90 cm-Tiefe eine Braunfärbung einsetzte, warf weitere Fragen zum Ablauf der Bodenbildung und zum Bodentyp auf. Eine profilumfassende Podsolierung ist bei einem trockenen Klima, wie es im Münstertal vorherrscht, nicht zu erwarten.

Die oben beschriebene Talflanke liegt in einer Sackungszone die sich von Valchava bis Tschierv erstreckt (Christ et al, 1964). Das Ursprungsgestein der Sackungsmasse ist an den nordostexponierten Hängen des Piz Turettas und Piz Doras zu suchen. Das Gros der dort vorherrschenden Gesteine gehört dem ‚Verrucano‘ an, ein Sediment das im Perm abgelagert wurde (Dössegger 1974). Im Rahmen dieser Arbeit soll die Hypothese überprüft werden, dass die Bodenbildung auf bereits vorverwittertem Gestein, das durch die Sackung im Untersuchungsgebiet abgelagert worden ist, stattgefunden hat. Das Untersuchungsgebiet umfasst dabei die gesamte Sackungszone und erstreckt sich von 1'500 bis 2'200 m ü. M.. Die Hypothese würde eine allfällige Erklärung für die tiefen Basensättigungen und die Nährstoffarmut in der Feinerde liefern. Diese Arbeitshypothese soll mit Hilfe von Bodenprofilen an ausgewählten Standorten im Untersuchungsgebiet überprüft werden. Durch die mineralogische Analyse des Gesteins aus den Profilen und der dazugehörenden Feinerde, soll der Zusammenhang zwischen dem Ausgangsgestein und der Bodenbildung hergestellt werden. An den Profilstandorten werden weitere bodenbildende Faktoren wie die Vegetation aufgenommen, sowie die Feinerde chemisch analysiert. So soll ein möglichst umfassendes Bild der Bodenbildungsprozesse entstehen die eine Zuweisung der Feinerde zu einem Bodentyp zulassen. Die Arbeit soll durch ihre Untersuchungen dazu beitragen, das Biosphärenreservat in seiner Gesamtheit besser zu verstehen.

2. Material und Methode

2.1. Das Untersuchungsgebiet

Die in dieser Arbeit verwendeten Bezeichnungen für Berge, Täler und Fluren wurden der Landeskarte der Schweiz 1:25'000 (swisstopo, 1993) entnommen. Ein Ausdruck der elektronischen Version (swisstopo, 2010) ist im Anhang 3 zu finden.

2.1.1. Abgrenzung

Das Untersuchungsgebiet befindet sich auf der nordexponierten Südflanke des Münstertals zwischen Tschierv und Valchava. Als Abgrenzung wurde die bereits in der Einleitung erwähnte, grossflächige, geologische Sackung (Christ et al., 1964) gewählt. Deren Ostgrenze bildet das ‚Val Vau‘ und die Westgrenze der Schuttkegel im Gebiet von ‚Muttetta‘. Die Obergrenze des Untersuchungsgebietes bildet die Waldgrenze auf 2200 m ü.M. Der tiefste Punkt liegt auf 1500 m.ü.M bei Valchava.

Diese Abgrenzung wurde gewählt, da man davon ausgehen kann, dass die Sackung den speziellen Charakter des vorliegenden Bodens entscheidend geprägt hat. Untersucht wird ausschliesslich Waldboden, damit die Daten der Bodenprofile später nachvollziehbar untereinander verglichen werden können.

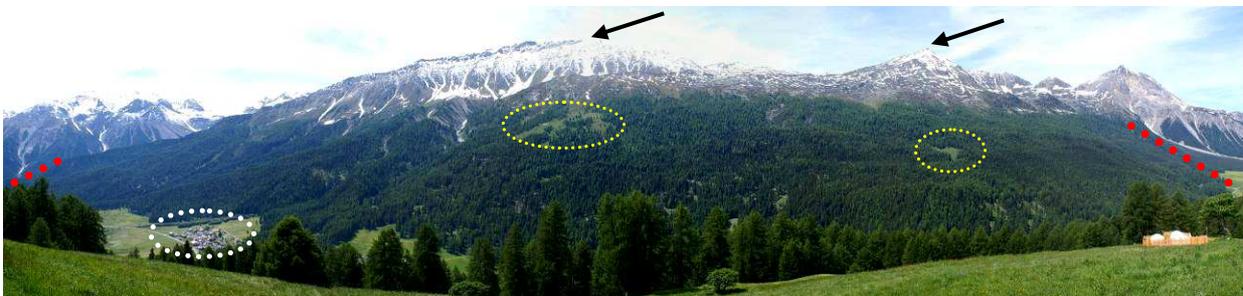


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet. Rot: Ost- (links) und Westbegrenzung. Weiss: Fuldera. Gelb: Alp Sadra (links) und Funtauna. Pfeile: Piz Turettas (links) und Piz Dora (Foto: O.Leisibach)

2.1.2. Beschreibung der Geologie

Die Geologie des Münstertales wird stark vom ‚Verrucano‘ geprägt (Christ et al., 1964). Der Begriff steht dabei für rote und grüne Konglomerate, Sandsteine und Schiefer, die an der Schwelle von Paläozoikum und Mesozoikum entstanden sind. Der Begriff löst jedoch seit seiner Einführung Diskussionen unter den Fachkräften aus, da keine einheitliche lithostratigraphische Definition vorliegt. Der Begriff ‚Verrucano‘ wurde somit in verschiedenen Regionen für unterschiedliche, lokale Ausprägungen verwendet (Dössegger, 1974). In dieser Arbeit ist mit der Bezeichnung ‚Verrucano‘ grundsätzlich die Ausprägung im Münstertal gemeint. Diese Bezeichnung erscheint im Falle dieses Tals 1915 auf der geologischen Karte der Engadiner Dolomiten (Spitz und Dyhrenfurth, 1915) als grossflächige Aufwölbung zwischen Valchava und dem Ofenpass. Das prägende Ereignis der Region ist dabei die grossflächige Versa-

ckung des ‚Verrucanos‘ an den Nordhängen des Piz Turettas und Piz Dora. Das gesamte Untersuchungsgebiet liegt dabei im Ablagerungsgebiet dieser Sackungsmasse (Spicher et al., 1964; Spitz und Dyhrenfurth, 1915).

Kristalline Basis

Unterhalb des ‚Verrucanos‘ liegt die kristalline Basis des Münstertales. Im Untersuchungsgebiet tritt diese Basis jedoch nur am ‚Spi da Vau‘ am Ausgang des Val Vau (‚Craps‘) hervor (Spitz und Dyhrenfurth, 1915; Hess, 1953; Dössegger 1970; Spicher, 1980). Hess (1953) bezeichnet die Gesteine des ‚Münstertaler Kristallins‘ zusammenfassend als Orthogneise (Metamorphose von magmatischen Gesteinen) und darüber liegende Paraschiefer (Metamorphose von Sedimenten). Dössegger (1974) beschreibt im Allgemeinen das Vorkommen von „Muskovit-Alkalifeldpat-Gneisen und –Schiefern“, stellenweise „serizitischen Phylloniten“, „graugrünen Biotitgneisen“ und „dunkelgrünen Chloritschiefern“. Ein Phyllonit ist ein glimmerreicher Mylonit mit teilweise Rekristallisationserscheinungen. Mylonite (Mahlgesteine) entstehen durch starke mechanische Beanspruchung (Zertrümmerung) des Ausgangsgesteins in tektonischen Störungszonen (Matthes, 2001; Mückenhausen, 1993). Wie die Phyllonite entstehen auch die von Hess (1953) beschriebenen „diaphthoritischen Zweiglimmergneise“ (Orthogneise) in solchen Zonen. Diaphthorese bezeichnet dabei die Umwandlung von höhergradigen metamorphen Gesteinen in niedriggradigere (Matthes, 2001). Wo genau im Münstertal Hess (1953) diese Gesteine angetroffen hat, geht aus der Literatur nicht hervor. Die starke tektonische Beanspruchung des ‚Münstertaler Kristallins‘ widerspiegelt sich auch in der Präsenz der Schiefer (Paraschiefer). Diese sind auf der geologischen Karte (Spitz und Dyhrenfurth, 1915) als „Quetschzone“ eingezeichnet. Dössegger (1974) hat neben der allgemeinen Charakterisierung der Gesteine eine Kartierung (1970) der kristallinen Abfolge am ‚Spi da Vau‘ bei ‚Craps‘ durchgeführt und mit Beschreibungen von Spitz und Dyhrenfurth (1914) und Hess (1953) verglichen:

Tabelle 1: Vergleich der Bezeichnungen der Gesteine des Münstertaler Kristallins nach Dössegger (1970), Spitz und Dyhrenfurth und Hess (1953). Vergleich gemäss Dössegger (1970) und *eigene Ergänzungen des Autors dieser Arbeit, die auf dem Literaturstudium beruhen*. Ab 1880 m ü.M. setzt der ‚Verrucano‘ ein.

m ü.M	Gestein nach Dössegger (1970)	Entspricht Spitz + Dyhrenfurth 1914	Entspricht Hess (1953)
1460	Grüngrauer Muskovit-Kalifeldspat-Albit-Gneis	Muskovit-Granitgneis	Muskovit-Granitgneis
1635	Grauschwarze Muskovit-Serizit-Schiefer	Quetschzone	Paraschiefer (Speckige, stahlgraue und silberglänzende Schiefer)
1700	Dunkelgrüne Chlorit-Schiefer	Chloritschiefer	Grünschiefer
1710	Grün-grau-rostig-rot anwitternde Muskovit-Serizit-Schiefer	Quetschzone	Paraschiefer (Muskovitreiche Schiefer, <i>Grüngraue Schiefer, rostrote Schiefer</i>)
1830	<i>Hellgrau/weisser (Dössegger, 1974)</i> Muskovit-Kalifeldspat-Albit-Gneis mit Kalifeldspat-Augen	Muskovit-Granitgneis	Gneiss chiaro
1860	<i>Serizit-Feldspat-Schiefer, rötlich-brauner bis grauer Muskovit-Serizit-Alkalifeldspat-Gneis ohne Augen (Dössegger, 1974)</i>	-	-
1880	Konglomerat	Verrucano	Verrucano

Verrucano

Der ‚Verrucano‘ des Münstertals ist eine Gruppe von Sedimentgesteinen die im Perm und der Untertrias abgelagert wurden. Sie bestehen vorwiegend aus Gesteinsschutt aus dem Abbau des variszischen Gebirges (Trümpy et al., 1997). Der Piz Dora liegt vollständig im ‚Verrucano‘ (Spitz und Dyhrenfurth, 1915; Christ et al., 1964) und wird von Hess (1953) als Zentrum der „Münstertaler Verrucanokuppel“ bezeichnet. Von hier nimmt die Mächtigkeit der gegen 1000 Meter dicken Kuppel gegen alle Seiten allmählich ab (Hess, 1953). Die Aufwölbung dieser Kuppel entstand durch komplexe und noch nicht vollständig geklärte Interaktionen mit benachbarten tektonischen Einheiten (Schmid, 1973). Am Nordhang des Piz Turettas und des Piz Doras sind die „Verrucano-Schichten“ der Aufwölbung um mehr als 500 Höhenmeter abgesackt. Dieser Vorgang wurde begünstigt durch die meist schiefrige Ausbildung des unteren ‚Verrucanos‘ (Ruina-Formation) der als Gleithorizont wirkte (Dössegger 1974). Die strathigraphische Einteilung des ‚Verrucanos‘ in die Ruina- und Chazforà-Formation erfolgte durch Dössegger (1970, 1974) und Dössegger & Müller (1976). Die Ruina-Formation wurde von Hess (1953) als „Basiskomplex der Streifenserizitschiefer“ bezeichnet. Es kommen darin „geschieferte Quarz-Serizit-Arkosen“ (Arkose = Sandstein mit hohem Gehalt an Feldspäten (Matthes, 2001)) und „Streifenserizitschiefer“ vor (Hess, 1953). Den Namen haben die Streifenserizitschiefer von streifenartigen Einschlüssen „grüner, rotvioletter und seltener auch tintenblauer Serizitschieferchen“ (Hess, 1953). Diese wurden während einer tektonischen Auswalzung des Basiskomplexes in die Länge gepresst (im Extremfall bis 1 m) (Hess, 1953). Dössegger (1974) identifizierte diese Einschlüsse als Rhyolithe, Tuffe und Ignimbrite. Er (1974) beschreibt die obersten Lagen der Ruina-Formation als „markant geröllreiche Konglomerate“ die den Streifenschiefern sehr ähnlich sind. Auch die Streifenschiefer dürften vor ihrer Auswalzung gewöhnliche Konglomerate gewesen sein (Dössegger, 1970). Dössegger & Müller (1976) beschreiben die Ruina-Formation zusammenfassend als 400 bis 500 m mächtige Wechsellagerung von alpinktonisch verformten „graugrünen oder violetten Sandsteinen und violetten Konglomeraten die vorwiegend aus vulkanischem Detritus zusammengesetzt sind“. Die Chazforà-Formation wurde von Hess (1953) als „grauer und bunter Verrucano“ und von Dössegger & Müller (1976) als „wechsellagernde, meist graugrüne Konglomerate, Sand- und Siltsteine mit eindeutig fluviatilen Sedimentationsgefügen“ bezeichnet. Sie sind im unteren, in Schuttkegeln auslaufenden Bereich der Nord-Wand des Piz Turettas zu finden (Dössegger, 1970 (Kartierung)).

Sedimente der Trias

Über den Sedimenten des ‚Verrucanos‘, folgen in der steil abfallenden Nord-Wand des Piz Turettas-Grates die kalkführenden Sedimentschichten aus der Trias. Die unterste Schicht besteht aus Buntsandsteinen (Dössegger, 1970 (Kartierung)) und wurde von Dössegger & Müller (1976) als „z.T. karbonatführende Sandsteine, detritusführende Dolomite und Kalke,

Rauhacken und Siltsteine“ beschrieben und als Fuorn-Formation bezeichnet. Darüber folgen die Sedimente der Alpenen Muschelkalke, deren erste Lagen die S-charl-Schichten darstellen (Dössegger, 1970 (Kartierung)). Sie bestehen aus hellgrauen, schwarzen, rötlichen oder gelblichen Kalken und Kalkschiefern (Dössegger & Müller, 1976). Als zweite Schicht folgt der Turettas-Dolomit (Dössegger, 1970 (Kartierung)). Er wurde von Dössegger (1970) als „dünn- bis mittelgebankten, dunkelgrauen bis schwarzen Dolomiten“ beschrieben. Über dem alpinen Muschelkalk folgt der Arlberg-Dolomit (Dössegger, 1970 (Kartierung)). Dieser besteht aus „mittel- bis dickgebankten, hell- bis mittelgrauen, meist grobspätigen Dolomiten“ (Dössegger & Müller, 1976). Die vollständige Abfolge der erwähnten Sedimente ist im Untersuchungsgebiet nur direkt über der Val Ruina in der Nord-Wand des Piz Turettas-Grates vorhanden (Dössegger, 1970 (Kartierung)).

Tabelle 2: Reihenfolge der geologischen Schichten, wie sie im Münstertal von der Basis (letzte Zeile) bis auf den Grat des Piz Turettas vorkommen (nach Kartierung Dössegger, 1970) mit der dazugehörigen lithostratigraphischen Gliederung und Vergleich mit der Bezeichnung nach Hess (1953)

Zeitepoche (Trümpy et al., 1997)	Geologische Schichtreihen nach Dössegger (1970)	Lithostratigraphische Gliederung nach Dössegger & Müller (1976)	Bezeichnung nach Hess (1953)
Mitteltrias	Arlberg-Dolomit	Vallatscha-Formation	Wetterstein, Ladinien
	Alpine Muschelkalke (Turettas-Dolomit, S-charl-Schichten)	Turettas-Formation	Anisien, Muschelkalkdolomit
		S-charl-Formation	Anisien
Untertrias	Buntsandstein-Formation	Fuorn-Formation	Campiler Buntsandstein
Perm	Münstertaler Verrucano (Chazforà- und Ruina-Serie)	Chazforà-Formation	Grauer und bunter Verrucano
		Ruina-Formation	Basiskomplex der Streifenserizitschiefer
-	Münstertaler Kristallin	Münstertaler Kristallin	Münstertaler Kristallin

Tektonik

Die kristalline Basis des Münstertals (Tektonische Einheit: Sesvenna-Kristallin) und die darauf liegenden Sedimente (‘Verrucano’ und Sedimente der Trias) gehören tektonisch gesehen zur S-charl-Decke, diese wiederum bildet einen Teil der Oberostalpinen Decken (Spicher, 1980). Auf die bereits erwähnten, komplexen, tektonischen Interaktionen mit den Nachbar-einheiten der S-charl-Decke (Schmid, 1973) wird hier nicht weiter eingegangen.

2.2. Methoden im Feld

Dieses Kapitel beschreibt die praktischen Vorgehensweisen im Feld, sowie dazu nötigen Vorbereitungen.

2.2.1. Erkundung des Untersuchungsgebietes

Ende Juni 2010 erfolgte eine ausführliche Erkundung des Untersuchungsgebietes. Diese hatte zum Zweck, einen Überblick über die Geologie, die Vegetation und die Bodeneigenschaften des Gebietes zu schaffen.

Es gilt unter anderem abzuklären, ob die bleiche Erscheinung der Feinerde in den Profilen der WSL (Frey et al., 1998), das gesamte Untersuchungsgebiet betrifft. Ausserdem trat im Profil 9139 (Frey et al., 1998) in der sonst bleichen Profilwand ab 90 cm-Tiefe eine Braunfärbung der rechten Profilhälfte auf. Es soll beantwortet werden, ob es sich dabei um eine lokale Erscheinung handelt, oder ob solche Braunfärbungen öfters auftreten. Ob die klimatischen Bedingungen auf verschiedenen Höhenlagen einen Einfluss auf die Bodenentwicklung haben, war eine weitere Frage. Die Erkenntnisse der Erkundung sollen einen Betrag zur späteren Interpretation der Resultate leisten. Weiter sollen sie bei der Wahl von geeigneten Bodenprofilstandorten helfen.

Stichproben

Die Stichproben boten das Grundwerkzeug, um die oben erwähnten Fragen zu beantworten. Der Boden und seine möglichen Ausprägungen sollten dabei mit Hilfe eines Edelmannbohrers untersucht werden. Möglichst über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt, erfolgte mittels Bohrungen eine kurze Bodenansprachen (vgl. Stichprobenpunkte auf Karte 1). Diese beinhaltete die Beurteilung der Bodenfarbe, die Bestimmung der Humusauflageart sowie eine Bodenartbestimmung mit Hilfe der Fühlprobe. Weiter wurde der pH-Wert mit dem ‚Pe-hameter‘ von Hellige ermittelt und die Vegetation beschrieben. Die Ergebnisse dieser Ansprachen werden im Kapitel Resultate zusammengefasst. Die Protokolle zu den Stichproben verbleiben an der WSL.

Gesteinsproben

Um ein möglichst vollständiges Bild der Geologie zu erhalten, erfolgte die Begehung auch über die Waldgrenze ausserhalb des Untersuchungsgebietes. Anstehender Fels am Piz Turretas und Piz Dora werden als Ursprung der Gesteine in der Sackung angenommen. Vergleiche mit den Gesteinsproben aus dem anstehenden Fels und solchen aus der Sackungsmasse, sollen diese Annahme bestätigen. Die gesammelten Handstücke wurden mit Hilfe von Literatur und einer Rücksprache mit Herrn Dr. Michael Plötze des Institutes für Geotechnik der ETH Zürich, den von Dössegger (1970, 1974) und Hess (1953) beschriebenen Ge-

steinsinformationen der Region zugeordnet. Zusammen mit Handstücken aus den Bodenprofilen werden sie im Anhang zusammengestellt und dienen als Überblick und zum Nachschlagen. Die Handstücke, die während der Begehung gesammelt wurden, werden dort mit ‚GF‘ für Gesteinsfundort und diejenigen aus den Profilen mit ‚P‘ bezeichnet. Jeder Gesteinsfundort ist auf der Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes eingezeichnet.

Erstellung der Karte des Untersuchungsgebietes

Mit Hilfe der Geoinformationssoftware ArcGIS 9 von ESRI wurde auf Basis der geologischen Kartierung von Dössegger (1970) eine Übersichtskarte der vorherrschenden geologischen Formationen angefertigt. Dössegger (1970) hatte nur den Teil östlich des Lai Chazforà kartiert und die geologischen Formationen (Ruina-Formation, etc.) nur dort eingezeichnet wo er anstehenden Fels oder grössere, versackte Felsgruppen vorfand. Der Vollständigkeit halber ergänzte der Autor dieser Arbeit die Karte mit eigenen Erkenntnissen aus der Region des Piz Doras. Im stark schutthaltigen Nordost-Abhang des Piz Doras war es schwierig zu beurteilen, ob anstehender Fels vorhanden war oder nicht. Die geologischen Formationen wurden daher dort eingezeichnet wo entsprechende Handstücke gefunden wurden. Zusammen mit den eingezeichneten Gesteinsfundorten und den Portraits der entsprechenden Handstücke (GF) stellt sie das eigentliche Resultat der geologischen Untersuchungen und Literaturstudie dar. Auf der Karte sind gleichzeitig alle anderen für die Arbeit wesentlichen Objekte wie z.B. die Profilstandorte, etc. eingezeichnet.

Der Autor dieser Arbeit stiess erst auf die Kartierung von Dössegger (1970) als die eigene Erkundung bereits abgeschlossen war. Erkenntnisse aus dieser Karte konnten somit nicht in die Wahl der Marschrouten und Profilstandorte einfließen.

2.2.2. Auswahl der Bodenprofilstandorte

Mit der Standortwahl soll eine für die Fragestellung möglichst sinnvolle Verteilung der Profile erreicht werden. Sie stützt sich daher auf die Resultate der Begehung. Die einzelnen Kriterien zur Standortauswahl werden im Kapitel Kapitel 3.1.1 der Resultate erwähnt.

2.2.3. Erstellung der Profile

Nach der Wahl eines geeigneten Profilstandortes wurde vor Ort nach dem besten Platz im Kleinrelief gesucht. Das Profil sollte nicht an einem Extremstandorte wie z.B. einer Kuppe oder einer Senke zu liegen kommen. Weiter wurden Standorte mit möglichst ebener Bodenoberfläche bevorzugt, denn starke Unebenheiten zeugten meistens von grossen Blöcken direkt unter der Bodenauflage. Um den bodenbildenden Faktor der Vegetation möglichst konstant zu halten wurden die Profile nur im geschlossenen oder lückigen Wald gegraben.

Die Position und Höhenlage wurde mit einem GPS von Garmin (Typ ‚etrex‘) auf 5 bis 15 m genau bestimmt.

Die Profile wurden in einer Breite von ca. 80 cm und einer maximalen Tiefe von 2 m ausgehoben. Die Tiefe wurde im Wesentlichen von der Beschaffenheit des Bodens bestimmt. Bei einigen Profilen verhinderten grosse Blöcke ein weitergraben.

Für die Ansprache des Bodens wurden die Profile nach visuell unterscheidbaren Kriterien wie Farbe oder Skelettgehalt nach Horizonten unterteilt. Pro Horizont wurden die chemisch/morphologischen Eigenschaften nach den Vorgaben der Profilprotokolle der WSL analysiert.

Hilfsmittel waren ein pH-Meter von Hellige und die „Soil standard color charts“ von Munsell. Die Bodenart wurde nach der Fühlprobe erhoben und die Bodendichte mit Hilfe des Einstichwiderstandes eines Messer. Jedes Profil, die umgebende Vegetation und der Baumbestand wurden zur Dokumentation fotografiert.

Die Probenahme erfolgte mit Hilfe eines Messers. Pro Bodenhorizont wurde damit genügend Erde inkl. Skelett herausgekratzt um die chemischen Analysen zu gewährleisten. Oft war der Ah-Horizont so geringmächtig (0.5 cm), dass keine Proben genommen werden konnten. Die Auflagehorizonte wurden oft ebenfalls als ganzes, und nicht nach L, F und H getrennt, beprobt. Wenn vorhanden wurde pro Horizont zusätzlich ein repräsentatives Handstück des Gesteins für die mineralogische Untersuchung und die Bestimmung des Gesteins mitgenommen.

2.3. Laborarbeiten

2.3.1. Aufbereitung der Bodenproben

Die Bodenproben wurden nach der Entnahme in offenen Säcken bei ca. 15°C in einem dunklen Raum gelagert. Innerhalb von sieben Tagen wurden die Proben an die WSL gebracht, wo sie bei 60°C während 24 Stunden im Ofen getrocknet wurden.

Die getrockneten Bodenproben wurden mit einer Vibrationssiebmaschine von Fritsch (Typ ‚analysette‘) und einem Edelstahl-Analysesieb mit Maschenweite 2 mm nach Skelett und Feinerde getrennt. Vor dem Sieben wurde in einem Keramikmörser das Bodengefüge zerkleinert. Der gesiebte Boden wurde nach Horizonten getrennt in Archivschachteln aus Plexiglas in der Pedothek der WSL (18°C, 40% relative Luftfeuchtigkeit) gelagert. Die Auflagehorizonte L und F wurden unbearbeitet archiviert. Einige sehr geringmächtige Auflagen wurden ungetrennt als „L/F“ oder „L/F/H“ archiviert.

2.3.2. pH-Messung

Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgte mit Hilfe einer 0.01 molaren CaCl_2 -Lösung. 10g Boden wurden dabei mit 20 ml der Lösung von Hand aufgeschüttelt und 30 min. stehen gelassen. Danach wurde unter ständigem Rühren mittels Magnetstabrührer der pH-Wert der Bodenlösung mit einer pH-Sonde von Schott Instruments (Typ ‚BlueLine 22 pH‘) gemessen. Die Sonde war an ein pH-Meter von Metrohm (Typ ‚691‘) angeschlossen. Da die O-Horizonte sehr leicht und stark saugfähig waren, wurde davon nur 5 g eingewogen. Dies verhinderte, dass die ganze CaCl_2 -Lösung für die pH-Messung im Substrat gebunden wurde.

2.3.3. Ammonium-Chlorid-Extraktion

Mit Hilfe der Ammonium-Chlorid-Extraktion kann der Gehalt an tauschbar vorhandenen Kationen in der Feinerde bestimmt werden. Sie erfolgte mit einer 1.0 molaren NH_4Cl -Lösung, die über Nacht in einer Klimakammer bei konstanten 25°C gelagert wurde. Der gesamte Vorgang der Extraktion erfolgte in der Klimakammer. So konnten konstante Temperaturen während des Extraktionsvorgangs gewährleistet werden.

Für die Extraktion wurden 5 g Boden (Trockensubstanz) mit 50 ml NH_4Cl -Lösung in einer verschliessbaren, transparenten PE-Weithalsflasche (100 ml) in einem Überkopfschüttler während 60 min geschüttelt. Danach wurden sie mit Faltenfiltern von Whatmann (Typ ‚0790 ½‘) und PE-Trichtern in PE-Weithalsflasche (50 ml) abfiltriert. Die filtrierten Proben wurden mit dem Verfahren der Induktiv gekoppelten Plasma-Atom Emissions Spektroskopie (ICP-AES) analysiert. Dies geschah mit dem Analysegerät von Perkin Elmer (Typ ‚OPTIMA 3000‘).

Aus Zeitgründen wurden die austauschbaren Protonen (H^+) nicht gemessen, sondern mit multipler Regression aus pH-Wert, austauschbarem Aluminiumgehalt und organischem Kohlenstoffgehalt berechnet.

2.3.4. Körnung

Die Körnung der Feinerde wurde mit der Pipettmethode von Gee und Bauder (1986) analysiert. Die organische Substanz in der Feinerde wurde vor der Analyse mit H_2O_2 nassverascht. Aus Zeitgründen konnten nur 9 Profile analysiert werden.

2.3.5. C/N-Analyse

Da in den Auflagen und dem Ah-Horizont grosse Vorräte an Kohlen- und Stickstoff erwartet wurden, wurden nur diese bei der Messung berücksichtigt. Das C/N-Verhältnis gibt Auskunft über die biologische Aktivität in den entsprechenden Horizonten. Zusätzlich wurden ausgewählte, tiefere Horizonte berücksichtigt. Die Auswahl erfolgte nach morphologischen Gesichtspunkten und wird im Kapitel 3.1.5 der Resultate erwähnt.

Von jedem zu messenden Profilhorizont wurden ca. 6 g Feinerde in einer Schwingmühle von Retsch (Typ ‚MM 400‘) gemahlen. Vom gemahlene Material wurden 5-6 Milligramm der Auflage und je nach erwartetem C-Gehalt, 25, 35 oder 40 mg der Mineralerde in Zinnkapseln eingewogen. Diese wurden im C/N-Analyzer von CE-Instruments (Typ ‚NA 1500‘) analysiert. Gemessen wurde der Totalgehalt an Kohlenstoff und Stickstoff (C_{tot} , N_{tot}). Man kann davon ausgehen, dass wenn in der Feinerde keine Karbonate vorhanden sind, C_{tot} annäherungsweise dem organischen Kohlenstoff entspricht (C_{org}).

2.3.6. Mineralogie

Die mineralogische Zusammensetzung wurde in der Feinerde sowie auch im Bodenskelett erhoben. So können Zusammenhänge zwischen der Feinerde und dem Muttergestein dargestellt werden. Es wurden 5 ausgewählte Profile mit 8 dazugehörige Gesteinstypen analysiert. Die Auswahl der Profile erfolgte nach morphologischen Gesichtspunkten. Sie werden im Kapitel 3.1.6 der Resultate erwähnt.

Die mineralogische Analyse erfolgte von der Fachstelle für Sekundärrohstoffe der Universität Bern. Sie erfolgte mit dem Gerät X'Pert Pro Panalytical mit Hilfe von Cu K-alpha Strahlung. Die Feinerde (Trockensubstanz) kann dabei ohne eine weitere Bearbeitung für die Analyse verwendet werden. Vor der Analyse des Bodenskelettes wurden die Gesteinsproben aus den entsprechenden Horizonten zuerst in einer Scheibenschwingmühle von Fritsch (Typ ‚pulverissette 9‘) gemahlen.

Gesteine aus dem Profil 6 wurden zusätzlich am Institut der Universität Bern angeschliffen und die Minerale optisch unter dem Mikroskop ausgezählt.

Ein Handstück vom Piz Dora wurde mittels Röntgendiffraktometrie von Herr Dr. Michael Plötze am Institut für Geotechnik der ETH Zürich analysiert.

3. Resultate

3.1. Erkundung des Untersuchungsgebietes

Die Feinerde der meisten Böden im Untersuchungsgebiet ist bleich (hellgrau), sauer und fühlt sich sandig-schluffig an. Neben dieser Kombination von Bodeneigenschaften existieren drei weitere, auf kleine Teilgebiete begrenzte Ausprägungen der Eigenschaften. Es sind erstens die braunen, sauren oder karbonathaltigen, sandig-schluffigen Feinerden zwischen ‚Craps‘ und ‚Spi da Vau‘ von 1720 bis 1780 m ü.M., zweitens die karbonathaltigen, bleichen oder braunen, sandig-schluffigen Feinerden zwischen Val Dora und Val Ruina ab 1900 m ü.M. und drittens die sauren, schluffig-lehmigen Böden um Alp Sadra mit bleicher, metallisch schimmernder Feinerde. Die während der Erkundung gesammelten, wichtigsten Merkmale und Eigenschaften der Böden, der Geologie und der Vegetation werden nachfolgend zusammengestellt.

Die Beschreibung der Geologie orientiert sich in diesem Kapitel an den vor Ort sichtbaren Merkmalen. Zu jedem in den Tabellen erwähnten Gesteinshandstücken (GF) existiert im Anhang 1.9 ein Portrait. Die Gesteine werden in diesen Portraits den von Dössegger (1970, 1974), Hess (1953) und Spitz und Dyhrenfurth (1914) beschriebenen Gesteinstypen zugeordnet und stratigraphisch gegliedert. Im Anhang 3 befindet sich eine Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes. Alle wichtigen Elemente wie z.B. die geologischen Formationen oder die ausgeschiedenen Teilgebiete sind dort eingezeichnet. Folgende Begriffe werden in den geologischen Beschreibungen verwendet:

- Brekzie: Sedimentgestein aus über 50% eckig gebliebenen Mineral- oder Gesteinsbruchstücken mit \varnothing über 2 mm (Matthes, 2001)
- Konglomerat: Ein der Brekzie entsprechendes Sediment mit gerundeten Mineral- und/oder Gesteinsbruchstücken (Matthes, 2001)
- Sandstein: Sedimentgestein mit Korngrösse zwischen 2 und 0.02 mm. Die Grösse der Sandkörner kann gelegentlich 2 Millimeter übersteigen (Matthes, 2001)
- Schiefer: Sammelbezeichnung für deutlich parallel angeordnete, in dünne, ebene Platten spaltbare metamorphe Gesteine (Mineralienatlas, 16.12.2010, online)
- Textur: Gefügeeigenschaften, die sich auf die Anordnung und Verteilung der Gemengteile im Raum sowie die Erfüllung des Raumes eines Mineralaggregates beziehen (Mineralienatlas, 17.12.2010, online)
- Blöcke: Lockergesteine mit $\varnothing > 200$ mm (Mückenhausen, 1993)
- Schutt: kantig-eckiges Lockergestein mit $\varnothing 2 - 200$ mm (Mückenhausen, 1993)
- Geröll: gerundetes Lockergestein mit $\varnothing 2 - 200$ mm (Mückenhausen, 1993)

Tabelle 3: Beschreibung des Teilgebietes 1 (T1)

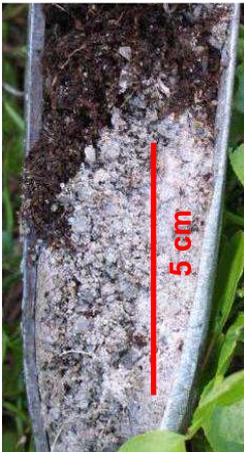
Teilgebiet (T) 1: Bleiche (hellgraue), saure, sandig-schluffige Feinerde			
Verbreitung Im gesamten Untersuchungsgebiet. Ausgenommen die Teilgebiete die in den nachfolgenden Tabellen 4 bis 6 beschrieben werden.			
Geologie	Feinerde	Vegetation	
<p>Sackungsmasse mit durchmischten Gesteinsarten</p> <p>Blöcke (Ø 200 mm bis mehrere Meter) und Schutt dominieren den Waldboden, teilweise oberflächlich kaum sichtbar, teilweise den Waldboden bedeckend</p> <p>Hauptgesteinsarten: Karbonatferrite, graue, grüne und violette Brekzien und Sandsteine (siehe Anhang 1.9)</p>	<p>Idealisierte Horizontabfolge</p> <p>Rohhumus 3 cm</p> <p>Ah 0.5 cm</p> <p>Cv bleich (hellgrau)</p> <p>Allg. sehr hoher Skelettgehalt</p> <p>pH-Werte</p> <p>Cv-Horizont: 4.5 bis 3.5 (stark sauer bis sehr stark sauer) in den ersten 5 bis 20 cm</p> <p>Bodenart</p> <p>„Sandiger Lehm“ mit deutlichem Schluffanteil</p>	<p>Waldbestand</p> <p>Picea abies und Larix decidua. In höheren Lagen (ab 2'000 m ü.M.) Larix decidua dominant und Pinus cembra mischt sich dazu</p> <p>Häufigste Arten in der Strauch- und Krautschicht</p> <p>Vaccinium myrtillus und vitis-idaea, Rhododendron ferrugineum, Homogyne alpina, Melampyrum sylvaticum, Calamagrostis villosa, Luzula sylvatica, Hieracium sylvaticum, diverse Moosarten</p>	
<p>Besonderes</p> <ul style="list-style-type: none"> – „Spi da Vau“: Auf der Krete (begangen von SP 6 bis ca. 1'680 m.ü.M) unwegsames Gelände mit zerklüftetem Fels. Gesteine GF 4 und GF 5 entsprechen nicht den für das Gebiet typischen Brekzien und Sandsteinen. Die südostexponierte Flanke (ab SP 3 Richtung Südwest) zeichnet sich durch zahlreiche vegetationslose Schuttflächen aus und wird von der Fichte (Picea abies) dominiert. Auf der nordexponierten Flanke (von SP 6 Richtung Profil 9135) reiht sich ein Block (Ø 500 mm bis mehrere Meter) an den anderen. Feinerde kann nur zwischen Blöcken erreicht werden. – Graubraune Horizonte (BC-Horizonte) traten bei SP 1 ab 60 cm und bei SP 8 direkt unterhalb des Ah-Horizontes auf – Rostbraune Flecken in den ersten 15 cm des sonst bleichen C-Horizontes bei SP 14 – „Stablatschs“: Häufig grüne Gesteine mit gerichteter Textur (GF 7). Bei „Fop Sot“ Blöcke und Schutt von grauen Schiefen mit violetten und blauen, langezogenen Einschlüssen der Art GF 18 – Umgebung von SP 38: Einziges Auftreten violetter, feinkörniger Schiefer (GF 34). Der Boden fühlt sich weniger sandig an und ist daher eher von der Art „Schluff-Lehm“. 			
Bilder (O. Leisibach)			
			
Abbildung 2: Moosvegetation mit Arvenkeimling auf sichtbaren Blöcken. Nordexponierte Flanke ‚Spi da Vau‘ (SP 6)	Abbildung 3: Bohrkern: Bleicher „sandiger Lehm“ mit deutlich sichtbaren Sandkörnern und Auflage (SP 6)	Abbildung 4: Lärchen-Fichtenwald mit Vaccinium myrtillus, Melampyrum sylvaticum und Homogyne alpina. Blöcke und Schutt durch Bodenaufgabe bedeckt (SP 17)	Abbildung 5: Bohrkern: bleicher „sandiger Lehm“ (SP 17)

Tabelle 4: Beschreibung des Teilgebietes 2 (T2)

T 2: Braune, saure oder karbonathaltige, sandig-schluffige Feinerde		
Verbreitung Zwischen ‚Craps‘ und ‚Spi da Vau‘ von 1'720 bis 1'780 m.ü.M (SP 4, 5, 7)		
Geologie	Feinerde	Vegetation
<i>Auf der Krete</i>		
Anliegender Fels aus grauen, rostig anwitternden, feinkörnigen, karbonatfreien Schiefern mit Glimmer (GF 1)	-	-
<i>Nordostexponierte Flanke</i>		
Vereinzelte Blöcke und Schutt vom gleichen Gestein wie auf der Krete	Horizontabfolge SP 5 Rohhumus 3 cm Ah 0.5 cm B(Cv) braun (ab 15 cm kräftiger werdend) pH-Werte SP 5 (neben 9141) B(Cv)-Horizont: 4.5 (stark sauer) in wenigen cm und 5 (mässig sauer) in 53 cm	Waldbestand Picea abies (dominant) und Larix decidua Arten in der Krautschicht SP 5 (keine Strauchschicht) kleiner Deckungsgrad (5 %) mit Calamagrostis villosa, Oxalis acetosella, Prenanthes purpurea
<i>Südexponierte Flanke</i>		
Gesteine von Waldboden bedeckt. In Wurzeltellern gerundete Dolomitblöcke (GF 3) und –geröll, Block von hellgrauem bis weissem, massigem Gestein mit gerichteter Textur und dunkelgraublauen und grünen Einschlüssen (GF 2) (kein Handstück) und weitere nicht genauer betrachtete Gesteine	Horizontabfolge SP 4 (kein Punkt auf der Karte → neben 9141) Nadelstreu 1 cm Ah 9 cm B(Cv) braun pH-Werte SP 4 B-Horizont: 5.5 (mässig sauer) in 20 cm	Waldbestand Wie Nordexposition, jedoch tendenziell wüchsiger Arten in der Krautschicht SP 4 (Keine Strauchschicht) Lichtung mit Windwurf, kleiner Deckungsgrad (5 %) mit Saponaria ocymoides, Lotus corniculatus ssp. hirsutus, Hieracium sylvaticum, Melampyrum sylvaticum. Zusätzlich vereinzelte, dichte Grasflecken mit nicht bestimmten Gräserarten
Bilder (O. Leisibach)		
		
Abbildung 6: Waldlichtung ohne sichtbare Blöcke und mit wenig Krautschicht bei SP 4	Abbildung 7: Bohrkern: Brauner BCv bei SP 4	Abbildung 8: Spatenstich: Rohhumus mit darauffolgenden braunen BCv-Horizont bei SP 5

Tabelle 5: Beschreibung des Teilgebietes 3 (T3)

T 3: Karbonathaltige, bleiche oder braune, sandig-schluffige Feinerde		
Verbreitung Zwischen Val Dora und Val Ruina ab 1'900 m ü.M.		
Geologie	Feinerde	Vegetation
<i>Taleingänge Val Ruina und Val Fossa 2'100 bis 2'300 m ü.M.</i>		
<p>Stark erodierte, tiefe V-Täler, deren Flanken von Schutt dominiert sind. Nordwestexponierte Flanke der Val Ruina fast 100 m abfallend, an deren Basis (Bacheinschnitt) anstehender Fels vorhanden.</p> <p>Schuttzusammensetzung: Bunte Mischung von (v.a. grauen, grünen, gelben, violetten, schwarzen) Gesteinen in Schutt- oder Blockgrösse, davon sind zahlreiche karbonathaltig</p>	<p>Neben Gesteinsschutt reichlich feines, schluffig-sandiges Material, das unter HCL stark aufschäumt. PH-Wert muss dementsprechend hoch sein, wurde jedoch nicht gemessen (SP 19)</p>	<p>Ausser dem steinige, basische Böden bevorzugenden (Lauber und Wagner, 2007) Alpen-Wundklee (Anthyllis vulneraria ssp. alpestris) und vereinzelt Larix decidua praktisch vegetationslos</p>
<i>Zwischen Val Dora und Val Ruina 1'900 bis 2'100 m.ü.M</i>		
<p>Der von Schutt dominierte Charakter der Landschaft nimmt ab. Zwischen den Tälern grössere bewaldete Abschnitte. Im Bereich ‚Masduogls‘ (1'900 m ü.M.) zahlreiche faustgrosse Dolomite und karbonathaltige Sandsteine auf dem Waldboden (GF 6).</p>	<p><u>2'100 m ü.M. (SP 16)</u> langsam einsetzende Bewaldung. Wenig Nadelstreuauflage, danach bleicher Cv-Horizont mit rostfarbenen Flecken. pH-Wert Cv-Horizont: 8 (alkalisch) in wenigen cm-Tiefe <u>1960 m ü.M. (SP 18)</u> Waldweide. Profil durchwegs braun mit Ah-Horizont von 15.5 cm pH-Wert In 12 cm-Tiefe: 5.5 (mässig sauer) In 40 cm-Tiefe : 6.5 (schwach sauer) <u>1940 m ü.M. (SP 11)</u> Lichter Lärchenwald. Markant hellbrauner, feiner A-Horizont (‚Schluff‘) pH-Wert A-Horizont: 5.5 (mässig sauer) in wenigen cm-Tiefe</p>	<p>Waldbestand Larix decidua (dominant) und Picea abies <u>1940 m ü.M. (SP 11)</u> Strauchschicht Erica carnea, Vaccinium vitis-idaea Krautschicht Hieracium murorum, Anthyllis vulneraria ssp. alpestris</p>
Bilder (O. Leisibach)		
		
Abbildung 9: Bunter Schutt auf dem Grat beim Val Ruina (SP 19)	Abbildung 10: Lichter Lärchenwald mit Erica carnea und Anthyllis vulneraria ssp. alpestris bei ‚Masduogls‘ (SP 11)	Abbildung 11: brauner, feinkörniger A-Horizont bei SP 11



Abbildung 12: Turettasgrat über der Val Ruina. Über den grünen Schuttkegeln sind gelblich-braune und schwarze Felspartien zu sehen.



Abbildung 13: Nahaufnahme der schwarzen und gelbbraunen Felspartien. Höhe: 20 bis 30m.



Abbildung 14: Vorwiegend schwarze Felspartien am Gratspitz



Abbildung 15: Grat der das Val Ruina vom Val Fossa trennt. Gelber Alpenwundklee im Vordergrund (SP 19)



Abbildung 16: Steil vom Grat ins Val Ruina abfallende nordwestexponierte Talflanke. Am Fusse ist der graue, anstehende Fels sichtbar. (Blick von SP 21)

Tabelle 6: Beschreibung des Teilgebietes 4 (T4)

T 4: Bleiche, metallisch-schimmernde, saure, schluffig-lehmige Feinerde		
Verbreitung Umgebung Alp Sadra von 2'000 bis 2'100 m ü.M. (SP 23 - 25)		
Geologie	Boden	Vegetation
Über der ‚Alp Sadra‘ zerklüftetes Felsband von 2'200 bis 2'400 m ü.M. Es handelt sich um meist geschieferte, hellgraue Sandsteine (GF 14), die nach oben im Felsband immer mehr einer Brekzie ähneln, die unter anderem violette Gesteinsfragmente enthält. Im ganzen Felsband weisses, metallisch glänzendes, lehmig-schluffiges Verwitterungsmaterial auf den Gesteinsoberflächen. Unterhalb Alp Sadra hellgraue Schiefer mit teilweise Verfaltungen und häufig mit dünnen, violett-roten, grünen und violetten Einschlüssen (GF 11, 12). Bei GF 13 sind ähnliche Schiefer vorhanden, jedoch ohne Einlagerungen aber mit brauner Anwitterungsfarbe.	<u>SP 23-25</u> Befinden sich in einer Waldweide mit zahlreichen Blöcken. Idealisierte Horizontabfolge Grasnarbe oder Streuauflage: 1cm Cv-Horizont: bleich, metallisch-schimmernd pH-Werte Cv-Horizont: 4.5 (stark sauer) in wenigen cm-Tiefe Bodenart ‘Schluff-Lehm’: Fühlt sich weich, mehlig wenig Sandanteil. Teilweise fast weiss. Wenn feucht leicht tonig und bindig.	<u>SP 23-25</u> Baumbestand Larix decidua mit eingestreuten Pinus cembra Krautschicht Nicht weiter bestimmte Alpweidenvegetation Strauchschicht Rhododendron ferrugineum, wenig Vaccinium myrtillus

Bilder (O. Leisibach)

Abbildung 17: Alp Sadra (roter Kreis) mit Felsband darüber. Im Schnee: Turettasgrat. Links: Val Ruina



Abbildung 18: metallisch schimmernder, leicht toniger Boden bei SP 23.

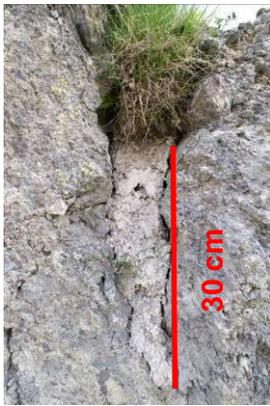


Abbildung 19: Spalte in konglomeratischem Fels mit weisser Gesteinsverwitterungssubstanz bei GF 15

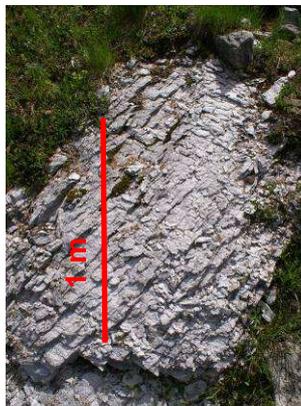


Abbildung 20: Schiefriige Ausbildung des Sandsteins bei GF 14



Abbildung 21: Metallisch schimmernde Verwitterungssubstanz auf Gestein bei GF 14

3.1. Bodenprofile

3.1.1. Standortauswahl

Die Begehung hat gezeigt, dass der bleiche Charakter des Bodens den Grossteil des Gebietes betrifft. Einen Einfluss der klimatischen Bedingungen in unterschiedlichen Höhenlagen auf die Bodeneigenschaften konnte nicht festgestellt werden. Es wurde entschieden, dass eine Verteilung der Profile auf die im letzten Kapitel beschriebenen Teilgebiete am sinnvollsten ist. So kann ein möglichst umfassendes Bild der Bodenbildungsvorgänge im Untersuchungsgebiet gewährleistet werden.

Die folgende Auflistung zeigt die einzelnen Kriterien mit denen die Standorte innerhalb der vier Teilgebiete ausgewählt wurden. Da Teilgebiet 1 den grössten Teil des Untersuchungsgebietes ausmacht und somit den Hauptcharakter des Bodens widerspiegelt, wurden dort die meisten Profilstandorte gewählt.

Teilgebiet 1 (T1)

- Profil 1: Abdeckung des westlichen Randes des Gebietes. Der Boden ist stark durch Blöcke geprägt und scheint besonders sandig und gefügelos und daher wenig entwickelt. Die Bäume sind schwachwüchsig.
- Profil 2: Abdeckung der Funde von violettgrauen, feinkörnigen Schiefern (GF 34). Der Boden enthält weniger Sand und ist leicht bindiger als am Westende. Die Bäume sind eher kräftiger.
- Profil 4: Abdeckung des östlichen Endes des Gebietes. Noch weiter östlich ist abgedeckt durch die Profile der WSL (Frey et al., 1998). Bei der Begehung wurden Rostflecken (SP 14) gefunden.
- Profil 5: Suche des Übergangs zu den metallisch-schimmernden, schluffig-lehmigen Böden bei Alp Sadra
- Profil 7: Hier dominieren der Blockschutt und ähnlich schwachwüchsige Fichten wie ganz im Westen. Der Boden ist eher wieder sandig und gefügelos wie bei Profil 1.
- Profil 8: Wie sieht der Boden talabwärts direkt unterhalb des karbonathaltigen Gebietes zwischen Val Dora und Val Ruina aus? Ist dort Karbonat noch nachzuweisen?
- Profil 10: Profil zur Kontrolle ob der stark verbrauchte Horizont ab 50 cm bei Profil 2 kein kleinräumiges Phänomen war.
- Profil 11: Übergang von Profilen 2 und 10 mit verbrauchten Horizonten, zum sandig, gebleichten Profil 7
- Profil 12: Weitere Suche des Übergangs zu den metallisch-schimmernden, schluffig-lehmigen Böden bei Alp Sadra. Die Bäume weisen hier ein kräftiges Wachstum auf.

Teilgebiet 2 (T2)

- Profil 3: Abdeckung der Bodeneigenschaften karbonathaltig und braun. Hier wurden während der Begehung karbonathaltige Sandsteine (GF 6) gefunden.

Teilgebiet 3 (T3)

Abgedeckt durch die Profile der WSL (Frey et al., 1998)

Teilgebiet 4 (T4)

- Profil 6: Abdeckung des Bodens T4 um Alp Sadra
- Profil 9: Bei der Begehung war der Charakter des Bodens T4 bei SP 25 am Ausgeprägtesten. Profil 9 liegt genau darunter. Weiter befindet sich das Profil nicht weit oberhalb von GF 11, einem metallisch weiss anwitternden schiefrigen Fels.

Zusätzlich zu den 12 geplanten Profilen haben sich drei weitere Profile ergeben. Diese hat der Waldökologe Hans-Ulrich Frey zwecks einer Schulung erstellt. Sie liegen in drei verschiedenen, von ihm beschriebenen Vegetationseinheiten. Da die Profile die Arbeit sinnvoll ergänzen und einen Beitrag zum Verständnis der Vegetationseinheiten leisten können, wurden sie mitbeprobt. Die Interpretation der Zusammenhänge zwischen dem Boden und der Vegetation überschreitet jedoch den Rahmen dieser Arbeit und verbleibt als offene Forschungsfrage.

3.1.2. Morphologische Beschreibung

In diesem Kapitel wird die Morphologie von ausgewählten, charakteristischen Profilen pro Teilgebiet (T) beschrieben, sowie Auffälligkeiten in anderen Profilen hervorgehoben. Im Anhang 1 ist die Morphologie aller Profile zu finden. Im Anhang 2 sind einige Gesteine (P) aus den Profilen portraitiert. Die von Hans-Ulrich Frey erstellten Profile 13 bis 15 wurden nur beprobt und nicht beschrieben.

Teilgebiet 1 (T1) (Profile 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 15)

Profil 11 (Tabelle 7) entspricht dem häufigsten Erscheinungsbild des Bodens in T1. Die Feinerde ist durchwegs bleich (hellgrau), von der Bodenart „sandiger Lehm“ bis „lehmiger Sand“ (Laboranalyse und Fühlprobe) und praktisch gefügelos. Im optisch einheitlich wirkenden Boden lassen sich kaum Bodenhorizonte ausscheiden. Im ganzen Profil ist der Skelettanteil hoch (50% und mehr). Es treten lediglich karbonatfreie Sandsteine des ‚Verrucanos‘ auf, die überwiegend hellgrau bis weiss anwittern. Profile 1, 7, 12 und 8 entsprechen ebenfalls dieser Beschreibung. Die Feinerden von Profil 1 und 8 fühlt sich dabei besonders sandhaltig an. Bei Profil 8 kommen ab 60 cm nur noch grüne Sandsteine vor, die Feinerde grünlich färben. In Profil 11 und 12 kommen vereinzelt braun anwitternde Gesteine vor. Der Anteil der Tonfraktion in der Feinerde aller Profile aus T1 liegt zwischen 2.5% (Profil 1) und 9.85% (Profil 2) (Laboranalyse).

Die Bodenart und der Skelettgehalt von Profil 4 (Tabelle 8) entspricht weitgehend der vorangehend beschriebenen Profilgruppe. Es weist jedoch ab 60 cm-Tiefe eine einsetzende Braunfärbung auf. In den braunen Horizonten treten braun anwitternde, graue (P4.1) und grüne Sandsteine des ‚Verrucanos‘ auf. Profil 5 ist ebenfalls von dieser Art, die Braunfärbung tritt jedoch erst in 120 cm-Tiefe auf und umfasst nicht die ganze Profillbreite. Die Gesteine sind vorwiegend grauviolette Sandsteine des ‚Verrucanos‘.

Profil 2 (Tabelle 9) zeichnet sich ebenfalls durch das Einsetzen einer Braunfärbung ab 35 cm-Tiefe aus. Die Feinerde fühlt sich jedoch weniger sandhaltig an („Schluff“ bis „Schluff-Lehm“) als die vorangehend beschriebenen Profilgruppen und weist ein schwaches Gefüge auf. Profil 10 ist von derselben Art wie Profil 2, jedoch ist die Braunfärbung weniger ausgeprägt. In beiden Profilen treten braun-schwarz anwitternde, grauviolette Feinsandsteine (P2, P10) auf. Diese konnten im ganzen Untersuchungsgebiet nur in den Profilen 2, 10 und 4 gefunden werden. Profil 15 entspricht weitgehend Profil 2, der beschriebene Gesteinstyp tritt jedoch nicht auf. In Profil 15 sind jedoch vereinzelt gelbe Gesteine im braunen Horizont zu finden.

Tabelle 7: Kurzportrait Profil 11

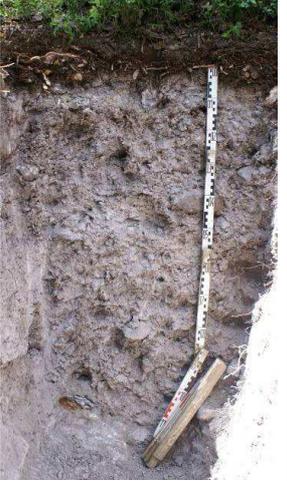
Profil 11		
	Bodenart	Fühlprobe: „Sandiger Lehm“ Laboranalyse: „Sandiger Lehm“ und „lehmgiger Sand“
	Horizontabfolge (cm)	L(0.5), F(2), H(5), Ah(1), Cv1(9), Cv2(30), Cv3(25), Cv4(25), Cv5(30)
	Gefügeform	Einzelkorngefüge
	Farbe	Durchs ganze Profil hellgrau
	Durchwurzelung	90 cm, keine sichtbare Wurzelraumlimitierung
	Bodenorganismen	Gelbe Mycele bis 90 cm
	Geologie	Ruina-Formation (Verrucano): Streifenserizitschiefer (P 11.1, 11.2), grauviolette Sandsteine (P 11) (evtl. auch aus unterer Chazforà)
	Besonderes	Der H-Horizont ist mit 5 cm im Vergleich zu den anderen Profilen dieser Art (1,7,12,8) der mächtigste. Er ist sehr stark mit Stark-, Grob- und Feinwurzeln durchdrungen. Die gelben Mycele sind in 40 bis 90 cm-Tiefe im Bereich der Feinwurzeln stark ausgeprägt. In 110 cm-Tiefe tauchen braun verwitternde Gesteine auf (P11, 11.1).

Tabelle 8: Kurzportrait Profil 4

Profil 4		
	Bodenart	Fühlprobe: „Lehmiger Sand“, Laboranalyse: „Sand“
	Gefügeform	Einzelkorngefüge
	Horizontabfolge	L(1), F(1), Ah(0.5), Cv1(29.5), Cv2(30), Cv3(20), Cv4(55), Cv5(45)
	Farbe	Hellgrau bis 60 cm, danach braungrau bis braun
	Durchwurzelung	90 cm, keine sichtbare Wurzelraumlimitierung
	Bodenorganismen	Gelbe Mycele im Ah-Horizont
	Geologie	Chazforà-Formation: z.T. braun anwitternde, graue (P4, P4.1) und grüne Sandsteine, grauviolette Feinsandsteine (Typ P2, P10), grauviolette Sandsteine (M4.1)
	Besonderes	Es konnte kein Ende des braunen Horizontes erreicht werden

Tabelle 9: Kurzportrait Profil 2

Profil 2		
	Bodenart	Fühlprobe: „Schluff“ und „Schluff-Lehm“ Laboranalyse: „lehmgiger Sand“
	Gefügeform	Einzelkorngefüge bis Subpolyeder
	Horizontabfolge	L(0.5), F(1.5), Ah(0.5), Cv1(34.5), Cv2(20), Cv3(45), Cv4(20)
	Farbe	Hellgrau bis 35 cm, graubraun bis 55 cm, deutlich braun bis 100 cm, danach wieder braungrau
	Durchwurzelung	80 cm, keine sichtbare Wurzelraumlimitierung
	Bodenorganismen	Gelbe Mycele bis 35 cm
	Geologie	Chazforà-Formation (Verrucano): grauviolette Feinsandsteine (P2) und andere Sandsteine dieser Formation
	Besonderes	Feinerde enthält im Vergleich zu den restlichen Profilen in T1 weniger Sand und mehr Gefüge.

Teilgebiet 2 (T2) (Profil 9141, 9142, 14)

Abbildung 22: Profil 9141 mit braunem B- und grauem C-Horizont

Das Teilgebiet ist abgedeckt durch die Profile 9141 und 9142 (Frey et al., 1998) und das Profil 14. Diese weisen durchs ganze Profil eine hellbraune Farbe auf. Profil 9141 und 14 haben einen karbonathaltigen BCca-Horizont ab 40 bzw. 35 cm-Tiefe. Dolomitgerölle sind neben Gesteinen des ‚Münstertaler Kristallins‘ anwesend. Diese erscheinen in Profil 15 ab 15 cm-Tiefe als rostbraun anwitternde, glimmerhaltige Gesteine. Die Feinerde des Profils 9142 ist von der Art „lehmiger Sand“ (Laboranalyse). Das Profil hat keinen karbonathaltigen Horizont und wird ab 20 cm intensiver braun. Dolomitgerölle sind nicht anwesend. Der Horizont von 30 bis 50 cm wurde damals als begrabener B-Horizont angesprochen (Frey et al., 1998).

Teilgebiet 3 (T3) (Profil 3)

Das Teilgebiet wird durch Profil 3 (Tabelle 10) abgedeckt. Die Feinerde ist braun und von der Art „Sand“ bis „Lehm“ (Fühlprobe). Das Profil beinhaltet karbonathaltige Gesteine aus den Triassedimenten und weist einen karbonathaltigen Cca-Horizont ab 50 cm auf.

Tabelle 10: Portrait Profil 3

Profil 3		
	Bodenart	Fühlprobe: „Lehm“ bis „Sand“ Laboranalyse: „Sandiger Lehm“ bis „Sand“
	Gefügeform	Einzelkorn bis Subpolyeder
	Horizontabfolge	L(2), F1(1.5), Ah(0.5), (A)B(9.5), BC(15), CB1(25), CB2(15), BCv(35)
	Farbe	Erste 15 cm graubraun, danach hell- bis dunkelbraun
	Durchwurzelung	95 cm, keine sichtbare Wurzelraumlimitierung
	Bodenlebewesen	Keine
	Geologie	Turettas/Arlberg-Formation: Dolomite Fuorn-Formation (Buntsandstein): karbonathaltige, graubraune (GF 6) und gelbe Sandsteine Beigemischte Sandsteine des ‚Verrucanos‘
	Besonderes	Karbonatgrenze bei 50 cm

Teilgebiet 4 (T4) (Profile 6, 9)

Das Teilgebiet wird durch Profil 6 und 9 abgedeckt. Die Feinerde in Profil 9 (Abbildung 23) ist ab 55 cm metallisch schimmernd und konnte als Verwitterungssubstanz der darunter liegenden Blöcken identifiziert werden. Mit der Bodenart „Schluff-Lehm“ (Fühlprobe) fühlt sich die Feinerde weniger sandhaltig an als die meisten Feinerden aus T1. Die Blöcke in diesem Profil sind von der Art wie sie im Felsband oberhalb Alp Sadra gefunden wurden (GF 14, Ruina-Formation (Verrucano)). Die Feinerde von Profil 6 ist ebenfalls von der Art „Schluff-Lehm“

(Fühlprobe), jedoch nicht deutlich metallisch-schimmernd. Ab 100 cm erscheint die Feinerde aus dem Bohrkern in Profil 6 teilweise violett und fühlt sich tonig an. Der Anteil der Tonfraktion (Laboranalyse) des darüber liegenden Horizontes beträgt 8.6% und ist somit nicht höher als der höchste Anteil in T1. Die Gesteine sind vorwiegend vom Typ GF 12 und 18 und ebenfalls aus der Ruinà-Formation.

Tabelle 11: Portrait Profil 9

Profil 9		
	Bodenart	Fühlprobe: „Sandiger Lehm“ und „Schluff-Lehm“ Laboranalyse: „sandiger Lehm“ und „lehmiger Sand“
	Gefügeform	Einzelkorn bis Subpolyeder
	Farbe	Hellgrau, ab 55 cm deutlich metallisch-schimmernd
	Durchwurzelung	60 cm, Blöcke limitieren den Wurzelraum
	Bodenlebewesen	Keine
	Geologie	Ruina-Formation (Verrucano): graue Sandsteine (Typ GF 14), zum Teil stark verfaltet
	Besonderes	Abbildung 23: Gestein im Cv-Horizont Verwittert metallisch-schimmernd Bei der Laboranalyse fehlten in diesem Horizont lediglich 5% Schluffanteil, damit er in die Bodenart „Schluff“ gefallen wäre

Profil 13

Es liegt ausserhalb des Untersuchungsgebietes im ‚Münstertaler Kristallin‘ auf der anderen Talseite oberhalb Tschierv. Die Feinerde ist durchs ganze Profil braun.

3.1.3. pH-Werte

Zu jedem Teilgebiet werden pH-Verläufe von charakteristischen Beispielpprofilen graphisch dargestellt und Besonderheiten anderer Profile herausgehoben. Die restlichen pH-Werte sind im Anhang 1 zu finden. Die Einteilung in die Säureklassen 1-5 erfolgt nach Walthert et al. (2004). Die Angaben „klein“ bis „gross“ beziehen sich auf die Anfälligkeit der Böden gegenüber Säurezufuhr (pH-Abnahme).

Teilgebiet 1 (T1) (Profile 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 15)

Die pH-Werte der Profile aus Teilgebiet 1 verlaufen alle im Bereich der Säurenklassen 4 und 5 (stark sauer bis sehr stark sauer). Eine Zunahme der pH-Werte mit zunehmender Profiltiefe ist bei einigen Profilen kaum (Beispiel Profil 11, Abbildung 24), bei anderen deutlich sichtbar (Beispiel Profil 10, Abbildung 25). Bei Profil 15 steigen die pH-Werte mit zunehmender Tiefe ebenfalls an, wegen der geringen Profiltiefe ist der weitere Trend jedoch unklar.

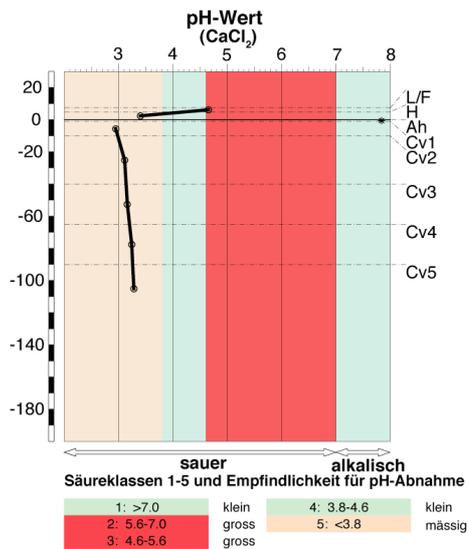


Abbildung 24: pH-Diagramm Profil 11

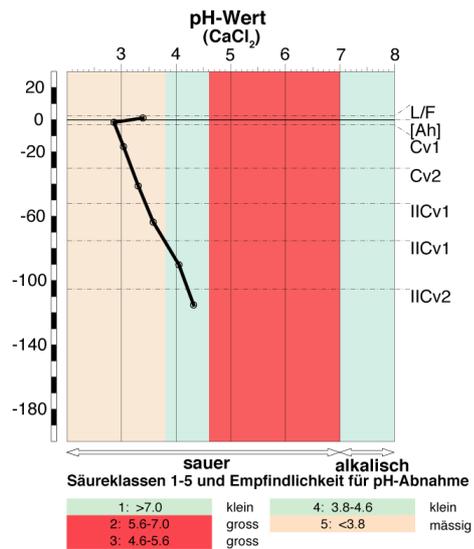


Abbildung 25: pH-Diagramm Profil 10

Teilgebiet 2 (T2) (Profile 9141, 9142, 14)

Im Teilgebiet 2 treten in den Profilen 9141 und 14 deutlich höhere pH-Werte auf als im Teilgebiet 1. Die pH-Werte von Profil 9141 (Abbildung 26) bewegen sich durchs ganze Profil in der tiefsten Säureklasse 1 (alkalisch). Bei Profil 15 beginnen die pH-Werte im stark sauren Bereich und steigen ab 30 cm-Tiefe ebenfalls in die tiefste Säureklasse 1. Profil 9142, bewegt sich in ähnlich tiefen pH-Bereichen wie die Profile in Teilgebiet 1.

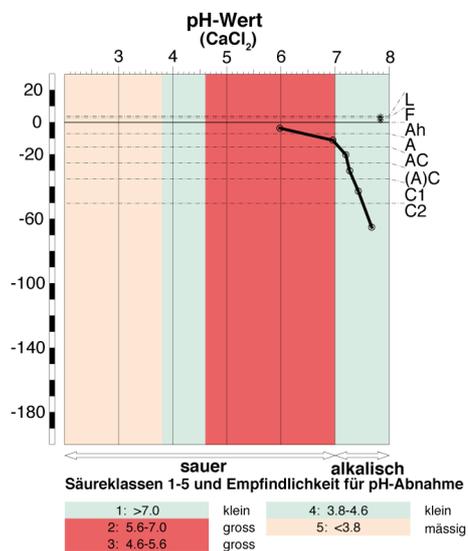


Abbildung 26 pH-Diagramm Profil 9141

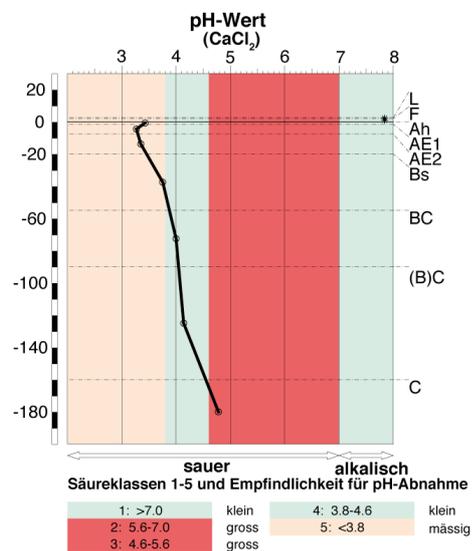


Abbildung 27: pH-Diagramm Profil 9142

Teilgebiet 3 (T3) (Profil 3)

Auch in diesem Teilgebiet erreichen die pH-Werte die tiefste Säureklasse 1 (alkalisch). Sie treten jedoch nur in tieferen Horizonten (ab 50 cm) auf.

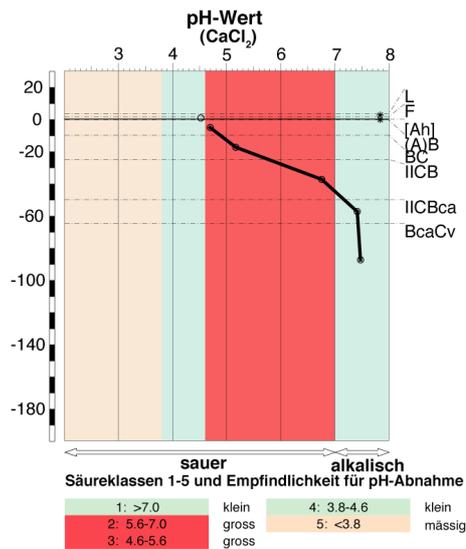


Abbildung 28: pH-Diagramm Profil 3

Teilgebiet 4 (Profile 6 und 9)

Die pH-Werte in Teilgebiet 4 verhalten sich analog zu denjenigen in Teilgebiet 1. Eine Zunahme der pH-Werte mit zunehmender Profiltiefe ist bei Profil 9 kaum, bei Profil 6 jedoch besonders im Übergang zum untersten, violett, tonigen Horizont deutlich erkennbar.

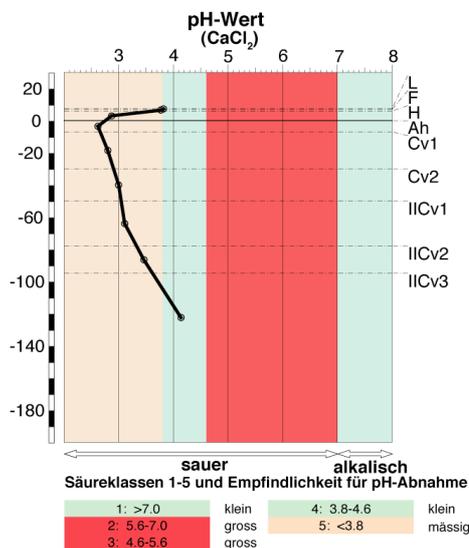


Abbildung 29: pH-Diagramm Profil 6

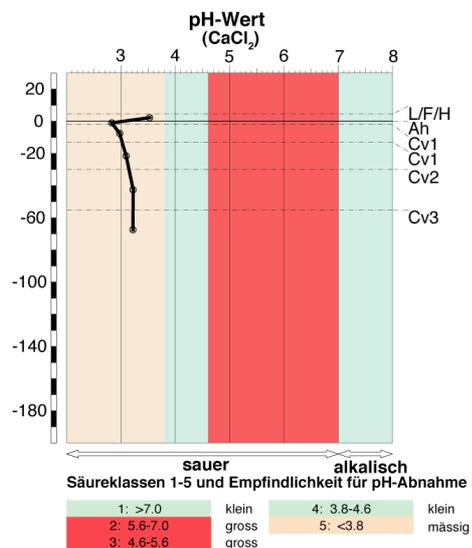


Abbildung 30: pH-Diagramm Profil 9

Profil 13

Die pH-Werte des ausserhalb des Untersuchungsgebietes liegenden Profils 13 nehmen mit zunehmender Profiltiefe ab. Eine solche pH-Entwicklung konnte im Untersuchungsgebiet nirgends festgestellt werden. Die pH-Werte bewegen sich in der pH-Klasse 4 (stark sauer).

3.1.4. Basensättigung und Kationenaustauschkapazität

Zu jedem Teilgebiet werden die Resultate von charakteristischen Beispielprofilen graphisch dargestellt und Besonderheiten anderer Profile herausgehoben. Die restlichen graphischen Darstellungen sind im Anhang 1 zu finden. Die Klassierung der Kationenaustauschkapazität (KAK) erfolgt nach Walthert et al. (2004) und beruht auf Vergleichen von 172 Bodenprofilen aus der ganzen Schweiz. Die Klassierung der Basensättigung erfolgt nach dem Arbeitskreis Standortkartierung (1996). Sie drückt den Anteil der Ca-, Mg-, Na- und K-Ionen an der Kationenaustauschkapazität aus (Walthert et al., 2004).

Teilgebiet 1 (Profile 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 15)

Im Unterboden bewegt sich die KAK bei allen Profilen fast ausschliesslich im Bereich „extrem gering“ und verändert sich mit zunehmender Profiltiefe nicht (Beispiel Profil 4, Abbildung 31). Dementsprechend gering sind die Mengen an austauschbaren Kationen, die deutlich von Aluminiumionen dominiert werden (Abbildung 33). Die Hauptnährstoffe (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) sind nur in sehr geringen Mengen vertreten. Dementsprechend tief fällt die Basensättigung aus („mässig“ bis „gering“) (Abbildung 32). In der Auflage (Horizonte F, L, H) ist die KAK mit „hoch“ bis „extrem-hoch“ bei allen Profilen deutlich über derjenigen der C-Horizonte (Abbildung 31). Hier sind grössere Mengen an Hauptnährstoffen austauschbar vorhanden (Abbildung 33).

In den Profilen 2, 10, 11 und 12 sind die Basensättigungen in tieferen Horizonten im Vergleich zu den übrigen Profilen in T1 höher („mittel“ bis „hoch“) (Beispiel Profil 2, Abbildung 34). Dies widerspiegelt sich in einem höheren Anteil an Ca- und Mg-Kationen an der Gesamtmenge der austauschbaren Kationen (Abbildung 35). Besonders deutlich fällt dies bei Profil 12 aus. Dort dominieren unter den austauschbaren Kationen Ca und Mg in den letzten drei Horizonten.

Tabelle 12 zeigt, dass in den Profilen (2, 4, 5 und 10) mit braunen Horizonten die Austauscherbelegung mit Fe-Kationen deutlich höher ist, als bei Profil 11 ohne braune Horizonte.

Profil 15 weist im untersten Horizont einen starken Anstieg der Basensättigung und der Ca- und Mg-Kationen auf. Wegen der geringen Profiltiefe ist der weitere Trend in tieferen Horizonten nicht abschätzbar.

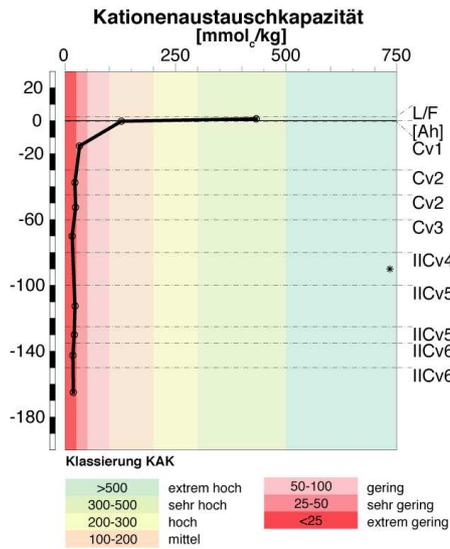


Abbildung 31: Kationenaustauschkapazität Profil 4

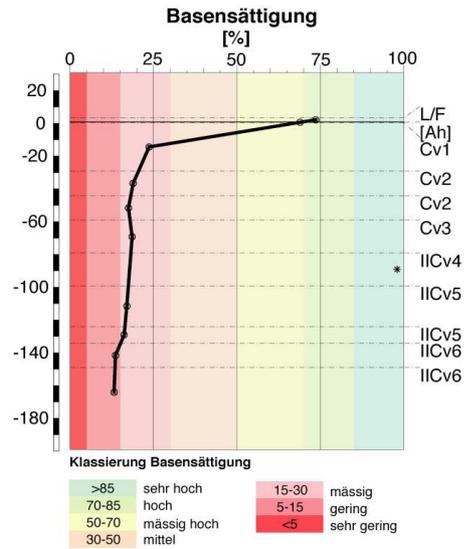


Abbildung 32: Basensättigung Profil 4

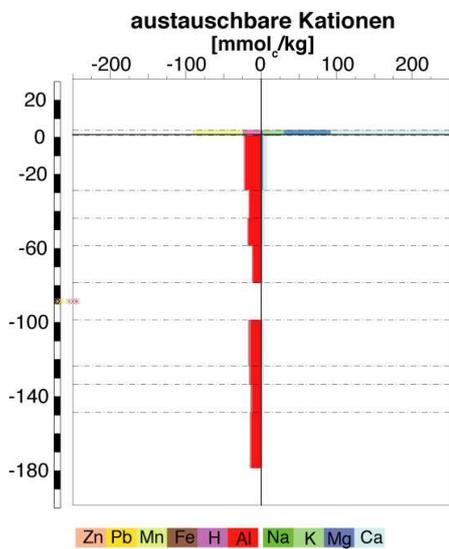


Abbildung 33: Austauschbare Kationen Profil 4

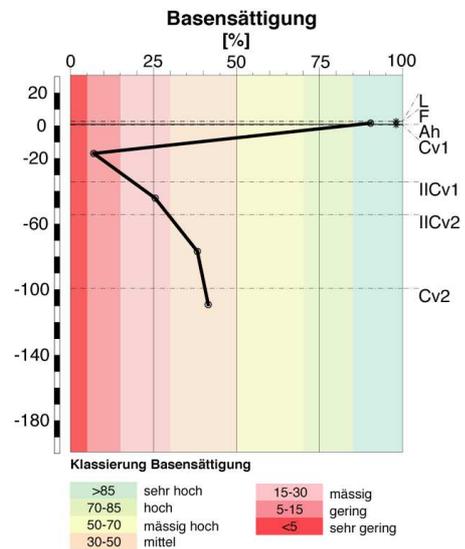


Abbildung 34: Basensättigung Profil 2

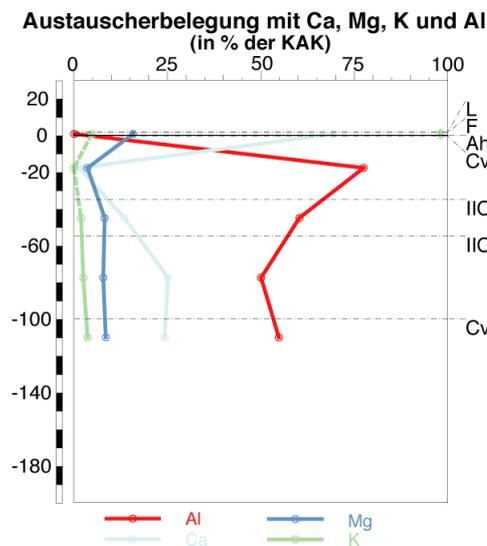


Abbildung 35: Austauscherbelegung Profil 2

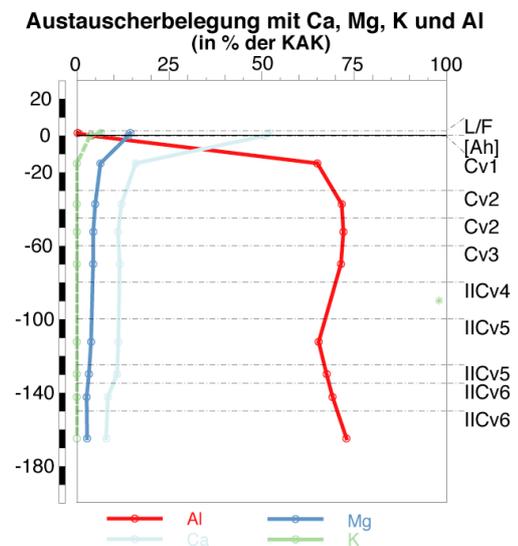


Abbildung 36: Austauscherbelegung Profil 4

Tabelle 12: Vergleich der Austauschbelegung mit Fe-Kationen (in % der KAK) zwischen den Profilen 2, 4 5 und 10 mit braunen Horizonten und mit dem Profil 11 ohne braune Horizonte. Die Horizonte der Auflagen sind mit + bezeichnet, die restlichen mit -.

Profil 2			Profil 4			Profil 5			Profil 10			Profil 11		
Horizonte														
Bezeichnung	Obergrenze (cm)	Fe (%)												
L	+2	-	L + F	+2.5	0.0	L	+2.5	0.1	L/F	+2.5	0.2	L/F	+7.5	0.1
F	+1.5	0.0	[Ah]	0	0.6	F	+2	0.1	[Ah]	0	2.6	H	+5	1.4
Ah	0	-	CV1	-0.5	1.3	H	+1	-	C1	-3	2.4	Ah	0	-
Cv1	-0.5	2.8	CV2	-30	2.0	[Ah]	0	1.4	C2	-30	2.6	C1	-1	0.3
Cv2	-35	3.9	CV2	-45	2.4	CV1	-1	2.4	IICV1	-52	7.1	C2	-10	0.2
Cv3	-55	2.4	CV3	-60	4.4	CV2	-20	2.2	IICV1	-75	3.1	C3	-40	0.2
Cv4	-100	1.9	CV4	-80	-	CV3	-90	6.6	IICV2	105	1.1	C4	-65	0.2
			CV5	-100	8.8	CV4	-120	10.8				C5	-90	0.3
			CV5	-125	9.4									
			CV6	-135	8.3									
			CV6	-150	6.2									

Teilgebiet 2 (Profile 9141, 9142, 14)

Die Profile 14 und 9141 (Abbildung 37) weisen Basensättigungen von annähernden 100% („sehr hoch“) auf und unterscheiden sich daher von den Profilen aus Teilgebiet 1. Die Austauschbelegung wird von Ca- und Mg-Kationen dominiert (Abbildung 38). Das Profil 9142 ist vergleichbar mit den Profilen aus T1, die Basensättigung nimmt ebenfalls mit zunehmender Profiltiefe zu (Abbildung 39).

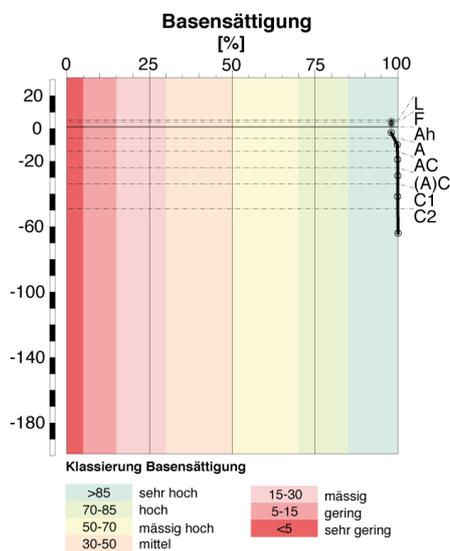


Abbildung 37: Basensättigung Profil 9141

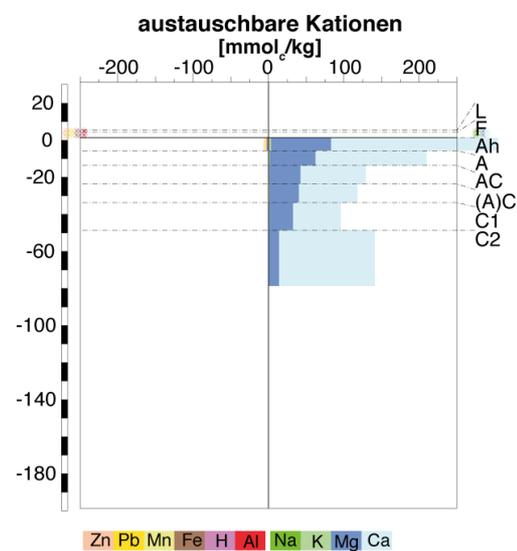


Abbildung 38: austauschbare Kationen Profil 9141

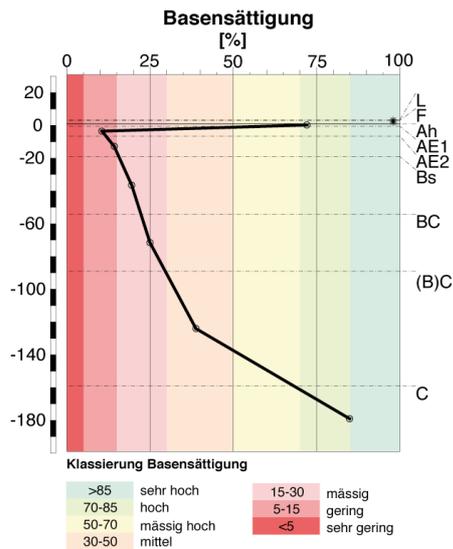


Abbildung 39: Basensättigung Profil 9142

Teilgebiet 3 (Profil 3)

Profil 3 unterscheidet sich kaum von den Profilen 9141 und 14 aus T2. Die Basensättigungen liegen bei annähernd 100% und sind somit ebenfalls „sehr hoch“. Auch die Dominanz der Ca- und Mg-Ionen am Austauscher ist analog zu den Profilen 9141 und 14.

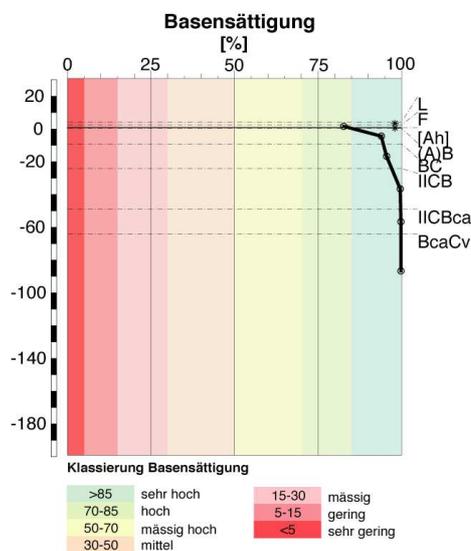


Abbildung 40: Basensättigung Profil 3

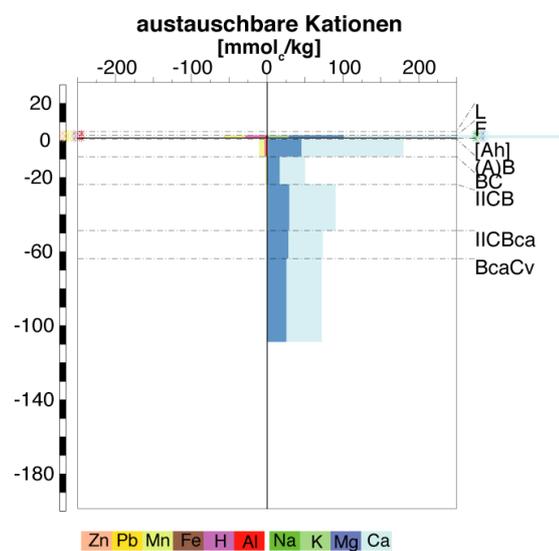


Abbildung 41: Austauschbare Kationen Profil 3

Teilgebiet 4 (Profile 6, 9)

Die Profile 6 und 9 unterscheiden sich nicht von den Profilen aus T1. Profil 9 gehört dabei zu der Profilgruppe bei der die Basensättigung mit zunehmender Profiltiefe nicht ansteigt und im Bereich „gering“ verbleibt (Abbildung 42). Profil 6 gehört zu der Profilgruppe, die mit zunehmender Profiltiefe eine ansteigende Basensättigung aufweist. Diese steigt im letzten, violett,

tonigen Horizont bis in den Bereich „sehr hoch“ (Abbildung 43). Die Kationen Ca und Mg dominieren unter den austauschbaren Kationen (Abbildung 44).

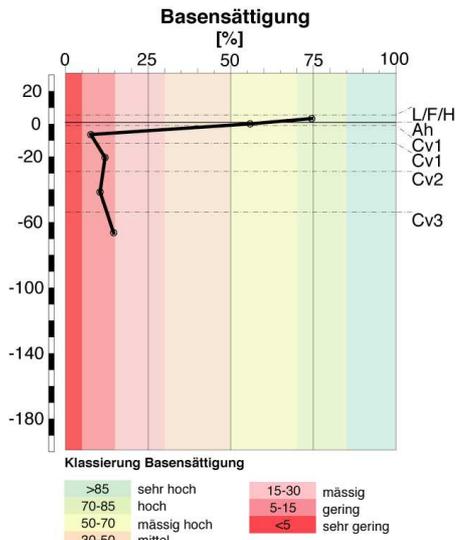


Abbildung 42: Basensättigung Profil 9

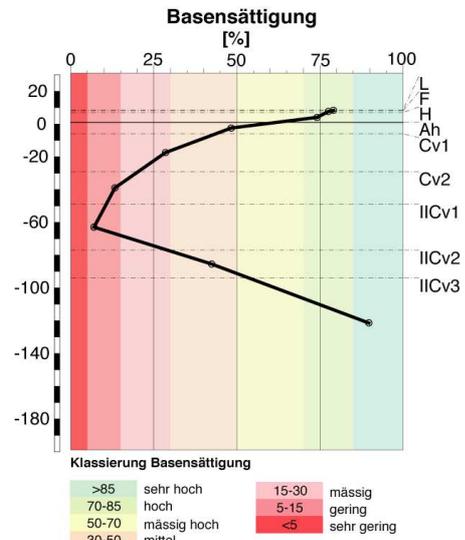


Abbildung 43: Basensättigung Profil 6

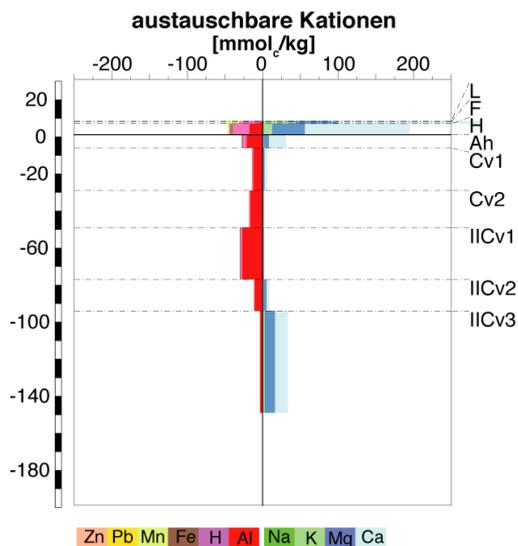


Abbildung 44: Austauschbare Kationen Profil 6

Profil 13

Bei Profil 13 nimmt die Basensättigung mit zunehmender Profiltiefe konstant ab. Eine solche Entwicklung konnte im Untersuchungsgebiet nirgends festgestellt werden.

3.1.5. C_{org}/N – Verhältnisse

Die Werte des C_{org}/N-Verhältnisses der einzelnen Horizonte sind im Anhang 1 zu finden. Neben den organischen Auflagehorizonten und dem Ah-Horizont wurde der erste auf den Ah folgenden Horizont analysiert. In tieferen Lagen wurden solche mit Braunfärbung mitgemes-

sen. So kann geklärt werden, ob die Färbung durch organische Substanzen verursacht wird oder nicht.

Der Stickstoffanteil (C_{org}) in den Auflagehorizonten L, F und H, liegt im Mittel über alle Profile, Horizonte und Teilgebiete bei 1.54 %. Mit einer Standardabweichung von +/- 0.273 % liegen die Werte dicht beieinander. Der höchste Anteil lag bei 2.31 % im F-Horizont des Profils 2 und der tiefste bei 1% im L/F-Horizont des Profils 13. Der organische Kohlenstoffanteil (C_{org}) verhält sich mit einem Mittelwert von 41.78 % und einer Standardabweichung von 3.875 % ähnlich konstant über alle Profile und Horizonte. Der höchste Anteil liegt bei 45.62 % im F-Horizont des Profils 1 und der tiefste bei 32.51 % im L/F-Horizont des Profils 13. Somit ergibt sich ein durchschnittliches C/N-Verhältnis von 27.11 für das gesamte Untersuchungsgebiet.

In der Tabelle 13 ist ersichtlich, dass die C/N-Verhältnisse der Auflagehorizonte (L, F, H) in T1 im Bereich zwischen 24 und 27 liegen. In T2 fehlen leider Messwerte zu den Auflagehorizonten. In T3 und T4 liegen die Werte im Bereich von T1. In den Ah-Horizonten werden die C/N-Verhältnisse allgemein enger. Die C_{org} - und N_{tot} -Werte werden dabei deutlich kleiner. In dem auf den Ah-Horizont folgenden Horizont sinken diese Werte weiter stark ab und das C/N-Verhältnis wird noch enger.

In den braunen C-Horizonten der Profile 2, 4, 5, 10 und 15 in Teilgebiet 1 treten keine hohen C_{org} -Gehalte auf (Tabelle 14). Sie liegen im Bereichen der bleichen Cv1-Horizonte des Teilgebietes 1 (Tabelle 13). Die C_{org} -Werte der Horizonte IICv1 aus Profil 10 und Ab aus Profil 15 sind geringfügig höher.

	Horizont- bezeichnung (Anzahl Messwerte)	N_{tot}	C_{org}	Stdw. N_{tot}	Stdw. C_{org}	C/N
Teilgebiet 1	L/F (7)	1.57	43.08	0.14	1.90	27.49
	F (4)	1.84	44.73	0.35	0.75	24.26
	H (4)	1.34	36.87	0.16	3.62	27.48
	Ah (6)	0.33	7.48	0.14	1.82	22.67
	Cv1 (10)	0.03	0.44	0.01	0.13	12.62
Teilgebiet 2 (Profil 14)	A (1)	0.06	1.06	-	-	17.50
Teilgebiet 3 (Profil 3)	F (1)	1.63	44.12	-	-	27.00
	(A)B (1)	0.14	3.17	-	-	22.16
	BC (1)	0.07	1.05	-	-	15.49
Teilgebiet 4	L/F/H (2)	1.49	40.42	0.08	0.29	27.20
	Ah (2)	0.34	7.79	0.13	1.73	23.11
	Cv1 (2)	0.04	0.56	0.01	0.21	13.98

Tabelle 13: Mittelwerte der N_{tot} und C_{org} (wo nur ein Wert vorhanden Einzelwerte) der Auflagehorizonte (L,F,H), der Ah-Horizonte sowie der Cv1-Horizonte. Auch die Standardabweichung (Stdw.) der Mittelwerte sowie die C/N-Verhältnisse basierend auf den Mittelwerten sind aufgelistet. In Teilgebiet 2 und 3 fehlen teilweise Proben aus den Auflagehorizonten und dem Ah-Horizont.

Horizont	N_{tot}	C_{org}
Profil 2		
Cv2	0.04	0.52
Cv3	0.05	0.84
Profil 4		
Cv5	0.03	0.39
Cv6	0.02	0.32
Profil 5		
Cv4	0.02	0.41
Profil 10		
IICv1	0.09	1.94
IICv2	0.03	0.22
Profil 15		
Ab	0.06	1.16

Tabelle 14: N_{tot} und C_{org} -Werte der braunen Horizonte aus Teilgebiet 1.

3.1.6. Mineralogie

Auswahl der Profile für die mineralogische Analyse

Für die mineralogische Analyse wurden vor allem Profile mit braunen Horizonten aus Teilgebiet 1 gewählt (Profile 2 und 4). So soll ein möglicher Zusammenhang zwischen der braunen Farbe und den Mineralien in den Gesteinen hergestellt werden können. Weiter war das Profil 3 aus Teilgebiet 3 von Interesse, da es ausser den Profilen 13 und 14 als einziges nicht von Gesteinen des ‚Verrucanos‘ dominiert wurde. Ein weiterer Fokus wurde auf auffällige Horizonte gelegt. So interessierte die mineralogische Zusammensetzung des letzten Horizontes des Profils 6, der violett und tonig erschien. Profil 1 wurde berücksichtigt, da die Feinerde besonders sandig und wenig entwickelt erschien.

Resultate Teilgebiet 1 (mineralogisch analysiert: Profile 1, 2, 3)

In vier der sechs mineralogisch untersuchten Gesteinsproben in Teilgebiet 1 konnte lediglich Muskovit, Quarz und Illit nachgewiesen werden (Tabelle 15) (Weitere Minerale nur in Spuren von <1% (Tabelle 17)). Die Quarzanteile liegen dabei zwischen 70 und 87% (Tabelle 17). Eine Ausnahme bildet das Gestein P2 aus Profil 2 mit lediglich 36% Quarzanteil. Weiter weist es zusätzliche Plagioklas- und Kalifeldspatanteile auf (Tabelle 17).

Die Quarzanteile in der Feinerde liegen bei den meisten Profilen um die 60%. Nur bei Profil 2 liegen sie mit 20 bis 30% darunter. Profil 2 weist mit zusätzlichem Albit und Klinochlor die reichhaltigste Mineralienzusammensetzung in der Feinerde auf (Tabelle 15). Eisenhaltige Minerale treten in den Gesteinen nicht auf, waren mit Hämatit und Klinochlor jedoch in der Feinerde der Profile mit braunen Horizonten (2, 4 (kein Klinochlor)) vertreten. Innerhalb der Tonminerale kommen mit 98 und 99 % (gemessene Profile 2 und 4) praktisch ausschliesslich Illite vor (Tabelle 17). In Profil 1 stimmt die Mineralogie der Gesteine mit derjenigen der Feinerde überein (Tabelle 15).

Resultate Teilgebiet 3 (mineralogisch analysiert: Profil 3)

Das Gestein aus Profil 3 besteht zu 90% aus Dolomit und besitzt nur geringe Anteile an Quarz. Die Feinerde hat mit 15 bis 64 % deutlich höhere Dolomitgehalte als in Teilgebiet 1. Eisenhaltige Verbindungen treten keine auf. Der Quarzanteil in der Feinerde ist im Vergleich zu Teilgebiet 1 geringer und sinkt mit zunehmender Profiltiefe.

Resultate Teilgebiet 4 (mineralogisch analysiert: Profil 6)

Teilgebiet 4 unterscheidet sich mineralogisch nicht wesentlich von Teilgebiet 1. Im letzten, roten, tonigen Horizont tritt zusätzlich Klinochlor auf und der Quarzgehalt nimmt ab. Die optische Auszählung der Minerale von 3 Gesteinen aus Profil 6 hat lediglich Quarz und Glimmer und eine feine Grundmatrix (Serizit?) ergeben.

Profil Nr.	Feinerde (cm Tiefe)	Gestein (cm Tiefe)	Gesteinsart	Mineraliengruppen und Einzelminerale										
				Quarz	Plagio-klas	K-Feldspat		Dolomit	Muscovit		Illit	Chlorit	Korund	
				Quarz	Albit	Mikro-klone	Orhto-klas	Dolomit	Musco- vit	Phen- git	Illit	Klino- chlor	Häma- tit	Braunit
1	5-20													
	60-90													
		100	P1											
2	5-20													
		5-20	P1											
	40-55													
	65-90													
	105-120													
		110	P2											
3	30-45													
	55-65													
	90-110													
	90-110													
4	5-30													
		5-30	M 4.1											
	35-45													
	50-60													
	70-80													
	100-120													
	125-135													
165-180														
	165-180		M 4.2											
	180													
6	10-25													
		10-25	M 6											
	55-70													
	150													

Tabelle 15: Resultate der XRD-Analyse nach Einzelminerale. Gefärbtes Feld: Mineral wurde in der Probe nachgewiesen. Weisses Feld: Mineral wurde nicht nachgewiesen. Die Tabelle beinhalten keine quantitativen Angaben. Die Färbung der Felder (hellbraun für Feinerdproben, grau für Gesteinsproben) dient lediglich der Übersicht. Die Gesteine wurden wenn möglich den im Anhang 2 porträtierten Gesteinsarten zugewiesen.

Mineral	Chemische Formel
Albit	NaAlSi ₃ O ₈
Braunite	Mn ²⁺ Mn ³⁺ ₆ O ₈ SiO ₄
Calcit	CaCO ₃
Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂
Hämatit	Fe ₂ O ₃
Illit	(K,H ₃ O)Al ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (H ₂ O,OH) ₂
Klinochlor	(Mg,Fe,Al) ₃ [(OH) ₂ /(Si,Al) ₄ O ₁₀] (Mg,Fe,Al) ₃ (OH) ₆
Mikroclin	KAlSi ₃ O ₈
Muskovit	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
Orhtoklas	KAlSi ₃ O ₈
Phengit	Wie Muskovit, jedoch mehr Kieselsäure (Si(OH) ₄)
Quarz	SiO ₂

Tabelle 16: Minerale mit chemischen Formeln

Profil Nr.	Feinerde (cm Tiefe)	Gestein (cm Tiefe)	Mineralien								Tonmineralien				
			Quarz (%)	Plagio- klas (%)	K-Feld- spat (%)	Kalzit (%)	Dolomit (%)	Muskovit/ Illit	Chlorit	Hämatit	Smektit (%)	Illit (%)	Chlorit (%)	Kaolinit (%)	
1	5-20		63	<1	<1	<1	<1	<1	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
	60-90		63	<1	<1	<1	<1	<1	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
		100	70	<1	<1	<1	<1	<1	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
2	5-20		31	1	2	<1	<1	<1	Ja	Ja	Ja	-	-	-	-
		5-20	85	<1	<1	<1	<1	<1	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
	40-55		30	<1	3	<1	<1	<1	Ja	Ja	Ja	0	99	1	0
	65-90		29	1	2	<1	<1	1	Ja	Ja	Ja	-	-	-	-
	105-120		32	2	2	<1	<1	<1	Ja	Ja	Ja	-	-	-	-
		110	36	5	4	<1	<1	<1	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
3	30-45		34	<1	5	<1	<1	15	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
	55-65		19	<1	2	<1	<1	60	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
	90-110		16	<1	2	<1	<1	64	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
		90-110	3	<1	<1	<1	<1	90	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
4	5-30		60	0	1	0	0	1	Ja	Nein	Ja	-	-	-	-
		5-30	87	<1	<1	<1	<1	<1	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
	35-45		59	<1	1	<1	<1	1	Ja	Nein	Ja	1	98	1	0
	50-60		56	<1	1	<1	<1	1	Ja	Nein	Ja	-	-	-	-
	70-80		57	<1	1	<1	<1	1	Ja	Nein	Ja	-	-	-	-
	100-120		55	<1	1	<1	<1	<1	Ja	Nein	Ja	-	-	-	-
	125-135		59	<1	1	<1	<1	1	Ja	Nein	Ja	-	-	-	-
	165-180		57	<1	1	<1	<1	1	Ja	Nein	Ja	-	-	-	-
		165-180	79	<1	<1	<1	<1	<1	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
		180	73	<1	<1	<1	<1	<1	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
6	10-25		59	<1	1	<1	<1	<1	Ja	Nein	Ja	-	-	-	-
		10-25	79	<1	<1	<1	<1	<1	Ja	Nein	Nein	-	-	-	-
	55-70		53	<1	1	<1	<1	1	Ja	Ja	Ja	1	98	1	0
	150		45	<<1	1	<1	<1	1	Ja	Ja	Ja	-	-	-	-

Tabelle 17: Zusammenfassung nach Mineralien-Hauptgruppen. Die Werte zeigen die relativen Anteile an den gesamten Mineralien und Tonmineralien. Muskovit/Illit, Chlorit und Hämatit enthalten keine quantitativen Angaben. Sie machen zusammen die restlichen Prozente aus. „Ja“ bedeutet, das Mineral befindet sich im Restgehalt, „Nein“ bedeutet, es konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Abbildung 45, 46 und 47 zeigen Quarz (grosse Komponenten) Glimmer (farbige Bereiche) und eine feine Grundmatrix (Serizit?) (dunkelgraue Bereiche). Die Art der Gesteine konnte nicht mehr bestimmt werden, da sie sich zum Zeitpunkt der Abgabe der Arbeit noch immer an der Fachstelle für Sekundärrohstoffe befanden.

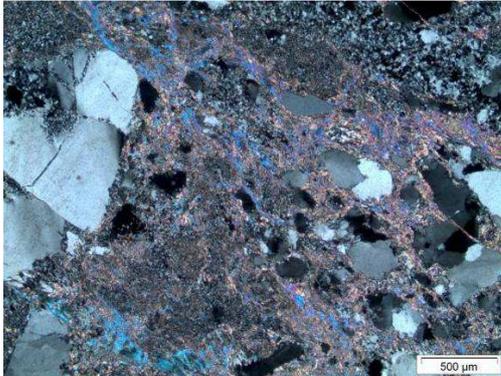


Abbildung 45: Mikroskopie des Schliffes von Gestein 1. Zu sehen ist Quarz, Muskovit und Serizit?.

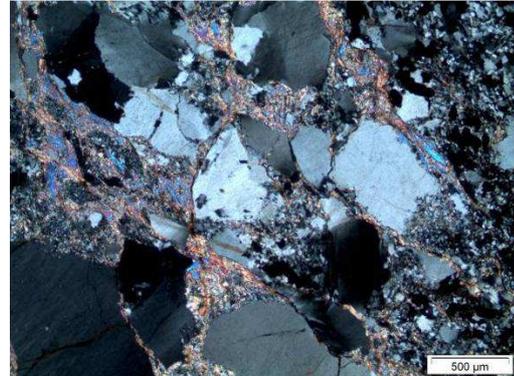


Abbildung 46: Mikroskopie des Schliffes von Gestein 2. Zu sehen ist Quarz, Muskovit und Serizit?.

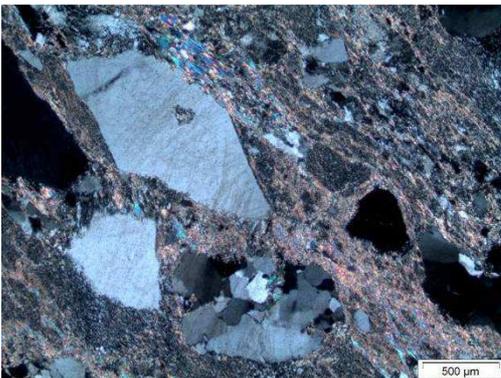


Abbildung 47: Mikroskopie des Schliffes von Gestein 3. Zu sehen ist Quarz, Muskovit und Serizit?.

In Tabelle 18 ist ersichtlich, dass das Handstück GF 25 vom Gipfel des Piz Doras fast 60 % aus Muskovit besteht. In geringen Mengen ist Hämatit enthalten.

Mineral	Anteil in % und Messgenauigkeit
Quarz	36.7 +/- 0.7
K-Feldspat	4.0 +/- 0.8
Muscovite	57.6 +/- 2.4
Hämatit	1.7 +/- 0.2

Tabelle 18: XRD-Analyse Handstück GF 25

4. Diskussion

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, gilt es die Frage zu beantworten, weshalb der Boden im Großteil der Profile der WSL (Frey et al., 1998) damals bleich erschien, an Nährstoffen (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) verarmt war und eine tiefe Basensättigung aufwies. Es gilt die Hypothese zu überprüfen, dass vorverwittertes Gestein, das durch die Sackung im Untersuchungsgebiet abgelagert wurde, für diese Ausprägung der Bodeneigenschaften verantwortlich ist. Die Hypothese soll am Beispiel von Teilgebiet 1 (T1) widerlegt werden.

Dössegger (1974) schreibt, dass grosse Teile der rechtsseitigen Talflanke der Val Müstair (Untersuchungsgebiet) aus Gesteinen der Chazforà-Formation (Verrucano) bestehen. Die eigenen Handstücke (siehe Anhang 2) und die Gesteine aus den Profilen bestätigen diese Aussage. Hinsichtlich der nur geringen Lagen an Buntsandsteinen und Triassedimenten im Vergleich zu den Chazforà-Lagen in der Turettas-Nordwand, ist dies nachvollziehbar (vgl. Karte 1). Der Piz-Dora liegt sogar vollständig im ‚Verrucano‘ (Spitz und Dyhrenfurth, 1915; eigene Aufnahmen). Die nordostexponierten Felswände des Piz Turettas und Piz Doras können somit als unversackte Abbilder der Gesteinsmasse in der Sackungszone angesehen werden. Die zahlreich auftretenden Gesteine der Ruinà-Formation in den Profilen im Gebiet Alp Sadra (T4), dürften aus dem direkt oberhalb gelegenen, ausgedehnten Felsband der Ruina-Formation stammen (vgl. Karte 1). Die grau-violetten Feinsandsteine (P2, P10) traten innerhalb der Sackungsmasse nur in den Profilen 2, 4 und 10 auf. Die mögliche Herkunft dieses seltenen Gesteins und dessen mögliche Auswirkungen auf den Boden werden später diskutiert.

Auffällig ist, dass die violetten, grünen und grauen Sandsteine des ‚Verrucanos‘ praktisch ausschliesslich weiss bis grau anwittern. Der Verdacht, dass sich der bleiche (hellgraue) Boden direkt aus der weissen bis hellgrauen Verwitterungssubstanz ergibt, ist daher bereits während der Begehung entstanden. Dieser Verdacht kann durch die mineralogischen Analysen gestützt werden. Auffällig ist die praktisch durchs Band einfache mineralogische Zusammensetzung der Gesteine des ‚Verrucanos‘ mit einem sehr hohen Anteil an Quarz von 70 bis 87%. Nur das Gestein aus T 3 und die erwähnten grau-violetten Siltsteine (P2) aus Profil 2 stellen mit tieferen Werten eine Ausnahme dar. Der mineralogische Restgehalt der Gesteine wird praktisch ausschliesslich durch den Muskovit gebildet, der ein farbloses Mineral darstellt (Schumann, 2009). Zusammen mit dem meistens auch weiss erscheinenden Quarzen (Schumann, 2009) dürfte dies die Ursache für die vorwiegend weisse bis hellgraue Verwitterung der Gesteine des ‚Verrucanos‘ sein.

Ausgehend von ihrer chemischen Zusammensetzung werden bei der Verwitterung von Muskovit und Quarz, lediglich die Ionen K^+ , Al^{3+} , F^- und Si^{4+} in grösseren Mengen frei. Eisen, welches für eine Verbraunung des Bodens nötig wäre, sowie die Nährstoffkationen Ca^{2+} und

Mg²⁺ sind darin nicht enthalten. Im Vergleich dazu, wird z.B. bei der chemischen Verwitterung eines Granites eine differenziertere Menge an Ionen freigesetzt. Ihr mittlere Mineralgehalt mit 30% Plagioklas- (teilweise Ca-haltig), 35% K-Feldspat- und 5% Biotitanteil (Fe-haltig) und lediglich 27% Quarzanteil ist mineralogisch reichhaltiger aufgebaut (Scheffer und Schachtschabel, 2010).

Die Gesteine des ‚Verrucanos‘ müssen somit nicht bereits vorverwittert, und somit an Nährstoffkationen verarmt abgelagert worden sein, um die tiefen Nährstoffkonzentrationen und die bleiche Farbe der Böden zu erklären. Diese Phänomene können alleine durch die einfache mineralogische Zusammensetzung des ‚Verrucanos‘ begründet werden.

4.1. Bodenentwicklung auf ‚Verrucano‘ (Teilgebiete (T) 1 und 4)

Die Annahme einer geringen Entwicklung der Böden aufgrund der morphologischen Beurteilung der Profile kann teilweise durch die Mineralogie bestätigt werden. Sie widerspiegelt sich im hohen Anteil an Illiten (98-99%) innerhalb der Tonmineralien. Sie können durch physikalische Verwitterung und Abgabe von K⁺ direkt aus Muskovit entstehen und sind mit diesem (mit Glimmern allgemein) am engsten verwandt (Scheffer und Schachtschabel, 2010). Bei stärkerer Verwitterung entsteht aus Muskovit oft das Tonmineral Vermiculit (Zeller, 1970). Bei einer einfältigen Mineralogie wie sie beim ‚Verrucano‘ vorhanden ist, kann man andererseits annehmen, dass auch bei einer langandauernden Bodenentwicklung keine komplexeren Tonminerale als Illite entstehen. Für die Entwicklung von z.B. Vermiculiten, werden Metall-Kationen wie Ca und Mg in grösseren Mengen benötigt (Zeller, 1970). Im Münstertal kann die Entwicklung der Böden trotzdem als gering bezeichnet werden. Dies bezeugt unter anderem das Profil 1, dessen Mineralogie der Feinerde identisch ist, mit derjenigen der Gesteine. Ausser einem mechanischen Zerfall der Gesteine hat dort somit keine weitere Bodenentwicklung stattgefunden. In diesem Zusammenhang wäre auch die mineralogische Analyse von Profil 8 interessant gewesen. Dort ist nicht ganz klar, ob es sich bei den Gesteinen ab dem IICv1-Horizont um grüne, mittelkörnige Sandsteine (GF 26) der Chazforà-Formation oder um grüne Rhyolithe (GF 9) aus der Ruina-Formation handelt. Leider konnte dies mit Herrn Dr. Michael Plötze nicht besprochen werden. Möglich wäre nach der geologischen Ausgangslage beides. Beide Formationen sind dort mit den Streifenschiefern bei GF 7.1 und den von Dössegger (1970) kartieren, versackten Chazforà-Elementen präsent (vgl. Karte 1). Ungeachtet der Herkunft der Gesteine, färben sie die Feinerde der unteren Profilhälfte grünlich. Auf die Ähnlichkeit der Farben und die gefügelose, sandig-schluffige Feinerde (Fühlprobe) gestützt, scheint es, als hätten hier ausser dem mechanischen Zerfall des Ausgangsgesteins ebenfalls keine bodenbildenden Prozesse stattgefunden.

Eine Erklärung der tiefen KAK in den Feinerden der Profile aus T1 liefert ebenfalls die bereits erwähnte Dominanz der Illite. Diese vermögen nur an deren Oberfläche Kationen tausch bar

aufzunehmen, während weiter entwickelte, aufgeweitete Dreischichttonminerale wie die Vermiculite zwischen den Schichten Kationen aufnehmen. Neben der Tatsache, dass Illite die Tonminerale dominieren, sind die Tonminerale selber mit einem tiefen Anteil (>10%) an der Bodenfraktion beteiligt. Die Fraktion der Tonminerale ist in einem Boden jedoch für den Grossteil der gesamten spezifischen Oberfläche verantwortlich und damit der wichtigste Sorbent für gelöste und gasförmige Stoffe (Scheffer und Schachtschabel, 2010). Die im Untersuchungsgebiet stark vertretene Schluff- und Sandfraktion in der Feinerde vermag somit im Vergleich zur Tonfraktion nur wenig Kationen tauschbar aufnehmen. Auch organische Substanzen, die als Tauscher für Kationen wirken können, fehlen weitgehend. Dies belegen die tiefen Anteile an organischem Kohlenstoff in den Cv-Horizonten. Die hohen Schluff- und Sandanteile in Teilgebiet 1 können ihrerseits direkt aus den hohen Muskovit und Quarzanteilen im ‚Verrucano‘ abgeleitet werden. Der Muskovit ist für den Schluff- und der verwitterungsresistente Quarz für den Sandanteil verantwortlich. Der Anteil von Muskovit ist in der Schlufffraktion von Böden am höchsten, da sie mechanisch leicht zerfallen (physikalische Verwitterung) (Scheffer und Schachtschabe, 2010).

Eine tiefe KAK ist in Böden der Alpenregion die von Gesteinsschutt dominiert werden und hohe Sand- und Schluffanteile aufweisen jedoch kein Einzelfall und kann nicht als Spezialität des ‚Verrucanos‘ angesehen werden. Als Vergleich können Bodenprofile der WSL herangezogen werden, die in Gesteinsböden in der Region Alpen und Alpensüdseite liegen. So ist z.B. auf Gehängeschutt des kristallinen Grundgebirges in Martigny (Parabraunerde, 880 m.ü.M) die KAK durchs ganze Profil „sehr gering“ und auf einer Moräne aus Gneisgesteinen in Roveredo (1390 m.ü.M, Braunerde) „sehr gering“ bis „extrem gering“ (Blaser, 2005). In diesem Vergleich sind jedoch eventuelle Altersunterschiede der Böden nicht berücksichtigt.

4.1.1. Steigende Basensättigungen und pH-Werte mit zunehmender Profiltiefe

Auch die tiefen pH-Werte resultieren aus der geringen Pufferkapazität der Gesteine des ‚Verrucanos‘. Säuren die aus dem Abbau der organischen Auflagen und in Form von saurem Regen in den Boden gelangen, werden durch Auflösung von Silikaten (z.B. Muskovit) und Aluminium- und Eisenverbindungen (falls vorhanden) gepuffert. Effektive Puffer wie Karbonatgesteine fehlen. Die Silikatverwitterung ist dabei kein effektiver Puffer und eine rasche pH-Abnahme ist bei hohem Säureeintrag zu erwarten (Walthert et al., 2004). Erst die Auflösung von Aluminiumverbindungen stellt einen effektiven Puffer dar, der die Böden im Bereich von pH-Werten 3.8 bis 4.6 puffert (Walthert et al., 2004). Die Böden im Untersuchungsgebiet bewegen sich in diesen pH-Bereichen und die hohen Aluminiumgehalte unter den tauschbaren Kationen belegen diesen Vorgang.

Die steigenden Basensättigungen und pH-Werte in den Profile 2, 6, 10, 11 und 12 können hingegen nicht eindeutig interpretiert werden. Die erste logische Annahme wäre die Anwesenheit von karbonathaltigen Gesteinen wie z.B. einem Dolomit aus den Triassedimenten des Piz Turettas (vgl. Karte 1). Es konnten in den entsprechenden Profilen jedoch keine solchen Gesteine nachgewiesen werden. Eine weitere Möglichkeit, wäre ein karbonathaltiges, Ca- und Mg-gesättigtes Hangwasser, welches die tieferen Horizonte der Böden mit Ca und Mg versorgt und die pH-Werte anhebt. An diversen Stellen treten im Untersuchungsgebiet Quellen hervor, was von einem Hangwasserfluss zeugen könnte.

Eine weitere zu überprüfende Möglichkeit ist der Zusammenhang zwischen auftretenden violetten Sandsteinen und Streifenserizitschiefern aus der Ruina-Formation (ev. auch untere Chazforà-Formation) und einem höheren Ca- und Mg-Gehalt im Boden. In den Profilen 11, 12 und 6 treten solche Gesteine auf. Ihre teilweise markant rostbraune Anwitterung und ihre violette Farbe lässt dabei auf eine differenziertere Mineralogie schliessen, als sie in den grauen und grünen Sandsteinen der Chazforà-Formation vorhanden ist. Die mineralogischen Analysen solcher Gesteine (M 4.1, M 6) hat jedoch keine solche Hinweise geliefert. Es dominieren ebenfalls Quarz und Muskovit.

Die hohen Ca- und Mg- Anteile an den austauschbaren Kationen im untersten Horizont (IICv3) von Profil 6 (T4) mit der violett-tonigen Feinerde, kann dabei am ehesten durch die Anwesenheit von Streifenserizitschiefern begründet werden. Das Profil wird eindeutig von Gesteinen der Ruina-Formation dominiert, was aus zahlreichen Bruchstücken von Streifenserizitschiefern (GF 18) hervorgeht. Die violett-rötliche Färbung im letzten Horizont von Profil 6 trat dabei fleckenartig auf und kann als Verwitterungsprodukt der violetten Tuffe, Ignimbrite oder Rhyolithe interpretiert werden, die in den Streifenserizitschiefern vorkommen (Dössegger, 1974). In diesem Horizont treten zusätzlich Klinochlore $((\text{Mg,Fe,Al})_3[(\text{OH})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}])$ $(\text{Mg,Fe,Al})_3(\text{OH})_6$ (Okrusch, 2010)) auf. Der genaue Gehalt in der Feinerde konnte mit der angewendeten Messmethode nicht in Erfahrung gebracht werden. Das Mg-haltige Mineral dürfte durch seine chemische Verwitterung zum höheren Mg-Anteil beisteuern. In den Gesteinen konnte Klinochlor (Chlorit) ebenfalls nicht nachgewiesen werden. Es waren jedoch keine typischen Streifenserizitschiefer bei der Analyse dabei. Dössegger erwähnt lauchgrüne Glimmerpakete aus Chlorit die selten als Streifen in den Streifenserizitschiefern der Ruina-Formation auftreten. Dabei könnte es sich um Klinochlor handeln, da es meist grün erscheint (Okrusch, 2010).

Weitere Hinweise auf eine, reichhaltigere Mineralogie der Streifenserizitschiefer liefert die Literatur. Gemäss Dössegger (1970,1974) kommt in den violetten Sandsteinen der Ruina- und der unteren Chazforà-Formation häufig vulkanisches Material vor. So sind die Streifen in den Streifenschiefern gemäss Dössegger (1974) lila und violette Tuffe und Ignimbrite und

rotviolette Rhyolithe (Gesteine vulkanischer Herkunft (Matthes, 2001)). Weiter beschreibt er (1974) das Auftreten gerundeter Gerölle von Granodioriten, Graniten und Gneisen. Auch die violetten Fragmente in den violetten Sandsteinen der unteren Ruina-Formation sind vor allem Vulkanitstücke (Dössegger, 1974). Tuffe sind dabei eine Verfestigung von Auswurfprodukten (magmafremdes Material) wie z.B. vulkanische Asche oder Wurfslacken. Ignimbrite sind ähnlich, werden jedoch aus Ablagerungen von Glutwolken gebildet (Matthes, 2001). Rhyolithe sind silikatische, dicht- bis feinkörnige, vulkanische Gesteine aus Quarz und Alkalifeldspat, mit gelegentlichen Einsprenglingen von Plagioklas und Biotit (Matthes, 2001; Mineralienatlas, online, 28.12.2010). Ein direkter Nachweis von weiteren Ca- und Mg-haltigen Mineralen konnte in diesen Gesteinsfragmenten jedoch nicht erbracht werden, da keine solcher Streifen und Gerölle mineralogisch untersucht wurden und auch die Literatur keine klaren Hinweise darauf gibt. Hier wären weitere Untersuchungen nötig.

Die tonige Substanz im letzten IICv3-Horizont von Profil 6 scheint weiter schlecht wasser-durchlässig zu sein. Der Bohrkern füllte sich innerhalb eines Tages mit Wasser, obwohl sich nicht all zu starke Niederschläge ereigneten. Dies würde die Theorie von vorhandenem Hangwasser stützen, welches sich auf dieser tonigen Schicht staut. Ein weiteres Indiz dafür zeigte sich in nassen Stellen in einer durch Strassenbauten frisch abgetragenen Böschung unterhalb von Profil 6. Zuvor hatten sich seit längerem keine Niederschläge mehr ereigneten. Als Ursache für die hohen Ca- und Mg-Konzentrationen im letzten Horizont (IICv3) von Profil 6 kommen somit als Ursache das Hangwasser und die Gesteine der Ruina-Formation in Frage.

4.1.2. Die schluffigen, metallisch schimmernden Böden in Teilgebiet 4

Die tonige Substanz die in den Böden um Alp Sadra (T4) teilweise vorkommt, wurde bereits im letzten Kapitel angesprochen. Sie kann als Resultat der Verwitterung von Gesteinen der Ruina-Formation interpretiert werden. Dössegger (1974) schreibt, dass die Gesteine dieser Formation häufig mit einem mm-dicken tonigen Belag überzogen sind. Es dürfte sich dabei um die Verwitterungssubstanz handeln die bei der Begehung im Felsband oberhalb von Profil 6 festgestellt wurde (vgl. Abbildung 21, S. 17). Sie dürfte aus den hohen Serizit-Anteilen der Sandsteine und Streifenserizitschiefer der Ruina-Formation hervorgehen, die von Dössegger (1974) beschrieben wurden. Auch die mikroskopische Analyse der angeschliffenen Gesteinsproben aus Profil 6 hat einen hohen Anteil an Feinsubstanz ergeben, bei der es sich wahrscheinlich um Serizit handelt. Serizit ist dabei die feinschuppige Varietät des Muskovits. Da bereits der mechanisch zerfallene Muskovit vor allem in der Schlufffraktion vorhanden ist (Scheffer und Schachtschabel, 2001) dürfte auch der Serizit sich vorwiegend dort anreichern. Für einen hohen Tonanteil innerhalb der Fraktionen der Feinerde gab es in den Bodenprofilen aus T4 keine Hinweise. Dieser liegt bei Profil 6 unter 10% und ist daher nicht

höher als in anderen Profilen aus Teilgebiet 1. Dabei wurde der letzte, besonders tonige Horizont aus Profil 6 aus Mangel an Feinerdprobe nicht nach der Körnung analysiert. Man kann jedoch davon ausgehen, dass auch dort keine höheren Tongehalte auftreten und die schlechte Wasserdurchlässigkeit, die im letzten Kapitel erwähnt wurde, auf einem hohen Schluffanteil beruht. Was sich tonig anfühlt dürfte tatsächlich Schluff sein.

Bereits während der Begehung wurden die Böden um Alp Sadra als besonders schluffig angesprochen. Dieser Eindruck bestätigt sich besonders in Profil 9 im Cv-Horizont. Die sich stark schluffig anfühlende Feinerde konnte dort als Verwitterungssubstanz der darunter liegenden geschieferten und verfalteten Sandsteine der Ruina-Formation identifiziert werden (GF 14, jedoch stärker verschiefert). Diese Feinerde enthält den höchsten Schluffanteil innerhalb aller Profile, deren Körnung im Labor analysiert wurde und dürfte ebenfalls aus dem Serizitanteil des Gesteins stammen. Der Metallisch schimmernde Effekt (vgl. Bild in Tabelle 11, S.22) dürfte ebenfalls von den Serizitanteilen stammen, da es sich beim Serizit um einen Glimmer handelt. Diese als Verwitterungssubstanz identifizierte Feinerde weist eine geringe KAK und Basensättigung auf wie dies bei den meisten Profilen aus T1 der Fall ist. Das Gestein GF 14 dürfte daher ebenfalls eine einfältige Mineralzusammensetzung haben.

4.1.3. Der Nährstoffkreislauf und die Auflagehorizonte L, F und H

In Profil 6 korrelieren die höheren Ca- und Mg-Werte der organischen Auflagehorizonte (L, F, H) mit den höheren Werten aus dem letzten violett-tonigen Horizont (IICv3). Markant höhere Nährstoffkonzentrationen in den Auflagehorizonten im Vergleich zur Mineralerde (alle Horizonte unterhalb der Auflage) sind im gesamten Untersuchungsgebiet zu beobachten. Die Bäume nehmen das Ca und Mg mit ihren Wurzeln aus tieferen Horizonten auf und bauen es in ihre Biomasse ein. Durch den Abwurf von Nadeln (im Untersuchungsgebiet wachsen ausschliesslich Nadelbäume) gelangt das Ca- und Mg- in die Auflagehorizonte.

In den Profilen im Untersuchungsgebiet wurde oft eine starke Durchwurzelung der organischen Auflage mit Feinwurzeln beobachtet. Die Bäume scheinen somit einen Teil ihres Nährstoffbedarfs direkt aus dieser zu decken. Die Feinwurzeln waren dabei oft von intensiv gelben Pilzmycelen umgeben. Vermutlich handelt es sich dabei um Mykorrhiza (Symbiosepilze) die Nährstoffe in der Streu mineralisieren und den Bäumen so zur Verfügung stellen. Abgesehen von den Pilzmycelen konnten in der Auflage keine weiteren, mit dem blossen Auge erkennbare, Lebewesen wie z.B. Regenwürmer erkannt werden. Durch das Fehlen der Regenwürmer fehlt auch der wichtigste Bodenwühler. Die organischen Auflagen können sich nur in geringem Masse mit der Mineralerde vermischen, was sich in den geringmächtigen Ah-Horizonten (1 bis 7 cm) widerspiegelt. So sind bereits in wenigen cm-Tiefe unterhalb des Ah-Horizontes die Anteile an Stickstoff, organischem Kohlenstoff sowie an austauschba-

ren Nährstoff-Kationen gering. Durch die geringe biologische Aktivität und dem damit gehemmten Abbau der Vegetationsrückstände, werden die Auflagen immer mächtiger, wobei auch die Nährstoffe darin gespeichert bleiben. Die mächtiger werdenden Auflagen führen dann unter anderem zu den Humustypen „Rohhumusartiger Moder“ oder „Rohhumus“. Dies sind die beiden vorherrschenden Typen im Münstertal. Sie definieren sich über eine geringe biologische Aktivität durch Bodenlebewesen und eine deutliche Ausprägung der L-, F- und H-Horizonte (Arbeitskreis Standortkartierung, 1996). Das C/N-Verhältnis liegt dabei in diesen Humustypen über 27 (Arbeitskreis Standortkartierung, 1996). Diesen Wert erfüllen die Auflagen der Profile im Münstertal knapp. Somit wird die tiefe biologische Aktivität durch die Stickstoff- und Kohlenstoffanalyse belegt.

Die tiefe biologische Aktivität kann auf die schweren Lebensbedingungen für Bodenlebewesen abgeleitet werden. Tiefe Bodentemperaturen, saure Böden, häufiges austrocknen des Oberbodens, kurze Vegetationszeit und schwer zersetzbare Vegetationsrückstände beeinträchtigen die biologische Aktivität (Rehfuess, 1990). Diese Bedingungen dürften alle auf das Münstertal zutreffen. Die Vegetation im Untersuchungsgebiet wird durch die Fichte und Zwergsträucher wie *Vaccinium* und *Rhododendron* dominiert. Diese produzieren alle schlecht abbaubare Vegetationsrückstände (Rehfuess, 1990).

4.1.4. Die braunen Horizonte

Eine zentrale Frage im Teilgebiet 1 richtet sich nach der Herkunft der braunen Horizonte in den Profilen 2, 4, 5 und 10 und im Profil 9139 der WSL (Frey et al., 1998). Der bleiche Oberboden und ein einsetzender, brauner Horizont in tieferen Profilschichten, könnte eine Podsolierung vermuten lassen. Unterstützend für diese Annahme ist die Tatsache, dass Podsole aus quarzreichen Gesteinen und unter Nadelhölzern bevorzugt entstehen (Scheffer und Schachtschabel, 2010). Aus der im letzten Kapitel diskutierten geringen biologischen Aktivität in der organischen Auflage resultiert ein unvollständiger Abbau der Streu. Dies verstärkt das Auftreten organischer Komplexbildner, die eine Podsolierung begünstigen (Scheffer und Schachtschabel, 2010).

Gegen eine Podsolierung spricht die Mächtigkeit der potentiellen Auswaschungshorizonte zwischen 35 und (Profil 2) und 60 cm (Profil 4). In Profil 5 und 9139 (Frey et al., 1998) sind es sogar 120 bzw. 90 cm bis eine Braunfärbung einsetzt. Auswaschungshorizonte über 20 cm gelten bereits als starke Podsole (Mückenhausen, 1998). Zum Vergleich weist ein podsoliertes Profil in Trun in einer ähnlichen Höhenlage (1580 m.ü.M) einen Auswaschungshorizont von maximal 50 cm auf (Blaser et al., 2005). Der durchschnittliche Jahresniederschlag der letzten 49 Jahre dieser Region liegt bei 1'178 mm (MeteoSchweiz, 05.11.2010, online). Im Vergleich dazu ist es in St. Maria mit 794 mm deutlich trockener (MeteoSchweiz,

05.11.2010, online). Da eine Podsolierung durch hohe Niederschläge begünstigt wird (Scheffer und Schachtschabel, 2010), sind die vermuteten Auswaschungshorizonte von bis zu 120 cm im Münstertal im Vergleich zu Trun aussergewöhnlich mächtig.

Bevor eine mögliche Podsolierung diskutiert werden kann muss abgeklärt werden, ob in den Gesteinen des ‚Verrucanos‘ Eisenverbindungen vorhanden sind. Podsole entstehen durch Eisen welches aus höheren in tiefere Horizonte verlagert wird, wo es dann schliesslich oxidiert wird (Scheffer und Schachtschabel, 2010). Die mineralogische Analyse der Gesteine des ‚Verrucanos‘ hat keine Eisenverbindungen ergeben. Trotzdem kommen in den Profilen 2 und 4 (mit braunen Horizonten) eisenhaltige Minerale in der Feinerde vor (Klinochlor, Hämatit). In den betreffenden Profilen müssen somit Eisenverbindungen in bestimmten Gesteinen auftreten, die mineralogisch nicht untersucht wurden. In den Profilen 2 und 10 treten in den braunen Horizonten grauviolette Feinsandsteine auf (P2 und P10) die in den höheren, bleichen Horizonten nicht vorhanden sind. Diese Feinsandsteine wittern lokal intensiv braun oder braunschwarz an. Dasselbe gilt für Profil 4. Dort sind es vor allem graue und grüne Sandsteine (P4.1), die braun anwittern. Diese Beobachtungen lassen vermuten, dass in Horizonten, in denen Gesteine mit eisenhaltigen Mineralien auftreten, lokal eine Verbraunung stattfindet. Diese Vermutung wird weiter durch die Tatsache gestützt, dass in den Profilen 5 und 9139 (Frey et al., 1998) die Braunfärbungen nur fleckenartig eine Hälfte der Profilbreiten betrifft. Braune Flecken aus Profil 11, in welchen braun anwitternde Gesteine (P 11 und P11.1) gefunden wurden, stützen diese Vermutung weiter. Wenn nur gewisse Gesteine für die lokale Verbraunung verantwortlich sind, stellt sich die Frage, weshalb nur diese eisenhaltige Mineralien aufweisen und weshalb sie nicht mit der Röntgendiffraktometrie bestimmt werden konnten.

Angefangen bei den Profilen 2 und 10 müsste der Hämatit als primäres (lithogenes) Mineral aus Gesteinen dieser Profile stammen. Hämatit bildet sich in unseren Breiten nicht pedogen, da sie zu feucht sind (Scheffer und Schachtschabel, 2010). Die Wahrscheinlichkeit ist gross, dass Hämatit in den Sedimenten des Verrucano vertreten ist, da während ihrer Entstehungszeit im Perm ein trockenes Klima herrschte (Labhart, 2001). Die in dieser Zeit entstandenen Sedimente des Rotliegenden und des Buntsandsteins haben ihre rötliche Farbe vom Hämatit (Mückenhausen, 2010). Hess (1953) zählt die Sedimente der Ruinà-Formation (Verrucano) mit ihren leicht violetten Farben zu den Sedimenten des unteren und oberen Rotliegenden, was ein weiterer Rückschluss auf die Anwesenheit von Hämatit im ‚Verrucano‘ des Münstertales zulässt. Ebenfalls das in der Feinerde der Profile 2 und 10 nachgewiesene eisenhaltige Klinochlor (Chlorit) müsste aus einem Gestein dieser Profile stammen. Die Literatur liefert keine Hinweise darauf, dass Klinochlor pedogen entstehen kann.

Die Antwort auf die Herkunft der grau violetten Feinsandsteine (P 2, P10) hat die Begehung des Piz Doras nicht geliefert. Es treten dort ausschliesslich Streifenserizitschiefer und Sandsteine der Chazforà-Formation auf (siehe Anhang 2). Um die Herkunft dieser Gesteine und einen möglichen Anteil an Hämatit und Klinochlor zu klären, wird die Literatur herangezogen.

Dössegger (1974) schreibt von violetten Silt- bis Feinsandsteinlagen in den obersten Schichten der Chazforà-Formation über dem Lai Chazforà am Piz Turettas-Nordhang (geologisches Profil 1). Hess (1953) schreibt ebenfalls von Lagen von rotvioletten Serizitschiefern in den oberen Schichten des ‚Verrucanos‘. Weiter beschreibt Dössegger (1974) am ‚Spi da Vau‘ beim Gratgipfel ‚Juet‘ gegen oben im Profil immer häufiger und dickere Lagen von violettgrau anwitternden, violetten Siltschiefern und Feinsandsteinen. Dössegger (1974) findet in diesen Gesteinen unter dem Mikroskop „über 50% Matrix von Serizit, selten etwas Chlorit und Quarz (gefärbt durch einige Prozente Hämatit)“. In den oberen Lagen des Piz Doras treten nach eigener Begehung ebenfalls violette Silt- bis Feinsandsteine (GF 25.1 und 29) auf. Diese sind jedoch deutlich dunkler und daher nicht von der Art wie sie in den Profilen 2 und 10 auftreten. Die mineralogische Analyse von GF 25.1 hat Quarz (37%), K-Feldspat (4%), Muskovit (58%) und Hämatit (1.7%) ergeben. Was der hohe Anteil an Hellglimmern und die wenigen Prozente Hämatit in der Grundmatrix angehen, könnten sie dem Gestein von Dössegger (1974) am ‚Spi da Vau‘ entsprechen. All diese Gesteine werden als deutlich violett beschrieben und wenn man die eigenen Handstücke GF 25.1 und GF 29 betrachtet, sind sie deutlich dunkler als die grau violetten Feinsandsteine aus den Profilen 2 und 10 (P2 und P10). Aus diesem Gesichtspunkt dürfte GF 33, welches in Unmittelbarer Nähe der Profile 2 und 10 gefunden wurde eher in diese Kategorie gehören.

Eine weitere Spur zur Herkunft der grau violetten Feinsandsteine liefert eine andere Beschreibung von Dössegger (1970). In den unteren Lagen der Chazforà-Formation in der Nordwand des Piz Turettas über dem Val da l’Era (geologisches Profil 2) beschreibt er violett-silbrige Serizit-Schiefer, die eher P2 und P10 entsprechen könnten. Unter dem Mikroskop findet er „in einer Grundmasse von Quarz und Serizit splitterförmige Quarzstücklein, korrodierte Quarze, zersetzte Feldspäte und einen hellen Glimmer (ausgebleichter Biotit?)“ (Dössegger, 1970). Die mineralogische Analyse von P2 hat Anteile von Quarz (36%), Feldspäten (Albit und Orthoklas (9%)), Illit und Braunit ergeben. Geht man davon aus, dass der Illit (entsteht in Böden durch Verwitterung von Muskovit (Scheffer und Schachtschabel, 2010)) mit dem Serizit (feinschuppige Varietät des Muskovit (Matthes, 2001)) nah verwandt ist, kommen sich diese Analysen nahe. Somit dürfte es sich bei P2 am ehesten um diesen violett-silbrigen Serizit-Schiefer handeln. Diese wiederum entsprechen sehr wahrscheinlich den grau violetten Feinsandsteinen die Dössegger (1974) in seltenen 0.5 m mächtigen Lagen im geologischen Profil 1 beschreibt. Er beschreibt die Schichten als stark zurückgewittert,

was auf eine leichtere Verwitterbarkeit dieser Gesteine gegenüber den herkömmlichen Verucanosedimenten hinweist.

Somit liefert die Literaturstudie keinen Beweis für die Anwesenheit von Hämatit in den grau-violetten Feinsandsteinen (P2, P10), er kommt jedoch eindeutig in violetten Gesteinen des ‚Verrucanos‘ vor. Die Andeutung von Biotit in den violett-silbrigen Serizit-Schiefer lässt vermuten, dass die rostbraune Verwitterungsfarbe eher von verwitterndem Biotit stammt. Dieser verwittert bedeutend leichter als Hämatit (Scheffer und Schachtschabel). Die braune Farbe kann nicht direkt vom Hämatit stammen, da es sich um ein Roteisen handelt, welches die Böden vorwiegend rötlich färbt (Mückenhausen, 1993). Zusätzlich ist Hämatit stabil und wandelt sich im Boden nicht direkt durch Wasseraufnahme in Geothit um, der die Böden in unserem Klima vorwiegend braun färbt (Scheffer und Schachtschabel, 2010). Selbst wenn die grau-violetten Feinsandsteine Hämatit enthalten und das Hämatit in der Feinerde aus diesen stammt, wäre die Braunfärbung der Böden noch nicht erklärt. Dass sich Hämatit schlecht in braunfärbende Eisenoxide umwandelt, zeigt sich ebenfalls in Profil 6. Die Analyse der Feinerde hat dort Hämatit nachgewiesen, das Profil ist jedoch durchgehend bleich. Die Stabilität des Hämatits verhärtet somit die Vermutung von verwitterndem Biotit, aus welchem Eisenionen freigesetzt werden die anschliessend oxidieren und den Boden braun färben.

Die Möglichkeit, dass verwitterndes, eisenhaltiges Klinochlor die Böden braun färbt besteht ebenfalls weiterhin. Ein direkter Beweis von Klinochlor (Chlorit) als Bestandteil der grau-violetten Feinsandsteine besteht jedoch auch hier nicht. Dössegger (1974) beschreibt jedoch, wie oben erwähnt, Chlorit in der Grundmasse von violetten Siltschiefern und Feinsandsteinen am ‚Juet‘, bei dem es sich um Klinochlor handeln könnte.

Das lokal freigesetzte Eisen, welches aus den grau-violetten Feinsandsteinen stammen dürfte, widerspiegelt sich in den Profilen 2 und 10 in höheren Eisenkonzentrationen unter den tauschbaren Kationen. Im Vergleich zu den darüberliegenden Horizonten und dem nicht verbrauchten Profil 11 sind sie deutlich höher (vgl. Tabelle 12, S. 27). Auch im Profil 4 sind die Eisenkonzentrationen in den braunen Horizonten höher. Dort treten zwar vereinzelt grau-violette Feinsandsteine auf, diese zeigen jedoch keine deutlichen Verwitterungsspuren. In diesem Profil sind es eher die grauen und grünen Sandsteine der Chazforà-Formation (P 4.1) die braun anwittern. Dies konnte nur in diesem Profil beobachtet werden. Es könnten auch hier lokale Anreicherungen von Biotit sein, die diese Verwitterungsfarbe hervorrufen. Die Analyse eines braun anwitternden, grünen Sandsteins dieses Profils (M4.2) ergab jedoch ebenfalls keinen Hinweis auf eisenhaltige Mineralien. In der geologischen Literatur vom Untersuchungsgebiet konnten keine Hinweise auf Biotit oder einem anderen eisenhaltigen Mineral in grünen und grauen Sandsteinen der Chazforà-Formation gefunden werden.

Einen eindeutigeren Hinweis auf Biotit in den Gesteinen des ‚Verrucanos‘ liefern die braun anwitternden, violettgrauen Sandsteine der Ruina-Formation (GF 13). Diese wurden in der Böschung der Forststrasse unterhalb von Profil 6 gefunden, die wie bereits erwähnt, durch Strassenarbeiten frisch abgetragen wurde. Die braun anwitternden Gesteine bildeten in der sonst bleichen Mineralerde der Böschung markant braune Flecken. Die Ähnlichkeit zu der fleckenartigen Braunfärbung in Profil 5 ist auffallend. Herr Dr. Michael Plötze vom Institut für Geotechnik der ETH Zürich deutete die braune Farbe dieses Gesteins als verwitternder Biotit. Dössegger (1974, 1970) erwähnt entfärbter und veretzter sowie relativ frischer Biotit in Streifen und Geröllen der Streifenserizitschiefern der Ruina-Formation.

Nach all diesen Betrachtungen kann das Einhergehen der Braunfärbungen in den ProfilhORIZONTEN mit der Anwesenheit von braun verwitternden Gesteinen mit grosser Wahrscheinlichkeit als lokale Verbraunung identifiziert werden. Der Verdacht ist dabei gross, dass lokale Anreicherungen von Biotit oder Klinochlor in den Gesteinen diese Verbraunung auslösen. Weshalb die mineralogischen Analysen selbst bei braun anwitternden Gesteinen (M 4.2, M6) keine eisenhaltigen Verbindungen hervorgebracht haben, ist unklar. Eventuell wurde eine Analysemethode angewendet, die zu wenig fein auf solche Spurenelemente reagiert. Dennoch hat die Literaturstudie Hinweise auf Biotit und Chlorit (evtl. Klinochlor) ergeben. Dieser scheint, gemessen an den spärlichen Hinweisen in der Literatur, im ‚Verrucano‘ des Münstertales eher selten vorzukommen. Dies könnte das seltene Auftauchen von braun anwitternden Gesteinen und den entsprechend braunen Horizonten erklären. Welche Rolle das Hämatit in der Feinerde spielt, konnte nicht abschliessend beurteilt werden. Es müssten weitere Analysen erfolgen wie z.B. eine Extraktion der Eisenoxide aus der Feinerde. Nur so könnte die genaue Art und Herkunft der braunen Eisenoxide in den braunen Horizonten eventuell entschlüsselt werden.

Eine letzte zu prüfende Ursache für die braunen Horizonte sind Überschüttungen eines ehemaligen humosen Oberbodens. In einer geologischen Sackung und Bergsturzgebiet ist dies eine naheliegende Möglichkeit. Dieser Vorgang sollte sich mit einem Anstieg an organischem Kohlenstoff in den braunen Horizonten anzeigen. Eine solche Tendenz wurde in allen verbrauchten Horizonten jedoch nicht gefunden.

4.2. Bodenentwicklung ausserhalb des Verrucanos (Teilgebiete 2 und 3)

4.2.1. Teilgebiet 3

Teilgebiet 3 unterscheidet sich geologisch wesentlich vom Rest des Untersuchungsgebietes. Auffällig sind die mächtigen Schuttmassen die von Bergbächen durchschnitten werden und die tiefen V-Täler der Val Ruina und Val Fossa gebildet haben (vgl. Abbildung 16, S. 16). Die in den Schuttmassen zahlreich vorhandenen, karbonathaltigen Gesteine dürften aus den

Triassedimenten stammen. Diese sind vor allem über der Val Ruina an der Spitze der Turettas Nordwand am mächtigsten aufgeschlossen (vgl. Karte 1). Bei den Schuttanhäufungen beim Val Dora und Val Fossa handelt es sich laut geologischer Karte um Gletschermoränen (Spitz und Dyhrenfurth, 1915; Spicher et al., 1964). Ein Gletscher muss somit ein Teil des Gesteinsschuttes aus der Turettas-Nordwand hier angehäuft haben. Dies erklärt die bunte Zusammensetzung des Schuttes. Die Anwesenheit von karbonathaltigen Triassedimenten erklärt das starke Aufschäumen der Feinsubstanz des Schuttes unter HCL. Bei den schwarzgelben und rein schwarzen Felspartien an der Spitze der Turettas-Nordwand, dürfte es sich um Buntsandsteine und den Turettas-Dolomit (schwarz gemäss Dössegger (1970)) handeln (vgl. Abbildung 13 und Abbildung 14, S. 16). Die Triassedimente konnten ausser im Teilgebiet 3 im ganzen Untersuchungsgebiet nirgends gefunden werden.

Profil 3 liegt etwas östlich von Val Dora, jedoch noch immer im Einflussgebiet des Gletschers und somit in dessen Schuttablagerungen. Im Profil wurden zahlreiche karbonathaltigen Gesteine aus den Triassedimenten gefunden. Die chemischen Werte der Feinerde zeigen dementsprechend deutliche Unterschiede zu den Profilen aus T1 und T4. Während in T1 und T4 die Ca- und Mg-Gehalte unter den austauschbaren Kationen extrem gering waren, dominieren sie in Profil 3 durchs ganze Profil. Dies wird durch verwitterndes Gestein aus den Triassedimenten verursacht. Besonders der Dolomit hat hohe Mengen an Ca und Mg in seiner Mineralstruktur. Die höheren pH-Werte sind durch die hohen Karbonatgehalte in den Triassedimenten zu begründen. Dabei stellt sich bei 50 cm eine Kalkgrenze ein. Dies bedeutet, dass dort noch grosse Mengen an unverwitterten Karbonaten vorhanden sind. Die Kationenaustauschkapazitäten sind auch in diesem Profil „gering“, was auch hier, wie im Teilgebiet 1 und 4, durch den hohen Sand- und Schluffanteil begründet werden kann.

4.2.2. Teilgebiet 2

Im Teilgebiet 2 befinden wir uns im Münstertaler Kristallin (Dössegger, 1970; Christ et al., 1964) (vgl. Karte 1). Dössegger (1970) kartiert oberhalb der Profile 9141 und 9142 (Frey et al., 1998) an der Krete des ‚Spi da Vau‘ Gneise und Schiefer. Genauer beschreibt er in der geologischen Schicht 4 (1710 bis 1830 m.ü.M) das Vorkommen eines Muskovit-Serizit-Schiefers von grüngrauer, rostig-roter Anwitterungsfarbe. Das Gestein GF 1 dürfte weitgehend diesem Typ entsprechen. Weiter beschreibt Hess (1953) Erzkörner, Limonit (FeOOH (Überwiegend Goethit) (Matthes, 2001)) und oxidierte Eisenkarbonate in den Gesteinen des ‚Münstertaler Kristallins‘. Für eine Verbraunung dürften in Teilgebiet 3 also die entsprechenden Eisenverbindungen in den Gesteinen vorhanden sein. Dementsprechend zeigen sich die Profile 9141 und 9142 durchs ganze Profil verbraunt. Die eigenen Untersuchungen bei Stichprobepunkt (SP) 4 (nicht auf Karte 1 jedoch direkt neben 9141) und 5 haben die durch-

wegs braune Feinerde bestätigt. Sie bietet einen extremen Kontrast zu der ansonsten bleichen Feinerde der Teilgebiete 1 und 4.

Beim Handstück GF 3 welches neben Profil 9141 in einem Wurzelteller gefunden wurde, handelt es sich um einen Dolomiten. Das Gestein reagierte beim Beträufeln mit kaltem HCl kaum sichtbar, ein Brausen war jedoch zu hören. Reiner Dolomit braust nur mit warmem HCl deutlich auf (Mückenhausen, 1993). Die Frage stellt sich nach der Herkunft der Dolomite in mitten des Münstertaler Kristallins. Auffällig sind die stets gerundeten Kanten der Fundstücke. Dies zeugt von einem Transport durch Gletscher oder Wasser (Mückenhausen, 1993). Gemäss Kartierung von Dössegger (1970) liegt Turettas-Dolomit weiter hinten im Val Vau, bei Plaun Sura (nicht mehr auf Karte 1) an. Gemäss Hess (1953) ist ebenfalls am Abhang des Piz Mezdi (Karte 1: Ecke unten rechts) „Hauptdolomit“ aus der karbonatischen Trias anstehend. Nach der letzten Eiszeit verlief ein Gletscher über den Sattel des Piz dal Döss Rond durchs Val Vau bis kurz vor Sta. Maria (Reinalter, 2004). Der Dolomit dürfte also von diesem Gletscher mitgetragen und am Ausgang des Val Vau im Teilgebiet 2 abgelagert worden sein. Diese Theorie wird durch die Tatsache gestützt, dass auf der vom Val Vau abgewandte Seite des Spi da Vau kein Dolomit gefunden wurde.

Entsprechend der Anwesenheit des Dolomites bewegen sich die pH-Werte von Profil 9141 und 14 in höheren Bereichen als in den Teilgebiet 1 und 4 mit den sauren Böden. Der anwesende Dolomit ist durch seinen Karbonatgehalt ein wirksamer Puffer gegen Bodenversauerung (Walthert et al., 2004). Die pH-Werte von Profil 9142 sind entsprechend der Abwesenheit des Dolomites in ähnlich tiefen Bereichen wie in Teilgebiet 1 und 4.

Bei hohen pH-Werten wie sie in Profil 9141 auftreten ist keine Verbraunung zu erwarten, da diese erst nach einer Entkalkung und Absinken der pH-Werte unter 7 stattfindet (Scheffer und Schachtschabel, 2010). Erst in diesem Bereich erfolgt die Silikatverwitterung und damit die Freisetzung von Eisen aus den Gesteinen. Für die Verbraunung bei 9141 könnten lithogene Eisenoxide die sich bei der Verwitterung der Gesteine herauslösen die Braunfärbung des Bodens ausmachen, ohne dass eine Verbraunung stattfinden muss. Bei Böden auf Kalksteinen ist dies oft zu beobachten (Walthert, 2004). Eine weitere Möglichkeit wäre, dass eine Verbraunung stattgefunden hat, bevor der Dolomit abgelagert wurde. Bei einem tieferen pH-Wert hätten dann mögliche eisenhaltige Silikate verwittern können. In Profil 14 dürften die rostbraun anwitternden, glimmerhaltigen Gesteine in 16 bis 24 cm-Tiefe einem Schiefer oder Granit des ‚Münstertaler Kristallins‘ entsprechen. Bei einem pH-Wert von 5.12 in dieser Tiefe kann eine Verwitterung von eisenhaltigen Silikaten stattfinden.

Ob der Dolomit in diesem Gebiet nur in den obersten Bodenschichten auftritt, wo er abgelagert wurde, oder ob er sich durch erneute Rutschungen tiefer vermischt hat, lässt sich durch

die geringe Tiefe von Profil 14 und fehlenden Gesteinsproben aus Profil 9141 nicht sagen. Der hohe pH in 80 cm-Tiefe (7.68) bei Profil 9141 dürfte jedoch für eine tiefgründige Durchmischung sprechen. Auch die Tatsache, dass das ‚Münstertaler Kristallin‘ in diesem Gebiet als versackt angesehen werden muss (Dössegger, 1970), spricht für eine Durchmischung der Gesteine.

Der Übergang von T2 zu T1 ist am ‚Spi da Vau‘ gut nachvollziehbar. Bei SP 3 (nicht auf Karte 1, jedoch direkt neben 9140) ist die Feinerde nur noch geringfügig braun und der bleiche Charakter aus T1 dringt bereits durch. Bei SP 5 ist die Feinerde vollständig bleich, ab 65 cm-Tiefe setzt jedoch eine leichte Braunfärbung ein. Der Bereich von SP 5 wird bereits von der Ruina-Formation geprägt. Ein Felsblock von mehreren Metern Durchmesser direkt neben SP 5 zeugt davon. Von diesem Block stammt das Handstück GF 5. Es dürfte sich dabei um die untersten Aufschlüsse der Ruina-Formation handeln, die Dössegger (1970) als Konglomerate beschreibt. Möglich ist, dass die bräunliche Farbe ab 65 cm-Tiefe durch eine Überschüttung zustande kam. Dössegger (1970) bezeichnet dieses Gebiet als Bergsturz, wovon die zahlreichen Schuttfelder und Blöcke zeugen. Auch bei Profil 15 könnte eine Überschüttung zu dem plötzlich einsetzenden, braunen Horizont in 35-cm Tiefe geführt haben. Die abrupt tiefer werdenden Aluminiumgehalte unter den tauschbaren Kationen mit gleichzeitiger Zunahme der Ca- und Mg-Gehalte in diesem Horizont, könnten ein Indiz dafür sein. In diesem Horizont wurden gelbe Gesteine gefunden, die in den höheren Horizonten nicht auftraten. Es dürfte sich dabei um überschüttete Triassedimente handeln, deren Karbonatgehalt für die höheren pH-Werte und die höheren Ca- und Mg-Gehalte in diesem Horizont sorgen. Die erhöhten Kohlenstoffgehalte in diesem Horizont dürften daher nicht von organischer Substanz stammen, sondern von Karbonaten.

4.3. Fazit

Die Böden in Teilgebiet 1 können als Rohböden angesprochen werden, bei denen eine lokale Verbraunung beginnt. Der spezielle Charakter der Feinerde kann mit der einfachen mineralogischen Zusammensetzung des Grossteils der Gesteine des ‚Verrucanos‘ begründet werden. Dabei treten die Verbraunungen nur lokal auf, da lediglich in wenigen Gesteinen des ‚Verrucanos‘ eisenhaltige Mineralien vermutet werden. Die mineralogische Analyse hat in keinem der analysierten Gesteine eisenhaltige Mineralien ergeben. Kommen neben dem Verrucano wie im Teilgebiet 3 noch andere Gesteine vor, konnte eine weitaus differenziertere Bodenentwicklung festgestellt werden. Dies liefert einen weiteren Beweis, dass die Böden auf ‚Verrucano‘ ihren Charakter vorwiegend vom Gestein „vererbt“ bekommen.

5. Literaturverzeichnis

Arbeitskreis Standortkartierung (1996): Forstliche Standortaufnahme. Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. 5. Auflage. IHW-Verlag, München

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

Christ, P., Günthert, A., Spicher, A. (1964): Geologische Generalkarte der Schweiz 1:200'000. Blatt 8, Engadin. Hrsg.: Schweizerische Geologische Kommission

Dössegger, R. (1970): Zur Geologie der Gruppe des Piz Turettas im Münstertal. Inklusive detaillierte Kartierung und Profilskizzen. Diplomarbeit, ETH Zürich

Dössegger, R. (1974): Verrucano und „Buntsandstein“ in den Unterengadiner Dolomiten. Mitteilungen aus dem Geologischen Institut der ETH und der Universität Zürich. Neue Folge; 235

Dössegger, R., Trümpy, R. (1976): Bericht über die Exkursion der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft in den Nationalpark und ins Münstertal vom 5. bis 8. Oktober 1975 und Führer zu drei Exkursionen. Vol. 69, Nr. 1, 1976, *Eclogae geologicae helvetiae*, Basel

Dössegger, R., Müller, W. H. (1976): Die Sedimentserien der Engadiner Dolomiten und ihre lithostratigraphische Gliederung. Vol. 69, Nr. 1, 1976, *Eclogae geologicae helvetiae*, Basel

Frey, H.U., Bichsel, M., Preiswerk, T. (1998): Waldgesellschaften und Waldstandorte Graubündens, 6. Teil Unterengadin – Münstertal. Hrsg.: Forstinspektorat Graubünden, Chur

Gee, G.W., Bauder, J.W.: Particle size analysis. In: Klute, A. (Ed.) (1986): *Methods of Soil Analyses, Part 1, Chapter 15*, Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.

Hess, W. (1953): Beiträge zur Geologie der südöstlichen Engadiner Dolomiten zwischen dem oberen Münstertal und der Valle di Fraéle (Graubünden). Vol. 46, Nr. 1, 1953, Sonderabdruck aus *Eclogae geologicae helvetiae*. Buchdruckerei E. Birkhäuser & Cie. AG, Basel

Labhart, T. P. (2001): *Geologie der Schweiz*. 5. überarbeitete Auflage. Ott Verlag, Thun

Lauber, K., Wagner, G. (2007): *Flora Helvetica*. 4. Auflage. Hauptverlag, Bern

Matthes, S. (2001): *Mineralogie: Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde*. 6. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

Mückenhausen, E. (1993): *Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen*. 4., erg. Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt am Main
Ott, E., Frehner, M., Frey, H.-U., Lüscher, P. (1997): *Gebirgsnadelwälder: Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung*. 1. Auflage. Hauptverlag, Bern

MeteoSchweiz (05.11.2010, online): IDAweb; Das Datenportal der MeteoSchweiz für Lehre und Forschung. Hrsg.: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz
<http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/services/datenportal/idaweb.html>

Mineralienatlas (16.12.2010, online): Schiefer
<http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/RockData?rock=Schiefer> ()

Mineralienatlas (17.12.2010, online): Textur

[http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Gef%FCge?redirectfrom=Textur \(\)](http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Gef%FCge?redirectfrom=Textur)

Mineralienatlas (28.12.2010, online): Rhyolith

<http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/RockData?rock=Rhyolith>

Mineralienatlas (28.12.2010, online): Gneis

<http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/RockData?rock=Gneis>

Okrusch, M., Matthes, S. (2010): Mineralogie: Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde. 8. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

Rehfuess, K. E. (1990): Waldböden: Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Nr. 29, Pareys Studentexte. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

Reinalter, R. (2004): Zur Flora der Sedimentgebiete im Umkreis der Südrätischen Alpen, Livignasco, Bormiese und Engiadin'Ota (Schweiz-Italien). Band 105, Denkschriften der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften. Birkhäuser Verlag, Basel

Scheffer, F., Schachtschabel, P. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Neu bearbeitet von: Blume, H.-P., Brümmer, G.W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-K.. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg

Schmid, S. (1973): Geologie des Umbrailgebietes. Vol. 66, Nr. 1, 1973, Sonderabdruck aus *Eclogae geologicae helvetiae*. Buchdruckerei E. Birkhäuser & Cie. AG

Schumann, W. (2009): Steine- und Mineralienführer. 8. überarbeitete Auflage. BLV Buchverlag GmbH & Co. KG., München

Spicher, A. (1980): Tektonische Karte der Schweiz 1:500'000. Elektronische Ausgabe 2005. Bearb. durch das Institut für Geologie der Universität Bern und die Sektion Geologische Landesaufnahme des Bundesamtes für Wasser und Geologie. Hrsg.: Bundesamt für Wasser und Geologie

Spitz, A., Dyhrenfurth, G. (1915): Geologische Karte der Engadiner Dolomiten zwischen Schuls, Scans und dem Stilfserjoch. Hrsg.: Schweizerische Geologische Kommission

swisstopo, (1993): Landeskarte der Schweiz 1:25'000. Blatt 1239, Sta. Maria. Hrsg.: Bundesamt für Landestopographie swisstopo, Wabern

swisstopo, (2010): Landeskarte der Schweiz 1:25'000. Elektronische Form. Geodaten © swisstopo (DV084370). Ausschnitt 819/169 bis 829/160. Hrsg.: Bundesamt für Landestopographie swisstopo, Wabern

Trümpy, R., Schmid, S.M., Conti, P., Froitzheim, N. (1997): Nationalpark-Forschung in der Schweiz, Nr. 87: Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:50'000 des Schweizerischen Nationalparks (Geologische Spezialkarte Nr. 122). Hrsg.: Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften SANW zur wissenschaftlichen Erforschung des Nationalparks

Walthert, L., Zimmermann, S., Blaser, P., Luster, J., Lüscher, P. (2004): Waldböden der Schweiz. Band 1 Grundlagen und Region Jura. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Hep Verlag, Bern

Zeller, H. (1970): Die Basensättigung von Böden aus verschiedenen Ausgangsgesteinen und verschiedener typologischer Entwicklung. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Landwirtschaft (Dr. agr.) der Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn

6. Verzeichnis der Bilder

Abbildung 1: Untersuchungsgebiet. Rot: Ost- (links) und Westbegrenzung. Weiss: Fuldera. Gelb: Alp Sadra (links) und Funtauna. Pfeile: Piz Turettas (links) und Piz Dora (Foto: O.Leisibach).....	2
Abbildung 2: Moos-vegetation mit Arvenkeimling auf sichtbaren Blöcken. Nordexponierte Flanke ‚Spi da Vau‘ (SP 6).....	13
Abbildung 3: Bohrkern: Bleicher „sandiger Lehm“ mit deutlich sichtbaren Sandkörnern und Auflage (SP 6).....	13
Abbildung 4: Lärchen-Fichtenwald mit <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Melampyrum sylvaticum</i> und <i>Homogyne alpina</i> . Blöcke und Schutt durch Bodenauflage bedeckt (SP 17)	13
Abbildung 5: Bohrkern: bleicher „sandiger Lehm“(SP 17)	13
Abbildung 6: Waldlichtung ohne sichtbare Blöcke und mit wenig Krautschicht bei SP 4	14
Abbildung 7: Bohrkern: Brauner BCv bei SP 4.....	14
Abbildung 8: Spatenstich: Rohhumus mit darauffolgenden braunen BCv bei SP 5.....	14
Abbildung 9: Bunter Schutt auf dem Grat beim Val Ruina (SP 19).....	15
Abbildung 10: Lichter Lärchenwald mit <i>Erica carnea</i> und <i>Anthyllis vulneraria</i> ssp. <i>alpestris</i> bei ‚Masduogls‘ (SP 11)	15
Abbildung 11: brauner, feinkörniger A-Horizont bei SP 11	15
Abbildung 12: Turettasgrat über der Val Ruina. Über den grünen Schuttkegeln sind gelblich-braune und schwarze Felspartien zu sehen.	16
Abbildung 13: Nahaufnahme der schwarzen und gelbbraunen Felspartien. Höhe: 20 bis 30m.	16
Abbildung 14: Vorwiegend schwarze Felspartien am Gratspitz	16
Abbildung 15: Grat der das Val Ruina vom Val Fossa trennt. Gelber Alpenwundklee im Vordergrund (SP 19)	16
Abbildung 16: Steil vom Grat ins Val Ruina abfallende nordwestexponierte Talflanke. Am Fusse ist der graue, anstehende Fels sichtbar. (Blick von SP 21)	16

Abbildung 17: Alp Sadra (roter Kreis) mit Felsband darüber. Im Schnee: Turettasgrat. Links: Val Ruina.....	17
Abbildung 18: metallisch schimmernder, leicht toniger Boden bei SP 23.....	17
Abbildung 19: Spalte in konglomeratischem Fels mit weisser Gesteinsverwitterungssubstanz bei GF 15	17
Abbildung 20: Schiefriige Ausbildung des Sandsteins bei GF 14.....	17
Abbildung 21: Metallisch schimmernde Verwitterungssubstanz auf Gestein bei GF 14	17
Abbildung 22: Profil 9141 mit braunem B-und grauem C-Horizont.....	21
Abbildung 23: Gestein im Cv-Horizont.....	22
Abbildung 24: pH-Diagramm Profil 11	23
Abbildung 25: pH-Diagramm Profil 10	23
Abbildung 26 pH-Diagramm Profil 9141.....	23
Abbildung 27: pH-Diagramm Profil 9142.....	23
Abbildung 28: pH-Diagramm Profil 3	24
Abbildung 29: pH-Diagramm Profil 6	24
Abbildung 30: pH-Diagramm Profil 9	24
Abbildung 31: Kationenaustauschkapazität Profil 4	26
Abbildung 32: Basensättigung Profil 4.....	26
Abbildung 33: Austauschbare Kationen Profil 4.....	26
Abbildung 34: Basensättigung Profil 2.....	26
Abbildung 35: Austauscherbelegung Profil 2	26
Abbildung 36: Austauscherbelegung Profil 4	26
Abbildung 37: Basensättigung Profil 9141	27
Abbildung 38: austauschbare Kationen Profil 9141	27

Abbildung 39: Basensättigung Profil 9142	28
Abbildung 40: Basensättigung Profil 3	28
Abbildung 41: Austauschbare Kationen Profil 3.....	28
Abbildung 42: Basensättigung Profil 9	29
Abbildung 43: Basensättigung Profil 6	29
Abbildung 44: Austauschbare Kationen Profil 6.....	29
Abbildung 45: Mikroskopie des Schliffes von Gestein 1. Zu sehen ist Quarz, Muskovit und Serizit?.....	34
Abbildung 46: Mikroskopie des Schliffes von Gestein 2. Zu sehen ist Quarz, Muskovit und Serizit?.....	34
Abbildung 47: Mikroskopie des Schliffes von Gestein 3. Zu sehen ist Quarz, Muskovit und Serizit?.....	34

7. Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Vergleich der Bezeichnungen der Gesteine des Münstertaler Kristallins nach Dössegger (1970), Spitz und Dyhrenfurth und Hess (1953). Vergleich gemäss Dössegger (1970) und <i>eigene Ergänzungen des Autors dieser Arbeit, die auf dem Literaturstudium beruhen</i> . Ab 1880 m ü.M. setzt der ‚Verrucano‘ ein.....	3
Tabelle 2: Reihenfolge der geologischen Schichten, wie sie im Münstertal von der Basis (letzte Zeile) bis auf den Grat des Piz Turettas vorkommen (nach Kartierung Dössegger, 1970) mit der dazugehörigen lithostrathigraphischen Gliederung und Vergleich mit der Bezeichnung nach Hess (1953).....	5
Tabelle 3: Beschreibung des Teilgebietes 1 (T1).....	13
Tabelle 4: Beschreibung des Teilgebietes 2 (T2).....	14
Tabelle 5: Beschreibung des Teilgebietes 3 (T3).....	15
Tabelle 6: Beschreibung des Teilgebietes 4 (T4).....	16
Tabelle 7: Kurzportrait Profil 11	20
Tabelle 8: Kurzportrait Profil 4	20
Tabelle 9: Kurzportrait Profil 2	20
Tabelle 10: Portrait Profil 3	21
Tabelle 11: Portrait Profil 9	22
Tabelle 12: Vergleich der Austauscherbelegung mit Fe-Kationen (in % der KAK) zwischen den Profilen 2, 4 5 und 10 mit braunen Horizonten und mit dem Profil 11 ohne braune Horizonte. Die Horizonte der Auflagen sind mit + bezeichnet, die restlichen mit -.....	27
Tabelle 13: Mittelwerte der N_{tot} und C_{org} (wo nur ein Wert vorhanden Einzelwerte) der Auflagehorizonte (L,F,H), der Ah-Horizonte sowie der Cv1-Horizonte. Auch die Standardabweichung (Stdw.) der Mittelwerte sowie die C/N-Verhältnisse basierend auf den Mittelwerten sind aufgelistet. In Teilgebiet 2 und 3 fehlen teilweise Proben aus den Auflagehorizonten und dem Ah-Horizont.	30
Tabelle 14: N_{tot} und C_{org} -Werte der braunen Horizonte aus Teilgebiet 1.	30
Tabelle 15: Resultate der XRD-Analyse nach Einzelmineralien. Gefärbtes Feld: Mineral wurde in der Probe nachgewiesen. Weisses Feld: Mineral wurde nicht nachgewiesen. Die	

Tabelle beinhalten keine quantitativen Angaben. Die Färbung der Felder (hellbraun für Feinerdproben, grau für Gesteinsproben) dient lediglich der Übersicht. Die Gesteine wurden wenn möglich den im Anhang 2 porträtierten Gesteinsarten zugewiesen.32

Tabelle 16: Minerale mit chemischen Formeln.....32

Tabelle 17: Zusammenfassung nach Mineralien-Hauptgruppen. Die Werte zeigen die relativen Anteile an den gesamten Mineralien und Tonmineralien. Muskovit/Illit, Chlorit und Hämatit enthalten keine quantitativen Angaben. Sie machen zusammen die restlichen Prozente aus. „Ja“ bedeutet, das Mineral befindet sich im Restgehalt, „Nein“ bedeutet, es konnte nicht nachgewiesen werden.....33

Tabelle 18: XRD-Analyse Handstück GF 25.....34

8. Anhang

Inhaltsverzeichnis Anhang

1. Alle Resultate nach Profilen	1
1.1. Profil 1	2
1.2. Profil 2	4
1.3. Profil 3	6
1.4. Profil 4	8
1.5. Profil 5	10
1.6. Profil 6	12
1.7. Profil 7	14
1.8. Profil 8	16
1.9. Profil 9	18
1.10. Profil 10	20
1.11. Profil 11	22
1.12. Profil 12	24
1.13. Profil 13	26
1.14. Profil 14	27
1.15. Profil 15	28
2. Handstücke Gesteine.....	29
2.1. Handstücke „GF“ der Begehung	29
2.2. Handstücke „P“ aus den Profilen	35
2.3. Mineralogisch analysierte Gesteine „M“	37
3. Karte Untersuchungsgebiet.....	38
4. Poster	39

1. Alle Resultate nach Profilen

Tabelle_ 1: Übersetzung der Abkürzungen zur Bodenart (WSL, 2007)

Kurzbezeichnung	Bodenart	Anteil der Fraktionen (%)		
		Ton	Schluff	Sand
S	Sand	< 5	< 50	
IS	lehmiger Sand	5-10	< 50	
sL	sandiger Lehm	10-20	< 50	
L	Lehm	20-30	< 50	
U	Schluff	< 10	> 50	
IU	Schluff – Lehm	10-30	> 50	
tU	toniger Schluff – Lehm	> 30	> 50	
tL	toniger Lehm	30-40	< 50	
IT	lehmiger Ton	40-50	< 50	
T	Ton	> 50	< 50	

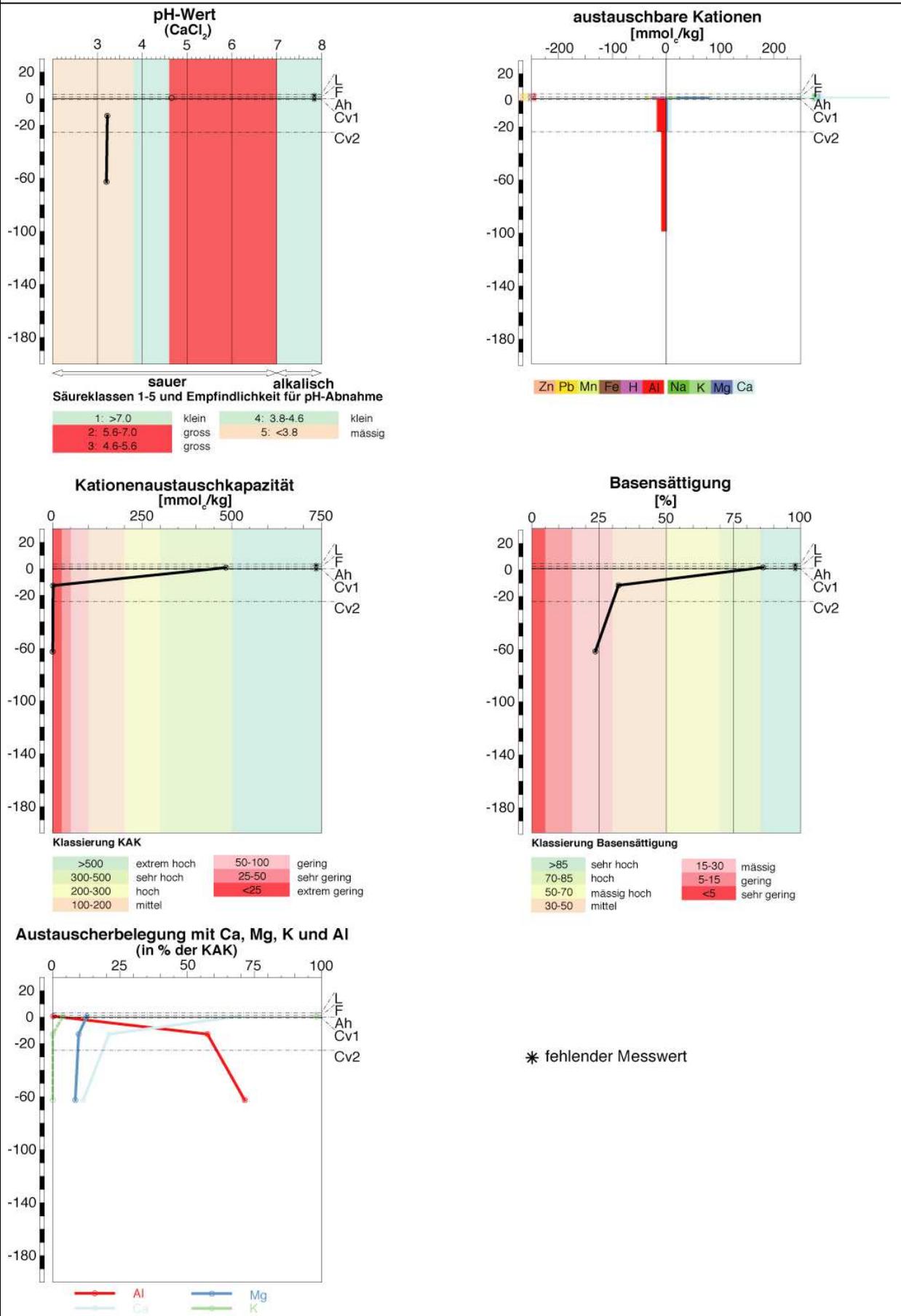
Tabelle_ 2: Verwendete Horizontbezeichnungen und deren Bedeutung (WSL, 2007)

Horizontbezeichnung	Bedeutung
Organische Horizonte (Auflagehorizonte)	
L	Streuhorizont
F	Fermentationshorizont
H	Humusstoffhorizont
Mineralerdehorizonte	
Ah	Humushaltiger Oberboden vermischt mit organischer Substanz
B	Unterboden, mineralischer Horizont, Braunfärbung
Cv	Angewittertes bis verwittertes Muttergestein
Allgemeine Grundsätze der Horizontbezeichnung	
II	Geologisch bedingter Schichtwechsel
[]	Horizont nicht durchgehend
ca	Karbonathaltiger Horizont

1.1. Profil 1

Profil 1	Aufnahmedatum		Koordinaten									
	08.07.2010		820823/167550									
	Bodenbildungsfaktoren											
	m.ü.M:1880	Exposition: Nord		Neigung (%) / Relief: 45, Mittelhang								
	Bodenoberfläche		Mit Skelett und Blöcken									
	Vorgänge unter Bodenoberfläche		Leicht schiefe Bäume									
	Geologie	Chazforà-Formation (Verrucano): graue (P1) und grüne Sandsteine										
	Vegetation (Deckungsgrad)											
	Moosschicht (80 %)											
	Baumschicht (60 %)		Zwergsträucher (20 %)	Krautschicht (5 %)								
	Picea abies (35%) Pinus cembra (60%) Larix decidua (5%) Lückig, in Gruppen		Vaccinium vitis-idaea Vaccinium myrtillus Rhododendron ferrugineum	Melampyrum sylvaticum								
	Durchwurzelungstiefe		100 cm, Limitierung unbekannt									
	Bemerkungen		Pilzmycele markant gelb Feinerde besonders sandig und gefügelos									
	Profilmorphologie											
	Horizontgrenze		Skelett- gehalt %	Bodenart (Fühprobe)	Gerügestrom	Dichte	Hydro- morphie	Organismen	Starkwurzeln (>20mm) Stk auf 50 x 50 cm	Grobwurzeln (2-20mm) Stk auf 10 x 10 cm	Feinwurzeln (>2mm) Stk auf 10 x 10 cm	Farbe Standard Soil Color Charts
Horizont	obere	untere										
L	+3.5	+1.5	-	-	-	-	-	Keine	-	-	-	-
F	+1.5	0	-	-	-	-	-	Pilzmycel	0	6 - 10	6 - 10	-
Ah	0	0.5	11 - 25	-	Einzelkorn	locker	Keine	Pilzmycel	0	6 - 10	6 - 10	10YR3/1
C1	0.5	25	> 75	IS	Einzelkorn	mittel	Keine	Pilzmycel	0	1 - 5	1 - 5	10YR7/2
C2	25	100	> 75	IS	Einzelkorn	mittel	Keine	Pilzmycel	0	1 - 5	1 - 5	10YR7/2
Chemische Werte												
C/N-Verhältnis				Körnung (Laboranalyse)								
	Horizontgrenze		N_{tot} (%)	C_{org} (%)	C/N	Horizont	Horizontgrenze		Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart
Horizont	obere	untere					untere	obere				
L			-	-	-	C1	-0.5	-25	77.55	19.15	3.3	Sand
F			1.36	45.62	33.64	C2	-25	-100	82.95	14.55	2.5	Sand
Ah			-	-	-							
C1			0.02	0.31	12.44							
C2			-	-	-							
Nächste Seite: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung												

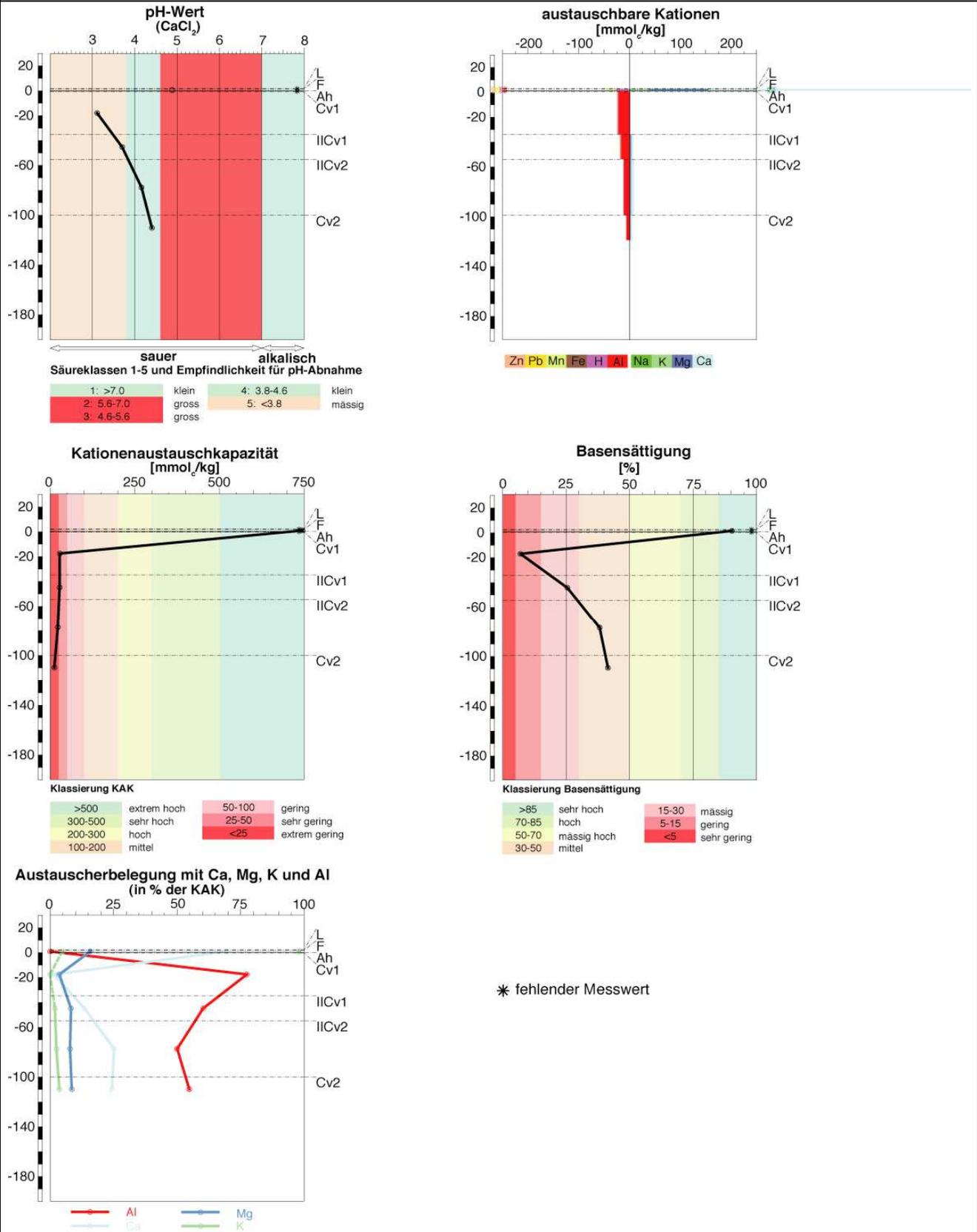
Fortsetzung Profil 1: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung



1.2. Profil 2

Profil 2	Aufnahmedatum		Koordinaten									
	08.07.2010		821383/167243									
	Bodenbildungsfaktoren											
	m.ü.M:1920	Exposition: Nord		Neigung (%) / Relief: 40, Mittelhang								
	Bodenoberfläche		Mit Skelett und Blöcken									
	Vorgänge unter Bodenoberfläche		stabil									
	Geologie	Chazforà-Formation (Verrucano): grauviolette Feinsandsteine (P2) und andere Sandsteine dieser Formation										
	Vegetation (Deckungsgrad)											
	Moosschicht (100%)											
	Baumschicht (60 %)	Zwergsträucher (80 %)	Krautschicht (40 %)									
	Picea abies (90%) Pinus cembra (10%) Lückig, in Gruppen	Vaccinium myrtillus	Melampyrum sylvaticum Luzula sylvatica Calamagrostis villosa Homogyne alpina									
	Durchwurzelungstiefe		80 cm, Limitierung unbekannt									
Bemerkungen		Pilzmycele markant gelb Braunfärbung der Feinerde von 35 bis 100 cm-Tiefe im Bereich der braun verwitternden Gesteine (P2)										
Profilmorphologie												
	Horizontgrenze		Skelett- gehalt %	Bodenart (Fühlprobe)	Gefügestufe	Dichte	Hydro- morphie	Organismen	Starkwurzeln (>20mm) Stk auf 50 x 50	Grobwurzeln (2-20mm) Stk auf 10 x 10	Feinwurzeln (<2mm) Stk auf 10 x 10	Farbe Standard Soil Color Charts
Horizont	obere	untere										
L	+2	+1.5	-	-	-	-	-	Keine	-	-	-	-
F	+1.5	0	-	-	-	-	-	Keine	1 - 5	6 - 10	6 - 10	-
Ah	0	-0.5	2 - 10	-	-	locker	Keine	Pilzmycel	1 - 5	6 - 10	6 - 10	10YR3/1
Cv1	-0.5	-35	11 - 25	U	Subpolyeder	mittel	Keine	Pilzmycel	0	1 - 5	1 - 5	10YR6/1
IICv1	-35	-55	26 - 50	U	Subpolyeder	mittel	Keine	Keine	0	0	1 - 5	10YR5/3
IICv2	-55	-100	> 75	IU	Subpolyeder	locker	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	10YR4/4
Cv2	-100	-120	> 75	IU	Einzelkorn	locker	Keine	Keine	0	0	0	10YR5/2
Chemische Werte												
C/N-Verhältnis				Körnung (Laboranalyse)								
	Horizontgrenze		C_{org} (%)	C/N	Horizontgrenze		Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart		
Horizont	N_{tot} (%)				untere	obere						
L	-	-	-	-	Cv1	-0.5	-35	54.5	35.65	9.85	lehmiger Sand	
F	2.31	44.76	19.38	IICv1	-35	-55	67.3	23.4	9.3	lehmiger Sand		
Ah	-	-	-	IICv2	-55	-100	69.3	23.25	7.45	lehmiger Sand		
Cv1	0.03	0.29	9.00	Cv2	-100	-120	62.8	30.35	6.85	lehmiger Sand		
IICv1	0.04	0.52	12.59									
IICv2	0.05	0.84	15.88									
Nächste Seite: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung												

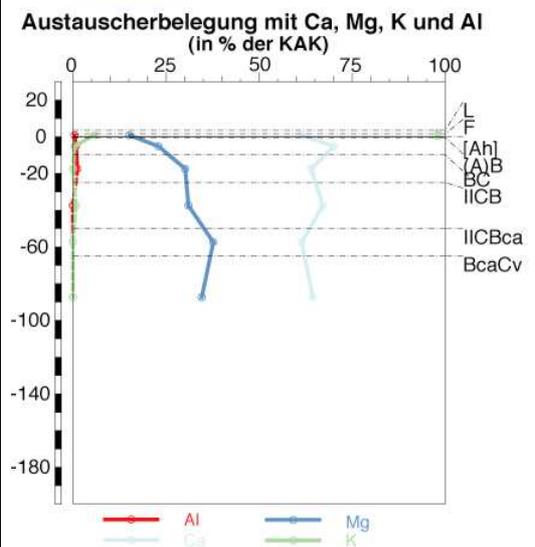
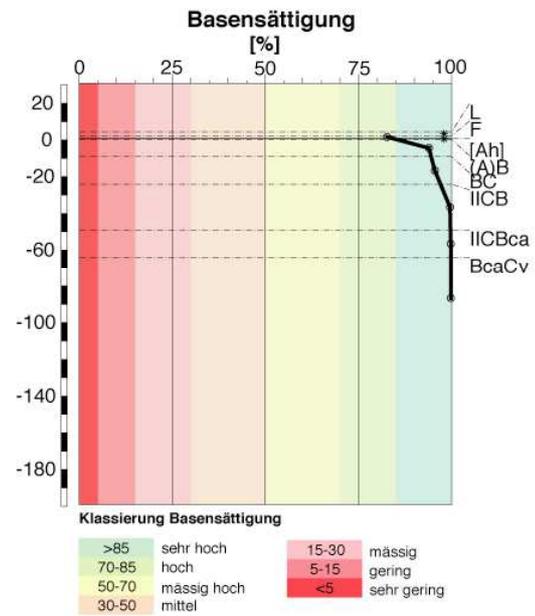
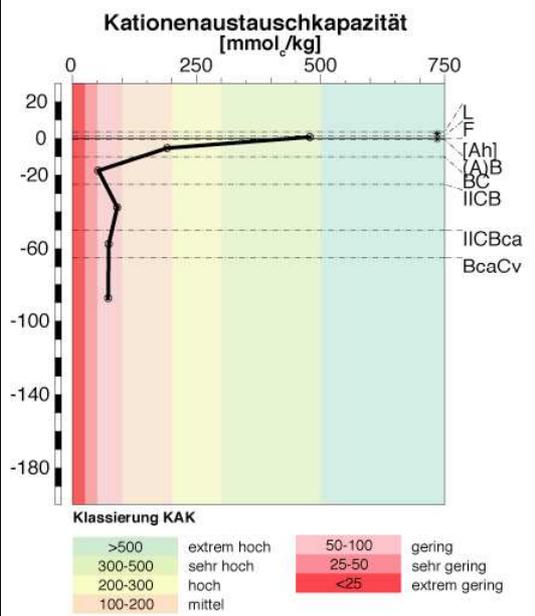
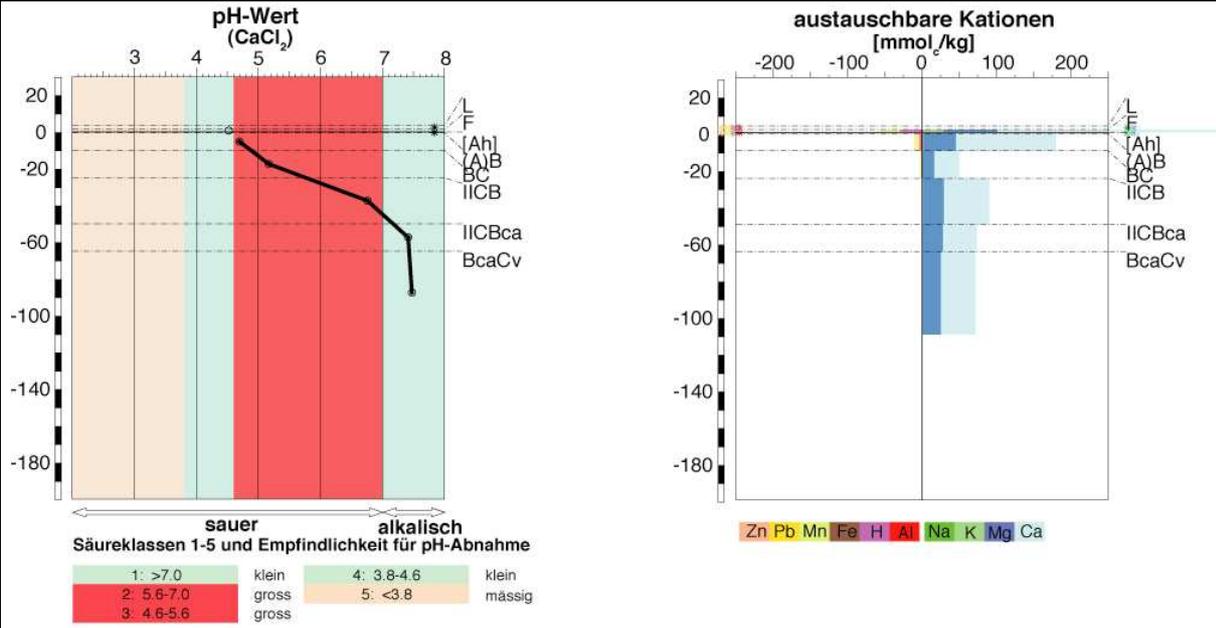
Fortsetzung Profil 2: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung



1.3. Profil 3

Profil 3	Aufnahmedatum		Koordinaten										
	09.07.2010		824779/164642										
	Bodenbildungsfaktoren												
	m.ü.M:1890	Exposition: Nordost		Neigung (%) / Relief: 60, Mittelhang									
	Bodenoberfläche		Mit Skelett und Blöcken										
	Vorgänge unter Bodenoberfläche		stabil										
	Geologie	Turettas/Arlberg-Formation: Dolomite Fuorn-Formation (Buntsandstein): karbonathaltige, grau-braune (GF 6) und gelbe Sandsteine Beigemischte Sandsteine des Verrucanos											
	Vegetation (Deckungsgrad)												
	Moosschicht (5 %)												
	Baumschicht (40 %)	Zwergsträucher (40 %)	Krautschicht (40 %)										
	Picea abies (40%) Pinus cembra (20%) Larix decidua (40%) offen, in Gruppen	Erica carnea (dominant) Vaccinium vitis-idaea	Melampyrum sylvaticum Lotus corniculatus ssp. hirsutus Homogyne alpina Hieracium murorum										
	Durchwurzelungstiefe	95 cm, Limitierung unbekannt											
Bemerkungen	Kalkgrenze bei 50 cm-Tiefe												
Profilmorphologie													
	Horizontgrenze		Skelett- gehalt %	Bodenart (Fühprobe)	Gefügeform	Dichte	Hydro- morphie	Organismen	Starkwurzeln (>20mm) Stk auf 50 x 50	Grobwurzeln (2-20mm) Stk auf 10 x 10	Feinwurzeln (>2mm) Stk auf 10 x 10	Farbe Standard Soil Color Charts	
Horizont	obere	untere											
L	+3.5	+1.5	-	-	-	-	-	Keine	-	-	-	-	
F	+1.5	0	-	-	-	-	-	Keine	0	6 - 10	6 - 10	-	
[Ah]	0	-0.5	< 2	-	Einzelkorn	locker	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	10YR3/1	
(A)B	-0.5	-10	11 - 25	sL	Subpolyeder	mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	10YR4/2	
BC	-10	-25	26 - 50	L	Subpolyeder	mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	10YR6/6	
IIcB	-25	-50	26 - 50	L	Subpolyeder	mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	10YR4/6	
IIcBca	-50	-65	> 75	S	Einzelkorn	locker	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	10YR6/4	
BcaCv	-65	-110	> 75	S	Einzelkorn	locker	Keine	Keine	0	0	1 - 5	10YR6/3	
Chemische Werte													
C/N-Verhältnis				Körnung (Laboranalyse)									
	Horizontgrenze			N_{tot} (%)	C_{org} (%)	C/N	Horizont	Horizontgrenze		Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart
Horizont	obere	untere	untere					obere					
L	-	-	-	-	-	-	(A)B	-0.5	-10	47.3	37.2	15.5	sandiger Lehm
F	1.63	44.12	27.00	-	-	-	BC	-10	-25	50	35.25	14.75	sandiger Lehm
[Ah]	-	-	-	-	-	-	IIcB	-25	-50	55.75	33.9	10.35	sandiger Lehm
(A)B	0.14	3.17	22.16	-	-	-	IIcBca	-50	-65	72.7	22.25	5.05	lehmiger Sand
BC	0.07	1.05	15.49	-	-	-	BcaCv	-65	-110	79	17.3	3.7	Sand
Nächste Seite: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung													

Fortsetzung Profil 3: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung



* fehlender Messwert

1.4. Profil 4

	Profil 4		Aufnahmedatum	Koordinaten
			09.07.2010	825700/164645
	Bodenbildungsfaktoren			
	m.ü.M:1850	Exposition: Nordnordost	Neigung (%) / Relief: 50, Mittelhang	
	Bodenoberfläche		Mit Skelett und Blöcken	
	Vorgänge unter Bodenoberfläche		stabil	
	Geologie	Chazforà-Formation: z.T. braun anwitternde, graue (P4, P4.1) und grüne Sandsteine, grauviolette Feinsandsteine (Typ P2, P10), grauviolette Sandsteine (M4.1)		
	Vegetation (Deckungsgrad)			
	Moosschicht (80 %)			
	Baumschicht (70 %)	Zwergsträucher (40 %)	Krautschicht (40 %)	
Picea abies (80%) Larix decidua (20%) locker, in Gruppen	Vaccinium myrtillus	Melampyrum sylvaticum Homogyne alpina		
Durchwurzelungstiefe		90 cm, Limitierung unbekannt		
Bemerkungen		Pilzmycele markant gelb Braunfärbung der Feinerde ab 80 cm-Tiefe bis Profilende (2 m) im Bereich braun anwitternder Gesteine (P 4.1)		

Profilmorphologie

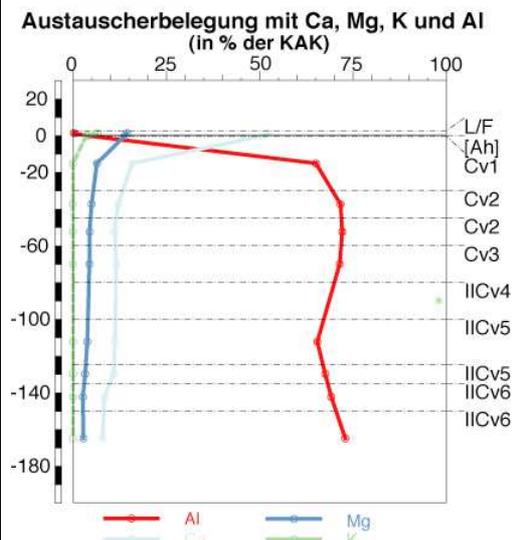
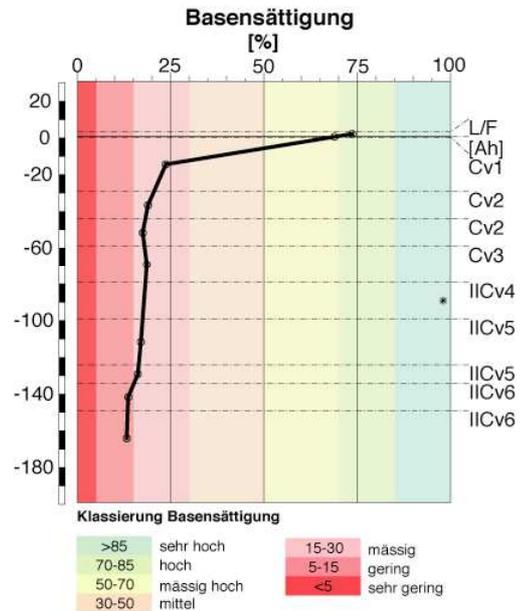
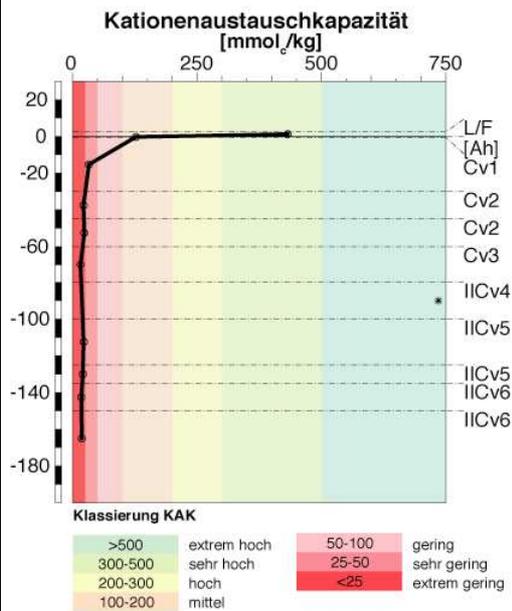
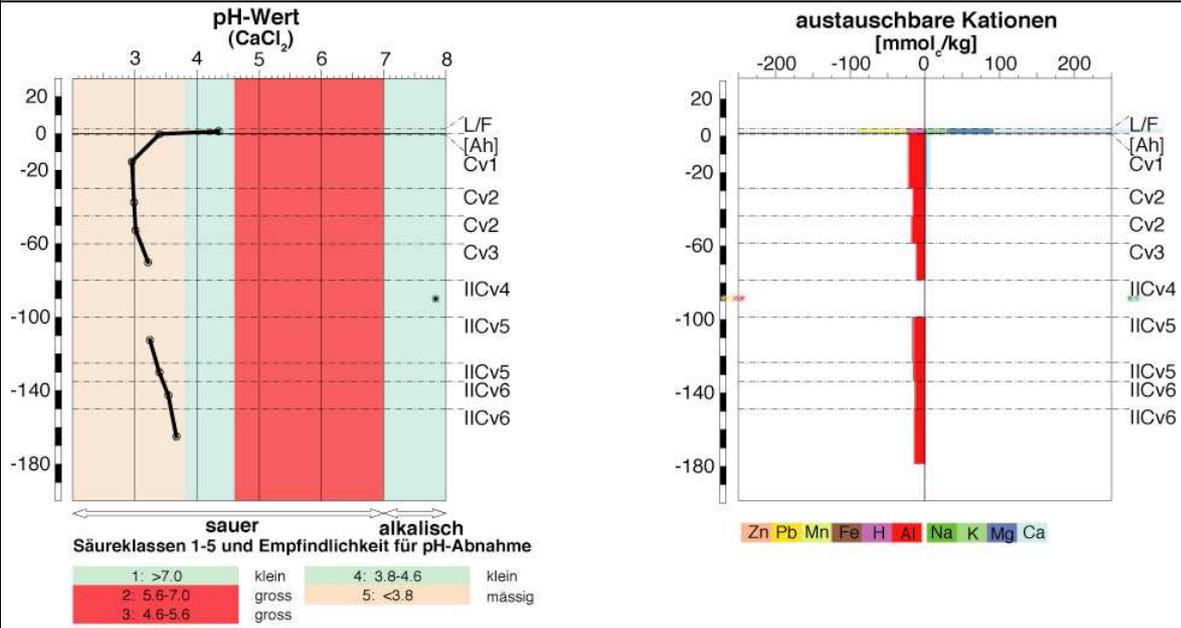
Horizont	Horizontgrenze		Skelett-gehalt %	Bodenart (Fühlprobe)	Gefügeform	Dichte	Hydro-morphie	Organismen	Starkwurzeln (>20mm) Stk auf 50 x 50 cm	Grobwurzeln (2-20mm) Stk auf 10 x 10 cm	Feinwurzeln (>2mm) Stk auf 10 x 10 cm	Farbe Standard Soil Color Charts
	obere	untere										
L	+2.5	+1	-	-	-	-	-	Keine	-	-	-	-
F	+1	0	-	-	-	-	-	Keine	1 - 5	1 - 5	1 - 5	-
[Ah]	0	-0.5	11 - 25	-	-	-	-	Pilzmycel	1 - 5	1 - 5	1 - 5	10YR3/1
Cv1	-0.5	-30	> 75	IS	Einzelkorn	locker	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	10YR7/1
Cv2	-30	-60	> 75	IS	Einzelkorn	locker	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	10YR7/2
Cv3	-60	-80	> 75	IS	Einzelkorn	locker	Keine	Keine	0	0	1 - 5	10YR7/2
IICv4	-80	-100	> 75	IS	Einzelkorn	locker	Keine	Keine	0	0	0	10YR4/4
IICv5	-100	-135	> 75	IS	Einzelkorn	locker	Keine	Keine	0	0	0	10YR4/4
IICv6	-135	-180	> 75	IS	Einzelkorn	locker	Keine	Keine	0	0	0	10YR4/4

Chemische Werte

C/N-Verhältnis				Körnung (Laboranalyse)					
Horizont	N _{tot} (%)	C _{org} (%)	C/N	Horizontgrenze		Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart
				untere	obere				
L/F	1.65	40.08	24.36						
F	2.01	44.98	22.42						
[Ah]	0.62	11.24	18.01						
Cv1	0.03	0.40	12.77						
Cv2	-	-	-						
Cv2	-	-	-						
Cv3	-	-	-						
IICv4	-	-	-						
IICv5	0.03	0.39	14.54						
IICv5	-	-	-						
IICv6	0.02	0.32	16.06						
[Ah]				0	-0.5	71.85	14.85	13.3	sandiger Lehm
Cv1				-0.5	-30	72	23.45	4.55	Sand
Cv2				-30	-45	71.6	24.15	4.25	Sand
Cv2				-45	-60	69.3	26.05	4.65	Sand
Cv3				-60	-80	77.65	18.2	4.15	Sand
IICv4				-80	-100	-	-	-	
IICv5				-100	-125	72.85	21.55	5.6	lehmiger Sand
IICv5				-125	-135	78.8	17.35	3.85	Sand
IICv6				-135	-150	73.65	22.15	4.2	Sand

Nächste Seite: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung

Fortsetzung Profil 4: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung

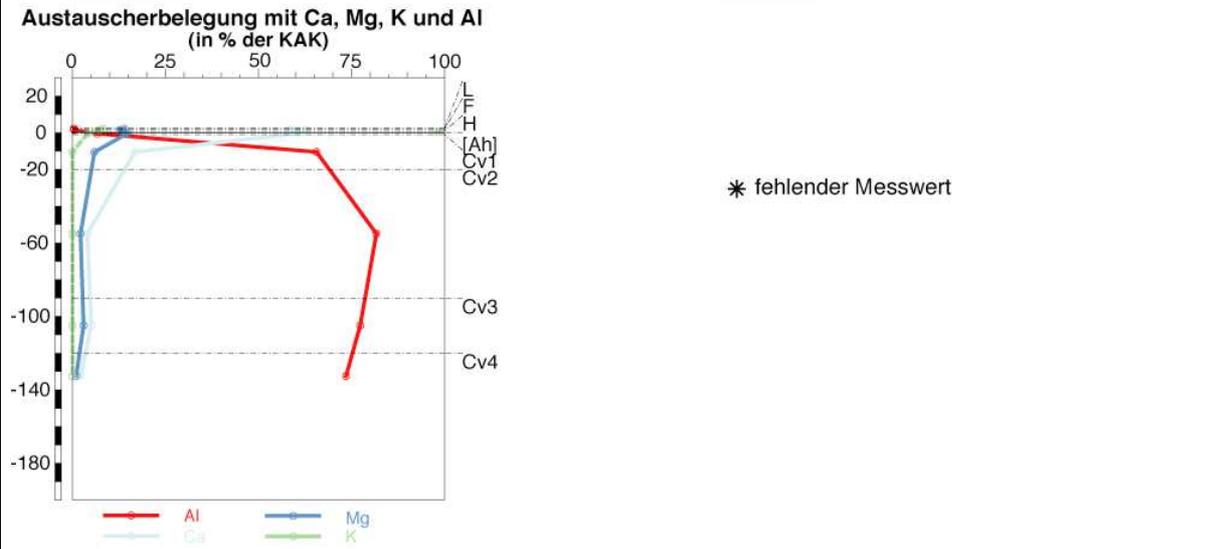
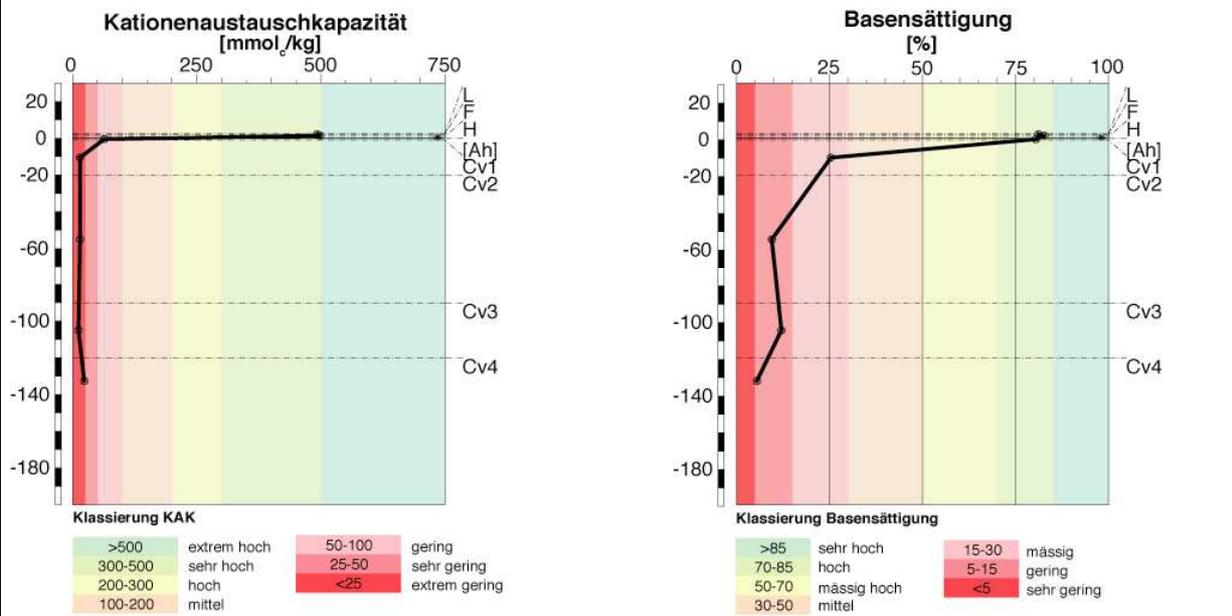
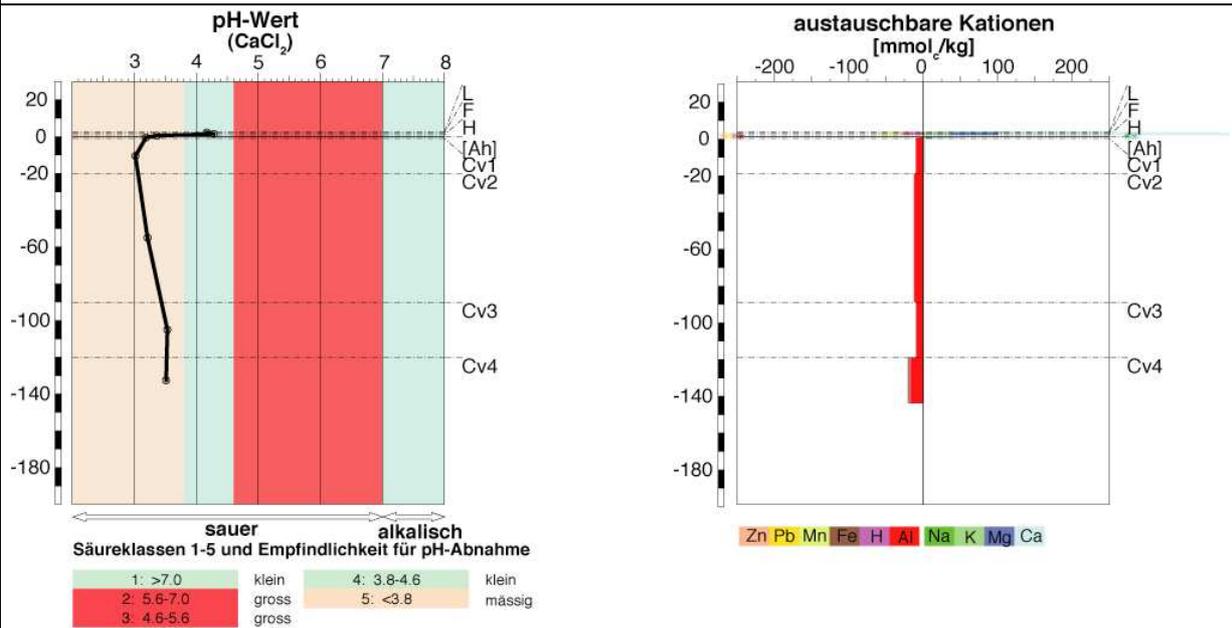


* fehlender Messwert

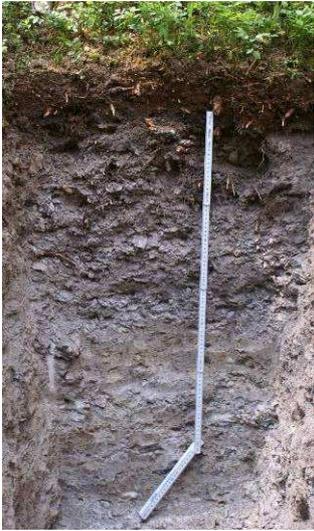
1.5. Profil 5

Profil 5	Aufnahmedatum		Koordinaten									
	13.07.2010		822634/166156									
	Bodenbildungsfaktoren											
	m.ü.M.:1954	Exposition: Nordost		Neigung (%) / Relief: 37, Mittelhang								
	Bodenoberfläche		Mit Skelett und Blöcken									
	Vorgänge unter Bodenoberfläche		Leicht schiefe Bäume									
	Geologie	Untere Chazforà-Formation: violette Sandsteine (P5) Ruina-Formation: Streifenserizitschiefer (Typ GF18)										
	Vegetation (Deckungsgrad)											
	Moosschicht (80 %)											
	Baumschicht (50 %)	Zwergsträucher (30 %)	Krautschicht (10 %)									
	Picea abies (70%) Larix decidua (30%) offen, in Gruppen	Vaccinium vitis-idaea (dominant) Vaccinium myrtillus Rhododendron ferrugineum	Melampyrum sylvaticum Homogyne alpina Calamagrostis villosa									
	Durchwurzelungstiefe	130 cm, Limitierung unbekannt										
Bemerkungen	Pilzmycele markant gelb Braunfärbung der linken Profilhälfte ab 120 cm-Tiefe bis Profilende (145 cm)											
Profilmorphologie												
	Horizontgrenze		Skelett- gehalt %	Bodenart (Fühprobe)	Gefügeform	Dichte	Hydro- morphie	Organismen	Starkwurzeln (>20mm) Stk auf 50 x 50	Grobwurzeln (2-20mm) Stk auf 10 x 10	Feinwurzeln (>2mm) Stk auf 10 x 10	Farbe Standard Soil Color Charts
Horizont	obere	untere										
L	+2.5	+2	-	-	-	-	-	Keine	-	-	-	-
F	+2	+1	-	-	-	-	-	Keine	0	0	0	-
H	+1	0	-	-	-	-	-	Pilzmycel	0	1 - 5	> 50	-
[Ah]	0	-1	2 - 10	-	Einzelkorn	locker	Keine	Keine	0	0	0	-
Cv1	-1	-20	51 - 75	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	11 - 50	10YR8/1
Cv2	-20	-90	51 - 75	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	6 - 10	10YR7/2
Cv3	-90	-120	51 - 75	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	0	1 - 5	10YR6/1
Cv4	-120	-145	51 - 75	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	10YR6/6
Chemische Werte												
C/N-Verhältnis				Körnung (Laboranalyse)								
	Horizontgrenze		C_{org} (%)	C/N	Horizont	Horizontgrenze		Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart	
Horizont	N_{tot} (%)	C/N				untere	obere					
L	1.45	43.58	30.13	-	-20	63.7	30.85	5.45	lehmiger Sand			
F	1.70	43.55	25.59	-	-90	63.95	30.4	5.65	lehmiger Sand			
H	1.61	38.92	24.24	-	-120	72.5	21.4	6.1	lehmiger Sand			
[Ah]	0.27	5.94	21.69	-	-145	67.95	23.4	8.65	lehmiger Sand			
Cv1	0.03	0.37	13.15	-	-	-	-	-	-			
Cv2	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Cv3	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Cv4	0.02	0.41	16.91	-	-	-	-	-	-			
Nächste Seite: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung												

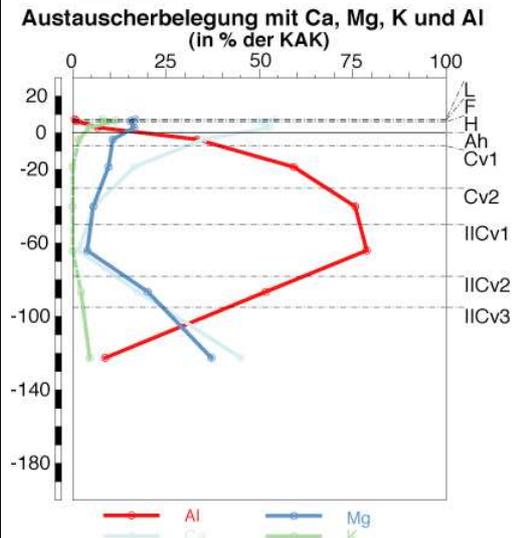
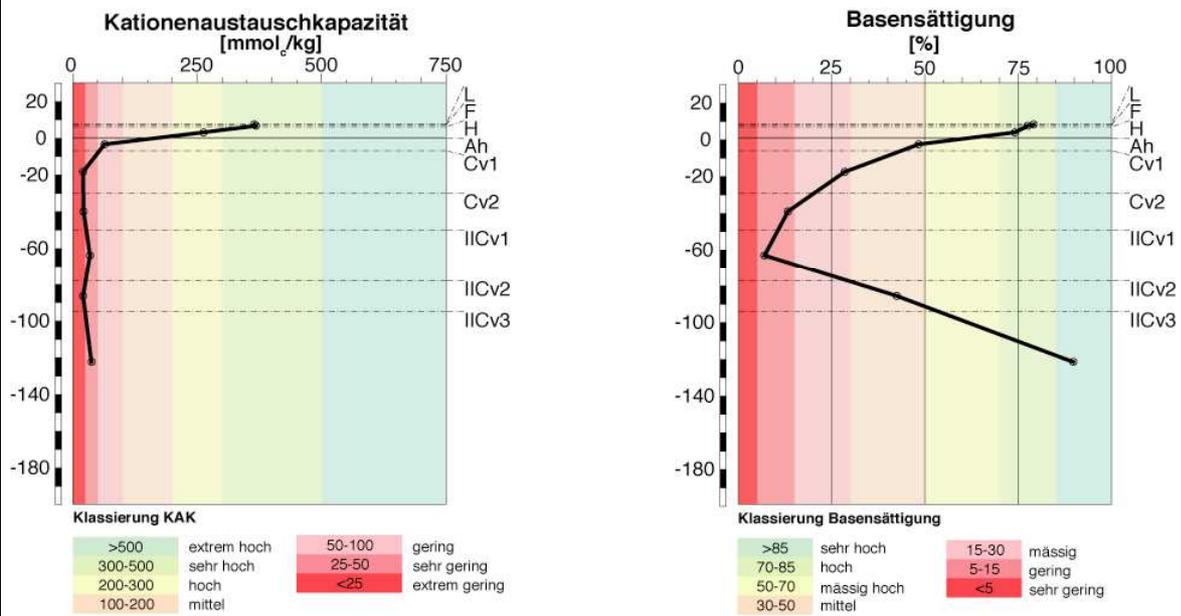
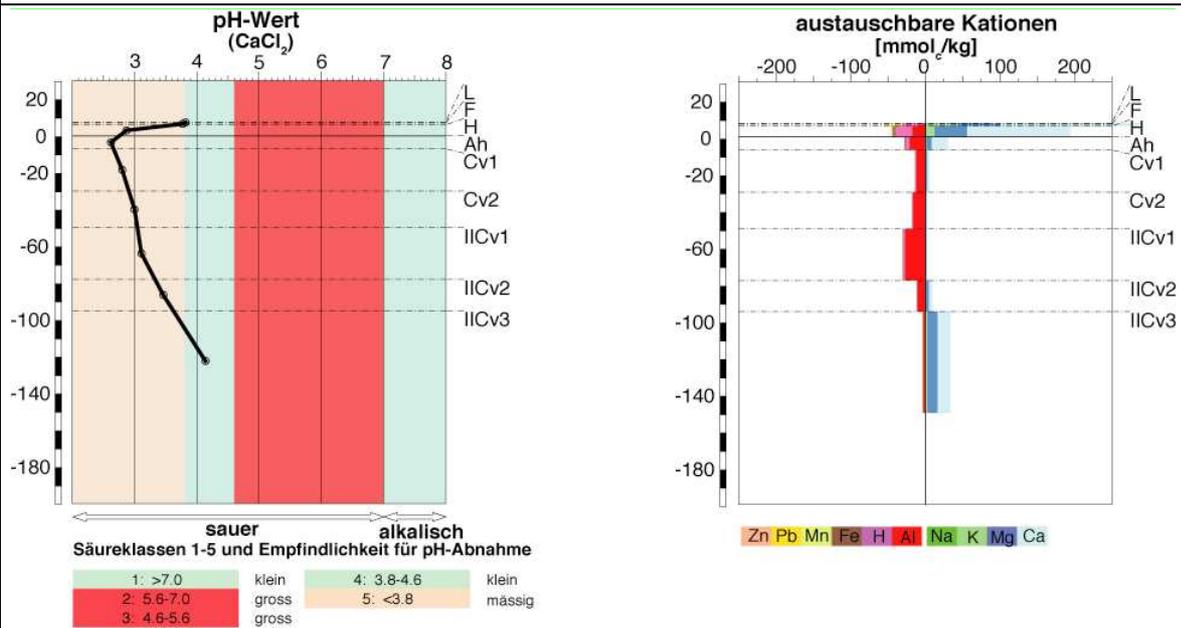
Fortsetzung Profil 5: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung



1.6. Profil 6

Profil 6	Aufnahmedatum		Koordinaten									
	14.07.2010		823495/165832									
	Bodenbildungsfaktoren											
	m.ü.M:1875	Exposition: Nordnordost		Neigung (%) / Relief: 40, Mittelhang								
	Bodenoberfläche		Mit Skelett und Blöcken									
	Vorgänge unter Bodenoberfläche		Leicht schiefe Bäume									
	Geologie	Ruina-Formation: Streifenserzitschiefer (Typ GF12, GF18), grau-violette Sandsteine (Typ GF 13, jedoch nur leicht braun anwitternd)										
	Vegetation (Deckungsgrad)											
	Moosschicht (30 %)											
	Baumschicht (70 %)		Zwergsträucher (80 %)	Krautschicht (5 %)								
	Picea abies (70%) Larix decidua (30%) lückig, in Gruppen		Vaccinium myrtillus (dominant) Vaccinium vitis-idaea	Melampyrum sylvaticum Oxalis acetosella Homogyne alpina Hieracium murorum								
	Durchwurzelungstiefe		80 cm, Limitierung unbekannt									
Bemerkungen		Pilzmycele markant gelb Profil ab 90 cm-Tiefe mit Edelmannbohrer erschlossen → violetter, toniger Bohrkern										
Profilmorphologie												
	Horizontgrenze		Skelett- gehalt %	Bodenart (Fühlprobe)	Gefügeform	Dichte	Hydro- morphie	Organismen	Starkwurzeln (>20mm) Stk auf 50 x 50	Grobwurzeln (2-20mm) Stk auf 10 x 10	Feinwurzeln (>2mm) Stk auf 10 x 10	Farbe Standard Soil Color Charts
Horizont	obere	untere										
L	+7.5	+7	-	-	-	-	-	Keine	-	-	-	-
F	+7	+6	-	-	-	-	-	Keine	0	0	0	-
H	+6	0	-	-	-	-	-	Pilzmycel	0	11 - 50	> 50	-
Ah	0	-7	11 - 25	-	Einzelkorn	locker	Keine	Keine	0	6 - 10	11 - 50	10YR3/2
Cv1	-7	-30	26 - 50	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	0	11 - 50	10YR6/2
Cv2	-30	-50	26 - 50	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	0	1 - 5	10YR6/2
IIcV1	-50	-78	51 - 75	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	0	1 - 5	10YR6/1
IIcV2	-78	-95	> 75	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	0	0	10YR6/1
IIcV3	-95	-150	> 75	tU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	0	0	10YR6/1
Chemische Werte												
C/N-Verhältnis				Körnung (Laboranalyse)								
	Horizontgrenze		N_{tot} (%)	C_{org} (%)	C/N	Horizontgrenze		Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart	
Horizont	obere	untere				untere	obere					
L			1.39	41.73	30.05	Ah	0	-7	65.5	22.75	11.75	sandiger Lehm
F			1.56	45.36	29.11	Cv1	-7	-30	63.85	28.6	7.55	lehmiger Sand
H			1.26	35.03	27.73	Cv2	-30	-50	60.75	30.75	8.5	lehmiger Sand
Ah			0.20	6.06	29.87	IIcV1	-50	-78	50.5	40.2	9.3	lehmiger Sand
Cv1			0.05	0.77	15.52	IIcV2	-78	-95	60.95	30.45	8.6	lehmiger Sand
Nächste Seite: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung												

Fortsetzung Profil 6: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung

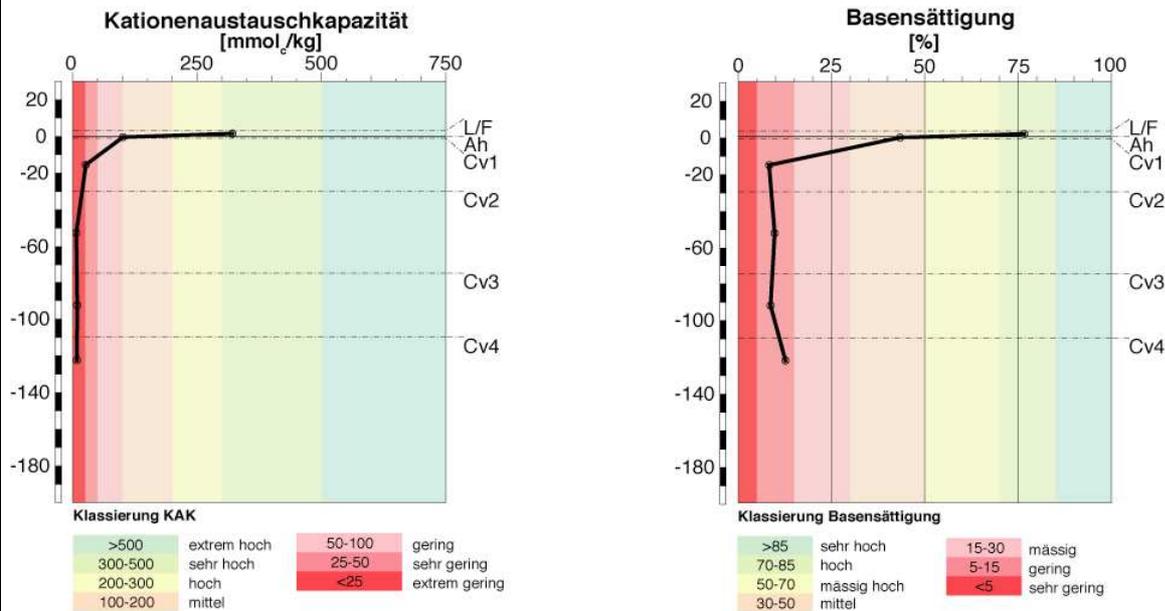
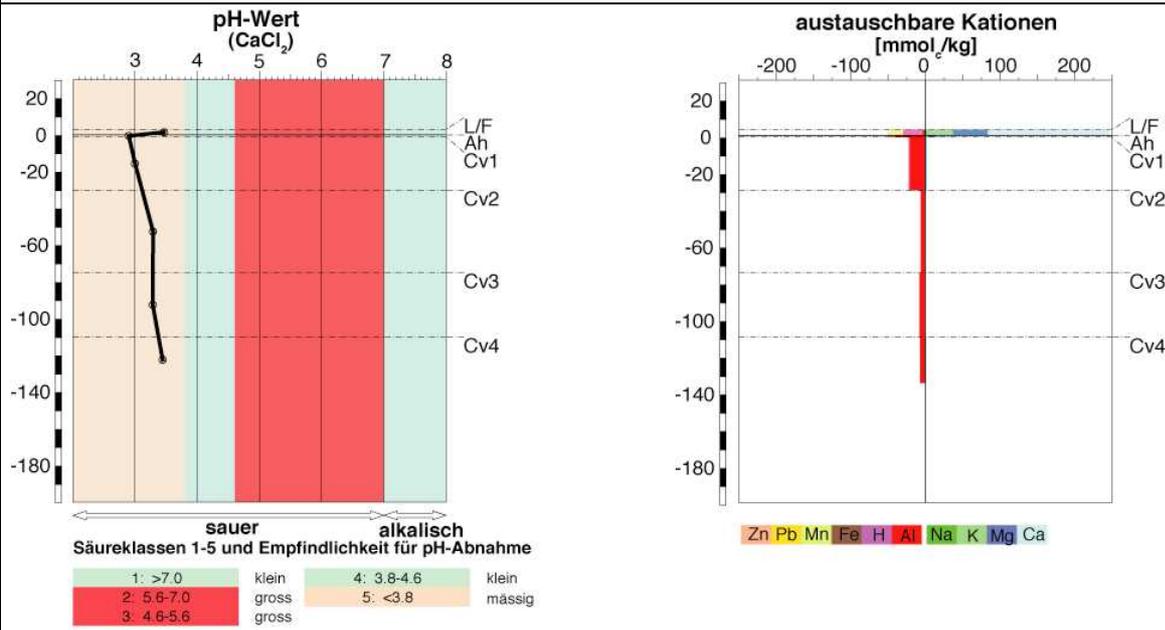


* fehlender Messwert

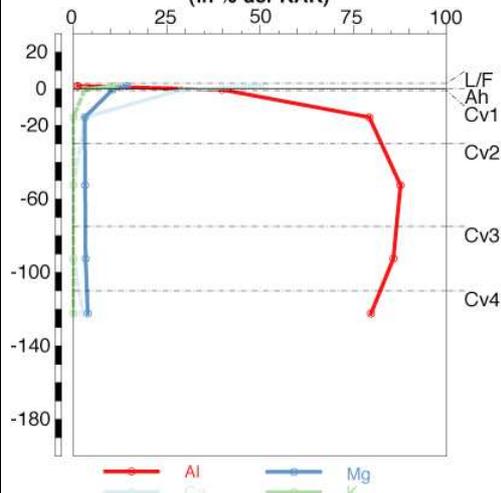
1.7. Profil 7

Profil 7	Aufnahmedatum		Koordinaten																									
	14.07.2010		821977/166893																									
	Bodenbildungsfaktoren																											
	m.ü.M:1942	Exposition: Nordost		Neigung (%) / Relief: 50, Mittelhang																								
	Bodenoberfläche		Mit Skelett und Blöcken																									
	Vorgänge unter Bodenoberfläche		Leicht schiefe Bäume																									
	Geologie	Chazforà-Formation (Verrucano): graue (Typ P1) und grüne Sandsteine																										
	Vegetation (Deckungsgrad)																											
	Moosschicht (90 %)																											
	Baumschicht (70 %)	Zwergsträucher (50 %)	Krautschicht (20 %)																									
	Picea abies (80%) Larix decidua (20%) lückig, in Gruppen	Vaccinium myrtillus (dominant) Vaccinium vitis-idaea Rhododendron ferrugineum	Melampyrum sylvaticum Homogyne alpina																									
	Durchwurzelungstiefe	90 cm, Limitierung unbekannt																										
Bemerkungen	Pilzmycele markant gelb Feinerde besonder sandig und gefügelos																											
Profilmorphologie																												
	Horizontgrenze		Skelett-gehalt %	Bodenart (Fühlprobe)	Gefügeform	Dichte	Hydro-morphie	Organismen	Starkwurzeln (>20mm) Stk auf 50 x 50	Grobwurzeln (2-20mm) Stk auf 10 x 10	Feinwurzeln (>2mm) Stk auf 10 x 10	Farbe Standard Soil Color Charts																
Horizont	obere	untere																										
L	+ 3	+ 1.5	-	-	-	-	-	Keine	-	-	-	-																
F	+ 1.5	0	-	-	-	-	-	Pizlmycel	0	1 - 5	> 50	-																
Ah	0	-1	11 - 25	-	-	-	-	Pizlmycel	0	0	0	10YR3/3																
Cv1	-1	-30	26 - 50	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Pizlmycel	0	1 - 5	6 - 10	10YR6/2																
Cv2	-30	-75	51 - 75	IS	Einzelkorn	Locker	Keine	Keine	0	0	11 - 50	10YR7/2																
Cv3	-75	-110	51 - 75	IS	Einzelkorn	Locker	Keine	Keine	0	1 - 5	6 - 10	10YR7/1																
Cv4	-110	-135	51 - 75	IS	Einzelkorn	Locker	Keine	Keine	0	0	0	10YR7/1																
Chemische Werte																												
C/N-Verhältnis				Körnung (Laboranalyse)																								
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th>Horizont</th> <th>N_{tot} (%)</th> <th>C_{org} (%)</th> <th>C/N</th> </tr> <tr> <td>L/F</td> <td>1.25</td> <td>41.77</td> <td>33.41</td> </tr> <tr> <td>Ah</td> <td>0.23</td> <td>6.21</td> <td>26.51</td> </tr> <tr> <td>Cv1</td> <td>0.03</td> <td>0.29</td> <td>10.74</td> </tr> </table>			Horizont	N _{tot} (%)	C _{org} (%)	C/N	L/F	1.25	41.77	33.41	Ah	0.23	6.21	26.51	Cv1	0.03	0.29	10.74	Keine Messung								
Horizont	N _{tot} (%)	C _{org} (%)	C/N																									
L/F	1.25	41.77	33.41																									
Ah	0.23	6.21	26.51																									
Cv1	0.03	0.29	10.74																									
Nächste Seite: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung																												

Fortsetzung Profil 7: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung



Austauscherbelegung mit Ca, Mg, K und Al (in % der KAK)

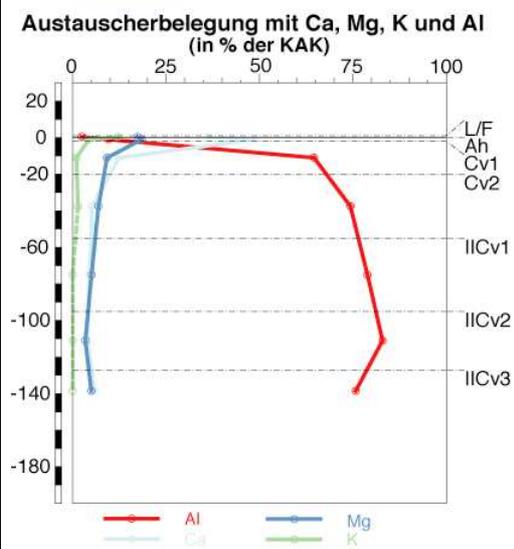
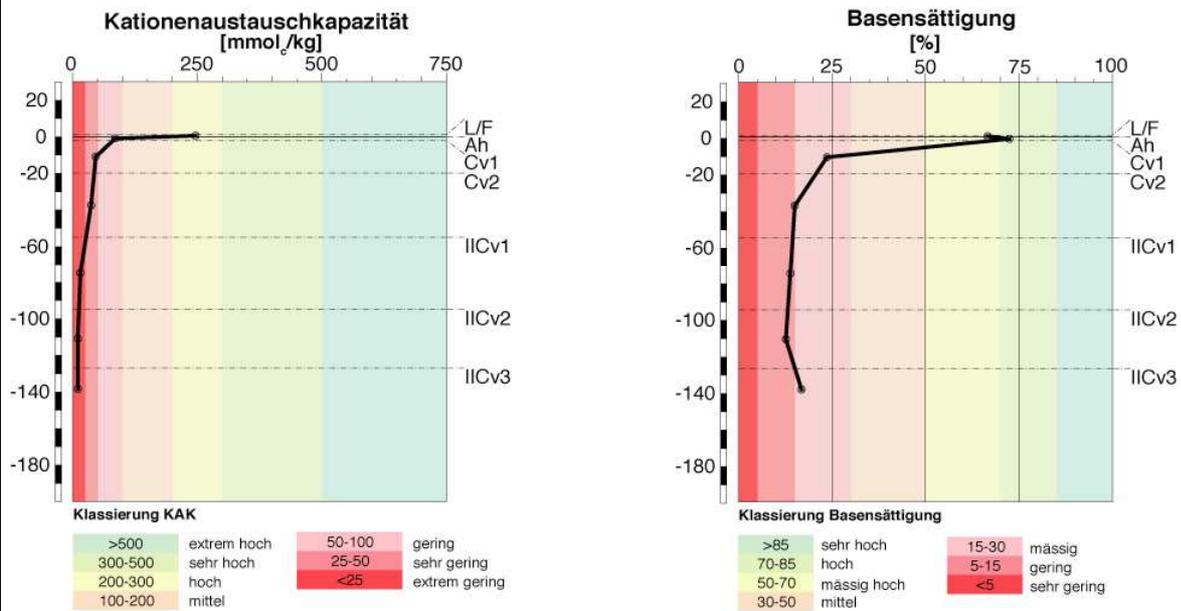
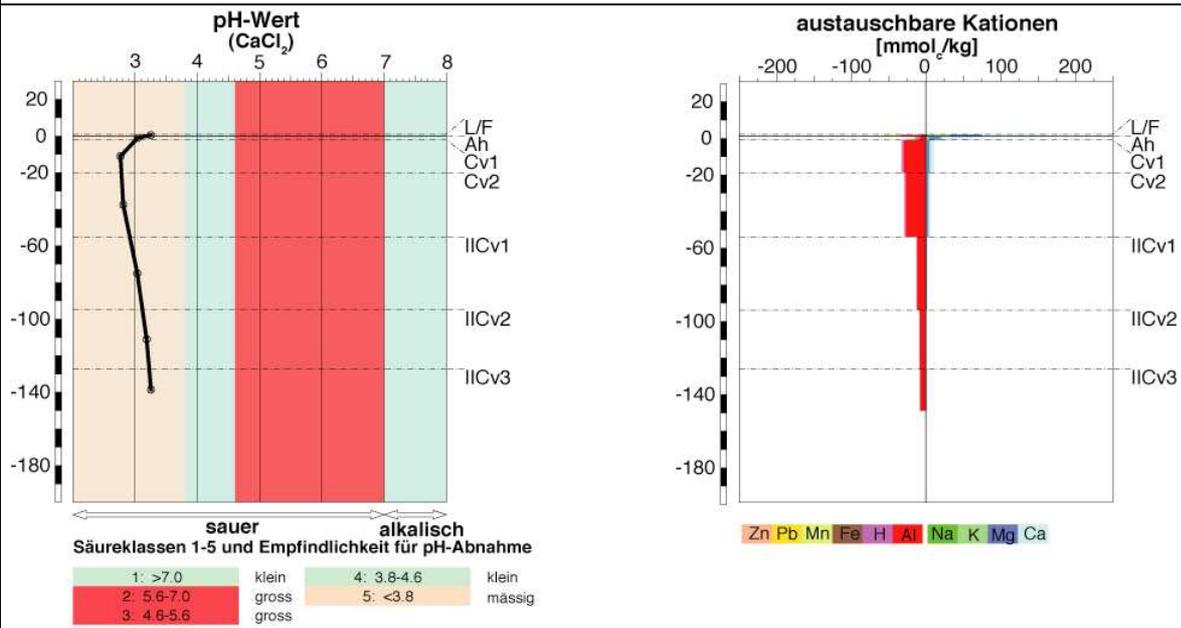


* fehlender Messwert

1.8. Profil 8

Profil 8	Aufnahmedatum		Koordinaten									
	20.07.2010		824814/165319									
	Bodenbildungsfaktoren											
	m.ü.M:1779	Exposition: Nordnordwest		Neigung (%) / Relief: 45, Mittelhang								
	Bodenoberfläche		Mit Skelett und Blöcken									
	Vorgänge unter Bodenoberfläche		stabil									
	Geologie	Grüne Sandsteine der Chazforà-Formation (Verrucano) oder grüne Rhyolithe (Typ GF9) der Ruina-Formation (Verrucano)										
	Vegetation (Deckungsgrad)											
	Moosschicht (90 %)											
	Baumschicht (50 %)		Zwergsträucher (30 %)	Krautschicht (40 %)								
	Picea abies (60%) Larix decidua (40%) offen, in Gruppen		Vaccinium myrtillus	Melampyrum sylvaticum Homogyne alpina Calamagrostis villosa Oxalis acetosella								
	Durchwurzelungstiefe	110 cm, Limitierung unbekannt										
Bemerkungen	Pilzmycele markant gelb. Bis auf 40 cm-Tiefe stark im Bereich der Feinwurzeln vertreten Feinerde besonders sandig und gefügelos. Ab 55 cm-Tiefe grüne Gesteine dominant → grünliche Feinerde											
Profilmorphologie												
	Horizontgrenze		Skelett- gehalt %	Bodenart (Fühlprobe)	Gefügestufe	Dichte	Hydro- morphie	Organismen	Starkwurzeln (>20mm) Stk auf 50 x 50	Grobwurzeln (2-20mm) Stk auf 10 x 10	Feinwurzeln (>2mm) Stk auf 10 x 10	Farbe Standard Soil Color Charts
Horizont	obere	untere										
L	+ 1	+ 0.5	-	-	-	-	-	Keine	-	-	-	-
F	+ 0.5	0	-	-	-	-	-	Pizlmycel	1 - 5	6 - 10	> 50	-
Ah	0	-2	2 - 10	-	-	-	-	Pizlmycel	1 - 5	6 - 10	> 50	10YR3/2
Cv1	-2	-20	11 - 25	IS	Einzelkorn	Locker	Keine	Pizlmycel	0	6 - 10	11 - 50	10YR6/2
Cv2	-20	-55	51 - 75	IS	Einzelkorn	Locker	Keine	Pizlmycel	0	6 - 10	11 - 50	10YR6/3
IIcV1	-55	-95	51 - 75	IS	Einzelkorn	Locker	Keine	Keine	0	1 - 5	6 - 10	10YR7/2
IIcV2	-95	-127	> 75	IS	Einzelkorn	Locker	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	10YR7/2
IIcV3	-127	-150	> 75	sL	Einzelkorn	Locker	Keine	Keine	0	0	0	10YR7/2
Chemische Werte												
C/N-Verhältnis				Körnung (Laboranalyse)								
				Keine Messung								
Horizont	N_{tot} (%)	C_{org} (%)	C/N									
L/F	1.66	42.82	25.85									
Ah	0.36	7.80	21.97									
Cv1	0.05	0.66	14.39									
Nächste Seite: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung												

Fortsetzung Profil 8: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung

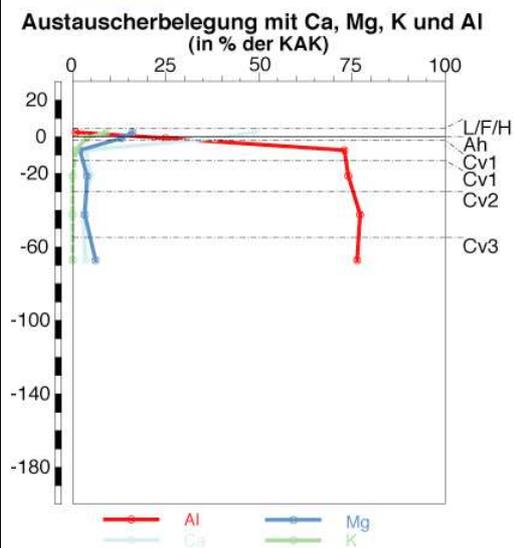
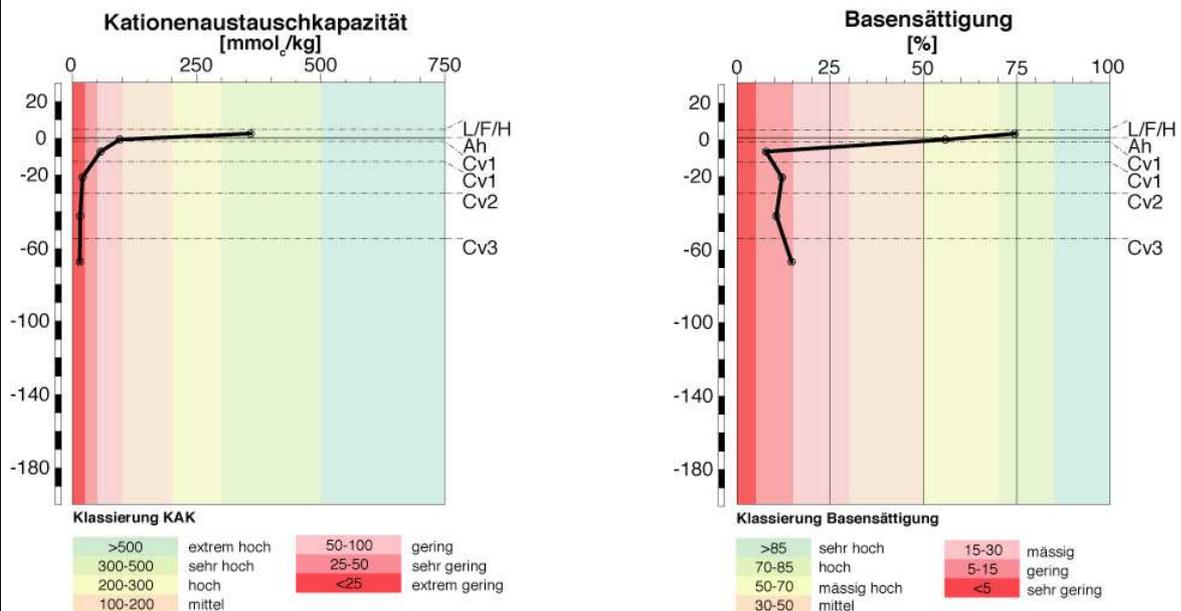
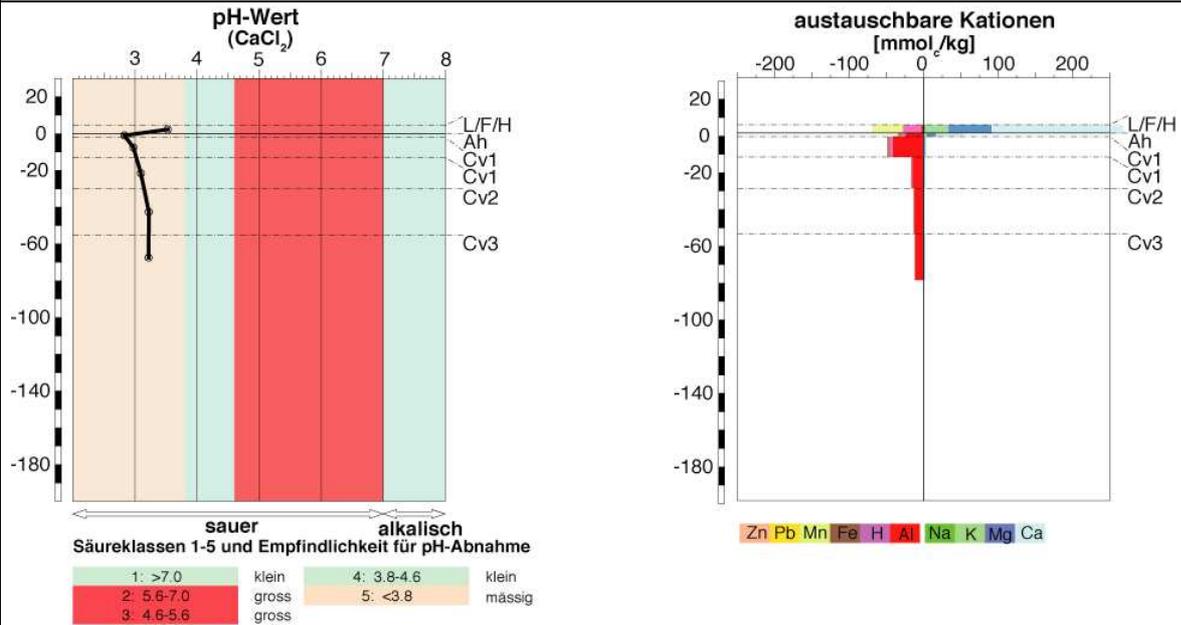


* fehlender Messwert

1.9. Profil 9

Profil 9	Aufnahmedatum		Koordinaten									
	21.07.2010		823672/165368									
	Bodenbildungsfaktoren											
	m.ü.M:1943	Exposition: Nordnordost		Neigung (%) / Relief: 40, Mittelhang								
	Bodenoberfläche		Mit Skelett und Blöcken									
	Vorgänge unter Bodenoberfläche		Leicht schiefe Bäume									
	Geologie	Ruina-Formation (Verrucano): graue Sandsteine (Typ GF 14), zum Teil stark verfaltet										
	Vegetation (Deckungsgrad)											
	Moosschicht (0 %)											
	Baumschicht (60 %)	Zwergsträucher (80 %)	Krautschicht (10 %)									
	Picea abies (50%) Larix decidua (50%) offen, in Gruppen	Vaccinium myrtillus (dominant) Vaccinium vitis-idaea Rhododendron ferrugineum	Luzula sylvatica Melampyrum sylvaticum Homogyne alpina									
	Durchwurzelungstiefe	55 cm, Limitierung durch Gesteinsblöcke/Fels										
Bemerkungen	Im letzten Horizont stark angewitterte Gesteinsblöcke → Verwitterungssubstanz bildet metallisch glänzende, schluffige Feinerde											
Profilmorphologie												
	Horizontgrenze		Skelett-gehalt %	Bodenart (Fühlprobe)	Gefügeform	Dichte	Hydro-morphie	Organismen	Starkwurzeln (>20mm) Stk auf 50 x 50 cm	Grobwurzeln (2-20mm) Stk auf 10 x 10 cm	Feinwurzeln (>2mm) Stk auf 10 x 10 cm	Farbe Standard Soil Color Charts
Horizont	obere	untere										
L	+ 4.5	+ 3.5	-	-	-	-	-	Keine	-	-	-	-
F	+ 3.5	+ 1.5	-	-	-	-	-	Keine	6 - 10	6 - 10	11 - 50	-
H	+ 1.5	0	-	-	-	-	-	Keine	6 - 10	6 - 10	11 - 50	-
Ah	0	-2	11 - 25	-	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	6 - 10	6 - 10	11 - 50	-
Cv1	-2	-30	26 - 50	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	1 - 5	6 - 10	6 - 10	-
Cv2	-30	-55	51 - 75	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	-
Cv3	-55	-80	> 75	IU	Subpolyeder	Mittel	Keine	Keine	0	0	0	-
Chemische Werte												
C/N-Verhältnis				Körnung (Laboranalyse)								
	Horizontgrenze		C_{org} (%)	C/N	Horizontgrenze		Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart		
Horizont	N_{tot} (%)	C_{org} (%)			untere	obere						
L/F/H	1.57	40.12	25.58	-2	-13	52.15	35.75	12.1	sandiger Lehm			
Ah	0.47	9.53	20.21	-13	-30	53.95	39.2	6.85	lehmiger Sand			
Cv1	0.06	0.89	16.14	-30	-55	58	34.4	7.6	lehmiger Sand			
Cv1	0.03	0.35	11.46	-55	-80	47.4	45.8	6.8	lehmiger Sand			
Bemerkung: Dem Cv3 fehlen lediglich 5% Schluff bis zur Bodenart Schluff												
Nächste Seite: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung												

Fortsetzung Profil 9: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung

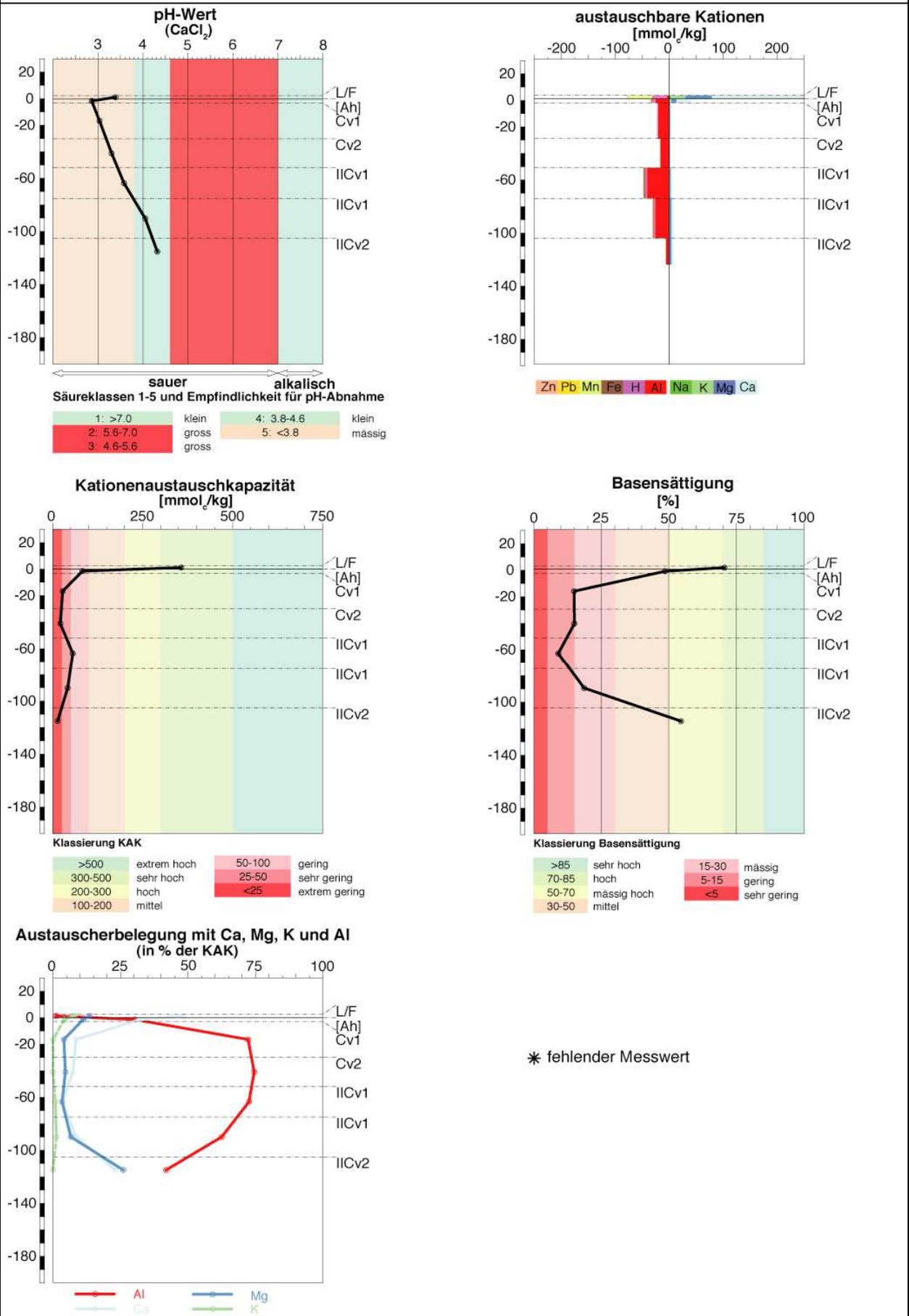


* fehlender Messwert

1.10. Profil 10

Profil 10	Aufnahmedatum		Koordinaten										
	15.07.2010		821318/167256										
	Bodenbildungsfaktoren												
	m.ü.M:1933	Exposition: Nordnordwest		Neigung (%) / Relief: 50, Mittelhang									
	Bodenoberfläche		Mit Skelett und Blöcken										
	Vorgänge unter Bodenoberfläche		Stabil										
	Geologie	Chazforà-Formation (Verrucano): grauviolette Feinsandsteine (P10, ebenfalls zahlreiche braun verwitternde Exemplare wie P2) und andere Sandsteine dieser Formation											
	Vegetation (Deckungsgrad)												
	Moosschicht (80 %)												
	Baumschicht (60 %)		Zwergsträucher (80 %)	Krautschicht (10 %)									
	Picea abies (45%) Larix decidua (10%) Pinus cembra (45%) lückig, in Gruppen		Vaccinium myrtillus (dominant) Vaccinium vitis-idaea	Luzula sylvatica Melampyrum sylvaticum									
	Durchwurzelungstiefe		100 cm, Limitierung unbekannt										
Bemerkungen		Pilzmycele markant gelb Braunfärbung der Feinerde ab 50 cm im Bereich der braun verwitternden Gesteine (P10) Feinwurzelanhäufungen in braunen Bereichen											
Profilmorphologie													
	Horizontgrenze		Skelett- gehalt %	Bodenart (Fühlprobe)	Gefügeform	Dichte	Hydro- morphie	Organismen	Starkwurzeln (>20mm) Stk auf 50 x 50	Grobwurzeln (2-20mm) Stk auf 10 x 10	Feinwurzeln (>2mm) Stk auf 10 x 10	Farbe Standard Soil Color Charts	
Horizont	obere	untere											
L	+2.5	+2.0	-	-	-	-	-	Keine	-	-	-	-	
F	+2.0	0	-	-	-	-	-	Pilzmycele	1 - 5	6 - 10	>50	-	
[Ah]	0	-3	2 - 10	-	-	-	Locker	Keine	-	-	-	-	
Cv1	-3	-30	26 - 50	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	0	6 - 10	-	
Cv2	-30	-52	51 - 75	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	0	6 - 10	-	
IICv1	-52	-105	> 75	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	-	
IICv2	-105	-125	> 75	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	0	0	-	
Chemische Werte													
C/N-Verhältnis				Körnung (Laboranalyse)									
	Horizont	N_{tot} (%)	C_{org} (%)	C/N	Keine Messung								
	L/F	1.52	44.77	29.37									
	[Ah]	0.28	7.49	26.69									
	Cv1	0.04	0.38	10.18									
	Cv2	-	-	-									
	IICv1	0.09	1.94	22.48									
	IICv2	0.03	0.22	7.24									
Nächste Seite: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung													

Fortsetzung Profil 10: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung



1.11. Profil 11

	Profil 11		Aufnahmedatum	Koordinaten
			16.07.2010	821625/167097
	Bodenbildungsfaktoren			
	m.ü.M:1957	Exposition: Nordnordost	Neigung (%) / Relief: 42, Mittelhang	
	Bodenoberfläche		Mit Skelett und Blöcken	
	Vorgänge unter Bodenoberfläche		Stabil	
	Geologie	Ruina-Formation (Verrucano): Streifenseritzschiefer (P 11.1, 11.2), grauviolette Sandsteine (P 11) (evtl. auch aus unterer Chazforà)		
	Vegetation (Deckungsgrad)			
	Moosschicht (20 %)			
	Baumschicht (70 %)		Zwergsträucher (70 %)	Krautschicht (1 %)
Picea abies (80%) Pinus cembra (20%) lückig, in Gruppen		Vaccinium myrtillus	Luzula sylvatica	
Durchwurzelungstiefe		90 cm, Limitierung unbekannt		
Bemerkungen		Pilzmycele markant gelb Braun anwitternde Gesteine im letzten Horizont (P 11.1, 11.2)		

Profilmorphologie

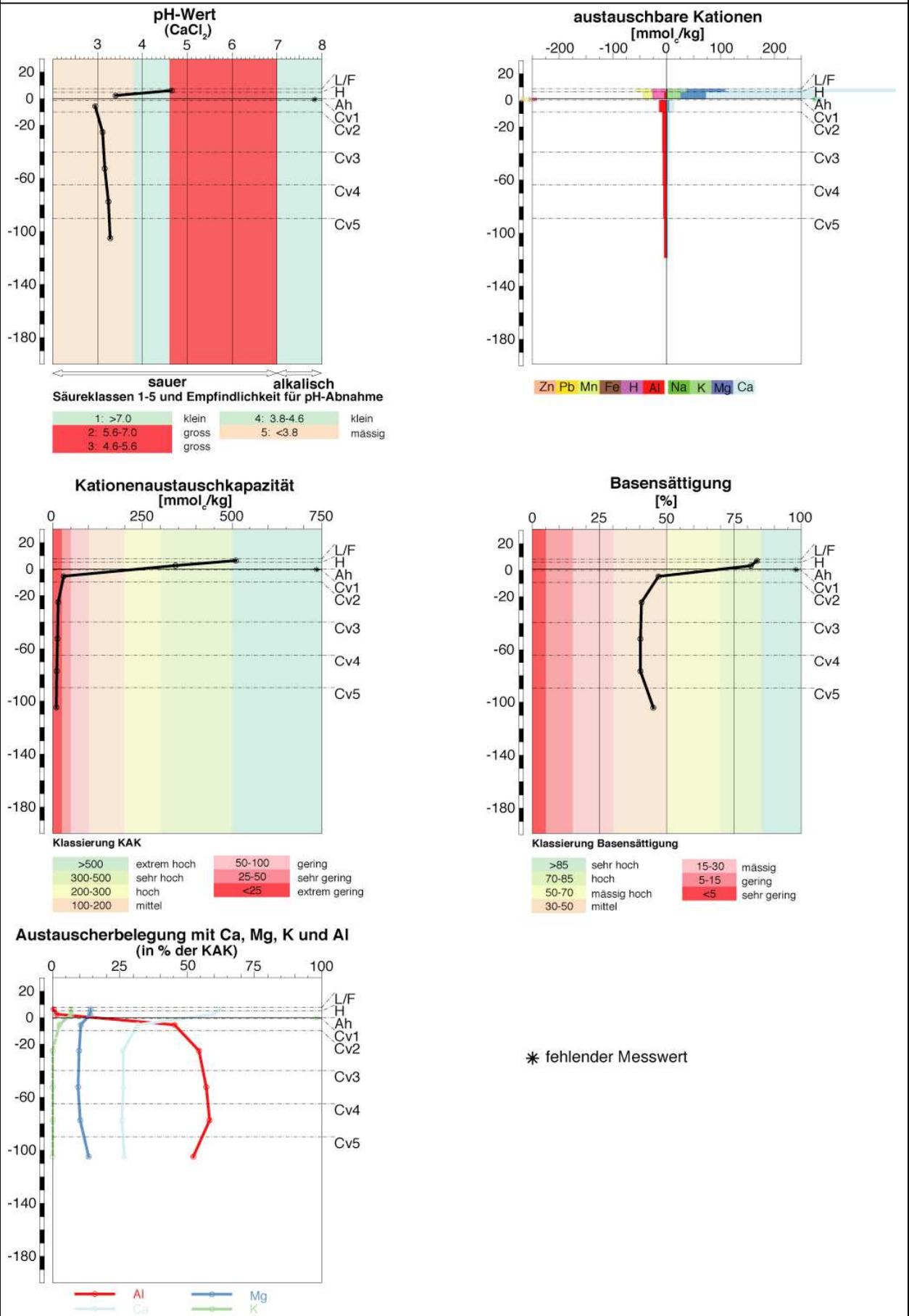
Horizont	Horizontgrenze		Skelett-gehalt %	Bodenart (Fühlprobe)	Gefügeform	Dichte	Hydro-morphie	Organismen	Starkwurzeln (>20mm) Stk auf 50 x 50	Grobwurzeln (2-20mm) Stk auf 10 x 10	Feinwurzeln (>2mm) Stk auf 10 x 10	Farbe Standard Soil Color Charts
	obere	untere										
L	+ 7.5	+ 7.0	-	-	-	-	-	Keine	-	-	-	-
F	+ 7.0	+ 5.0	-	-	-	-	-	Keine	0	0	0	-
H	+ 5.0	0	-	-	-	-	-	Pilzmycele	1 - 5	>50	>50	-
Ah	0	-1	2 - 10	-	-	-	Keine	Keine	0	1 - 5	>50	-
Cv1	-1	-10	11 - 25	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	6 - 10	-
Cv2	-10	-40	26 - 50	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	-
Cv3	-40	-65	26 - 50	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	-
Cv4	-65	-90	26 - 50	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	-
Cv5	-90	-120	51 - 75	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	0	0	-

Chemische Werte

C/N-Verhältnis				Körnung (Laboranalyse)					
Horizont	N _{tot} (%)	C _{org} (%)	C/N	Horizontgrenze		Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart
				untere	obere				
L/F	1.63	45.34	27.85						
H	1.21	33.90	27.94						
Ah	-	-	-						
Cv1	0.04	0.64	16.74						
Cv2	0.02	0.24	10.26						
Cv1				-1	-10	69.7	23.9	6.4	sandiger Lehm
Cv2				-10	-40	74.75	20.45	4.8	lehmiger Sand
Cv3				-40	-65	73.65	21.9	4.45	lehmiger Sand
Cv4				-65	-90	73.7	21.6	4.7	lehmiger Sand
Cv5				-90	-120	69.05	25.55	5.4	sandiger Lehm

Nächste Seite: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung

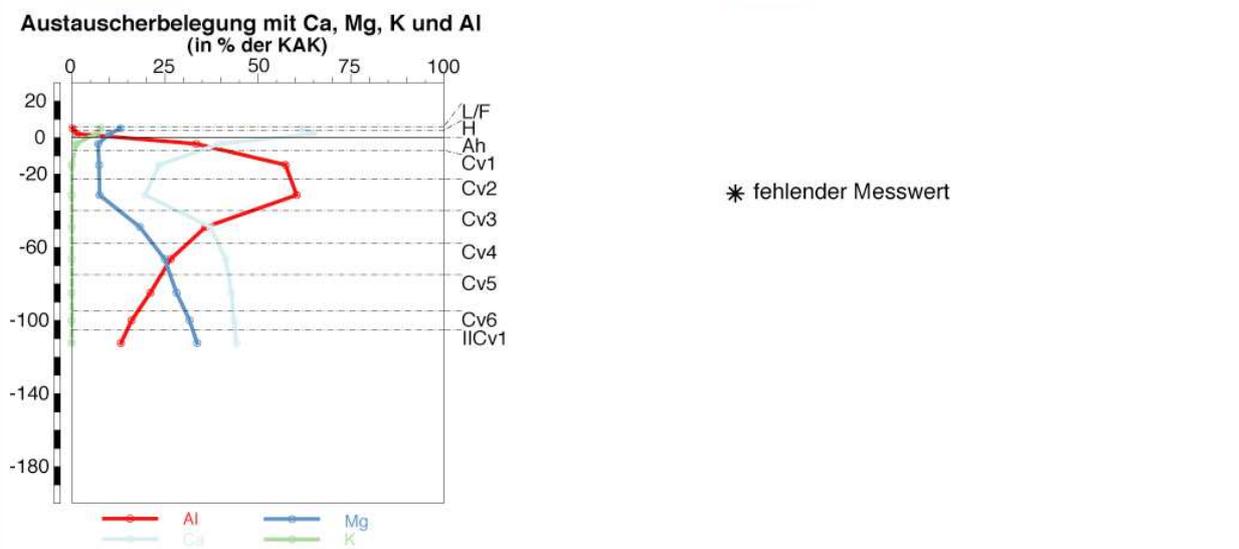
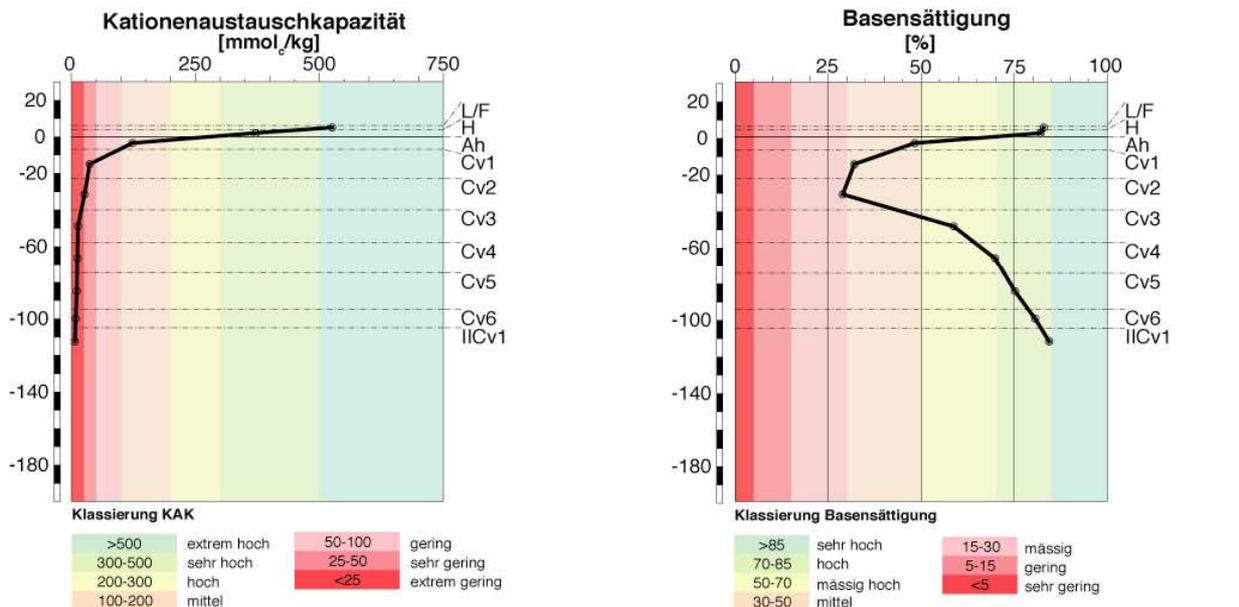
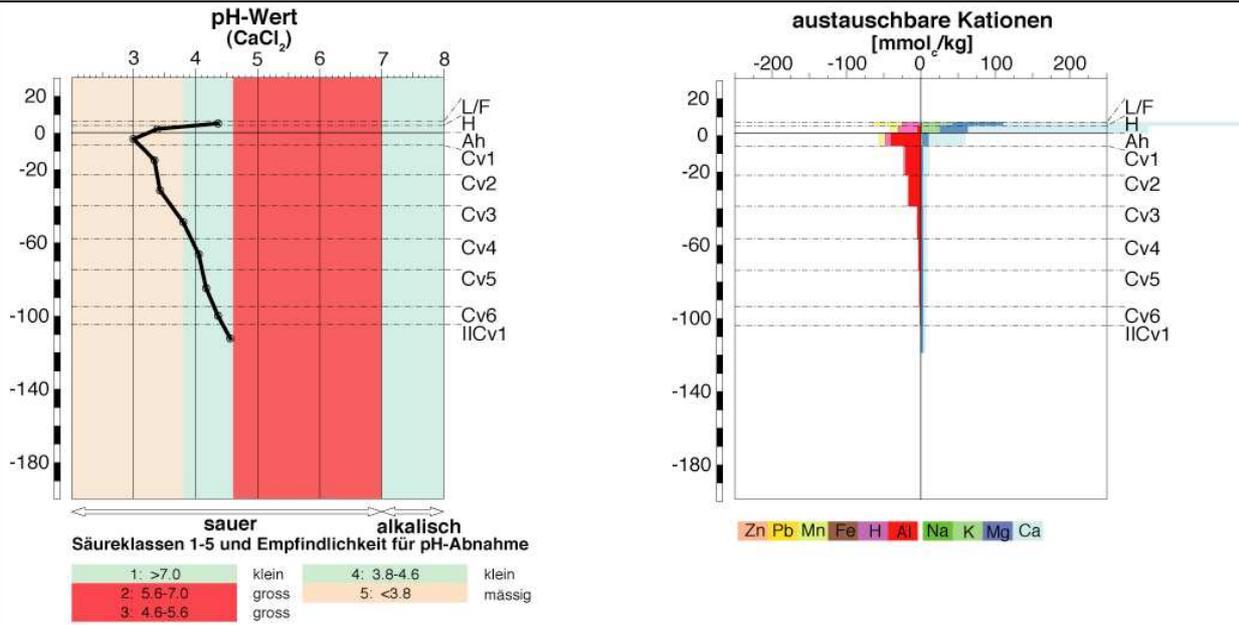
Fortsetzung Profil 11: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung



1.12. Profil 12

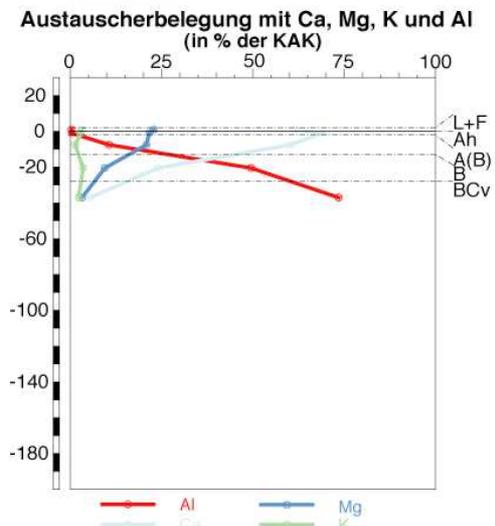
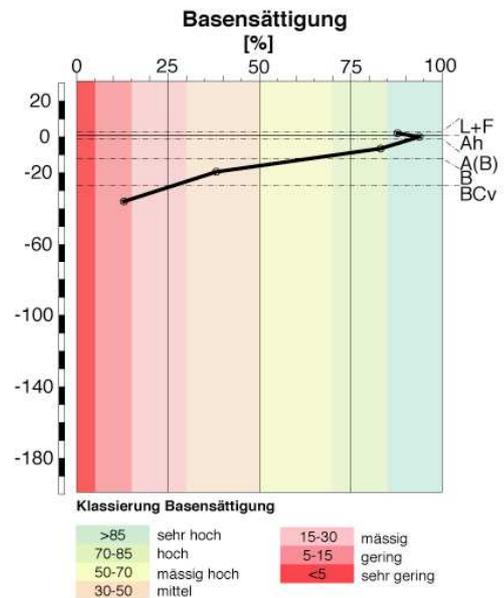
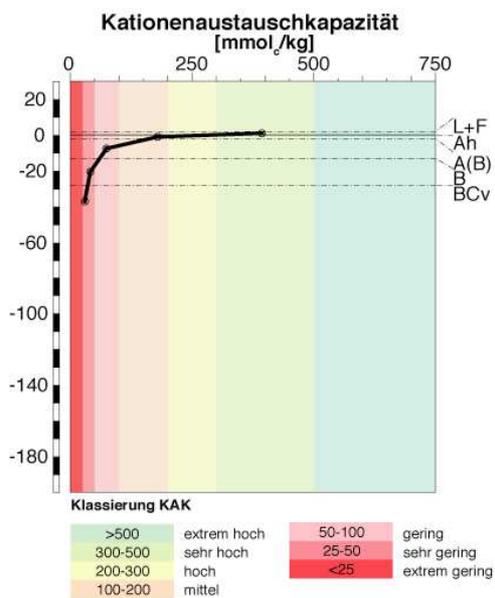
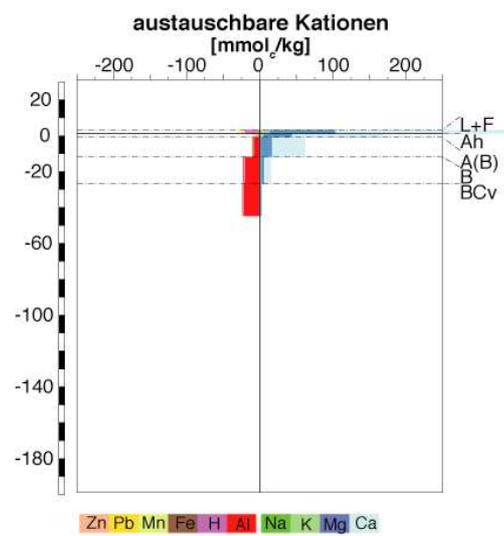
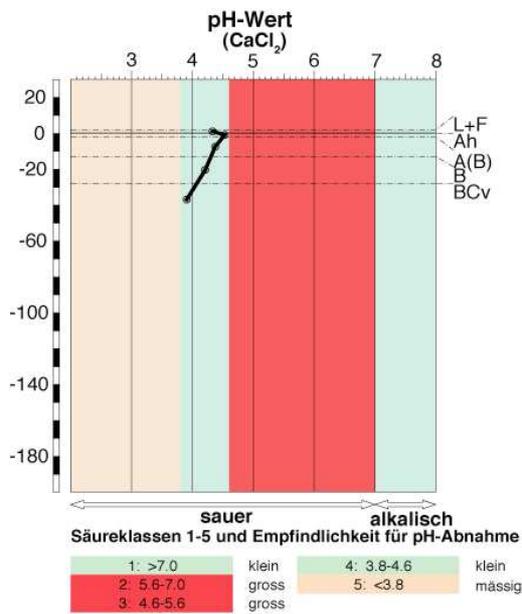
Profil 12	Aufnahmedatum		Koordinaten																								
	22.07.2010		823329/166302																								
	Bodenbildungsfaktoren																										
	m.ü.M:1760	Exposition: Nordost		Neigung (%) / Relief: 42, Mittelhang																							
	Bodenoberfläche		Mit Skelett und Blöcken																								
	Vorgänge unter Bodenoberfläche		Leicht schiefe Bäume																								
	Geologie	Chazforà-Formation (Verrucano): graue Sandsteine (Art P4, P4.1) Ruina-Formation (Verrucano): grauviolette Sandsteine (z.T. ähnlich wie GF5, jedoch leicht rostbraun anwitternd)																									
	Vegetation (Deckungsgrad)																										
	Moosschicht (70 %)																										
	Baumschicht (80 %)		Zwergsträucher (0 %)	Krautschicht (50 %)																							
Picea abies (100 %)		-	Melampyrum sylvaticum Calamagrostis villosa Hieracium murorum Homogyne alpina Oxalis acetosella Maianthemum bifolium																								
Durchwurzelungstiefe		100 cm, Limitierung unbekannt																									
Bemerkungen		Pilzmycele markant gelb Teilweise braun anwitternde Gesteine (Art P 4.1, GF 5)																									
Profilmorphologie																											
	Horizontgrenze		Skelett- gehalt %	Bodenart (Fühlprobe)	Gefügeform	Dichte	Hydro- morphie	Organismen	Starkwurzeln (>20mm) Stk auf 50 x 50	Grobwurzeln (2-20mm) Stk auf 10 x 10	Feinwurzeln (>2mm) Stk auf 10 x 10	Farbe Standard Soil Color Charts															
Horizont	obere	untere																									
L	+ 6.0	+ 5.0	-	-	-	-	-	Keine	-	-	-	-															
F	+ 5.0	+ 4.0	-	-	-	-	-	Pilzmycele	1 - 5	11 - 50	>50	-															
H	+ 4.0	0	-	-	-	-	-	Pilzmycele	1 - 5	11 - 50	>50	-															
Ah	0	-7	11 - 25	sL	-	Mittel	Keine	Pilzmycele	1 - 5	11 - 50	>50	10YR4/3															
Cv1	-7	-23	26 - 50	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	6 - 10	6 - 10	10YR7/2															
Cv2	-23	-40	26 - 50	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Pilzmycele	0	1 - 5	6 - 10	10YR7/3															
Cv3	-40	-58	11 - 25	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	6 - 10	10YR7/4															
Cv4	-58	-75	11 - 25	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	10YR7/2															
Cv5	-75	-95	26 - 50	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	1 - 5	1 - 5	10YR7/2															
Cv6	-95	-105	26 - 50	sL	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	0	0	10YR7/2															
IICv1	-105	-120	26 - 50	IU	Einzelkorn	Mittel	Keine	Keine	0	0	0	10YR6/1															
Chemische Werte																											
C/N-Verhältnis				Körnung (Laboranalyse)																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Horizont</th> <th>N_{tot} (%)</th> <th>C_{org} (%)</th> <th>C/N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L/F</td> <td>1.69</td> <td>41.59</td> <td>24.66</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>1.35</td> <td>41.75</td> <td>30.98</td> </tr> <tr> <td>Ah</td> <td>0.21</td> <td>6.17</td> <td>29.33</td> </tr> <tr> <td>Cv1</td> <td>0.03</td> <td>0.45</td> <td>13.79</td> </tr> </tbody> </table>				Horizont	N _{tot} (%)	C _{org} (%)	C/N	L/F	1.69	41.59	24.66	H	1.35	41.75	30.98	Ah	0.21	6.17	29.33	Cv1	0.03	0.45	13.79	Keine Messung			
Horizont	N _{tot} (%)	C _{org} (%)	C/N																								
L/F	1.69	41.59	24.66																								
H	1.35	41.75	30.98																								
Ah	0.21	6.17	29.33																								
Cv1	0.03	0.45	13.79																								
Nächste Seite: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung																											

Fortsetzung Profil 12: pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung



1.13. Profil 13

pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung, C/N-Verhältnis

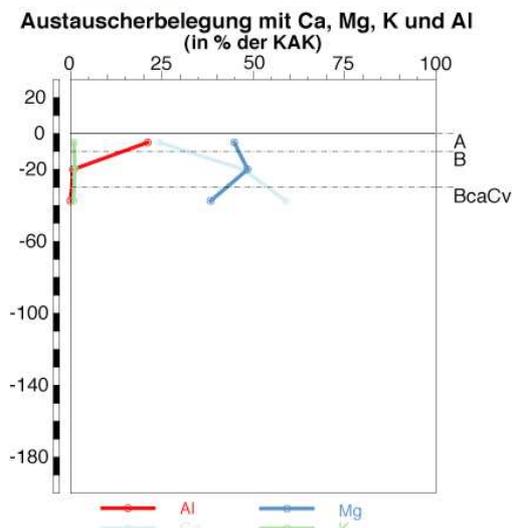
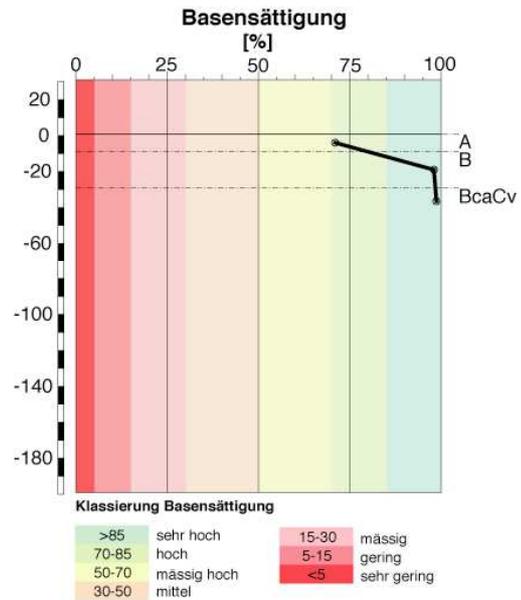
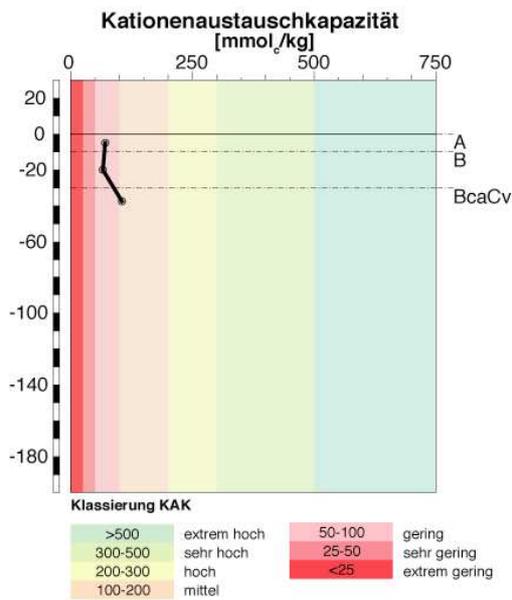
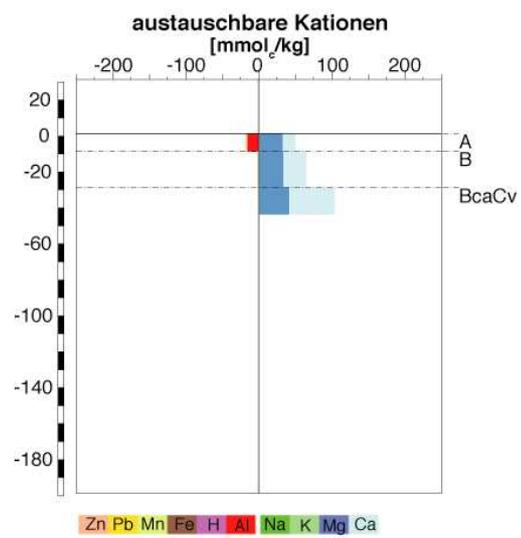
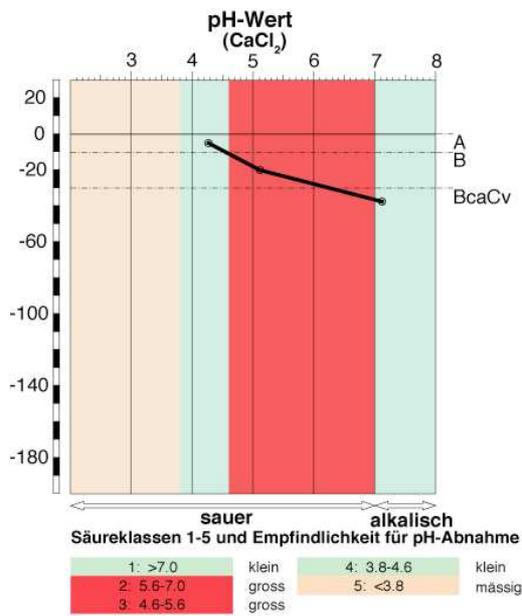


* fehlender Messwert

Horizont	N _{tot} (%)	C _{org} (%)	C/N
L+F	1.00	32.51	32.39
Ah	0.30	5.97	19.57
A(B)	0.08	1.53	18.58
B	0.06	1.00	16.32
BCv	0.02	0.37	15.25

1.14. Profil 14

pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung, C/N-Verhältnis

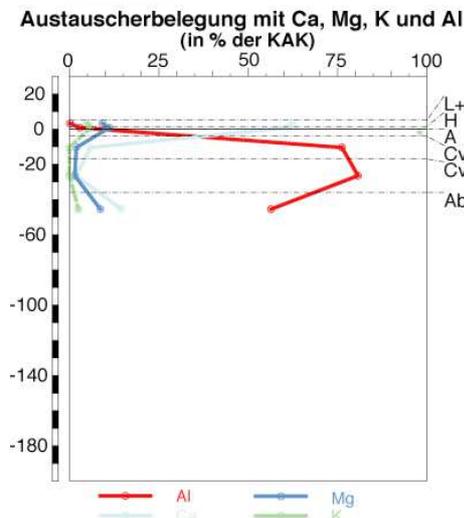
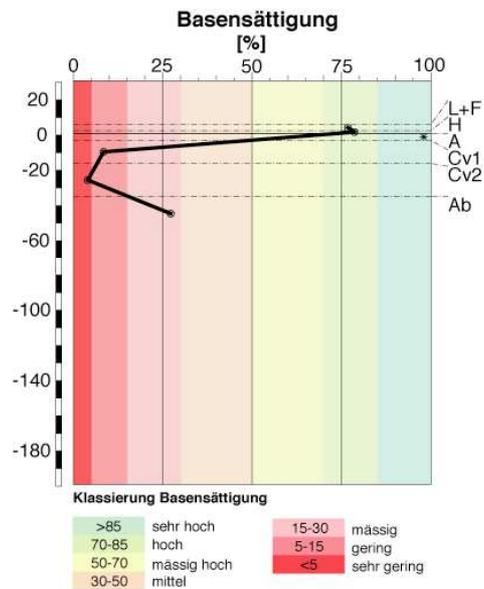
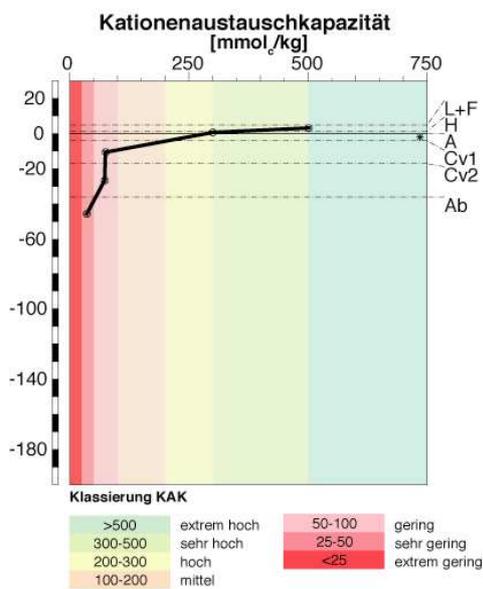
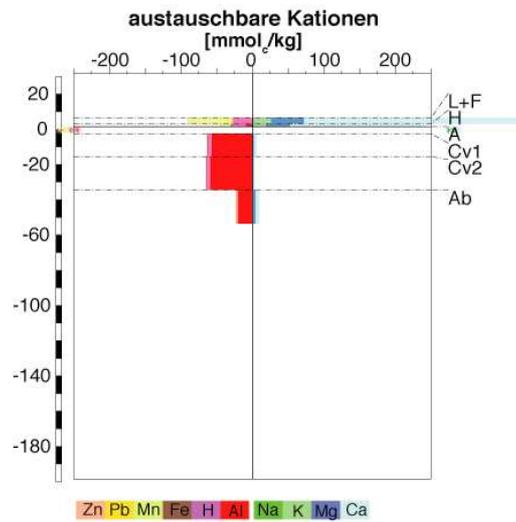
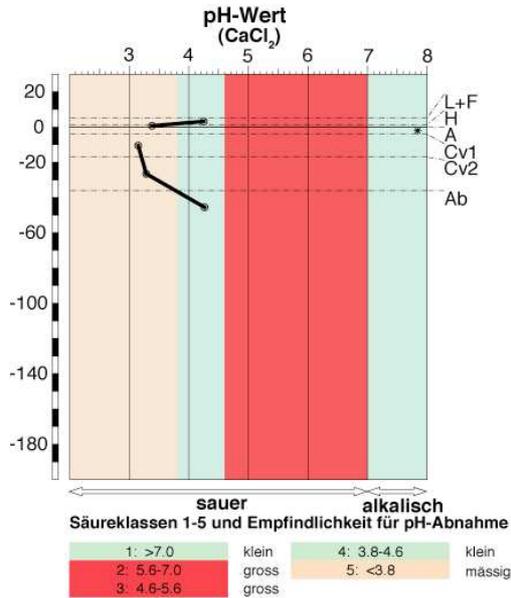


* fehlender Messwert

Horizont	N _{tot} (%)	C _{org} (%)	C/N
A	0.06	1.06	17.50
B	0.04	0.55	13.02
BcaCv	0.04	-	-

1.15. Profil 15

pH-Werte, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung, C/N-Verhältnis, Körnung



Horizont	N _{tot} (%)	C _{org} (%)	C/N
L+F	1.58	45.17	28.62
H	1.20	32.91	27.42
Cv1	0.05	0.55	11.91
Cv2	0.02	0.26	10.91
Ab	0.06	1.16	17.97

Horizont	Horizontgrenze		Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart
	untere	obere				
Cv1	4	13	35.25	51.2	13.55	Schluff-Lehm
Cv2	20	28	44.05	45.5	10.45	sandiger Lehm
Ab	45	55	43.5	40.5	16	sandiger Lehm

2. Handstücke Gesteine

Die Erklärung der geologischen Begriffe die in diesem Anhang zur Beschreibung der Gesteine gebraucht werden, erfolgte in Kapitel 3.1. Zusätzlich werden folgende Begriffe für die Gesteinstypen verwendet:

- Granit: Rekristallisation von Aufschmelzvorgängen vorhandener Gesteine. Körniges Gefüge (>1mm). Grösse der Gemengeteile jedoch sehr verschieden. Richtungsloses, kompaktes Gefüge (keine erkennbare Hohlräume). Quarz nie in seiner Kristallform, da bei der Erstarrung der Gesteinsschmelze als letzter ausgeschieden (Schumann, 2009)
- Gneis: Mittel- bis grobkörniges Umwandlungsprodukt, das durch physikalische und chemische Veränderungen hervorgerufen wurde. Mit ausgeprägtem Parallelgefüge. Der Feldspatgehalt liegt meist über 20% (Mineralienatlas, 28.12.2010, online)
- Rhyolith: Silikatische, dicht- bis feinkörnige, vulkanische Gesteine aus Quarz und Alkalifeldspat. Gelegentlich mit Einsprenglingen von Plagioklas und Biotit. Das Gefüge variiert von völlig kristallin über gemischte Formen bis zu rein glasig (Matthes, 2001; Mineralienatlas, 28.12.2010, online)
- Arkose: Sandsteine mit grösserem Gehalt (>25%) an Feldspäten (Matthes, 2001)
- Serizit: Feinschuppige Varietät des Muskovit (Matthes, 2001)

Weitere Angaben zu den folgenden Tabellen:

- Länge Schlüssel: 5.5 cm
- Für die Gesteinsarten des Münstertaler Kristallins und die Strathigraphie vgl. auch die Tabellen im Kapitel 2.1.2. Die Gesteinsarten sind entsprechend gekennzeichnet wenn sie sich auf Bezeichnungen von Dössegger (1970, 1974) (D), Hess (1953) (H) und Spitz und Dyhrenfurth (1914) (SD) beziehen.
- Die Bestimmung der Gesteine erfolgte teilweise durch Rücksprache mit Herrn Dr. Michael Plötze des Institutes für Geotechnik der ETH Zürich

2.1. Handstücke „GF“ der Begehung

GF 1

<p>Gesteinsart: Muskovit-Serizit-Schiefer (D), Quetschzone (SD), Paraschiefer (H) Strathigraphie: Münstertaler Kristallin Mittlere Abbildung: grün-graue, rostbraune Anwitterungsfarbe Rechte, obere Abbildung (ca. 7 cm): Risse zeigen die leichte Spaltbarkeit des Schiefers Rechte, untere Abbildung (ca. 5 cm): Leicht gefältelte Schieferung</p>
GF 2
<p>Gesteinsart: Muskovit-Kalifeldspat-Albitgneis (D), Muskovit-granitgneis (SD), Gneis Chiaro (H) Strathigraphie: Übergang vom Münstertaler Kristallin zum Verrukano Bemerkung: Kein Handstück vorhanden</p>

GF 3

Gesteinsart: Dolomit
 Strathigraphie: Hauptdolomit oder Turettas-Dolomit
 Bemerkung: Gerundete Kanten
 Linke Abbildung: Block (ca. 35 cm)
 Rechte Abbildung: Handstück aus Wurzelteller

GF 4

Gesteinsart: Rötlichbraune bis graue Muskovit-Serizit-Alkalifeldspatgneise ohne Augen (D)
 Strathigraphie: Übergang vom Münstertaler Kristallin zum Verrucano
 Linke Abbildung: Gesamtansicht
 Rechte Abbildung: Bruchkante mit rostbrauner Farbe

GF 5

Gesteinsart: Konglomerat mit Geröllen von korrodiertem Quarz (D)
 Strathigraphie: Verrucano, Ruina-Formation
 Linke Abbildung: An der Bruchkante erkennbare, grobkörnige Struktur mit unterschiedlich gefärbten Komponenten
 Rechte Abbildung: grosses integriertes Quarzgeröll

GF 6

Gesteinsart: graubrauner Buntsandstein (D, H)
 Strathigraphie: Fuorn-Formation
 Abbildung: grau-brauner karbonathaltiger Feinsandstein

GF 7

Gesteinsart: Grüner Rhyolith (D) oder grüner Sandstein (D)
 Strathigraphie: Verrucano, Ruina-Formation oder Chazforà-Formation
 Abbildung: Im Zentrum dunkelgrünes Gestein mit gerichteter Textur

GF 8

Schutt der Triassedimente (Buntsandstein, S-charl-Formation, Turettas-Dolomit, Arlberg-Dolomit) und des Verrucanos (Ruina-Formation)

GF 9

Gesteinsart: Grüner Rhyolith (D)
 Strathigraphie: Verrucano, Ruina-Formation
 Abbildung links und rechts: Grünes bis dunkelgrünes Gestein mit gerichteter Textur

GF 10

Streifenserizitschiefer (D, SD, H) der Ruina-Formation vom Typ GF 11 und 12

GF 11

Gesteinsart: Streifenserizitschiefer (D, SD, H) (intensiv ausgewalzt)
 Strathigraphie: Verrucano, Ruina-Formation
 Abbildung links: Unten Rechts ist die schiefrige Textur zu erkennen. In der Mitte dünner, rot-violetter „Streifen“.
 Gemäss Dössegger (1974) gelängtes und geplättetes Rhyolithgeröll.
 Abbildung rechts: Bild ohne Blitz. Die glänzig, metallisch schimmernde Oberfläche tritt weniger hervor

GF 12

Gesteinsart: Streifenserzitschiefer (D, SD, H) (intensiv ausgewalzt und verfältelt)

Strathigraphie: Verrucano, Ruina-Formation

Abbildung links und rechts: Deutlich gefältelte Textur. Die grünen und rot-violetten Streifen sind mit der Kamera sehr schwer zu erfassen und daher leider nur ansatzhalber zu erkennen.

GF 13

Gesteinsart: grauviolette Sandsteine (D), geschieferte Quarz-Serizit-Arkose (H). Ähnelt stark den Streifenserzitschiefern, jedoch ohne erkennbare „Streifen“.

Strathigraphie: Verrucano, Ruina-Formation

Abbildung links: hellbraune Verwitterungssubstanz auf Gesteinsoberfläche

Abbildung rechts: Gerichtete Textur auf der Bruchkante mit rostbrauner Anwitterung

GF 14

Gesteinsart: grauviolette Sandsteine (D), geschieferte Quarz-Serizit-Arkose (H). Weniger deutlich geschiefert wie GF 13

Strathigraphie: Verrucano, Ruina-Formation

Bemerkungen: Das Verwitterungsmaterial des Gesteins ist komplett weiss und metallisch schimmernd

Abbildung links: Angewitterte Oberfläche

Abbildung rechts: Das unverwitterte Gestein ist grau-violett mit gerichteter Textur

GF 15

Gesteinsart: Konglomerat von violetten Vulkaniten und grüngrauen Sandsteinen, Grundmasse: Feinbrekzie (D, 1974)

Strathigraphie: Verrucano, Chazforà-Formation (unterste Aufschlüsse (D, 1974)

Abbildung: Verschiedenfarbige Gerölle. Länge des violetten Gerölles im Zentrum des Bildes ca. 2 cm.

GF 16

Schutt der Triassedimente (Buntsandstein, S-charl-Formation, Turettas-Dolomit, Arlberg-Dolomit) und des Verrucanos (Chazforà-Formation)

GF 17.1, 17.2, P5

Gesteinsart: Grauviolette Grobsandsteine und Feinbrekzien (D)
 Strathigraphie: Verrucano, Chazforà-Formation (Unterste Aufschlüsse (Dössegger, 1974))
 Bemerkungen: bei allen Gesteinen sind geringfügige, rostbraune Verwitterungsspuren zu sehen. Dössegger (1974) beschreibt in den untersten Aufschlüssen nur Grobsandsteine. GF 17.2 und P5 sind von einer mittleren Körnung, werden aber vom Autor dieser Arbeit zu diesem Typ gezählt.
 Abbildung Oben links und rechts: Grauviolette Feinbrekzie, GF 17.1
 Abbildung Unten links mitte und rechts: grauviolette Sandsteine, GF 17.2 und P 5

GF 18

Grauviolette Sandsteine der unteren Chazforà-Formation (Verrucano) vom Typ GF 17.2

GF 19

Graue Sandsteine der Chazforà-Formation (Verrucano)

GF 20

Grüne Sandsteine der Chazforà-Formation (Verrucano) vom Typ GF 21

GF 21

Gesteinsart: Grüner Sandstein (D)
 Strathigraphie: Chazforà-Formation

GF 22, 23

Gesteinsart: Streifenserizitschiefer (D, SD, H) (weniger intensiv ausgewalzt)
 Strathigraphie: Verrucano, Ruina-Formation
 Abbildung: Gut zu sehen ist der violette „Streifen“. Gemäss Dössegger (1974) gelangte und geplättete Tuff- oder Ignimbritlegerölle

GF 24

Violette Silt- bis Feinsandsteine (D), rotviolette Serizitschiefer (H) der Chazforà-Formation (Verrucano) vom Typ GF 25.1

GF 25

Gesteinsarten GF 25 und 25.1: Konglomerat (D)/Bunter Verrucano (H) und Violette Silt- bis Feinsandsteine (D)/Rotviolette Serizitschiefer (H)
 Strathigraphie: Chazforà-Formation
 Abbildung mitte: grüner Sandstein mit Einschluss eines violetten Gerölls (GF 25)
 Abbildung rechts: violettes, feinkörniges Gestein (GF 25.1)

GF 26

Gesteinsart: Grüner Sandstein (D)
 Strathigraphie: Chazforà-Formation (D)
 Abbildung: Grüner fein- bis mittelkörniger Sandstein, der aussen braun anwittert (GF 26)

GF 27, 28

Gesteinsart: Grüne Grobsandsteine bis Feinbrekzien mit teilweise eingestreuten Quarzgerölln (D)
 Strathigraphie: Chazforà-Formation (Mittlere und obere Aufschlüsse (Dössegger, 1974))
 Abbildung links: Quarzgeröll (ca. 50 mm) in grüner Feinbrekzie oder Grobsandstein
 Abbildung rechts: grüne Feinbrekzie

GF 29

Gesteinsart: Violetter Feinsandstein (D)
 Strathigraphie: Verrucano, Chazforà-Formation

GF 30, 31	
Streifenserzitschiefer vom Typ GF 18	
GF 32	
Grüner Grobsandstein (D) der Chazforà-Formation (Verrucano) vom Typ GF 35	
GF 33	
	
<p>Gesteinsart: grauvioletter Schiefer Strathigraphie: Verrucano, Chazforà-Formation Abbildung links: Violettes Gestein mit sehr feinkörniger Matrix Abbildung rechts: Deutlich erkennbare Schieferung (Ausschnitt ca. 4 cm)</p>	
GF 34	
	
<p>Gesteinsart: Grüner Grobsandstein (D) Strathigraphie: Verrucano, Chazforà-Formation</p>	

2.2. Handstücke „P“ aus den Profilen

P1, P4, P4.1 aus den Profilen 1 und 4		
		
<p>Gesteinsart: Graue Sandsteine Strathigraphie: Verrucano, Chazforà-Formation Abbildung links und mitte: Graue Sandsteine, P1 und P4 Abbildung rechts: Grauer Sandstein mit braunen Verwitterungsspuren P 4.1</p>		

Gesteine aus Profil 2 und 10 (P2, P10)

Gesteinsart: grauviolette Feinsandsteine (D, 1974), violett-silbrige Serizit-Schiefer (D, 1970)
 Strathigraphie: Verrucano, Chazforà-Formation
 Abbildung links: Stark schwarz-braun anwitternde Oberfläche (P2)
 Abbildung rechts: grauviolette, geschieferte Oberfläche mit feinkörniger Matrix (P10)

Gestein aus Profil 11 (P11, P11.1, P11.2)

Gesteinsart: grauviolette Sandsteine und Streifenserizitschiefer (D), geschieferte Quarz-Serizit-Arkosen und Streifenserizitschiefer (H)
 Strathigraphie: Ruina-Formation
 Abbildung links: Braune Verwitterungsspuren (P11)
 Abbildung rechts: Braune Verwitterungsspuren, evtl. verwitterndes Geröll eines Streifenserizitschiefers (P11.1)
 Abbildung unten: verwitternder Streifenschiefer mit hellgrauer, toniger Verwitterungssubstanz (P11,2)

Gestein aus Profil 12 (P 12)

Gesteinsart: grauvioletter Sandsteine oder Feinbrekzie
 Strathigraphie: Ruina-Formation (evtl. Tpy GF 5) oder Chazforà-Formation
 Abbildung links: Braune Verwitterungsspuren in der Bruchkante
 Abbildung rechts: Gesamtansicht

2.3. Mineralogisch analysierte Gesteine „M“

M 4.1 Gestein aus Profil 4 aus 5 bis 30 cm	
	
Gesteinsart: Grauvioletter Sandstein (ca. 6 cm) Strathigraphie: Unterste Aufschlüsse Chazforà-Formation	
M 4.2 Gestein aus Profil 4 aus 165 bis 180 cm	
	
Gesteinsart: Grüner Sandstein Strathigraphie: Chazforà-Formation Bemerkung: deutlich rostbraune und schwarze Verwitterungsspuren	
M 6 Gestein aus Profil 6 aus 10 bis 25 cm	
	
Gesteinsart: Grauvioletter Sandstein Strathigraphie: Ruina-Formation oder unterste Aufschlüsse der Chazforà-Formation Bemerkung: deutliche rostbraune Verwitterungsspuren	

3. Karte Untersuchungsgebiet

Karte 1 (Nächste Seite): Übersicht über das Untersuchungsgebiet. Die Karte zeigt die Standorte der eigenen Stichprobepunkte, der Profile von Frey et al. (1998) und der eigenen Profile, sowie die Fundorte der Gesteinshandstücke (GF). Weiter sind die geologischen Formationen nach Dössegger (1970) und nach eigener Erkundung sowie geologische Ergänzungen nach Spitz und Dyhrenfurth (1915) eingezeichnet. Die Ausdehnungen der Teilgebiete 2 bis 4 dürften grösser sein, sie wurden jedoch nur dort eingezeichnet, wo die Anwesenheit der entsprechenden Merkmale durch die Begehung, Stichproben oder Profile belegt werden konnte. Für die Beschreibung der geologischen Formationen siehe Kapitel 2.1.2.

4. Poster

UNTERSUCHUNG DER BODENENTWICKLUNG UND MINERALOGIE AM NORDOST-ABHANG DES PIZ TURETTAS (BIOSFERA VAL MÜSTAIR)

Oliver Leisibach, Bachelorarbeit (2010)
Bachelorstudiengang 2007/10, Studienrichtung Umweltingenieurwesen
Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften

Einleitung

Bei Forschungsarbeiten im Münstertal konnte 1998 die Feinerde nicht zufriedenstellend in das bestehende Bodenklassifikationssystem eingegliedert werden [1]. Die Feinerde war bleich, wies eine tiefe Basensättigung auf und war an Nährstoffen verarmt. Selten traten braune Horizonte auf. Die Bodenanalysen fanden vollständig innerhalb einer geologischen Sackung unterhalb des Piz Turettas statt.

Fragestellung

Mit dieser Bachelorarbeit soll folgende Hypothese überprüft werden:

Der Waldboden in der geologischen Sackung hat sich auf vorverwittertem Gestein des Piz Turettas entwickelt. Dies erklärt die tiefe Basensättigung, die relative Nährstoffarmut und die profilumfassend bleiche Feinerde.

Die Hypothese wird innerhalb des Untersuchungsgebietes überprüft. Es umfasst die geologische Sackung und erstreckt sich vertikal von 1500 bis 2200 m ü.M. und horizontal von Valchava bis Tschier.

Methode

- Festhalten der geologischen Grundlage durch Begehung des Untersuchungsgebietes und mit Hilfe von Literatur
- 12 Bodenprofile an ausgewählten Standorten erstellen, morphologisch ansprechen und die Feinerde chemisch analysieren.
- Chemische Analysen der Feinerde: Bestimmung der austauschbaren Kationen mittels Extraktion (1.0 molare NH_4Cl -Lösung) und induktiv gekoppelter Plasma-Atom Emissions Spektroskopie. pH-Messung in 0.01 molarer CaCl_2 -Lösung
- Mineralogische Analysen der Feinerde und des dazugehörigen Gesteins mittels Röntgendiffraktometrie

Ergebnisse

1. Geologische Ausgangslage

- Die Gesteine innerhalb der Sackungsmasse bestehen aus ‚Verrucano‘, einem grünen, grauen und grau-violetten Sandstein des Perms [2].

2. Profilsprache

- Die meisten der erstellten Profile weisen eine profilumfassend bleiche und gefügelose Feinerde mit hohem Sand- und Schluffanteil auf.
- In einigen Profilen erschienen braune Horizonte oder kleinflächige Braunfärbungen, die mit der Anwesenheit von braun anwitternden Gesteinen übereinstimmte.

2. Analyse der Mineralogie

- Die Sandsteine des ‚Verrucano‘ weisen eine einfache mineralogische Zusammensetzung auf. Hauptbestandteile sind Quarz und Muskovit.
- Die Mineralogie der Feinerde ist ähnlich zusammengesetzt wie die der Gesteine.
- Illite dominieren die Tonminerale

Quellen

- [1] Frey, H.U., Bichsel, M., Preiswerk, T. (1998): Waldgesellschaften und Waldstandorte Graubündens, 6. Teil Unterengadin – Münstertal. Hrsg.: Forstinspektorat Graubünden, Chur
[2] Dösselger, R. (1974): Verrucano und Buntsandstein in den Unterengadiner Dolomiten

- In den Profilen mit braunen Färbungen treten in der Feinerde das Eisenoxid Hämatit und das eisenhaltige Klinochlor auf. Diese lithogenen (primären) Minerale konnten in den Gesteinen nicht nachgewiesen werden.



Abbildung 1: Profil mit lokal braun anwitternden Gesteinen und Braunfärbung der Feinerde

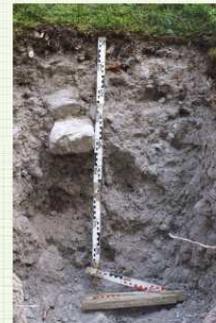


Abbildung 2: Profilumfassend bleiche Feinerde



Abbildung 1: Graues Sandstein des ‚Verrucano‘

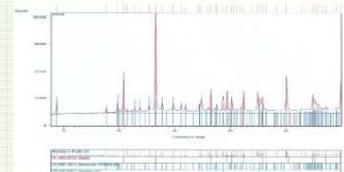


Abbildung 2: Das Röntgendiffraktogramm des grauen Sandsteins des ‚Verrucano‘ zeigt ausschließlich Muskovit und Quarz. Gestein wurde als Quarzsilicierung beigelegt

4. Chemische Analyse der Feinerde

Für die Mehrheit der Profile kann folgendes festgestellt werden:

- Kationenaustauschkapazität „sehr gering“ bis „extrem gering“
- pH-Werte im Bereich zwischen 3.5 und 4.5
- Nährstoffarmut (Ca, Mg, K) in der Mineralerde. Nur in der Auflage (L-, F-, H-Horizonte) sind sie in grösseren Mengen verfügbar.
- Basensättigungen sind „gering“ bis „sehr gering“

Schlussfolgerung

- Es sind keine grösseren Mengen an Mg oder Ca in den Mineralien der Gesteine vorhanden. Dies erklärt die Nährstoffarmut in der Feinerde.
- Die tiefen Kationenaustauschkapazitäten resultieren aus der Dominanz der Illite sowie dem hohen Sand- und Schluffgehalt der Feinerde.
- Die tiefen pH-Werte resultieren aus fehlenden effektiven Puffern wie karbonathaltigen Gesteinen und einem hohem Säureeintrag aus den schlecht abbaubaren Pflanzenresten (Nadelgehölze, Zwergstr.).
- Die braune Farbe resultiert aus einer Anreicherung von eisenhaltigen Mineralien in gewissen Gesteinen des ‚Verrucano‘. Sie konnten in den Gesteinen analytisch nicht nachgewiesen werden, es dürfte sich jedoch um Klinochlor (Chlorit) oder Biotit handeln (Literaturhinweise [2] und Feinerdanalyse).
- Der Boden wird als Rohboden mit lokal beginnender Verbraunung angesprochen

Oliver Leisibach 2010, Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, ZHAW