

**Depositionsmuster und bevorzugte Transportwege
für Sedimente im subalpinen Dolinenkarst
am Beispiel des Untersberg-Plateaus
(Berchtesgadener Alpen)**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
an der Fakultät für Geowissenschaften
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorgelegt von

Christine Mix

München, 07.03.2018

Erstgutachterin: Prof. Dr. Carola Küfmann

Zweitgutachter: Prof. Dr. Otfried Baume

Tag der mündlichen Prüfung: 18.07.2018

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Dissertation fokussiert die Bodenbildungsdynamik im subalpinen Dolinenkarst der tertiären Paläohochfläche des Untersbergs (1500 bis 1900 m) zwischen Salzburg (Österreich) und Berchtesgaden (Bayern, Deutschland) in den Nördlichen Kalkalpen. Ziel der Untersuchung ist es, die dominanten Steuerungsfaktoren der Bodengenese im Spannungsfeld zwischen äolischer Deposition und der Erosion von Bodensedimenten im System Doline zu ermitteln und somit die geomorphologisch-pedologische Prozessdynamik dieses Sonderstandortes insgesamt qualitativ und quantitativ zu erfassen. Dazu werden in repräsentativen Dolinentypen expositionsabhängig Bodenprofile entlang von Hangcatenen (Höhenintervall: 1765 bis 1805 m), sowie an qualitativ geomorphologisch differenzierten Referenzstandorten kartiert. Die Quantifizierung von Steuerfaktoren auf die Bodenentwicklungsdynamik findet über einen Zeitraum von zwei Geländejahren (Mai bis Oktober) statt. Dazu wird innerhalb der Testdolinen ein engmaschiges Messnetz aus Erosions- und Sedimentfängern installiert. Transport- und Sedimentationsmechanismen von der Doline über den Epikarst in das Höhlensystem sowie im Endokarst selbst werden in einer Vergleichsanalyse der Höhlensedimente erfasst. Diese werden aus den untersten Stockwerken (850 bis 1020 m) und nahe der Karstwasserbasis (680 m) entnommen. Anhand von karstsystemisch relevanten Laborkenngrößen der Sedimentproben (z. B. pH-Wert, Karbonatgehalt, Korngrößen, C/N, Elementanalysen, Mineralogie) werden bodengenetische Veränderungen auf der Plateaufläche markiert und geben Rückschlüsse auf die komplexe Eintragsdynamik in den unterirdischen Karstkörper.

Die Evaluierung der Felddaten belegt eine systematische Verteilung der Bodenhaupttypen mit Skeletthumusböden an den Dolinenrändern und Rendzinen in den Mittelhangbereichen. Die Bodentypen des Dolinengrundes werden überwiegend von Braunerde-Rendzinen besetzt, während ebene Flächenreste bevorzugte Standorte für äolisch geprägte Braunerden darstellen. Die äolische Prägung des Bodeninventars am Untersbergplateau wird eindeutig durch erhöhte Schluff- und Feinsanddominanz, sowie eine makroskopisch auffällige Glimmerführung in den Profilen markiert.

Dolinenränder und exponierte Kuppen im Glazio-Karstrelief stellen besonders begünstigte Depositionsstandorte dar. Hingegen tritt ein erhöhter Materialverlust verstärkt an den Dolinenböden auf, während Flächen-, Plateau- und Sattellagen die Böden vor Abtrag schützen. Die Ein- und Abtragsdynamik im subalpinen Dolinenkarst wird übergeordnet durch die vorherrschenden Vegetationsgesellschaften gesteuert, welche auch von der Dolinenposition abhängig ist. Ein weiterer Steuerfaktor ist das Mikrorelief und die Peripherie der Doline, da eine davon abhängige Schneedecken- und Niederschlagsverteilung festgestellt wird. Durch die verstärkte Schmelzwasserdynamik wird der Bodenabtrag in Dolinen deutlich erhöht. Die äolisch identifizierten Marker und mineralogischen Komponenten des Bodentypeninventars im Exokarst bleiben auch in den Höhlensedimenten und in den Trübstoffproben am Karst-

wasserquellaustritt nachweisbar. Damit wird schließlich dokumentiert, dass innerhalb von Karbonatkomplexen der Nördlichen Kalkalpen auch äolischer Staub und Staubsedimente einem Transportzyklus unterworfen sind.

Abstract

This paper deals with karst soil genesis on the Untersberg paleosurface (Germany, Austria, Northern Calcareous Alps). The main study aim is to investigate the dominante influencing factors of soil genesis between eolian sediment deposits and geomorphologic erosion processes on the karst surface. Field work firstly concentrates on soil sampling in predefined dolines along catenae and reference profiles across the subalpine zone (1,765 to 1,795m). Firstly, a two year monitoring (may to october) quantifies eolian sediments and eroded material with-in the doline system. Secondly, cave sediment sampling concentrates on horizontal corridors in levels of 850 to 1,020m and finally comprises the contact zone to the karst water base (680m). Moreover, significant parameters (e.g. pH value, calcium carbonate, grain size, C/N, distribution of elements, mineralogy) mark changes in soil genesis along the paleosurface and give evidence of dynamics of input into the subsurface karst.

First descriptive data show systematic distribution of soil types within dolines. Follic Histosols fill the dolinesides, whereas Rendzic Leptosols are mapped in the central slopes. On doline grounds Cambic Rendzic Leptosols are represented, Cambisols persist only on flat areas. Regarding grain size distribution, silt dominance and remarkable amounts of fine sand and the existence of mica these soil parameters characterize the soils on the surface and give clear evidence of eolian dust contributions. Their strong influence is located especially on doline sides and exposed summits. Firstly, dominant soil erosion processes concentrates on lower slope and doline ground fillings. Soil and soil generating substrata are stronger protected against erosion along flat surface positions or anticlinal structures separating doline rows or fields. According to slope position and aspect vegetation cover controls in- and output dynamics. Secondly, geomorphologic dimension of relief (meso-, microtopology) creates a highly variable spatial distribution of snowcover and rain precipitation. Thus snow melt dynamics during spring time on referred doline types increase clearly soil erosion. Additionally, striking macroscopic mica documents a major allochthonous component in subsurface karst sediments and suspended loads of karst spring waters. This obviously demonstrates a recent cycle of eolian dust within carbonate karst complexes in the Northern Calcareous Alps.

Vorwort und Dank

Die vorliegende Arbeit wurde extern an der Fakultät für Geowissenschaften, Lehrstuhl für Geographie und Landschaftsökologie eingereicht. Eine Finanzierung durch Drittmittel lag nicht vor. Somit war es nur möglich, dieses Vorhaben zu realisieren, indem ich meine eigene Stelle durch die berufliche Tätigkeit als Lehrerin an einer staatlichen Schule finanzierte. Die Gelände- und Laborarbeiten, aber auch die Vorarbeiten und Auswertungen fanden über mehrere Jahre hinweg an Wochenenden, dienstfreien Tagen oder in den Schulferien statt. Die Unterstützung folgender Personen hat wesentlich zur Realisierung dieses Forschungsvorhabens beigetragen:

Meiner Doktormutter Prof. Dr. Carola Küfmann danke ich von Herzen. Sie hat mich während meines Lehramtsstudiums stets mit Verstand und Gefühl beraten und den Weg zur Promotion aufgezeigt. Ihre unermüdliche Betreuung und Unterstützung bei der Themenentwicklung und Geländeauswahl trugen maßgeblich zum Entscheidungsprozess bei. Sie traute mir von Anfang an zu, das Vorhaben durchzuführen und stand mir uneingeschränkt in allen Phasen der Qualifikation zur Seite. Ihre kritischen Anmerkungen, aber auch ihr Verständnis für emotionale Belange waren mir über die Jahre hinweg eine wichtige Stütze. Unseren intensiven Austausch werde ich nie vergessen.

Herrn Prof. Dr. Otfried Baume danke ich sehr für seine Großzügigkeit. Wo auch immer sein Lehrstuhlhaushalt es zuließ, unterstützte er das Vorhaben. Dadurch war es mir erst möglich, die bodenkundlichen Standardanalysen an seinem Lehrstuhl durchzuführen. Darüber hinaus genehmigte er in der letzten Laborphase eine studentische Hilfskraft und finanzierte extern durchgeführte Analysen an der TU Weihenstephan.

Prof. Dr. Jörg Prietzel von der TU Weihenstephan danke ich für die kostenlose Durchführung der Elementaranalysen in seinem Bodenkundlabor. Er hatte mich im Rahmen der Promotionsvorprüfung im bodenkundlichen Bereich geprüft und stand meinem Vorhaben immer wohlwollend zur Seite. Ebenso danke ich Prof. Dr. A. G. Gilg (TU München) für die Durchführung der mineralogischen Analysen.

Der Laborassistentin Frau Karin Meisburger und dem Laborleiter Dr. Thomas Mayer am Institut für Geowissenschaften (LMU) gebührt mein Dank für die geduldige Einführung in die Laboranalysen. Sie passten sich, wo immer möglich, an meine knappen Stundenplanlücken an und unterstützten den Ablauf durch ihre Hilfsbereitschaft. Patrick Zens, der mich als studentische Hilfskraft zuletzt unterstützte, danke ich für sein korrektes Arbeiten und die schönen Gespräche zwischen den Fraktionen.

Mein ganz besonderer Dank geht an alle Höhlenforscher am Untersberg. Ihr unermüdliches Engagement auf der Suche nach dem Barbarossa-System und die Klärung der hydrologischen Zusammenhänge innerhalb der Höhlengangsysteme haben mich sehr beeindruckt. Dabei möchte ich besonders Herrn Johann Westhauser (Arge Bad Cannstatt) und Mag. Geologe Georg Zagler (VHK Salzburg) danken, die es ermöglichten, Höhlensedimente aus 900 m Tiefe

zu bergen. Ihr Forschungsfieber in den Tiefen des Untersberg, welches unentgeltlich und in ihrer Freizeit durchgeführt wurde, gab mir immer wieder die Kraft, meine Fragestellung an der Oberfläche zu bearbeiten. Die Begegnung mit der im Sommer 2015 während einer Forschungstour in der Mittagsscharte am Untersberg tödlich verunglückten Höhlenforscherin Sabine wird mir immer in Erinnerung bleiben. Sie begleitete mich bei einigen kleineren Höhlenfahrten und wies mich mit ihrer kraftvollen, lebendigen Art dennoch sehr gefühlvoll in die Unterwelt ein.

Den Mitarbeitern der Unterberg-Seilbahn, allen voran Philipp Zeilinger, danke ich für den oftmals kostenlosen Transport auf das Plateau und die aufmunternden Gespräche während den Fahrten. Hier erfuhr ich stets den aktuellen Stand der Untersberg-Höhlenforschung. An dieser Stelle sei auch Herrn Maximilian Mayr-Melnhof, Eigentümer des Salzburger Forstbetriebes, vertreten durch den Gutsverwalter Frank Diehl, für seine Zustimmung gedankt, auf der Plateaufläche am Untersberg ein Messnetz zu installieren.

Ein ganz herzlicher Dank gebührt meiner ehem. Kommilitonin und Freundin Frau Dr. Elisabeth Mayr. Sie verstand es, meine Zweifel und Unsicherheiten zu relativieren, und durch ihre eigenen Erfahrungsberichte mein Durchhaltevermögen im Promotionsverfahren aufrecht zu erhalten. Ohne ihre Hilfsbereitschaft hätte ich in mancher Sackgasse sehr viel länger verweilt.

Ebenso haben mich die Seminare und Gespräche im Rahmen des LMUMentoring unterstützt. Für die zweijährige Förderung bedanke ich mich sehr.

Meine Rektorin und Kollegin Frau Josephine Brunnhuber hat es über mehrere Jahre ermöglicht, mein reduziertes Stundendeputat auf wenige Wochentage zu konzentrieren, so dass mir Zeit und Luft für die Gelände- und Laborarbeit blieb.

Ein großes Merci für die gewissenhafte Korrektur des Manuskriptes geht an Uta, Manfred und Martin.

Meinem Jo danke ich für seine handwerklichen Lösungen in Gelände und Fels. Er hat mich über die letzten Jahre ohne Murren mit den Dolinen am Untersberg geteilt.

Meinem Vater, meiner Familie und meinen Freunden danke ich sehr, dass sie nie nachfragten, wann die Arbeit denn nun endlich fertig gestellt ist.

Inhalt

Kurzzusammenfassung	III
Abstract	IV
Vorwort und Dank	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	X
Kartenverzeichnis	XII
Fotoverzeichnis	XII
Abkürzungsverzeichnis	XIV
1. Einleitung	1
1.1 Stand der Forschung	2
1.2 Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise der Arbeit.....	9
2. Untersuchungsgebiet Untersberg	14
2.1 Geologie und Tektonik	15
2.2 Oberirdischer Karstformenschatz und Höhlensysteme	18
2.3 Klima und Hydrologie	27
2.4 Vegetation und Boden	31
3. Methoden	33
3.1 Geländearbeit.....	33
3.1.1 Bodenkartierung	33
3.1.2 Sedimenterosionsmessung	34
3.1.3 Flugstaubquantifizierung	36
3.1.4 Höhlensedimententnahme	39
3.1.5 Tropfstellenbeprobung	40
3.1.6 Trübstoffgewinnung.....	40
3.2 Laboranalysen	41
3.2.1 Gravimetrische Analysen	41
3.2.2 Chemische Untersuchungen	42
3.2.3 Physikalische Parameter	44
3.3 Klimadaten – Erhebung und Auswertung	45
3.4 Topographische Analyse	46
3.5 Vegetationskartierung	47
4. Ergebnisse	47
4.1 Bodenhaupttypen und ihre räumliche Verteilung im subalpinen Dolinenkarst	47
4.1.1 O/C-Böden.....	48
4.1.2 Rendzinen.....	56
4.1.3 Braunerde-Rendzina	61
4.1.4 Braunerde.....	65
4.1.5 Sonderformen – Braunerde-Pseudogley und Terra fusca-Rendzina	69
4.1.6 Mineralogie und Elementanalyse	72

4.1.7	Teilzusammenfassung Bodentypen und ihre Verteilung.....	77
4.2	Bodendynamik im System Dolinenhang	78
4.2.1	Exposition als Einflussfaktor von äolischer Deposition und Abtrag	78
4.2.2	Stofftransport innerhalb des Dolinensystems	83
4.2.3	Teilzusammenfassung Einflussfaktoren Hangcatena.....	83
4.3	Sedimenteintragim subalpinen Dolinenkarst	84
4.3.1	Quantitative Analyse in Abhängigkeit zu den dominanten Einflussfaktoren	85
4.3.2	Klimatische Steuerungsmechanismen des Sedimenteintrags.....	89
4.3.3	Teilzusammenfassung Einflussfaktoren des Sedimenteintrags.....	93
4.4	Sedimentabtrag.....	94
4.4.1	Quantifizierung des Sedimentabtrags	95
4.4.2	Einflussfaktoren des Sedimentabtrags	97
4.4.3	Teilzusammenfassung Einflussfaktoren des Sedimentverlusts	100
4.5	Bodentypen als Ergebnis der Ein- und Abtragsdynamik.....	100
4.6	Einflussgröße Bodenvegetation	106
4.7	Analyse der Höhlensedimente	111
4.7.1	Charakterisierung der Höhlensedimente.....	111
4.7.2	Epikarsteintrag und Austragsdynamik über den Quellaustritt – ein Überblick.....	115
5.	Diskussion und Bewertung.....	116
5.1	Bewertung der Ergebnisse zum Bodeninventar	117
5.2	Bewertung der Ergebnisse zur Staubquantifizierung	125
5.3.	Bewertung der Ergebnisse zur Abtragsquantifizierung	128
5.4	Bewertung der Ergebnisse der Höhlensedimentanalyse.....	132
6.	Zusammenfassung.....	135
7.	Ausblick.....	140
8.	Literaturverzeichnis.....	141
9.	Anhang.....	153
9.1	Dolinenbeschreibung	153
9.2	Bodenprofile und Kenndaten.....	171
9.3	Bodenprofile und Standortbeschreibungen an den Beprobungsstellen zum Sedimentabtrag.....	217
9.4	Bodenprofile und Standortbeschreibungen an den Beprobungsstellen zum Sedimenteintrag.....	221
9.5	Staubquantifizierung (Input).....	228
9.6	Quantifizierung des Sedimentabtrages (Output).....	233
9.7	Höhlensedimente, Lage und Kenndaten.....	236

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufriss Untersberg (Blickrichtung aus NW) mit Lage der Höhlengänge (ZAGLER 2016, S. 547), verändert.....	1
Abbildung 2: Hydrologie des subkutanen Epikarstes schematisch (nach WILLIAMS 1983 in PFEFFER 2010, S. 199, Ausschnitt)	6
Abbildung 3: Lage des Untersuchungsgebietes Untersberg (Quelle: Pechristener Austria location map.svg, verändert), Maßstab 1:1 000 000	15
Abbildung 4: Geologisches Profil der Untersbergscholle (HASEKE-KNAPCZYK 1989, S. 18).....	16
Abbildung 5: Geologische Karte und Stratigraphie des Untersberges, vereinfacht, nach PREY (1969) und SCHLAGER (1930). Quelle: ÖAV-Reihe Nr. 6, 2012, S.14	17
Abbildung 6: Dolinenhaupttypen (schematisch) mit Boden (grau) und Kluft-/Höhlensystem (schwarz)	20
Abbildung 7: Aufriss Kolowrat (Ausschnitt b aus a), Höhe farbig abgestuft (100hm / Farbwertwechsel), Stand: 8/2014;c) Probenentnahme Orktränke 02/2013: ZAGLER 2016, S. 457 (a) und Privat-Archiv G. Zagler (b, c).....	25
Abbildung 8: Seitenprojektion der Untersberg-Schachthöhle Riesending; Stand: 2014, Privat-Archiv J. Westhauser, Lage der Sedimentproben RD1-13gekennzeichnet	26
Abbildung 9: Klimadiagramme Untersberg-Plateau; Quelle: meteoblue (Simulationszeitraum: 1984 – 2017).....	29
Abbildung 10: Hydrologische Situation am Untersberg (Quellen, Brunnen und hypothetische, unterirdische Abflussbahnen (REISCHER et al. 2015, S. 69, modifiziert nach HASEKE-KNAPCZYK 1989)	30
Abbildung 11: Messung von Bodenumlagerung und Abtrag, Geländebeispiel HSF_6 (links) und Skizze (rechts, aus DIKAU 1988)	35
Abbildung 12: Ausgewerteter Datensatz zu Windrichtung und –geschwindigkeit, Messzeitraum 22.05.-28.05.2014	45
Abbildung 13: Beispiel eines Dolinenprofils (Doline D1) von Nord nach Süd	47
Abbildung 14: Chem. Kennwerte der Oh-Horizonte von Skeletthumusböden.....	51
Abbildung 15: Verlehmungsprodukte [%] der Humusaufgaben am Untersbergplateau, VL-Verlauf an Hangcatenen hervorgehoben (schwarze Rechtecke).....	53
Abbildung 16: Verteilungsmuster der O/C-Böden (n=32) innerhalb der Testdolinien D1-D5 (Gesamtprobenanzahl n=56).....	54
Abbildung 17: Chemische Kenngrößen der Ah, Ah(xC) und Ah+Bv-Horizonte an Rendzinen	57
Abbildung 18: Verteilungsmuster der Rendzinen (n=26) im Untersuchungsgebiet	60
Abbildung 19: Chemische Kennwerte an Braunerde-Rendzina-Profilen	62
Abbildung 20: Korngrößenverteilung ausgewählter Braunerde-Rendzina Unterböden am Untersbergplateau	63
Abbildung 21: Verteilung der Braunerde-Rendzinen innerhalb des subalpinen Dolinenkarst am Untersbergplateau	64
Abbildung 22: Ausgewählte Kenngrößen an Braunerde-Horizonten.....	67
Abbildung 23: Korngrößenverteilung an Braunerde-Horizonten.....	68
Abbildung 24: Korngrößenverteilung an Terra fusca-Rendzina (D19) und Pseudogley- Horizonten (D9)	70
Abbildung 25: Röntgendiffraktogramm an Pulver- und Texturpräparaten von Bv- und Bv-(T)-Horizonten (D16: C1.0, D19: C5.2), M. Köster TU München	75

Abbildung 26: C _{org} und org. Substanz in [%] in Oh / Ah-Horizonten entlang von Hangcatenen in Abhängigkeit der Hauptexposition am Beispiel D1.....	79
Abbildung 27: C _{org} -Gehalt und org. Substanz in [%] in Oh / Ah-Horizonten entlang von Hangcatenen in Abhängigkeit der Hauptexposition an Beispieldolinen D2 und D4	81
Abbildung 28: Schnittlinie Nord-Süd, Doline D2 (beachte Darstellungsproblematik Rastergröße 1m)	81
Abbildung 29: C _{org} -Gehalt und org. Substanz in [%] in Oh / Ah-Horizonten entlang von Hangcatenen in Abhängigkeit der Hauptexposition an Beispieldolinen D3 und D5	82
Abbildung 30: Schnittlinien West-Ost, Dolinen D3 und D5, Hanglänge West beschriftet	82
Abbildung 31: Sedimenteintrag an den Messstationen der Geländejahre (Juni bis Oktober) 2014 und 2015 (mittlere Tagesraten mg/d gebildet aus n=4-9 Messungen pro Standort und Messjahr)	85
Abbildung 32: Sedimenteintrag [g] an ausgewählten Messeinrichtungen, Hochsommer bis Herbst der Jahre 2014 und 2015	86
Abbildung 33: Sedimenteintrag pro Messintervall innerhalb eines Dolinensystems (Doline 1), Untersbergplateau	87
Abbildung 34: Windtätigkeit Geiereck Untersberg 22.05.-09.08.14 (links), 16.6.-29.10.15 (rechts) ...	89
Abbildung 35: Mittlere Tagesraten [mg/d] pro Geländesaison in Abhängigkeit zur Exposition.....	90
Abbildung 36: Windrichtung- und -geschwindigkeit Untersbergplateau, meteoblue Simulation 1984-2017.....	90
Abbildung 37: Vergleichende Niederschlagsmengen ausgewählter Messintervalle	91
Abbildung 38: Variable Niederschlagsmengen [mm] an Depositionsstandorten, ausgewählte Messintervalle (2015).....	92
Abbildung 39: Erosionsraten [mg/d] ausgewählter Messstationen im Verlauf.....	96
Abbildung 40: Abtragsdynamik in Dolinen in Abhängigkeit zum Vegetationsbedeckungsgrad	98
Abbildung 41: Einflussfaktoren und übergeordnete Abhängigkeiten der Ein- und Abtragsdynamik im subalpinen Dolinenkarst.....	105
Abbildung 42: Korngrößenverteilung an Mischproben kartierter Höhlensedimente.....	112
Abbildung 43: Korngrößenverteilung innerhalb der Stechproben aus den Höhlensystemen Riesending und Kolowrat-Salzburger Schacht	115

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Charakteristika von Dolinenhaupttypen im Untersuchungsgebiet (MIX & KÜFMANN 2014) .	19
Tabelle 2: Morphologisch-topographische Bedingungen in Dolinentypen und ihre Folgen	21
Tabelle 3: Lage und Kurzcharakteristik der Test- und Referenzdolinen (Catenenbeprobung)	22
Tabelle 4: Lage und Kurzcharakteristik der Referenzprofile (Einzelprofile)	22
Tabelle 5: Lage der Sedimentproben und Probenentnahmetiefe aus dem Riesending-Schachtsystem (Privat-Archiv J. Westhauser)	27
Tabelle 6: Zusammenschau Klimadatenerhebung Untersbergplateau ab 1884-2017.....	28
Tabelle 7: Lage und charakteristische Standortfaktoren der Sedimenterosions-Messstellen	36
Tabelle 8: Messintervalle der Erosions- und Flugstaubmessstellen im Geländejahr 2014 und 2015...	38
Tabelle 9: Lage und Kurzcharakteristik der Messstellen zur Flugstauberfassung.....	39
Tabelle 10: Diagnostische Merkmale der Rendzina-Subtypen, Quelle: Österreichische Bodensystematik (2011).....	49
Tabelle 11: Mittelwerte laboranalytischer Kenngrößen der org. Auflagen an O/C-Profilen	50

Tabelle 12: Verteilungsmuster und Standortfaktoren der O/C-Böden an Referenz- und Messstationprofilen	54
Tabelle 13: Mittelwerte laboranalytischer Kenngrößengeringmächtiger Oh- und Ah-Horizonte an Rendzinen	57
Tabelle 14: Bodenhorizontfarbe an Rendzinen (Oh, Ah, Ah+Bv, Ah-Bv-Horizonte) in Abhängigkeit des Standortes	58
Tabelle 15: Verteilung der Übergangs- und Verzahnungshorizonte	59
Tabelle 16: Chemische Kenngrößen der Braunerde-Rendzinen	62
Tabelle 17: Chemische Kenngrößen an Braunerde-Horizonten.....	66
Tabelle 18: Mineralanalytische Werte an ausgewählten Bodenhorizonten, rel. Häufigkeit in [%], Methode RDA, M.Köster, TU München.....	73
Tabelle 19: Tonminerale, semi-qualitativ (Methode: RDA), M. Köster, TU München	74
Tabelle 20: Tonminerale, quantitativ (Methode: RDA) in [%], M. Köster, TU München	74
Tabelle 21: Elementanalysen an ausgewählten Dolinensedimenten in [mg/g].....	76
Tabelle 22: org. Substanz und C _{org} -Werte (%) entlang von Hangcatenen im zentralen Untersuchungsgebiet	78
Tabelle 23: pH-Mittelwerte (CaCO ₃ [%]) an Dolinenhangpositionen in Abhängigkeit zur Exposition ..	83
Tabelle 24: Lage und Kurzcharakteristik der Sedimentfallen im subalpinen Dolinenkarst.....	84
Tabelle 25: Tagesmittelwerte der Sedimentfänger im Messverlauf der Geländejahre 2014 und 2015 (Maximalwerte grau schattiert)	88
Tabelle 26: Korrelationskoeffizienten r zur Beschreibung des linearen Zusammenhangs zwischen Staubrate [mg/d] und der Anzahl an 30-minütigen Windevents pro beprobten Richtungssektor (n=9)	91
Tabelle 27: Korrelationskoeffizienten r zur Beschreibung des linearen Zusammenhangs zwischen Niederschlagsmenge [mm] und Staubmenge [mg] an Dolinenpositionen	93
Tabelle 28: Lage und Kurzcharakteristik der Erosionsmessstellen im Untersuchungsgebiet Untersberg	94
Tabelle 29: Mittlere Sedimentabtragsraten [mg/d] an Messstationen im Geländejahr 2014 und 2015	95
Tabelle 30: C _{tot} -Gehalt [%] von Erosionsproben und org. Auflagen an ausgewählten Dolinenstandorten	96
Tabelle 31: Korrelationskoeffizient r zur Beschreibung des einfachen linearen Zusammenhangs zwischen Abtragsrate [mg/d] und gefallenem Niederschlag [mm] pro Intervall an den Messstellen .	97
Tabelle 32: Ausgewählte Kenngrößen der Bodentypen an den Messstandorten zum Sedimenteintrag	101
Tabelle 33: Charakteristika ausgewählter Bodenstandorte in den Testdolinien D1-D5 in Luv-Lee Positionen.....	102
Tabelle 34: Ausgewählte Kenngrößen an Referenzprofilen in Luv-/Lee-Positionen am Untersbergplateau	102
Tabelle 35: Ausgewählte Kenngrößen der Bodentypen an den Bodenerosionsmessstellen	103
Tabelle 36: Ausgewählte Kenngrößen an Bodenprofilen der Rand-, Mittelhang-, und Dolinenbodenpositionen.....	104
Tabelle 37: Artenzusammensetzung der Blaugras-Horstseggen-Variationen am Untersbergplateau	107
Tabelle 38: Vegetationszusammensetzung des Kalksteinschneebodenrasens (<i>Arabidetum caerulea</i>)	109
Tabelle 39: Standortfaktoren und ihre Folgen auf Vegetation und Bodentyp.....	109

Tabelle 40: Auswirkungen von Standortfaktoren auf Vegetation und Bodentyp im Dolinenhang	110
Tabelle 41: Auftreten der <i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i> -Ausprägungen am Bodenstandort in Abhängigkeit zur Exposition	110
Tabelle 42: Chemische Kennwerte der kartierten Höhlensedimente (Mischproben) am Untersberg	112
Tabelle 43: Elementanalysen an ausgewählten Höhlensedimentproben (Untersberg)	113
Tabelle 44: Chemische Kennwerte an Stechprofilen aus dem Riesending- und Kolowrat-Höhlensystem	114
Tabelle 45: Gesamtelementgehalt der Trübstoffprobe aus dem Fürstenbrunner Quellwasser, Untersberg.....	116
Tabelle 46: Eintragsraten an ausgewählten Hochplateaus der Berchtesgadener Alpen	127

Kartenverzeichnis

Karte 1: Lage der Testdolinien und Einzelprofile auf dem Untersberg-Plateau (SAGIS).....	23
Karte 2: Lage der Messeinrichtungen in den Testdolinien, zentrales UG am Untersberg-Plateau	38
Karte 3: Lage der Sedimentfallen für die äolische Deposition auf den Testflächen	84
Karte 4: Lage und Bezeichnung der Erosionsfänger (violette Punkte) in den Dolinen D1 bis D4	94

Fotoverzeichnis

Foto 1: Charakteristisches Glazio-Karstrelief zwischen Salzburger Hochthron und Berchtesgadener Hochthron	18
Foto 2: Latschenbesetzte Hochfläche im Wechsel mit alpinen Matten (vorne links) und Dolinen (vorne rechts), Blickrichtung nach NE	32
Foto 3: Messstelle Steilwand (RTK_1, links) und felsdurchsetzter Hangbereich (RTK_3, rechts).....	36
Foto 4: Flugstauberfassung im Gelände: Sammelgefäß mit Rasenmatte (links) und Verdunstungsschutz (rechts).....	37
Foto 5: Messaufbau Epikarst-Tropfstelle Wintereinstieg Kolowrathöhlensystem (1339/1)	41
Foto 6: Selbstkonstruierter Niederschlagsmesser nach REISCHER et al. 2015 (links); Lee-seitige Lage der Tempis-Wetterstation an der Bergstation Geiereck unterhalb des Gipfelkreuzes (rechts)	46
Foto 7: Moderrendzina, Pechrendzina, alpine Protorendzina (v. links nach rechts) im Dolinenkarst..	52
Foto 8: Rendzinen mit skeletthaltigem Ah-Horizont (links) und Ah+Bv-Horizont (rechts)	59
Foto 9: Vegetationsbedingte Ungunstbereiche für die äolische Deposition an Dolinenrändern (Ellipse)	61
Foto 10: Braunerde-Rendzinen in Sattellage (links) und am Dolinenboden, leicht bis mittelstark pseudovergleyt (rechts)	65
Foto 11: Braunerdeprofile –D1_N_Rand, D2_N_Rand, D16 (von links nach rechts)	66
Foto 12: Braunerde-Pseudogley mit Podsolmerkmalen (links) und Terra fusca-Rendzina als Kluffüllung (rechts).....	71
Foto 13: Kolluvium Terra-Material mit Stauwasservorkommen zwischen Guter Hirt und Salzburger Hochthron	72
Foto 14: Südostabstürze Plateaurand, im Hintergrund Berchtesgadener Hochthron (Pfeil, links), Detailaufnahme Wandfuß der Südostabstürze (Vogelperspektive) mit rötlichen Verwitterungsböden aus Karstbauxit (rechts).....	75

Foto 15: Expositionsabhängige Schneesituation im Dolinenkarst am Untersberg (Dolinen D1), Schneelager Ende Juni 2014 (BR nach SW, Westhang gekennzeichnet).....	80
Foto 16: Erster Schneefall Ende Oktober 2015 im Dolinenkarst am Untersberg (Doline D1), (BR nach SE, West-hang gekennzeichnet)	80
Foto 17: Verteilungssituation der Sedimentfänger in Doline D1, DSK_D außerhalb des Bildausschnittes am gegenüberliegenden Hang	88
Foto 18: Sedimentfänger HSF_2A (links), RTK_2 (rechts), zentrales Untersuchungsgebiet Untersbergplateau	98
Foto 19: Bodenversatz am Erosionsstandort HSF_5, Doline 2, 13.08 2015 (links), Hangneigungswechsel an Messstelle RTK_3 / RTK_3A (rechts).....	99
Foto 20: Südwestexponierter Hangabschnitt Doline 4 mit solifluidal-gravitativem Bodenversatz (Aufnahme: Juni 2015)	106
Foto 21: <i>Arabidetum caerulea</i> an Doline 1 (Bodenprofil D1_S_Boden), Charakterart gekennzeichnet (Pfeil)	109
Foto 22: Probenentnahmestelle RD_28 (links), RD_4 (rechts); Spachtel und Messer als Größenvergleich, Quelle: Privatarchiv J. Westhauser (2013)	113
Foto 23: Stechprobe Kolowratsystem (a); Stechprobe Riesending RD_23 (b), RD_21 (c)	114
Foto 24: Wasseransammlung am zentralen Plateau (li.), Detailaufnahme Wasserstand (re.)	125
Foto 25: Ehemals subkutane Karstformen (Pfeil) auf dem zentralen Plateau am Untersberg.....	131

Soweit nicht anders vermerkt, stammen alle Fotoaufnahmen von der Verfasserin.

Abkürzungsverzeichnis

Geographie:

Haupt-Himmelsrichtungen

N, E/O, S, W: Nord(en), Ost(en), Süd(en), West(en)

Nebenhimmelsrichtungen

NE, SE, SW, NW: Nordost(en), Südost(en), Südwest(en), Nordwest(en)

NNW, NNE: Nordnordost(en), Nordnordwest(en)

ENE, ESE: Ostnordost(en), Ostsüdost(en)

SSE, SSW: Südsüdost(en), Südsüdwest(en)

WSW, WNW: Westsüdwest(en), Westnordwest(en)

Bodenkunde:

S: Sand

U: Schluff

T: Ton

g: Grob-

m: Mittel-

f: Fein-

Su2: schwach schluffiger Sand

Su3: mittelschluffiger Sand

Su4: stark schluffiger Sand

Uu: reiner Schluff

Us: sandiger Schluff

Ut2: schwach toniger Schluff

Lts: mittel toniger Lehm

org. Substanz: organische Substanz

GV: Glühverlust

VL: Verlehmungsprodukt

Elemente:

Al: Aluminium

Ca: Calcium

Fe: Eisen

K: Kalium

Mg: Magnesium

Mn: Mangan

Na: Natrium

P: Phosphor

Si: Silizium

Sonstiges:

UG: Untersuchungsgebiet

Gew.-%: Gewichtsprozent

Vol.-%: Volumenprozent

Rel.-%: Relativprozent

Pinus mugo lat. Bezeichnung für Bergkiefer, Synonyme in dieser Arbeit: Legföhre, Latschenkiefer, Latsche

Synonym Dolinenzentrum, Dolinentiefstes, Dolinengrund, Dolinenboden

1. Einleitung

Dolinen stellen bevorzugte Ablagerungsräume für Sedimente und kolluviale Füllungen unterschiedlicher Genese, und somit wertvolle Archive für die Landschaftsentwicklung dar (Alpen; Dinariden: SAURO et al. 2009, GRÜGER & JERZ 2010; BALLUT & FAIVRE 2012). Aufgrund ihrer Funktion als zentripetale Versickerungsstelle (WILLIAMS 1985) und ihres genetischen Zusammenhanges mit dem Karstuntergrund (Stichwort: Epikarst) findet auch Abtransport und Materialverlust statt. Diesem Abtragsprozess in Dolinen steht ein kontinuierlicher Input von autochthonem und allochthonem Material gegenüber. Organisches Material (allochthon/äolisch und autochthon, vgl. BOCHTER 1981) und die mineralische Residualkomponente aus der Karbonatverwitterung liefern in Kombination mit umgelagerten Lössdecken aus dem Periglazial der pleistozänen Eiszeiten (VEIT 2002, ARTMANN & VÖLKELE 1999) bodenbildende Substrate. Neueste Forschungen zu äolisch geprägten Böden auf den Hochflächen der Nördlichen Kalkalpen weisen auch rezente Flugstäube als Einflussgrößen in Böden des Hochkarstes aus (KÜFMANN 2008b, DUFFY 2011). Diese äolische Komponente muss im Bodenabtrags-system des Sonderstandortes Doline zusätzlich berücksichtigt werden. In Kombination mit tertiären Verwitterungsmaterialien (Bauxite, bauxitartige Bildungen, Rotlehme, im speziellen Terraes rossae) und Resten der Augensteinüberdeckung (z. B. RIEDL 1966) steht sowohl für Bodenbildung und –weiterentwicklung, aber auch den Materialverlust über das System Doline ein differenziertes Substratsortiment zur Verfügung.

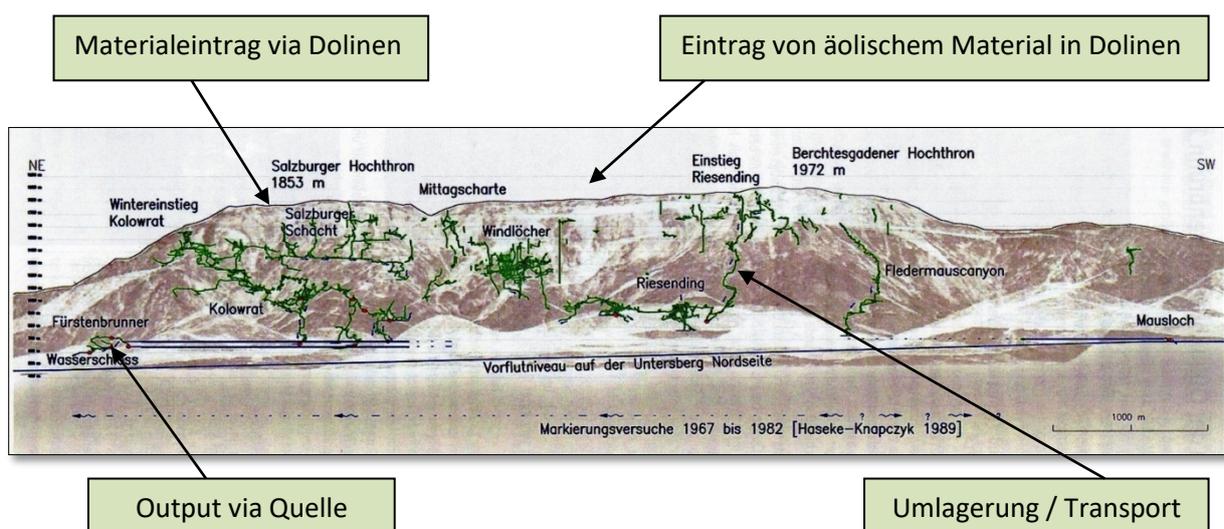


Abbildung 1: Aufriss Untersberg (Blickrichtung aus NW) mit Lage der Höhlengänge (ZAGLER 2016, S. 547), verändert.

Über Karstwässer und Quellen am Fuß der Karbonatkomplexe tritt das Material (autochthon / allochthon) in Form von Trübe erneut aus (z. B. FORD & WILLIAMS 1989, 2007, GOLDSCHNEIDER et al. 2010, LERCH 2011). Dadurch zeigt sich nicht nur die Doline als dynamisches System von Sedimentin- und -output, sondern übergeordnet auch die kalkalpinen Gebirgskomplexe mit Plateaucharakter (vgl. *Abb.1*, S. 1).

Der Untersberg bei Salzburg stellt aufgrund seiner Ausstattung (dolinendurchsetzte Plateaufläche, zugängliche, gut erforschte Höhlengänge, Karstquelle) ein ideales Untersuchungsgebiet für die Sedimentdynamik innerhalb der unterschiedlichen Naturräume dar.

Die dabei ineinandergreifenden Ablagerungs-, Eintrags- und Umlagerungsprozesse wurden von geowissenschaftlichen Forschungsrichtungen (Karst-Geomorphologie, Pedologie, Epikarst-forschung, Speläologie, Karsthydrologie) mit unterschiedlichen Schwerpunkten bearbeitet.

1.1 Stand der Forschung

Dolinen als Sedimentfallen im karstmorphologischen System

Dolinen als Leitformen der Verkarstung (PFEFFER 1978, 2010) sind in zahlreichen regionalen Arbeiten im Alpenraum von der subalpinen bis zur subnivalen Höhenstufe registriert (z. B. DISTEL & SCHECK 1911, HASERODT 1965, ZWITTKOVITS 1966, FINK 1976, WEINGARTNER 1983, RUTTNER 1994, MIX & KÜFMANN 2011). Im nackten Hochkarst dominiert eine Formenvielfalt aus trichterförmigen Lösungs- und steilwandigen Einsturzdolinen, deren Modifizierung vom jeweiligen Idealtypus durch die Kombination geologisch-tektonischer, klimatologisch-hydrologischer und pedologischer Parameter gesteuert wird (SWEETING 1972, GAMS 1973, PFEFFER 1978).

Aufgrund ihrer stark variablen Reliefformen (DENIZMAN 2003, ŠUŠTERŠIĆ 2006, PENTÉK et al. 2007) und räumlich konzentrierten Verteilung sind Dolinen auch im Gebirgskarst bevorzugte Ablagerungsräume für Sedimente und kolluviale Füllungen unterschiedlicher Genese (SAURO et al. 2009, GRÜGER & JERZ 2010, BALLUT & FAIVRE 2012). Diese bodengenetische Gunstsituation in einer sonst klimatisch-geologisch unterentwickelten Bodenlandschaft im Gebirge wird aktuell in den Regionen der Alpen und Dinariden belegt.

Besonders im Hochkarst der Nördlichen Kalkalpen kennzeichnen rezente Stäube die Bodenkolluvien und damit die mikrotopographische Sonderstellung der Doline als Sedimentations-

falle und Ablagerungsraum zugleich. Dies belegen jüngste Untersuchungen zur äolischen Dynamik in der alpinen und oberen subalpinen Stufe (Reiteralpe, Zugspitzplatt, Karwendelgebirge: HÜTTL 1999, KÜFMANN 2003, 2008a, 2008b, DUFFY 2011). Dolinen wurden bei diesen Untersuchungen allerdings nur untergeordnet miteinbezogen.

Inwieweit die Formgestaltung der Doline sowie die Kompartimente Dolinhang/Dolinenzentrum die Sedimentablagerung steuert, ist noch unklar. Während auf der Reiteralpe (Berchtesgadener Alpen) eine bevorzugte Akkumulation am Dolinengrund (DUFFY 2011) festgestellt wird, kann im Karwendelgebirge (KÜFMANN 2008b) hingegen durch die kartierten Polsterrendzinen am Dolinenboden diese Dynamik nicht nachvollzogen werden. Offenbar wird hier das Gros der Sedimente durch kanalisierte Schmelzwassermengen in den Karstuntergrund ausgespült. Dieses Beispiel zeigt die bisher noch wenig beachtete Wichtigkeit der sekundären Transportmechanismen von Stäuben und Bodensubstrat innerhalb von Dolinen. Einzelne Kartierungen der Dolinenausstattung (KÜFMANN 2008b, MIX & KÜFMANN 2011) weisen darauf hin, dass die winterliche Schneedeckenverteilung, angezeigt durch das Vorherrschen von Schneetälchenvegetation (Gänsekresse-Schneeboden mit *Arabidetum caeruleae*), aber auch perennierende Schneeflecken mit den Teilprozessen der Nivation nicht nur in der Primärdeposition, sondern auch in der sekundären Transportbewegung steuern.

Diese hydrologisch-ökologischen Besonderheiten sind auch Gegenstand der aktuellen Dolinenforschung außerhalb der Gebirgsregionen. So zeigen Vegetationskartierungen in Südnugarn, dass Dolinen in Abhängigkeit zu ihrer Größe eiszeitliche Relikte sowie Berg- und Feuchtwald-Pflanzenarten beheimaten (BÁTORI et al. 2012). Zudem korreliert die räumliche Verteilung von Vegetations- und Bodenfeuchtemustern in Dolinen mit deren morphometrischer Weiterentwicklung (RUTTNER 1994, BÁRÁNY-KEVEI 1997, MIX & KÜFMANN 2011).

Da Wasser durch Karbonatlösung und chemische Mineralverwitterung die Bodensubstratbildung aus den eingetragenen Stäuben und Sedimenten in Gang setzt, muss die Doline im Hochkarst zukünftig verstärkt auch als Mikrostandort der Wasserverfügbarkeit betrachtet werden. Erste Kartierergebnisse dazu im Zahmen Kaiser (Österreich) weisen insbesondere die Dolinenperipherie als Regelfaktor für die Verteilung von karsthydrologisch-wirksamen Schneeflecken aus (MIX & KÜFMANN 2011). Dichter Latschenbewuchs (*Pinus mugo*, *Mugetum*) und alpine Rasengesellschaften (*Seslerio-Caricetum sempervirentis*) im Wechsel schaffen in Kombination mit den geologisch-tektonischen Ausgangsbedingungen mikrotopologische Depositions- und saisonale Konservierungsbedingungen für Schnee. Dadurch kann Dolinen-

genese progressiv, durch die Akkumulation von allochthonen Silikatstäuben aber auch regressiv sein, da Tonverlagerungsmerkmale in Bodenprofilen eine Kolmatierung der karstwasser- und lösungsaktiven Klüfte in den Übergang zum Epikarst anzeigen (MIX & KÜFMANN 2011).

Dolinen als System von Transport und Substratverlagerung

Dolinen filtern und verlagern eingetragenes Material in den Untergrund. Untersuchungen an zwei Bodenprofilen in benachbarten Dolinen (venezianische Voralpen, Italien) zeigen, dass vor allem Schluff und Ton durch Bodenwasser innerhalb der Bodenprofile ausgewaschen wird (SAURO et al. 2009). Der Abtransport von Boden, aber auch äolischen Substraten wird im Alpenraum mit einem gut entwickeltem Kluftnetz im Untergrund (Epikarst) konstatiert (KÜFMANN 2008b, MIX & KÜFMANN 2011). Allerdings fehlt bisher eine Quantifizierung des umgelagerten Materials an Dolinenhängen und während des sekundären Weitertransportes zum Dolinengrund.

Aktuell steht die Schneedecke als Steuerungsfaktor für den Abtransport von Substrat in den Dolinenuntergrund im Fokus. Im Hinblick auf die Dolinentransformation stellt sie durch erhöhte Schmelzwassermengen und eine damit verstärkte Kalklösung den Motor für diesen Prozess dar. In der subalpinen Höhenstufe zeichnet besonders die vegetations- und bodenkundliche Ausstattung in Dolinen die Akkumulations- und Depositionsmuster von Schnee nach (MIX & KÜFMANN 2011). Ob und in wieweit die Schneedecke maßgeblich den Abtransport von bodenbildendem Substrat und äolischem Staub auf bewachsenen Dolinenhängen steuert, ist noch unklar.

Auch die aktuelle Bodenerosionsforschung im Alpenraum liefert dazu wenige brauchbare Vergleichsdaten für den speziellen Hangbereich der Dolinen, da sich die Vielzahl der Untersuchungen auf den flächenhaften Bodenverlust an Wiesen- und Weideflächen in der montanen bis alpinen Stufe (ALEWELL et al. 2008, MERZ et al. 2009, MEUSBURGER et al. 2010) und starkniederschlagsinduzierte Erdrutsche (WIEGAND et al. 2013) konzentriert. In einer Zusammenschau der bisherigen Studien verdeutlichen WIEGAND & GEITNER (2010, 2010a), dass die steuernden Parameter (Topographie, klimatische und geologische Bedingungen, Boden, Vegetation, Nutzung) auf Grund der regionalen Unterschiede und dem jeweiligen fachspezifischen Fokus jedoch verschieden gewichtet werden. Dies macht eine Ableitung von Grenzwerten sowie ein allgemeines Prozessverständnis kaum möglich. Grundlegende Erkenntnisse zum Abflussverhalten alpiner Böden und Vegetationseinheiten (FELIX & JOHANNES 1995), eine

daraus resultierende Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes bei Starkregen (KOHL 1996, MARKART & KOHL 1995, MARKART et al. 1996, MARKART et al. 2004, 2006) und die Ergebnisse zur Abflussmenge samt Sedimentfracht unterschiedlich genutzter Boden- und Vegetationskomplexe auf Wald- und Wiesenflächen (KOHL et al. 2002) lassen sich nicht mit Dolinenhängen in der subalpinen bis alpinen Höhenstufe vergleichen, da deren Steuerungsfaktoren Neigung, Exposition und Hangausstattung stark variieren.

Damit bleibt der Prozess des Substrattransportes auf bewachsenen Dolinenhängen in den verkarsteten Bereichen der Nördlichen Kalkalpen weitgehend unbekannt. Die Datensätze aus bestehenden Denudationsstudien zu übertragen, erscheint allein auf Grund der Tatsache, dass in Dolinen durch ihre spezielle Topographie äußerst differenzierte hydrologische Verhältnisse vorherrschen, nicht statthaft. Schließlich fehlt eine Quantifizierung der Abtrags- und Umlagerungsraten von Bodenmaterial in unterschiedlichen Dolinentypen der subalpinen und alpinen Höhenstufe. Auch die qualitative Analyse des abgetragenen Materials in Dolinen im Alpenraum bleibt bisher unberücksichtigt.

Genetischer Zusammenhang Doline – Epikarst und dessen Funktion im Sedimenteintrag

Das Auftreten von Dolinen im oberirdischen Karst steht im geomorphogenetischen Zusammenhang mit dem Epikarst. KLIMCHOUK (1985) führt die Dolinengenese nicht nur auf die Lösungsprozesse durch flüssigen Niederschlag und Schmelzwässer zurück, sondern räumt den geologisch-tektonischen und lithologisch-mineralogischen Rahmenbedingungen eine besonders hohe Priorität ein. Somit reflektieren Dolinen oder auch das Vorkommen von z. B. Schächten die Lösungsvorgänge an der Basis der Epikarstzone als „reaction zone“ (KLIMCHOUK 2004, S. 8). Durch diese attestierte, genetische Verknüpfung zwischen Prozess und Landschaftsform sind Karstlandschaften mit Dolinendominanz auch das Resultat der Epikarstentwicklung. Der Begriff Epikarst als oberster Bereich eines Karstsystems wird in der Literatur auch als rock-soil interface (JONES et al. 2004) oder skin of karst (BAKALOWICZ 2003) benannt. Er ist im Verhältnis durchlässiger als der Bereich an massivem Karbonatgestein, dem er aufliegt, und ist oberhalb der vadosen Zone lokalisiert. Seine Ausprägung ist hoch variabel und wird von den Hauptparametern Lithologie und Geochemie des Ausgangsgesteins, Tektonik und Lithostratigraphie der oberen Zone sowie der Kluftdichte gesteuert. Diese sind eingebettet in die atmosphärischen Faktoren des Makro- und Mikroklimas. Weiterhin spielen Vegetationstypus, Deckungsgrad sowie die Solummächtigkeit und damit die Ausprägung der Pedo-

sphäre eine zentrale Rolle (Evapotranspiration). Jeder der genannten Parameter ist umwelt- und karstökosystematisch stark variabel. Allen gemeinsam ist allerdings ihre Beeinflussung der hydrologischen und karsthydrologischen Eigenschaften wie Porosität, Durchlässigkeit und Speicherkapazität (WILLIAMS 2003, 2008, KLIMCHOUK 2004). Die genannte Steuerfunktion des Epikarstes erlangt daher für die Karstgrundwasserentwicklung und –neubildung eine große Bedeutung (CLEMENS et al. 1999, SCHWARTZ 2009, EXEL 2014) und wird mit geophysikalischen und isopenchemischen Methoden untersucht (z. B. AL-FARES et al. 2002, PERRIN et al. 2003, VOUILAMOZ et al. 2003, MEISSEL et al. 2006).

In alpinen Regionen ist die Genese des Epikarstes durch glazialmorphologische Prozesse z. B. unterbrochen und/oder verjüngt (KLIMCHOUK 2004), so dass im Durchschnitt allgemeine Mächtigkeiten von wenigen Metern bis hin zu 15 m quantifiziert sind.

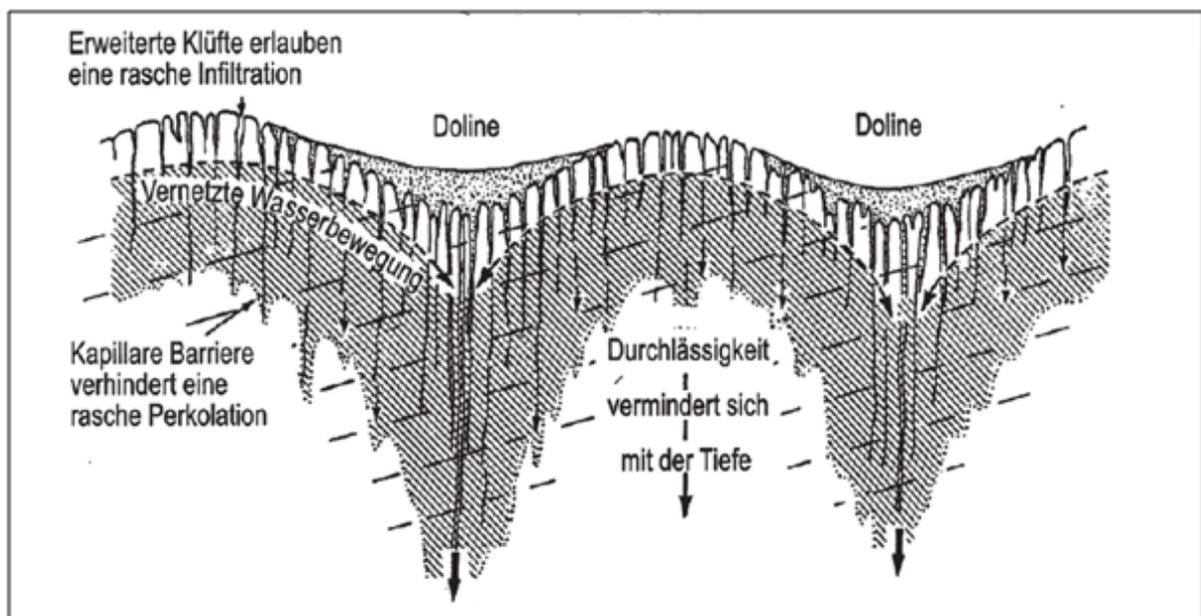


Abbildung 2: Hydrologie des subkutanen Epikarstes schematisch (nach WILLIAMS 1983 in PFEFFER 2010, S. 199, Ausschnitt)

Dolinen kanalisieren Oberflächenwasser und darin gelöste (Schad-)Stoffe und verlagern sie durch eine laterale Fließrichtung von Kluftwasser in den hydrologischen Epikarstspeicher. Dabei fungieren Dolinen als zentripetale Versickerungsstellen und weisen einen im Vergleich zu ihrer Umgebung erhöhten hydraulischen Gradienten auf (WILLIAMS 1983, 1985; SCHUCHARDT 1988), da besonders in deren Nachbarschaft der Epikarst in Folge erhöhter Durchfluss- und Lösungsraten stärker ausgeprägt ist (vgl. Abb. 2).

LOOP & WHITE (2001) unterscheiden drei Abflusssituationen für den potentiellen Stofftransport: Erstens der direkte Eintrag von Oberflächenwasser in Dolinen mit offenen Ponoren, zweitens der verzögerte Eintrag von Niederschlagswasser und darin transportierten Verunreinigungen durch eine Bodenauflage und drittens ein plötzlicher Einbruch der verplombten Klüfte und Eintrag von z. B. kontaminiertem Bodenmaterial. Eine Quantifizierung des Sedimentabtransportes liefert die Dolinenforschung derzeit jedoch noch nicht.

Neben den ökologisch und biologisch motivierten Forschungsrichtungen rund um den Epikarst (SAUTER 1995, KROTHER 2003, PIPAN & BRANCELIJ 2003, PIPAN & CULVER 2007, AUCKENTHALER 2004, BONACCI et al. 2009) spielen klastische Sedimente und organisches Material als Speicher und Transportmedium für Schwerphasen wie CKW, LCKW und PAK im Epikarst eine Rolle (LOOP & WHITE 2001). MAHLER et al. (2007) interpretieren ihre Ergebnisse zum partikelgetragenen Transport von Kolibakterien in einem Karstgrundwasserleiter mit Hilfe des Sedimentaustrags aus dem Epikarst. Somit sind Sedimente im Epikarst nicht nur im Bereich der klassischen Karstmorphologie für den bereits von PFEFFER (2010) angesprochenen Prozess der Kolmatierung von Karstwasserwegen bedeutsam, sondern auch für die Kontamination von Trinkwasserressourcen in Karstgebieten.

Obwohl die Tropfwasseranalyse in Höhlen in den unterschiedlichen Fachrichtungen rund um den Forschungsgegenstand Karst bereits etabliert ist (Isotopen: PERRIN et al. 2003, PAK: SCHWARZ 2010, aquatische Faunenhabitats: PIPAN & BRANCELIJ 2003, PIPAN & CULVER 2007, organischer Kohlenstoff: SIMON 2007, 2013, CO₂-Gehalt: FAIMON et al. 2012), gibt es derzeit weder Untersuchungen zum Sedimentaustrag aus dem Epikarst mittels Tropfwasseranalysen noch quantifizierte Datenreihen. Auch im Hinblick auf das jüngste Review zur Epikarstforschung von WILLIAMS (2008) wird diese Forschungslücke deutlich.

Höhlensedimente, Zusammensetzung und Mobilität

Höhlensedimente bezeichnen zusammenfassend Ablagerungen, Ausscheidungen und Mineralneubildungen in unterirdischen Hohlräumen, wobei zwischen autochthonem (Versturz, Residuum, Speleotheme) und allochthonem Material unterschieden wird. BOSCH & WHITE (2007) unterscheiden weiterhin zwischen Liefergebieten und Eintragswegen von allochthonem Material. Liefergebiete sind geologische Decken, Moränenmaterial, Boden, Regolith, Geschiebelehm /-mergel, vulkanische Asche, Flugstaub, Sedimente aus überlagernden Schichten und Material, das durch Stauereignisse über die Karstquelle in das Höhlensystem

zurückgespült wird. Der Eintrag des allochthonen Materials erfolgt vorwiegend durch vertikale Schächte, Dolinen und Klüfte an der Grenzfläche zwischen Epikarst und vadoser Zone. Außerhalb der Alpen wird auch die Eintragsdynamik via Flusssysteme in den unterirdischen Karst erforscht (USA/Slowenien: SIMON et al. 2007, KRANJC 1989, Brasilien: SOUZA-SILVA et al. 2012).

Bisher dienen Untersuchungen an klastischen und chemischen Höhlensedimenten, z. B. im Karst der Fränkischen und Schwäbischen Alb und den Alpen, um Alter und Bildungsbedingungen von Höhlen und deren Eingliederung in die Landschaftsentwicklung nachzuvollziehen (LANGENSCHIEDT 1986, HINKELBEIN et al. 1991, BURGER et al. 1993, TRAPPE 2010, GRONER 1985, 1979, 1990, CHESSE et al. 2010, ZUPAN HAJNA et al. 2010, WAGNER 2011, PETERKNECHT 2011).

Die Mobilität und Umlagerung von Höhlensedimenten wird mit Hilfe von sedimentpetrographischen Analysen (z. B. BURGER et al. 1993) und der Rekonstruktion von Sedimentationsbedingungen anhand von vorliegenden Ablagerungsräumen in den Höhlen selbst angezeigt (BOSCH & WHITE 2007), da die Quantifizierung von rezenten Umlagerungsprozessen nur schwer möglich ist. Allein der Nachweis von allochthonem Material in unterschiedlich tiefen Höhlenstockwerken mit Hilfe von sedimentpetrographischen Vergleichsanalysen der Bodenaufgabe (HINKELBEIN et al. 1991, BRINKMANN & REEDER 1995) oder lokalen Glazialablagerungen (LAWSON 1995) gibt Hinweise auf die Eintrags-, Transport- und Umlagerungsdynamik von Höhlensedimenten. Dabei spielen auch allochthone Materialien in Bezug auf die Bodenaufgabe eine Rolle für die Substratzusammensetzung des Höhlensediments. Untersuchungen an Sedimentprofilen in Küstenhöhlen Mallorcas zeigen beispielsweise, dass auch Saharastaub einen Bestandteil des eingetragenen Materials darstellt (GOUDIE & MIDDELTON 2001, FORNÓS et al. 2009).

In den Nördlichen Kalkalpen liegt ein solcher Vergleich zwischen silikatischem Fremdmaterial (Sahara, Zentralalpen) auf den Hochflächen und deren Nachweis bzw. Anteil innerhalb der allochthonen Höhlensedimente nicht vor, da Messreihen zum Substrateintrag in den Karstuntergrund generell im Alpenraum fehlen.

Sedimentausttrag an Karstquellwässern, Stofffracht, Trübe

Die Rolle von Sedimenten in aquatischen Systemen hat bereits in der internationalen Forschungslandschaft Einzug gehalten (BRADFORD & HOROWITZ 1982, ATTEIA & KOZEL 1997) und deren Mobilität im Hinblick auf den partikelgetragenen Transport von bakteriologischen Verunreinigungen wird als sehr bedeutsam eingestuft (MAHLER & LYNCH 1999a, MAHLER et al. 2000, 2007, FORD & WILLIAMS 1989, 2007, LERCH 2011).

Zum Themenkomplex Sedimentausttrag an Karstquellen liegen aus den Nördlichen Kalkalpen vereinzelt Ergebnisse vor. Dabei zeigt sich beispielsweise an Karstquellen am Dachstein (Österreich) die Abhängigkeit der Trübung der Karstquellwässer von Schneeschmelze und Hochwasserereignissen (SCHEIDLEDER et al. 2001). Im Nationalpark Gesäuse (Österreich) ergibt die Auswertung der organoleptischen Werte im Rahmen eines Quellmonitoring-Programmes, dass Quellen aus großen, grundwasserartigen Speichern meist Minimalwerte an Trübung und Farbtönung haben. Hingegen Quellen, die unmittelbar an Kluft- und Höhlensysteme anschließen, liefern sprunghafte und zum Teil sehr hohe Feinstofffrachten (HASEKE 2005, 2005a). Mineralogische Analysen erlauben einen Zusammenhang zwischen Trübstoffen und remobilisierten Tertiärlehm aus Dolinen und Höhlensystemen. Die Trübstofffracht der Quellen im Nationalpark Gesäuse wird insgesamt als gering eingestuft, jedoch fehlen auf Grund der Messperioden im Herbst die Front- und Gewitterdurchgänge der Sommermonate, womit allgemeine Aussagen zum Sedimentausttrag an Karstquellen im Alpenraum nicht formuliert werden können (WEIGAND et al. 2002). Auch die zentrale Quelle Fürstenbrunn am Untersberg (Fürstenbrunner Wasserschloss; *Abb. 1*, S. 1) liefert bei Starkniederschlägen und zur Zeit der Schneeschmelze eine erhöhte Trübstofffracht (GADERMAYR 1986, HASEKE-KNAPCZYK 1989). Die Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität wird seit Ende der 90er Jahre durch spezielle Filtersysteme am Grundwasserwerk behoben (Intquell 1, AG SALZBURG 2017). Systematische Untersuchungen im schweizerischen Jura liefern jüngst GOLDSCHNEIDER et al. (2010), wobei der Fokus auf der Korngröße der mobilen Partikel am Quellaustritt liegt.

1.2 Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise der Arbeit

Der Stand der Forschung zeigt, dass Sedimente und bodenbildende Substrate in Karstökosystemen im Fokus der jeweiligen Fachrichtung (äolische Dynamik, alpine Böden, Speläologie, Karsthydrologie) und somit innerhalb der alpinen Karstkomplexe isoliert voneinander, bearbeitet wurden. Dabei ist besonders auffällig, dass die Doline trotz ihrer klar definierten Ein-

tragsfunktion keine systematische Bearbeitung in Bezug auf das Boden- und Sedimentinventar erfuhr. Da die bestehenden Forschungsarbeiten zum rezent-äolischen Einfluss auf die Hochflächen der Nördlichen Kalkalpen keinen Schwerpunkt auf das System Doline setzen, bleibt unklar, durch welche Parameter die äolische Dynamik speziell in Dolinen gesteuert wird. Besonders in der subalpinen Höhenstufe ist es entscheidend, die Frage nach dem Zusammenspiel von bestehenden Bodenmosaiken mit rezenten Materialeinträgen im Dolinenkarst und der Filterwirkung dieser Bodenauflagen zu beantworten. Im Hinblick auf ihre topographische und somit auch hydrologische Sonderstellung bleibt neben dem Aspekt der Sedimentdeposition die Verlagerung von äolischem Substrat und Bodenmaterial im System Doline in der Karstforschung bisher unberücksichtigt, obwohl die Doline als Akteur und Eintragungssystem von Sediment und bodenbildendem Substrat in mehreren Fachwissenschaften eindeutig klassifiziert ist. Dabei gilt es nun, diesen Prozess mit Blick auf die dominanten Einfluss- und Steuerfaktoren zu klären. Vor allem durch die Karstwassernutzung als Trinkwasserressource stellt sich die Eintragsdynamik in Dolinen als ein notwendiges Forschungsziel dar. Daher gilt es, die Prozessbedingungen für den Input von äolischen Substraten auf den subalpinen Dolinenkarst und den Eintrag in das unterirdische Karstsystem in Abhängigkeit von den (mikro-)klimatischen, -topographischen und pedologischen Rahmenbedingungen zu klären. Dabei sollen grundlegende Kenntnisse über die Eintrags- und Filterfunktion von Dolinen gewonnen werden, die das Ableiten von Modellen möglich machen.

Die Bearbeitung folgender Fragestellungen, gegliedert in Bodenbildung und -entwicklung, sowie den dynamischen Ein- und Abtragsprozess von bodenbildendem Substrat im System Doline, ist Ziel dieser Arbeit:

Fragestellung zum Bodeninventar

- Welche Bodentypen liegen im subalpinen Dolinenkarst am Untersberg typischerweise vor?
- Sind die Böden in Dolinen regelhaft verteilt, bzw. gibt es Verteilungsunterschiede in den Dolinenhaupttypen?
- Welche Bodenparameter (pH-Wert, Carbonatgehalt, organische Substanz, Korngrößen) sind an den verschiedenen Standorten charakteristisch?
- An welchen Positionen innerhalb der Dolinen sind die äolischen Komponenten in Bodenprofilen lokalisiert?

- Welche Einfluss- und Steuerungsfaktoren lassen sich aufgrund des vorliegenden Bodeninventars für den Ein- und Abtrag von bodenbildenden Substraten ableiten?

Um die Bodentypen und ihre regelhafte Verteilung zu ermitteln, werden an jeweils 2-3 Vertretern der zuvor definierten Dolinenhaupttypen (Normtypus, Dolinenschachttypus, Schachtdoline) engmaschige Bodenkartierungen in Form von Dolinenhangcatenen vorgenommen. Die Auswertung der bodenkundlichen Analysen der Einzelprofile und entlang der Hangcatenen soll Aufschluss darüber geben, welche Einflussfaktoren auf die Bodenbildung im System Doline wirken. Dabei werden sowohl die Standortfaktoren Hangposition, Exposition und Neigung, als auch Vegetation und Peripherie berücksichtigt und in Bezug mit dem vorliegenden Bodeninventar und einem potentiellen Ein- und Abtrag von Bodenmaterial gesetzt.

Die gewonnenen Ergebnisse werden mit Bodenparametern an Referenzprofilen aus umliegenden Dolinen desselben Typus verglichen, um die aus den Testdolinien abgeleiteten Einflussfaktoren zu untermauern. Dazu werden auch Bodenprofile an der Geländekante von Schachtdolinien miteinbezogen. Dies dient der Erfassung des Eintragspotentials von bodenbildendem Substrat an Schächten im Vergleich zu den Varianten der klassischen Lösungsdoline.

Fragestellung zum Sedimenteintrag (äolische Dynamik)

- Gibt es bevorzugte Depositionsmuster für den äolischen Eintrag in Dolinen?
- Welche Einflussfaktoren (Klima, Hangposition, Exposition, Neigung, Vegetation) lassen sich für die Deposition aus den ermittelten Raten an den Messtandorten ableiten?
- Stehen die Eintragsraten mit den Bodentypen und der Solummächtigkeit in Zusammenhang?
- Welche Erkenntnisse können hieraus für die Erosionsdynamik am jeweiligen Standort innerhalb der Testdolinien und somit der Dolinenhaupttypen am Untersbergplateau abgeleitet werden?

Die Quantifizierung des äolischen Eintrages findet innerhalb der Testdolinien unter Berücksichtigung der potentiellen Einflussfaktoren Hangposition, Neigung, Exposition und Vegetation statt, um deren Bedeutung im Depositionsprozess zu erfassen. Die Eintragsraten werden

zusätzlich mit Klimadaten (Niederschlag, Windstärke, Windrichtung) der umliegenden Messstationen in Bezug gesetzt. Damit wird der regionalen, und somit übergeordneten klimatischen Steuerung, aber auch der möglichen mikroklimatischen Beeinflussung in Abhängigkeit von ihren peripheren Rahmenbedingungen Rechnung getragen. Zusätzlich geben die am Messstandort kartierten Bodentypen durch ausgewählte Kenngrößen (Solummächtigkeit, Korngrößenverteilung, Anteil an organischer Substanz) Aufschluss über den äolischen Einfluss im Spannungsfeld mit dem am Bodenstandort potentiell stattfindenden Boden- und Sedimentabtrag. Somit kann der Bodentyp durch die quantifizierten Messreihen zum äolischen Eintrag noch exakter als dynamisches Resultat von In- und Output im System Doline gewertet und deren Einflussfaktoren maßgeblich ermittelt werden.

Fragestellungen zum Sedimentabtrag (Erosion, Eintrag in den Karstuntergrund)

- An welchen Positionen in Dolinen findet ein erhöhter Bodenabtrag statt?
- Ist der Abtrag von Sedimenten via Dolinen oder Schachtsystemen in den verschiedenen Dolinentypen unterschiedlich?
- Welche Einflussfaktoren (Niederschlag, Hangposition, Exposition, Neigung, Vegetation) lassen sich aufgrund der Abtragsraten ableiten?

Die Erosionsmessung erfolgt innerhalb der Dolinenhaupttypen Normtypus und Dolinenschachttypus in Abhängigkeit von Hangposition, Neigung, Exposition und Vegetationsbedeckungsgrad, um die dominanten Steuerungsfaktoren des Sedimentabtrages im System Doline zu ermitteln. Zur weiteren Differenzierung des Eintragungspotentials von Schachtdolinen im Gegensatz zu der klassischen Lösungsdoline werden an repräsentativen und leicht zugänglichen Steilwänden (Typus: kluffreich, klufffrei) ebenfalls Messvorrichtungen zur Erfassung des Boden- bzw. Sedimentabtrags installiert. Die gewonnenen Daten werden auch in Bezug zu den Niederschlagssummen im jeweiligen Messzeitraum (Klimastation Geiereck) gesetzt, um den Einflussfaktor Niederschlag mit zu berücksichtigen. Da die Erosionsmessgeräte das abgetragene Material zusammen mit dem Oberflächenabfluss in Kanistern sammeln, ist auch eine weiterführende Interpretation der Bodenstandorte möglich (Evapotranspiration, Speicherverhalten in Abhängigkeit zur Bodentextur).

Durch eine detaillierte Erfassung der Vegetationszusammensetzung aber auch des Bedeckungsgrades am Bodenstandort können Ein- und Abtragsprozesse, auch im Hinblick auf den allochthonen (silikatischen?) Input am jeweiligen Bodenstandort innerhalb des Dolinenhan-

ges, sowie erosiv-wirksame Prozesse zusätzlich nachvollzogen werden. Zeigerwerte nach ELLENBERG et al. (1992) liefern weitere Hinweise auf Standort- und Einflussfaktoren.

Ergänzend zu den kleinräumig-intensiven Untersuchungen an der Plateauoberfläche ist vor allem hinsichtlich der Kenntnis über die genetische Verknüpfung von Dolinen und Höhlensystemen eine quantitative Überprüfung der abgelagerten Sedimente in den Höhlengängen als Vergleich notwendig und sinnvoll. Weiterhin wird eine oberflächennahe Tropfstelle beprobt, um den Sedimenteintrag aus dem Epikarstsystem zu ermitteln und vergleichende Analysen der Trübstoffe an der zentralen Karstquelle mit dem vorliegenden Bodeninventar in den Dolinen (Sedimentaustrag aus dem Karstkomplex) durchzuführen.

Fragestellung zum Sedimentinventar in den Höhlengangsystemen:

Die Beantwortung folgender Fragestellungen ist Ziel der inhaltlich-methodischen Erweiterung:

- Welche chemischen und physikalischen Kennwerte charakterisieren die Höhlensedimente in den Höhlengangsystemen am Untersberg?
- Welche (Filter-)Dynamik innerhalb des Dolinensystems lässt sich aus den Abweichungen in der Zusammensetzung von Höhlen- und Dolinensedimenten ableiten?
- Wie ist die Eintragsfunktion des Epikarstes anhand von Tropfstellen zu bewerten?
- Welcher potentiellen Filterfunktion unterliegen die Höhlensedimente im Hinblick auf den Austrag aus dem Karstsystem?

Die Höhlensedimente werden in den untersten Stockwerken nahe der Karstwasserbasis kartiert. Sie repräsentieren sowohl den autochthonen, als auch allochthonen Anteil an Höhlensedimenten seit Einsetzen der Verkarstungsprozesse der mittleren und östlichen Kalkalpenplateaus ab dem Eozän (LANGENSCHIEDT 1986). Gezielte Vergleichsanalysen ausgewählter Boden- und Höhlensedimentkennwerte (z. B. Carbonatgehalt, Korngrößen, pH, organischer Gehalt, allochthone Komponenten) ermöglichen Rückschlüsse auf eine mögliche Eintrags- und Filterdynamik im Dolinenkarst. Dabei spielen die Kenntnisse über den Verlauf der Höhlengangsysteme und ihrer Geologie im Untergrund eine entscheidende Rolle, da sie auch Hinweise auf den autochthonen Einfluss und Charakter der Höhlensedimente liefern. Neben Mischproben werden mit Hilfe von Stechzylindern Profilausschnitte an Höhlensedimenten nahe der Karstwasserbasis entnommen. Die stratigraphische Analyse soll mögliche biogene Abbau- oder aber Austragsprozesse innerhalb der Stechprofile, auch im Vergleich mit den

Mischproben anzeigen. Bereits vorliegende Farbanalysen der Trübstoffe an der Fürstenbrunner Quelle werden zudem mit den kartierten Bodenprofilen an der Oberfläche und den Höhlensedimenten verglichen und geben weitere Anhaltspunkte zur Ein- und Austragsdynamik.

Die Kartierung und Bergung von Höhlensedimenten aus den Höhlenstockwerken in der Nähe der Karstwasserbasis ist innerhalb der Nördlichen Kalkalpen besonders am Untersberg (Berchtesgadener Alpen) möglich, da die Eingänge in die unterirdischen Gangsysteme insgesamt gut zugänglich und dadurch besonders intensiv erforscht sind.

2. Untersuchungsgebiet Untersberg

Das Gebirgsmassiv (ca. 72 km²) mit Plateaucharakter stellt den nördlichsten Ausläufer der Berchtesgadener Alpen dar und erstreckt sich über 12°56'/13°02' E und 47°39'/47°45' N. Die Staatsgrenze zwischen Deutschland und Österreich trennt das 11 km² umfassende Plateau in den nördlichen Teil (mit Salzburger Hochthron 1853 m ü. NN) und den südlichen Bereich mit dem Berchtesgadener Hochthron (1972 m ü. NN) als höchsten Punkt. Seine maximale Reliefenergie beträgt 1527 m (HASEKE-KNAPCZYK 1989). Der Untersberg wird von Südosten (Göllstock, Hagengebirge) über den Süden (Watzmann, Hochkalter, Reiteralpe) bis in den Nordwesten (Lattengebirge, Hochstaufer) von ausgedehnten Gebirgsstöcken mit Plateaucharakter, oder langgezogenen Gipfelgraten und trennenden Talungen (Salzburger, Berchtesgadener und Reichenhaller Becken) umrahmt. Im Norden ragt er weit in das Salzburger Becken hinein (vgl. *Abb. 3*, S. 14).

Das Karstplateau wird durch die Nähe zur Stadt Salzburg und der Aufstiegsmöglichkeit mit der Untersbergbahn intensiv touristisch genutzt. Die Gipfelstation und mehrere Schutzhütten (Toni-Lenz-Hütte 1438 m ü. NN, Zeppezauerhaus 1663 m ü. NN, Stöhrhaus 1894 m ü. NN) bieten zusammen mit zahlreichen Wanderwegen und Klettertouren an den Südostwänden Ziele für bergsportliche Aktivitäten. Schauhöhlen können in Form von geführten Touren Einblicke in die verborgenen Seiten des Untersberges geben (z. B. Schellenberger Eishöhle, Gamslöcher), hingegen sind die zahlreichen Forschungshöhlen nur den sehr erfahrenen Höhlenforschern zugänglich.

Die Stadt Salzburg nutzt das Gebiet auch forstwirtschaftlich unter der Revierleitung der Fam. Mayr-Melnhof. Der österreichische Teil des Untersberges gehört zum Landschafts- und Pflanzenschutzgebiet Untersberg, der bayerische Teil zum Biosphärenreservat Berchtesgadener Land, wo er die Entwicklungszone des Nationalparks darstellt.

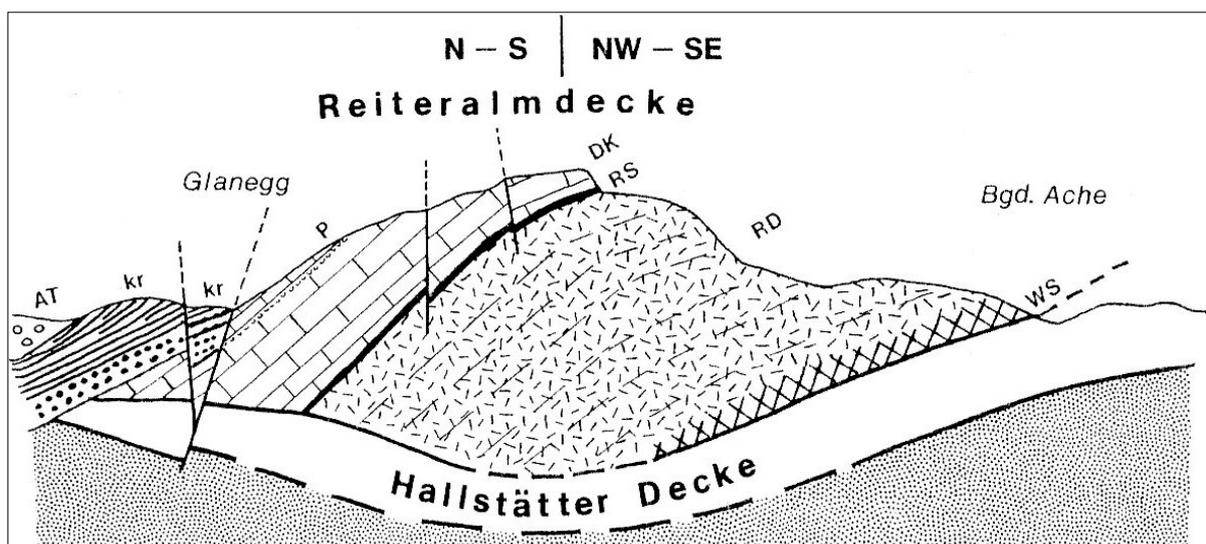


Abbildung 3: Lage des Untersuchungsgebietes Untersberg (Quelle: Pechristener Austria location map.svg, verändert), Maßstab 1:1 000 000

2.1 Geologie und Tektonik

Der Untersberg gehört deckenstratigraphisch zum Kalkalpin der Nördlichen Kalkalpen. Die isolierte Untersbergscholle als Teil der Reiteralmdedecke liegt schwimmend auf der überfahrenen, tiefjuvavischen Hallstätter Decke (vgl. Abb. 4, S. 16). Die hochjuvavische Schichtenserie mit einer Gesamtmächtigkeit bis 2000 m und nordwestvergenger Lagerung (DEL-NEGRO 1979) wird von Karbonatgesteinen dominiert und ist durch eine intensive Zerlegung in alttertiäre Bruchsysteme charakterisiert. Diese Karbonatplattform taucht im Nordwesten unter die Quartärfüllung des Salzburger Beckens und zeigt nur im Südosten die Schichtenfolge bis in die untere Trias. Die Stratigraphie der Reiteralmdedecke repräsentiert einen Sedimentations-

zyklus, der stark verkarstungsfähige Gesteine (z. B. Unterer Ramsaudolomit, Reiteralmkalk/Dachsteinkalk, Plassen- und Hierlatzkalke) mit zwischengelagerten mergelig-sandigen Serien (Raibler Band, Carditaschichten) zeigt. Die im Jungtertiär einsetzende Karstgenese wird durch die wasserzügigen Bruch- und Störungsstrukturen stark begünstigt. Die Inhomogenität der Kluftrichtungen auf dem Untersbergplateau erklärt die heutigen Hauptstreichrichtungen (NW-SE; N-S) von Karstgassen, Dolinenreihen und Schichtköpfen. Markante, glazial überprägte Großstörungen zeigen sich z. B. an der Nordflanke mit Klingertal, Brunntal und Wasserfalltal (HASEKE-KNAPCZYK 1989).



AT = Alttertiär, kr = Oberkleide (Gosau), P = Plassenkalk (Tithon), DK = Reiteralmkalk (Nor), RS = Raibler Schichten, RD = Ramsaudolomit (Ladin), WS = Werfener Schichten/Haselgebirge

Abbildung 4: Geologisches Profil der Untersbergscholle (HASEKE-KNAPCZYK 1989, S. 18)

Auf dem nach Norden abdachenden Plateau steht vorwiegend Dachsteinkalk vom Reiteralm-Typus (weißer Riffkalk / Nor-Rhät) an (SCHLAGER 1930, PREY 1969). Nach KIESLINGER (1957) hat der in der Literatur auch als Reiteralmkalk typisierte Kalkstein einen Reinkarbonatgehalt von meist über 98%. Der Mittelwert aus fünf Gesteinsproben auf der benachbarten Reiteralm (Berchtesgadener Alpen, Nationalpark Berchtesgaden) zeigt für diesen stark verkarstungsfähigen weißen Dachsteinkalk einen Carbonatgehalt von 91,9% (CaCO_3) und 1,4% (MgCO_3) auf. Der Residuumsgehalt liegt bei 6,8%. Er steigt innerhalb der Varianten rotgeädert, rot bis rosa und rot brekziert auf 11,1% an (KÜFMANN 2008b, S. 28). Besonders die brekzierte Ausprägung des Dachsteinkalkes ist an tektonische Reibungszonen, und hier vor allem in Verbindung mit tertiär angelegten Talungen und Störungen zu finden (z. B. Mittagsscharte, Talung zwischen

Salzburger Hochthron und Gutem Hirt). Die zerbrochenen Dachsteinkalk-Brekzien sind mit Tonen und kräftig roten Oxiden (Al_2O_3 , Fe_2O_3) verheilt. Entsprechend wird in der älteren Literatur eine Bauxitbildung („Bolus“ im Sinne von GILLITZER 1913, „Boluserde“ nach CZOERNIG 1926, S. 19-20) unter subtropischem Klima diskutiert (Gosauzeitliches oder tertiäres Alter). In den Gipfelregionen ist der Bauxit an exhumierten Klüften und Spalten nachzuweisen und führt zu roten Ortsböden (HASEKE-KNAPCZYK 1989, S. 41). Zieht man die mineralischen Analysen aus dem Nachbargebiet der Reiteralpe heran, dann ist in vielen Fällen eine lithogene Rotfärbung im Sinne der „Entcarbonatisierungsröte“ von MEYER (1979, S. 705) wahrscheinlich, da Eisen im Dachsteinkalk karbonatisch als Ankerit oder Siderit gebunden ist (KÜFMANN 2008b, S. 29ff). Jurassische Gesteine (Plassen- und Hierlatzkalke) sind im nordwestlichen Randgebiet des Plateaus in Schollen und als vereinzelte Reste erhalten geblieben (vgl. Abb. 5). Ebenso treten Augensteinablagerungen lokal als tertiäre Zeugen einer ehem. Raxlandschaft nach FISCHER (2005) auf. Glaziale Ablagerungen (Fremd- und Lokalmoränen) hingegen sind nur bis zu einer Höhe von etwa 1.100 m Seehöhe nachgewiesen. Die Karstfläche ist aufgrund der Plateauvergletscherung im Pleistozän frei von ortsfremdem Moränenmaterial (HASEKE-KNAPCZYK 1989).

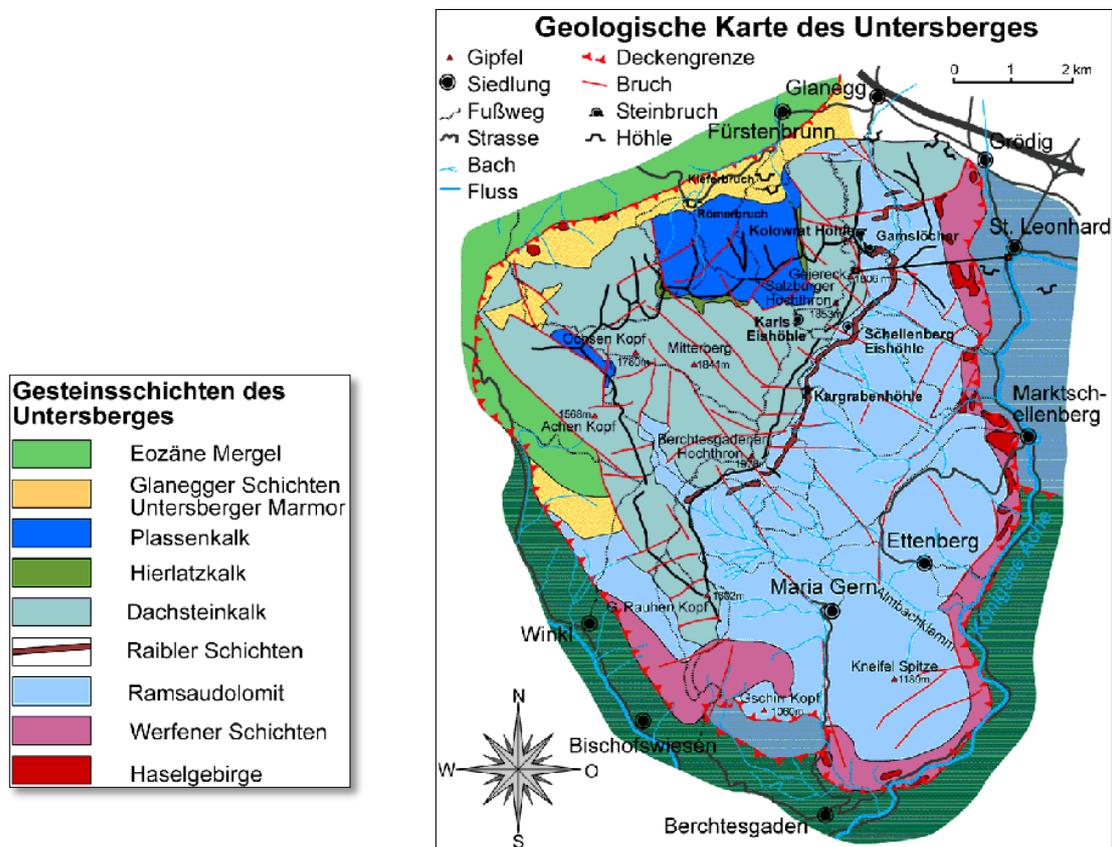


Abbildung 5: Geologische Karte und Stratigraphie des Untersberges, vereinfacht, nach PREY (1969) und SCHLAGER (1930). Quelle: ÖAV-Reihe Nr. 6, 2012, S.14

2.2 Oberirdischer Karstformenschatz und Höhlensysteme

Exokarst Dolinen

Das stark verkarstete Plateau zeigt als Grobgliederung des „Alpinen Hochkarst“ (LEHMANN 1927) einen Schichtkopf- und Schichtflächenkarst, der durch pleistozäne Gletscherwirkung herauspräpariert wurde (Stichwort: Glaziokarst). Mesoformen, z. B. Uvalas sind vorwiegend auf dem zentralen Plateaubereich lokalisiert, wo sie oft mit tertiär angelegten Großdolin (> 100 m) und Kuppenkarstrelikten in NE und SE vergesellschaftet sind. Das nördliche Plateau mit seinen Abhängen repräsentiert den Typus der Einsturzdolinen, welche als Resultat von Höhlengruinen weiterentwickelt werden. Zusätzlich bedingt eine Vielzahl von Mitteldolinen (Durchmesser < 100 m) und Kleindolinen (Durchmesser < 20 m) im Zusammenspiel mit variantenreichen Karrentypen das charakteristische Oberflächenrelief (Terminologie der Karstformen-Einteilung nach BÖGLI 1978, FINK 1976, HASERODT 1965). Während auf den Kuppen trichterförmige Dolinen mit Bodenauflagen und Sedimentfüllungen dominieren, ist die klassische Lösungsdoline nach PFEFFER (1978, 2010) auf dem zentralen Hochplateau entlang von Klufflächen und Schichtköpfen asymmetrisch umgestaltet. Eine Besonderheit stellt dabei die Schachtdoline dar, welche auf aktivierte tektonische Prozesse, subglaziale Abflussdynamik und rezente Firneinlagerungen zurückzuführen ist. Sie tritt verstärkt im zentralen und östlichen Plateaubereich auf und steht als Bindeglied zwischen dem Exo- und dem Endokarst (HASEKE-KNAPCZYK 1989).



Foto 1: Charakteristisches Glazio-Karstrelief zwischen Salzburger Hochthron und Berchtesgadener Hochthron

Landschaftsprägend auf dem Untersberg-Karstplateau ist vor allem der Typus des „bedeckten Karstes“ im Übergang zum „freien Karst“ (vgl. *Foto 1*). Der freie Karst als Sonderform der nivalen Höhenstufe im Sinne einer stockwerkartigen Gliederung der Karstphänomene nach ZWITTKOVITS (1966) wird bevorzugt an exponierten Stellen der Gipfelbereiche oder tiefen Felsdolinen registriert. Somit zeigen sich die „Scherbenkarst“-Bereiche als höhenstufenzonales Karstphänomen regelhaft im subalpinen Dolinenkarst verstärkt im Zentrum der Dolinen. Innerhalb des Sonderstandortes ist zudem eine stark variable Hangausrüstung und Bodenverteilung am Untersbergplateau deutlich ausgeprägt. Diese Besonderheit in der Dolinenausgestaltung wird im Alpenraum von der subalpinen bis zur subnivalen Höhenstufe registriert (z. B. DISTEL et al. 1911, HASERODT 1965, ZWITTKOVITS 1966, FINK 1976, WEINGARTNER 1983, RUTTNER 1994, MIX & KÜFMANN 2011). In Abhängigkeit von Neigung, Exposition, Ausdehnung und Peripherie sind die Dolinenhänge mit alpinen Rasengesellschaften und Frostschutt, stellenweise in Kombination mit Bodenmaterial ausgekleidet. Die peripheren Rahmenbedingungen der Dolinen werden übergeordnet von den Großstrukturen auf dem Plateau (tektonisch bedingte Kluffanlage, Lagerung des geologischen Untergrundes) gesteuert. Diese besondere Topographie bedingt z. B., dass an kaskadenartig abfallenden Hangbereichen die Bergkiefer (*Pinus mugo*) nicht nur wie üblich die Felsriegel als Reste der tertiären Altfläche zwischen den Dolinen, sondern auch Dolinenhänge bis in mittlere Hanglagen besiedelt.

Tabelle 1: Charakteristika von Dolinenhaupttypen im Untersuchungsgebiet (MIX & KÜFMANN 2014)

Dolinenhaupttypen	Untergruppen ¹	Charakterisierung
Schachtdoline	Blindschacht / Schachtdoline Kesseldoline	deutliche Tiefenerstreckung senkrechte Wände Zugang zum Karstuntergrund
Dolinen-Schachttyp	cockpitartige Sterndoline kaskadenartig abfallende Dolinenreihen	unregelmäßiger Grundriss Zugang zum Karstuntergrund
Normdoline	Schüssel- und Flachdoline Trichterdoline Muldendoline	Grundriss annähernd kreisförmig regelmäßige Böschung

¹ Formdefinition unter anderem nach HASEKE-KNAPCZYK 1989, FINK 1978, PFEFFER 1978, 2010

Das Formenspektrum der Mittel- und Kleindolinen lässt sich übergeordnet in drei Haupttypen unterteilen (vgl. *Tab. 1*). Ihre genetische Entwicklung ist auf die Calciumcarbonat-Lösung zurückzuführen. Somit sind sie als Repräsentanten der klassischen Lösungsdoline zu werten. Während deren Varianten z. T. abhängig von strukturgebenden Lagebeziehungen des Ausgangsgesteins sind, spielen formengebende Einsturzprozesse eine untergeordnete Rolle.

Das Hauptcharakteristikum der Normdoline sind seine regelmäßig geböschten Hänge. Aufgrund unterschiedlich ausgeprägter Tiefenerstreckung in Kombination mit der horizontalen Ausdehnung wird in der Literatur zwischen den Formcharakteristika Trichter, Mulde oder Schüssel unterschieden. Der strukturbedingte Dolinen-Schachttyp weicht erheblich von der Normdoline ab. In der Regel weist er zumindest einen senkrechten Hangbereich auf und leitet zum dritten Haupttyp, der Schachtdoline über (vgl. *Abb. 6*).

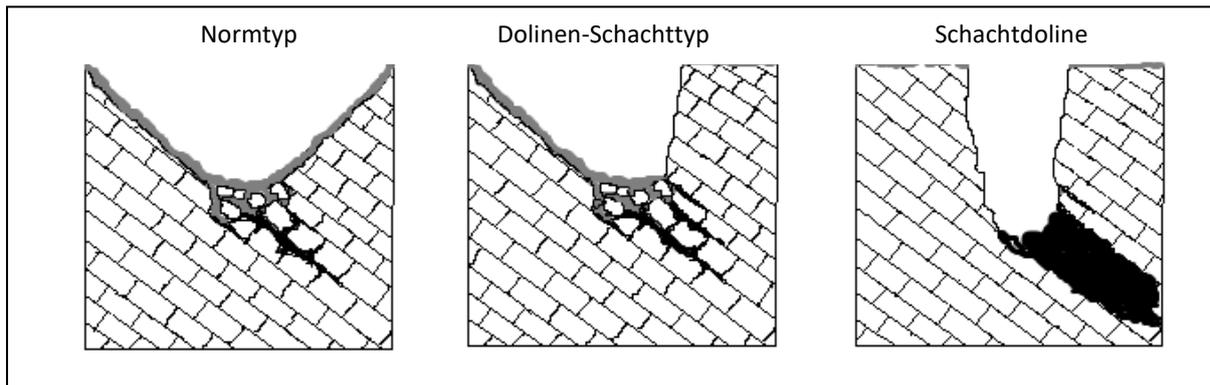


Abbildung 6: Dolinenhaupttypen (schematisch) mit Boden (grau) und Kluft-/Höhlenystem (schwarz)

Aufgrund der peripheren Gegebenheiten, welche durch die Abdachung des Plateaus begünstigt werden, und diversen Übergangsformen zwischen den einzelnen Haupttypen kommt es im Gelände immer wieder zu Abgrenzungsschwierigkeiten. Dabei sind vor allem zwei Problemstellungen zu nennen:

- 1) übergeordnete Dolinenformen, die zwei durch einen geringmächtigen Sattel getrennte Haupttypen in sich vereinen (i. d. R. Normdoline / Dolinen-Schachttyp)**
- 2) Charakteristika „Steilwand“ tritt aufgrund mangelnder Höhe im Verhältnis zu regelmäßig geneigten Hängen in den Hintergrund**

Da im Gelände Ab- und Eingrenzungsfaktoren zur Kategorisierung manch karstmorphologischer Depression auch durch periphere Gegebenheiten verschwimmen, muss die mikroklimatische Situation aus Geländetopographie und Dolinenmorphologie ergänzend mit einbezogen werden (vgl. GEIGER 2013). Aus der jeweiligen morphologisch-topologischen Sondersituation innerhalb der Dolinenhaupttypen können maßgeblich Prozesse abgeleitet werden, die sowohl Bodendynamik, Vegetationsentwicklung aber auch den Verkarstungsprozess und somit die Weiterentwicklung der Dolinen beeinflussen (vgl. *Tab. 2*, S. 21).

Tabelle 2: Morphologisch-topographische Bedingungen in Dolinentypen und ihre Folgen

Dolinentyp	Morphologie	mikroklimat. Bedingungen	Folgen
Schachtdoline	Steilwände	Schatt-, Feuchtepräferenz Leesituation	perennierende Schneelager, verstärkte Lösungsvorgänge äolischer Eintrag, Materialfalle
Dolinen-Schachttyp	Steilwand	Schatt-, Feuchtepräferenz Verstärker: Exposition Windfang, -bremsen	perennierende Schneelager, verstärkte Lösungsvorgänge, Wechsel der Vegetation und Bodentypenzusammensetzung äolische Deposition
Normdoline	regelmäßige Böschung	Exposition Verstärker: Peripherie	expositionsabh. Schneedeckenverteilung

Dabei ist vor allem der Dolinen-Schachttyp herauszustellen, da seine Steilwände eine Schatten- und Feuchtepräferenz am Dolinengrund bedingen. Diese führen zu perennierenden Schneelagern bis in den Sommer (Juni/Juli) hinein und als Folge eine verlängerte Schmelzwassertätigkeit. Weiterhin bewirkt die Schneebedeckung einen Wechsel der Vegetationsgesellschaft (*Seslerio-Caricetum sempervirentis* zu *Arabidetum caerulea*) in den unteren Hanglagen und am Dolinengrund. Ein zudem aufgelockerter Vegetationsbesatz in Kombination mit erhöhten Feuchtegehalten des Mikrostandortes stellt günstige Voraussetzungen für einen verstärkten Bodenverlust dar. Erweiterte Kluftsysteme durch Schichtfugennähe beeinflussen Erosionsprozess und Abtragsdynamik am Dolinen-Schachttyp zusätzlich.

Für die vorliegende Untersuchung wurden jeweils 2-3 Vertreter der Dolinenhaupttypen aus dem Spektrum der Mittel- und Kleindolinen beprobt. Sie sind innerhalb einer zentralen Testfläche im nordöstlichen Plateaubereich lokalisiert. Zusätzlich wurden Repräsentanten stichprobenhaft miteinbezogen (vgl. Karte 1, S. 22).

Die 2 ha große Testfläche befindet sich grenznah auf österreichischem Gebiet und ist zwischen Skipiste und westlich des Großen Heubergkopfes (1836 m ü. NN) lokalisiert. Die Dolinen des Norm- und Dolinen-Schachttypus zeigen Unterschiede in Ausdehnung und Ausprägung (vgl. Tab. 3, S. 22). Aufgrund des dichten Vegetationsbesatzes repräsentiert das zentrale Untersuchungsgebiet den nördlichen und südwestlichen Bereich der Plateaufläche. Zusätzlich werden in die Bodenuntersuchung stichprobenhaft Dolinen der o. g. Haupttypen und ein, für das stark reliefierte Plateau untypischer Flächenrest miteinbezogen. Weitere Einzelprofile an ausgewählten Standorten dienen der Referenz und Verallgemeinerung der Ergebnisse. Diese zusätzlichen Catenen und Einzelprofile liegen entlang des Wanderweges zwischen Bergstation Geiereck und dem zentralen Untersuchungsgebiet (vgl. Karte 1, S. 23; Tab. 4, S. 22).

Tabelle 3: Lage und Kurzcharakteristik der Test- und Referenzdolinen (Catenenbeprobung)

Nr. ¹	Typus	Lage (UTM)	Ausdehnung ²	Vegetationsbedeckung der Hänge ³
1	Dolinen-Schacht	350182/5286642	30x32m	Cs (oH, mH), Ac (uH), Sk (Dz)
2	Dolinen-Schacht	350185/5286612	20x20m	Cs (oH), Ac (mH, uH), Sk (Dz)
3	Normtyp	350080/5286595	36x44m	Cs (oH), Ac (mH, uH), Sk (Dz)
4	Normtyp	350107/5286588	70x55m	Cs (oH, mH), Ac (uH), B/Sk (Dz)
5	Normtyp (Mulde)	350185/5286638	8x7m	Cs, (oH, mH, uH), Cs/B (Dz)
7	Dolinen-Schacht	350693/5286725	37x23m	Cs (oH), Cs/B/Sk (mH), Sk (uH, Dz)
8	Dolinen-Schacht	350446/5286146	20x32m	Cs (oH, mH), Ac (uH), Sk/B (Dz)
9	Normtyp	350738/5286723	15x20m	Cs (oH, mH, uH), Ac/Sk/B (uH), Sk (Dz)

¹ Testfläche (Nr. 1-5), Referenzdolinen (Nr. 7-9)

² Gemessen aus Luftbild/Orthofoto (Quelle: SAGIS); Strecke 1: N-S Erstreckung, Strecke 2: E-W Erstreckung; Messung ab Dolinenrand/latschenfreiem Hangabschnitt linear über tiefsten Punkt

³ charaktergebende Gesamtbeschreibung der Dolinen; Auskleidung: Cs: *Seslerio-Caricetum sempervirentis*, Ac: *Arabidetum caerulea*, Sk: Skelett, B: Boden; Lage: oH (Oberhang), mH (Mittelhang), uH (Unterhang), Dz (Dolinenzentrum)

Tabelle 4: Lage und Kurzcharakteristik der Referenzprofile (Einzelprofile)

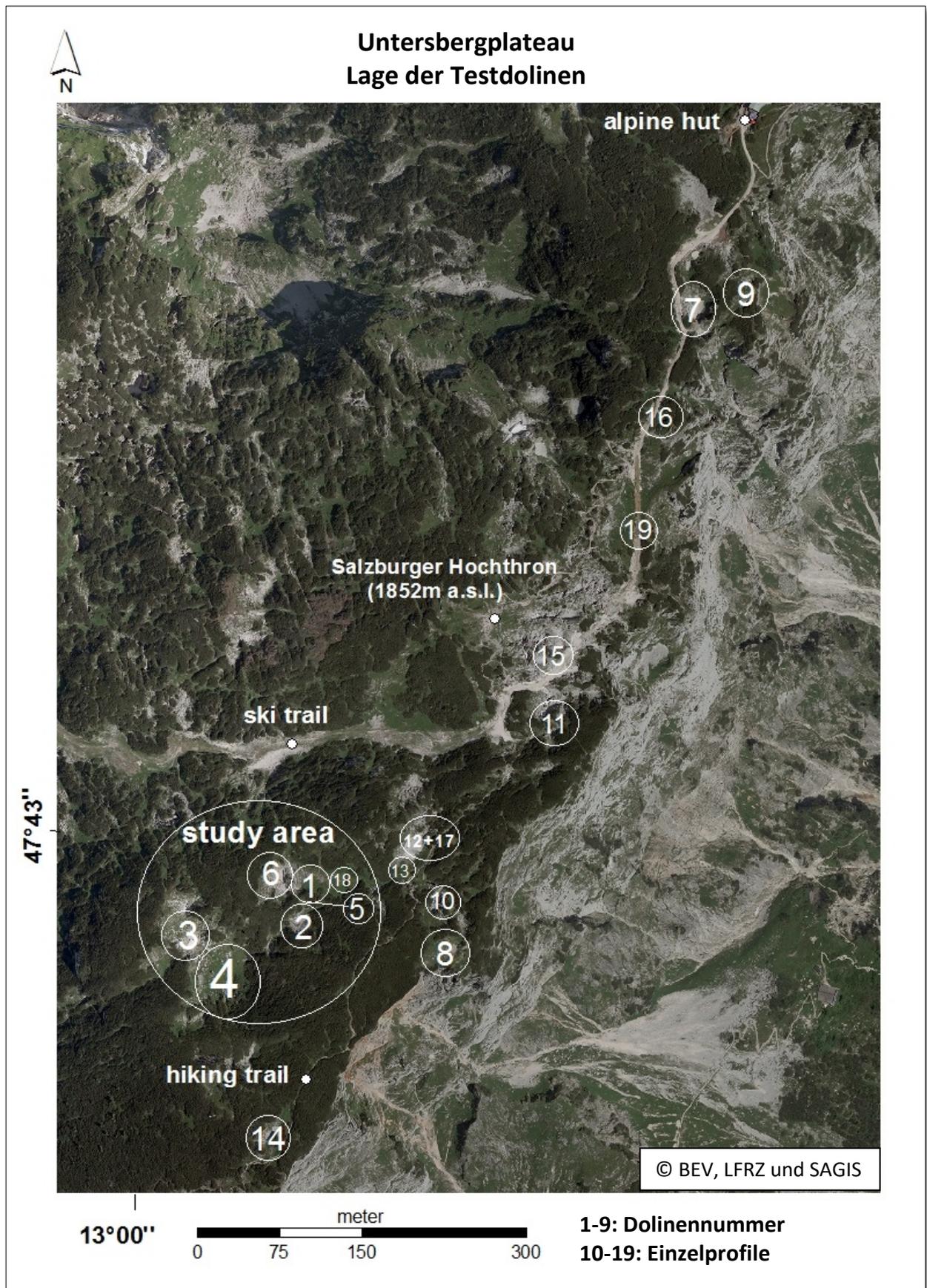
Nr. ¹	Typus ²	Lage (UTM)	Hangbereich ³	Vegetation ⁴	Exposition	Höhe [m]	Neigung
6	Dolinen-Schacht	350306/5286200	Dz / oH	Ac / Cs	12° N / 86° E	1786 / 1800	33° / 23°
10	Schacht	350443/5286199	oH	Cf	335° N	1800	1°
11	Schacht	350551/5286356	oH	Cf	W	1815	3°
12	Sattel	350431/5286231	oH	Cs, Sk	198° S	1801	10
13	Normtyp (Mulde)	350292/5285963	Dz	Cs	170° S	1815	3°
14	Normtyp (Mulde)	350414/5286219	Dz	Cs, Sk	45° NE	1797	3°
15	SE-Randabstürze	350581/5286433	mH	Cs	203° ()	1833	30°
16	Schichtkopf	350521/5287091	uH	Cs	304° NW	1798	8°
17	Normtyp	350289/5286682	uH (2x)	Ac	79° E / 22° N	1796 / 1795	39° / 38°
18	Flächenrest	350207/5286647	Ebene	Cs	118° ESE	1800	4°
19	Talung	350498/5286968	oH	Cf	329° NW	1784	29°

¹ Nr. 6 und 17 beinhalten pro Dolinenstandort jeweils zwei Profile

² Einzelprofile an Dolinenhaupttypen und ausgewählter Standorte auf dem Plateauausschnitt,

³ oH (Oberhang), mH (Mittelhang), uH (Unterhang), Dz (Dolinenzentrum)

⁴ Cf (*Caricetum firmae*), Cs (*Caricetum sempervirentis*), Ac (*Arabidetum caerulea*), Sk (Skelett)



Karte 1: Lage der Testdolin und Einzelprofile auf dem Untersberg-Plateau (SAGIS).

Endokarst Höhlen

Von über 400 bekannten Höhlen am Untersberg sind mehr als 100 Höhlen sehr gut erforscht (KLAPPACHER et al. 1975, KLAPPACHER 1996, LVHK SALZBURG). Er gilt somit als der höhlenreichste Berg der Berchtesgadener Alpen mit einer traditionsreichen Forschungsgeschichte. Die längste und somit größte Höhle auf österreichischer Seite ist die Kolowrathhöhle mit 40,455 km Gesamtlänge (Stand Okt. 2015, ZAGLER 2016). Seit 1846 erforscht, trägt sie als erste bekannte Höhle die Katasternummer 1339/1 und verläuft unterhalb des Salzburger Hochthrons und des Geiereckgipfels (Eingangshöhe 1795 m ü. NN) im nordöstlichen Plateaubereich. Sie ist größtenteils unter phreatischen Bedingungen entstanden und lässt sich in ein oberes (1400-1600 m ü. NN) und ein unteres Horizontalniveau (1000-1200 m ü. NN) unterteilen. Durch enormen Forschergeist in den frühen 80er –Jahren und ab 2002 wurden die jetzige Ganglänge, und an vier Stellen der Zugang zum Karstwasserspiegel in einer Tiefe von 1100 m erreicht (ZEHEENTNER et al. 2006, ZEHEENTNER 2010, MEYER 2012).

In unmittelbarer Nähe zum Karstwasserspiegel (ca. 680 m ü. NN) konnten aus dem Sedimentdepot des Kolowrat-Höhlensystems mit Hilfe eines Stechzylinders und in Form von einer Mischprobe Sedimente entnommen werden (vgl. *Abb. 7*, S. 25). Es ist hierbei besonders herauszustellen, dass die Sedimentproben nur durch technisch hochspezialisierte Höhlenforscher mit höchster Detailkenntnis des Höhlenverlaufs geborgen werden konnten. Zudem ist auch eine enorm hohe körperliche Fitness und mentale Stärke notwendig, da die Beprobungsstellen in diesem Fall nur durch 14 h- Etappen oder mehr zu erreichen sind. Auf der Höhe des Karstwasserspiegels sind enorme Mengen ($>100 \text{ m}^3$) an Sediment gelagert. Das hier deponierte Material stellt sowohl autochthones Sediment aus dem Höhlensystem (Calzit/Dolomit, Sand/Tone der Raibler Schichten, Speläotheme) als auch allochthones Material dar, welches über die Eintragssysteme Dolinen/Schächte und den Epikarst von der Oberfläche eingetragen und bis in Tiefen verlagert wurde.

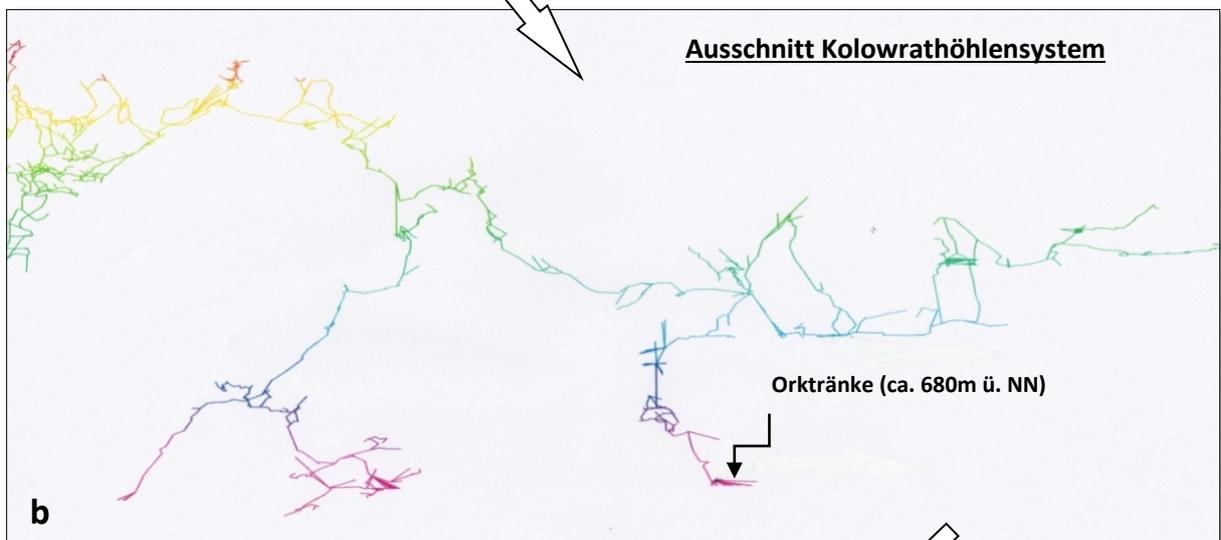
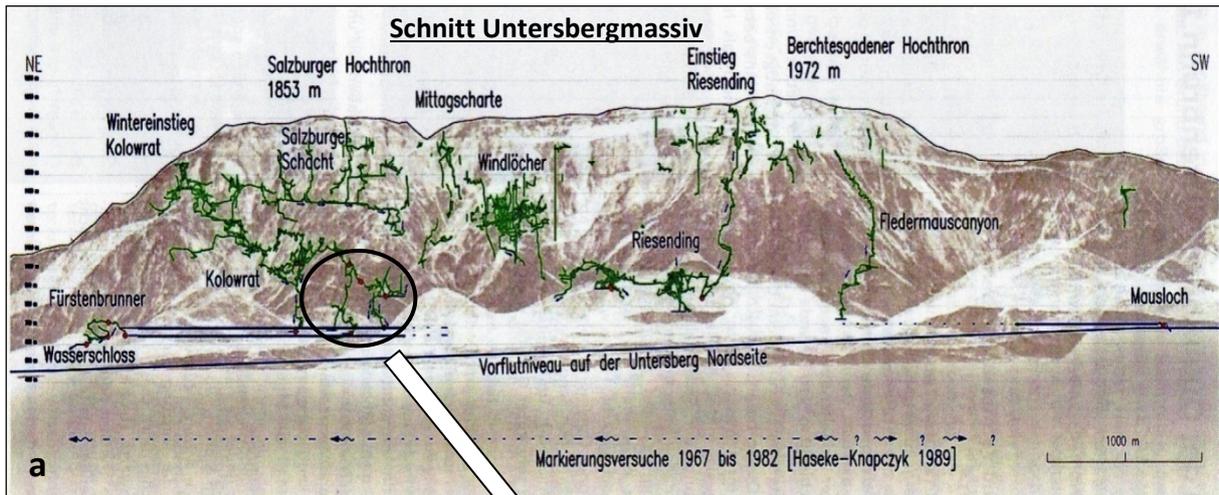


Abbildung 7: Aufriss Kolowrat (Ausschnitt b aus a), Höhe farbig abgestuft (100hm / Farbwertwechsel), Stand: 8/2014;c) Probenentnahme Orktränke 02/2013: ZAGLER 2016, S. 457 (a) und Privat-Archiv G. Zagler (b, c)

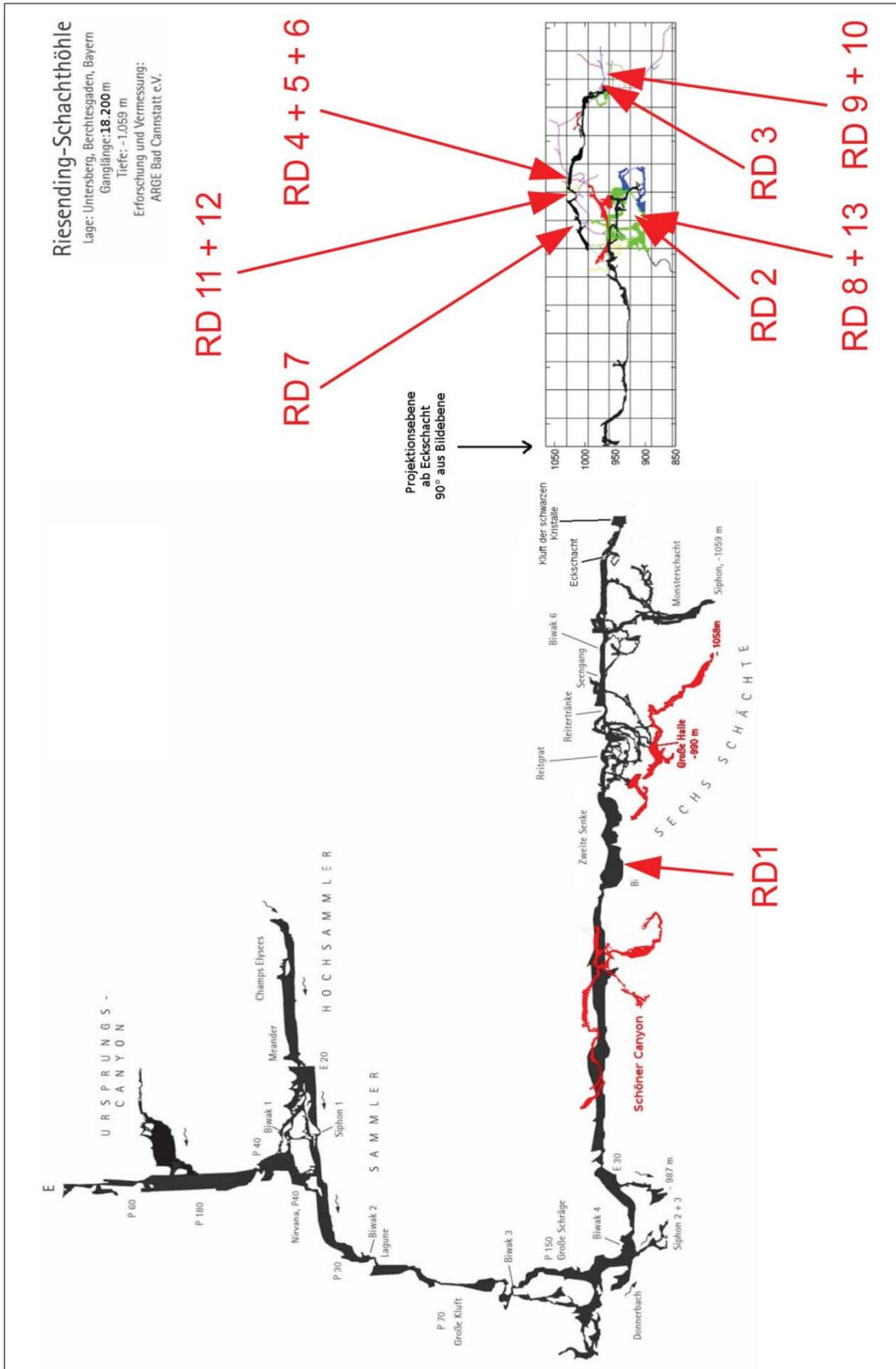


Abbildung 8: Seitenprojektion der Unteresberg-Schachthöhle Riesending; Stand: 2014, Privat-Archiv J. Westhauser, Lage der Sedimentproben RD1-13 gekennzeichnet

Auf bayerischer Seite, im südlichen Plateaubereich, liegt das Riesending-Höhlensystem. Die Entdeckungsgeschichte von Deutschlands längster und tiefster Höhle begann im Jahre 1996 und sie wird seit 2002 intensiv und kontinuierlich von Höhlenforschern der AG Bad Cannstatt erforscht. Das Riesending (Katasternummer 1339/336; Eingangshöhe 1843 m ü.NN) hat eine Gesamtlänge von 20 km und ist bis zu einer Tiefe von 1155 m vermessen (MEYER 2015, ZAGLER 2016). Die Sedimentproben (Mischproben und Stechproben) wurden im Jahr 2013 entnommen und stammen allesamt aus dem untersten Horizontalstockwerk in ca. 1100 m Tiefe und 980 m Horizontaldistanz zur Plateauoberfläche (vgl. Abb. 8, S. 26).

Das Riesending weist in seiner Anlage Ähnlichkeiten mit der Kolowrat-Höhle auf. Auch hier sind die Horizontalniveaus in ca. 400 m und 900 m Tiefe verortet und die Gangquerschnitte in ähnlichen Tiefenlagen zeigen genetische Gemeinsamkeiten (MEYER & MATTHALM 2007).

Der Forschungsendpunkt, aber auch die bisher erforschten Höhlen-Tiefpunkte (z. B. Bereich Sechs Schächte, Auencanyon, Krakencanyon) sind bis zum Karstwasserspiegel in Form von Siphonen erreicht. Die Anlage des Höhlenschachtsystems erstreckt sich nordwestlich des Berchtesgadener Hochthrons bis unterhalb des Mittersberges und biegt im weiteren Verlauf in Richtung NW zur Fürstenbrunner Quellschneise ab. Die Lage der Sedimentproben ist Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Lage der Sedimentproben und Probenentnahmetiefe aus dem Riesending-Schachtsystem (Privat-Archiv J. Westhauser)

Probennr. ¹	Höhe ²	Proben-tiefe	Probennr. ¹	Höhe ²	Proben-tiefe	Probennr. ¹	Höhe ²	Proben-tiefe
RD 1	930	0-3mm	RD 9	980	0-0,5cm	RD 23	905	0-35cm
RD 2	910	Handstück	RD 10	980	0,5-5cm	RD 24	905	0-2mm
RD 3	1025	Handstück	RD 11	1015	0-2mm	RD 25	905	0,5-3cm
RD 4	1020	0-1cm	RD 12	1015	2-10mm	RD 26	905	0,5-3cm
RD 5	1020	0-3cm	RD 13	905	0-15cm	RD 27	980	Handstück
RD 6	1020	Handstück	RD 20	905	Handstück	RD 28	850	0-2mm
RD 7	1010	Handstück	RD 21	905	0-45cm	RD 29	850	0,2-3cm
RD 8	905	0-2mm						

¹ Probennr. 1-13: Entnahme 02.-04.07.2013; Probennr. 20-26: Entnahme am 11.09.2013; Probennr. 27-29: Entnahme am 12.09.2013

²ungefähre Angabe in [m ü. NN]

2.3 Klima und Hydrologie

Übergeordnet unterliegt der Untersberg dem atlantisch-maritimen Einfluss der gemäßigten Breiten mit vorherrschenden Westwinden. Aufgrund seiner geographischen Lage innerhalb der Nördlichen Kalkalpen herrschen auch über längere Zeiträume hinweg kontinentale Klimaeinflüsse aus Osteuropa und maritime Klimaelemente aus dem Mittelmeerraum vor. Messungen zu den klimatischen Verhältnissen am Untersberg wurden bereits von FUGGER im

Jahre 1891 veröffentlicht. Seitdem liegen aus unterschiedlichen Quellen und Zeiträumen Klimadaten für das Untersberg-Plateau vor (vgl. *Tab. 6*).

Tabelle 6: Zusammenschau Klimadatenerhebung Untersbergplateau ab 1884-2017

Lokation	Zeitraum	Parameter	Methode	Quelle
Zeppezauer Haus (1664 m ü. NN)	ab 1884 – 1960 (Datenlücke 1. und 2. Weltkrieg)	Niederschlag	k.A. (Totalisator?)	Haseke-Knapczyk 1989
Plateau (keine genaueren Angaben)	1966-1975 (Intern. hydrolog. Dekade; MaB-6 Projekt)	Niederschlag, Schneehöhe	3 Totalisatoren, einige (?) Schneepegel	Haseke-Knapczyk 1989
Gipfelstation Geiereck (1805 m ü. NN)	ab 1981	Niederschlag, Lufttemperatur, -feuchte, Windstärke, -richtung	Tempis-Wetterstation	Land Salzburg, Referat 5/02 Luftgütemessnetz & Klimaatlas Land Salzburg
Untersberg 47,7° N/E 12,98°, 1829 m ü. NN	ab 1984	Niederschlag, Lufttemperatur, -feuchte, Windstärke, -richtung	Simulationsdaten	meteoblue AG

Die Temperaturen für die Hochfläche liegen im wärmsten Monatsmittel nicht über 10 °C, während das kälteste Monatsmittel -5 °C nicht unterschreitet (1947-1965: HASEKE-KNAPCZYK 1989, S. 66). Die exponierte Nordrandlage des Karstmassivs begünstigt in Kombination mit niederschlagsbringenden Westwinden eine orographische Stauwirkung und bedingt die Unterschiede des mittleren Jahresniederschlags von 1925 mm im Vergleich zur Station Salzburg mit 1184 mm (HASEKE-KNAPCZYK 1989, S. 63; 1971-2000, ZAMG). Die Klimastationen der umliegenden Täler im Südosten des Untersberges (z. B. Ettenberg: 760 m, Schellenberg: 480 m, Berchtesgaden: 570 m) geben ebenfalls erhöhte Niederschlagssummen im Vergleich zu Glanegg (482 m) an. Offenbar kommt es auf dem Plateau zusammen mit einer gleichzeitigen Leewirkung zu einer Verlagerung des relativen Niederschlagsmaximums nach Südosten (HASEKE-KNAPCZYK 1989, S. 64). Zusätzlich muss von differenzierten Niederschlagsmengen am mikrotopologischen Standort aufgrund des Mikro- und Mesoreliefs auf dem Karstplateau ausgegangen werden (Stichwort: niederschlagsbringende Westwinde). Ein Großteil des sommerlichen Niederschlags fällt in den Sommermonaten in Form von Starkniederschlägen in Kombination mit Gewittertätigkeit (UNGERSBÖCK et al. 2002). Jahreszeitlich verteilt fallen 40% des Niederschlages in Form von Schnee mit einer Neuschneesumme von 608 cm und einer Schneedeckendauer von 194 Tagen im 26-jährigen Mittel (HASEKE-KNAPCZYK 1989, S. 63). Diese Situation gilt besonders für den Bereich oberhalb der Plateaukante ab 1500 m ü. NN. Der erste Schneefall setzt hier Ende September – Anfang Oktober ein (Intquel 2, METEOBLUE 2017). Dabei führen die Schneetage im Frühherbst i. d. R. nicht zu einem kontinuierlichen Aufbau

der Schneedecke, sondern unterliegen im Laufe des Monats Oktober bis November einem wechselndem Auf- und Abbau bis hin zu erneuter Schneefreiheit. Das stark differenzierte Relief und die Luv-Lee Situation im Dolinenkarst führen außerdem zu einer ausgeprägten Variabilität der Schneedecke bzw. perennierenden Schneelagern, z. B. in tiefen Schachtdolinen oder expositionsbedingt im Bereich von strahlungsgeschützten Geländepartien. Auf dem Plateau dominieren die beiden Hauptwindrichtungen WSW bis WNW und SSE bis S und repräsentieren somit den Einfluss atlantischer Strömungen und warmer, trockener Luftmassen aus dem Mittelmeerraum (vgl. Abb. 9). Dabei werden auch gleichzeitig die möglichen Liefergebiete (Westalpen, kristalline Zentralalpen, Sahara) für die von der Windtätigkeit abhängigen Staubeinträge angezeigt (vgl. KÜFMANN 2008b). Die mikrotopographische Windsituation (Ablenkung, Verstärkung) wird maßgeblich von zwei Faktoren im subalpinen Dolinenkarst gesteuert:

- mikroklimatische Temperaturinversion in Dolinen und Bildung von Kalkluftseen (vgl. PRENNER 2014, STEINACKER et al. 2007)
- Mikrotopographie in Kombination mit peripheren Bedingungen am Dolinenstandort (vgl. MIX & KÜFMANN 2011)

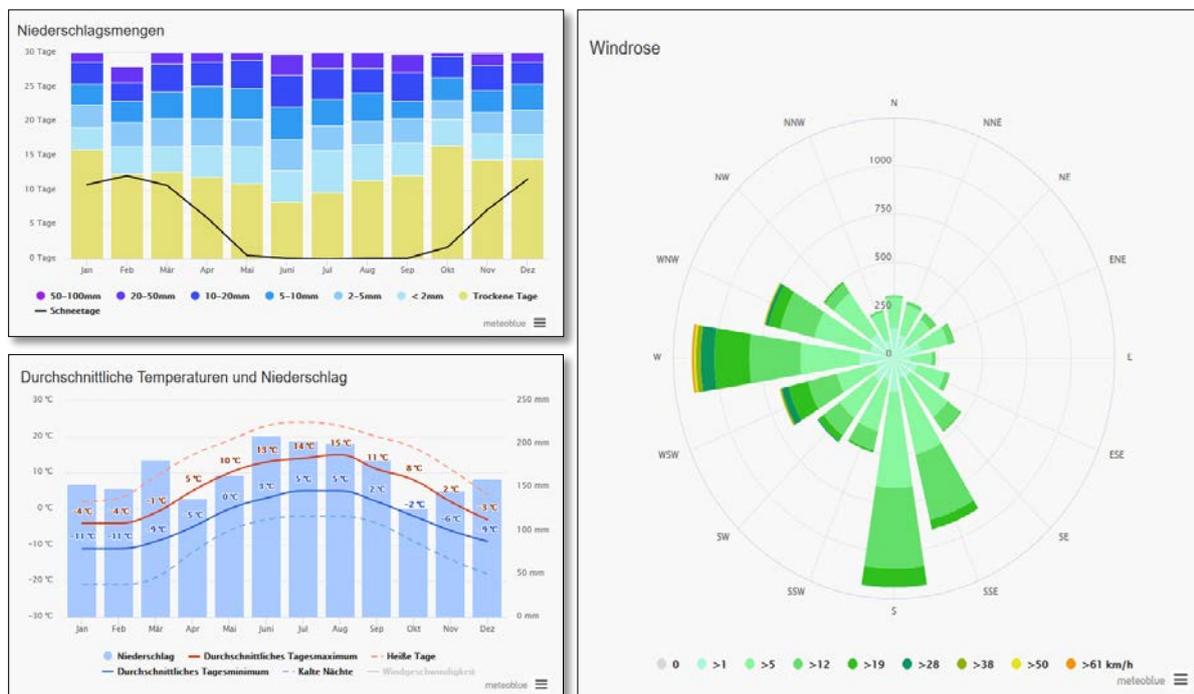


Abbildung 9: Klimadiagramme Untersberg-Plateau; Quelle: meteoblue (Simulationszeitraum: 1984 – 2017)

Karsthydrologisch relevant sind 188 kartierte Einzelquellen (Quellkataster 1963-1966, speläologisches Institut Wien). Tracerhydrologische Daten (1966-1975; 1981-1985) beweisen, dass der Großteil des Niederschlagswassers auf dem Untersbergplateau linear zur Fürstenbrunner Quelle entwässert (vgl. Abb. 10). Die Verweilzeiten der Markierungsstoffe (z. B. Sporen, Uranin, Amidorhodamin) betrug zwischen fünf und 190 Tagen. Die mittlere Schüttung der Hauptquelle liegt bei 750 l/s, bei Hochwasser liefert sie bis zu 15 000 l/s. Ein Anstieg der Schüttungsmenge wird bei Starkniederschlägen bereits nach 1,5 h bis 2,5 h registriert (HASEKE-KNAPCZYK 1989).

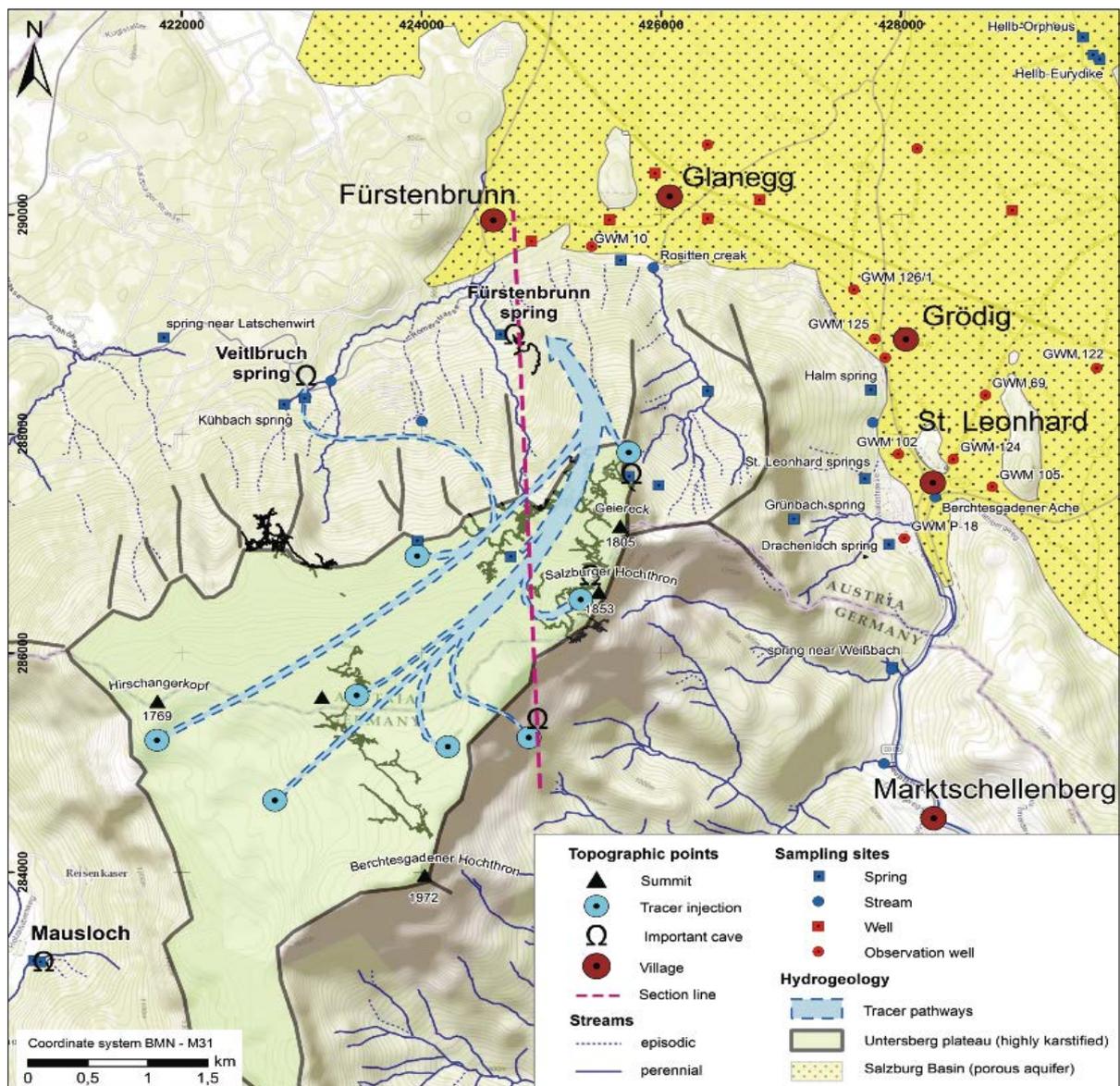


Abbildung 10: Hydrologische Situation am Untersberg (Quellen, Brunnen und hypothetische, unterirdische Abflussbahnen (REISCHER et al. 2015, S. 69, modifiziert nach HASEKE-KNAPCZYK 1989)

Die Karstwässer der Fürstenbrunner Quelle (Quellfassung 1875) werden seit Ende der 90er Jahre aufgrund steigender Qualitätsansprüche über eine Versickerungsanlage in das Grundwasserwerk Glanegg geleitet und versorgen zusammen mit dem Grundwasserwerk St. Leonhard und mehreren kleineren Quellen die Stadt Salzburg mit Trinkwasser (Salzburg AG). Aktuelle hydrogeologische Forschungen (Methode: Druck-/ Temperaturmessungen am Karstwasserspiegel) belegen, dass der Untersberg eine ausgedehnte Siphonzone mit einer horizontalen Ausdehnung des Karstwasserspiegels von knapp 2 km Luftlinie und einem vertikalen Schwankungsbereich von etwa 50 m aufweist (ZAGLER 2013). Weitere Untersuchungen an stabilen Isotopen zeigen zudem, dass der Porengrundwasserkörper von Glanegg und Salzburg keinen Zusammenhang mit dem Karstwasser des Untersberges aufweist. Die mittlere Verweilzeit des Wassers, das an der Fürstenbrunner Quelle hervortritt, beträgt in etwa 0,4 Jahre (REISCHER et al. 2015).

Die Verbindung der bisher erforschten Höhlensysteme über ein gemeinsames hydrologisches System zeigt auch das Umlagerungs- und Transportpotential von eingetragenen Sediment über die Plateaufläche via Höhlengänge zur zentralen Quelle Fürstenbrunn an.

2.4 Vegetation und Boden

Die Abhänge des Untersbergmassivs sind forstwirtschaftlich mit Nutz- und Schutzwäldern (70%, 30%) bestockt. In der montanen Bergwaldstufe setzen sich an wuchsrärmeren und bringungsschwierigen Standorten Laubmischwälder durch (DOLLINGER & HASEKE-KNAPCZYK 1988). Im Bereich der großen Dolinenfelder auf dem Plateau (ca. ab 1600 m ü. NN) ist das Alpenrosen-Latschengebüsch (*Rhododendron hirsuti* - *Mugetum*) der subalpinen Höhenstufe vorherrschend. Es wird auf den ebenen Bereichen durch den Blaugras-Horstseggenrasen (*Seslerio-Caricetum sempervirentis*) aufgelockert (vgl. Foto 2, S. 31). Bodenfeuchte Gräben, Mulden und Karstgassen werden stellenweise von der Grünerle (*Alnus viridis*) besiedelt (ÖAV 2012). In den Dolinen selbst wechseln sich mit Moos versetzte Schneetälchengesellschaften (*Arabidetum caerulea*), das windtrotzende Firmetum (*Caricetum firmae*) und feuchteliebende subalpine Staudengesellschaften (z. B. *Adenostylion alliariae*) ab. Sie spiegeln die mikroklimatischen Bedingungen (Luv-Lee Aspekte, expositionbedingte Schneelager, Schattsituationen) am Sonderstandort Doline wider.



Foto 2: Latschenbesetzte Hochfläche im Wechsel mit alpinen Matten (vorne links) und Dolinen (vorne rechts), Blickrichtung nach NE

Neben grundlegenden Arbeiten zu Böden des Salzburger Raumes (FINK 1967) ist das Untersberg-Plateau aus bodenkundlicher Sicht eine *Terra incognita*. Aus einzelnen Bodenkartierungen liegen Beobachtungen zu Bodentypen in Großdolinien (HASEKE-KNAPCZYK 1989), als auch Farbsprachen von Bodenprofilen im Bereich der Skipiste (GADERMAYR 1985) vor. Bodenkundliche Untersuchungen auf benachbarten Plateauflächen (z. B. Reiteralpe, Berchtesgadener Alpen; Zahmer Kaiser, Tirol) zeigen, dass die Substratbildung und daraus folgende Bodenentwicklung im Dolinenkarstrelief durch wechselnde Akkumulations- und Erosionslagen kleinräumig stark differenziert ist (KÜFMANN 2008, DUFFY 2011, MIX & KÜFMANN 2011). Das Mikroklima steuert über die Entwicklung der Schneedecke die räumlichen Muster der subalpinen und alpinen Vegetationsgesellschaften und damit die Humusbildung der organogen geprägten O/C-Böden (Lithic Leptosol, Histosol; Tangelrendzina im Sinne von KUBIENA 1953). Unterschiedliche Vegetationsassoziationen und ihre Sukzessionsstadien bedingen zusammen mit dem Mikrorelief eine Bodengesellschaft mit typischen skelettreichen Rendzic, Lithic und Umbric Leptosolen (ISSS-ISRIC-FAO). Am Ende der Entwicklungsreihe auf Carbonatgestein steht die Terra fusca als Vertreterin der Terrae calcis (KUBIENA 1953, MÜCKENHAUSEN 1977).

Sie tritt oft auch als Übergangstyp in Form einer Terra fusca-Rendzina (Calcic Cambisol, Chromic Cambisol, initial) auf. In den Nördlichen Kalkhochalpen ist die Bodenentwicklung eng mit dem Eintrag von allochthonem Material in Form von Flugstäuben verknüpft (KÜFMANN 2008, DUFFY 2011). Dieser Eintrag bedingt eine Dynamik hin zur silikatreichen Braunerde (Horizont: Bv-Tv). Akkumulativ wirkende Karren, Karstgassen und inselartige Flächenreste sind typische Standorte für diese gut entwickelten braunen Mineralböden. Je nach Versauerungszustand und genetischer Herkunft des Mineralanteils (autochthones Terra-Material vs. allochthones, lössartiges Silikatmaterial) sind Subtypen der Terra fusca (Cambisol) häufig. Mächtige Dolinenfüllungen, die je nach Höhenlage z. T. mit Moränenmaterial vermischt sind, sowie Reste von periglazialen Decksedimenten mit Lösslehmverwitterung bedingen Mehrschichtprofile (Bv/II Tv+Cv) mit der Substratfolge „äolische Löss-Braunerde über Residuallehm“ (KÜFMANN & MIX 2015). Bisher ist allerdings noch offen, inwieweit sich die bisherigen Forschungsergebnisse zu alpinen Böden auf den benachbarten Hochflächen mit dem Bodeninventar auf dem Untersbergplateau decken.

3. Methoden

3.1 Geländearbeit

3.1.1 Bodenkartierung

Die Bodenprobenentnahme findet an den Hauptexpositionen (Nord, Ost, Süd, West) entlang von Dolinen-Hangcatenen (i. d. R. drei Profile pro Hang) statt. Die Einteilung der Hänge erfolgt dimensionslos in drei gleichlange Strecken. Der obere Hangbereich repräsentiert gleichzeitig den Übergangsbereich der Doline zur Plateauoberfläche. Sind die Dolinenhänge mit der Bergkiefer (*Pinus mugo*) bewachsen, bezieht sich die Bezeichnung Dolinenrand auf den mit alpinen Rasengesellschaften bewachsenen oberen Hangabschnitt im Grenzbereich zum Latschenbesatz. Weisen die Test- und Referenzdolinen flache Abschnitte am Grund auf, werden die Bodenprofile am Hangfuß entnommen. Bei skelettreichen Dolinenauskleidungen erfolgt die Beprobung innerhalb des unteren Hangabschnittes. Aufgrund der z. T. stark skeletthaltigen und somit schwer grabbaren Profilabschnitte im Untergrund der Dolinenhangcatenen stellt die Profiltiefe gleichzeitig die erreichte Grabtiefe dar.

Die folgende Darstellung der Bodenentnahme bezieht sich sowohl auf die Catenen und Einzelprofil-Beprobungen (Höhenlage 1763 m bis 1833 m ü. NN), als auch auf die Profilentnah-

me an den Standorten zur Erfassung des äolischen Sedimenteintrages und an den Bodenerosions-Messstellen (vgl. *Kapitel 3.1.2* und *3.1.3*).

Die Proben werden horizontweise als Mischprobe des jeweiligen Horizontes entnommen. Aufnahme und Bodenansprache findet gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 2005) statt. Auf einen Kalk-Schnelltest mit verdünnter Salzsäure wird aufgrund des generell geringen Kalkgehaltes der Böden verzichtet. Die kartographische Erfassung der Bodenprofile erfolgt mit GPS (geographische Lage, Exposition, Höhe) und Neigungsmesser. Der Skelettanteil wird aufgrund mangelnder Transportmöglichkeiten im Gelände geschätzt.

Die Horizontbenennung und Bodentypeneinteilung wird nach AG BODEN (2005) und, wo möglich, nach der World Reference Base for Soil Resources (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) erfasst. Zur genaueren Differenzierung der alpinen Bodentypen werden zusätzlich die Benennung der deutschen Klassifikation nach KUBIENA (1953) und die Österreichische Bodensystematik (NESTROY et al. 2011) herangezogen. Die Farbensprache folgt der Munsell Soil Color Charts (KIC 2000).

3.1.2 Sedimenterosionsmessung

Die Quantifizierung von Sedimentabtragsraten durch niederschlagsinduzierten Oberflächenabfluss erfolgt mit einer Methode nach DIKAU (1988). Dabei kommen Rinnen aus Polyethylen (Länge 40 cm) in Kombination mit Blechen, Schläuchen und Sammelgefäßen zum Einsatz. Ein gewinkeltes Blech wird 1 cm unterhalb der Geländekante in das Erdreich eingearbeitet. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf einen lückenlosen Anschluss gelegt, um ein Unterspülen der Rinne zu vermeiden. Das Blech überführt die ab gespülten Partikel in die Abflussrinne (Regenrinnensystem). Über einen Schlauch wird die Suspension (Partikel, Oberflächenabfluss) in einem Gefäß (10 l Kanister) gesammelt. Eine Abdeckung des Rinnensystems vermindert den Eintrag von Sedimenten über Splash-Effekte oder in Form von äolischem Eintrag (vgl. *Abb. 11*, S. 34). Die Methode bietet gegenüber den von HOINKIS (2004), SCHIMMER (2009), LEISTNER (2011) und HAUSBERGER (2016) verwendeten Erosionsrinnen den Vorteil, dass durch die integrierten Sammelgefäße weder Korngrößen-sortierung noch Korngrößenverlust stattfindet und zusätzlich Aussagen über das Abflusspotential am Messstandort getroffen werden können (Beprobte Höhenlage: 1780 m bis 1803 m ü. NN).

Die Wartung umfasst die Quantifizierung des Oberflächenabflusses im Sammelgefäß. Anschließend wird das überschüssige Wasser über einen Schlauch abgelassen und die Suspension in PVC-Flaschen überführt. Anhaftende Partikelreste im Rinnensystem werden mit destilliertem Wasser abgespült und ebenfalls überführt. Die Suspension wird bis zur gravimetrischen Analyse tiefgefroren.

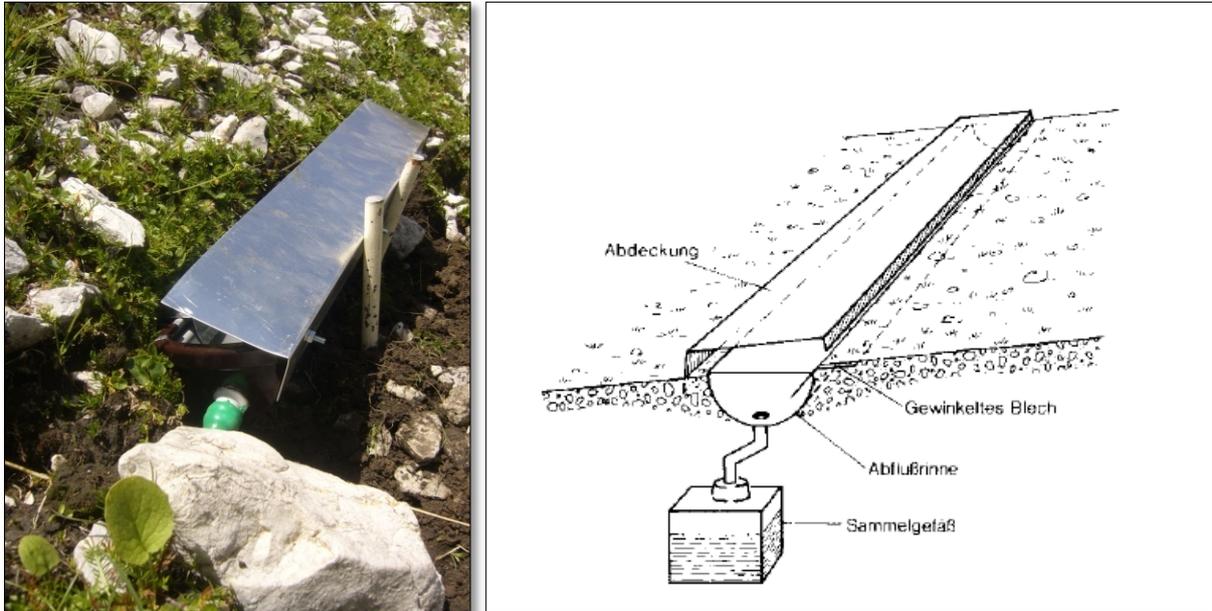


Abbildung 11: Messung von Bodenumlagerung und Abtrag, Geländebeispiel HSF_6 (links) und Skizze (rechts, aus DIKAU 1988)

Neben bodenbedeckten Hangpartien innerhalb der Dolinen-Hangcatenen werden auch felsdurchsetzte Hänge oder Steilwände beprobt. Hier kommen U-Profile aus Aluminiumblech zum Einsatz. Die Messstelle wird mit einem Meißel vorbehandelt, um größere Unebenheiten an der Felswand zu beseitigen und das Anpassen des Profils zu erleichtern. Nach anschließender Reinigung mit destilliertem Wasser werden die Profile mit Dübeln befestigt und die Schnittstelle Fels-Rinne mit Silikon abgedichtet. Eine Trichter-Schlauch-Konstruktion überführt das abfließende Niederschlagswasser zusammen mit den abgespülten Partikeln in Kanister. Ein oberhalb der Probestelle installiertes Blech verhindert äolischen Eintrag und somit eine Verfälschung der Ergebnisse (vgl. *Foto 3*, S. 36). Die Wartung erfolgt in üblicher Weise. Die Wartungsintervalle sind in Kapitel 3.1.3, *Tab. 8*, S. 38 angegeben.

Die jeweilige Lokation der Messstellen repräsentiert charakteristische Hang- und Felsbereiche innerhalb der zentralen Testfläche (Gesamtgröße ca. 2 ha). Deren Auswahl berücksichtigt die Aspekte Hangposition, Exposition, Neigung und Strukturierung in Form von Klüften (nur an Felsbereichen: Messstellen RTK_1, 2, 3) und Vegetation (vgl. *Tab. 7*, S. 36).



Foto 3: Messstelle Steilwand (RTK_1, links) und felsdurchsetzter Hangbereich (RTK_3, rechts)

Tabelle 7: Lage und charakteristische Standortfaktoren der Sedimenterosions-Messstellen

Bezeichnung	geogr. Lage	Neigung	Exposition	Hangposition ¹	Hangausstattung ²
HSF_1	47°42,952'N/E13°00,149'	24°	240°SW	mH (15)	V (100)
HSF_2A	47°42,947'N/E13°00,156'	43°	329°NW	oH (1)	V (90), F (5), M/B (5)
HSF_2B	47°42,938'N/E13°00,149'	38°	300°WNW	mH (20), Rinne	V (85), M (15)
HSF_3	47°42,889'N/E13°00,095'	32°	10°N	mH, Felsstufe	V (50), Sk (40), M/B (10)
HSF_4	47°42,921'N/E13°00,073'	36°	14°N	oH (4)	V(20), Sk (40), M/B (40),
HSF_5	47°42,930'N/E13°00,143'	38°	15°N	uH (15)	V (20), Sk (40), B/M (40)
HSF_6	47°42,919'N/E13°00,056'	40°	52°NE	mH (18)	V (20), Sk (75), B (5)
HSF_7	47°42,897'N/E13°00,094'	45°	330°NW	mH (25)	V (80), Sk (10), B (10)
RTK_1	47°42,949'N/E13°00,106'	89°	105°E	unstrukturiert	F (100)
RTK_2	47°42,933'N/E13°00,146'	78°	139°SE	strukturiert	F (95), M (5)
RTK_3	47°42,920'N/E13°00,075'	49°	180°S	strukturiert	F (50), Sk (10), V/B (40)

¹ Lage: oH (Oberhang), mH (Mittelhang), uH (Unterhang); Zahl in Klammern zeigt Hanglänge in [m] zwischen Messstelle und Geländekante.

² V: subalpine Mattenvegetation aus Vertretern von *Seslerio-Caricetum sempervirentis*, *Carex firma*, *Arabidetum caerulea*, Sk: Skelett / Frostschutt, F: Fels / anstehendes Gestein, M: Moose, B: Boden; in Klammern Flächenanteil in [%]

3.1.3 Flugstaubquantifizierung

Generell erfolgt die Staubquantifizierung über zwei grundlegende Methoden. Zur Erfassung des äolisch verlagerten Staubes (trockenen Deposition) kommen fettbeschichtete Haftfolien zum Einsatz (EFFENBERGER 1959). Stäube, die in Folge des „wash-out“ bei Niederschlägen (Regen, Schnee) deponieren, werden in Gefäßen (Bergerhoff-Verfahren VDI 1971; Höhe 1,5 m, Füllmenge 1,5 l) gesammelt. Im hochalpinen Bereich hat sich die Erfassung des Flugstaubes mit Hilfe von Sammelgefäßen durchgesetzt (DAHMS & RAWLINS 1996, REHEIS & KIHL 1995, KÜFMANN 2003b).

In der vorliegenden Arbeit wird die Partikel- und Niederschlagsmenge in eigens für die Stauberfassung im Bodensystem entwickelten Kästen aus Hartkunststoff gesammelt (KÜFMANN 2008b, DUFFY 2011, HANNOSCHÖCK et al. 1999). Ihr Einsatz in der subalpinen Vegetationshöhenstufe fordert zur Simulation der alpinen Mattenvegetation eine Bedeckung mit perforierten Kunststofffußmatten (Auffangfläche: 720 cm²). Findet der Einsatz in Block- oder Frostschuttbereichen innerhalb eines Dolinenhanges statt, wird auf die Abdeckung verzichtet. Die Auffangkästen verfügen über eine Füllmenge von 5 l. Ein Überlauf unterhalb des Kastenrandes verhindert über ein Sieb (< 63 µm) den Materialverlust. Um die Verdunstung zwischen den Wartungsintervallen gering zu halten, wird ein engmaschiges Fliegengitter an der Mattenunterseite angebracht. Die Kästen werden am Hang horizontal eingesenkt und an der Talseite zusätzlich mit senkrecht in den Untergrund eingeschlagenen Eisenstangen stabilisiert (vgl. Foto 4). Die Auffangfläche ragt mind. 8 cm über den Dolinenboden hinaus und verhindert somit den Zuschuss von Hangwässern und Bodenpartikeln. Bei jeder Wartung wird die Niederschlagshöhe gemessen, notiert und anschließend das überschüssige Wasser abgesaugt. Die verbleibende Suspension wird in PVC-Flaschen überführt, der Bodensatz mit destilliertem Wasser abgespült und ebenfalls dem Transportgefäß zugeführt. Die Suspension wird bis zur weiteren Analyse eingefroren.



Foto 4: Flugstauberfassung im Gelände: Sammelgefäß mit Rasenmatte (links) und Verdunstungsschutz (rechts)

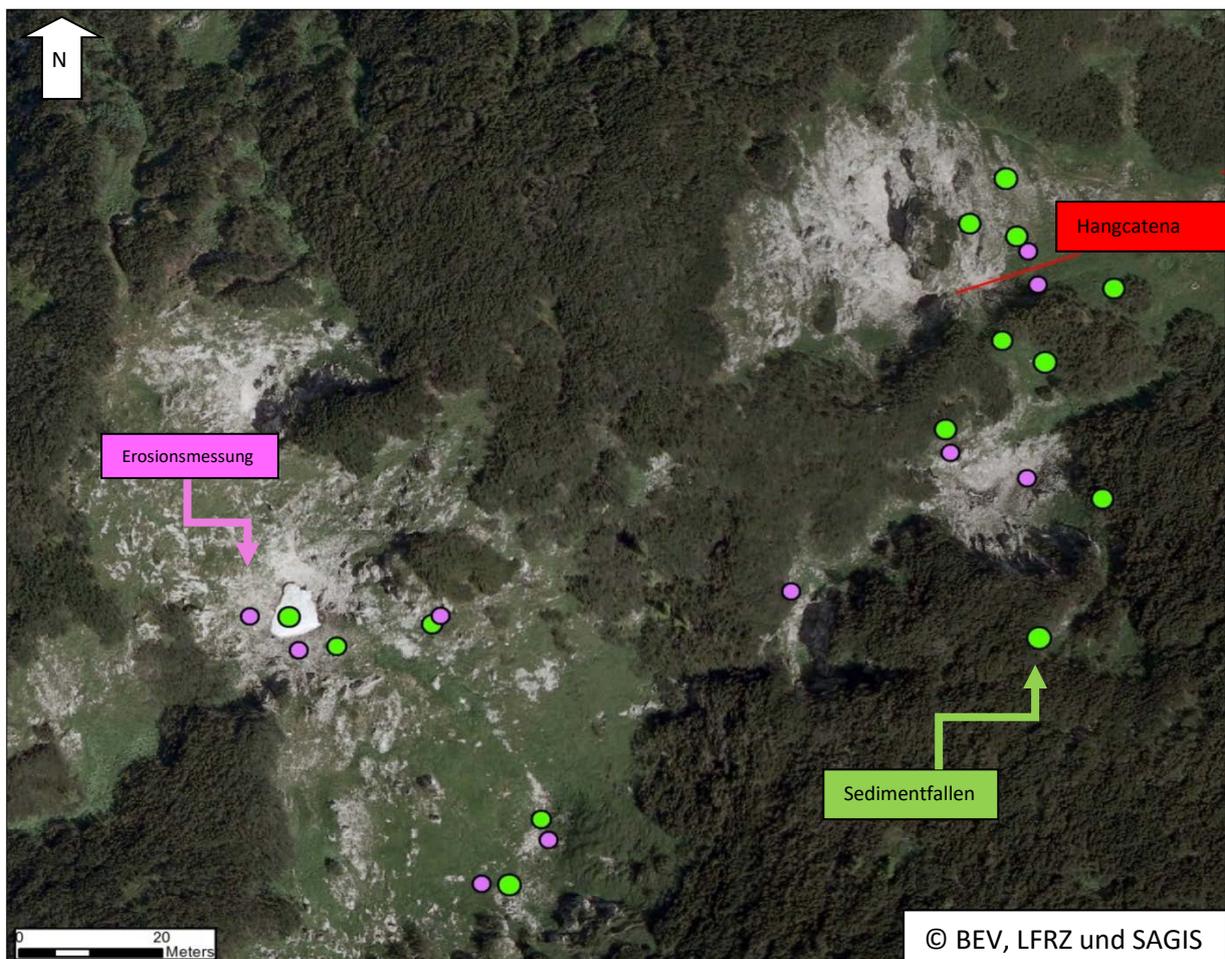
Die Sammelgefäße zur Staubquantifizierung werden innerhalb des zentralen Untersuchungsgebietes auf die fünf ausgewählten Testdolinien verteilt. Die Kriterien zur Messstellenauswahl folgen den zu ermittelnden Steuerungsfaktoren für den Staubeintrag: Hangposition (Dolinenrand, Hangmitte, Sattelage, Dolinenzentrum); Exposition; Vegetation (Bergkiefer

Pinus mugo, Blaugras-Horstseggenrasen *Seslerio-Caricetum sempervirentis*, Polsterseggenrasen *Firmetum*, subalpine Hochstaudenflur *Adenostylion alliariae*, Gänsekresse-Flur *Arabidetum caerulea*); Felsschutt bzw. Frostschutt (vgl. Karte 2; Tab. 9, S. 39).

Tabelle 8: Messintervalle der Erosions- und Flugstaubmessstellen im Geländejahr 2014 und 2015

Geländejahr 2014			Geländejahr 2015		
Messintervall	Dauer [Tage]	Bemerkung	Messintervall	Dauer [Tage]	Bemerkung
22.05. - 28.05.	6	Testlauf DSK_A-D			
28.05. - 09.06.	12	Testlauf DSK_A-D			
09.06. - 21.06.	12		12.06. - 01.07.	19	
21.06. - 06.07.	15		01.07. - 18.07.	17	
06.07. - 20.07.	14		18.07. - 04.08.	17	
20.07. - 09.08.	20		04.08. - 04.09.	31	Verdunstung!
09.08. - 25.08.	16		04.09. - 20.09.	16	
25.08. - 19.09.	25		20.09. - 10.10.	20	
19.09. - 12.10.	23		10.10. - 25.10.	15	
Σ 143 Tage			Σ 135 Tage		

Die Erosions- und Flugstaubmessstellen werden regelmäßig (durchschnittliches Messintervall: 18,5 d) gewartet (vgl. Tab. 8). An manchen Standorten kommt es durch verzögertes Ausapern der Messstelle (z. B. im Dolinenzentrum) oder Zerstörung durch Umstoßen des Sammelgefäßes (Viehtritt durch Gemsen) zu einer reduzierten Anzahl an Messungen.



Karte 2: Lage der Messeinrichtungen in den Testdolinien, zentrales UG am Untersberg-Plateau

Tabelle 9: Lage und Kurzcharakteristik der Messstellen zur Flugstauberfassung

Bezeichnung ¹	geogr. Lage	Hangposition ²	Exposition	Neigung	Hangausstattung ³
DSK_A	47°42,951'N/E13°00,101'	mH	200° S	40°	Cs (55), Sk (35), B (10)
DSK_B	47°42,952'N/E13°00,146'	mH	178° S	45°	Cs (5), F/Sk (75), B (20)
DSK_C	47°42,957'N/E13°00,145'	oH	178° S	36°	Cs (15), Sk (85)
DSK_D	47°42,947'N/E13°00,159'	oH	Ebene	-	Cs (100)
MD_A	47°42,941'N/E13°00,155'	Dz	300° W	2°	Cs 830), Sk (15), B (55)
MD_B	47°42,944'N/E13°00,148'	mH	90° E	39°	Cs (95), Sk (5)
MD_3	47°42,930'N/E13°00,090'	uH	278° W	36°	Ac/M/B (90), Sk (10)
MD_4	47°42,921'N/E13°00,074'	Sattellage	20° NE	9°	Cf (100)
MD_5	47°42,920'N/E13°00,067'	Dz	-	-	Sk (90), M (10)
MD_6	47°42,917'N/E13°00,090'	mH	42° NE	32°	Cs (90), Sk (10)
L_1	47°42,925'N/E13°00,153'	Kuppe	-	-	P (100)
L_2	47°42,937'N/E13°00,149'	mH	318° W	32°	P (100)
RTK_2A	47°42,933'N/E13°00,146'	mH	113° E	32°	Cs (90), P (10)
RTK_3A	47°42,920'N/E13°00,075'	mH	180° S	49°	F (50), Sk (10), Cs/B (40)
R_1	47°42,937'N/E13°00,160'	Rinne	235° SW	20°	Cs (100)

¹ DSK (Dolinen-Schacht), MD (Mulddoline), TD (Trichterdoline), L (Latschenstandort in DSK), RTK (Fels-, Steilwandstandort), R (Rinne)

² Lage: oH (Oberhang), mH (Mittelhang), uH (Unterhang); Dz (Dolinenzentrum); Höhenlage 1774 bis 1809 m ü. NN

³ Cs: *Seslerio-Caricetum sempervirentis*, Cf: *Firmetum*, Ac: *Arabidetum caerulea*, P: *Pinus mugo*, Sk: Skelett / Frostschutt, F: Fels / anstehendes Gestein, M: Moose, B: Boden; in Klammern Flächenanteil in [%]

3.1.4 Höhlensedimententnahme

Die Speläologie gibt für die Untersuchung von Höhlensedimenten grundsätzliche Kriterien vor (SCHMID 1958, TRIMMEL 1958, RIEDL 1961). Dabei wurden die feldmäßigen Sedimentuntersuchungen in Höhlen dem methodischen Vorgehen der Bodenkunde entlehnt und an die speziellen Gegebenheiten in Höhlen angepasst.

Für die vorliegende Untersuchung werden die Höhlensedimente in Form von Mischproben und als vertikaler Profilausschnitt (Methode: Stechzylinder) aus den untersten Stockwerken im Untersberg geborgen. Bei der Sedimententnahme steht eine möglichst großräumige Erfassung des Sedimentinventars und die Sicherheit der Höhlenforscher (Stichwort: Zeit und Gewicht) im Vordergrund. Daher wird auf das standardmäßige Erstellen einer Profilgrube verzichtet. Die Oberflächenproben werden als Mischproben unter der Angabe der Entnahmetiefe in einem Radius von 10-15 cm entnommen (Hilfsmittel: Taschenmesser). Zugleich findet die Erfassung der topographischen Lage im Höhlenplan inkl. Höhenlage in [m ü. NN] statt. Jede Proben-Entnahmestelle wird fotografiert. Die Erfassung der Kennwerte Feuchte, Körnungsart, Gefüge und Porosität findet aufgrund des Zeitfaktors nicht statt. Die Höhlensedimente werden luftdicht verschlossen an die Oberfläche gebracht und zeitnah übergeben (< 1d). Anschließend werden sie für die weitere Bearbeitung im Labor kühl, dunkel und trocken gelagert. Die Farbbestimmung findet unter natürlichen Lichtverhältnissen statt.

Die vertikalen Profilausschnitte können mit präparierten Polyethylen-Rohren (ø 5cm, l: 40 cm) entnommen werden. Diese werden längsseitig halbiert und mit Klebeband (Tesa Duct

Tape) erneut zusammengefügt. Zur Trocknung und für die störungsfreie stratigraphische Analyse wird das Tape an den Schnittstellen durchtrennt und die Probe liegt durch Aufklappen in zwei Hälften vor.

3.1.5 Tropfstellenbeprobung

In einem oberflächennahen Höhlengang des Kolowrat-Schachtsystems (1339/1) wird das Wasser eines aktiven Tropfsteins beprobt (Methode: BRANCELU 2003), um eine erste Einschätzung des Eintragspotentials von Sedimenten über den Epikarst tätigen zu können. Die Lokation ist über einen anthropogen angelegten Schacht erreichbar und befindet sich in 20 m Horizontalabstand zur Oberfläche. Es handelt sich um den sog. Wintereinstieg in das o. g. Höhlensystem, der in lockerem Verfüll-Material einer Einsturzdoline angelegt wurde. Dadurch konnte ein sicherer Zugang in die Höhle gewährleistet und das sonst übliche Lawnenrisiko am Kolowrat-Eingangportal ausgeschaltet werden. Die Befahrung der Kolowrat-Höhle bis in die untersten Höhlengänge ist nur in den Wintermonaten gefahrlos aufgrund des geringen Karstwasserspiegels möglich. Das Wasser der ausgewählten Tropfstelle wird über einen Silikonschlauch in einen Kanister (Füllmenge 10 l) überführt (vgl. Foto 5, S. 41). Zur Befestigung dient ein Lochband aus Metall in Kombination mit Felsdübeln. Um eine Kontamination des Tropfsteins mit Steinstaub während der Bohrungen zu verhindern, wurde dieser bereits zuvor mit dem Schlauchsystem versehen und vor der endgültigen Installation mit destilliertem Wasser gesäubert. Die Tropfstelle kann über einen Zeitraum von 9 Monaten betreut werden (Wartungsintervall I: 3 Monate, Wartungsintervall II: 6 Monate).

3.1.6 Trübstoffgewinnung

Durch die Filteranlage des Grundwasserwerkes Glanegg werden die Karstwässer der zentralen Fürstenbrunner Quelle bis zu einem Trübewert von 2,5 FNU (Formazine Nephelometrie Unit) geleitet. Aus der oberen Quarzsandschicht (0-5 cm) konnten mit freundlicher Genehmigung von Hr. Mag. Lintschinger (Salzburg AG) Mischproben entnommen werden. Die darin enthaltenen Trübstoffe werden nach der Stokesschen Gleichung (Absinkdauer 1 Minute 04 Sekunden) durch Dekantieren vom Quarzsand getrennt. Die gewonnene Schwebstofffracht wird mit folgenden Analysen beurteilt: Farbansprache (KIC 2000), makroskopische Glimmer (optisch), Fingerprobe (AG BODEN 2005).



Foto 5: Messaufbau Epikarst-Tropfstelle Wintereinstieg Kolowrathöhhlensystem (1339/1)

3.2 Laboranalysen

Die Lagerung der kartierten Boden- und Höhlensedimentproben findet an einem dunklen und trockenen Ort bis zur Laboruntersuchung statt. Anschließend werden die lufttrockenen Proben mit einem 2 mm-Sieb in Fein- und Grobboden unterteilt. Die Laboruntersuchungen werden an Proben des Feinbodens (Bodenmaterial, Höhlensedimente) im Labor des Departments für Geographie an der LMU München durchgeführt. Zusätzlich konnten in den Bodenlaboren der TU Weihenstephan (Lehrstuhl Bodenkunde und Extraordinariat für Geomorphologie und Bodenkunde) und dem Lehrstuhl für Ingenieurgeologie der TU München weiterführende Parameter (KAK, Elementaranalyse, Fe_o, CNS, Mineralogie) analysiert werden (Stichproben).

3.2.1 Gravimetrische Analysen

Das exakte Gewicht der gewonnenen Sedimentproben (Erosion, äolische Deposition) wird im Labor ermittelt. Dazu wird die Suspension in Bechergläser überführt und bei 105 °C im Trockenschrank eingedampft. Nach Abkühlung im Exsikkator und Wiegen mittels Analysewaage errechnet sich das Gewicht der gewonnenen Sedimentprobe über die Differenz aus dem Becherglas vor der Überführung der Suspension und nach Abkühlung inkl. Sedimentinhalt. Das Sediment wird für eine weitere Analyse in Druckverschlussbeutel überführt und aufbewahrt.

3.2.2 Chemische Untersuchungen

Karbonatgehalt

Der Karbonatgehalt wird gasvolumetrisch nach SCHEIBLER ermittelt (SCHLICHTING et al. 1995). Bei diesem Verfahren wird aus dem freiwerdenden Gasvolumen nach Versetzen der Probe mit verdünnter Salzsäure der Karbonatgehalt errechnet. Dies geschieht an gemörserten Proben und nach Eichung des Kalkimeter (Firma Eijelkamp) durch Ermittlung der vorherrschenden Temperatur- und Luftdruckverhältnisse. Die Kalibrierung wird jeweils nach zehn Probendurchgängen wiederholt.

pH-Wert

Die potentiometrische Ermittlung des pH-Wertes folgt dem Standardverfahren nach SCHLICHTING et al. (1995) mittels Glaselektrode und pH-Meter (Typ 521, Firma WTW). Die Probe wird in einem Becherglas mit 0,01M CaCl₂ versetzt (Verhältnis 1:2,5), homogenisiert und nach 30 min. mit dem kalibriertem pH-Meter gemessen.

organische Substanz

Die organische Substanz wird durch Verglühen im Muffelofen bei 430 °C in Anlehnung an DIN EN 12879 ermittelt (GV [%]), da Proben mit Gehalten an Gips, Ton und Sesquioxiden im Muffelofen Kristallwasser abgeben. Der Fehler nimmt ab 430 °C zu. Die getrockneten Proben werden in Keramikschälchen auf 0,01 g exakt eingewogen und 4 h bis zur Gewichtskonstanz geglüht. Nach anschließender Abkühlung im Exsikkator und Wiegen liegt der Gehalt an organischer Substanz durch Differenz in Gew.-% vor.

Über die Kenngrößen Carbonatgehalt und organischer Substanz kann das Verlehmungsprodukt (VL in [%]) nach BOCHTER (1983) ermittelt werden. Es zeigt den Ausdruck der Verlehmung einer Bodenprobe in Prozent [%] an und wird aus der Differenz von organischer Substanz und Carbonatgehalt vom Gesamtanteil errechnet ($VL = 100\% (\text{Boden} < 2 \text{ mm}) - \sum (\text{org. Substanz} [\%] + \text{CaCO}_3 < 2 \text{ mm} [\%])$).

organischer Kohlenstoff- / Stickstoffgehalt

Die Bestimmung des Kohlenstoff- und Stickstoffgehaltes erfolgt am CNS- Analyzer (Elementar vario EL III) mittels Doppelbestimmung. Die gemahlene Proben werden in Zinnschiffchen eingewogen und bei Temperaturen bis zu 1800 °C mit reinem Sauerstoff katalytisch verbrannt. Die gebildeten Verbrennungsgase werden mit Hilfe eines Trägergases (i. d. R. reines Helium) reduziert, in Trennsäulen gaschromatographisch separiert und über einen Wär-

meleitfähigkeitsdetektor quantifiziert. Mit Hilfe der bekannten Einwaage ist der Massenanteil der einzelnen Elemente in [%] oder [ppm] bestimmbar.

Aus dem Gehalt an C_{tot} wird über die Differenz mit dem anorganischen (karbonatischen) C-Gehalt ($\text{CaCO}_3 \times 0,12$) der organische Kohlenstoff (C_{org}) in [%] bestimmt, um das C/N-Verhältnis zu ermitteln. Es gilt als Maß für die biologische Aktivität eines Bodens und wird in drei Kategorien (kaum bis sehr aktiv) eingeteilt: Rohhumus: C/N-Wert 30-40, Moder: C/N Wert 20 und Mull: C/N-Wert 10-15.

Kationenaustauschkapazität / Basensättigung

Die effektive Kationenaustauschkapazität an ausgewählten Profilen wird über das vereinfachte Analyseverfahren in einer 0,5 Mol Ammoniumchlorid -Extraktion (NH_4Cl , ungepufferte Lösung) und anschließender Messung am Atomemissionspektrometer (ICP-OES) ermittelt (LÜER & BÖHMER 2000). Die gemessene Kationenkonzentration im Extrakt wird in Ionenäquivalente umgerechnet. Über den pH-Wert der Austauschlösung wird die Protonenkonzentration (H^+ -Ionen) ermittelt. Die effektive Kationenaustauschkapazität ist die Summe der Kationen- und Protonenäquivalente pro Gramm Boden in [mmol/kg]. Aus der Summe der Neutralkationen bezogen auf die KAK_{eff} errechnet sich die Basensättigung BS in [%].

Dithionit- und oxalatlösliches Eisen ($\text{Fe}_d / \text{Fe}_o$)

Die Extraktion des dithionitlöslichen Eisens (Fe_d) erfolgt mit Natriumcitrat-, Natriumhydrogencarbonat- und Natriumdithionitlösung. Für die photometrische Bestimmung am Spektrometer wird das Extrakt angefärbt (Methode: Mehra & Jackson in SCHLICHTING et al. 1995) und anschließend an einem Photometer (Hach Lange DR 5000) gemessen. An ausgewählten Profilen erfolgt die Messung am ICP-OES. Zudem findet an diesen Profilen auch eine Bestimmung des oxalatlöslichen Eisens (Fe_o) statt (Methode: Tamm in SCHLICHTING et al. 1995). Die Herstellung der Extraktion mit 0,2 Mol Ammoniumoxalat-Lösung ($(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$) findet unter Schutz vor UV-Strahlung und bei konstanter Raumtemperatur (unter 25 °C) statt. Die Messung erfolgt am ICP-OES.

Elementanalyse

Nach Gesamtaufschluss mit Perchlorsäure (HClO_4) und Flußsäure (HF) unter Verwendung von Mikrowellen und anschließendem Abrauchen werden an Stichproben die Elemente Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Si mit dem Atomemissionenspektrometer (ICP-OES) ermittelt. Diese

Analyse wurde von einer Laborantin am Institut für Bodenkunde der TU Weihenstephan unter den vorgeschriebenen Schutzmaßnahmen und Vorschriften durchgeführt.

Mineralanalyse / Tonmineralogie (Semiqualitativ)

Die mineralogische Untersuchung an ausgewählten Profilen erfolgt mit einem Röntgendiffraktometer. Die gemahlene, texturarme Probe wird als Pulverpräparat gemessen. Die Tonfraktion wird unter Verwendung von ATTERBERG-Zylindern getrennt. Die Dispergierung findet im Ultraschallbad mit Ammoniak statt. Aufgrund der hohen Anteile an organischer Substanz und Eisenoxiden sind die Ergebnisse semiqualitativ zu werten.

An Einzelproben konnte nach Entfernung der Eisenoxide mittels Dithionit eine weitere Tonmineralanalyse durchgeführt werden. Die Vorgehensweise folgt der vorangehend beschriebenen.

Die Röntgenphasenanalyse (Zink als interner Standard, Bragg-Gleichung: $2d \cdot \sin(\theta)$) wurde durch Dipl.- Geol. Mathias Köster (TU Ingenieurgeologie Prof. Gilg) durchgeführt und ausgewertet. Die Ergebnisse sind mit entsprechenden Bemerkungen versehen.

3.2.3 Physikalische Parameter

Die Bestimmung der Korngrößen erfolgt durch eine Kombination aus Nasssiebung und Sedimentation nach KÖHN (DIN 19683/2). Die Probe wird mit Ammoniak dispergiert und anschließend 1,5 h in einen Überkopfschüttler gegeben. Die Korngrößenbestimmung an mineralischen Proben mit einem Gehalt an organischer Substanz von < 15 Gew.-% wird mit einer Einwaage von 35 g durchgeführt. Die Entnahme der Ton- und Schlufffraktion findet nach Schlämzung und Sedimentation im Wasserbad (30 °C) mit einer Pipette über eine Führungsschiene statt. Im Anschluss werden die Sandfraktionen in folgenden Größen abgesiebt: 0,06-0,1 mm; 0,1-0,2 mm; 0,2-0,315 mm; 0,315-0,63 mm; 0,63-1,0 mm; 1,0-2,0 mm. Die Ermittlung der Korngrößenverteilung erfolgt statistisch über die Einzelwerte der Fraktionen und die Einwaage.

3.3 Klimadaten – Erhebung und Auswertung

Platearelevante Klimadaten (Niederschlag, Windrichtung, Windstärke) der Tempis-Station am Geiereck (1805 m ü. NN) wurden von Dipl.- Ing. Kranabetter, Luftgütemessnetz Salzburg, zur Verfügung gestellt. Die halbstündlichen Niederschlagsmesswerte werden für das jeweils benötigte Messintervall aufsummiert. Die 30-minütigen Daten zu Windrichtung und Windgeschwindigkeit [m/s] werden pro Messintervall kombiniert in 16 Expositionsclassen und 6 Windgeschwindigkeitsclassen angegeben. *Abbildung 12* zeigt die Anzahl der halbstündigen Messintervalle in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit pro Windrichtungssektor und stellt die gesamte Windaktivität (vgl. auch KÜFMANN 2008b), auch einzelner Sektoren für die Gesamttag eines Messintervalls dar. Die Darstellung in Form von Windrosen basiert auf den ausgewählten Datensätzen (Excel-Vorlage <https://www.envioware.com/plot-a-wind-rose-in-excel/>).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Direction	0 <= ws < 2	2 <= ws < 4	4 <= ws < 6	6 <= ws < 8	8 <= ws < 10	ws >= 10	Average Speed (m/s)	Number of events	Events (%)
2	N	1	0	0	0	0	0	4,9	1	0,3
3	NNE	1	0	0	0	0	0	5,9	1	0,3
4	NE	2	1	0	0	0	0	5,0	3	0,9
5	ENE	1	0	0	0	0	0	3,6	1	0,3
6	E	8	4	1	0	0	0	3,1	13	3,9
7	ESE	18	23	23	11	1	0	3,6	76	22,7
8	SE	6	5	16	2	0	0	3,6	29	8,7
9	SSE	0	4	0	0	0	0	2,9	4	1,2
10	S	3	3	1	0	0	0	3,2	7	2,1
11	SSW	0	2	4	1	0	0	3,1	7	2,1
12	SW	2	1	2	3	1	0	2,5	9	2,7
13	WSW	3	6	4	5	4	0	1,9	22	6,6
14	W	2	21	15	6	11	4	2,0	59	17,6
15	WNW	5	4	14	18	17	22	3,3	80	23,9
16	NW	4	5	5	0	0	0	3,7	14	4,2
17	NNW	4	3	2	0	0	0	4,9	9	2,7
18								335		
19	Number of events	60	82	87	46	34	26	© Envioware srl 2013		
20	Events (%)	17,9	24,5	26,0	13,7	10,1	7,8	www.envioware.com		
21										

Abbildung 12: Ausgewerteter Datensatz zu Windrichtung und –geschwindigkeit, Messzeitraum 22.05.-28.05.2014

Im Untersuchungsgebiet selbst wird mit Hilfe einer selbstkonstruierten Vorrichtung (Kanister-Trichter-Kombination) nach REISCHER et al. (2015) die Niederschlagsmenge pro Messintervall gemessen (Lage: 47° 42,943' N/E 13° 00,159', zwischen D2 und D5). Ein Tischtennisball wird im Trichter positioniert und dient als Verdunstungsschutz (vgl. *Foto 6*, S. 46 links). Die Niederschlagsgröße l/m³ wird aus dem Quotient des ausgeliterten Volumens und der Trichterfläche (0,041 m²) pro Messintervall ermittelt.

Die Sedimentauffangbehälter sammeln am mikrotopologischen Standort ebenfalls Niederschlag. Durch das engmaschige Fliegennetz wird die Verdunstung soweit verringert, dass zumindest eine Abschätzung in Bezug auf die Niederschlagsmenge möglich ist. Diese wird aus dem über die Höhe des Niederschlags ermittelten Volumen errechnet. Die Oberfläche (A_o) ist hier je nach Höhe des Niederschlags aufgrund der konischen Kastenform variabel (1). Zur Ermittlung des Niederschlags dient die Oberfläche des Auffangkastens als Eintragsfläche (2).

$$1. \quad V = \frac{1}{2} (A_o + A_u) \cdot h \quad [l]$$

$$2. \quad N = V / A_o \quad [l/m^2]$$

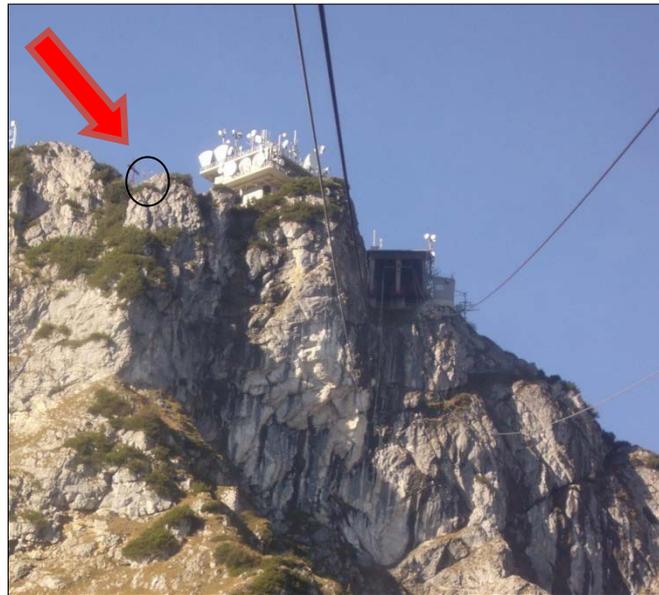


Foto 6: Selbstkonstruierter Niederschlagsmesser nach REISCHER et al. 2015 (links); Lee-seitige Lage der Tempis-Wetterstation an der Bergstation Geiereck unterhalb des Gipfelkreuzes (rechts)

3.4 Topographische Analyse

Ausdehnung, Tiefe und Neigung der Dolinenhänge werden mit Hilfe von Orthophotos (RGB, Bodenauflösung 20 cm/Pixel) und einem DGM mit der Rastergröße 1 m (Quelle: SAGIS, Stand: 2012) ermittelt. Mittels eines GIS: GeoInformationSystems (ArcGIS Lizenz 2017) werden über die Toolbox Spatial Analyst und dem Toolset „Hydrologie“ Senken angezeigt. Sie geben den hydrologisch tiefsten Punkt in den Testdolin an. Entlang der Haupthimmelsrichtungen Nord nach Süd (N-S) und West nach Ost(W-E) werden jeweils Schnittlinien gelegt und so ein Oberflächenprofil erstellt (vgl. Abb. 13, S. 47). Aufgrund der Rastergröße des DGM kann es vor allem an steilen Hang- und Felsbereichen zu Verzerrungen und Ungenauigkeiten in der Darstellung kommen.

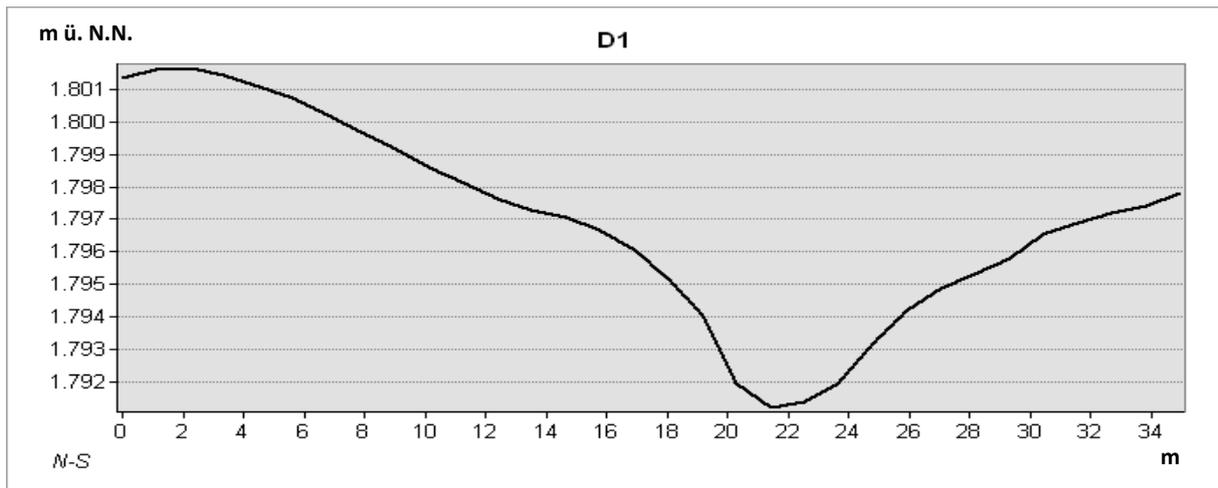


Abbildung 13: Beispiel eines Dolinenprofils (Doline D1) von Nord nach Süd

3.5 Vegetationskartierung

Die Vegetationsaufnahme in den Dolinen folgt der Methode nach BRAUN-BLANQUET (1964). Die Vegetationsproben werden in trockenem Zustand ausgewertet (AESCHIMAN et al. 2004; SCHAUER & CASPARI 1996) und einzelne Vertreter zu Pflanzenassoziationen nach OBERDORFER (1971) zugeordnet. Die Auswertung der Standortfaktoren basiert auf den Zeigerwerten von ELLENBERG et al. (1992). Die Einteilung des *Seslerio-Caricetum sempervirentis* in zwei Ausprägungen (wärmebegünstigte und weniger begünstigte Ausbildung) folgt den Beschreibungen von GRABNER (1997).

4. Ergebnisse

4.1 Bodenhaupttypen und ihre räumliche Verteilung im subalpinen Dolinenkarst

Im Untersuchungsgebiet wurden insgesamt 98 Profile (155 Horizonte inkl. org. Auflagen) angelegt. Davon sind 70 Profile in Dolinenhang-Catenen eingebettet. 14 Einzelprofile an ausgewählten Standorten (z. B. ebene Plateaubereiche, tektonische Störungszonen, unterschiedliche Dolinentypen als Referenzprofile außerhalb des zentralen Untersuchungsgebietes) und 14 Profile an den Messstellen zum Sedimenteintrag und -austrag zeigen ein mikrotopologisches Bild über die Bodentypen im Dolinenkarst.

Insgesamt zeichnen sich die Böden am Untersberg-Plateau durch eine starke Entkalkung mit geringen Carbonatgehalten in [%] (Mittelwert: 1,37; Min: 0,07, Max: 18,92; n=155) bei sehr schwach saurem pH-Wert (Mittelwert: 6,26; Min: 3,08, Max: 7,49; n=155) aus. Ihre Flach-

gründigkeit (Mittlere Solummächtigkeit: 20 cm, Min: 5 cm, Max: 65 cm; n=98) ist typisch für alpine Böden auf Carbonatgestein und beruht auf der stetigen Verjüngung durch konstanten Abtrag. Durch die periglaziale Dynamik im Postglazial und den aktuell-rezenten Eintrag von allochthon-silikatischen Stäuben wird das Spektrum der Böden am Untersberg über die Entwicklungsreihe der Rendzinen hin zur Braunerde ergänzt.

Eine Einteilung der variantenreichen Subtypen der Rendzina in internationale Systeme (z.B. WRB 2006) gestaltet sich generell schwierig und ist nicht immer gegeben. Die alpine Bodenforschung muss sich daher nationaler Bodensystematiken bedienen. Im deutschsprachigen Alpenraum stehen die Bodentypeneinteilungen nach AG BODEN (2005) und die revidierte Fassung der Österreichischen Bodensystematik (NESTROY et al. 2011) zur Verfügung (vgl. BARUCK et al. 2016), während sich die innovativen Klassifizierungsvorschläge von BOCHTER (1983) aufgrund der starken Betonung der petrographischen Komponente bei der Horizontansprache nicht durchsetzen konnten.

4.1.1 O/C-Böden

Bodentypeneinordnung

Die organische Auflage mit > 30 Gew.-% organischer Substanz stellt das diagnostische Merkmal des Skeletthumusbodens (Klasse O/C-Böden) nach AG Boden (2005) dar. In der WRB (2006) wird anhand der Auflagemächtigkeit zwischen einem Leptosol (<10 cm) und einem Histosol (>10 cm) unterschieden. Mit diesen beiden Bodensystematiken sind die Varietäten der Skeletthumusböden im subalpinen Dolinenkarst allerdings nicht einzuordnen. Die Österreichische Bodensystematik (2011) liefert unter der Klasse der Terrestrischen Humusböden Subtypen der Rendzina. Sie klassifiziert im Sinne von KUBIENA (1953) die alpinen Böden auf Carbonatgestein in Abhängigkeit der Standortfaktoren (Vegetation, Exposition). Im Gegensatz zur Horizontabgrenzung nach dem Gehalt an organischer Substanz in den Auflagen (O/C-Boden) bzw. mineralischen Oberböden (Ah/C; Rendzina) mit dem Grenzwert von 30 Gew.-% (AG Boden) wird in der Österreichischen Bodensystematik (2011) zudem ein Gehalt an organischer Substanz bis 45 Gew.-% bei Vorhandensein von typischen Mineralbodenmerkmalen als diagnostisches Merkmal der Rendzina noch toleriert.

Die auf den Testflächen untersuchten O/C-Böden stellen aufgrund der stark schwankenden Humusgehalte mitunter Übergangsformen zur Rendzina nach AG Boden (2005) dar, die sich auch in der Abnahme der humosen Anteile innerhalb des Profils zeigen.

Tabelle 10: Diagnostische Merkmale der Rendzina-Subtypen, Quelle: Österreichische Bodensystematik (2011)

	mullartige Rendzina (L-Ahb-C; L-H-Ahb-C; H-C; M-C)¹	Moder-Rendzina (L-F-H-Ahb-C)¹	Pechrendzina (Hzo-C; H-Ahb-C)¹
Humusform	mullartiger Moder, Kalkmull	Moder, Kalk-Moder	reiner H-Horizont
Mächtigkeit	k.A.	L-F 2 bis 15cm	k.A.; Ahb max. 2cm
CaCO₃	karbonathaltig	karbonatfrei, oder Karbonat- gehalt von Gesteinssplittern; in trockenen Lagen hoher Karbonatgehalt	k.A.
pH	neutral (voll basengesättigt)	Auflagehumus stark sauer, Humus sauer, jedoch voll basengesättigt	k.A.
org. Sub- stanz	bis 30 Gew.-%	meist sehr stark humos; in trockenen Lagen auch hu- musärmer	völlig humifiziert, feinst- körnige Aggregate
Bemerkung	meist skelettreich, locker, in trockenem Zustand staubig zerfallend	lose, strukturlos; im Humus reichlich unvollständig zer- setzte Pflanzenreste	tief schwarz, schmierig; schattseitige Lagen

¹ Übersetzung der Kurzform aus Österreichischer Bodensystematik (2011) in AG Boden (2005); L: L (Streu), F: Of (fermentiert: 10-70 Gew.-% org. Substanz), H: Oh (org. Substanz mind. 70 Gew.-%), Ahb: humoser Mineralbodenhorizont, leicht verbraunt (org. Substanz < 35 Gew.-%, bei Rendzinen Toleranzbereich bis 45 Gew.-%), Hzo: zoon (griech.), durch tierische Aktivität geprägt, C: Ausgangsmaterial (locker oder fest).

Die Skeletthumusböden in den Untersbergdolinien werden in Alpine Protorendzina, Alpine Pechrendzina, mullartige Rendzina und Moderrendzina differenziert (vgl. *Tab. 10*). In Kombination mit der diagnostischen Humusform zeigen die organischen Auflagen typische Merkmale.

Profilbeschreibung

Der Skeletthumusboden als initialer Bodentyp (Klasse O/C) auf Lockergestein liegt mit unterschiedlichen Mächtigkeiten und Anteilen an organischer Substanz vor (vgl. *Tab. 11*, S. 50). Das Lockersubstrat zeigt sich als Skelett des Dachsteinkalks, bestehend aus Frost- und Verwitterungsschutt in Folge der Carbonatlösung des Ausgangsgesteins. Die Schuttanteile innerhalb der organischen Auflagen variieren ebenso wie deren Klastengrößen. Im oberen Bereich des Oh überwiegt das humose Material deutlich gegenüber dem Skelettanteil. Im weiteren Verlauf nimmt der Anteil der humosen Auflage ab und bildet letztendlich einen schmalen Saum zwischen dem Blockschuttmaterial. Trotz des Lockermaterials ist der Cv-Horizont auch aufgrund der Einbettung in den Dolinenhang schwer grabbar. Die Verwitterungsmerkmale dieses Horizontes zeigen sich in erster Linie in Toncutanen, die das bereits chemisch angelöste Skelett überziehen. Der Grad der Vegetationsbedeckung an diesen Bodenstandorten variiert zwischen 100% und 20% in Abhängigkeit von der vorherrschenden

Pflanzengesellschaft (*Seslerio-Caricetum sempervirentis*, *Adenostylin alliariae*, *Arabidetum caerulea*) und spiegelt sich in der Durchwurzelungsintensität wider.

Die Carbonatgehalte sind gering, Ausnahmen bilden Bodenstandorte mit einem hohen Skelettanteil und einer Carbonatspende durch benachbarte Felswände (Frostschutt, Kalkstaub). Die Bodenfarbe variiert von schwarz (10YR 2/1) über sehr dunkelgrau (10YR 3/1) bis sehr dunkelbraun (10YR 2/2). Eine Glimmerführung wird in neun von insgesamt 45 organischen Auflagen dieses Bodentyps verstärkt an west- und südexponierten Hangbereichen registriert, wobei eine Konzentration in großräumigen Dolinen (D3, D4) festzustellen ist. Die Humusaufgaben (Oh-Horizonte) zeigen trotz z. T. hoher Anteile an organischer Substanz ein enges C/N-Verhältnis (Mittel 13,61, n=40). BOCHTER (1981) weist bei seinen Humusuntersuchungen im Nationalpark Berchtesgaden auf die Erhöhung des Gesamtstickstoffs durch Tierlosung (*Rupicapra*) hin. Auch die Nähe des Salzburger Flughafens kann als N-Eintragsquelle in Betracht kommen. Aufgrund des günstigen C/N-Verhältnisses zeigen die humosen Auflagen damit eine hohe bodenbiologische Aktivität und ein daraus folgendes Krümelgefüge. Die pH-Werte liegen im sehr schwach bis schwach sauren Bereich (pH-Wert 6,1 - 6,8 und pH-Wert 5,4-6,1). Innerhalb des Profils wird eine Zunahme des pH-Wertes in den neutralen Bereich festgestellt. Eine Ausnahme bilden die **Moderrendzinen**. Sie sind durch einen extrem bis mäßig sauren pH-Wert gekennzeichnet, der die Ausbildung von meist geringmächtigen L- und Of-Lagen bedingt. Ihr Auftreten ist mitunter an Standorten unter Bergkieferngebüsch (*Pinus mugo*, im Folgenden auch als Latsche benannt) geknüpft. Auffallend innerhalb der Skeletthumusböden ist der Anstieg organischer Substanz an westorientierten Standorten in Richtung Dolinenzentrum (vgl. Hervorhebung durch schwarze Rechtecke, Abb. 14, S. 51).

Tabelle 11: Mittelwerte laboranalytischer Kenngrößen der org. Auflagen an O/C-Profilen

n=45 ¹	Mächtigkeit [cm]	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ [%]	C _{tot} [%]	org. Subst. [Gew.-%]	VL [%]
Mittel	16,02	6,35	1,10	25,67	46,26	52,20
Min	3	3,08	0,1	14,35	31	18,86
Max	45	7,32	8,93	47,23	76,9	68,23

¹ Profile n=45; pH, CaCO₃, org. Substanz: n=51 unter Berücksichtigung aller Horizonte (Oh, geringmächtige Ah), VL [%] n=48, C_{tot} [%] n=40

Die Oh-Auflagen der **alpinen Protorendzinen** (n=5) mit geringen Mächtigkeiten (3-8 cm) und einem sehr schwach sauren (6,77; 6,79) bis neutralem pH (6,97; 6,98) sind mit z. T. unvollständig zersetzten Pflanzenresten (Bergkiefernadeln, -zapfen, *Pinus mugo*) und Gesteinsbruchstücken durchsetzt. Diese bedingen eine Anhebung des allgemein extrem geringen Carbonatgehaltes auf bis zu 1,91%. Die Protorendzinen sind sehr erosionsanfällig, da sie bei

Trockenheit leicht verwehen, damit zum Humusschwund beitragen und in feuchtem Zustand zur Verschlammung neigen. Daher sind ihre Vorkommen auch an ebene Geländevorsprünge innerhalb steiler Dolinenhangabschnitte gebunden.

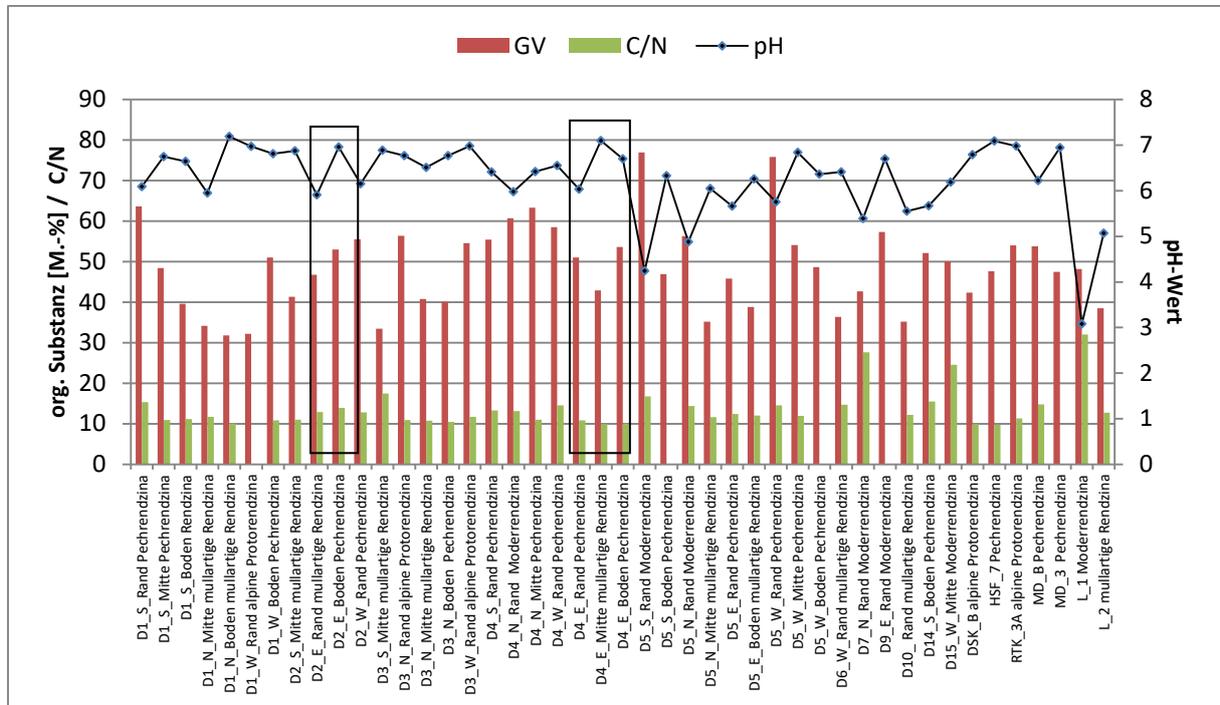


Abbildung 14: Chem. Kennwerte der Oh-Horizonte von Skeletthumusböden

Die **Pechrendzinen** (n=20) zeichnen sich in feuchtem Zustand durch ihren tief schwarzen und schmierigen Oh-Horizont aus. Aufgrund der insgesamt sehr schwach sauren pH-Verhältnisse und der engen C/N-Verhältnisse weisen die Pechrendzinen am Untersberg in trockenem Zustand mitunter ein Krümelgefüge auf, können aber wegen der insgesamt hohen Gehalte an organischer Substanz (45 bis 75 Gew.-%) nicht zu den (mullartigen) Rendzinen gestellt werden. Profilabhängig ist auch ein geringmächtig (< 2 cm) ausgebildeter Ah-Horizont vorhanden. Typischerweise sind die Pechrendzinen an schattigen Positionen lokalisiert.

Feinkrümelige Humusaggregate mit Gehalten an organischer Substanz über 30 Gew.-% kennzeichnen die **mullartigen Rendzinen**. Trotz sehr geringer Carbonatwerte (Mittel 0,87; n=12) liegt der pH-Wert im schwachen bis sehr schwach saurem Bereich. Die Mächtigkeit unzersetzter Streu übersteigt den mm-Bereich kaum und ist meist lückenhaft ausgebildet.

Die niedrigen Carbonatgehalte führen zu einem insgesamt hohen Verlehmungsprodukt (BOCHTER 1985) der organischen Auflagen. Dabei treten besonders die mullartigen Rendzinen aufgrund der gemäßigten organischen Gehalte in den Vordergrund. Mitunter zeigt das Auf-

treten von verbraunten Nestern unter Skelett die Entwicklung eines Mineralhorizontes (Ahb; Ah+Bv) an und verdeutlicht erneut die Schwierigkeit der Einordnung des Bodentyps (vgl. D1_S_Boden: Rendzina). Die Fingerproben an den Humusauflagen deuten auf einen Sand- und Schluffanteil in der Bodenartgruppe Lehm- und Schluffsand (Su2, Su3) mit Schluffanteilen von 10-40% und Sandanteilen von 52-90%. Dies zeigt auch an, dass bei den Oh-Horizonten am Untersberg das Verlehmungsprodukt [%] nicht mit der Korngröße Ton im Sinne der Herausbildung eines T-Horizontes einer Terra fusca aus der Entwicklungsreihe der Rendzina gleichgesetzt werden kann. Hingegen geben die Sand- und Schluffgehalte erste Hinweise auf eine mögliche insitu-Verwitterung von allochthonen Mineralstäuben in den Of- und Oh-Auflagen (vgl. KÜFMANN 2008b). Äolische Indikatoren in Form von makroskopisch erkennbaren Glimmerbruchstücken treten innerhalb der Testdولين in allen Subtypen der Rendzinen, jedoch gehäuft in den großräumigen Dولين D3 und D4 auf.

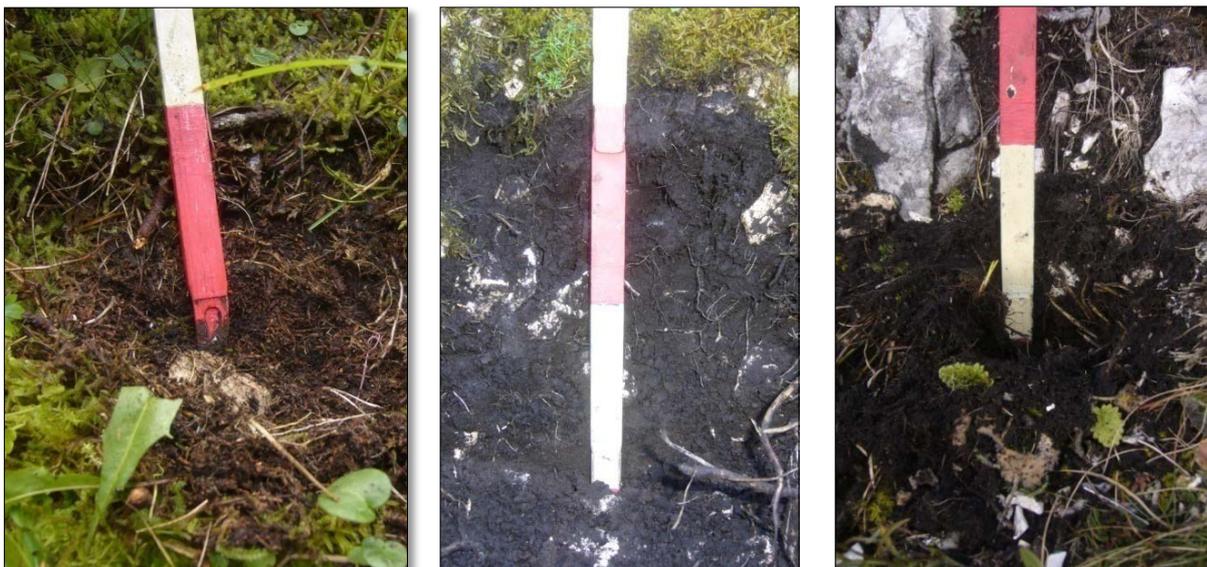


Foto 7: Moderrendzina, Pechrendzina, alpine Protorendzina (v. links nach rechts) im Dولينkarst

Das Verlehmungsprodukt (VL in [%]) steigt innerhalb der Hangcatenen in Richtung Dولينgrund mit gleichzeitiger Abnahme der organischen Substanz. Die Gesamthorizonte repräsentieren diese Tendenz mit durchschnittlichen Wertenvon 44,01% VL (n=20) an den Dولينrändern und 53,63% VL (n=15) im Mittelhang. Am Dولينgrund liegen mit 52% VL (n=10) leicht geringere Werte vor als im Mittelhang (vgl. Abb. 15, S. 53).

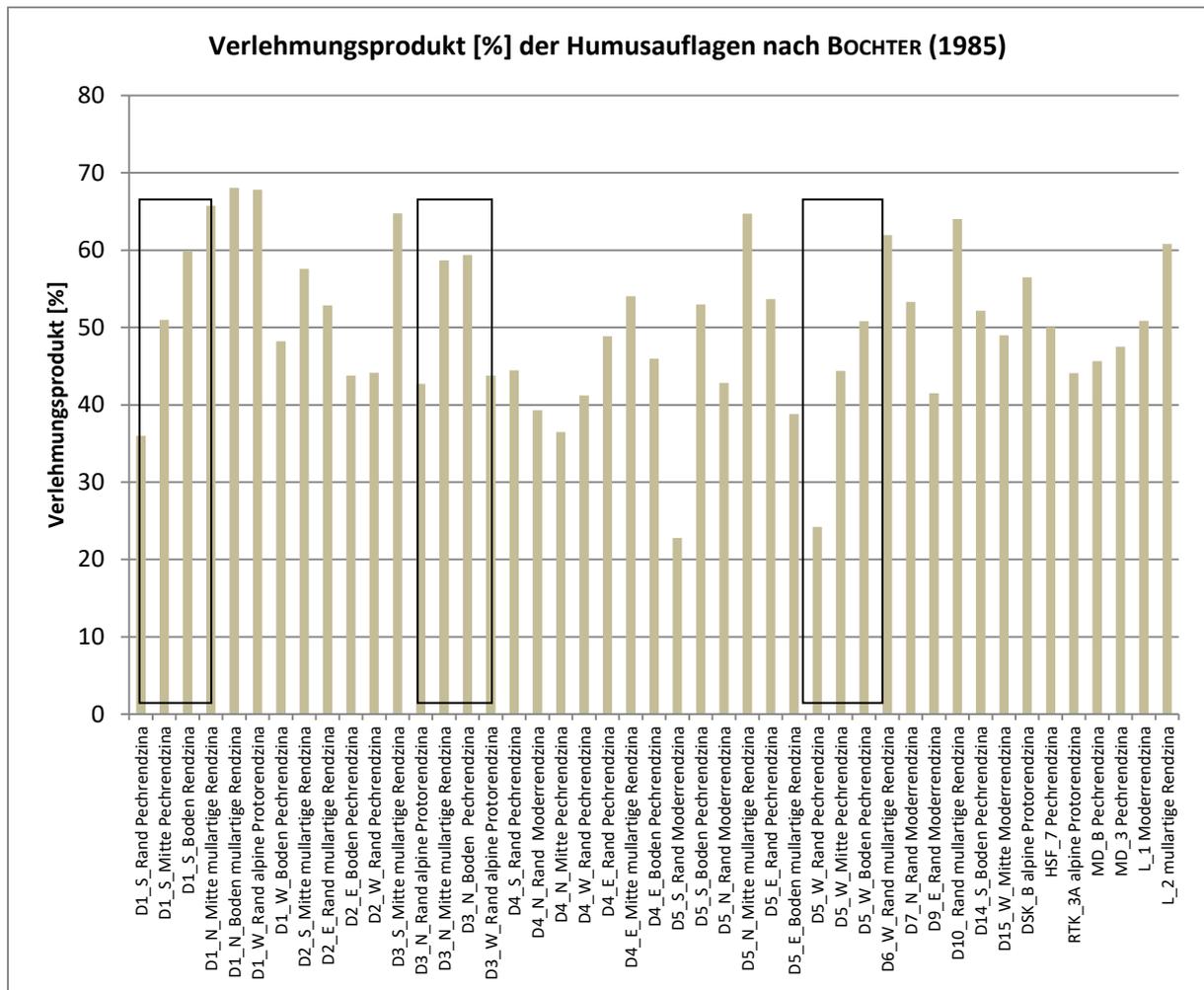


Abbildung 15: Verlehungsprodukte [%] der Humusauflagen am Untersbergplateau, VL-Verlauf an Hangcatenen hervorgehoben (schwarze Rechtecke)

Räumliche Verteilung und Standortfaktoren

Die Skeletthumusböden sind innerhalb der Hangcatenen in den Testdolin (D1-D5) regelmäßig verteilt. Ihr Auftreten ist besonders an den Dolinenrändern (n=14) und Mittelhängen (n=9) und verstärkt in der Sondervarietät Muldendoline dominant (vgl. Abb. 16, S. 54). Bevorzugte Standorte der O/C-Böden am Dolinengrund sind schattseitige Lagen, die durch die Exposition Nord und West, aber auch expositionsunabhängig durch Peripheriebedingungen (Felswände, enge Dolinenquerschnitte) hervorgerufen werden. Dabei wird der Dolinenboden des Dolinenschachttyps bevorzugt vom Skeletthumusboden ausgekleidet. Hier tritt ausschließlich die Pechrendzina als schatt- und feuchtliebende Varietät auf. Mullartige Rendzinen besetzen die mittleren Hangbereiche und Dolinenränder ohne Bergkiefern bewuchs (Latsche). Unter *Pinus mugo* weisen die streuintensiven und meist sauren Sonderstandorte Moderrendzinen auf (z. B. D4_N_Rand, D5_S_Rand, D5_W_Rand). Schmale Sattelsituationen

zwischen Dolinen (D1_W_Rand) werden von der alpinen Protorendzina besetzt. Hier sind die Böden neben der Erosion auch einer verstärkten Austrocknung und demzufolge Sedimentverlust durch Verwehung ausgesetzt. Durch Viehtritt verursachter Bodenverlust zeigt sich auch entlang der bevorzugten Gemsenpfade durch den Dolinenkarst (z. B. D3_W_Rand, D3_N_Rand).

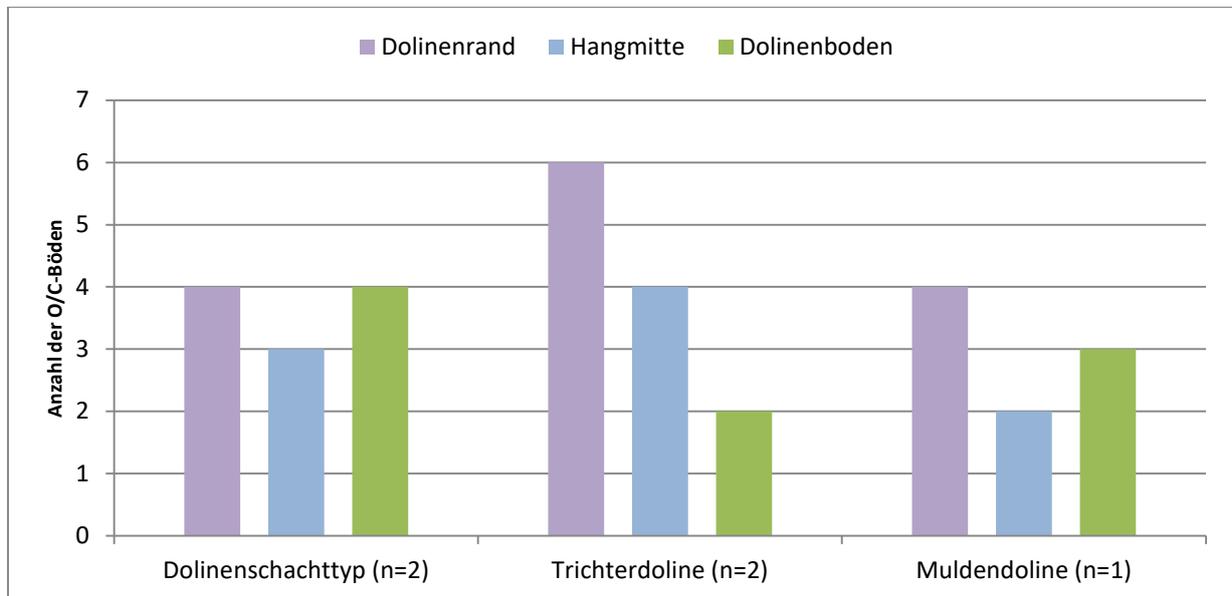


Abbildung 16: Verteilungsmuster der O/C-Böden (n=32) innerhalb der Testdolin D1-D5 (Gesamtprobenanzahl n=56).

Tabelle 12: Verteilungsmuster und Standortfaktoren der O/C-Böden an Referenz- und Messstationprofilen

Profil (Lage) ¹	Bodentyp	Dolinentyp	dominanter Standortfaktor
D6_W_Rand	mullartige Rendzina	Dolinenschachttyp	latschenfreie Randlage
D7_N_Rand	Moderrendzina	Dolinenschachttyp	latschenbesetzte Rand-/ Sattellage
D9_E_Rand	Moderrendzina	Trichterdoline	latschenbesetzte Randlage
D10_Rand	mullartige Rendzina	Schachtdoline	Winddynamik Schacht
D14_S_Boden	Pechrendzina	Muldendoline	Latschenvegetation
D15_W_Mitte	Moderrendzina	Gipfelabhang undefiniert	Lee-Dynamik
DSK_B (Mitte)	alpine Protorendzina	Dolinenschachttyp, steinige Rinne	Abspüldynamik
HSF_7 (Boden)	Pechrendzina	Trichterdoline	Exposition (W), Schatt- und Feuchtepräferenz
RTK_3A	alpine Protorendzina	Trichterdoline	Neigung, Hangstruktur felsdurchsetzt
MD_B (Rand)	Pechrendzina	Muldendoline	Exposition (E), Lee-Situation
MD_3	Pechrendzina	Trichterdoline	Exposition (W), Schatt- und Feuchtepräferenz
L_1 (Rand)	Moderrendzina	Dolinenschachttyp	latschenbesetzte Randlage
L_2 (Mitte)	mullartige Rendzina	Dolinenschachttyp	latschenbesetzter Mittelhang

¹ Referenzprofile D6-D15 (n=6 aus 29); Messstationprofile DSK_B bis L_2 (n=6 aus 14), lokalisiert innerhalb der Testdolin D1-D5

Innerhalb der Referenzprofile und an den Messstationen unterliegt die Verteilung der Skeletthumusböden einem ähnlichen Muster. *Tabelle 12* zeigt erneut die Präferenz des Skeletthumusbodens innerhalb von Hangcatenen (D7, D9) an den Dolinenrändern. Die Referenz-Einzelprofile geben Aufschluss über bevorzugte Standorte an Randlagen (D6_W_Rand,

D10_Rand), in Muldendolinen (D14_S_Boden) oder leeseitigen Hangabschnitten (D15_W_Mitte). Innerhalb der Messstandort-Profile sind die O/C-Böden bevorzugt an steilen Hangbereichen (RTK_3A, DSK_B), Positionen mit *Pinus mugo*-Bewuchs (L_1, L_2) und am westexponierten Dolinengrund (MD_3, HSF_7) lokalisiert.

Interpretation

Die Varietäten der Skeletthumusböden repräsentieren die unterschiedlichen Entwicklungsstadien der organogen geprägten Böden im subalpinen Dolinenkarst am Untersbergplateau. Ihr Vorkommen an den Rändern der Dolinen und im oberen und mittleren Hangbereich ist mit der kontinuierlichen Lieferung an abgestorbenem Pflanzenmaterial aus den mit *Carex sempervirens* (Horst-Segge) dicht besetzten Hängen verknüpft. Anhand der Subtypen ist der dominant prägende Einfluss der Bodenbildungsfaktoren Klima (Temperatur, Feuchte) und Vegetation deutlich. An den Moderrendzinen zeigt sich der Vegetationseinfluss durch schwer abbaubare Streuzufuhr der Bergkiefern (*Pinus mugo*). Pechrendzinen zeichnen Feuchte- und Schattenstandorte nach und besetzen als einziger Subtyp die Dolinenböden. Diese humusreichen O/C-Böden belegen an diesem Sonderstandort trotz lückenhafter Vegetationsbedeckung eine auffallend hohe Humusakkumulation. Eine mögliche erosive Verlagerung von humosem Material aus den oberen Hangbereichen via Schneedecke zeigen die zunehmenden GV-Gehalte [%] an westorientierten Hangcatenen an (D2_E_Rand/Boden, D4_E_Mitte/Boden; Abb. 14, S. 50). Abtrag durch Niederschlag (Luv-Hang, westexponiert) und Schneeschurf, aber auch äolischer Eintrag von Organik über Schneedeckenreste in Richtung Dolinengrund stehen somit im Zentrum der Diskussion. Gegensätzlich verhalten sich die Kennwerte entlang der nord-, ost- und südexponierten Hangcatenen. Hier sind die höchsten GV- und C_{org} -Werte im Randbereich zur Latschenvegetation lokalisiert. Da die Dolinenhänge ab dem Dolinenzentrum bis zum Oberhang jeweils dicht mit *Seslerio-Caricetum sempervirentis* besetzt sind, rücken die Latschenkiefern (*Pinus mugo*) als Steuerungsfaktor in den Fokus. Sie führen durch das Abbremsen von bodennahen Winden zur Deposition des äolischen Materials. Die kartierten O/C-Böden in diesem Übergangsbereich zwischen alpinen Rasengesellschaften und Latschenbewuchs belegen somit die bereits von SOLAR (1963), KÜFMANN (2008b) und DUFFY (2011) konstatierte auskämmende Wirkung von Vegetation.

Die mineralische Komponente in den Oh-Horizonten im Sinne des Verlehmungsprodukts [%] nach BOCHTER (1985) steigt mit abnehmendem Gehalt an organischer Substanz in Richtung

Dolinengrund an (vgl. *Abb. 15*, S. 53, hervorgehobene Einzelcatenen). Dabei spielt die Erosionstiefe der Doline aufgrund der Akkumulation von Residuen in Folge der Carbonatlösung, aber auch die hangparallele Durchspülung der Horizonte und somit der Partikeltransport (vgl. SCHUCHARDT 1988) eine Rolle. Zeugen einer solchen Durchspülung stellen Nester verbrauchten Materials unter Skelett in O/C-Profilen dar (z. B. D1_S_Boden). Die Mittelwerte der Verlehmungsprodukte [VL] an Mittelhangpositionen und im Dolinenzentrum deuten jedoch durch ihren geringen Anstieg von 52% im Mittelhang auf 53,63% im Dolinenzentrum einen potentiellen Materialverlust an. Die weitgehende Tonarmut in den Horizonten gibt zudem erste Hinweise auf eine mögliche Filterfunktion der Dolinenböden im Hinblick auf den Eintrag bevorzugter Korngrößen (Ton?) in den Karstuntergrund (vgl. SAURO et al. 2009).

4.1.2 Rendzinen

Bodentypeneinteilung

Bei Vorhandensein eines humushaltigen Mineralbodens (< 40 dm mächtig) mit einem Grenzwert bis 30 Gew.-% an organischer Substanz werden die Rendzinen auf carbonathaltigem Festgestein der Klasse der A/C-Böden unterstellt (AG Boden 2005). In der WRB (2006) stellen diese Böden die ***Rendzic Leptosole*** mit der Humusform Mull (A_{xh}-Horizont, mollic) oder ***Lithic Leptosole*** bei geringer Mächtigkeit (< 2 cm) und ***Skeletal Leptosole*** mit hohen Anteilen an Gesteinsschutt / -trümmern dar. In der Österreichischen Bodensystematik (NESTROY et al. 2011) werden sowohl Humusanteile bis 45 Gew.-% bei typischen Mineralbodenmerkmalen und das Vorhandensein eines verbrauchten Horizontes (A_{hb}-Horizont) toleriert, wenn dieser nicht mächtiger als 15% des gesamten Solums oder mächtiger als 10 cm ist. Die klassische Rendzina zeigt sich somit als vermittelnder Bodentyp zwischen den O/C-Böden im Sinne der deutschen Klassifikation nach AG Boden (2005) und der Terra fusca-Rendzina, in der Österreichischen Bodensystematik auch als Kalklehm-Rendzina angesprochen. Diese nationale Einordnung stellt damit auch das geeignete Mittel dar, das Spektrum der klassischen Rendzina am Untersbergplateau zu benennen.

Profilbeschreibung

Die stark humosen Ah-Horizonte der Rendzinen (Mittel: 25,61 Gew.-% org. Sub.) mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 19,69 cm (n=26) führen stets Gesteinsbruchstücke und Skelett in unterschiedlichen Anteilen und Größen. Freie Felsflächen oberhalb von Bodenstandorten liefern durch Frostsprengung und Schuttzerkleinerung in Kombination mit gravi-

tativen Prozessen Klastengrößen zwischen 1x2x2 cm und 2x3x3 cm. Gerundete Gesteinsfragmente in den Profilen der offenen Hangbereiche werden als Ergebnis einer kontinuierlichen Lösungsdynamik des carbonatischen Untergrundes gewertet. Die günstigen C/N-Verhältnisse (Mittel: 11,51; n=25) führen zu einer hohen bodenbiologischen Aktivität und einem stabilen Krümelgefüge mit der Humusform Mull. Standorte von bevorzugten Gensruheplätzen im oberen Dolinenhangbereich zeigen erhöhte Stickstoffgehalte in den Ah-Horizonten (D2_S_Rand: 2,119% N; D3_W_Rand: 2,289% N; D11: 2,546% N). Die Rendzinen weisen pH-Werte im sehr schwach sauren bis neutralen Bereich auf. In den Ah-Horizonten liegen generell geringe Carbonatwerte infolge einer intensiven Durchspülung vor (vgl. Tab. 13).

Tabelle 13: Mittelwerte laboranalytischer Kenngrößengeringmächtiger Oh- und Ah-Horizonte an Rendzinen

n=26 ¹	Mächtigkeit [cm]	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ [%]	C _{tot} [%]	org. Substanz [Gew. %]	C/N
Mittel	19,69	6,73	2,11	14,85	24,69	11,51
Min	5	5,91	0,05	6,31	10,3	8,5
Max	24	7,25	18,92	32,91	41,5	12,92

¹Anzahl der Profile, Horizontbeprobung pH, CaCO₃, org. Substanz: n=40, C_{tot} und C/N: n=25

Ah-Horizonte mit erhöhten CaCO₃-Werten sind an Standorte mit Nähe zum anstehenden Fels (D2_S_Rand, D4_S_Mitte, D7_N_Boden) oder in Kombination mit stark skeletthaltigen Profilen gebunden (HSF_2B). Bei Vorhandensein geringmächtiger organischer Auflagen oder verbrauchter Ah+Bv - Horizonte im Sinne eines unterliegenden Saumes (Ahb-Horizont nach NESTROY et al. 2011) zeigt sich ein Anstieg von Carbonat und pH-Wert innerhalb des Profils (vgl. Abb. 17, hervorgehoben).

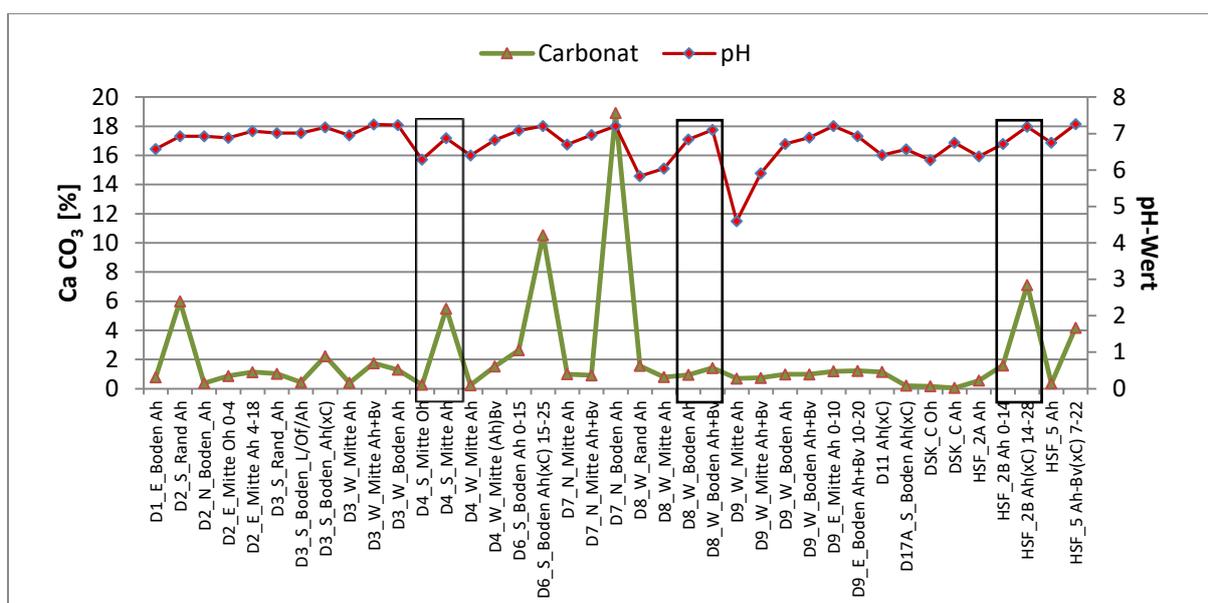


Abbildung 17: Chemische Kenngrößen der Ah, Ah(xC) und Ah+Bv-Horizonte an Rendzinen

Exemplarische Ergebnisse zur Kationenaustauschkapazität KAK_{eff} an einem Standort im Dolinenzentrum einer Trichterdoline (D17A_S_Boden) liefern für die Böden auf Carbonatgestein typisch hohe Werte an Ca (96,5%) mit gleichzeitig hoher Basensättigung BS (99,85%). Die Bodenfarbe in den Profilen greift die Farbpalette der Grautöne (10YR 3/1; 10YR 4/1; 10YR 3/2; 10YR 3/1) und Braun (10YR 4/3 und 5/3) bis hin zu 10YR 5/4 (gelbliches Braun) auf und spiegelt die unterschiedlichen Entwicklungsstadien der mineralischen Unterboden-Horizonte wider. Die Verzahnungshorizonte (Ah+Bv-Horizonte) weisen hohe organische Gehalte auf (18,32 Gew.-% GV, n=5) und zeichnen sich durch einen geringmächtigen Saum oder Nester an verbrauntem Material unter dem Skelett aus. Dieser wird vor allem durch einen deutlichen Farbwechsel mit zunehmender Verlehmung (stark schluffiger Sand: Su4; Fingerprobe) gekennzeichnet. Sind Merkmale eines humusreichen Ober- und Unterbodens vermischt, bilden sich Ah-Bv Übergangshorizonte (auch Ah(Bv), (Ah)Bv, Ahb nach NESTROY et al. 2011). Mittlere und untere Hangbereiche stellen die bevorzugten Standorte dieses Mischhorizontes dar (vgl. Tab. 14). Die geringmächtigen Oh-Horizonte bleiben im schwarzen Farbspektrum (10YR 2/1; 7,5YR 2,5/1) und sind ausnahmslos am Dolinenrand lokalisiert. Die dunklen Bodenfarben (schwarz bis dunkelbraun) gehen auf Calciumhumate in den stark humosen Oberböden zurück.

Tabelle 14: Bodenhorizontfarbe an Rendzinen (Oh, Ah, Ah+Bv, Ah-Bv-Horizonte) in Abhängigkeit des Standortes

n=41	10YR2/1	10YR3/1	10YR3/2	10YR4/1	10YR4/3	10YR5/3	10YR5/4	7,5YR2,5/1
Rand	4	1	1	0	0	0	0	1
Mitte	0	7	3	3	1	1	1	1
Boden	0	8	1	2	4	1	0	1

Glimmerführende Profile (n=10) treten im mittleren Hangbereich und am Dolinengrund in den großräumigen Dolinen (D3, D4) sowie nahe der Südostabstürze (D8, D9) auf. Die generell mehlig Konsistenz des Bodenmaterials und ein starkes Anhaften der Ah-Horizonte in den Fingerrillen belegen die Schluffdominanz und den geringen Anteil der Tonfraktion an der Gesamtprobe (Su2-Su4, Fingerprobe nach AG Boden 2005). An Sonderstandorten (D3_S_Boden) ist am Dolinengrund auch sehr schluffreiches Material vorliegend (Fingerprobe: sandiger Schluff Us). Die Horizontfolgen Ah / Ah+Bv zeigen innerhalb des Profiles einen Anstieg der Schlufffraktion zu Lasten der Sandfraktion und dokumentieren eine zunehmende Verlehmung im initialen Unterboden (vgl. Foto 8, S. 59).



Foto 8: Rendzinen mit skeletthaltigem Ah-Horizont (links) und Ah+Bv-Horizont (rechts)

Räumliche Verteilung

In den Testdولين treten die Rendzinen bevorzugt im mittleren Hangbereich (n=4) und am Dolinengrund (n=4) auf. An den Dolinenrändern bleibt der klassische Bodentyp auf Karbonatgestein unterrepräsentiert (n=2). Die Rendzina besetzt die mittleren Hangbereiche der Trichterdولين und des Dolinenschachttyps. Verzahnungs- und Übergangshorizonte (Ah+Bv, (Ah)Bv, Ah(Bv)) zeigen sich ebenfalls in beiden Dolinentypen, sind jedoch verstärkt im Mittelhang, Exposition Ost anzutreffen (vgl. Tab. 15).

Tabelle 15: Verteilung der Übergangs- und Verzahnungshorizonte

Bezeichnung	Dolinentyp	Exposition	Hangposition	Ausprägung
D3_W_Mitte	Trichterdoline	E	Mittelhang	Ah(Bv)
D4_W_Mitte	Trichterdoline	E	Mittelhang	(Ah)Bv
D7_N_Mitte	Dolinenschachttyp	S	Mittelhang	Ah+Bv
D8_W_Boden	Dolinenschachttyp	E	Dolinengrund	Ah+Bv
D9_W_Mitte	Trichterdoline	E	Mittelhang	Ah+Bv
D9_E_Boden	Trichterdoline	W	Dolinengrund	Ah+Bv

In Abhängigkeit zur Hangposition weisen die Rendzinen nur geringfügige Mächtigkeitsunterschiede auf (Mittelwerte: 16,5 cm Rand; 16,7 cm Mittelhang; 16,81 cm Dolinenzentrum). Bezogen auf die Gesamtanzahl innerhalb der Testdولين D1-D5 (n=10) ist der Bodentyp verstärkt in Exposition Nord (Profile: n=4) vertreten. Der Südhang als Rendzinenstandort tritt mit einem Repräsentanten noch hinter den Ost- und Westhängen mit jeweils zwei kartierten Bodentypen zurück. Die Auswertung der Referenzprofile (n=12) spiegelt das Verteilungsmus-

ter innerhalb der Testdolinan an Mittelhang- und Dolinengrundpositionen mit vier und sechs Profilen wider. Die Daten zeigen sogar einen Trend zum Dolinenzentrum an (vgl. Abb. 18).

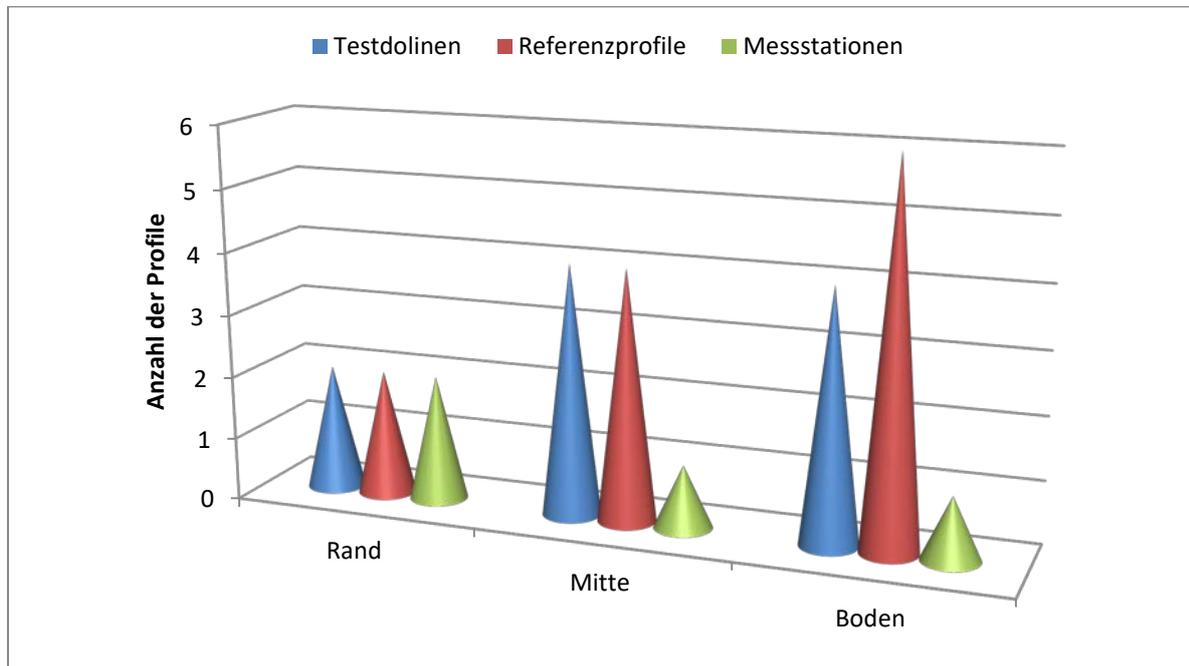


Abbildung 18: Verteilungsmuster der Rendzinen (n=26) im Untersuchungsgebiet

Interpretation

Die Rendzina besetzt im subalpinen Dolinenkarst vorwiegend den Mittel- und Unterhang ohne eindeutige Präferenz eines Dolinentyps. Vorkommen an Dolinenrändern, die in der Regel vom Skeletthumusboden besetzt werden (vgl. Kapitel 4.1.1), sind mikrotopologisch durch ihre Rinnensituation und dadurch bedingt erhöhte Erosion von (organischem?) Bodenmaterial zu erklären (D2_S_Rand, D3_S_Rand, HSF_2A). Ein Standort (D8_W_Rand) weist durch seine Lee-Situation (ostexponiert) und den zugleich schützenden Latschenbewuchs (*Pinus mugo*) im Dolinenrandbereich in Kombination mit der Nähe zu den steilen Südostabstürzen des Plateaus die Exposition als Steuerungsfaktor aus. Dominante West- und Südwinde mit potentieller Lieferung von organischem Material werden ungebremst in Richtung Südostabstürze gelenkt und verfehlen die Deposition des mitgelieferten Materials und somit die Ausbildung eines für den Standort typischen Skeletthumusbodens. Ein vergleichbares, durch die peripheren Bedingungen hervorgerufenen Phänomen zeigt sich am Standort DSK_C. Der nördliche Dolinenrand der Testdoline D1 geht ohne Latschenbewuchs in eine ebene Rasenfläche über. Auch hier kann das Flugstaub-Material ohne die bremsende Wirkung der subalpinen Latschenvegetation (*Pinus mugo*) nicht deponiert werden, da dieser Gunstbereich für die äolische Deposition nicht gegeben ist (vgl. Foto 9, S. 61).

Im Gegensatz zu den Testdolinien wird innerhalb der Referenzdolinien die Rendzina verstärkt im Dolinenzentrum kartiert. An dieser Verteilungssituation spielt möglicherweise die verzögerte Tiefenerstreckung der Referenzdoline D9 eine Rolle. Im Vergleich zu den weiterentwickelten Testdolinien D1-D4 stellt die Rendzina an diesem Bodenstandort das aktuelle Stadium in der Entwicklungsreihe dar. Die Herausbildung eines Bv-Horizontes und somit eine Entwicklung hin zur Braunerde-Rendzina ist aufgrund verminderter Akkumulation von Residuum und/oder Kolluvium offensichtlich verzögert.



Foto 9: Vegetationsbedingte Ungunstbereiche für die äolische Deposition an Dolinenrändern (Ellipse)

4.1.3 Braunerde-Rendzina

Profilbeschreibung

Die Braunerde-Rendzina wird durch Herausbilden eines Bv-Horizontes mit gleichzeitigem Auftreten von Rendzina-Merkmalen gekennzeichnet. Die typische Horizontfolge Ah/Bv+cCv/Cn mit einem skeletthaltigen Unterbodenhorizont kann auch durch geringmächtige Verzahnungs- oder Übergangshorizonte mit der Abfolge Ah/Ah+Bv/cCv oder Ah/Ah-Bv/cCv/Cn vertreten oder ergänzt werden (AG Boden 2005). Dabei tritt die Mächtigkeit der Ah-Horizonte (3 cm, n=14) deutlich hinter den variantenreichen Unterboden-Horizonten

zurück (11,89 cm, n=14). Innerhalb des Profiles steigt der pH-Wert und Karbonatgehalt besonders in den skelettreichen Bv-Horizonten deutlich an (vgl. *Abb. 19*). Gehalte an organischer Substanz bleiben im Ah für die Plateauböden typischerweise hoch (24,78 Gew.-%, n=14), während die GV-Gehalte der Bv-Horizonte durchschnittliche Werte von 8,86 Gew.-% (n=18) erreichen (vgl. *Tab. 16*). Die C/N-Verhältnisse liegen zwischen 10 und 12. Ungünstigere C/N-Verhältnisse (15) zeigt nur ein Bodenstandort im Dolinenzentrum in Trichterdoline D3. Ausgewählte Profile sind durch unterschiedlich stark ausgeprägte Merkmale einer Pseudovergleyung gekennzeichnet.

Tabelle 16: Chemische Kenngrößen der Braunerde-Rendzinen

¹	Mächtigkeit	GV (Gew.-%)	pH-Wert	CaCO ₃ [%]	C _{tot} [%] ³	C/N [%] ³	Fe _d [%] ⁴
Mittel ²	14,92cm	Ah: 24,78 Bv: 9,65	Ah: 6,28 Bv: 6,75	Ah: 0,53 Bv: 0,79	10,40	11,852	1,79
Min	10cm	2,06	4,82	0	2,06	10,25	1,61
Max	22cm	47,5	7,49	3,2	23,33	15,51	2,41

¹Anzahl der Profile n=14; HorizontbeprobungpH-Wert, GV, CaCO₃ n=32; C_{tot}, C/N n=11-12

²Ah-Horizonte n=14, Bezeichnung Bv schließt Ah-Bv, Bv-Sd, (Ah)Bv, Bv+Cv-Horizonte mit ein n=18

³Analyse an Ah-Horizonten und Oh-Auflagen

⁴Bv-Horizonte n= 13

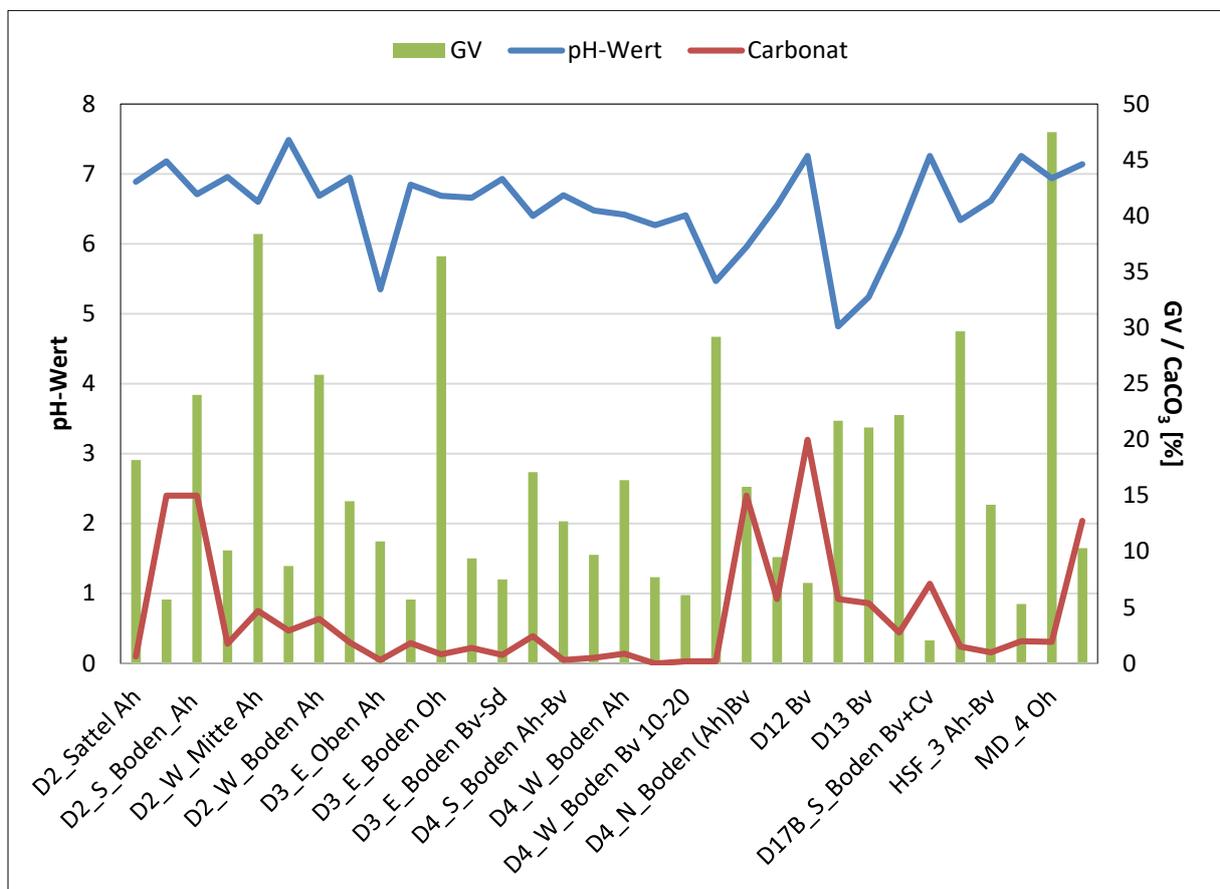


Abbildung 19: Chemische Kennwerte an Braunerde-Rendzina-Profilen

Anhand der Fingerprobe weisen die Oberbodenhorizonte dieses Bodentyps einen deutlich höheren Anteil an Feinsubstanz und hohe Schluffgehalte auf (Su4-U_s, AG Boden 2005). Die Korngrößenanalyse der Unterböden zeigt diese Schluffdominanz mit durchschnittlichen Werten von U=65,48% (n=17) an. Innerhalb der Schlufffraktion dominieren Grob- und Mittelschluff, während die Sandfraktion durch Fein- und Mittelsand vertreten wird. Grobschluff- und Feinsandfraktionen sind insgesamt mit durchschnittlich 62% (Min: 49,1%, Max: 73,5%) am Gesamtkorngrößenspektrum vertreten. Diese Dominanz weist deutlich auf die Beteiligung von äolischem Material am Aufbau der Horizonte hin. Makroskopisch erkennbare Glimmerpartikel innerhalb der Profile untermauern die allochtone Herkunft. Selten auftretende glimmerfreie Profile sind an Sattelsituationen (D2_Sattel, D12) oder nordexponierte Dolinenböden des Dolinenschachttypus gebunden. In der Regel zeigt der Ah-Horizont eine stärker ausgeprägte Glimmerdominanz gegenüber dem Bv-Horizont.

Die Tonfraktion bleibt erneut deutlich hinter der Sand- und Schlufffraktion zurück (Mittel 3,5% T, n=17). Vergleichsweise hohe Werte von mehr als 5% werden in Sattellagen und ebenen Rand- und Mittelhangbereichen registriert. Die Profilstandorte in den Dolinenzentren zeigen häufig geringere Werte unter 3% Tongehalt (vgl. Abb.20).

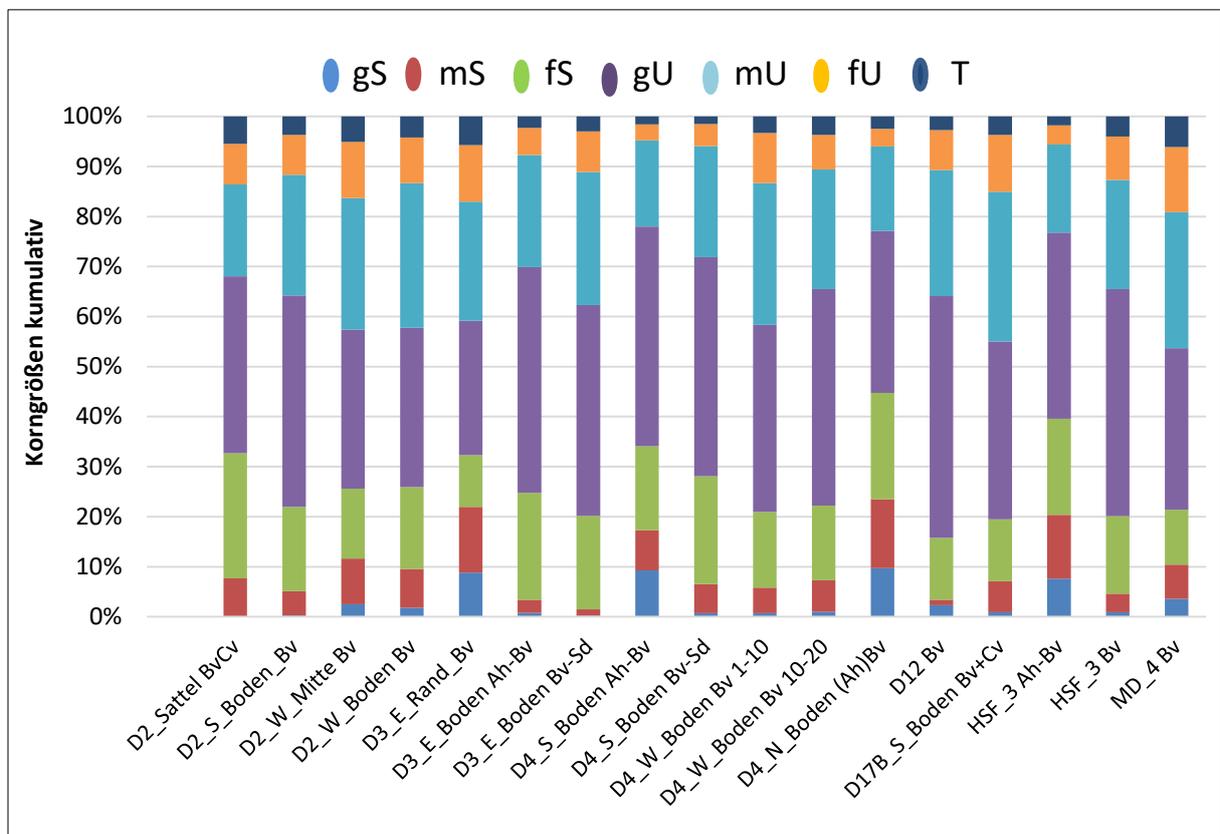


Abbildung 20: Korngrößenverteilung ausgewählter Braunerde-Rendzina Unterböden am Untersbergplateau

Räumliche Verteilung

Im subalpinen Dolinenkarst am Untersberg besetzen Braunerde-Rendzinen (n=14) bevorzugt die Dolinenböden. Ihr Vorkommen an Sattellagen und Randpositionen ist unterrepräsentiert (vgl. Abb. 21) und an ebene mikrotopologische Verhältnisse am Bodenstandort gebunden. Entlang der Hangcatenen innerhalb der Testdolinien D1-D5 wird der Bodentyp zweimal häufiger im Trichterdolinentypus als im Dolinenschachttyp kartiert. Merkmale einer Pseudovergleichung sind ebenfalls ausschließlich in diesem Dolinentypus festzustellen (D3_E_Boden). In Muldendolinen tritt die Braunerde-Rendzina nur an einem Referenzstandort auf. Dieser ist im Randbereich eines ebenen Flächenabschnittes lokalisiert (D13_S_Boden) und durch hohe organische Werte im Bv (GV: 21,1 Gew.-%) und allgemein niedrige pH-Werte im Gesamtprofil (Ah: 4,82, Bv: 5,24) gekennzeichnet. Die weiteren Referenz- und Messstandorte unterstreichen die Kartiererergebnisse an Sattellagen (D12, MD_4). Der Messstandort HSF_3 in Hangmittellage stellt in der Verteilungssystematik einen Ausreißer dar (vgl. Abb. 21).

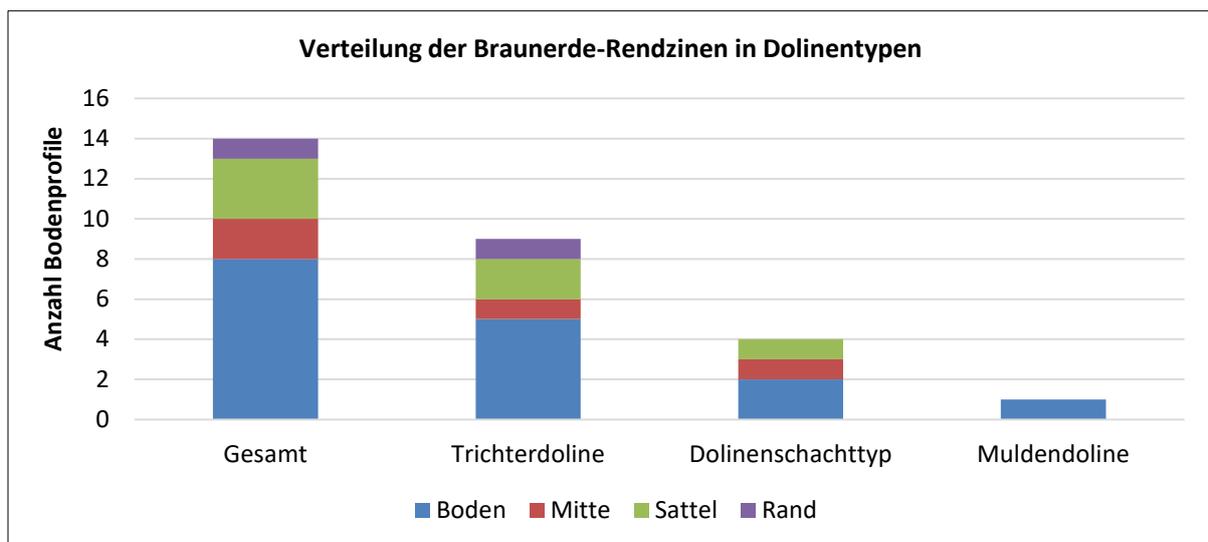


Abbildung 21: Verteilung der Braunerde-Rendzinen innerhalb des subalpinen Dolinenkarst am Untersbergplateau

Interpretation

Die Entwicklung der Braunerde-Rendzinen am Untersberg basiert auf der Akkumulation von Residualmaterial, dem fortschreitenden Prozess der Verlehmung und Verbraunung sowie der Beteiligung von Flugstäuben. Bevorzugt groß angelegte Dolinen weisen im Dolinenzentrum diesen Bodentyp auf. Diese stark weiterentwickelten Dolinen stellen besonders am Dolinengrund größere Mengen an Residuum für die Solumbildung zur Verfügung. Zusätzlich

muss auch die kolluviale Dynamik an diesem Bodenstandort in Betracht gezogen werden, welche die Verlagerung des deponierten Flugstaubes aus darüberliegenden Hangpartien miteinbezieht. Eine Glimmerführung wird in fast allen Profilen registriert und gibt erste Hinweise auf diese hangabwärtsgerichtete Materialverlagerung. Weitere Aspekte zur Abtrags- und Eintragsdynamik liefern die leicht erhöhten Tongehalte der Bv-Horizonte an erosionsgeschützten Standorten. Diese zeigen eine potentielle Abtragsdynamik bevorzugter Korngrößen besonders am Dolinenboden an. Im Vergleich zu Sattelpositionen und konkaven Mittelhangbereichen liegen hier geringere Tongehalte vor, obwohl entsprechend der Dolinentiefe die Ausbildung eines geringmächtigen T-Horizontes zu erwarten wäre. Diese Ergebnisse untermauern erneut die Annahmen aus Kapitel 4.1.2 zur Eintragsdynamik in den Karstuntergrund. Interessanterweise zeigen sich die Braunerde-Rendzinen am Dolinenboden verstärkt in Trichterdolinen, hier stellenweise leicht bis mittelstark pseudovergleyt (vgl. Foto 10). Möglicherweise ist ein geringer entwickeltes Kluftnetz im Untergrund ursächlich für die Ausbildung dieses Bodentypus.



Foto 10: Braunerde-Rendzinen in Sattellage (links) und am Dolinenboden, leicht bis mittelstark pseudovergleyt (rechts)

4.1.4 Braunerde

Profilbeschreibung

Die Braunerden am Untersbergplateau stellen das aktuelle Klimaxstadium innerhalb der Entwicklungsreihe der Rendzina dar. Ihr wichtigstes Unterscheidungskriterium zur Braunerde-Rendzina sind die skelettfreien Unterböden mit durchschnittlichen Gesamtmächtigkeiten von 28,9 cm. Die angegebenen Daten beziehen sich auf die erreichte Grabtiefe, somit

muss die tatsächliche Mächtigkeit deutlich höher eingestuft werden. Innerhalb des Profils treten die Ah-Horizonte mit Mächtigkeiten zwischen 3 cm und 12 cm deutlich hinter den Bv-Horizonten (8-26 cm) zurück. Die pH-Werte liegen in den Ober- und Unterböden im stark sauren bis sehr schwach sauren Bereich und steigen innerhalb des Profils leicht an (vgl. Abb. 22, S. 67). Die Braunerden sind insgesamt sehr stark entkalkt mit durchschnittlichen Werten von 0,291%, wobei auch hier ein leichter Anstieg im Unterboden zu verzeichnen ist. Entgegen der GV-Gehalte der Rendzinen und Braunerde-Rendzinen treten die Werte an organischer Substanz in ausgewählten Ah-Horizonten der Braunerden deutlich zurück. Die mineralischen Unterbodenhorizonte weisen typischerweise geringere Werte mit minimal 5,9 Gew.-% GV auf. Das C/N-Verhältnis ist ausgeglichen (10 und 11). Ein Standort in Kuppenlage (D16) bildet auch aufgrund seiner extrem hohen Werte an C_{org} einen Rohhumus mit einem C/N von 23,2 heraus (vgl. Tab. 17).

Tabelle 17: Chemische Kenngrößen an Braunerde-Horizonten

¹	Mittel	Max	Min
Mächtigkeit [cm]	28,90	65	12
pH-Wert (Ah)	4,876	6,75	3,52
pH-Wert (Bv)	4,66	6,79	3,71
CaCO ₃	0,291	0,65	0,03
GV (Gew.-%) (Ah)	27,69	80,6	10
GV (Gew.-%) (Bv)	11,18	36,3	5,9
C/N	13,48	23,2	10,72
Fe _d (Bv)	2,47	2,69	2,21

¹ Bodenprofile n=11; Ah-Horizonte n=10, Bv-Horizonte n=13; C/N an Ah-Horizonten n=6, Fe_d n=5



Foto 11: Braunerdeprofile –D1_N_Rand, D2_N_Rand, D16 (von links nach rechts)

In ausgewählten Profilen wird Humus aus dem Ah-Horizont in Schlieren in den Bv verzogen oder entlang von Wurzelbahnen verlagert. Dies bedingt mitunter höhere GV-Gehalte in den Bv-Horizonten. Die Böden weisen ausnahmslos eine deutliche Glimmerführung im Gesamtprofil auf. Unter mächtigen Humusauflagen kommt es zu einer Podsolierung des Profils (vgl. D16). In Muldendolinen zeigen sich Merkmale einer Pseudovergleyung durch Marmorierung (vgl. Horizont D18D_Boden_Bv).

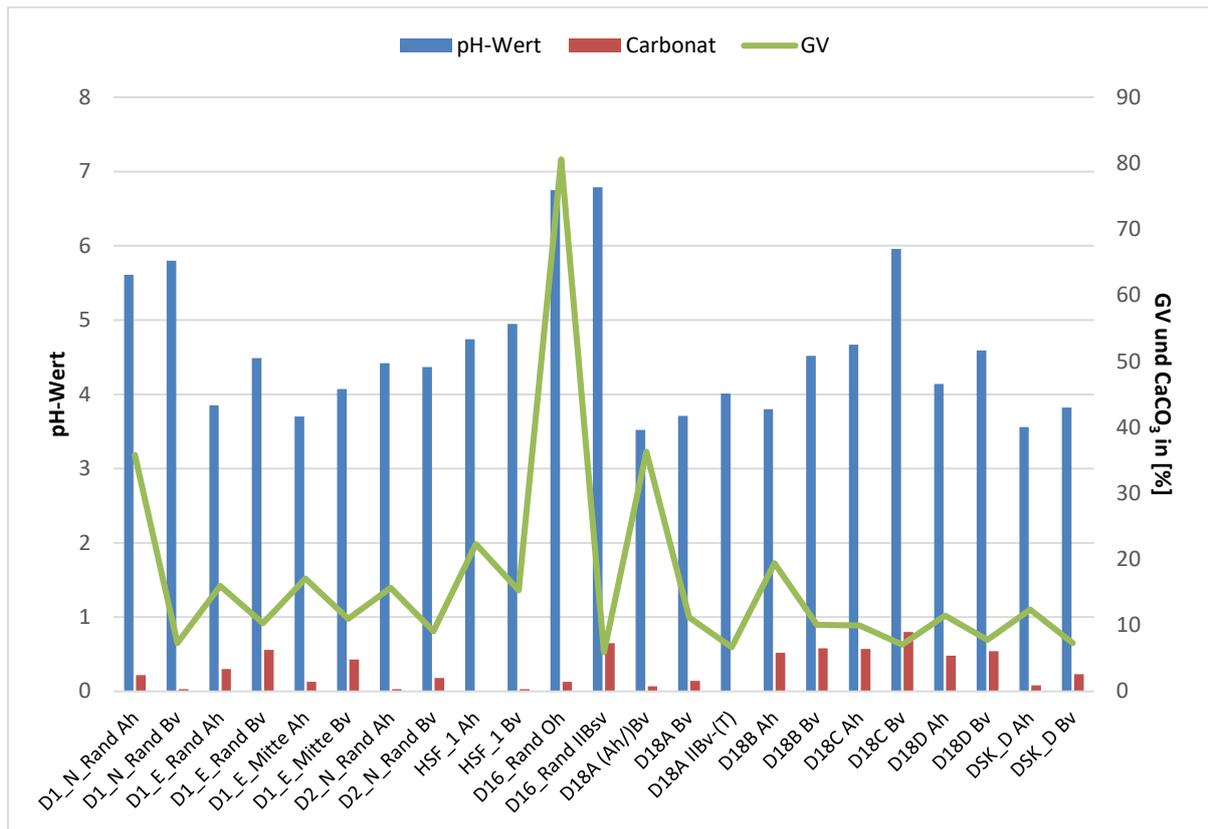


Abbildung 22: Ausgewählte Kenngrößen an Braunerde-Horizonten

Die Oberböden der Braunerden sind anhand der Fingerproben deutlich schluff- und tonreicher, wobei weiterhin Sand innerhalb des Korngrößenspektrums dominiert (z. B. D1_E_Mitte, D18C, D18D). Diese angehende Verlehmung spiegelt auch die Korngrößenanalyse der mineralischen Unterböden deutlich wider. Im Gegensatz zu den Braunerde-Rendzinen weisen diese durchgehend höhere Tongehalte mit durchschnittlich 7,84% auf. Spitzenwerte liefert der Bodenstandort D2_N_Rand mit 15,5% T-Anteil im Bv. Die äolischen Komponenten Grobschluff und Feinsand treten mit durchschnittlich 41,76% der Gesamtverteilung hinter den Braunerde-Rendzina Werten zurück. Der Bodenstandort D16 bildet hierbei mit 70% fs+gU-Anteil im Bv die Ausnahme unter den beprobten Braunerden am Untersberg-

plateau (vgl. Abb. 23). Neben den vergleichsweise hohen Grobsandanteilen (Mittel 12,56% gS) werden in den Bv-Horizonten, vor allem an reinen Flächenstandorten, erhöhte Tongehalte in Form von Schmitzen oder Linsen registriert.

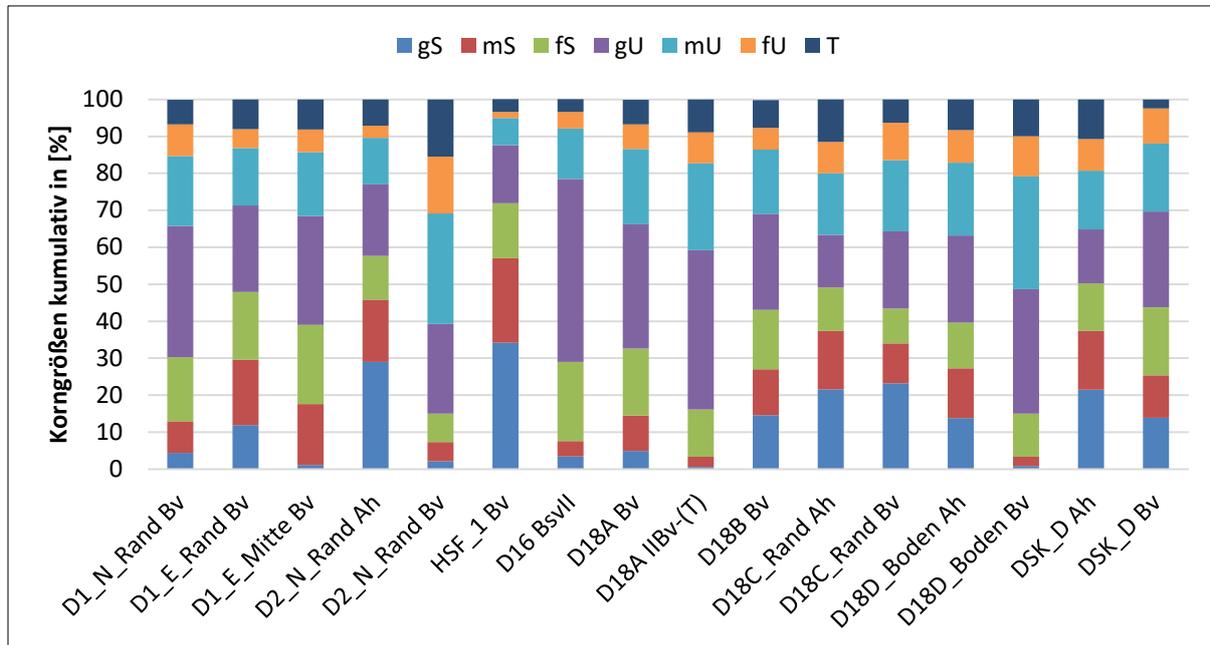


Abbildung 23: Korngrößenverteilung an Braunerde-Horizonten

Räumliche Verteilung

Die Vorkommen der Braunerden sind vorwiegend an ebene Flächenreste gebunden. Die Lokation einzelner Profile in Catenen-Hanglagen zeichnet sich durch die unmittelbare Nähe oder Nachbarschaft zu diesen Flächen aus, innerhalb derer sich Muldendolinen gebildet haben (D18C, D18D) oder gleichförmig geneigte Hänge eines angrenzenden Dolinenschachtyps (D1_E_Mitte, HSF_1). Der bereits durch seine hohen GV-Gehalte und fs+gU-Anteile herausstechende Bodenstandort D16 ist knapp unterhalb der Gipfelkuppe *Guter Hirt* (1805 m ü. NN) lokalisiert. Eine glazial überprägte, tektonische Störungszone (Beginn des Brunntal) trennt die exponierte Kuppe vom südwestlich gelegenen Salzburger Hochthron.

Interpretation

Die sehr stark entkalkten Braunerden mit gleichzeitig niedrigen pH-Werten im stark bis sehr stark sauren Bereich zeugen von einer intensiven Auswaschung der Böden durch Niederschlag (Regen / Schnee). Gleichzeitig ist besonders auf Flächenresten eine Versauerung durch das Substrat aus äolischen Deckschichten gegeben. Geringmächtige Ah-Horizonte und das generelle Fehlen von organischen Auflagen innerhalb der kartierten Braunerden weisen die Flächen als ungünstige Depositionsstandorte aus. Der Vergleich der Carbonatgehalte mit

Profilen an benachbarten Dolinenhängen gibt Hinweise, dass dies auch den Eintrag von Karbonatstaub betrifft. Erhöhte Mächtigkeiten an der Muldendolinencatena D18C und D18D und dem Bodenstandort HSF_1 im Dolinenmittelhang sowie auffallend höhere Gehalte an organischem Material bei Profil D16 untermauern die Annahme zum reduzierten äolischen Eintrag auf den Flächenresten. Demgegenüber stehen die erhöhten Tongehalte besonders der mineralischen Unterböden. Sie weisen einerseits auf die zunehmende Verlehmung hin und deuten jedoch auch eine Konservierung der Tonpartikel innerhalb des Profils an. In den Braunerde-Rendzinen findet hingegen offenbar eine Auswaschung dieser Korngröße statt. Der äolische Einfluss in den Profilen kann zwar durch makroskopisch erkennbare Glimmerpartikel und äolische Komponenten innerhalb der Korngrößenspektren nachgewiesen werden, ist jedoch im Vergleich zu den Braunerde-Rendzinen am Dolinengrund reduziert. Gründe hierfür sind eine mögliche Zulieferung über hangparallele Verlagerung der vorwiegend äolischen Komponenten oder ein generell höherer Eintrag am Dolinengrund. Aufgrund der Bodentypenanalyse zu den Braunerden zeigt sich der Bodenstandort an Flächenresten somit konservierend für bodenbildende Substrate, jedoch ungünstig für die rezente äolische Deposition.

4.1.5 Sonderformen – Braunerde-Pseudogley und Terra fusca-Rendzina

Innerhalb der 98 kartierten Bodenprofile im Untersuchungsgebiet nehmen zwei Profile eine Sonderstellung ein. Sie treten entgegen der bislang aufgezeigten Bodentypen- und Verteilungssystematik als Einzelformen auf dem Unterbergplateau auf.

Bodentypenbeschreibung Braunerde-Pseudogley-leicht podsoliert

An einer Kuppe im Bereich des Gipfels *Guter Hirt* ist ein Braunerde-Pseudogley mit mächtiger organischer Auflage (40 cm) und einem schmalen Bleichhorizont Ae (2 cm) lokalisiert. Der 11 cm mächtige Unterbodenhorizont ist stark pseudovergleyt und geht in den 10 cm mächtigen Bv-Horizont über. Innerhalb des Bodenprofils zeigt sich die Horizontfolge Oh/Ae/Bs sehr stark sauer (pH-Wert: 3,48-4,49) mit geringen Kalkgehalten (CaCO_3 : 0,61-0,74%). Im Bv steigt der pH-Wert auf 6,47 an. Der hohen GV-Werte des Oh stehen mit 76,3% GV (C_{org} : 42,06%) in einem deutlichen Gegensatz zu den humusarmen Ober- und Unterbodenhorizonten (GV: 2,4 Gew.-%, C_{org} : 1,19%). Die dominierende Bodenart Ut2 (schwach toniger Schluff) im Ae- und Bs-Horizont zeigt durchschnittliche Schluffwerte von 72-76% und Tongehalte von 8-10%. Im Bv sinkt die Tonfraktion zu Gunsten der Sandfraktion auf 2,7%. Die Schluffgehalte bleiben

hoch mit 74,4% und führen zur Bodenart Us, sandiger Schluff (vgl. Abb. 24). Eine deutliche Glimmerführung wird ausschließlich im Oh-Horizont registriert.

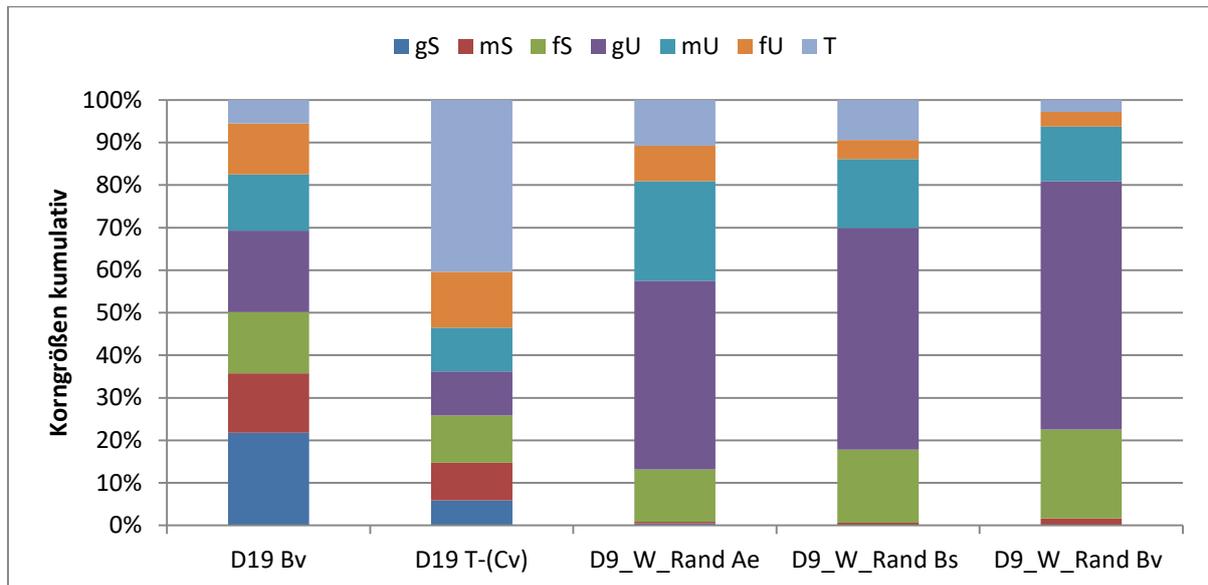


Abbildung 24: Korngrößenverteilung an Terra fusca-Rendzina (D19) und Pseudogley-Horizonten (D9)

Bodentypenbeschreibung Terra fusca-Rendzina

Im Bereich der großen Talanlage zwischen Salzburger Hochthron (1852 m ü. NN) und Guter Hirt (1806 m ü. NN), die den Beginn der Brunntalstörung darstellt, ist eine Terra fusca-Rendzina lokalisiert. Es handelt sich um eine Kluftfüllung im brekzierten Dachsteinkalk. Die Risse entlang der tektonischen Reibungszone sind mit hier mit Tonen und roten Fe- und Al-Oxiden verheilt. Mineralische Analysen aus der benachbarten Reiteralpe machen eine lithogene Rotfärbung im Sinne der "Entcarbonatisierungsröte" nach Meyer (1979, S. 705) wahrscheinlich, da Eisen im Dachsteinkalk als Ankerit oder Siderit karbonatisch gebunden ist. Entsprechend ist eine Bauxitbildung unter subtropischem Klima, wie es beispielsweise GILLITZER (1913) diskutiert, unwahrscheinlich (vgl. KÜFMANN 2008b, KÜFMANN & MIX 2015).

Die Kluftfüllung mit der Horizontfolge Oh+Cv/Bv/T-(Cv) weist im Unterboden aufgrund des hohen Skelettanteils im Bv- und T-(Cv)-Horizont Karbonatgehalte bis zu 8,46% und einem pH-Wert von 7,22-7,3 auf. Der humusreiche Oh-Horizont (Moder, C/N: 17,81) mit 63,8 Gew.-% organischer Substanz ist karbonatarm (CaCO₃: 0,41%) und sehr schwach sauer (pH-Wert 6,51). Während der Bv einen Sandanteil von 50% aufweist, zeigt sich der T-(Cv) mit 40,5% Tonanteil sehr reich an Terra-Material (vgl. Abb. 24). Eine Glimmerführung ist nur in der or-

ganischen Auflage vorhanden. Die Kluftfüllung ist glimmerfrei. Die Mächtigkeit des Profils von 140 cm ist dem Bau der Skipiste geschuldet, die unmittelbar entlang des Standorts führt.



Foto 12: Braunerde-Pseudogley mit Podsolmerkmalen (links) und Terra fusca-Rendzina als Kluftfüllung (rechts)

Interpretation

Sowohl hohe Humusgehalte in Kombination mit einer mächtigen Oh-Auflage als auch Schluffdominanz weisen den leicht podsolierten Braunerde-Pseudogley als äolisch-allochthonen Bodentyp aus. Die Reduzierung der Tongehalte im Bs-zum Bv-Horizont liefert Hinweise auf den allochthonen Ursprung und die Verwitterung von Glimmerpartikeln. Die lehmig-schluffige Bodenart ist zudem ursächlich für die Pseudovergleyung mit ausgeprägten Marmorierungsmerkmalen. Demgegenüber steht die Tonarmut des unterliegenden Bv und zeigt, dass die Verwitterungsresiduen des Ausgangsgesteins am Solumaufbau eine untergeordnete Rolle spielen. Entgegen der gewöhnlichen Lokation von pseudovergleyten Bodenprofilen am Dolinengrund ist der Braunerde-Pseudogley auf mikrotopologisch-klimatologische Bedingungen zurückzuführen. Substratführende West- und Südwinde deponieren das äolische Material im Lee einer exponierten Kuppe (Exposition Ost). Dadurch konnten sich der mächtige Oh- und die schluffreichen Bs/Bv-Horizonte ausbilden.

Das Vorkommen von Böden mit Residualmaterial aus der Dachsteinkalkverwitterung ist im subalpinen Dolinenkarst des Untersbergplateaus an brekziierte Dachsteinkalkvorkommen geknüpft. Diese liefern ausreichend Terra-Material zur Ausbildung eines Bv-T-Horizontes. Dabei wird das tonreiche Rückstandsmaterial in Klüften und Spalten offenbar vor dem Abtransport geschützt oder bildet am Grund der Talanlagen abdichtende Kolluvialvorkommen (vgl. *Foto 13*). Weitere Vorkommen dieses Bodentyps sind im Bereich Mittagsscharte und Skipiste lokalisiert und zeigen damit eine stark ortsabhängige Bildung an. Die Glimmerpräsenz spiegelt den äolisch-allochthonen Einfluss auf die Hochfläche wider.



Foto 13: Kolluvium Terra-Material mit Stauwasservorkommen zwischen Guter Hirt und Salzburger Hochthron

4.1.6 Mineralogie und Elementanalyse

Mineralogie

Für ausgewählte Bodenprofile liegen Ergebnisse zur Mineralogie vor. Die beprobten Standorte D16, D17A/B, D18 und D19 repräsentieren den nordöstlichen Randbereich des Plateaus zwischen der Gipfelkuppe *Guter Hirt*, nordöstlich des *Salzburger Hochthrons*, und dem zentralen Untersuchungsgebiet westlich des *Großen Heubergkopfes* mit einer Horizontalabstanz

von 0,75 km. Die Standortauswahl greift innerhalb der Karstreliefs exponierte Kuppen (D16), Dolinenböden (D17A/B), ebene Rasenflächen (D18) und großräumliche Talungen (D19) ab.

Insgesamt zeigt sich eine Dominanz an Quarz, Illit, Chlorit und Feldspäten in allen Profilen. Untergeordnet tritt Amphibolit, Goethit und Calcit auf. Kaolinit, ein Zweischichttonmineral, das aus der Verwitterung von Feldspäten oder Muskovit durch Hydrolyse entsteht, kann an drei Standorten (D17B, D18, D19) in den Bv- und Bv(T)-Horizonten identifiziert werden. Das Sonderprofil D19 entlang der tektonischen Störungszone am Beginn der Brunntalstörung weist zudem auch Hämatit-Anteile auf. Die Pulverpräparate der ausgewählten Bodenproben beinhalten Spuren von Smectit, Alunit, Lepidokrokit, Gibbsite, Apatit und Talcum (vgl. *Tab. 18*).

Tabelle 18: Mineralanalytische Werte an ausgewählten Bodenhorizonten, rel. Häufigkeit in [%], Methode RDA, M.Köster, TU München

Dolinennummer	Horizont	Quarz	Illit/Mica	Chlorit	Kaolinit	Smectit	Alunit	Hämatit	Goethit	Lepidokrokit	Al-Ox-Phasen (Gibsit?)	K-Feldspat	A-Feldspat	Calcit	Dolomit	Magnesit	Amphibolit	Apatit (undefiniert)	Talc
D16	Bvs	39	31	11	-	T ¹	T	0	0	-	?	1	10	0	1	-	4	T	-
D17A	Ah	33	31	13	-	-	2	0	3	T	?	5	7	0	1	-	3	T	-
D17B	Ah	30	26	26	0	T	1	0	3	T	T	4	6	0	1	0	3	T	T?
D17B	Bv	31	34	9	8	-	-	0	0	T	T	6	8	2	0	-	2	-	-
D18	Bv	37	30	13	?	-	T	0	3	?	T	5	9	0	0	0	3	T	T
D18	IIBv-(T)	39	31	6	9	-	T	0	1	?	T	3	8	0	T	0	3	T	0
D19	Bv	13	27	24	16	-	2	1	4	T	T	1	5	4	-	T	3	T	-
D19	T(Cv)	1	46	1	33	-	2	4	6	T	T	2	2	1	-	T	2	T	-

¹: T: Spuren, ?: an der Nachweisgrenze, 0: keine Anteile

Die Auswertung der Texturpräparate unterstreicht den Illit- und Chlorit/Kaolinit-reichen Charakter der Bodenproben (vgl. *Tab. 19*). Die eisenoxidreichen und humushaltigen Proben machen jedoch eine semi-qualitative Bewertung der Ergebnisse notwendig. Anhand von drei Dithionit-behandelten Texturpräparaten ist eine Kaolinit-Dominanz am Standort D19 nachweisbar. Illite und Chlorite treten sowohl in Kuppenlage als auch auf Flächenresten sehr häufig auf (vgl. *Tab. 20*, S. 74).

Tabelle 19: Tonminerale, semi-qualitativ (Methode: RDA), M. Köster, TU München

Dolinennummer	Horizont	Illit/Mica	Fe-reiche Chlorite, Kaolinit	Smektit	Quarz	Feldspat	Amphibolit	Fe-hydr (oxide)/Organik	Kommentar
D16	Bvs	xxx ¹	xxx	T	x	?	0	xx	Chl=Kao
D17A	Ah	xxx	xxx	0	x	x	0	xx	Chl=Kao
D17B	Ah	xx	xxx	T	x	x	0	xx	Chl>>Kao
D17B	Bv	xxx	xxx	xx	x	x	x	xx	Chl>>Kao
D18	Bv	xx	xxx	T	x	T	0	xx	Chl>>Kao
D18	IIBv-(T)	xx	xxx	?	x	T	0	xx	Chl>>Kao
D19	Bv	x	xxx	T	T	x	0	Goe+Häm	Kao>>Chl
D19	T(Cv)	xx	xxx	x	0	?	x	Goe+Ham	Kao>>Chl

¹ xxx: dominant, xx: viel, x: wenig, T: Spuren, ?: an der Nachweisgrenze, 0: keine Anteile

Tabelle 20: Tonminerale, quantitativ (Methode: RDA) in [%], M. Köster, TU München

Dolinennummer	Horizont	Illit/Mica	Chlorit	Kaolinit	Smektit
D16	Bvs	42	31	27	T
D18	IIBv-(T)	48	12	40	T
D19	T(Cv)	24	3	63	10

Bemerkung: Die Ergebnisse stellen eine Schätzung auf Basis der Texturaufnahmen dar.

Interpretation

Die beprobten Bodenprofile weisen Fremdmaterial in Form von Quarz, Glimmer, Feldspäten und Amphiboliten auf (vgl. *Abb. 25*, S. 75). Diese allochthonen Minerale im Bodeninventar der Karsthochfläche weisen die südlich gelegene Grauwackenzone und die Zentralalpen als Liefergebiete aus. Inwieweit der allochthone Input aus der Augensteinüberdeckung der tertiären Raxlandschaft stammt (RIEDL 1966) bzw. als rezent äolischer Eintrag gewertet werden muss, ist unklar. Makroskopische Glimmerbruchstücke hingegen zeigen den rezent äolischen Eintrag und die flugstaubbeeinflusste Prägung der Plateauhochfläche auf (vgl. KÜFMANN 2008, DUFFY 2011). Eine Umlagerung und Konservierung von Augensteinen in Karstspalten und auf ebenen Flächenresten ist zudem wahrscheinlich (LANGENSCHIEDT 1986, HASEKE-KNAPCZYK 1989). Chlorite als Begleitminerale von Bestandteilen der Sandsteine aus der Grauwackenzone oder Karstbauxiten zeugen ebenso von einem äolischen Eintrag, z. B. aus den lokalen Bauxitvorkommen am Untersberg in Glanegg. GÜNTHER & TICHY (1978) parallelisiert die prägosauische Bildung von Karstbauxit mit dem boehmit- und hämatitreichen Bindemittel der Dachsteinkalkbrekzien am Untersberg (vgl. *Foto 14*, S. 75).

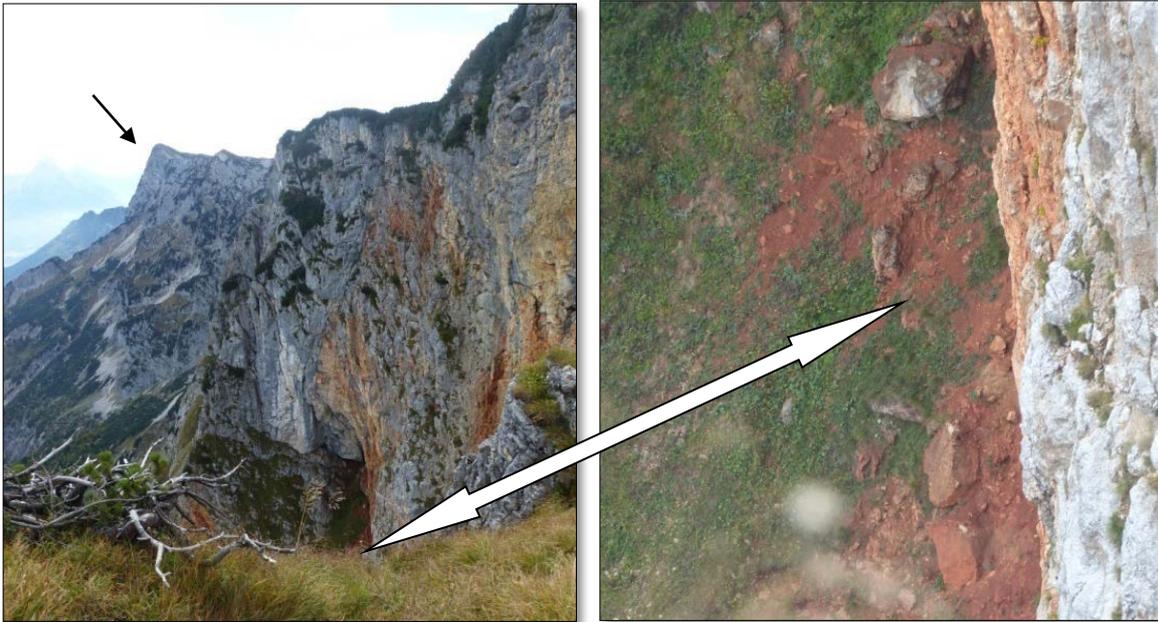
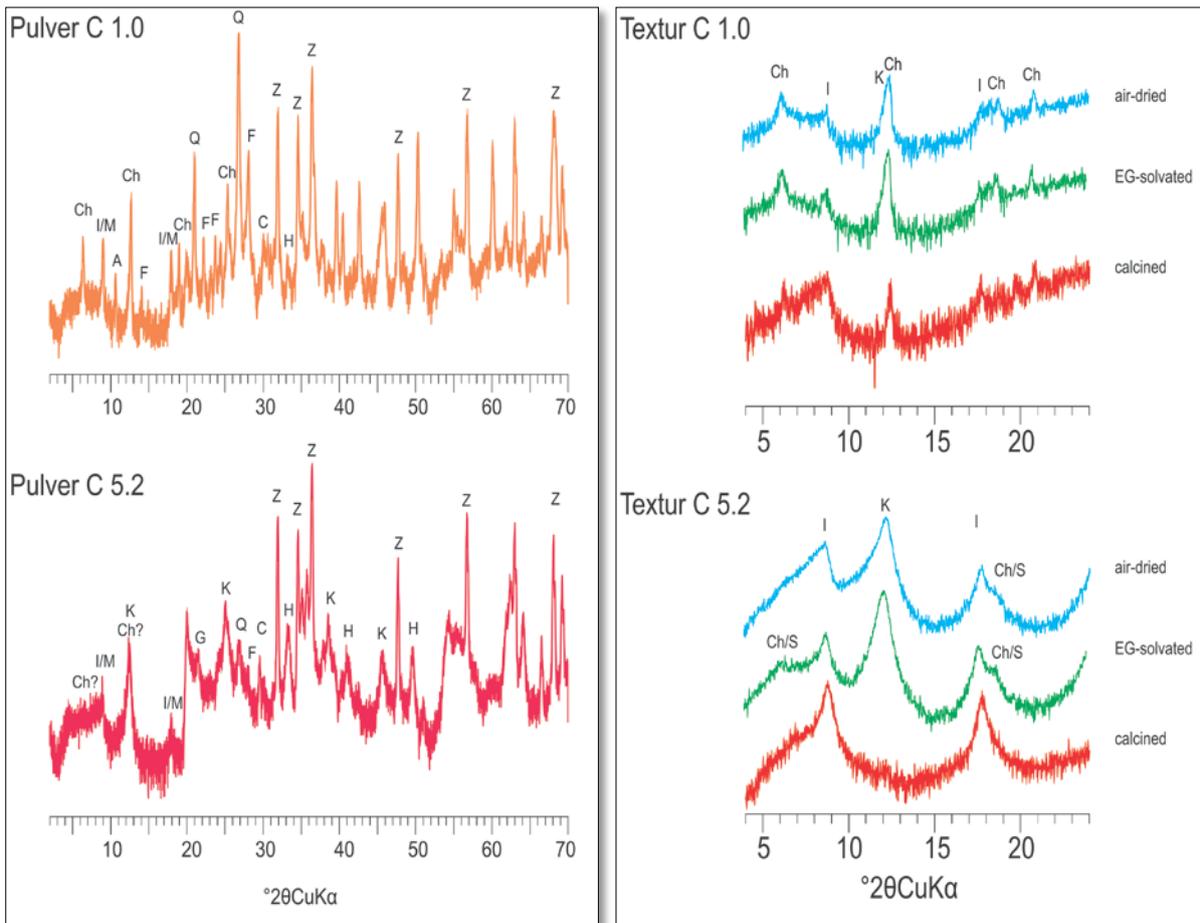


Foto 14: Südostabstürze Plateaurand, im Hintergrund Berchtesgadener Hochthron (Pfeil, links), Detailaufnahme Wandfuß der Südostabstürze (Vogelperspektive) mit rötlichen Verwitterungsböden aus Karstbauxit (rechts)



Erläuterung: Ch: Chlorit, I/M: Illit/Mica, A: Amphibolit, F: Feldspat, Q: Quarz, H: Hämatit, C: Calcit, K: Kaolinit, Ch/S: Chlorit/Smektit

Abbildung 25: Röntgendiffraktogramm an Pulver- und Texturpräparaten von Bv- und Bv-(T)-Horizonten (D16: C1.0, D19: C5.2), M. Köster TU München

Die Bildung der Bauxite wird unter subtropisch bis tropischen Klimaten in die Zeit der oberen Kreide gestellt. Auch die Kaolinit- und Gibbsitbildung ist an feuchtwarme Klimate gebunden. Die Ergebnisse zeigen, dass Zeiger für Paläoklimate (Kaolinit, Hämatit) bevorzugt auf Dachsteinkalkbrekzien (D19) oder Flächenresten (D18) nachweisbar sind.

Elementanalyse

Die Elementaranalysen konzentrieren sich auf den Flächenrest in unmittelbarer Nähe des zentralen Untersuchungsgebietes, der als topographische Sonderform im subalpinen Dolinenkarst betrachtet wird. Sie beziehen den Dolinengrund der Doline D18D (Typus Mulde) und zwei Probenstellen (Hangmitte, Boden) des Dolinenschachttyps D1 mit ein. Das Profil D18B wird als Referenzprofil eingestuft. Es spiegelt die Bodenbildung auf der Hochfläche ohne den erosiven Einfluss und möglichen Abtransport von Bodenmaterial wider.

Die Ergebnisse liefern in allen Proben ein rel. Maxima an Al_2O_3 . Auffallend ist der verhältnismäßig hohe Gehalt an Ca in den Oberböden der Hangcatena D1_W_Mitte Ah / D1_W_Boden Ah im Vergleich zu den Böden auf der Rasenfläche. Der Fe-Anteil steigt innerhalb der Profile leicht an. Die Phosphor-Werte (P) sind in den Oberböden und am Dolinenboden entlang der Hangcatena leicht erhöht. Bei den Mangangehalten (Mn) ist ein Anstieg im Hangbereich und am Dolinenboden deutlich. Vergleichsweise höhere Siliziumgehalte (S) sind im Oberboden am Flächenstandort D18B und im Dolinenunterhang D1_W_Boden zu verzeichnen (vgl. Tab. 21).

Tabelle 21: Elementanalysen an ausgewählten Dolinensedimenten in [mg/g]

Probe	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Si
D1_W_Mitte Ah	72,33	49,18	42,01	13,21	10,67	1,667	3,70	0,56	0,64
D1_W_Mitte Bv	84,22	7,03	46,32	15,11	8,28	3,824	7,40	1,83	1,39
D1_W_Boden Ah	72,38	17,28	42,28	13,68	7,71	3,051	5,47	2,23	1,24
D18B Ah	70,78	6,40	37,32	13,50	8,89	0,416	7,49	0,89	2,99
D18B Bv	80,05	8,07	42,36	14,53	9,76	0,898	7,99	0,62	0,71
D18D Ah	80,26	7,30	38,20	17,49	10,02	0,857	7,55	1,34	0,97
D18D Bv	85,50	8,38	39,28	18,10	10,96	0,467	8,64	0,96	0,21

Interpretation

Die relativen Maxima an Al_2O_3 durch die Verwitterung von Feldspäten, Schichtsilikaten inkl. Tonmineralen deuten auf eine tertiäre Verwitterungsdynamik (Bauxit, Kaolinit) hin. Sie unterstreichen den Mischcharakter des Bodeninventars zwischen residualer und äolischer Genese an erosionsgeschützten Flächen der alpinen Rasengesellschaften (D18B und D18D), der sich noch bis in den mittleren Hangverlauf der benachbarten Doline D1 nachvollziehen lässt

(D1_W_Mitte Bv). In Einklang mit der Interpretation der Al-Werte stehen auch die geringen Si-Werte an den Bodenprofilen in Folge der Desilifizierung. Hohe Si-Werte im Oberboden des Referenzprofils D18B und am Dolinengrund zeichnen den rezenten Eintrag silikatischer Materials auf die Hochfläche und dessen Abtransport am Dolinenhang in Richtung Dolinenzentrum nach. Erhöhte Ca-Gehalte im Catenabereich unterstützen die Interpretation der Bodentypenanalyse zum Eintrag von Stäuben und deren bevorzugte Deposition an Dolinenhängen (Karbonatstaub, Organik, vgl. Kapitel 4.1.1). Das Sorptionsverhalten an Tonminerale und Sesquioxide (z. B. D1_W_Mitte Bv) in den verbräunten Unterböden oder an Huminstoffen in humusreichen Horizonten (z. B. D1_W_Boden) führt zu erhöhten Mn-Gehalten. Hingegen zeichnen die P-Werte die Transportdynamik von organischen Stoffen entlang des Dolinenhangs in Richtung Dolinengrund nach (MIX & KÜFMANN 2014).

4.1.7 Teilzusammenfassung Bodentypen und ihre Verteilung

Das Bodenmosaik im subalpinen Dolinenkarst am Untersbergplateau setzt sich aus O/C-Böden, Rendzinen, Braunerde-Rendzinen und Braunerden zusammen. Die Variabilität der organischen Auflagen spiegelt die mikrotopologischen Standortfaktoren (Exposition, Schatten-/Feuchtpräferenz) der variantenreichen O/C-Böden wider. Sie sind hauptsächlich an Dolinenrändern und im mittleren Hangbereich lokalisiert. Ihr Auftreten am Dolinenboden ist an feuchte und schattenreiche Positionen geknüpft, die vorwiegend im Dolinenschachttypus auftreten. Die besonders hohen Humusgehalte der O/C-Böden an Dolinenrändern weisen den Standort in Kombination mit der Vegetationsbedeckung als begünstigt für die äolische Deposition aus. Die Mittelhänge aller Dolinentypen werden bevorzugt von der Rendzina besetzt. Sie nimmt eine vermittelnde Rolle zwischen den humusreichen O/C-Böden an Dolinenrändern und den Braunerde-Rendzinen in den Dolinenzentren ein. Hohe Humusgehalte in den oberen und ein zunehmender Schluffgehalt in den unteren Hangbereichen charakterisieren die Standortverteilung dieses karbonatarmen Bodentyps. Das generelle Skelettvorkommen der A/C-Böden tritt auch in Unterbodenhorizonten an Braunerde-Rendzinen auf. Diese sehr schluffreichen Böden sind bevorzugt an erosionsgeschützten Stellen, z. B. gestuften Hangbereichen oder Sattellagen zwischen Dolinen, sowie im Zentrum lokalisiert. Ihr Glimmerreichtum verweist auf die Beteiligung äolischer Materials am Aufbau des Solums. Braunerden stellen das aktuelle Klimaxstadium innerhalb der Entwicklungsreihe der Böden auf Karbonatgestein am Untersbergplateau dar. Ihr Vorkommen ist ausnahmslos auf ebene

Flächenreste oder deren unmittelbare Nachbarschaft beschränkt. Das vorherrschende Bodeninventar ist durch eine Materialvielfalt residualer, tertiärer, periglazialer und rezent äolischer Herkunft geprägt. Die skelettfreien Horizonte weisen aufgrund ihrer erosionsgeschützten Lage einen zu den Braunerde-Rendzinen vergleichsweise hohen Tongehalt auf. Aufgrund dessen identifizieren sie den Dolinengrund als begünstigten Abtrags- und Eintragsort auch für die bevorzugte Korngröße Ton.

4.2 Bodendynamik im System Dolinenhang

Die kartierten Hauptbodentypen zeigen innerhalb des Systems Doline eine systematische Verteilung. Anhand chemischer und physikalischer Bodenparameter am mikrotopologischen Standort können neben den Bodenbildungsfaktoren auch einzelne Einflussfaktoren der äolischen Deposition und des erosiven Abtransports von Bodenmaterial herausgearbeitet werden (vgl. Kapitel 4.1.7). Weitere Faktoren der Bodendynamik im subalpinen Dolinenkarst liefert die Analyse typischer Kenngrößen entlang von Hangcatenen. Für die Identifizierung der erosiven Dynamik oder äolischen Deposition werden bevorzugt Kenngrößen der organischen Auflagen und Oberbodenhorizonte herangezogen.

4.2.1 Exposition als Einflussfaktor von äolischer Deposition und Abtrag

Bereits die Hauptbodentypen zeigen eine generelle Abnahme der organischen Substanz- und C_{org} -Werte entlang der Hangcatenen über die Abfolge O/C-Boden – Rendzina - Braunerde-Rendzina an. Während die organische Substanz an den Dolinenrändern im Mittel noch Werte von 46,39 Gew.-% aufweist (C_{org} : 23,83%, berechnet aus der Differenz von C_{tot} und $CaCO_3$ in [%]), nehmen die Werte im Mittelhang mit 38,32 Gew.-% (C_{org} : 19,33%) in Richtung Dolinenzentrum mit 33,98 Gew.-% (C_{org} : 16,36%) deutlich ab (vgl. Tab. 22).

Tabelle 22: org. Substanz und C_{org} -Werte (%) entlang von Hangcatenen im zentralen Untersuchungsgebiet

Dolinenposition	org. Substanz in [Gew.-%] ¹			C_{org} -Werte in [%] ²		
	Min	Max	Mittel	Min	Max	Mittel
Dolinenrand	10,9	76,9	46,39	4,8	35,01	23,83
Hangmitte	17,1	63,9	38,32	9,79	29,69	19,33
Dolinenzentrum	16,4	53,6	33,98	7,59	26,26	16,36

¹Dolinenrand n=20, Mittelhang n=15, Dolinenzentrum n=16

²Dolinenrand n=18, Mittelhang n=14, Dolinenzentrum n=19

Die expositionsabhängige Analyse liefert ein differenziertes Bild. Dolinentypenunabhängig kehrt sich die Abnahme von Humus und organischem Kohlenstoff an westexponierten Hängen um. Hier weisen die Oberböden der Bodentypen im Dolinentiefsten die höchsten Werte

an org. Substanz- und C_{org} entlang der Hangcatena auf (vgl. *Abb. 26*, S. 79; *Abb. 27*, S. 81; *Abb. 28*, S. 83).

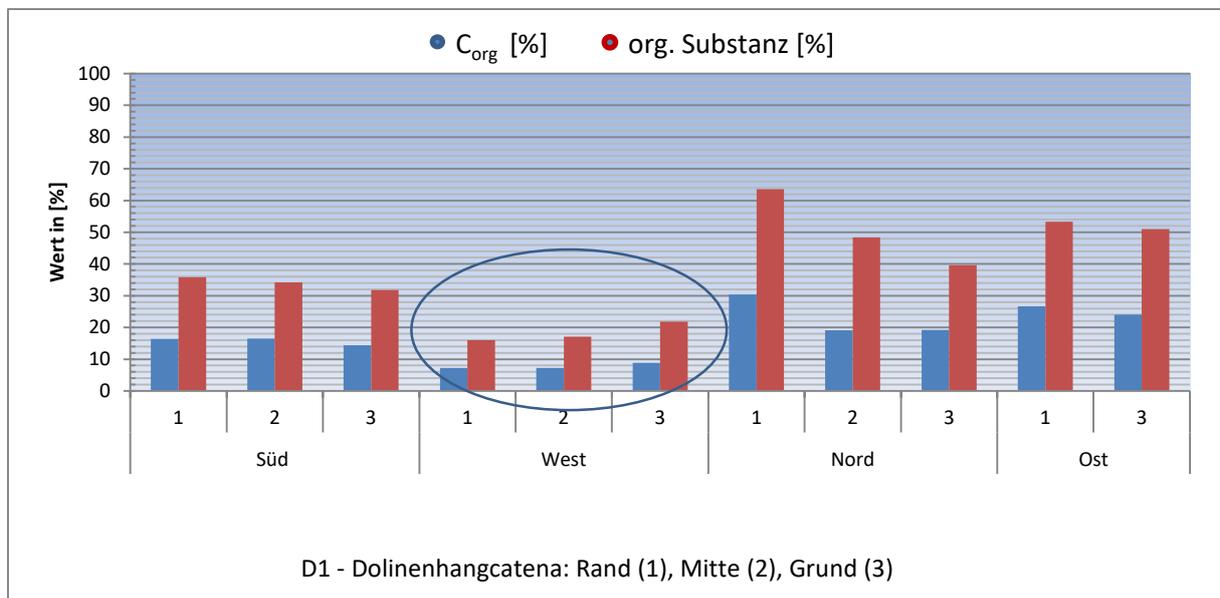


Abbildung 26: C_{org} und org. Substanz in [%] in Oh / Ah-Horizonten entlang von Hangcatenen in Abhängigkeit der Hauptexposition am Beispiel D1

Aufgrund der expositionsabhängigen Verteilungsdynamik ist der Einfluss von klimatisch gesteuerten Faktoren wahrscheinlich. Erhöhter Eintrag bzw. geringerer Abtrag von Material im Dolinenzentrum und/oder ein reduzierter Eintrag und verstärkter Abtrag am Dolinenrand bedingen die vorliegenden Ergebnisse.

Westexponierte Hänge sind aufgrund der vorherrschenden Westwinddrift verstärkt Niederschlägen in jeglicher Form ausgesetzt. Neben sommerlichen Regengüssen stehen auch verstärkt lokale Schneelager im Fokus der Transportdynamik von Sediment.

Geländebeobachtungen zeigen, dass westexponierte Hänge mitunter bis in den Juli hinein aufgrund der strahlungsgeschützten Hanglage schneebedeckt bleiben (vgl. *Foto 15*, S. 80). Neben dem Abschmelzen und dem Abtransport der Schmelzwässer zwischen Bodendecke und Schneepfropf können auf den durchschnittlich 35° steilen Dolinenhängen auch Rutschungen auftreten. Dabei werden mitunter Partikel aus dem Bodengefüge herausgelöst, aber auch locker aufliegender Staub aus der Vorjahresdeposition abgespült. Darüber hinaus dient die Schneedecke ab dem Spätfrühjahr als Transportmedium für Bodenpartikel aus bereits schneefreien Bereichen auf dem Plateau und der näheren Umgebung. Diese werden auf

der Schneedecke durch Nivationsprozesse im Verlauf des Abschmelzens in Richtung Dolinenzentrum transportiert und dort erneut deponiert.



Foto 15: Expositionsabhängige Schneesituation im Dolinenkarst am Untersberg (Dolinen D1), Schneelager Ende Juni 2014 (BR nach SW, Westhang gekennzeichnet)



Foto 16: Erster Schneefall Ende Oktober 2015 im Dolinenkarst am Untersberg (Doline D1), (Blickrichtung nach SE, Westhang gekennzeichnet)

Die expositionsabhängige Schneedeckenentwicklung zeigt sich bereits im Spätherbst (vgl. Foto 16, S. 80). Frühe Schneefälle deponieren bevorzugt an westexponierten Hängen und / oder bleiben an den strahlungsärmeren Hanglagen bestehen. Dadurch steht dem abgelagerten äolischen Material im Spätherbst und Frühwinter mehr Schmelzwasser für die erosive Dynamik zur Verfügung.

Neben den klimatischen scheinen auch topographische Faktoren bedeutsam. Beispieldoline 2 (Exposition Süd), Abb. 27 zeigt ebenso am Randbereich der Exposition Süd geringere C_{org} -Werte und organische Substanz als im Dolinenzentrum. Hier fällt die Doline steil von einem flachen Randbereich ab (vgl. Abb. 28). Dieser ist für die Deposition von Material möglicherweise weniger begünstigt (vgl. Ergebnisse aus Kapitel 4.1.1), während hingegen im Dolinenzentrum Material aus den umliegenden Nachbarhängen angespült wird.

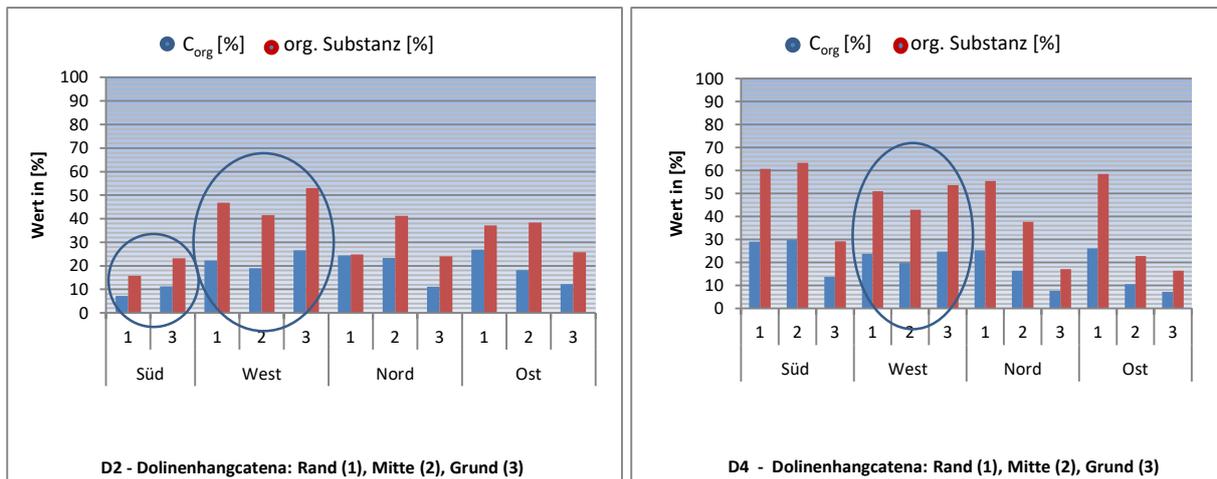


Abbildung 27: C_{org} -Gehalt und org. Substanz in [%] in Oh / Ah-Horizonten entlang von Hangcatenen in Abhängigkeit der Hauptexposition an Beispieldolinen D2 und D4

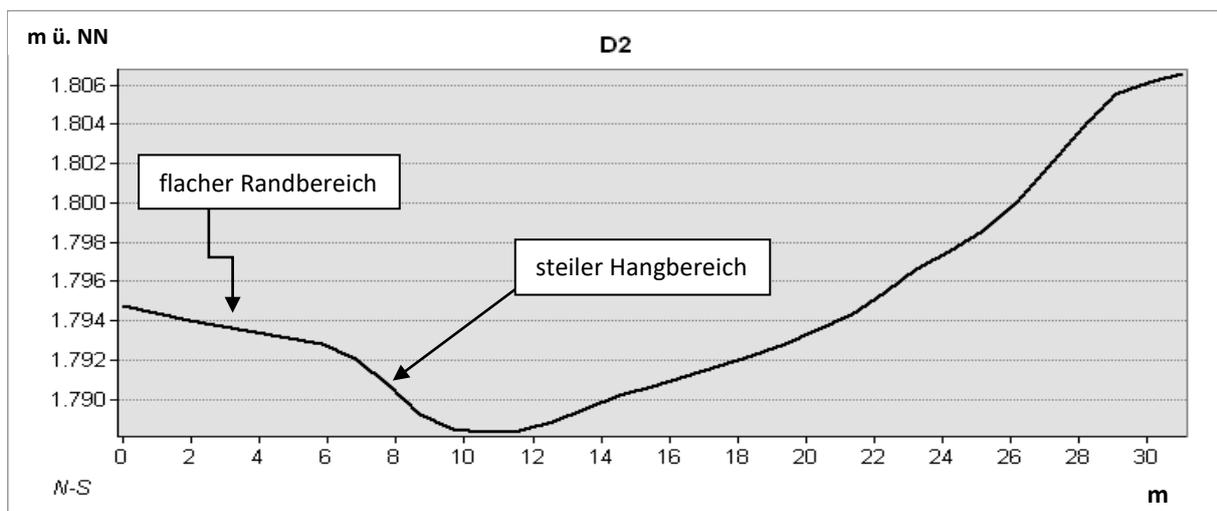


Abbildung 28: Schnittlinie Nord-Süd, Doline D2 (beachte Darstellungsproblematik Rastergröße 1m)

Die Auswertung der Testdolinien zeigt, dass die Transportdynamik von organischem Material im Oberbodenbereich an westexponierten Dolinenhängen unabhängig von der Dolinenausdehnung und -form und den damit zusammenhängenden Hanglängen ist (vgl. Abb. 30). Abbildung 28, S. 81 verdeutlicht die Tendenz trotz der enormen Größenabweichung der Testdolinien D3 (Trichter) und D5 (Mulde).

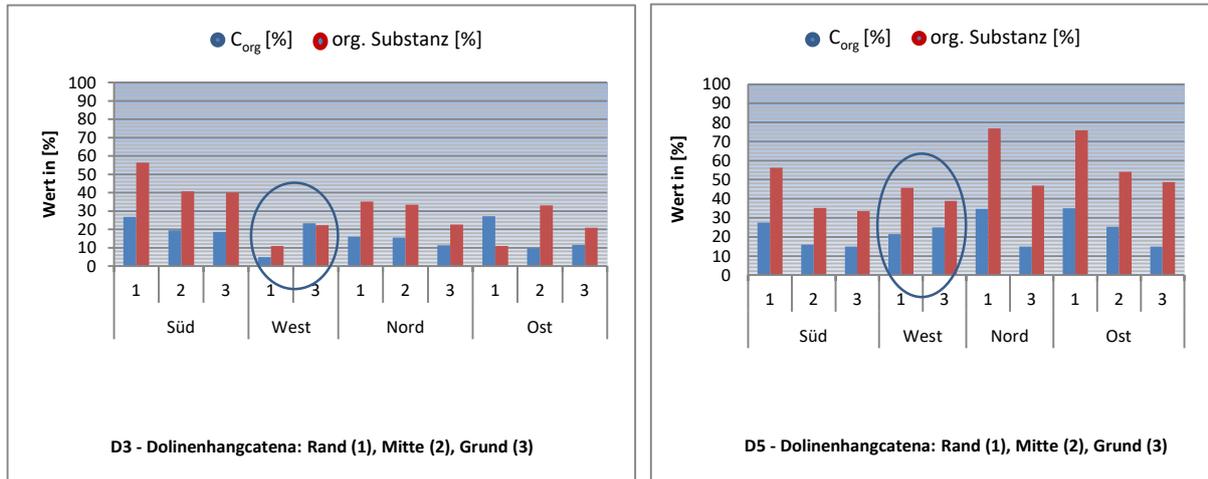


Abbildung 29: C_{org}-Gehalt und org. Substanz in [%] in Oh / Ah-Horizonten entlang von Hangcatenen in Abhängigkeit der Hauptexposition an Beispieldolinien D3 und D5

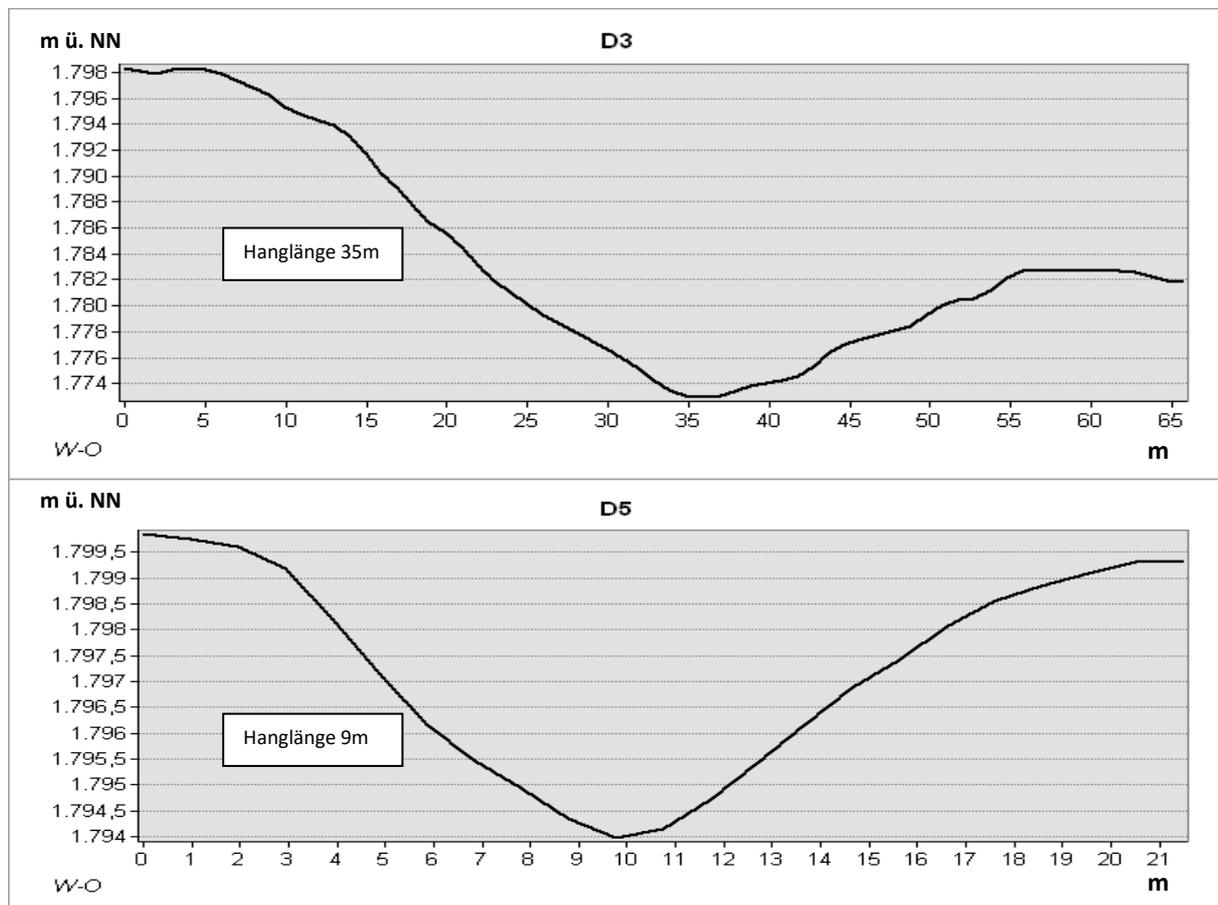


Abbildung 30: Schnittlinien West-Ost, Dolinen D3 und D5, Hanglänge West beschriftet

4.2.2 Stofftransport innerhalb des Dolinensystems

Entlang der Hangcatenen steigt expositionsunabhängig der pH-Wert in Richtung Dolinenzentrum an (vgl. Tab. 23). Ausnahmen bilden Bodenstandorte mit einem hohen Skelettanteil am Dolinenrand (D1_W, D2_S, D4_W, D4_N). Der CaCO₃ – Gehalt ist generell in Muldendolinen am Dolinenrand geringer als am Dolinenrand. Trichterdolinen zeigen kein regelhaftes Verteilungsmuster in Bezug auf die Karbonatgehalte, im Dolinenschachttyp hingegen werden höhere Karbonatgehalte am Grund festgestellt.

Tabelle 23: pH-Mittelwerte (CaCO₃ [%]) an Dolinenhangpositionen in Abhängigkeit zur Exposition

¹	Nord	Ost	Süd	West
Oberhang	6,136 (1,58)	6,48 (0,45)	5,53 (0,40)	5,36 (0,27)
Mittelhang²	6,7 (0,93)	6,69 (0,72)	6,23 (0,21)	5,89(1,35)
Unterhang	6,618 (0,77)	6,70 (0,67)	6,59 (0,24)	6,63 (1,1)

¹ n= 5 pro Hauptexposition und Hangposition

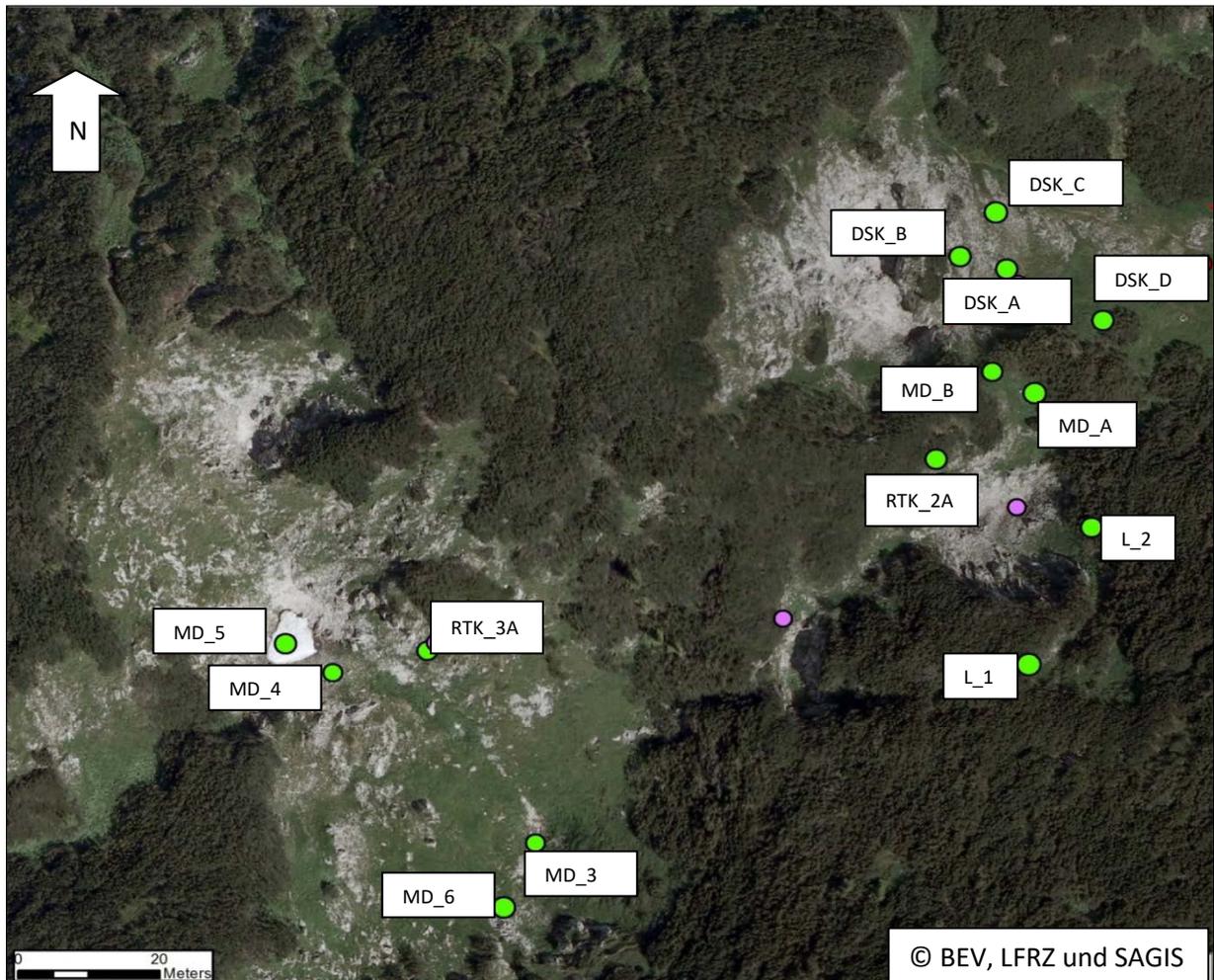
² Mittelhang n=3 in N, E, W wegen fehlender Hanglänge oder Steilwand

4.2.3 Teilzusammenfassung Einflussfaktoren Hangcatena

Die Analyse entlang der Hangcatenen zeigt besonders für den Humusgehalt, gemessen an den Parametern C_{org} und organischer Substanz (GV [%]), eine expositionsabhängige Umkehr der Gehalte in den organischen Auflagen und Oberbodenhorizonten in allen Testdolinen. Als Verlagerungs- bzw. Depositionsmedium wird die Schneedecke an westexponierten Hängen identifiziert. Am Dolinenrand liegen sehr schwach saure pH-Wertevor, während am Dolinenrandbereich leicht saure pH-Werte registriert werden. Die Karbonatwerte hingegen verhalten sich abhängig vom Dolinentypus und zeigen erhöhte Werte am Grund von Dolinenschachttypen. An den Rändern aller Dolinentypen und am Dolinenrand von Muldendolinen sind geringere Werte zu verzeichnen. Trichterdolinen zeigen keine systematische Verteilung.

4.3 Sedimenteintrag im subalpinen Dolinenkarst

Die Erkenntnisse der Bodentypenanalyse werden mit Ergebnissen zum Sedimenteintrag ergänzt. Um mögliche Einflussfaktoren zu identifizieren, variiert die Lage der Sedimentfallen in Hangposition, Exposition und Vegetation (vgl. Karte 3; Tab. 24).



Karte 3: Lage der Sedimentfallen für die äolische Deposition auf den Testflächen

Tabelle 24: Lage und Kurzcharakteristik der Sedimentfallen im subalpinen Dolinenkarst

Bezeichnung	Doline	Hangposition	Exposition	Vegetation ¹	Bemerkung
DSK_A	D1	Mittelhang	SSW	Cs	gestufter Hangbereich
DSK_B	D1	Mittelhang	S	Schuttkriecher	Schuttrinne
DSK_C	D1	Oberhang	SSW	Cs	gestufter Hangbereich
DSK_D	D1	Dolinenrand	NNW	Cs, Pm	-
MD_A	D5	Dolinenzentrum	-	Aa	-
MD_B	D5	Mittelhang	ENE	Cs	-
L_1	D2	Kuppe	-	Pm	-
L_2	D2	Mittelhang	WNW	Pm	-
RTK_2A	D2	Mittelhang	SE	Cs, Pm	Kuppe von Steilwand
RTK_3A	D4	Mittelhang	SSW	Cs > Cf	felsig, steinig
MD_3	D4	Unterhang	NW	Ac	-
MD_4	D3	Sattelposition	-	Cs < Cf	-
MD_5	D3	Dolinenzentrum	-	Schutt, Moos	-
MD_6	D4	Mittelhang	NNE	Cs	-

¹ Cs (*Seslerio-Caricetum sempervirentis*) Blaugras-Horstseggen-Rasen, Pm (*Pinus mugo*) Latschenkiefer, Aa (*Adenostylon alliariae*) subalpinen Hochstaudenflur, Cf (*Caricetum firmae*) Firmetum, Ac (*Arabidetum caeruleae*) Gänsekresse-Flur

4.3.1 Quantitative Analyse in Abhängigkeit zu den dominanten Einflussfaktoren

Sedimenteintrag gesamt

Die Gesamtauswertung der Messjahre 2014 und 2015 weist bevorzugte Standorte für den Sedimenteintrag aus. Anhand der mittleren Tagesraten in [mg/d] stellen sich DSK_A, DSK_D, MD_A, RTK_3A, L_1, L_2 als günstige Standorte für die äolische Deposition dar (vgl. Abb. 31). An den Standorten DSK_A, MD_A und L_1 differieren die Einträge der zwei Messjahre erheblich, während die übrigen Standorte vergleichbare Werte in den Jahren 2014 und 2015 aufweisen. Sedimentfänger in Trichterdolinen mit deutlicher Tiefenerstreckung (MD_4, MD_5, MD_6) liefern die geringsten Eintragsraten. Ebenso müssen der Rinnenstandort DSK_B, sowie ENE- und SE-orientierte Standorte (MD_B, RTK_2A) als ungünstig für die Deposition ausgewiesen werden. Diese sind zudem innerhalb der Doline im Verhältnis zu deren Umgebung so positioniert, dass substratbringende Winde leicht abgelenkt werden.

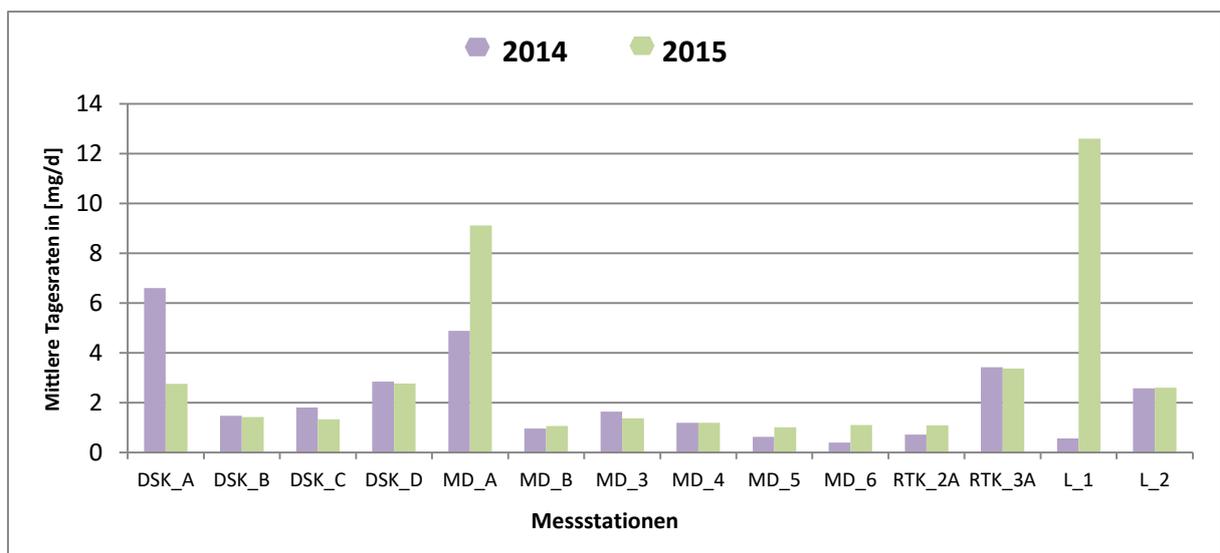


Abbildung 31: Sedimenteintrag an den Messtationen der Geländejahre (Juni bis Oktober) 2014 und 2015 (mittlere Tagesraten [mg/d] gebildet aus n=4-9 Messungen pro Standort und Messjahr)

Vergleicht man die Ergebnisse aus *Abbildung 31* mit ausgewählten Messungen zwischen Hochsommer (Juli/August) und Spätherbst (Oktober) beider Geländejahre, treten erneut die Standorte DSK_A, DSK_D, MD_A, RTK_3A, L_1, L_2 in den Vordergrund (vgl. Abb. 32, S. 86). Ohne Berücksichtigung der Einträge im späten Frühjahr bis Ende Juni zeigt sich, dass auch Sedimentfänger am Dolinenunterhang (MD_3), welche im Spätfrühjahr noch nicht ausgepart waren und erst ab Juli Daten liefern, höhere Einzeleinträge verzeichnen. Die Messstandorte MD_B, MD_4, MD_5, MD_6 und RTK_2A weisen im Mittel jeweils einen Gesamt-

eintrag zwischen 0,015 g bis 0,021 g auf und treten damit noch hinter die mittleren Gesamteinträge von 0,023 g bis 0,026 g an den Standorten DSK_B und DSK_C.

Die bevorzugten Depositionsstandorte DSK_A, RTK_3A, L_2, MD_3 sind NW- bis SW-exponiert und im Dolinenmittelhang und im Bereich des Unterhanges (MD_3) lokalisiert. Die Standorte RTK_3A und DSK_A sind zudem durch einen aufgelockerten Vegetationsbesatz gekennzeichnet. DSK_D, L_1 und L_2 als latschennahe Standorte repräsentieren die Dolinenränder oder latschenbesetzten Mittelhänge (L_2). Alle übrigen Messstandorte befinden sich vorwiegend in Mittelhangposition der Exposition S, SE, ENE und NNE oder im Dolinenzentrum (z. B. MD_5). Die quantitative Analyse stellt somit die Faktoren Vegetation und Exposition als bedeutsam für die Depositionsmechanismen von Stäuben im subalpinen Dolinenkarst heraus. Dabei spielt offenbar der am Dolinenoberhang häufig stattfindende Wechsel zwischen alpiner Rasenvegetation und Latschenbewuchs eine entscheidende Rolle. Dolinenhänge und besonders die Dolinenzentren sind in der Regel aufgrund der klimatischen Ungünstigkeit (Schnee, Kaltluftsammler) frei von der Bergkiefer (*Pinus mugo*) und stellen somit benachteiligte Hangpositionen für die Deposition dar.

Die breite Streuung der Eintragsmengen innerhalb der Testdolinen verdeutlicht jedoch, dass sowohl hohe und niedrige Einträge in allen Dolinentypen möglich sind.

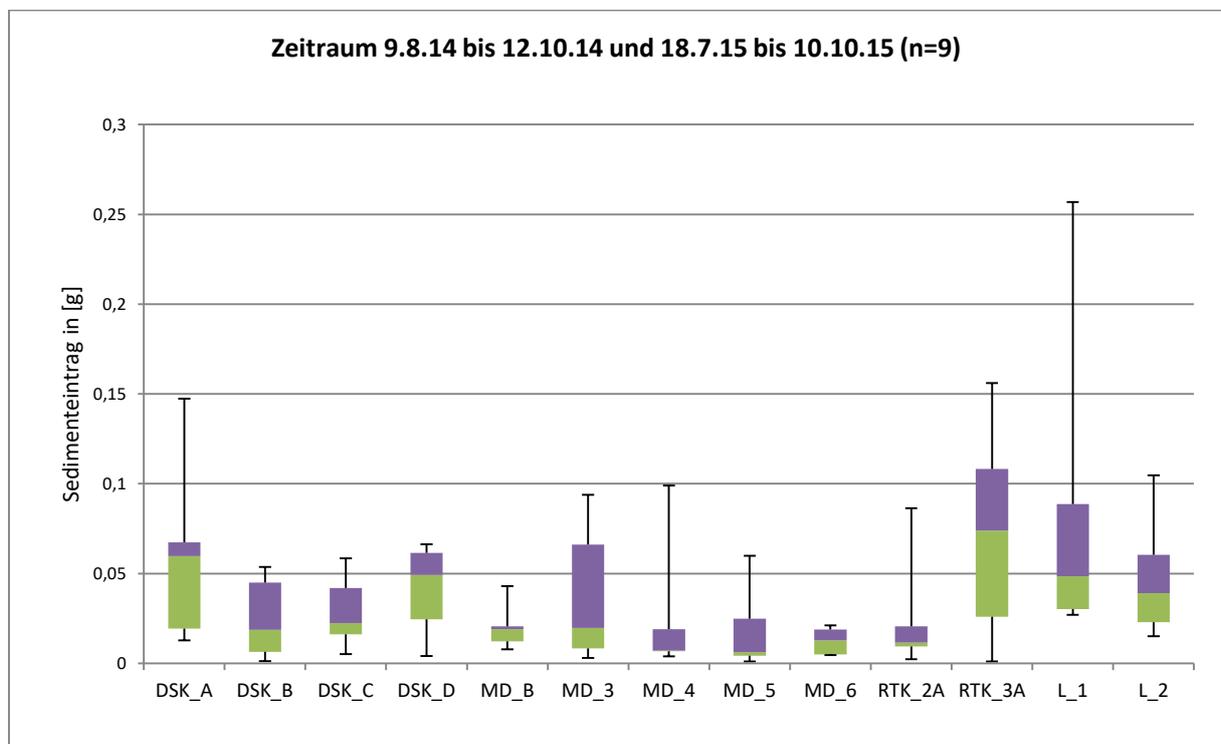


Abbildung 32: Sedimenteintrag [g] an ausgewählten Messeinrichtungen, Hochsommer bis Herbst der Jahre 2014 und 2015

Sedimenteintrag im Messverlauf

Die vergleichenden Sedimenteinträge benachbarter Messstellen (z. B. DSK_A/B/C(/D); Foto 17, S. 88) zeigen eine hohe Variabilität der Einträge im Messverlauf. Die Eintragungsmengen der bevorzugten Depositionsstandorte DSK_A und DSK_D im Dolinensystem D1 werden zeitweise von den konkurrierenden Standorten DSK_B / C annähernd eingeholt oder sogar übertroffen (z. B. 06.07., 19.09., 12.10.14 und 18.07., 04.08., 20.09.15). Höhere Einträge an Standort DSK_D gehen mitunter mit ausgeglichenen Einträgen der Nachbarstandorte einher (vgl. Eintrag August und September 2015, Abb. 33).

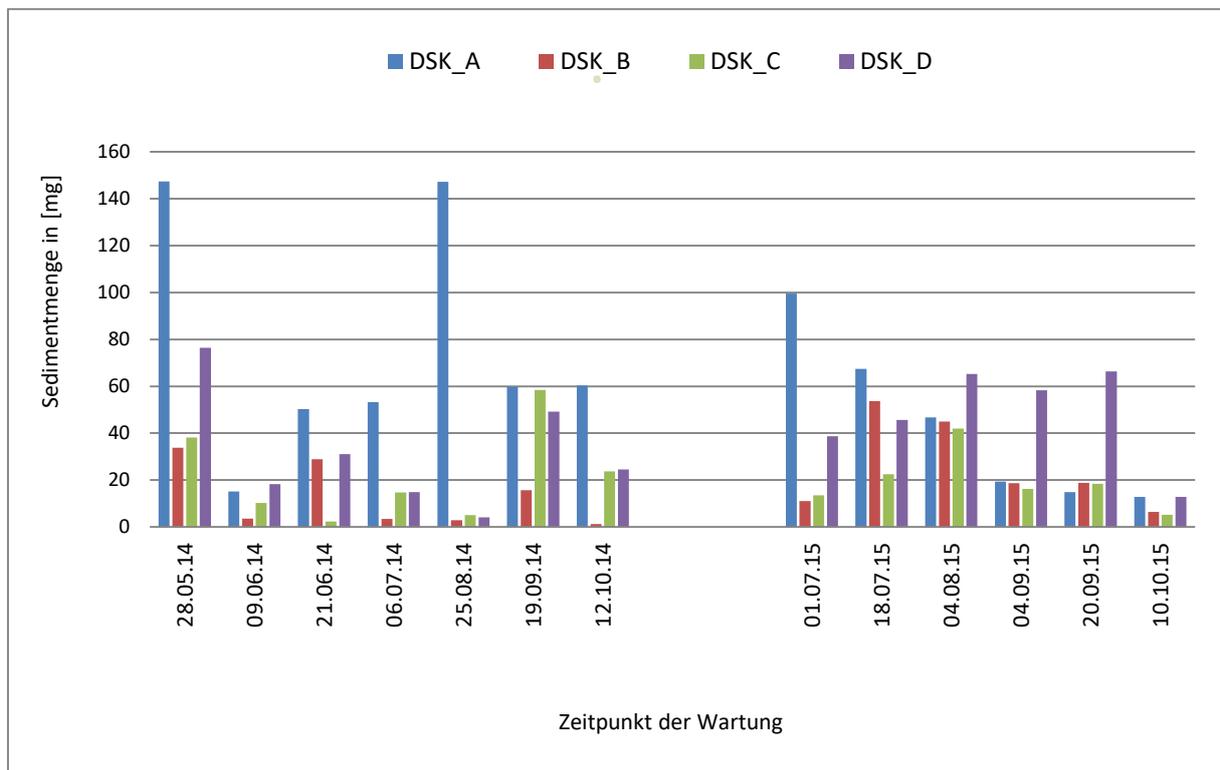


Abbildung 33: Sedimenteintrag pro Messintervall innerhalb eines Dolinensystems (Doline 1), Untersbergplateau

Vergleicht man die mittleren Tagesraten [mg/d] der Sedimentfänger im Messverlauf, werden höhere Eintragsraten im späten Frühjahr oder Frühsommer registriert (vgl. Tab. 25, S. 88; grau hinterlegte Zellen). Sie sind mit dem Abbau der Schneedecke und einer Aktivierung der Liefergebiete aus der unmittelbaren und weiteren Umgebung zu erklären. Dazu zählen ausgeaperte Flächen und Kuppen des Plateaus und benachbarter Gebirge, sowie die Gletschervorfelder der kristallinen Zentralalpen. Im Geländejahr 2015 verschiebt sich das Eintragsmaximum in Richtung Frühsommer. Gleichzeitig wird ein um zwei Wochen verzögertes Auspern auf dem Plateau registriert, was auch eine Verzögerung der Messungen mit sich brachte.

Tabelle 25: Tagesmittelwerte der Sedimentfänger im Messverlauf der Geländejahre 2014 und 2015 (Maximalwerte grau schattiert)

Geländejahr 2014									
Messintervall	22.05.- 28.05.	28.5.- 09.06.	09.06.- 21.06.	21.06.- 06.07.	06.07.- 20.07.	20.07.- 09.08.	09.08.- 25.08.	25.08.- 19.09.	19.9.- 12.10.
Sedimentfänger aktiv	4	4	7	9	5	14	14	14	14
Tagesraten [mg/d]	12,315	0,627	4,043	1,68	1,088	2,483	1,452	2,076	1,873
Geländejahr 2015									
Messintervall	12.6.- 21.06.	21.06.- 01.07.	01.07.- 18.07.	18.07.- 04.08.	04.08.- 04.09.	04.09.- 20.09.	20.09.- 10.10.	10.10.- 29.10.	
Sedimentfänger aktiv	2	8	13	14	14	14	14	14	
Tagesraten [mg/d]	2,155	11,318	7,313	3,1987	1,0621	1,377	0,795	0,489	

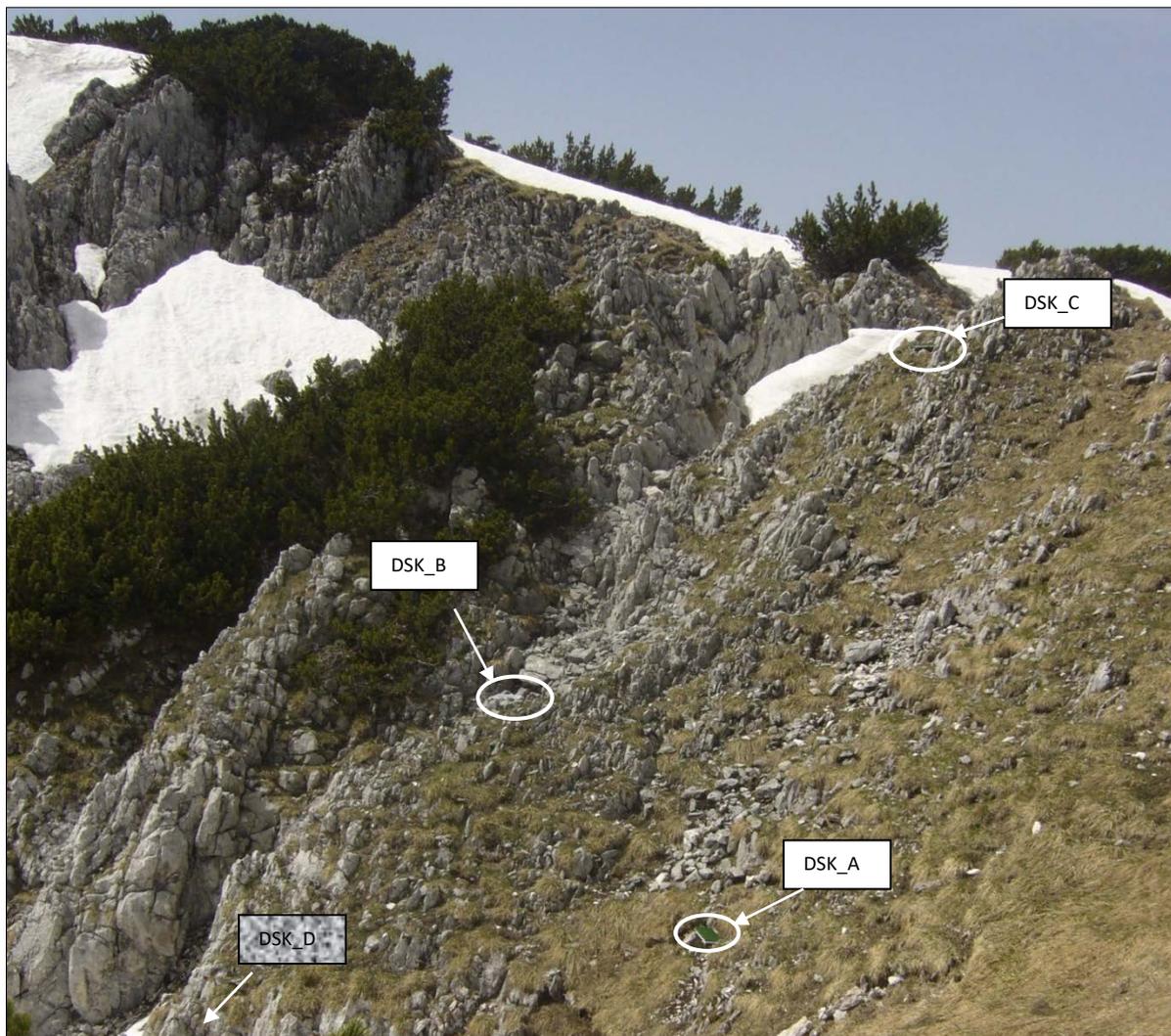


Foto 17: Verteilungssituation der Sedimentfänger in Doline D1, DSK_D außerhalb des Bildausschnittes am gegenüberliegenden Hang

Um den Zusammenhang des Eintragsmaximums mit dem Abbau der Schneedecke und der Aktivierung umliegender Liefergebiete zu untermauern, werden an dieser Stelle qualitative Daten (C, N in [%]) von Sedimentproben ausgewählter Depositionsstandorte (DSK_A, B, C, D als Sammelprobe; MD_A, MD_5, RTK_3A) angeführt. Sie zeigen zwischen Ende Mai und Mitte Juli durchschnittliche C_{tot} -Werte von 26,01% (n=5, Min: 21,03, Max: 31,22). Sammelproben aller Sedimentfänger (n=14) zweier Messintervalle liefern Werte von C: 23,94%, N: 2,447% (09.08.-25.8.14) und C: 27,05%, N: 2,262% (19.9.-12.10.14). Auf einem Schneelager am Dolinengrund von Doline D3 konnte Anfang Juli eine Sedimentprobe entnommen werden mit C_{tot} -Werten von 47,06% und N: 1,639%. Die um den Faktor 1,8 erhöhten C_{tot} -Werte dokumentieren den jahreszeitlich früh einsetzenden Input von äolischem Material organischer Herkunft, der sich auf den abschmelzenden Schneeflächen sammelt und sukzessive in Richtung Dolinenzentrum transportiert wird. Ab dem Frühsommer gehen die C_{tot} -Werte leicht zurück, um im Herbst erneut vergleichbare Werte aus dem späten Frühjahr zu erreichen.

4.3.2 Klimatische Steuerungsmechanismen des Sedimenteintrags

Die quantitative Analyse weist die Hangexposition SW bis NW als günstig für die Sedimentdeposition im subalpinen Dolinenkarst aus. Bezieht man die Daten zu Windstärke und -richtung an der Bergstation der Geländejahre 2014 und 2015 mit ein, liefern diese nicht in allen Sektoren eine Übereinstimmung mit den bevorzugten Hangexpositionen. Diese belegen eine Dominanz der Windrichtung aus dem westlichen, niederschlagsbringenden Sektor. Winde aus dem Sektor ESE bis SE sind weniger häufig vertreten. Der süd-südwestliche Sektor ist unterrepräsentiert (vgl. Abb. 34).

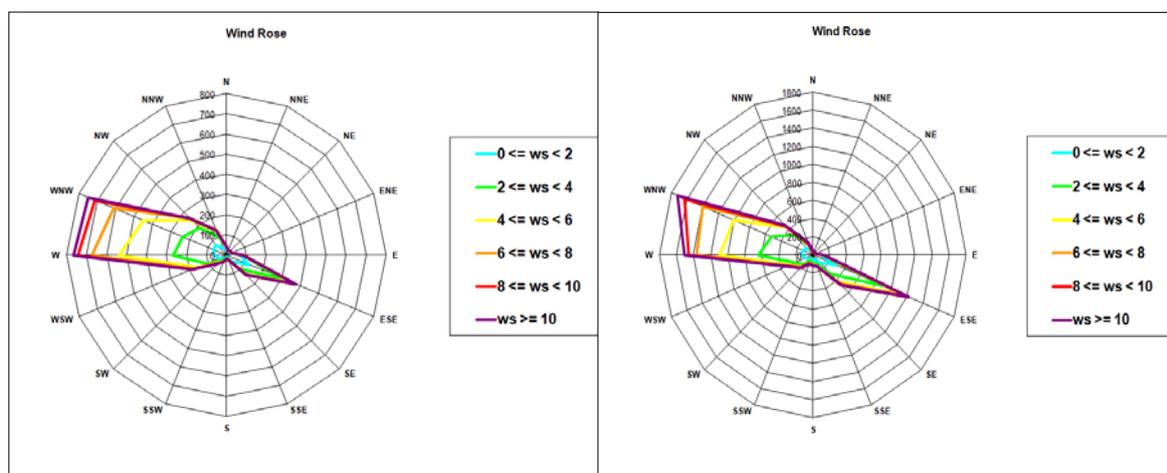


Abbildung 34: Windtätigkeit Geiereck Untersberg 22.05.-09.08.14 (links), 16.6.-29.10.15 (rechts)

Die räumliche Verteilung der Eintragsraten zeigt in Teilen ein übereinstimmendes Bild. Messstationen im Sektor NNE bis SE liefern geringere Tageseinträge. Das Gros des Inputs deponiert in Exposition SSW bis NNW (vgl. Abb. 35).

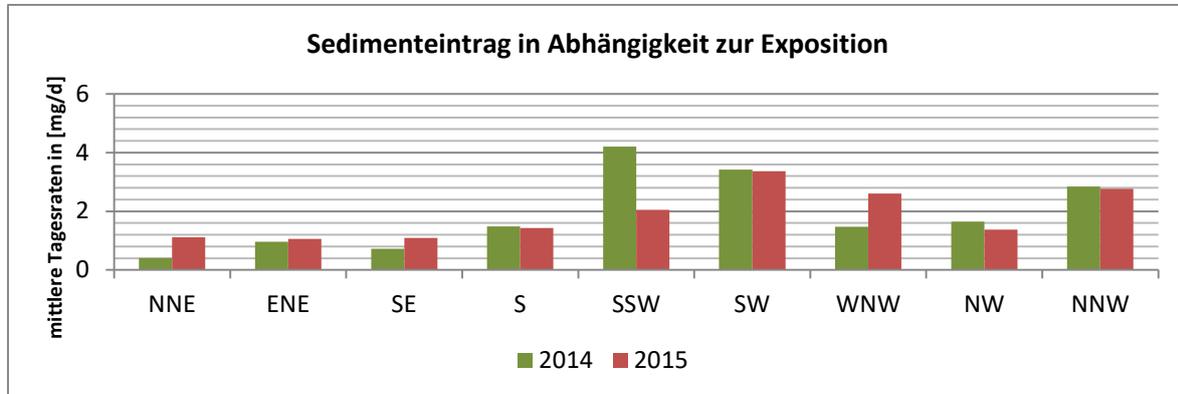
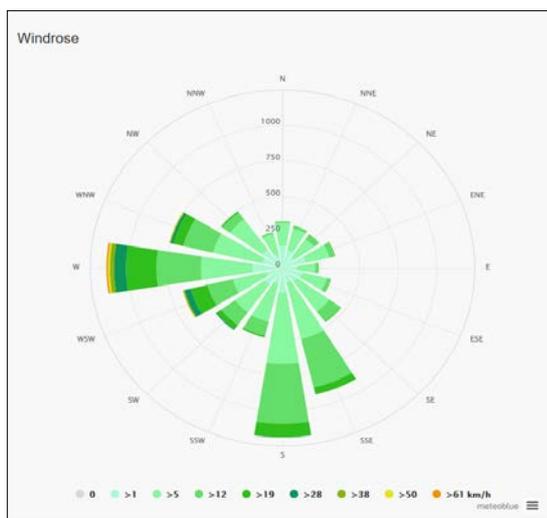


Abbildung 35: Mittlere Tagesraten [mg/d] pro Geländesaison in Abhängigkeit zur Exposition

Zieht man die simulierten Daten zu Windrichtung und –stärke des Untersbergplateaus heran, zeigt sich eine Verschiebung der Windrichtung aus ESE-Richtung nach SSE und S. Die Dominanz der Winde aus dem Westsektor bleibt bestehen (vgl. Abb. 36). Diese niederschlagsbringenden Westwinde liefern in allen annähernd westexponierten Hanglagen von SSW nach NNW im subalpinen Dolinenkarst einen erhöhten Staubeintrag und dokumentieren den „wash-out“-Effekt über die nasse Deposition. Diese breite Streuung von erhöhten Einträgen lässt sich mit einer starken Ablenkung der Winde im Meso- und Mikrorelief auf dem Plateau erklären. Gleichzeitig muss mit einer Ablenkung der Winde aus dem Sektor Süd entlang der



Südostabstürze am Plateaurand gerechnet werden. Dadurch wären auch die gemessenen Winde aus SE und E an der Klimastation Geier-eck zu erklären, welche über das Salzachtal von Berchtesgaden in Richtung NW strömen. Die Windsituation an der südlich gelegenen Reiter-alpe (Berchtesgaden) liefert ähnliche Windrichtungsergebnisse aufgrund der im Lee positionierten Klimastation Wartsteinkopf (vgl. KÜF-MANN 2008b).

Abbildung 36: Windrichtung- und –geschwindigkeit Untersbergplateau, meteoblue Simulation 1984-2017

Korreliert man die 30-minütigen Windevents mit den Staubraten der jeweiligen Sedimentfänger in den Sektoren, zeigt sich ein starker Zusammenhang zwischen Windevents und Staubrate in den Sektoren WNW (281-304,5°), NW (304-326,5°) und S (169-191,5°). Sie spiegeln die Hauptwindrichtungen der simulierten Winddaten (Intquel 2: METEOBLUE 2017) wider. Dass die Sektoren SSW, SW und NNW in der linearen Einfachregressionsanalyse keine bzw. schwach negative Zusammenhänge zeigen, wird erneut als Anzeiger für die Ablenkung der Winde im Mikorelief interpretiert, da die Sedimentfänger in diesen Expositionen de facto hohe Tagesraten liefern (vgl. Tab. 26).

Tabelle 26: Korrelationskoeffizienten r zur Beschreibung des linearen Zusammenhangs zwischen Staubrate [mg/d] und der Anzahl an 30-minütigen Windevents pro beprobten Richtungssektor (n=9)

	Sektoren								
	NNE	ENE	SE	S	SSW	SW	WNW	NW	NNW
r=	-0,302	+0,059	+0,006	+0,346	-0,004	-0,312	+0,783	+0,382	-0,004

Die vergleichenden Niederschlagsdaten an der Messstation Geiereck und dem Niederschlagssammler im zentralen Untersuchungsgebiet geben Aufschluss über die mikrotopologisch bedingte Abweichung des Niederschlags am Bodenstandort im Vergleich zu den Werten der Klimastation (vgl. Abb. 37). Die Niederschlagsmengen im Untersuchungsgebiet sind im Mittel um den Faktor 1,7 erhöht (Min: 1,27; Max: 2,48). Die Auswertung stützt die Annahme, dass die Niederschlagsintensität gekoppelt mit der Windstärke in Bodennähe durch das Meso- und Mikorelief im Dolinenkarst gesteuert wird.

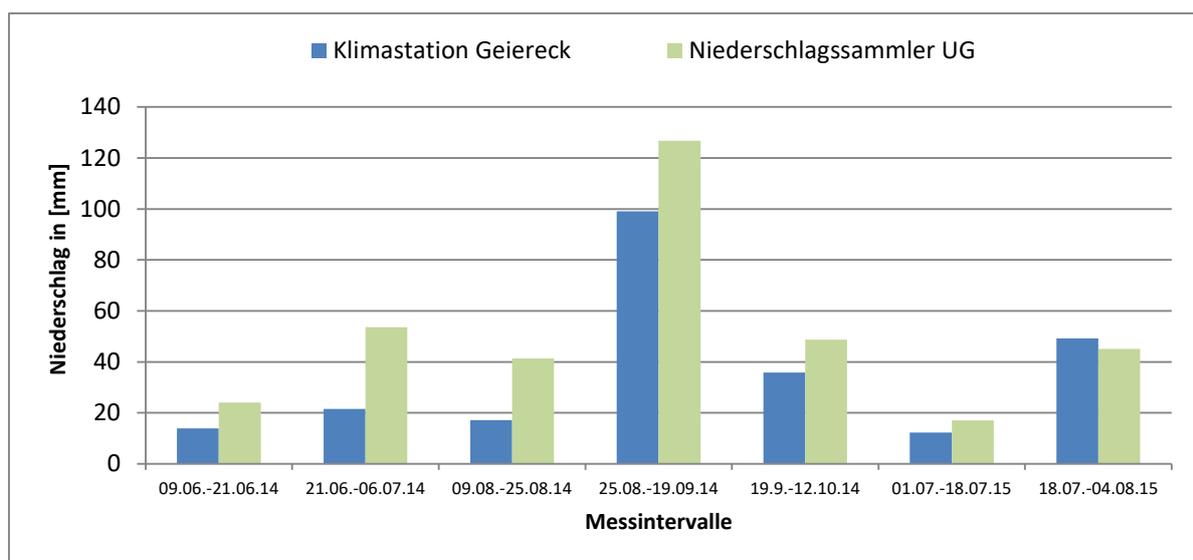


Abbildung 37: Vergleichende Niederschlagsmengen ausgewählter Messintervalle

Die abbremsende Wirkung von Kuppen, Dolinenrändern und -gassen führt zur Reduktion der Windgeschwindigkeit und liefert somit erhöhte Niederschläge im Untersuchungsgebiet im Vergleich zu der im Lee positionierten Klimastation Geiereck. Beobachtungen zur plateaurelevanten Niederschlagsverteilung am Untersberg führt auch HASEKE-KNAPCZYK (1989, S. 64) an. Er verweist auf eine Erhöhung der Plateauniederschläge in Richtung SE mit einem Maximum im Bereich des Berchtesgadener Hochthrons.

Zieht man die gesammelten Niederschläge pro Messintervall an den Messpositionen heran, wird erneut der Einfluss der Mikrotopographie des Karstplateaus auf die Niederschlagsverteilung deutlich. Begünstigte Positionen zeichnen sich durch ihre Leelagen (DSK_B, MD_B, MD_6, L_2) aus. Ihre Positionen greifen das Expositionsspektrum S (Rinnenposition), ENE, NNE und WNW ab. Niederschlagssammler in Luvlage (Exposition SW, RTK_3A) liefern ebenfalls erhöhte Werte (vgl. Abb. 38). Da bei den kombinierten Sediment- und Niederschlagssammlern eine mögliche stattfindende Verdunstung nicht miteinberechnet ist, müssen die Ergebnisse vor diesem Hintergrund kritisch betrachtet werden.

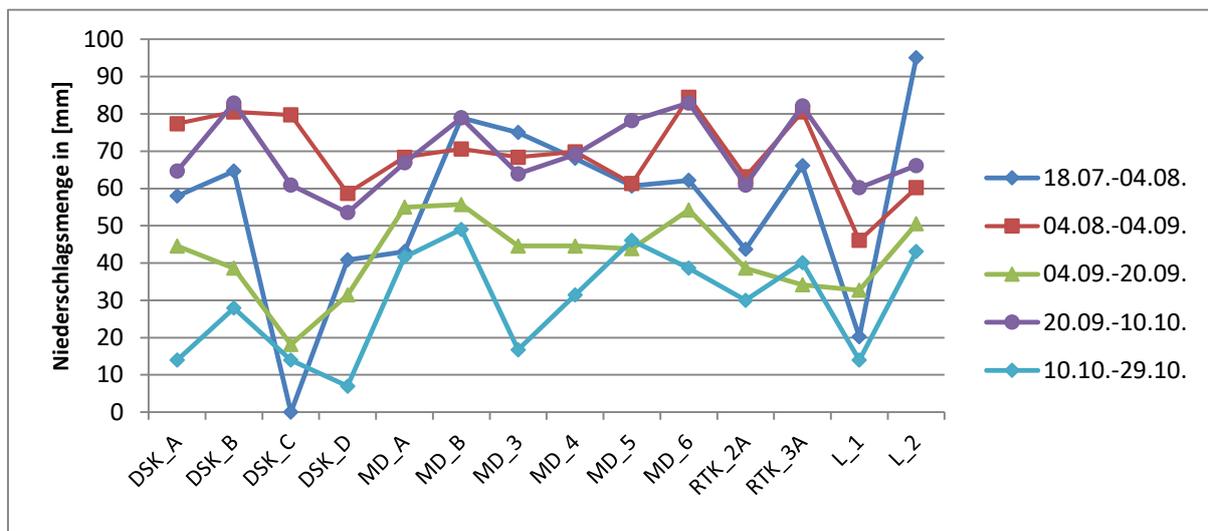


Abbildung 38: Variable Niederschlagsmengen [mm] an Depositionsstandorten, ausgewählte Messintervalle (2015)

Eine lineare Einfachregression zwischen Staubmenge [mg] und Niederschlagsmenge in den Sedimentfängern [mm] zeigt einen positiven Zusammenhang an freien Positionen (DSK_C: Dolinenrand, vegetationsfrei; MD_4: Sattel), annähernd offenen Bereichen (DSK_D: Dolinenrandebene mit Legföhrenbewuchs (*Pinus mugo*); MD_3: Dolinenunterhang in Großdoline) oder Standorten im *Pinus mugo*-Unterwuchs (L_1, L_2). Luv- und Leelagen oder Dolinen-

grundpositionen zeigen keinen oder einen negativen Zusammenhang (vgl. Tab. 27). Die Ergebnisse lassen folgende Interpretation zu: Durch eine erhöhte Niederschlagsmenge wird in den Bergkiefern verfangener äolischer Staub, der hier auch über die trockene Deposition ausgekämmt wurde, ausgewaschen und im Unterwuchs deponiert. Ebene Flächenpositionen profitieren ebenfalls von dem Niederschlagseinfluss, da ihnen die niederschlagsbringenden Winde und die abbremsende Wirkung der Vegetation im Gegensatz zu den Luv-/Leestandorten fehlen. Der Faktor Niederschlagsmenge ist den Einflussfaktoren Exposition und Vegetation an offenen Dolinenhangpositionen somit übergeordnet.

Tabelle 27: Korrelationskoeffizienten r zur Beschreibung des linearen Zusammenhangs zwischen Niederschlagsmenge [mm] und Staubmenge [mg] an Dolinenpositionen

	offene Dolinenposition (Rand, Sattel)				Latschen- standort		Lee-Position (Rinne, NNE, ENE)				Luv		Dolinen- boden	
¹	DSK_C	MD_4	DSK_D	MD_3	L_1	L_2	DSK_B	MD_B	MD_6	RTK_2 A	DSK_A	RTK_3 A	MD_A	MD_5
r=	+0,51	+0,38	+0,11	+0,15	+0,33	+0,57	+0,05	-0,57	-0,59	-0,08	+0,02	+0,08	-0,47	-0,09

¹ n= 14 (DSK_A, DSK_B, DSK_C); n=13 (DSK_D, MD_B, RTK_2A), n= 12 (MD_A), n=11 (MD_6, L_1, L_2), n=10 (MD_3, MD_4), n=9 (MD_5), n=8 (RTK_3A); Anzahl n der Messintervalle aufgrund von unterschiedlichen Dolinenpositionen der Messstandorte different, Reduzierung der Messintervalle z. B. am Dolinengrund durch verzögertes Ausapern

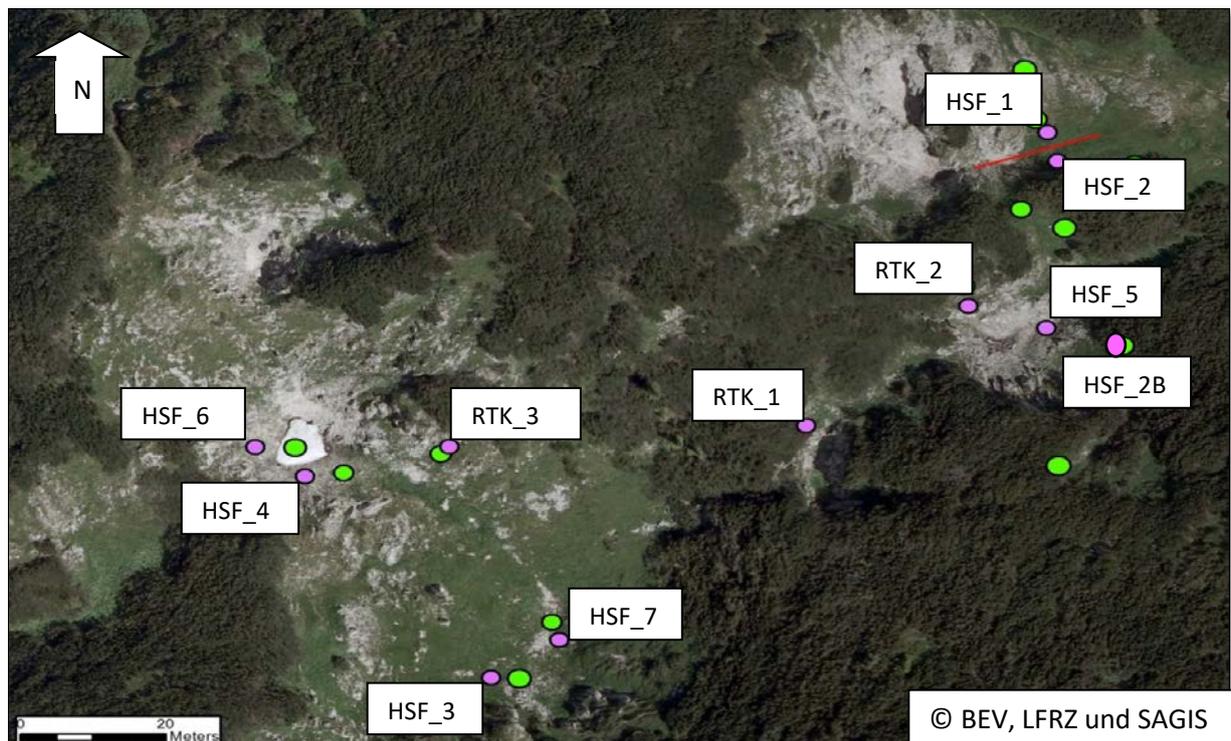
4.3.3 Teilzusammenfassung Einflussfaktoren des Sedimenteintrags

Günstige Standorte für den Sedimenteintrag sind mittlere Dolinenhangbereiche in Exposition SSW bis NNW. Diese breite Streuung über den niederschlagsbringenden Westwindsektor hinaus wird auf die Ablenkung der Westwinde durch das Meso- und Mikrorelief im subalpinen Dolinenkarst zurückgeführt. Die Korrelation zwischen Windrichtung und Staubraterate ist in den Sektoren NW, WNW, W und S am höchsten und spiegelt v. a. für den westlichen Sektor die Kenntnisse zum „wash-out“-Effekt wider. Besonders hohe Einträge liefern Standorte mit Legföhrenbewuchs (*Pinus mugo*). Sie dienen bereits während der trockenen Deposition als ideale Staubbänger, indem sie mit ihren Ästen und Nadeln staubbringende Luftströme auskämmt. Der Staub in diesem Zwischendepot wird bei höheren Niederschlagsmengen ausgespült und in der Bodenaufgabe deponiert. Ebenso profitieren offene Standorte im Dolinenkarst von erhöhten Niederschlägen, da hier der Einflussfaktor Exposition unbedeutend ist. Das Maximum der mittleren Eintragsraten [mg/d] wird im Untersuchungsgebiet bereits im Spätfrühjahr und Frühsommer erreicht. Ursächlich hierfür ist die durch den Schneedeckenabbau hervorgerufene Deflation in den potentiellen Liefergebieten (nähere Umgebung, Zentralalpen). Insgesamt ist eine hohe Variabilität von Niederschlagsmengen und Sediment-

einträgen an benachbarten Messstandorten gegeben, was den Einfluss des Reliefs im subalpinen Dolinenkarst untermauert.

4.4 Sedimentabtrag

Die Ergebnisse zur Quantifizierung des Sedimentabtransports identifizieren Standorte mit reduziertem und erhöhtem Sedimentverlust im Untersuchungsgebiet. Die Lage der Erosionsfänger greift die variationsreichen Positionen innerhalb des Dolinenkarstes heraus und kristallisiert somit potentielle Einflussfaktoren heraus (vgl. Karte 4, Tab. 28).



Karte 4: Lage und Bezeichnung der Erosionsfänger (violette Punkte) in den Dolinen D1 bis D4

Tabelle 28: Lage und Kurzcharakteristik der Erosionsmessstellen im Untersuchungsgebiet Untersberg

Bezeichnung ¹	Doline	Neigung	Exposition	Hangposition ²	Vegetation (Bedeckungsgrad) ³
HSF_1	Doline 1	24°	240°SW	mH (15)	Cs (100%)
HSF_2A	Doline 1	43°	329°NW	oH (1)	Rh (85%)
HSF_2B	Doline 2	38°	300°WNW	mH (20), Rinne	Cs (90%)
HSF_3	Doline 4	32°	10°N	mH, Felsstufe	Cs (90%)
HSF_4	Doline 3	36°	14°N	oH (4)	Ac (70%)
HSF_5	Doline 2	38°	15°N	uH (15)	Ac (35%)
HSF_6	Doline 3	40°	52°NE	mH (18)	Ac (50%)
HSF_7	Doline 4	45°	330°NW	mH (25)	Cs (60%)
RTK_1	zw. D2 und D4	89°	105°E	unstrukturiert (6)	Rh (100%)
RTK_2	Doline 2	78°	139°SE	strukturiert (2,5)	Rh (100%), Moos in Klüften
RTK_3	Doline 4	49°	180°S	stark strukturiert	Cs (50%)

¹HSF_2A: Geländejahr 2014, HSF_2B: Geländejahr 2015

²oH: Oberhang, mH: Mittelhang, uH: Unterhang; Zahl in Klammern bezieht sich auf Hanglänge oberhalb der Messstelle

³ Cs: *Seslerio-Caricetum sempervirentis*, Ac: *Arabidetum caerulea*, Cf: *Carex firmae*, Rh: *Rhododendron hirsuti-Mugetum*; Vegetationsgesellschaft und Bedeckungsgrad bei RTK_1 und 2 bezieht sich auf die oberhalb befindliche Kuppe

4.4.1 Quantifizierung des Sedimentabtrags

Sedimentabtrag gesamt

Die Erosionsraten an den Messstationen liefern besonders am Dolinengrund (HSF_5) und in steilen, felsdurchsetzten Hangbereichen mit aufgelockertem Vegetationsbesatz (49°, RTK_3) deutlich erhöhte Werte. Unter dichtem Bergkiefernbewuchs am Dolinenrand (HSF_2A) und an schachtartigen Felsbereichen (RTK_1) zeigen sich die geringsten Abtragsraten. In mittleren Hangbereichen mit dichtem Mattenbewuchs (HSF_1) und an zerklüfteten Felspartien (RTK_2) werden vergleichbare Erosionsraten [mg/d] registriert. Die mittleren Sedimentabtragsraten an den Standorten HSF_3, 4, 6 und 7 variieren innerhalb der zwei Messjahre erheblich (vgl. Tab. 29). Messpunkt HSF_2B, ein Rinnenstandort in Nordexposition, zeigt hohe Werte trotz dichtem Vegetationsbesatz. Hier liefern kanalisierte Oberflächenwässer und womöglich eine zeitweilige Störung der Bodenaufgabe durch Wildwechsel (*Rupicapra*) Material für den Abtrag. Ein Zusammenhang zwischen Exposition der Messstelle und dazugehöriger Erosionsrate [mg/d] ist nicht gegeben.

Tabelle 29: Mittlere Sedimentabtragsraten [mg/d] an Messstationen im Geländejahr 2014 und 2015

	HSF_1	HSF_2A/B	HSF_3	HSF_4	HSF_5	HSF_6	HSF_7	RTK_1	RTK_2	RTK_3
2014¹	1,97	0,33	2,214	1,408	265,3	12,58	1,214	0,196	2,26	47,4
2015²	1,705	9,881	11,368	14,48	191,603	7,24	4,0832	0,2659	2,11	30,22

¹ HSF_1 (n=8), HSF_2A (n=7), RK_1, 2 (n=6), HSF_4, 5 (n=5), HSF_3, 6, 7, RTK_3 (n=4); max. Messdauer: 22.05.-12.10.14

² HSF_1, 3, 7 (n=6), HSF_2B, 4, 5, 6 (n=5), RTK_1, 2, 3 (n=7); max. Messdauer: 21.06.-29.10.15

Sedimentverlust im Messverlauf

Die Erosionsdaten ausgewählter Positionen im Messverlauf liefern weiterführende Kenntnisse zur Abtragsdynamik. Messpunkt HSF_1 verzeichnet besonders im Messjahr 2014 zu Beginn der Erosionsmessungen seine höchsten Abtragswerte. Dieser Standort ist durch einen dichten Blaugras-Horstseggen Rasen (*Seslerio-Caricetumsempervirentis*) charakterisiert. Nach dem Ausapern der Hangbereiche erholen sich die dichten Horste relativ schnell von den Auswirkungen der Schneelast und verhindern durch ihre Kompaktheit die Erosion von Bodenmaterial. Die Abtragsraten [mg/d] der Standorte HSF_6, RTK_3 und HSF_5 (Werte in Säulen beziehen sich auf die Sekundarachse; Abb. 39, S. 96) zeigen eine hohe Variabilität innerhalb von mehreren aufeinanderfolgenden Messintervallen. Sie stellen Standorte mit aufgelockertem Bewuchs (HSF_5) am Dolinenboden und im unteren Hangbereich (HSF_6) dar. Standort RTK_3 ist felsdurchsetzt. Hier greifen die Schutzmechanismen einer dichten Vegetation kaum und die Standorte neigen zum erhöhten Materialverlust. Das geringfügige

Schwankungsverhalten von Messstandort RTK_2 steht repräsentativ für Standorte in mittleren Hanglagen (HSF_3, 4, 7) und liefern moderate Erosionsraten.

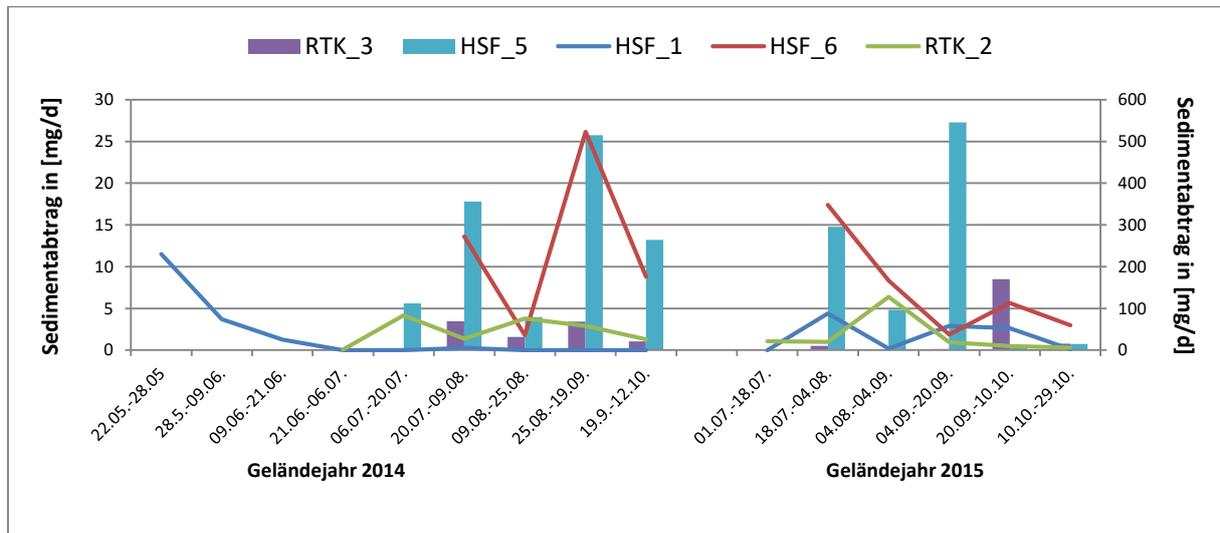


Abbildung 39: Erosionsraten [mg/d] ausgewählter Messstationen im Verlauf

Die standorttypische Höhe des Sedimentabtrags [mg/d] ist auch bei Inbetriebnahme ausgewählter Messstationen nach den Wintermonaten zu erkennen. Während im Dolinenmittellhang (HSF_4: 0,111 mg und HSF_6: 0,1941 mg) vergleichsweise geringe Abtragsraten zwischen Oktober 2014 und Juni 2015 gemessen werden, stellt sich HSF_5 am Dolinengrund mit Maximalwerten von 161 mg erneut als stark erosiver Standort dar. Offenbar bleibt der standorttypische Abtragstrend der Sommermonate in den schneebedeckten Monaten bestehen.

Die qualitative Analyse der abgetragenen Bodenpartikel (Stichproben) liefert bodenstandortabhängige Daten. Im Vergleich mit den C_{tot} -Gehalten der Bodenprobe zeigt sich insgesamt ein leicht erhöhter C_{tot} -Gehalt der zugehörigen Erosionsprobe. An den Standorten HSF_5 und HSF_6 jedoch liegt der gemessene C_{tot} -Gehalt der Erosionsprobe um das 1,6 bis 2-fache über dem Gehalt der Bodenprobe (vgl. Tab. 30). Offenbar wird an diesen Messstandorten zusätzlich org. Material aus Bodenregionen oberhalb der Messstelle entlang des Dolinenhanges abtransportiert. Dies zeigt sich in den Sedimentauffangsystemen als erhöhter C_{tot} -Gehalt der Erosionsprobe.

Tabelle 30: C_{tot} -Gehalt [%] von Erosionsproben und org. Auflagen an ausgewählten Dolinenstandorten

	HSF_1	HSF_2B	HSF_4	HSF_5	HSF_6	HSF_7	RTK_2	RTK_3
Erosionsprobe	18,82	20,32	31,98 ¹	18,89 ²	18,52	34,64	26,27	29,76 ¹
Bodenprobe	n.b.	18,83	25,58	12,3	9,84	21,03	n.b.	26,7

¹ Mittelwert aus n=2 Stichproben, ² Mittelwert aus n=7 Stichproben

Der N-Gehalt [%] der Erosionsproben ist besonders an Standorten mit darüberliegenden Gemenpfaden oder –ruheplätzen erhöht (Mittel: 2,75; n=3). Die übrigen Erosionsmessstellen liefern Werte zwischen 1,4% und 1,74% Stickstoff. Spuren von Schwefel (S: 0,2115%, Mittelwert aus n=2) sind ausschließlich auf Felsbereiche beschränkt (RTK_2, RTK_3).

4.4.2 Einflussfaktoren des Sedimentabtrags

Vegetation

Die Gesamtabtragsraten zeigen bevorzugte Räume der erosiven Verlagerung von Bodenmaterial auf. Diese sind durch einen stark aufgelockerten Vegetationsbesatz charakterisiert (HSF_5, HSF_6, RTK_3). Eine einfache lineare Korrelationsanalyse zwischen den Abtragsraten eines Messintervalls und dem jeweils gefallenem Niederschlag im Untersuchungsgebiet (Methode: Niederschlagssammler nach REISCHER et al. 2015) belegt diese Interpretation. An den vegetationsarmen Standorten korrelieren die Niederschlagsmengen mit den Sedimentraten mit $r=+0,34$ und $+0,70$. Die übrigen Standorte geben mit gering negativen Werten keinen Zusammenhang an. Die schützende Vegetationsdecke steuert hier den Abtrag, unabhängig von den gemessenen Niederschlagsmengen. Die Analyse liefert zudem für den stark zerklüfteten Felsstandort RTK_2 (vgl. *Foto 18* rechts, S. 97) ebenfalls einen positiven Korrelationskoeffizient. Hier werden in Abhängigkeit zur Niederschlagsmenge Partikel aus den Klüften in Richtung Dolinengrund erodiert (vgl. *Tab. 31*). Die geringe Datenbasis der Messstation HSF_2A und HSF_2B ist dem jeweils 1-jährigen Messzeitraum geschuldet. Die Ergebnisse werden daher unter Vorbehalt in die Interpretation miteinbezogen.

Tabelle 31: Korrelationskoeffizient r zur Beschreibung des einfachen linearen Zusammenhangs zwischen Abtragsrate [mg/d] und gefallenem Niederschlag [mm] pro Intervall an den Messstellen

¹	HSF_1	HSF_2A	HSF_2B	HSF_3	HSF_4	HSF_5	HSF_6	HSF_7	RTK_1	RTK_2	RTK_3
r=	-0,22	-0,45	-0,08	-0,09	-0,09	+0,38	+0,70	-0,22	-0,23	+0,27	+0,34

¹ n= 5 (HSF_2B), n=6 (HSF_2A), n= 9 (HSF_4, 5, 6), n=10 (HSF_3, 7, RTK_1, 2, 3), n= 12 (HSF_1)

Die graphische Darstellung in *Abbildung 40*, S. 98 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Vegetationsbedeckungsgrad und Erosionsraten [mg/d]. An steilen Felspartien steuern die kompakten Matten oberhalb der Steilwände den Abtrag. Diese Felsbereiche stellen exemplarisch den Steilwandcharakter einer Schachtdoline dar. Entgegen der Annahme, dass insbesondere die Schächte als Bindeglied zwischen Karstoberfläche und –untergrund bedeutsame Sedimenteintragssysteme darstellen, muss das Erosionspotential der Schachtdolinen in Abhängigkeit ihres dichten Mattenbewuches am Schachtrand als gering

eingestuft werden. Stark strukturierte Felspartien sind jedoch den strukturarmen Steilwänden erosiv überlegen.

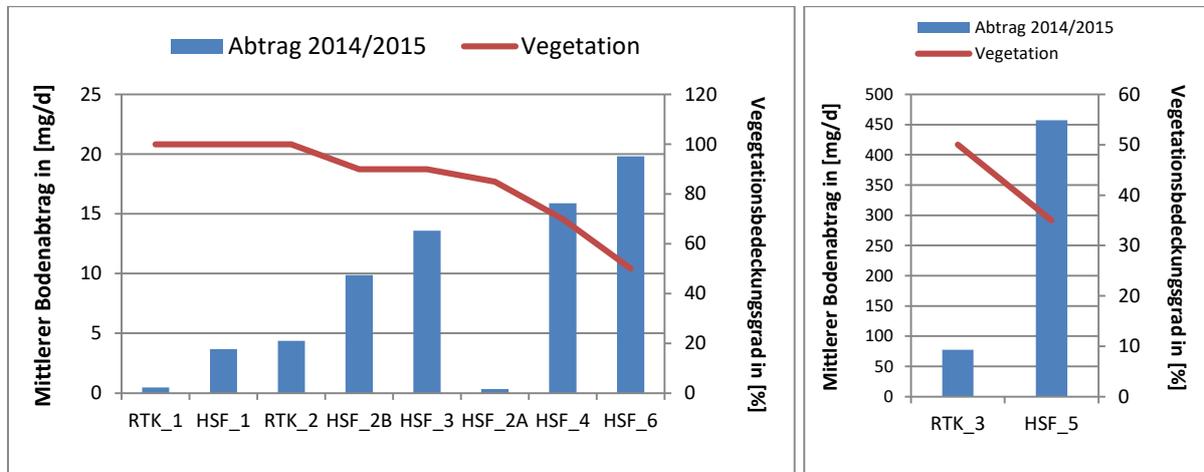


Abbildung 40: Abtragsdynamik in Dolinen in Abhängigkeit zum Vegetationsbedeckungsgrad

Auffallend sind die niedrigen Abtragswerte an *Pinus mugo*-Standort HSF_2A. Hier wird das Erosionspotential offenbar übergeordnet durch das dichte Legföhrengbüsch (*Mugetum*) gesteuert. Niederschläge treffen in abgemilderter Form am Boden auf und erodieren weniger Material als an vergleichbaren Standorten. Die Ergebnisse geben Hinweise auf eine eingeschränkte Sedimenttransportdynamik an latschenbewachsenen Hängen im Vergleich zum alpinen Mattenbewuchs (*Seslerio-Caricetum sempervirentis*, *Firmetum*).



Foto 18: Sedimentfänger HSF_2A (links), RTK_2 (rechts), zentrales Untersuchungsgebiet Untersbergplateau

Hangposition und deren Auskleidung

Die vorangehenden Analysen haben gezeigt, dass die Vegetation maßgeblich den Sedimentabtrag am Dolinenhang steuert. Der Vegetationsbesatz in Dolinen der subalpinen Höhenstufe ist grundlegend von den Faktoren Neigung und Dolinenhangposition abhängig. Während Hänge ab einer Neigung von ca. 40° bereits felsdurchsetzt und somit durch einen aufgelockerten Bewuchs gekennzeichnet sind, werden insbesondere die Dolinenzentren durch lang anhaltende Schneefelder geprägt. Dieser Sonderstandort wird von Schneetälchengesellschaften (Gänsekresseflur, *Arabidetum caerulea*) besiedelt. Zusammen mit einer verstärkten Schmelzwasserdynamik zeigt sich auch an diesem Dolinenstandort ein aufgelockerter Vegetationsbesatz, der den Abtransport von Bodenmaterial begünstigt. Zusätzlich wird die Vegetationsdecke durch Schneeschurfprozesse gestört und Bodenmaterial verlagert (vgl. Foto 19, links).

Im Gegensatz zu steilen Mittelhangbereichen, wo das erodierte Material an darunterliegenden Hangbereichen durch einen Neigungswechsel oder die Veränderung der Hangausrüstung erneut deponiert wird (vgl. Foto 19, rechts), tritt es am Dolinengrund endgültig in den Karstuntergrund ein. Dieser Materialverlust ist durch Humusbeläge zwischen Blockschutt am Boden der Dolinen belegt.



Foto 19: Bodenversatz am Erosionsstandort HSF_5, Doline 2, 13.08 2015 (links), Hangneigungswechsel an Messstelle RTK_3 / RTK_3A (rechts)

4.4.3 Teilzusammenfassung Einflussfaktoren des Sedimentverlusts

Erosionsgefährdete Standorte sind im Dolinentiefsten und an felsdurchsetzten Hangbereichen mit sehr steiler Neigung ab 40° lokalisiert. Annähernd senkrechte Felswände, wie sie an Schachtdolinen auftreten, und sehr dicht bewachsene Hänge liefern die geringsten Erosionsraten [mg/d]. Der Vegetationsbedeckungsgrad am Bodenstandort steuert maßgeblich den erosiven Prozess. Zusätzlich wirken in den unteren Hangbereichen Schneelager denudativ auf die Boden- und Vegetationsdecke. Diese wird wiederum durch die Einflussgrößen Hangneigung und Dolinenhangposition beeinflusst. Aufgrund der vorliegenden Datenlage ist ein verstärkter Abtrag von organischem Material aus dem System Doline angezeigt.

4.5 Bodentypen als Ergebnis der Ein- und Abtragsdynamik

Die kartierten Bodentypen auf dem Untersbergplateau stellen vorwiegend das Ergebnis der dominanten Ein- und Abtragsdynamik im subalpinen Dolinenkarst dar. An den untersuchten Standorten wirken die in Kapitel 4.3 und 4.4 ermittelten Einflussfaktoren auf die Bodenentwicklung in unterschiedlich kombinierter Prozessdynamik. Dominant sind denudative und linear-erosive Abtragsprozesse detektiert, jedoch ist ebenso eine Abtragsdynamik durch äolische Deflationsprozesse quantifiziert.

Diese äolische Dynamik zeigt sich dominant in den erhöhten Werten der organischen Substanz sowie höheren Profilmächtigkeiten. Die Zunahme des Profils drückt sich in unterschiedlichen Horizonten des Solums sowie in den Humusaufgaben aus. Hingegen zeigt sich die erosive Dynamik in einer Reduzierung der Profilmächtigkeit sowie der Abnahme der GV- oder C_{org} -Gehalte [%] der Oberböden oder organischen Auflagen. Mikrotopologische Kennparameter sind auch Deckungsgrad und Typus der Vegetation am Bodenstandort. Darüber hinaus besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen Hangneigung und dem tatsächlichen, sowie potentiellen Materialverlust.

Einfluss des Sedimenteintrages auf das Bodensystem am Untersbergplateau

Die quantifizierten Gunsträume der Deposition weisen Hangexpositionen von S über W bis NNW im Mittelhangbereich bzw. an Dolinenrandpositionen auf und sind durch einen dichten Bewuchs der Legföhre (*Pinus mugo*) charakterisiert. Dieses Expositionsspektrum markiert aufgrund der Hauptwindrichtungen S und W in Kombination mit den Annahmen zur topographisch bedingten Ablenkung der Winde die Luvlagen. Hier wird ein erhöhter Eintrag ge-

messen, der demzufolge auch zu vergleichsweise mächtigeren Oh- oder Ah/Bv-Horizonten führt. Die Bodenprofile an diesen begünstigten Messstandorten sind durch mittlere Gehalte an organischer Substanz (Mittel: 44,974 Gew.-%, n=6) und Mächtigkeiten von 5 cm bis 22 cm charakterisiert. Besonders die Bodentypen unter *Pinus mugo* (L_1, L_2) weisen hohe GV-Werte von > 50 Gew.-% mit Mächtigkeiten zwischen 10 cm und 20 cm auf. Trotz der Dominanz der Luvlagen sind jedoch auch wenige Bodenprofile (MD_B) im Lee der Hauptwindrichtungen mit hohen organischen Gehalten und Mächtigkeiten belegt (vgl. Tab. 32). Als Ursache hierfür kommen sekundäre Verlagerungsdynamiken aus oberen Hangpartien und eine Umkehr der Luv-Lee Situation durch meso- und mikroreliefbedingte Ablenkung substratbringender Winde in Betracht. Allerdings unterliegen die Bodenprofile an Standorten mit hohem Eintragspotential gleichzeitig auch wieder einer verstärkten Abtragsdynamik. Sie wird besonders durch eine Abnahme der Vegetationsbedeckungsgrade hin zum lückenhaften Bewuchs (< 40%) oder einer starken Stufung des Hangabschnittes bedingt, womit die geringen organischen Gehalte an Messstandort DSK_A erklären.

Tabelle 32: Ausgewählte Kenngrößen der Bodentypen an den Messstandorten zum Sedimenteintrag

Bezeichnung	Horizont	Luv-Lee ² / Exposition	org. Substanz (C _{org}) in [%]	Mächtigkeit [cm]
DSK_A	Oh	Luv / SSW	34,2 (16,52)	10
DSK_B	Oh	Lee(Rinne)/ S	42,4 (17,84)	8
DSK_C	Oh/Ah	Luv / SSW	34,7	15 (Oh: 8, Ah: 7)
DSK_D	Ah/Bv	Luv / Ebene	Ah: 12,4 (n.b.);Bv: 7,3 (n.b.)	30 (Oh/Ah: 4, Bv: 26)
L_1	Oh	Kuppe	50,85 (47,23)	20
L_2	Oh	Luv / WNW	60,79 (32,47)	10
MD_3	Oh(xC)	Luv / NW	47,5 (n.b.)	22
MD_4	Oh/Bv	Sattel	Oh: 47,5 (n.b.); Bv: 10,3 (n.b.)	10 (Oh: 3; Bv: 7)
MD_6	Oh/Ah	Lee / NNE	Oh: 37,6 (25,25); Ah: 23,6 (n.b.)	20 (Oh: 11; Ah: 9)
RTK_3A	Oh(xC)	Luv / SSW	54 (26,7)	5
MD_A	Oh	Dolinenboden	46,9 (n.b.)	25
MD_B	Oh	Lee / ENE	53,8 (25,28)	23

¹ grau hinterlegte Zeilen: begünstigte Depositionsstandorte laut Eintragsquantifizierung

² Luv: SSW-, NW- bis NNW-Exposition, Lee: N-, NE-, ENE- und E-Exposition

Betrachtet man die untersuchten Bodenprofile der mittleren Hanglagen und Dolinenränder innerhalb der Testdolinen, dann zeigt sich die Präferenz der Luvlagen zur Deposition nicht mehr eindeutig in den Parametern Mächtigkeit oder GV-Gehalten. Denn auch im Lee der Hauptwindrichtungen liegen an den kartierten Bodentypen GV-Gehalte von mehr als 60 Gew.-% mit durchschnittlichen Mächtigkeiten von 15,2 cm (n=17) vor. Die Dolinenränder zeigen jedoch im Hinblick auf den Anteil an organischer Substanz einen Vorsprung gegenüber den mittleren Hangbereichen (vgl. Tab. 33, S.102). An Positionen mit aufgelockertem Vegetationsbesatz (Vegetationstyp: *Arabidetum caerulea*) oder im Bereich von abflussführenden Rinnen (grau hinterlegte Zeilen in Tab. 33, S. 102) stellen vergleichbar geringe GV-

Gehalte das Ergebnis der erosiven Prägung dar. An windexponierten Sattelpositionen wird kaum deponiert, da substratführende Winde an diesen tiefliegenden Bereichen kaum gebremst werden.

Tabelle 33: Charakteristika ausgewählter Bodenstandorte in den Testdolin D1-D5 in Luv-Lee Positionen

	Doline	Position	Exposition	Vegetation	GV [%] ¹	Mächtigkeit ²	Bemerkung ³
Lee	D1	Rand	N	<i>Rhododendron hirsuti</i>	63,6	9cm	
	D1	Mitte	N	<i>Seslerio Semperviretum</i>	48,4	12cm	
	D1	Boden	E	<i>Arabidetum caerulea</i>	51	18cm	
	D2	Rand	N	<i>Arabidetum caerulea</i>	24,9	15cm	Rinnensituation
	D2	Mitte	N	<i>Arabidetum caerulea</i>	41,3	24cm	
	D2	Rand	E	<i>Seslerio Semperviretum</i>	55,5	20cm	
	D2	Mitte	E	<i>Seslerio Semperviretum</i>	38,4	18cm	
	D3	Mitte	N	<i>Sesler. semp. / Arab. cae.</i>	33,5	25cm	aufgelock. Veget.
	D3	Rand	E	<i>Seslerio Semperviretum</i>	54,6	8cm	
	D3	Mitte	E	<i>Arabidetum caerulea</i>	23,1	23cm	aufgelock. Veget.
	D4	Rand	N	<i>Rhododendron hirsuti</i>	55,4	7cm	
	D4	Mitte	N	<i>Seslerio Semperviretum</i>	37,6	20cm	
	D4	Rand	E	<i>Seslerio Semperviretum</i>	58,5	12cm	
	D4	Mitte	E	<i>Seslerio Semperviretum</i>	22,8	16cm	
	D5	Rand	N	<i>Arabidetum caerulea</i>	76,9	14cm	
	D5	Rand	E	<i>Seslerio Semperviretum</i>	75,2	4cm	
D5	Mitte	E	<i>Seslerio Semperviretum</i>	54,1	14cm		
Luv	D2	Rand	W	<i>Seslerio Semperviretum</i>	46,8	17cm	
	D2	Mitte	W	<i>Seslerio Semperviretum</i>	41,5	18cm	
	D3	Rand	S	<i>Seslerio Semperviretum</i>	56,4	5cm	
	D3	Mitte	S	<i>Seslerio Semperviretum</i>	40,8	13cm	
	D3	Rand	W	<i>Seslerio Semperviretum</i>	10,9	15cm	Sattelsituation
	D4	Rand	S	<i>Rhododendron hirsuti</i>	60,7	15cm	
	D4	Mitte	S	<i>Seslerio Semperviretum</i>	63,3	12cm	
	D4	Rand	W	<i>Seslerio Semperviretum</i>	51	20cm	
	D4	Mitte	W	<i>Seslerio Semperviretum</i>	42,9	10cm	
	D5	Rand	S	<i>Seslerio Semperviretum</i>	56,3	9cm	
	D5	Mitte	S	<i>Seslerio Semperviretum</i>	35,2	25cm	
	D5	Rand	W	<i>Seslerio Semperviretum</i>	45,8	18cm	

¹ bezieht sich auf den Oh, bzw. Ah-Horizont;

² Gesamtprofilmächtigkeit;

³ aufgelock. Veget.: aufgelockerte Vegetation

Tabelle 34: Ausgewählte Kenngrößen an Referenzprofilen in Luv-/Lee-Positionen am Untersbergplateau

	Doline	Position	Exposition	Vegetation	GV [%] ¹	Mächtigkeit ²	Bemerkung ³
LUV	D7	Rand	S	<i>Seslerio Semperviretum</i>	42,7	13cm	Sattel
	D7	Mitte	S	<i>Seslerio Semperviretum</i>	22,1	20cm	„Lee-Situation“
	D9	Rand	W	<i>Seslerio Semperviretum</i>	57,3	30cm	
	D9	Mitte	W	<i>Seslerio Semperviretum</i>	23,1	20cm	
	D16	Rand	NW	<i>Seslerio Semperviretum</i>	80,6	47/18cm	Kuppe
	D19	Rand	NW	<i>Firmetum</i>	63,8	10/10cm	Plateaurand
LEE	D8	Rand	E	<i>Seslerio Semperviretum</i>	30,5	20cm	
	D8	Mitte	E	<i>Seslerio Semperviretum</i>	22,2	12cm	
	D9	Rand	E	<i>Rhododendron hirsuti</i>	76,3	40/25cm	Kuppe
	D9	Mitte	E	<i>Seslerio Semperviretum</i>	26,6	26cm	
	D15	Mitte	E	<i>Seslerio Semperviretum</i>	50,1	45cm	Gipfelhang S.H.

¹ bezieht sich auf den Oh, bzw. Ah-Horizont

² Gesamtprofilmächtigkeit, hervorgehobene Profile: Einteilung Oh/Bv

³ „Lee-Situation“: Bodenprofil wird im Mittelhang durch gegenüberliegende Steilwand des Dolinen-Schachttypus überlagert → reliefbedingte Umkehr der Luvlage in eine Leelage; S.H.: Salzburger Hochthron

Hingegen sind die exponierten Gipfelhänge und frei stehenden Kuppen (Schichtköpfe), unabhängig von der Hangexposition, Gunsträume für die Deposition von bodenbildendem Substrat. Entsprechende Belege liefern die mächtigen Oh-Auflagen und Bv-Horizonte (vgl. Tab. 34, S.102, grau hinterlegt mit Erläuterung).

Einfluss des Sedimentaustrages auf die Bodendynamik am Untersbergplateau

Die Erosionsquantifizierung belegt besonders an Dolinenböden (HSF_5) und stark geneigten, felsdurchsetzten Hangpartien (RTK_3) einen verstärkten Boden- und Sedimentverlust. Ebenfalls erosionsgefährdet sind Standorte mit aufgelockertem Vegetationsbesatz in unteren Hanglagen (HSF_6) und in Rinnenposition (HSF_2B). Hier liegen Rendzinen mit hohen Gehalten an organischer Substanz (Mittel: 24,78 Gew.-%) und Mächtigkeiten zwischen 23 cm und 28 cm vor (vgl. Tab. 35, grau hinterlegt). Das im Dolinentiefsten akkumulierte Residualmaterial aus der Carbonatverwitterung, aber auch hangparallel verlagertes Flugstaub aus den umliegenden Hangbereichen, wird durch eine konstante Durchspülung der Profile in den Dolinenzentren (Schneeschnelze, hydrologisches Zentrum) in den Untergrund verlagert. Potentielle Bv-, Bv-T und T-Horizonte werden zu Ah-Bv-Horizonten degradiert.

Tabelle 35: Ausgewählte Kenngrößen der Bodentypen an den Bodenerosionsmessstellen

Bezeichnung	Bodentyp ¹	Position	Horizontfolge	Mächtigkeit ²	GV [%] ³	Bodenfarbe ⁴
HSF_1	Humusbraunerde	Mitte	L/Ah/Ah-Bv/Cv	18 (6/12)	23	10YR 5/2
HSF_2A	Rendzina	Rand	L/Ah/Cv	16	29,7	
HSF_2B	Rendzina	Mitte	Ah/Ah(xC)/Cv	28 (14/14)	25,05	
HSF_3	Braunerde-Rend.	Mitte	Of/Ah/Ah-Bv/Bv/Cv	15 (3/7/5)	29,7	10YR 3/2, 10YR 5/4
HSF_4	Skeletthumusboden	Mitte	Oh/Ah(Bv)/Cv	25 (10/15)	33,5	10YR 3/2
HSF_5	Rendzina	Boden	Ah/Ah-Bv/Cv	22 (7/15)	26,2	10YR 3/2
HSF_6	Rendzina	Mitte	Ah/Ah-Bv/Cv	23 (5/18)	23,1	10YR 4/1
HSF_7	Pechrendzina	Mitte	Ah/Ah(Bv)/Cv	18 (7/15)	47,6	10YR 3/1
RTK_1	mullart. Rendzina	Schacht	-	-	-	
RTK_2	mullart. Rendzina	Schacht	-	-	-	
RTK_3	alpine Protorendzina	Mitte	OhCv/Cv	5	54	

¹ Bodentypen der Schachtprobestellen RTK_1, RTK_2 von vergleichbaren Referenzproben an Schachtdolinen D10 und D11 übernommen

² Zahlen in Klammern beziehen sich auf Auflagen (Oh) oder Oberbodenhorizonte (Ah) (1. Zahl) und Mischhorizonte z.B. Ah-Bv und Unterbodenhorizonte Bv (2. Zahl)

³ bezieht sich auf den Oh oder Ah als oberste Auflage bzw. Horizont des Profils

⁴ Bodenfarbe des Ah-Bv-Horizontes (trocken), bei HSF_3 Ah-Bv (1. Bezeichnung), Bv (2. Bezeichnung)

Mehrschichtprofile im Mittelhang (Ah/Ah-Bv/Bv: Braunerde-Rendzina an HSF_3) sind als Ergebnis der quantifizierten Abtragsraten zu werten, die durchschnittlich an mikrotopologischen Hangstufen oder konkaven Hangbereichen und Standorten mit einem hohen Vegetationsbedeckungsgrad gering ausfallen. Dadurch ist auch die Ausbildung von Bv-Horizonten aus der Verwitterung von silikatischem Flugstaubmaterial gegeben. Das breite Formenspektrum der Rendzinen am regelmäßig geböschten Mittelhang ist das Ergebnis aus dem stand-

ortabhängigen Einfluss von äolischem Eintrag und Sedimentverlust. Dabei stellen z. B. Bodenfarbe und Feinsubstanzanteil eines zwischengeschalteten Ah-Bv Horizonts, oder aber Mächtigkeit und Gehalt an organischer Substanz, das Ergebnis von Sedimenteintrag oder Abtrag dar. Diese feinen Nuancen der ausgewählten Kenngrößen (vgl. *Tab. 35*, S. 102) spiegeln die wechselnden Bodenbildungsmechanismen im Dolinenmittelhang wider. Mächtige Bodenprofile und organische Auflagen können zudem auch als Ergebnis eines hangparallelen Abtrags aus darüberliegenden Hangpartien und gleichzeitig verzögertem Abtrag am Bodenstandort in Kombination mit äolischem Eintrag gewertet werden (z. B. HSF_7).

Diesen Materialgewinn und –erhalt im Dolinenmittelhang belegen auch erhöhte Mächtigkeiten an den Referenzprofilen der Testdolinen in Kombination mit Mehrschichtprofilen oder einer Verlehmungstendenz des Ah (D8_W_Mitte, vgl. *Tab. 36*). Die Ergebnisse zur Bodentypenverteilung (Kapitel 4.1) zeigen jedoch, dass diese Profile eine Ausnahme darstellen, da am Mittelhang sonst Rendzinen dominieren. Die Dolinenzentren als topographisch bedingtes Akkumulationszentrum profitieren generell vom Abtrag der umliegenden Hänge am stärksten, was sich in den Profilmächtigkeiten und der Ausbildung von Bv-Horizonten und ihren Variationen (Bv-Ah, Ah+Bv) zeigt. Sie geben jedoch auch im Verhältnis zu anderen Dolinenhangstandorten durch ihre aufgelockerte Vegetationsdecke verstärkt organisches Material an den Karstuntergrund ab. Die Folge sind deutlich reduzierte Gehalte an organischer Substanz. Geringer Vegetationsbesatz fördert aber auch an den Dolinenrändern die Erosion der organischen Auflagen, die dort typischerweise die Skeletthumusböden (L/Of/Oh) charakterisieren. In Leelagen fehlen die Auflagen gänzlich (D8_W_Rand). Stellenweise werden sie auch zu geringmächtigen Protorendzinen degradiert (vgl. *Tab. 36*, grau hinterlegt).

Tabelle 36: Ausgewählte Kenngrößen an Bodenprofilen der Rand-, Mittelhang-, und Dolinenbodenpositionen

Bezeichnung	Bodentyp	Horizontfolge	GV [%] ¹	Mächtigkeit ²	Bodenfarbe ³	Bemerkung ⁴
D3_S_Rand	Rendzina	Ah/Cv/Cn	35,1	17cm	10YR 3/1	70% Veg.grad
D3_N_Rand	alp. Protorend.	Oh/Cv	56,4	5cm	10YR 2/1	70% Veg.grad
D4_N_Rand	Moderrendzina	L/Oh	60,7	15cm	10YR 3/1	<i>Rhodo. hirsu.</i>
D8_W_Rand	Rendzina	Ah/Cv	30,5	20cm	10YR 2/1	Leelage
D9_E_Rand	Moderrendzina	Oh/Cv	57,3	30cm	10YR 3/1	
D2_W_Mitte	Braunerde-R.	Oh(Ah)/Bv/Cv	38,4 / 8,7	8/10cm	10YR 3/1	
D4_S_Mitte	Rendzina	Oh/Ah-Bv(xC)	37,6 / 23,6	11/9cm	10YR 3/1	
D7_N_Mitte	Rendzina	Ah/Ah+Bv/Cv	22,1/21,5	10/10cm	10YR 2/1	
D8_W_Mitte	Rendzina	Ah/Cv	22,2	12cm	10YR 3/2	SI3
D1_S_Boden	Rendzina	Oh/Ah+Bv/Cv	39/31	8/2cm	10YR 2/1	Su3
D1_W_Boden	Pechrendzina	Oh+Ah(Bv)	51	18cm	10YR 2/1	
D2_S_Boden	Braunerde-R.	Ah/Bv-Ah/Cv	24/10,1	4/14cm	10YR 3/1	
D3_S_Boden	Rendzina	Ah/Ah(xC)	22,6	3/15cm	10YR 3/1	
D6_S_Boden	Rendzina	Ah/Ah(xC)/Cn	24/23,1	15/10	10YR 3/1	

¹ in Gew.-%

² bei Mehrschichtprofilen 1. Zahl: Oh(Ah), Oh, Ah; 2. Zahl: Bv, Ah-Bv, Ah+Bv, Bv-Ah, Ah(xC)

³der org. Auflagen oder Oberbodenhorizonte

⁴Veg.grad: Vegetationsbedeckungsgrad, Rhodo.hirsu: *Rhododendron hirsuti*; S13: mittel lehmiger Sand, Su3: mittel schluffiger Sand (Bodenart)

Einflussfaktoren der Bodenbildungsdynamik

Die Erkenntnisse der Bodentypenbewertung belegen klare Abhängigkeiten der Einflussfaktoren in ihrer Interaktion auf die Bodenbildungsdynamik im subalpinen Dolinenkarst (vgl. Abb. 41). Entscheidend für den Sedimenteintrag sind Vegetationstyp und Exposition am Standort, sowie Luv- und Leelagen. Der Vegetationstypus ist übergeordnet von der Dolinenhangposition abhängig. Von den Dolinenmittelhängen bis zum Dolinenzentrum verhindern Schneedeckendauer und eine fehlende Bodendecke die Ansiedlung der Legföhre (*Pinus mugo*). Die bevorzugten Depositionsräume liegen somit an den Dolinenrändern und oberen Hangabschnitten von großräumigen Dolinen (Durchmesser > 90 m). Substratführende Winde werden durch das Meso- und Mikrorelief im Dolinenkarst mit ihrem Wechsel aus Kuppen, steilwandigen Schachtstrukturen und der übergeordneten tektonischen Plateaustellung abgelenkt. Damit wird das regelhafte Depositionsmuster gemäß der Luv-/Leelagen der Hauptwindrichtungen aufgelöst.

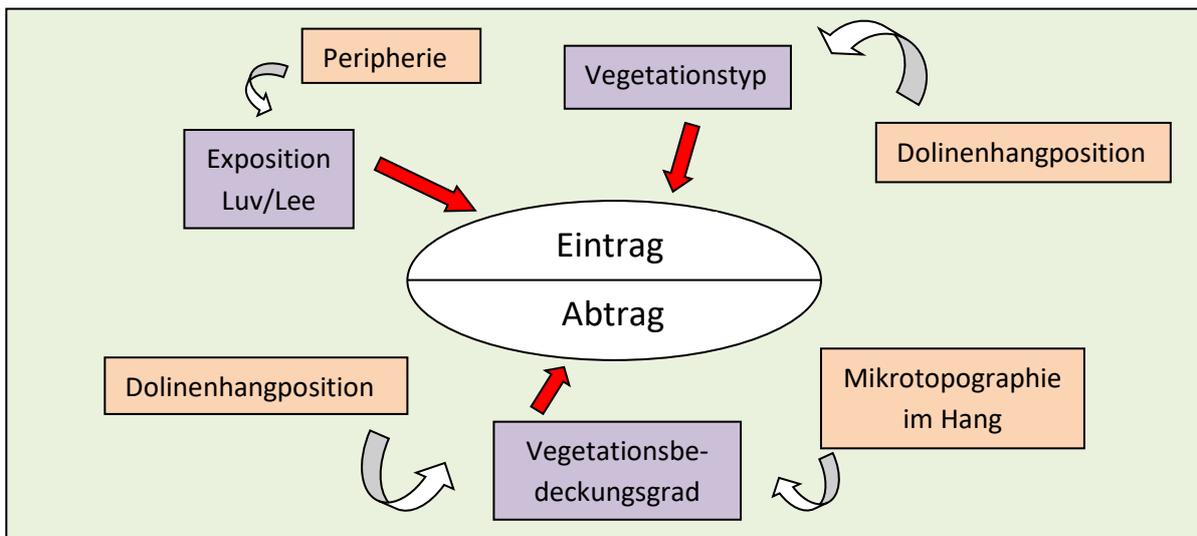


Abbildung 41: Einflussfaktoren und übergeordnete Abhängigkeiten der Ein- und Abtragsdynamik im subalpinen Dolinenkarst

Die Abtragsdynamik wird maßgeblich vom Vegetationsbedeckungsgrad gesteuert. Dieser ist besonders im Dolinentiefsten aufgrund der lang anhaltenden Schneedecke in Kombination mit einer verstärkten Schmelzwasserdynamik und Schneescurfprozessen gering. Aber auch mikrotopographische Hangstrukturen fördern bzw. verhindern den Abtrag von bodenbildendem Material in Richtung Dolinenzentren. Felsdurchsetzte Hangpartien und Steilstufen be-

dingen, auch durch kleinräumigen Hangversatz und Bodenfließen (vgl. Foto 20, S. 106), eine Auflockerung der Vegetationsdecke und eröffnen somit ein Bodenerosionspotential.



Foto 20: Südwestexponierter Hangabschnitt Doline 4 mit solifluidal-gravitativem Bodenversatz (Aufnahme: Juni 2015)

4.6 Einflussgröße Bodenvegetation

Innerhalb der Test- und Referenzdولين stellt das Alpenrosen-Latschengebüsch (*Rhododendron hirsuti-Mugetum*) im Wechsel mit alpinen Rasengesellschaften das typische Vegetationskleid der oberen subalpinen Höhenstufe (SCHMIDTLEIN 2000) dar. Für die Eintrags- und Abtragsdynamik von äolischen Stäuben und Bodenmaterial im subalpinen Dolinenkarst ist besonders der Vegetationstyp, dessen Zusammensetzung und der Bedeckungsgrad am Bodenstandort entscheidend.

Vegetationstypen und ihre Verbreitung

Das landschaftsprägende Alpenrosen-Latschengebüsch (*Rhododendron hirsuti-Mugetum*) wird dominierend von der Legföhre (*Pinus mugo*) aufgebaut. Die Krautschicht setzt sich aus Zwergsträuchern (*Rhododendron hirsuti*, *Erica herbacea*, *Vaccinium myrtillus*, *Vitis idaea*) und weiteren basiphilen Arten zusammen, die zu den alpinen Kalkrasen (*Seslerio-Caricetum sem-*

pervirentis, *Caricetum firmae*) überleiten. Vereinzelt kommen Kalkschutt- oder rohhumusanzeigende Arten (z. B. *Homogyne alpina*) vor. Moose und Farne kennzeichnen schattseitige Positionen im Unterwuchs. Die Ausbreitung dieser wärmeliebenden Vegetationsgesellschaft, die trockene Standorte bevorzugt, ist auf die Dolinenränder beschränkt. Südexponierte Hänge besiedelt sie bis in mittlere Lagen. In Rinnen und an Felsschuttbereichen fehlt das *Mugetum* hingegen auch in den oberen Hangbereichen.

Die alpinen Rasengesellschaften werden durch den Blaugras-Horstseggenrasen (Kurzform: *Seslerio Semperviretum*, *Seslerio-Caricetum sempervirentis*) und den Polsterseggenrasen (Kurzform: *Firmetum*, *Caricetum firmae*) vertreten. Das *Seslerio-Caricetum sempervirentis* tritt im Übergang zum *Mugetum* an den Dolinenrändern bis in mittlere und untere Hanglagen und an ebenen Flächenresten auf. Die abgestorbenen Horstgräser liefern leicht abbaubare Streu und führen somit zur Ausbildung des humusreichen Ah-Horizonts der Rendzinen, welche bevorzugt die Mittelhänge besetzen. Im Untersuchungsgebiet sind zwei Assoziationen des Blaugras-Horstseggenrasens vertreten. Die wärmeliebende Assoziation mit der Artengruppe *Carlina acaulis* und die weniger begünstigte Assoziation mit der Artengruppe *Ranunculus alpestris* sind durch typische Kennarten und Begleiter gekennzeichnet. Einzelne Arten belegen die bevorzugte Standortwahl durch ausgewählte Zeigerwerte (vgl. Tab. 37).

Tabelle 37: Artenzusammensetzung der Blaugras-Horstseggen-Variationen am Untersbergplateau

Variation ¹	Artengruppe mit <i>Carlina acaulis</i>	Artengruppe mit <i>Ranunculus alpestris</i>
Kennart	<i>Carex sempervirens</i> , <i>Sesleria caerulea</i>	<i>Carex sempervirens</i> , <i>Sesleria caerulea</i> , <i>Helianthemum alpestre</i>
Begleiter	<i>Carduus defloratus</i> , <i>Scabiosa lucida</i> , <i>Daphne striata</i> , <i>Helianthemum alpestro</i> , <i>Pedicularis verticillata</i> , <i>Dryas octopetala</i> , <i>Phyteuma orbiculare</i> , <i>Helictotrichon parlatoarei</i> , <i>Gentiana verna</i> , <i>Gentiana alpina</i> , <i>Biscutella laevigata</i> , <i>Senecio doronium</i> , <i>Hieracium villosum</i> , <i>Carlina acaulis</i> ² , <i>Globularia nudicaulis</i> , <i>Gentianella germanica</i> , <i>Gentiana lutea</i> , <i>Achillea clavaerna</i> , <i>Silene latifolia</i> , <i>Euphrasia officinalis</i> , <i>Crepis aurea</i> , <i>Aster alpinus</i> , <i>Phleum alpinum</i> , <i>Alchemilla alpina</i> , <i>Festuca pumila</i>	<i>Carduus defloratus</i> , <i>Ombrychis montana</i> , <i>Galium anisophyllum</i> , <i>Ranunculus alpestris</i> , <i>Soldanella alpina</i> , <i>Acinos alpinus</i> , <i>Asplenium trichomanes</i> , <i>Asplenium viride</i> ³ , <i>Cystopteris alpina</i> , <i>Diphasiastrum alpinum</i> , <i>Homogyne discolor</i> , <i>Centaurea montana</i> , <i>Myosotis alpestris</i> , <i>Polygonum viviparum</i> , <i>Viola biflora</i> , <i>Anthyllis vulneraria</i> , <i>Alchemilla vulgaris</i> , <i>Cyanus montanus</i> , <i>Alchemilla alpina</i> , <i>Polystichum lonchitis</i> verzahnt mit: <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Rhododendron hirsutum</i> , <i>Diphasiastrum alpinum</i>

¹ nach GRABNER et al. 1997

² Lichtzahl 9 (Volllichtpflanze) nach ELLENBERG et al. 1992

³ Lichtzahl 4 (Schatten-bis Halbschattenpflanze) nach ELLENBERG et al. 1992

Das *Firmetum* besetzt windexponierte Sattellagen und Hangrücken und ist im Untersuchungsgebiet eng mit dem *Seslerio-Caricetum sempervirentis* verzahnt. Typische Begleiter

sind das Stängellose Leinkraut, die Weiße Silberwurz und die Alpenaurikel (*Silene acaulis*, *Dryas octopetala*, *Primula auricula*). In den Testdolinien tritt es im Vergleich mit dem Blaugras-Horstseggenrasen eher untergeordnet auf und ist hier nur am Sattel zwischen Doline 3 und Doline 4, am Rand der Schachtdolinien D10 und D11, sowie am Bodenstandort D19 vertreten.

Schmale Senken und Muldendolinien sind bevorzugte Standorte der subalpinen Hochstaudenflur (*Adenostylon alliariae*). Inselartig tritt diese Vegetationsgesellschaft mit Alpendost und Wald-Storchschnabel (*Adenostyles alliaria*, *Geranium sylvaticum*) als Charakterart am Grund des meist abflussgehemmten Dolinentypus auf. Während an den Dolinenrändern der Blaugras-Horstseggenrasen vorherrscht, dominiert die Hochstaudenflur mit ihren Begleitern (*Rumex scutatus*, *Hypericum perforatum*, *Chaerophyllum villarsii*, *Oxalis acetosella*, *Myrrhis odorata*, *Saxifragia rotundifolia*, *Viola biflora*, *Aconitum napellus*) den Dolinengrund. Für das Bergwild (*Rupicapra*) stellen sie bevorzugte Standorte zum Äsen dar und werden bis zum Herbst, mit Ausnahme des Blauen Eisenhutes (*Aconitum napellus*), abgeweidet.

Am Grund der übrigen Dolinentypen herrscht vorwiegend der Kalksteinschneeboden (*Arabidetum caeruleae*) vor (vgl. Tab. 38, S. 109). An diesem Sonderstandort mit einer durchschnittlichen Schneedeckendauer von 7 bis 8 Monaten ist die lückige Vegetationsgesellschaft stark mit Moosen versetzt. Als besondere Charakterart der Assoziation ist die Blaue Gänsekresse (*Arabis caerulea*) im gesamten Untersuchungsgebiet unterrepräsentiert (vgl. Foto 21). Die Vegetationsgesellschaften treten in zahlreichen Übergangsformen auf.



Foto 21: *Arbidetum caerulea* an Doline 1 (Bodenprofil D1_S_Boden), Charakterart gekennzeichnet (Pfeil)

Tabelle 38: Vegetationszusammensetzung des Kalksteinschneebodenrasens (*Arbidetum caerulea*)

Charakterart	Begleiter
<i>Arabis caerulea</i> , <i>Saxifraga androsacea</i>	<i>Ranunculus alpestris</i> , <i>Achillea atrata</i> , <i>Homogyne discolor</i> , <i>Polygonum vivparum</i> , <i>Saxifraga rotundifolia</i> , <i>Aconitum napellus</i> , <i>Veronica alpina</i> , <i>Hutchinsia alpina</i> , <i>Potentilla dubia</i> , <i>Arabis alpina</i>

Vegetationstypische Standortbedingungen und ihr Einfluss auf den Bodentyp

Die Ausbildung der jeweiligen Assoziation einer Vegetationsgesellschaft ist das Ergebnis der unterschiedlichen Standortbedingungen in den Dolinen. Diese werden durch die typische Artenzusammensetzung und ihre Ausprägung (z. B. Vermoosung, Deckungsgrad, Wuchsform und Beschaffenheit der einzelnen Arten) angezeigt. Durchspülvorgänge durch erhöhte Schmelzwassermengen und eine lange Schneebedeckung, aber auch Felsschutteintrag aus steilen Hangbereichen wirken sowohl auf den Vegetationsbesatz als auch auf die Ausprägung des Bodentyps (z. B. Pechrendzina, Skelettrendzina) ein. Die Standortfaktoren Sonnseite und Exponiertheit hingegen führen zu einer verstärkten Auswehung, welche an einem feuchten Bodenstandort in Schattseite verhindert wird (vgl. Tab. 39).

Tabelle 39: Standortfaktoren und ihre Folgen auf Vegetation und Bodentyp

Standortfaktor	Dynamik	potentielle Folge		Prozessergebnis
		Vegetation ¹	Bodentyp	
Schattseite	Feuchte	Cs (<i>Ranunculus a.</i>)	Pechrendzina	Bodenfeuchte
Dolinengrund	lange Schneebedeckung Schmelzwassertätigkeit	Ac, Moos	Ah+Bv-Horizont	Durchspülung
Sonnseite	Trockenheit	Cs (<i>Ranunculus a.</i>)	alp. Protorendzina	Auswehung
Exponiertheit	Windtätigkeit	<i>Firmetum</i>	geringmächtiger Ah	Auswehung

1: Cs: *Seslerio-Caricetum sempervirentis*; *Ranunculus a.*: *Ranunculus alpestris* (Ausprägung); Ac: *Arbidetum caerulea*

Der Einfluss der Standortfaktoren auf Vegetation und Bodentyp lassen sich am Beispiel einer nordexponierten Hangcatena nachvollziehen und können auf beliebige Bodenprofile im subalpinen Dolinenkarst übertragen werden. Am nordexponierten Bodenstandort D1_S_Rand wird die weniger begünstigte Ausprägung des *Seslerio-Caricetum sempervirentis* mit der Artengruppe *Ranunculus alpestris* ausgebildet. Der zugleich feuchte Standort am Dolinenrand im erosionsgeschützten Kontaktbereich zum *Mugetum* führt zu reduzierten Abtragsbedingungen des organischen Materials und gleichzeitig zur Ausbildung einer feinerdereichen, im feuchten Zustand stark schmierigen Pechrendzina. Im Mittelhang ist die schützende Vegetationsdecke des Blaugras-Horstseggenrasens mit dem aufgelockerten Gänsekresse-Schneeboden verzahnt. Ursächlich hierfür ist eine Verlängerung der mittleren Schneede-

ckendauer aufgrund der Dolinenschachtsituation. Bodenmaterial kann verstärkt erodiert werden und führt aufgrund des Materialverlustes zu einer skelettreichen Ah(xC)-Horizontierung der humus- und feinerdereichen Pechrendzina. Im Unterhang wird das *Seslerio-Caricetum sempervirentis* endgültig von dem stark moosdurchsetzten Kalk-Schneeboden abgelöst und zeigt innerhalb des Profils durch verbrauchte Nester unter schützendem Skelett (Ah+Bv) die hohe Durchspülungsaktivität im hydrologischen Zentrum der Doline an (vgl. Tab. 40).

Tabelle 40: Auswirkungen von Standortfaktoren auf Vegetation und Bodentyp im Dolinenhang

Bodenprofil	Standortbedingung	Assoziation ¹	Bodentyp	Auswirkung
D1_S_Rand	N-exponiert, feucht	Cs (R. a.)	Pechrendzina	schmierig, stark humos
D1_S_Mitte	N-exponiert, feucht	Cs (R.a.) + Ac	Pechrendzina	schmierig, skeletthaltig
D1_S_Boden	hydrologisches Zentrum	Ac + Moos	Rendzina (Ah+Bv)	Durchspülung

1: Cs: *Seslerio Caricetum sempervirentis*; R. a.: *Ranunculus alpestris* (Ausprägung); Ac: *Arabidetum caerulea*

Während der Kalkstein-Schneeboden ausschließlich den Dolinenboden besetzt und innerhalb seiner Ausbildung weniger das Artenspektrum als der Vermoosungsgrad variiert, zeigt sich der Blaugras-Horstseggenrasen in zwei standorttypischen Ausprägungen. Allerdings ist eine Ableitung von der Exposition auf die vorherrschende Ausprägung des *Seslerio Semperviretum* mit der Artengruppe *Ranunculus alpestris* oder *Carlina acaulis* nicht immer gegeben. Die wärmebegünstigte Artengruppe mit der Silberdistel (*Carlina acaulis*) besetzt zwar bevorzugt die ost-, süd- und westexponierten Standorte, jedoch wird auch die weniger begünstigte Artengruppe mit dem Alpen-Hahnenfuß in diesen Expositionen kartiert (vgl. Tab. 41). Aufgrund der unruhigen Reliefsituation im Dolinenkarst sind nord- oder südseitig exponierte Standorte somit nicht gleichzeitig weniger begünstigte oder wärmebegünstigte Standorte. Die Expositionsgunst hängt auch von der Peripherie (z. B. Schichtflächen, Kuppen, Steilwände) ab. Somit hebt das Mikro- und Mesorelief im Dolinenkarst nicht nur den Luv- und Leeaspekt der vorherrschenden Winde aus, sondern beeinflusst übergeordnet durch die Peripherie am Standort auch Sonn- und Schattseiten und die davon abhängigen Faktoren Wärme und Feuchte.

Tabelle 41: Auftreten der *Seslerio-Caricetum sempervirentis*-Ausprägungen am Bodenstandort in Abhängigkeit zur Exposition

Hangposition Exposition	Rand				Mitte			
	Nord	Ost	Süd	West	Nord	Ost	Süd	West
<i>Carlina acaulis</i>	1	4	4	4	0	4	4	2
<i>Ranunculus alpestris</i>	2	2	2	3	2	2	1	1

An Bodenstandorten mit sehr stark saurem pH-Wert von 3,7 bis 3,85 ist der Blaugras-Horstseggenrasen mit der Artengruppe *Carlina acaulis* zusätzlich durch eine artenarme Ausprägung gekennzeichnet. Diese inselhaften Standorte sind ausschließlich an ebene, stark exponierte Flächenreste gebunden. Verstärkte Abflussdynamik und Schuttcharakter in mikrotopologischen Rinnen werden durch einzelne Vertreter der Felsband- und Felsspalt-Gesellschaften (Klasse: *Thlaspietea rotundifolii*) angezeigt (*Campanula cochleariifolia*, *Primula auricula*, *Sedum alpestre*).

4.7 Analyse der Höhlensedimente

Die Ergebnisse der Bodentypenanalyse in Kombination mit punktuellen Erosionsmessungen und Vegetationskartierungen zeigen im System Doline gezielt Standorte mit einer ausgeprägten Abtragsdynamik an. Gleichzeitig geben ausgewählte Kenngrößen von Bodenprofilen (z. B. Korngröße, C_{org} -Gehalt) qualitative Hinweise auf die mögliche Sedimentbeschaffenheit des abgetragenen Materials. Die allochthone Eintragsdimension soll anhand von Sedimentanalysen im Untergrund nachvollzogen werden.

4.7.1 Charakterisierung der Höhlensedimente

Die kartierten Höhlensedimente werden in den untersten Horizontalstockwerken der Riesendinghöhle zwischen 850 m bis 1020 m ü. NN und in der Kolowrat-Salzbürger Schachthöhle im Bereich des Karstwasserspiegels in ca. 680 m ü. NN entnommen. Im Riesending stammen die Sedimente zum größten Teil aus trockenen Gangsystemen oder aus höhlenbachnahen Bereichen, während die Sedimente im Kolowratsystem direkt aus dem Schwankungsbereich des Karstwasserspiegels stammen. Beide Lokationen stellen somit die Regionen des Karbonatkomplexes dar, in denen autochthone und allochthone Höhlensedimente vor dem potentiellen Austrag über die Fürstenbrunner Quelle deponiert wurden.

Chemische, elementanalytische und physikalische Kennwerte an Mischproben

Die Höhlensedimente (Mischproben) zeigen durchschnittliche Karbonatgehalte von 36,25%. Deren Schwankungsbereich liegt zwischen sehr geringen $CaCO_3$ -Gehalten von 0,46% und Maximalwerten mit 77,16%. Demgegenüber liegen die pH-Werte im neutralen und sehr schwach alkalischen Bereich.

Der Anteil an organischer Substanz hat einen Schwankungsbereich mit geringen Werten, welche sich auch im Kohlenstoffgehalt widerspiegeln (vgl. Tab. 42, S. 112).

Tabelle 42: Chemische Kennwerte der kartierten Höhlensedimente (Mischproben) am Untersberg

¹	CaCO ₃ [%]	pH-Wert	org. Substanz [Gew.-%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]
Min	0,46	6,76	0,6	4,35	0,03
Max	77,16	7,81	8,6	5,21	0,2
Mittel	36,25	7,43	3,02	3,66	0,07

¹ CaCO₃ (n=13), pH-Wert (n=12), org. Substanz (n=10), C_{tot} und N_{tot} (n=5)

Die Korngrößenverteilung zeigt im Gesamtbild eine starke Dominanz der Schlufffraktion (63 bis 2 µm; Mittelwert: 72,6%, n=15). Die Grob- und Mittelschlufffraktion ist dabei anteilig stark überrepräsentiert (Mittelwerte: gU: 38,3%; mU: 25,6%), während der Feinschluff bei einem Mittel von 8,6% nur an Standort RD_4 einen Maximalwert von 25% erreicht. Die Tonfraktion tritt zu Gunsten der Sandfraktion mit durchschnittlich 10,53% (Sandfraktion 16,9%) in den Hintergrund. Nur an zwei ausgewählten Standorten erreicht sie ungewöhnliche Maximalwerte von 57% (RD_2) und 32% (RD_4). Die Sandfraktion ist durch das Vorherrschen der Feinsandfraktion gekennzeichnet. Grob- und Mittelsandkomponenten treten stark zurück, an manchen Standorten fehlen sie vollständig (vgl. Abb. 42).

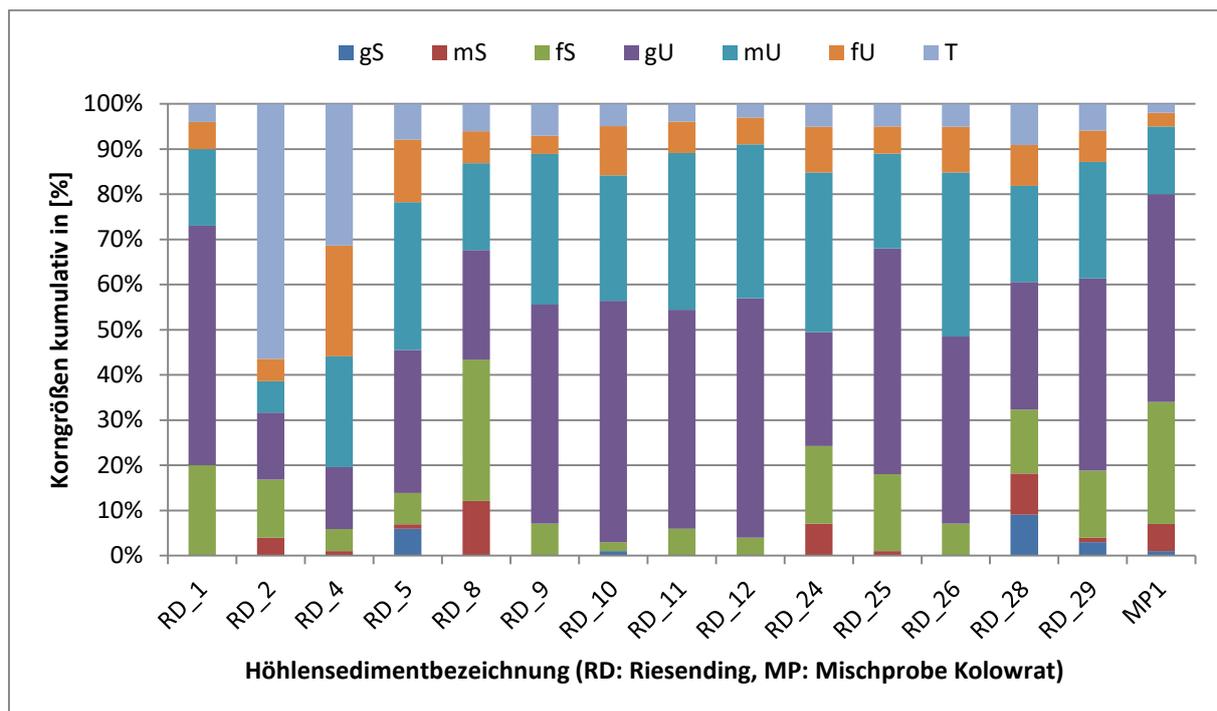


Abbildung 42: Korngrößenverteilung an Mischproben kartierter Höhlensedimente

Die Ergebnisse der Elementanalysen an zwei ausgewählten Proben beider Höhlensysteme weisen hohe Calcium-, Aluminium- und Eisenwerte auf. Im Riesending hingegen sind die Kalium- und Magnesiumwerte erhöht, während die Sedimentprobe in der Kolowrathöhle im Vergleich leicht erhöhte Mangan- und Phosphorwerte aufweist (vgl. Tab. 43, S. 113).

Tabelle 43: Elementanalysen an ausgewählten Höhlensedimentproben (Untersberg)

	Gesamtelementgehalt in [mg/g]								
¹	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Si
RD_28	59,2	102,06	27,5	16,34	30,45	0,406	5,47	0,64	0,13
MP1	49,54	157,80	28,52	9,46	11,76	1,184	3,35	1,19	0,08

¹ RD_28: Riesending, MP1: Kolowrat-Schachthöhle

Die stark tonhaltigen Proben RD_2 und RD_4 aus dem Riesendinghöhlensystem weisen gleichzeitig hohe Gehalte an organischer Substanz auf (4,6 Gew.-%, 8,6 Gew.-%) und zeigen damit eine Ton-Humus-Kopplung an. Das tonig-plastische Material ist durch eine starke Gelbfärbung (10YR 6/8 nass, brownish yellow) gekennzeichnet (vgl. *Foto 22*, rechts). Das Farbspektrum der übrigen Höhlensedimente liegt im Bereich 10YR 6/6 (light yellowish brown) und 10YR 7/4, 10YR 8/2 (very pale brown). An der Probeentnahmestelle RD_28 überlagern geringmächtige, dunkle Lamellen mit makroskopisch erkennbaren Glimmerpartikel das darunter liegende Sediment (vgl. *Foto 22*, links). Möglicherweise handelt es sich hier um Auflagen aus organischem Material. Die Höhlensedimente zeichnen sich generell durch eine Glimmerführung aus.



Foto 22: Probenentnahmestelle RD_28 (links), RD_4 (rechts); Spachtel und Messer als Größenvergleich, Quelle: Privatarhiv J. Westhauser (2013)

Chemische und physikalische Kennwerte an Stechprofilen beider Höhlensysteme

Die chemischen Kennwerte der Stechproben unterscheiden sich im Mittel nicht wesentlich von den Mischproben (CaCO_3 : 40,22%, n=10; pH: 7,23, n=10; GV: 3,96 Gew.-%, n=8). Im Profilverlauf der Stechprobe aus der Kolowrathöhle zeigt sich, dass der Anteil an organischer Substanz im Verlauf nach unten stark abnimmt. Ein ähnlicher Trend ist an Stechprofil RD_13 der Riesendinghöhle zu beobachten. Die pH-Werte dagegen bleiben in allen Profillagen sta-

bil, während die CaCO_3 -Werte keine systematische Abnahme aufweisen. Innerhalb der Profile RD_13 und RD_23 nehmen sie nach unten ab, an den Profilen RD_21 und B3-B5 dreht sich dieser Trend um und die höchsten CaCO_3 -Werte sind am Profilboden zu finden (vgl. Tab. 44).

Tabelle 44: Chemische Kennwerte an Stechprofilen aus dem Riesending- und Kolowrat-Höhhlensystem

Bezeichnung ¹	Profiltiefe [cm]	org. Substanz [Gew.-%]	pH-Wert	CaCO_3 [%]
B1	0-1,5	7,1	- ²	- ²
B2	1,5-3	6,7	- ²	- ²
B3	3-5	6,4	7,16	32,65
B4	5-13,5	3,9	7,19	39,47
B5	13,5-24,5	3,3	7,19	46,76
RD_13a	0-3	1,6	7,68	31,54
RD_13b	3-10	1,8	7,59	53,05
RD_13c	10-15	0,9	7,68	27,78
RD_21.1	0-12	- ²	6,79	50,24
RD_21.2	12-23,5	- ²	6,82	54,11
RD_23.1	0-15	- ²	7,1	39,44
RD_23.2	15-29	- ²	7,15	27,25

¹ B1-5: Kolowrat-Karstwasserspiegel, RD_13, RD_21, RD_23: Riesending Horizontalniveau 900-1020m ü. NN

² aufgrund geringer Materialmenge keine Werte

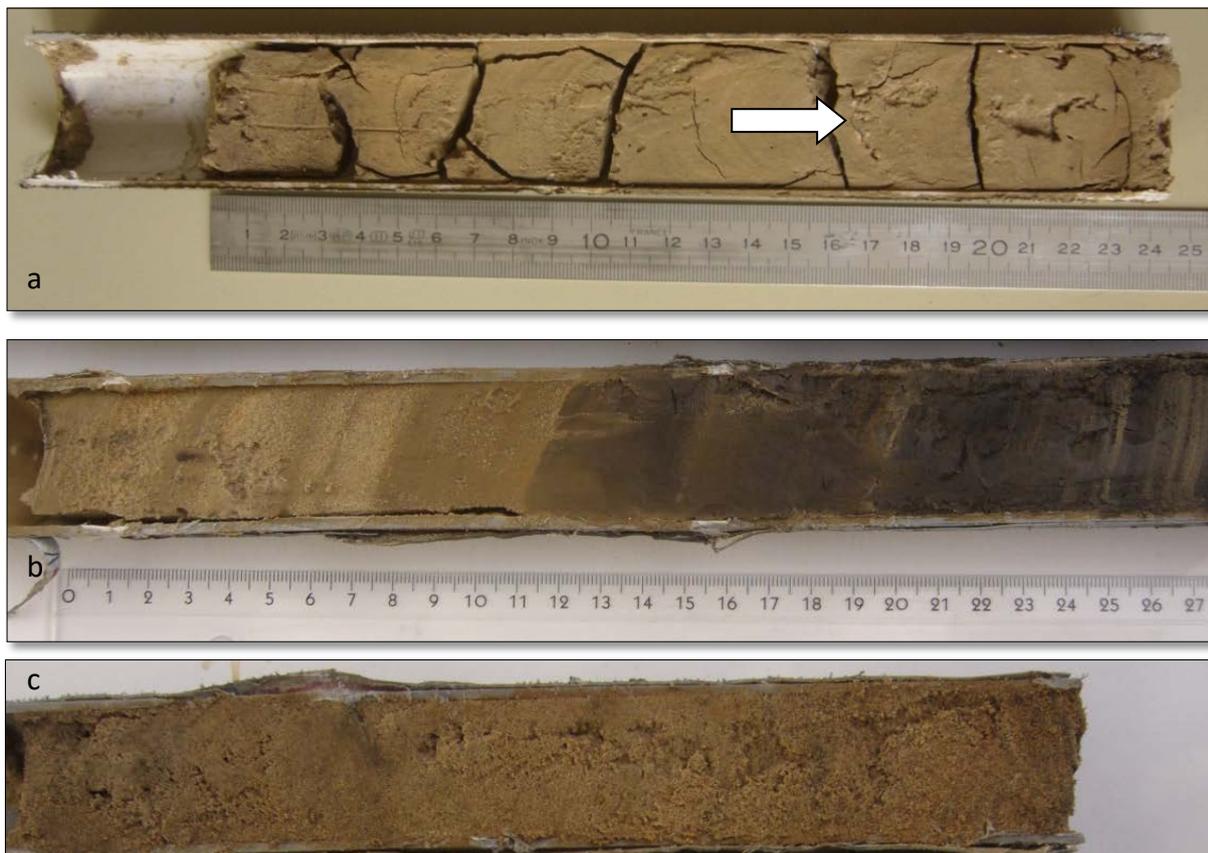


Foto 23: Stechprobe Kolowratsystem (a); Stechprobe Riesending RD_23 (b), RD_21 (c)

Das Stechprofil B1-B5 weist in 17 cm Tiefe eine Lage aus Grobkomponenten mit 1-2 mm Durchmesser auf (vgl. Foto 23, Pfeil, S. 114). Diese sind dünnflächig abgelagert. In Profil RD_23 wechseln dunkle Lagen (10YR 3/2, 10YR 3/1) ab einer Tiefe von 11 cm das darüberliegende Sediment ab. Farbspektren- und Korngrößenwechsel in den Profilen zeigen einen qualitativen Wechsel in der Ablagerungsdynamik des Höhlensystems an.

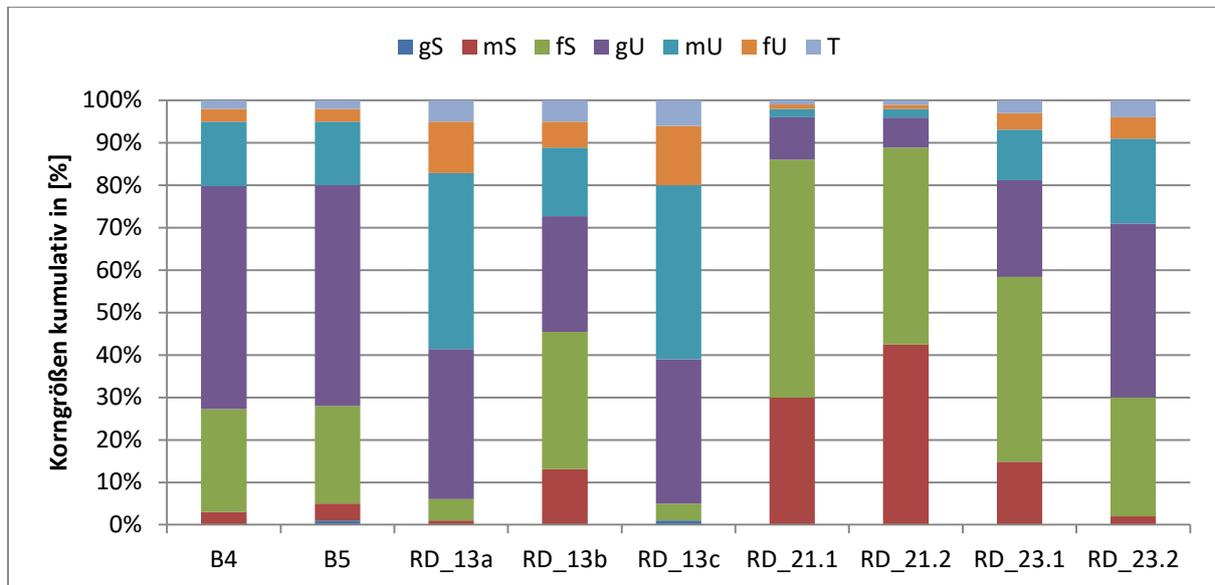


Abbildung 43: Korngrößenverteilung innerhalb der Stechproben aus den Höhlensystemen Riesending und Kolowrat-Salzburger Schacht

Auch in den Stechprofilen zeigt sich die Korngröße Schluff als dominierende Fraktion. In den einzelnen Profilen ist sie mit 50%, 70% und 90% vertreten. Ausnahmen bildet das Profil RD_21. Hier dominiert die Sandfraktion mit bis zu 89% zu Lasten der Schlufffraktion. Die Sandfraktion wird ausschließlich vom Mittel- und Feinsandspektrum aufgebaut. Die Grobsandkomponente fehlt völlig oder tritt mit 1% auf. Die Stechprofilabschnitte RD_23.1 und RD_13b zeigen mittlere Werte und vermitteln zwischen den extremen Verteilungsspektren der Beispielprofile. Die Tonfraktion bleibt generell mit 3,2% im Mittel anteilig deutlich hinter der Sand- und Schlufffraktion zurück.

4.7.2 Epikarsteintrag und Austragsdynamik über den Quellaustritt – ein Überblick

Die Beprobung des Epikarstüber einen aktiven Tropfstein zum Zwecke der Sedimentquantifizierung liefert in einem Zeitrahmen von 9 Monaten 0,74 l Wasser ohne ersichtliche Trübe bzw. Färbung. Es konnten keine Sedimentpartikel quantifiziert werden.

Die gewonnenen Trübstoffe (Probenbezeichnung Gl_1) aus der Filteranlage des Grundwasserwerkes Glanegg zeigen den Farbton 10YR 5/2 (greyish brown) und die Bodenart mittel

toniger Schluff (Ut3, Fingerprobe AG BODEN 2005). Die Feststoffe können damit als mittel humos eingestuft werden (2 bis < 4 Gew.-% organische Substanz). Auffallend ist ihre besonders hohe Glimmerführung. Im Vergleich zu den Höhlensedimenten (RD_28, KG_1; *Tab. 43*, S. 113) weisen die Trübstoffe (GI_1) aus der Karstquelle deutlich erhöhte Al- und Fe-Werte auf, während hingegen die Calciumgehalte im Verhältnis zu den Höhlensedimenten stark reduziert sind (vgl. *Tab. 45*). Ebenso sind erhöhte Kaliumwerte an der Trübstoffprobe festzustellen (MIX & KÜFMANN 2014).

Tabelle 45: Gesamtelementgehalt der Trübstoffprobe aus dem Fürstenbrunner Quellwasser, Untersberg

	Gesamtelementgehalt [mg/g]								
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Si
GI_1	90,97	38,65	37,9	22,4	10,7	0,6	4,9	1,53	0,66

5. Diskussion und Bewertung

Die Funktion der Doline als Sedimentfalle und Ablagerungsraum für Bodenkolluvien und Sedimente ist hinreichend bekannt. Im Alpenraum wird ihr Sedimentinventar im Hinblick auf die Fragestellung zur Landschaftsentwicklung fokussiert (GRÜGER & JERZ 2010, BALLUT & FAIVRE 2012, SAURO et al. 2009). Zudem stellen sie auch kulturhistorische Archive dar (z. B. EBERLE et al. 2017, SOLLEIRO-REBOLLEDO et al. 2015). Ihre Eintragsfunktion in den unterirdischen Karst wird schwerpunktmäßig in den Fachrichtungen Speläologie und Karsthydrologie thematisiert (z. B. SASOWSKY & MYLROIE 2007, TRAPPE 2010, WHITE 2007, WILLIAMS 1985, 1993). Systematische Vergleichsuntersuchungen aus beiden Karstökosystemen liegen bisher nicht vor.

In der Karst- und Bodenforschung auf kalkalpinen Hochplateaus (z. B. KÜFMANN 2008, DUFFY 2011, GILD et al. 2018) wurde aktuell eine komplexe, äolische Dynamik aufgedeckt, welche die Bodenbildung auf kalkalpinen Hochplateaus maßgeblich beeinflusst. Unter Berücksichtigung der rezent quantifizierten Stäube konnte die Bodengenese im Karst der Nördlichen Kalkalpen neu bewertet und ergänzt werden. Dolinen als Leitformen der Verkarstung wurden jedoch nur im Ansatz in die Forschung mit einbezogen. Die Dimension der Sedimentdynamik im System Doline ist im Hinblick auf Eintrag, Ablagerung und Transport noch wenig erforscht.

Zu dieser Thematik wird mit dieser Arbeit ein erster mehrperspektivischer Ansatz vorgelegt. Durch eine systematische Bodenkartierung in Dolinen werden standortabhängig Einflussfaktoren (Hanglage, Neigung, Exposition, Vegetation) identifiziert, welche die Bodengenese

ese im subalpinen Dolinenkarst maßgeblich steuern. Durch die vorangehende Klassifizierung in übergeordnete Dolinentypen wurde bei der Auswahl der Testdolinen zusätzlich einer potentiellen tektonischen Steuerkomponente der Sedimentdynamik Rechnung getragen. Die Analyse bodenkundlicher Kenngrößen innerhalb der Bodentypen und entlang von Hangcatenen ermöglichte es auch, weitere Steuerfaktoren zu ermitteln.

In Kombination mit der Sedimenteintrags- und Abtragsquantifizierung konnten zuvor identifizierte Bodenkennwerte in den Profilen nachvollzogen und potentielle Steuerfaktoren an den Standorten verifiziert werden. Die Auswahl des z. T. schon bekannten Methodenspektrums zur Quantifizierung der Dolinensedimente erwies sich als zweckmäßig, da sich die Versuchsaufbauten in die natürlichen Gegebenheiten der Dolinenhänge einpassen ließen. Wartung und Transport von Messstellen und Probenmaterial blieben durch die moderate Nähe zur Bergbahn in einem durchführbaren Rahmen.

Die identifizierten Kenndaten der kartierten Sedimente aus dem untersten Stockwerk der großen Höhlensysteme lieferten Kenntnisse zur Beschaffenheit der Höhlensedimente in Abhängigkeit zum Evolutionsniveau. Auch aus sicherheitsrelevanten Gründen (Stichwort: Zeit) war es sinnvoll, die Probensedimententnahme ausschließlich auf ein Stockwerk der Riesenhöhlen zu beschränken. Mit Hilfe dieser Vergleichssedimente konnte die an der Oberfläche erfasste Eintragsdynamik nachvollzogen werden. Die Beschränkung auf das Höhlengangniveau oberhalb bzw. im Schwankungsbereich des Karstwasserspiegels ließ zusätzlich eine qualitative Abschätzung der Austragsdynamik zu. Diese Vorgehensweise setzt auch an der Arbeit von HASEKE-KNAPCZYK (1989) an, unter Berücksichtigung der Evolutionsniveaus am Untersberg eine synchrone Analyse von Außen- und Innenkarstsedimenten durchzuführen.

5.1 Bewertung der Ergebnisse zum Bodeninventar

Ein Vergleich der eigenen Kartiererergebnisse mit anderen Arbeiten zu Böden in Dolinen auf kalkalpinen Hochplateaus fällt schwer, da in der vorliegenden Literatur Dolinenböden i. d. R. überblicksartig und ohne Berücksichtigung der Steuerfaktoren im System Doline bearbeitet wurden (z. B. FINK 1968, WEINGARTNER 1983, GADERMAYER 1986, HASEKE-KNAPCZYK 1989). Detaillierte Arbeiten zu alpinen Böden im Karst hingegen untersuchten Böden an Dolinenhängen und Bodenfüllungen im Dolinentiefsten nur untergeordnet (CECH & KILIAN 1967, KÜFMANN 2008b, DUFFY 2011, GILD et al. 2018).

Die Untersuchungen auf der Plateaufläche zeigten, dass Böden in Dolinen übergeordnet einer regelhaften Verteilungssystematik unterworfen sind. Ausprägung der Profile, ausgewählte Kenndaten, aber auch Abweichungen aus der zuvor identifizierten Systematik lieferten Hinweise auf die Bodenbildungsbedingungen an den Standorten. Sie stellen im Folgenden die Basis für die Ableitung der Substratdynamik im System Doline dar.

Zur Identifizierung der Bodenbildungsbedingungen innerhalb der Test- und Referenzdolinen erwies es sich als notwendig und zielführend, unterschiedliche Systeme zur Bodentypeneinteilung anzuwenden, da eine Bewertung der alpinen Böden allein nach dem Humusgehalt (AG Boden 2005) keine differenzierte, standortbezogene Analyse über die Bodentypen zuließ. Die weit gefasste Einteilung der Rendzina nach KUBIENA (1953) einzugrenzen und von den Skeletthumusböden zu unterscheiden (KILIAN et al. 2002, ORTNER et al. 2011) war sinnvoll, um beispielsweise die dominant humose Prägung der Skeletthumusböden herauszustellen.

Diese organogen geprägten O/C-Böden sind als Ergebnis eines verstärkt äolischen Humuseintrags zu werten, welcher durch die abbremsende Wirkung der Bergkiefern (*Pinus mugo*) auf substratführende Winde zurückzuführen ist (SOLAR 1963). Besonders durch den Wechsel zwischen alpinen Rasengesellschaften und der Bergkiefer (*Pinus mugo*) innerhalb des Dolinenreliefs sind die höchsten Humusgehalte in organischen Auflagen an den Rändern zum Bergkiefernbewuchs (*Pinus mugo*) lokalisiert. An Dolinenrandbereichen im Übergang zu ebenen Flächenresten ist die auskämmende Wirkung der Vegetation (BRUNNACKER 1980, HANNOSCHÖCK et al. 1991, PYE 1984, KÜFMANN 2008a, DUFFY 2011) aufgrund des mangelnden Vegetationswechsels nicht gegeben. Rendzinen mit Ah-Profilen sind die Folge.

Die Bodenkartierungen in den Testdolinien zeigen deutlich, dass im Gegensatz zu dem von BOCHTER (1981) postulierten Humusschwund im Gebirge standortabhängig eine Akkumulation von organischer Substanz stattfindet (KÜFMANN 2008b). Diese Dynamik ist in der subalpinen Höhenstufe stark ausgeprägt, da hier besonders viel Staub deponiert wird (GRUBER 1975).

Pechrendzinen als Subvarianten der Skeletthumusböden treten im Dolinentiefsten verstärkt an Dolinenschachttypen auf. Hier zeichnen sie bevorzugt feuchte und schattige Standorte nach (MIX & KÜFMANN 2011, RUTTNER 1994). Die mikroklimatische Sondersituation am Dolinenboden in Kombination mit steilen Hangabschnitten, und somit verminderter Einstrahlung führt zu einer Verzögerung des Mineralisierungsprozesses (SCHEFFER et al. 2002). Die Periphe-

rie des Bodenstandortes wirkt sich damit vor allem in schachtartigen Dolinenabschnitten auf die Bodentypengese aus. Aufgrund des kleinräumigen Mikroklima-Wechsels in Dolinen ist die expositionsabhängige Wirkungsweise auf die Bodenentwicklung (NEUWINGER 1970, EGLI et al. 2006) nicht immer gegeben, so dass auch ungünstige Bedingungen, z. B. für die Mineralisierung und somit Ausbildung von flachgründigen Braunerde-Rendzinen in südexponierten Lagen vorherrschen können. Auch HITZ et al. (2002) weisen darauf hin, dass eine Generalisierung von punktuellen Kartierungen, und basierend darauf, eine Erstellung von regelhaften-Bodenverteilungsmustern im Alpenraum nicht durchführbar ist, da diese aufgrund der Reliefkomplexität nicht immer repräsentativ sind.

Ausgewählte Kenngrößen in den organischen Auflagen und Oberbodenhorizonten entlang der Hangcatenen in Abhängigkeit zur Exposition zu vergleichen, erwies sich in mehrfacher Hinsicht als zielführend. Somit konnte aufgedeckt werden, dass die regelhafte Abfolge mit hohen C_{org} -Werten am Dolinenrand und niedrigen C_{org} -Werten im Dolinentiefsten in allen fünf Testdolin in Westexposition gegensätzlich verlief. Dort lagen die höchsten C_{org} -Werte am Dolinengrund vor, welche ursächlich auf die Differenzierung der Verteilungsmuster der Schneedecke infolge reliefabhängiger Strahlungsbilanzen und höhenabhängiger Temperaturgradienten (VEIT 2002) im Dolinentiefsten zurückzuführen ist. Während der Ablationsperiode entsteht somit ein kleinräumig differenziertes Ausaperungsmuster (z. B. ANDERTON et al. 2002). Diese sich jährlich wiederholenden, räumlichen Schneefleckenstrukturen (EHLER & SCHAPER 1997) konnten anhand vereinzelter Zeiger (RUTTNER 1994, BÁRÁNY-KEVEI 1998, MIX & KÜFMANN 2011) in den Rasengesellschaftender Mittelhänge der Exposition West nachvollzogen werden (z. B. *Soldanella alpina*, *Viola biflora*; Schneetälchenbegleiter). Eine Substratverlagerung findet an diesen Hängen in der Zeit des Schneedeckenabbaus durch eine höhere Verfügbarkeit von Schneeschmelzwässern statt, die auch anhand stichprobenhafter Phosphor-Werte entlang der Catena belegt werden konnte. An steilen Relieflagen im Bereich der unteren Hangabschnitte wirken in den Dolinen zusätzlich gravitative Schneenumverteilungsprozesse, z. B. Schneerutsch (MCCLUNG & SCHAERER 1999) auf die Bodendecke ein und befördern den Sedimenttransport zusätzlich.

Abtrag findet nicht nur hangparallel nach sommerlichen Niederschlägen über Oberflächenabfluss statt. Vor allem im Frühjahr stellen expositionsabhängige Schneelager für Stäube ein potentiell Ablagerungs- und Transportmedium dar. Durch die Teilprozesse der Nivation (Schneerutschungen, Ablation) gelangen die vorwiegend organischen Stäube aus lokalen

Liefergebieten im unteren Hangverlauf und am Dolinengrund in die Böden und resultieren in erhöhten C_{org} -Werten am Standort. Feinhumus und Pflanzenreste auf Altschneeflächen in den Dolinenzentren des Untersuchungsgebiets (Geländebeobachtungen Juni/Juli 2014, 2015) stützen die These des Sedimenttransports auf Schneeoberflächen.

Während des Schneedeckenaufbaus führen äolische Umverteilungsprozesse von Schnee zu einer Reliefglättung (z. B. ADAMS 1982, BARRY 1992, PHILLIPS 2000), da der Schnee bevorzugt in den Mulden und Dolinentrichtern deponiert wird. Die schneebedeckten Plateauflächen stellen nun bei starker Südwindaktivität einen geeigneten Ablagerungsraum für mineralische Stäube über Ferntransport (> 500 km) aus der Sahara dar (KÜFMANN 2006). Da sich das winterliche Relief neben wenigen Großstrukturen (z. B. Mittagsscharte) weitgehend homogen darstellt, ist während der Wintermonate von einer gleichmäßigen Verstaubung durch Südwindaktivität auszugehen. Im Laufe der Ablationsperiode bleiben die deponierten Mineralstäube dann besonders auf ebenen Flächenresten am Bodenstandort erhalten. Entlang von Dolinenhängen werden sie verstärkt mit den Teilprozessen der Nivation in Richtung Dolinengrund verlagert. Die glimmerreichen Oberböden und geringmächtigen organischen Auflagen im Dolinentiefsten belegen diesen Prozess.

Die regelhaft auftretenden Rendzinen im Mittelhang werden als Ergebnis dieser sekundären Verlagerungsprozesse des ganzjährigen Staubeintrags in Kombination mit der fortgeschrittenen Carbonatlösung und Akkumulation von Residualmaterial interpretiert. Die insgesamt hohen Humusgehalte (Mittel: 25,61 Gew.-%, n=26) und makroskopischen Glimmer in den Oberböden belegen einen rezent äolischen Einfluss im Mittelhang. Die schwach mehlig Feinsubstanz und der deutlich sicht- und spürbare Sandanteil der Feinböden aus dem sandig verwitternden Dachsteinkalk stellt die Rendzinen jedoch zu den autochthonen Böden, wie sie auch von KÜFMANN (2008b) auf der Reiteralpe beschrieben werden. Die Ausprägung und Variation der Rendzinen (geringmächtige Oh-Auflagen, zwischengeschaltete Ah+Bv-Horizonte) zeigen eine differenzierte Dynamik an diesem Bodenstandort auf. Aufgrund des geologischen Untergrundes und der vergleichbaren Höhenstufe können die mittleren Kalkabtragsraten von 34 cm / 10 000 a (Humusaktivität miteinbezogen) und die Ausprägung eines Residualhorizonts von 4,1 cm (KÜFMANN 2008b) von der Reiteralpe auf den Untersberg übertragen werden. Die Berechnungen setzen konstante Erosions- und Akkumulationsbedingungen voraus, die in der Natur mit Sicherheit nicht gegeben waren. Der ab dem Postglazial einsetzende Aufbau der äolischen Deckschichten fand auf einem bereits entwickelten

Karstrelief statt, deren Genese durch die interne Deckentektonik der Berchtesgadener Schubmasse (DEL NEGRO 1977) und einer intensiven tektonischen Zerrüttung des Gesteins bereits ab dem Neogen begünstigt wurde (LANGENSCHIEDT 1986, HASEKE-KNAPCZYK 1989). Das aktuell vorliegende Glaziokarstrelief der Plateaufläche wurde während der pleistozänen Eiszeit herauspräpariert, vorhandene Mesoformen im Karst durch Eisbewegungen (Schichtflächen-, Schichtkopfkarrst) und subglaziale Abflusssdynamik (Schachtdolinen) weiterentwickelt (HASEKE-KNAPCZYK 1989). Da die Ablagerung der periglazialen Deckschichten besonders im Alpenraum in Abhängigkeit zu Exposition und Steilheit der Hänge variierte (STAHR 2000, VEIT et al. 2002), ist eine räumliche Differenzierung der Lössmächtigkeiten im Dolinenrelief am Untersbergplateau anzunehmen. Solifluidale Prozessdynamiken führten zur Umlagerung der Lössdecken (ARTMANN & VÖLKELE 1999) und verlagerten diese in Richtung Dolinengrund. Ihr Auftreten ist auch als Kolluvium in Hangfußlage auf benachbarten Plateaus beschrieben (KÜFMANN 2008b). Humusbeimengungen des Bv sind Folgen dieser Umlagerungsdynamik im stark variablen Mikrorelief.

In den kartierten Rendzinen und Braunerde-Rendzinen in konkaven Hangbereichen des Mittelhangs konnte mit den durchgeführten Analysen nicht geklärt werden, welchen Anteil verlagerte Lössdeckenreste am Aufbau des Solums haben. Eine topologische Analyse der jeweiligen Boden-Ausprägungen ermöglicht jedoch eine annäherungsweise Abschätzung der Substratdynamik am Dolinenhang, die aufgrund seiner kleinräumigen Variabilität der Einflussfaktoren Neigung, Exposition und Hangausstattung mit Arbeiten aus der Erosionsforschung im Alpenraum nicht immer vergleichbar ist.

An gleichmäßig geneigten Hangabschnitten liegen ausschließlich Ah/C-Böden vor. Aufgrund der Profilposition im Hang und der entsprechenden Dolinentiefenentwicklung wäre ein geringmächtiger residualer (Bv)T-Horizont zu erwarten. Hangneigung und eine intensive Durchspülung der Profile durch Niederschlag und Schneeschmelze verhindern diese Ausprägung durch einen kontinuierlichen Materialverlust. Diese Abtragsdynamik ist an eingespülten Nestern von verbrauntem Material (Ah+Bv), meist geschützt unter Skelett an standortgebundenen Profilen nachvollziehbar. Die Dolinentopologie intensiviert diese Prozesse der Schmelzwasser- und Abflusssdynamik in Richtung hydrologische Zentren im Dolinentiefsten.

An konkaven Hangstrukturen ist der stattfindende Bodenverlust aufgrund des Hangneigungswechsels reduziert. Hier treten Rendzinen mit zwischengeschalteten Horizonten (Ah-

Bv, Ah+Bv, Bv) auf. Deren Bodenart zeigt sich in Abhängigkeit zur Hangposition in Richtung Dolinengrund zunehmend schluffreicher (Bodenart Su₂ nach Su₃, Su₄). An den Dolinenböden erreicht die Schluffdominanz in den Bv-Horizonten ihr Maximum. Im Zentrum der Diskussion steht somit der Oberflächenabtrag von rezent äolisch deponierten Partikeln auf den dicht bewachsenen Dolinenhängen über Niederschlag und Schmelzwässer. Aufgrund der Dolinentopologie verstärkt sich die Wirkung dieser sekundären Transportmechanismen in Abhängigkeit zur Dolinengröße. Dadurch werden in Dolinen mittlerer Größe Rendzinen mit der Horizontfolge Ah/Ah(Bv)/Cn, Beispiel D9_W_Boden kartiert, während in den Testdolinien D3 und D4 mit einem deutlich größeren potentiellen „Sedimenteinzugsgebiet“ (L: 100 m, T: 37 m) schluffreiche Braunerde-Rendzinen (Horizontfolge: Ah/Ah-Bv/Bv/Cv) am Dolinengrund vorliegen.

Da die Erodierbarkeit des Bodens in Abhängigkeit der Bodenart (K-Faktor, AG BODEN 2005) mit abnehmender Hanglage und zunehmendem Schluffanteil steigt, sind besonders die Braunerde-Rendzinen in den Dolinenzentren stark erosionsgefährdet. Die Verfüllung mit Dachsteinkalkschutt in Kombination mit Bodenresten zeugen von dieser Dynamik.

Kennzeichen solifluidale Hangbewegungen, Viehtritt oder konvexe Hangstrukturen die dicht bewachsenen Dolinenhänge, kommt es durch die Zerstörung der Vegetationsdecke zu einer zusätzlichen Sedimentlieferung (vgl. Arbeiten zur Bodenerosion im Alpenraum: FELIX & JOHANNES 1995, ALEWELL et al. 2010, WIEGAND & GEITNER 2010). Entsprechend der Hangmorphometrie wird das abgespülte Bodenmaterial in konkaven Hangmulden deponiert und in die bestehende Bodenaufgabe eingearbeitet, oder in Abhängigkeit der Bodenerosionsfaktoren (SCHWERTMANN et al. 1987) bis zum Dolinengrund verlagert.

Sedimenttransport findet im System Doline jedoch nicht nur hanglateral, sondern auch vertikal statt, indem Bodenpartikel durch Spüleffekte innerhalb des Profils in den Epikarst verlagert werden, wie aus karsthydrologisch motivierten Untersuchungen aus der Epikarstforschung abzuleiten ist (vgl. Arbeiten von WILLIAMS 1983, 1985, SCHUCHARDT 1988). Bodenverlust findet somit nicht nur in den Dolinenzentren, sondern bereits auch entlang der Dolinenhänge statt.

Die generelle Tonarmut der Rendzinen und Braunerde-Rendzinen im Dolinenhang und in den Dolinenzentren zeigt eine Korngrößenabhängige Eintragsdynamik an, wie sie bereits von SAURO et al. (2009) beschrieben wird. An den Bodenstandorten sind zudem die Vorausset-

zungen der Lessivierung durch die pH-Werte im schwach bis sehr schwach sauren Bereich gegeben. An Sattellagen zwischen Dolinen verzögert ein gering entwickeltes Kluftnetz sowohl den Verkarstungsprozess an dieser Stelle, aber auch den Partikelverlust über Klüfte im Anstehenden. Leicht erhöhte Tongehalte an Braunerde-Rendzinen sind an diesen erosionsgeschützten Standorten die Folge. An vergleichbaren Profilen in den Dolinenzentren ist zusätzlich eine, durch die lange Schneebedeckung eingeschränkte Wirkungsweise des kyroklastischen Zerfalls (BLUME et al. 1996) in Bezug auf die Tonfraktion zu bedenken.

Die Böden im Untersuchungsgebiet auf dem Untersbergplateau zeigen sich generell tonarm. Residuale Horizonte treten ausschließlich über Dachsteinkalkbrekzien als Kluftfüllungen der tektonischen Störungszonen auf. Doch auch hier liefern sie nicht den geforderten Tonanteil von 65% für eine Terra fusca, sondern bilden eine Terra fusca-Rendzina aus. Die von GADERMAYER (1986) bezeichneten Terrae fuscae entlang der Skipiste müssen wohl auch eher zu den Terra fusca-Rendzinen gestellt werden. Innerhalb der Bv-Horizonte auf Flächenresten gibt allein der leicht erhöhte Tongehalt in den IIBv-(T)-Horizonten die residuale Prägung unter den periglazialen Deckenresten und somit den Mischcharakter des Bodensubstrats an. Weiterhin sind im Vergleich zur Reiteralpe kreidezeitliche Deckenresten der mittleren bis unteren Gosau, auf denen häufig Subtypen aus der Klasse der Terrae calcis entwickelt sind (KÜFMANN 2008b, DUFFY 2011), am Untersbergplateau nicht anstehend, sondern als Glanegger Schichten am Nordrand des Untersbergs lokalisiert.

Die Eintragsdynamik ist auch im Hinblick auf die beprobten Dolinenhaupttypen, und somit eine tektonische Steuerfunktion des Sedimenteintrags in den unterirdischen Karst zu diskutieren. Das verstärkte Auftreten von Rendzinen im Zentrum der Dolinenschachttypen weist diesem Dolinentypus eine höhere Eintragsdynamik im Vergleich mit den groß angelegten Trichterdolinen zu, deren Dolinenböden verstärkt mit Braunerde-Rendzinen ausgekleidet sind. Der Sedimentverlust ist durch die bevorzugte Anlage des asymmetrischen Dolinentyps an Schichtfugen und einem potentiell gut entwickelten Kluftnetz im Untergrund gegeben. Diese Variabilität der Kluftentwicklung zeichnet generell die subkutane Zone des Epikarst aus (WILLIAMS 2003, 2008, KLIMCHOUK 2004) und reflektiert die progressive und regressive Dolinenentwicklung an der Oberfläche (MIX & KÜFMANN 2011). Die Pseudovergleyungen an den Braunerde-Rendzinen in den Trichterdolinen belegen eine jahreszeitlich auftretende Wassersättigung, die durch Schneerutschungen in Richtung Dolinenzentrum bis in den Frühsommer (Juli) anhält. Ihr Auftreten ist ausschließlich an groß angelegte Trichterdolinen und

Muldendolinen auf ebenen Flächenresten gebunden. Hier führen offensichtlich eingeschwemmte Augensteinsedimente am Dolinengrund (HASEKE-KNAPCZYK 1989) in Kombination mit periglazialen Deckschichten zu einer Kolmatierung der Karstwasserwege im Untergrund (PFEFFER 1978, 2010, MIX & KÜFMANN 2011), wodurch die Eintragsdynamik in Abhängigkeit zur Ausprägung der Dolinentypenals reduziert bzw. verzögert einzuschätzen ist.

Die allochthone Prägung der Hochfläche ist mineralogisch durch Quarz, Glimmer und Feldspäte an prozessrelevanten Positionen sowohl in Kuppennähe als auch am Dolinengrund nachweisbar und bereits auf benachbarten Paläohochflächen in den Nördlichen Kalkalpen belegt (KÜFMANN 2008b, DUFFY 2011). Ob hohe Kaolinitgehalte in Kluftfüllungen der Dachsteinkalkbrekzie als Zeugen einer tertiären Verwitterungsdynamik zu werten sind und diese zu den von FINK (1968) beschriebenen gelb-rötlich tonigen Reliktböden in Trichterdolinen der Kuppenlagen zu stellen sind, ist anhand der stichprobenhaften Untersuchungen kritisch, wengleich auch hohe Al-Werte den tertiär geprägten Charakter im Bodensubstrat auf Flächenresten nachzeichnen. Vergleichende Mineralanalysen auf der Reiteralpe (KÜFMANN 2008b) stellen zudem die Kluftfüllungen als ein Verwitterungsphänomen der rötlichen Residuallehmedes brekzierten Dachsteinkalks dar. Somit ist die Kaolinitdominanz in residual geprägten Bv(T)-Profilen in Kuppennähe und auf Flächenresten in erster Linie als ein Hinweis auf die reduzierte erosive Dynamik und eine konservierende Wirkungsweise der Standorte zu werten.

HASEKE-KNAPCZYK (1989) beschreibt an konvexen Kuppen am Ochsenkamm stark bindig-lehmige Böden mit gelbem, gelbbraunen oder rotem Farbton. Im Untersuchungsgebiet sind diese am ehesten mit den, entlang der Mittagsscharte und der Talung zwischen Salzburger Hochthron und Guter Hirt auftretenden kolluvialen Bodensubstraten gleich zu setzen, die hier primär aus der Verwitterung der Dachsteinkalkbrekzien entstanden sind. Denkbar ist auch eine Beteiligung von Augensteinsedimenten (FRISCH et al. 2002), die verstärkt in die vorhandenen Talstrukturen des reliefarmen Plateaus eingeschwemmt wurden und im Untergrund einen stauenden T-Horizont ausbilden.

Solche Sedimentkolluvien werden auch auf dem zentralen Plateau registriert. Dort führen sie sogar temporär zu beträchtlichen Wasseransammlungen (vgl. *Foto 24*, S. 125). Ob es sich hierbei vorwiegend um tonhaltiges Bodenmaterial aus der Dachsteinkalkverwitterung oder um kolluviale Lösslehme aus periglazialen Deckenresten handelt, kann ohne weiterführende

Analysen nicht entschieden werden. Ursächlich ist jedoch eine Kolmatierung des Untergrunds, die analog in den Trichterdolinen im Untersuchungsgebiet zur Pseudovergleyung der Braunerde-Rendzinen führt.

Allerdings tritt Pseudovergleyung auch im oberen Bereich von Kuppen auf. Aufgrund der Relieflage und der Korngrößenanalyse ist eine Beteiligung von Augensteinen und Residualtonen auszuschließen. Das dominant schluffige Substrat führt durch Feinporendominanz zu hydromorphen Merkmalen. Die Profilbildung in dieser Reliefposition ist durch Humuseintrag und Silikatstaub in Leelage vorwiegend äolisch einzustufen. Ebenso ist eine Beteiligung von Lössdecken am Aufbau des Solums möglich (KÜFMANN 2008b) und zeigt den erosionsgeschützten Charakter an Kuppen auf. Dieser ist an den Dolinenhängen der Testdolinen auch im Grenzbereich der Rasengesellschaften zum *Mugetum* offenbar nicht gegeben ist, da hier auch Oberflächenabfluss aus den latschenbewachsenen Oberhängen die Akkumulation von mächtigen Oh-Auflagen verhindert.



Foto 24: Wasseransammlung am zentralen Plateau (li.), Detailaufnahme Wasserstand (re.)

5.2 Bewertung der Ergebnisse zur Staubquantifizierung

Die quantitative Standortanalyse wurde mit gemittelten Tagesraten pro Messintervall durchgeführt. Aufgrund des kleinräumig differenzierten Ausaperungsmusters im Dolinenkarst konnten während der Messintervalle im Frühjahr die Dolinenböden und unteren Hang-

bereiche nicht untersucht werden. Die mittleren Tagesraten beruhen zu dieser Zeit folglich auf einer geringeren Anzahl an Messintervallen. In den Zeiträumen ab Juli standen dagegen alle Dolinenpositionen für die Untersuchung zur Verfügung. Dadurch ist der direkte Vergleich der einzelnen Standorte aufgrund der unterschiedlichen Messintervallanzahl nur eingeschränkt möglich. Die einzelne Auswertung der Messreihen an den Standorten mit maximalen Messintervallen ab dem Frühjahr zeigten jedoch vergleichbare Muster im Depositionsverlauf wie die gemittelten Tagesraten aller Standorte. Dies gilt auch für die Eintragsraten an allen Standorten ohne Berücksichtigung der Frühjahrseinträge. Die vergleichenden Einzelanalysen in räumlicher und zeitlicher Hinsicht zeigen, dass sich die Ergebnisse trotz unterschiedlicher Messintervallanzahl im Prinzip mitteln, so dass die Aussagen als repräsentativ zu bewerten sind.

Die Vegetation als Steuergröße für die Staubdeposition ist in der Literatur hinreichend belegt (BRUNNACKER 1980, HANNOSCHÖCK et al. 1991, PYE 1984). In der subalpinen Höhenstufe konnte jedoch erstmals die Bedeutung des Latschenbewuchs (*Pinus mugo*) für die Deposition von Stäuben, wie von SOLAR (1963) und GRUBER (1975) postuliert, mit einfachen Regressionsanalysen zwischen Staubreite und Niederschlag nachgewiesen werden. Dabei kommt der Niederschlagsmenge und -intensität eine finale Eintragsfunktion zu, da Niederschläge über die trockene Deposition abgelagerte Stäube aus den dichten Latschenkiefern (*Pinus mugo*) auswaschen und in die Bodenaufgaben einbringen. Die stark humosen Auflagehorizonte der standorttypischen Skeletthumusböden im Grenzbereich zwischen alpiner Rasenvegetation und den Bergkiefern (*Pinus mugo*) stellen das Ergebnis dieser Eintragsdynamik dar.

Die Analyse der vorliegenden Messdaten deckt zusätzlich eine räumlich stark differenzierte Depositionsdynamik für äolische Substrate auf. Die von GOSENS (1988) erbrachte Widerlegung der Lee-Abhängigkeit wurde bereits von DUFFY (2011) im Hochgebirge belegt. Sie ist auch am Untersbergplateau gegeben und zeigt sich besonders an exponierten Kuppen. Dort führen die äolischen Indikatoren in Böden der Luv- und Leelagen zur Ausbildung mächtiger, schluffreicher Mineralbodenhorizonte.

Die expositionsabhängigen Analysen zeigen jedoch innerhalb des kleinräumigen Dolinenreliefs eine weitaus variabelere Ablagerungsdynamik auf. Dies wird besonders durch die breite Streuung der hohen Eintragsraten an Standorten in SSW bis NNW-Exposition deutlich. Nur an ausgewählten Positionen der Exposition WNW, NW und S ist ein Zusammenhang zwi-

schen Windrichtungsdaten der Klimastation Geiereck und den Staubraten belegbar, was eine Ablenkung der vorherrschenden Winde im Dolinenrelief anzeigt. Da auch aktuelle Studien zum Kaltluftphänomen in Dolinen (STEINACKER et al. 2007, PRENNER 2014) und mikrotopologische Klimaforschungen generell (GEIGER 2013) die Staubdeposition nicht mit einbeziehen, sind zur weiteren Klärung der klima- und reliefbedingten Ablagerungsdynamik in Dolinen die Erfassung lokaler Windsysteme in Kombination mit dem Staubeintrag notwendig. Dies betrifft auch die Niederschlagsvariabilität innerhalb des Dolinenreliefs, die anhand der gemessenen Niederschlagsmengen in den Fangkästen angezeigt ist.

Die Auswirkungen der Reliefdynamik auf die Staubdeposition wird im subalpinen Dolinenkarst mit Sicherheit zusätzlich durch die übergeordnete Peripherie verstärkt, wie bereits Forschungen zur Dolinengenese am Zahmen Kaiser in Tirol zeigten (MIX & KÜFMANN 2011). Unter diesem Aspekt muss der Staubeintrag im subalpinen Dolinenkarst stets in Abhängigkeit des Mikrostandortes bewertet werden.

Am Untersberg wird insgesamt sehr viel weniger Staub deponiert, wie ein Vergleich mit den Eintragsraten von KÜFMANN (2008b) und DUFFY (2011) auf der Reiteralpe zeigt (vgl. Tab. 46). Dies kann in erster Linie durch die bereits erfolgte Ablagerung von Stäuben auf dem südwestlich gelegenen Plateau begründet sein, da besonders der Transport durch Süd- und Westwinde bedeutsam für den Staubeintrag ist (KÜFMANN 2008b). Auch eine Ablenkung der südlichen Winde über das Berchtesgadener Becken in Richtung Nordwest und Nordost ist möglich, wo sie z. B. entlang der Talflanken als südöstliche Winde an der Klimastation Geiereck erfasst werden.

Tabelle 46: Eintragsraten an ausgewählten Hochplateaus der Berchtesgadener Alpen

Gebirgs-plateau	dominantes Karst-phänomen	Messjahr (Sommer)	Methode	Eintragsraten in [$\mu\text{m}/\text{cm}^2/\text{d}$]	Quelle
Reiteralpe	Schichtrippenkarst	2002	Fangkästen	8,50	KÜFMANN 2008b
		2003		6,10	
Reiteralpe	Schichtrippenkarst	2004	Fangkästen	13,35	DUFFY 2011
		2005		16,06	
Untersberg	Dolinenkarst	2014	Fangkästen	3,09	diese Arbeit
		2015		4,62	

Die Zusammensetzung des Staubes wurde in dieser Arbeit stichprobenhaft erfasst und spiegelt die Erkenntnisse von KÜFMANN (2008b) zur Herkunft des organischen Materials aus lokalen Quellen während der Übergangszeiten im Frühjahr und Herbst wider. Auf dem Plateau selbst sind besonders S-exponierte Standorte in Steilbereichen durch Austrocknung deflati-

onsgefährdet. So ist z. B. der Humuseintrag auf Schneelagern in Dolinenzentren auch ein Ergebnis der Substratbereitstellung aus den umliegenden Hangpartien. Damit wird die Sedimentverlagerung und Umverteilung entlang der Dolinenhänge um die äolische Dimension erweitert. Deflation an den Dolinenböden ist aufgrund der hohen und andauernden Feuchte nicht gegeben.

5.3. Bewertung der Ergebnisse zur Abtragsquantifizierung

Diese Arbeit liefert erstmals Erosionsraten für den speziellen Hangbereich in Dolinen der subalpinen Höhenstufe. Durch flexible Blechsysteme ermöglichte die gewählte Methodik (Erosionsrinnen nach DIKAU 1988) eine Einpassung der Messsysteme in die skelettreichen Böden und die Erfassung des Oberflächenabflusses am Standort. Zusätzlich wurde der Sedimentabtrag durch die Anpassung der Methode auf Felsflächen auch in Schachtdolinen exemplarisch erfasst.

Die quantitative Standortanalyse wurde mit gemittelten Tagesraten pro Messintervall durchgeführt. Aufgrund des reliefbedingten Ausaperungsmusters in den Dolinen basierten die mittleren Tageswerte je nach Position innerhalb der Dolinen auf einer unterschiedlichen Anzahl an Messintervallen. In den Zeiträumen ab Juli standen dagegen alle Dolinenpositionen für die Untersuchung zur Verfügung. Dadurch ist der direkte Vergleich der einzelnen Standorte aufgrund der unterschiedlichen Messintervallanzahl nur eingeschränkt möglich. Die einzelne Auswertung der Messreihen an den Standorten mit maximalen Messintervallen ab dem Frühjahr zeigten jedoch vergleichbare Muster in der Erosionsdynamik wie die gemittelten Tagesraten aller Standorte. Dies gilt auch für die Abtragsraten an allen Standorten ohne Berücksichtigung der Frühjahrseinträge. Somit sind die Ergebnisse der Raum-Zeit-Analysen an den einzelnen Messstandorten repräsentativ.

Im Dolinentiefsten ist die Erosion besonders hoch einzustufen. Die Bereitstellung von Bodenmaterial wird in diesen hydrologisch sehr aktiven Räumen über die Schneedecke geregelt, da sie sowohl den Vegetationstypus, sowie den Bedeckungsgrad steuert. An felsdurchsetzten Hangbereichen ist die Auflockerung der Vegetationsdecke durch die Neigung gegeben. An diesen Standorten ist das Erosionspotential besonders bei intensiven und extremen Niederschlägen hoch (FELIX & JOHANNES 1995), da eine Zerstörung der Aggregate und der Partikeltransport über Spritzerosion wirksam ist (z. B. SCHWERTMANN et al. 1987, MORGAN

1995). Diese Niederschlagssituation ist auf dem Plateau durch häufige Gewitterregen im Sommer gegeben. Die hydrologisch wirksame Dynamik zeigt sich in den Dolinenzentren auch über den quantifizierten Oberflächenabfluss, der im Vergleich zu Standorten im Mittelhang um den Faktor 1,4 bis 7 erhöht ist.

Da die Böden in den Dolinenzentren aufgrund der hydrologischen Sondersituation und des gebündelten Abflusses stets gut durchfeuchtet sind, kommt der Bodenfeuchte als Steuerungs- und Einflussfaktor auf die Bodenerosion (DUTTMANN & BRUNOTTE 2001) keine besondere Bedeutung zu. SCHMIDT (1998) weist den Bodenabtrag als diskontinuierlichen Prozess aus, da er an einzelne Boden- und Witterungsbedingungen gebunden ist. Im subalpinen Dolinenkarst sind durch den Vegetationstypenwechsel zusätzlich variable Prozessbedingungen gegeben. Die geringen Abtragsraten einer Messstelle unter dem Bergkiefernbewuchs (*Pinus mugo*) belegen die Abschwächung der erosiven Wirksamkeit des Niederschlags. Der sommerliche Humuseintrag zeigt sich am mikrotopologischen Standort in den erhöhten Humusgehalten der Oh-Auflagen. Während der Ablationsperiode im Frühjahr werden diese Bodenstandorte durch die Zweige der Bergkiefer (*Pinus mugo*) vor Schneeschurf geschützt.

An den Dolinenhängen ist die Diskontinuität der Bodenerosion (SCHMIDT 1998) auch durch Hangabschnitte mit zerstörter Vegetationsdecke gegeben. Dies führt zu einer Verstärkung der niederschlagsinduzierten Erosion über den Wiederaustritt von lateralen Hangwässern. Erhöhte Abtragsraten belegen diese Dynamik an Standort HSF_6, der unterhalb einer solchen Hangsituation lokalisiert ist.

Da eine qualitative Analyse der Sedimentfracht in den Rinnensystemen nur stichprobenhaft im Hinblick auf den C_{org} -Gehalt vorliegt, ist eine qualitative Einschätzung des Abtrags nur bedingt möglich. Im Dolinentiefsten ist die Erosion von vorwiegend organisches Material über Vergleichsanalysen mit dem Ah-Horizont belegbar. Eingeschwemmte Humusablagerungen im Skelett der Dolinenböden dokumentieren den Verlust in Richtung Epikarst. Entlang der Dolinenhänge steigt die Erosivität mit abnehmendem Humusgehalt (SCHEFFER et al. 2002). Da aktuelle Untersuchungen zum Bodenabtrag auf vergleichbar geneigten Hangflächen (36° bis 39°) der alpinen Höhenstufe eine Schluffdominanz innerhalb der verlagerten Substrate belegen (KONZ et al. 2010), ist ein bevorzugter Abtrag der äolischen Partikel über den Oberflächenabfluss anzunehmen. Diese Verlagerungsdynamik kann jedoch aufgrund fehlender Korngrößenanalysen an den Substraten in erster Linie über den zunehmenden Schluffgehalt

der Bodentypen entlang der Catenen nachvollzogen werden. Gleichzeitig geben die weitgehend gimmerfreien Oberböden entlang der Dolinenhänge im Vergleich zu den glimmerführenden Profilen am Dolinengrund Hinweise auf den korngrößenabhängigen Abtragsprozess.

An Felsflächen sind die Abtragsraten signifikant gering. Sie liegen trotz hohem Wasserumsatz an klutfreien Flächen an der Nachweisgrenze. Auch hier steuert der Vegetationsbesatz an den Schachträndern den Sedimenteintrag in den Untergrund. Damit muss die Schachtdoline im Hinblick auf ihr Eintragspotential völlig neu bewertet werden, da die Karst- und Höhlenforschung Dolinen, aber auch Schächte im Karst als primäres Eintragsmedium benennt (z. B. BÖGLI 1978, WILLIAMS 1985, 1993; SASKOWSKY & MYLROIE 2007, PFEFFER 2010). Strukturierte Steilwände liefern leicht erhöhte Werte, die aus den Klüften eingespült werden.

Erste Ansätze von HASEKE-KNAPCZYK (1989) den Eintrag und die Umverteilung von allochthonen Sedimenten in Höhlen zu quantifizieren, wurden mit Hilfe von Haftfolien im Salzburger Schacht am Untersberg realisiert. Hierbei lag jedoch der Schwerpunkt in erster Linie auf der äolischen Dynamik innerhalb der Höhlengänge. Messreihen zum direkten Staubeintrag in Schachthöhlen liegen nicht vor. Die aktuellen Ergebnisse zur Deposition von äolischen Substraten im subalpinen Dolinenkarst belegen jedoch, dass die Peripherie am Mikrostandort maßgeblich diesen Prozess beeinflusst, so dass beispielsweise Schächte in ungünstiger Luv- oder Leelage unberücksichtigt bleiben können.

Abtragsraten zwischen Dolinenschachttypen und Normdolinolen am Dolinengrund konnten aufgrund der unterschiedlichen Position der Erosionsrinnen im Unterhang der Testdolinolen nicht direkt miteinander verglichen werden. Aussagen über z. B. eine verzögerte Abtragsdynamik in Trichterdolinolen aufgrund kolmatierter Karstwasserwege können daher nur anhand des vorliegenden Bodeninventars, insbesondere der Pseudovergleyung ausgewählter Profile konstatiert werden.

Allerdings zeigt die Bodentypenanalyse in Abhängigkeit zum Dolinentyp eine Intensivierung des Sedimentabtrags in Dolinen-Schachttypen an. Dieser ist durch ihre Anlage entlang von Schichtflächen gegeben. Zusätzlich bewirken die steilen Wandabschnitte ein verzögertes Abschmelzen der Schneelager, wodurch die erosive Wirksamkeit der Schneeschmelzwässer mit samt den Prozessen des Schneeschurfs verlängert wird. Diese Gegebenheiten rücken den Dolinen-Schachttypus ins Zentrum der Erosionsdynamik am Untersbergplateau.

Inwieweit der landschaftsprägende Charakter des zentralen Plateaus südlich der Mittags-scharte mit seiner Dominanz an Schichtköpfen und Rundhöckern (HASEKE-KNAPCZYK 1989) das Ergebnis einer verstärkten Abtragsdynamik über den asymmetrischen Dolinentyp darstellt, ist an dieser Stelle jedoch nicht zu beurteilen. Aufgedeckte Rundkarren, die primär unter einer Bodenbedeckung entstanden sind, und der insgesamt felsig-steinige Charakter weisen jedoch auf einen flächenhaften Bodenverlust am Mikrostandort hin (vgl. Foto 25). Eine zeitliche Stellung ist nicht gegeben. Die kaskadenartige Anlage dieses Plateaubereichs macht aber einen glazialen Abtrag (Pleistozän, kleine Eiszeit?) wahrscheinlich.



Foto 25: Ehemals subkutane Karstformen (Pfeil) auf dem zentralen Plateau am Untersberg

5.4 Bewertung der Ergebnisse der Höhlensedimentanalyse

Die durchgeführten Analysen an feinklastischen Höhlensedimenten aus dem untersten Höhlenstockwerk nahe des Karstwasserspiegels stellen eine Erweiterung der bisher vorliegenden Ergebnisse aus den Höhlensystemen Salzburger Schacht, Kolowrathöhle und Fürstenbrunner Quellschicht am Untersberg dar (HASEKE-KNAPCZYK 1989, BIENIOK & ZAGLER 2010a, STRASSER 2015). Die vorwiegend mineralogischen Daten werden somit durch chemische Analysen und Daten zur Korngrößenverteilung an den Feinsedimenten ergänzt. Durch ihre finale Lage innerhalb des Karstkomplexes ist es möglich, sowohl Rückschlüsse auf die Eintragsdynamik von der Plateauoberfläche, als auch die Austragsdynamik über die zentrale Quelle zu ziehen.

Die analysierten Sedimentproben aus den untersten Höhlengangsystemen zeichnen sich durch einen hohen Schluffanteil aus (Mittel: 72,6%) und belegen damit eine starke Ähnlichkeit mit den schluffreichen Böden in den Dolinenzentren an der Plateauoberfläche. Vergleichsanalysen von Bodenaufgaben und Höhlensedimenten in der Schwäbischen Alb (HINKELBEIN et al. 1991) und Florida/USA (BRINKMANN & REEDER 1995) weisen eine vergleichbare Korngrößenübereinstimmung der Sedimente aus Endo- und Exokarst auf. Diese Schluffdominanz untermauert auch die konstatierte Korngrößenabhängige Abtragsdynamik entlang der Dolinenhänge.

In Zusammenhang mit der auffallenden Glimmerführung in Höhlensedimenten und makroskopischen Glimmern auf Sedimentlagen ist zudem der rezente Eintrag von allochthonen Flugstäuben in den Karstuntergrund belegt (MIX & KÜFMANN 2014), der auch in litoralen Mittelmeerhöhlen in Form von Saharastäuben nachgewiesen werden konnte (FORNÓS et al. 2009). Die äolisch-allochthonen Glimmerpartikel konnten mineralogisch (Methode: RDA) in den Filterproben aus den Jahren 1969, 1981 und 1985, und makroskopisch in den rezenten Trübstoffen der Fürstenbrunner Quellwässer nachgewiesen werden (GADERMAYER 1985, MIX & KÜFMANN 2014). Sie belegen damit den Eintrag und Transport allochthoner Sedimente von der Karstoberfläche in den unterirdischen Karst, und deren Austrag über die zentrale Karstquelle.

Die mächtigen Sedimentlager im Bereich des Karstwasserspiegels sind aufgrund der Schluffdominanz am ehesten mit den periglazialen Deckschichten (STAHR 2000, VEIT et al. 2002) zu parallelisieren. Eine Differenzierung in einzelne Lagen ist durch die starke Umlagerungsdynamik in den Höhlensystemen jedoch nicht möglich. Hinzu kommt, dass ausgefälltes Car-

bonat aus der Dachsteinkalkverwitterung den Feinsedimenten beigemischt ist und diese somit einen autochthonen und allochthonen Charakter haben. Welchen Anteil ausgefälltes Carbonat an der Schlufffraktion hat, kann wegen fehlender Mineralanalysen nicht festgestellt werden. Dies betrifft auch die Differenzierung in Calcit und Dolomit.

Das dominante Auftreten der Tonfraktion an einer Probestelle (RD_2) ist auf günstige Sedimentationsbedingungen mit sehr geringen Fließgeschwindigkeiten zurückzuführen (SASOWSKY & MYLROIE 2007). Diese Probe stellt unter den Gesamtproben eine Ausnahme dar, da die generelle Tonarmut in den Mischproben und Stechprofilen ein Hinweis für den kontinuierlichen Austrag der Korngrößen aus dem Karstkomplex darstellt. Dies zeigen auch die mittleren Tongehalte von 12 bis 17% gemäß Fingerprobe (nach AG Boden 2005) der entnommenen Trübstoffprobe aus den Fürstenbrunner Quellwässern an.

Durch die annähernd konstanten Temperaturverhältnisse von 4 °C ist auch eine sekundäre Bildung von Tonmineralen durch kyroklastischen Zerfall der Schluffe nicht gegeben (BLUME et al. 1996), so dass die Tone als primär autochthon aus der Dachsteinkalkverwitterung einzustufen sind. Die residualen Komponenten aus den tonarmen Bodenprofilen in den Dolinenzentren stellen neben dem Residuum aus Klüften und Höhlengängen die Lieferquellen dar. Sie belegen damit auch den Abtrag der Tonfraktion aus den Bodenprofilen an der Plateaufläche. Die chemischen Voraussetzungen für die Lessivierung sind aufgrund der pH-Werte im schwach sauren bis sehr schwach sauren Bereich an den Dolinenbodenstandorten gegeben.

Der Eintrag über Tropfstellen im Epikarst muss anhand der vorliegenden Messreihe an der Probestelle zumindest für Partikel als unbedeutend eingestuft werden. Allerdings sind die Ergebnisse aufgrund der Beprobung einer einzelnen Messstelle nicht repräsentativ. Da wasseranalytische Methoden in dieser Arbeit keine Anwendung fanden, war auch die Quantifizierung etwaiger Lösungseinträge, z. B. Huminsäuren, über die Tropfstelle nicht erfassbar. Die gesammelten Wässer wiesen jedoch keine Färbung auf.

An einzelnen Probestellen kennzeichnen geringmächtige, dunkle Lagen die mächtigen Feinsedimentbänke. In Profilen des Salzburger Schachts in 1363 m ü. NN wurden sie als humose Überzüge beschrieben (HASEKE-KNAPCZYK 1989). Eine Quantifizierung mittels Papierstreifen (Salzburger Schacht Schwarze Galerie; HASEKE-KNAPCZYK 1989) weist sie als äolisch umgelagerte Partikel aus, die offenbar fluvial in die Gangsysteme eingebracht, und somit allochthon

einzustufen sind. Die aktuellen Abtragsmessungen im Dolinenkarst untermauern diese Annahmen, da sie den rezenten Eintrag von organischem Material in den Karstuntergrund belegen, der auch im Schuttkörper der Dolinenzentren nachvollzogen werden konnte. In Abhängigkeit der Sedimentationsbedingungen können diese Lagen auch mehrere cm Mächtigkeit erreichen und in Sedimentprofilen eingeschlossen sein (z. B. Stechprofil RD_23). Aufgrund der geringen Probenmenge aus den jeweiligen Lagen der Stechprofile und den kaum millimetermächtigen Auflagen an Sedimentbänken liegen keine Daten zum organischen Gehalt vor.

Das Gros der beprobten Höhlensedimente im Kontaktbereich zum Karstwasserspiegel zeichnet sich durch einen geringen organischen Anteil aus (Mittel GV: 3,02 Gew.-%). Ein mikrobieller Abbau und/oder der Austrag der organischen Substanz über die Karstquellwässer ist angezeigt.

Forschungen an Palynomorphen im Höhlensystem Hölloch (Schweiz, GRONER 1979) konnten die Tätigkeiten von Mikroorganismen durch Abbauspuren an glattwandigen Farnsporen und Pollenkörnern nachweisen. Ältere Sedimente aus inaktiven Zonen des Höhlensystems zeigten deutlich stärkere Verwitterungsspuren an Pollen, die auf die Kombination aus mechanischen, chemischen und mikrobiologischen Prozessen zurückzuführen sind. Diese Abbauprozesse haben auch zur Folge, dass in den inaktiven Zonen weniger Pollen- und Sporentypen dominieren als in den rezenten Ablagerungen der aktuellen Hochwasserzonen (GRONER 1990). Die am Untersberg festgestellten Unterschiede an organischen Gehalten der Sedimente im Bereich der Karstwasserbasis (Kolowratsystem) und den temporär durchspülten Höhlengängen im Riesending sind mit diesen Kenntnissen aus der Palynomorphie erklärbar (MIX & KÜFMANN 2014).

Jedoch zeigen auch die Wasseranalysen der Fürstenbrunner Quelle einen kontinuierlichen Austrag von Organik über die hohe Belastung an Huminsäuren an, die eine gelbliche Färbung der Quellwässer mit sich bringt (Auswertung 1960-1984, HASEKE-KNAPCZYK 1989, S. 48). Eine gelblich-gelbbraune Färbung ist auf lösliche Huminstoffe, v. a. Fulvosäuren zurückzuführen (SCHEFFER et al. 2002). Die abnehmenden organischen Gehalte innerhalb der Stechprofile an der Karstwasserbasis zeigen eine kontinuierliche Ausschwemmung der löslichen Humin- und Fulvosäuren durch frühere Hochwasserereignisse an, wohingegen die höheren organischen

Gehalte der oberen Sedimentauflagen einen rezenten Eintrag belegen (MIX & KÜFMANN 2014).

Die Farbwerte 10YR 8/2, 10YR 8/6 und 10YR 5/6 in den Trübstofffilterproben (GADERMAYER 1985) und Trübstoffen am Grundwasserwerk Glanegg (10YR 5/2) spiegeln das Farbspektrum der "loess-like sediments" (PÉCSI 1990) wider. Die Schwebstoffe organischen und anorganischen Ursprungs (GADERMAYER 1985) sind auch in dieser Hinsicht das Ergebnis der Eintrags- und Umlagerungsdynamik der Bodensubstrate aus den Dolinen auf dem Plateau.

6. Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus den Bodentypenkartierungen auf der Hochfläche in Kombination mit den gezielten Depositions- und Erosionsmessungen geben Aufschluss über die Bodenentwicklung im subalpinen Dolinenkarst. Über die Höhlensedimentanalyse können die Eintragsprozesse an der Oberfläche in den unterirdischen Karst nachvollzogen werden. Die Darstellung der zusammenfassenden Ergebnisse erfolgt auch vor dem Hintergrund der in Kapitel 1.2 genannten Zielsetzung der Arbeit und den darin aufgelisteten Fragestellungen.

Zusammenfassung der Ergebnisse zum Bodeninventar:

- Auf der Paläohochfläche am Untersberg steht ein räumlich differenziertes Substratsortiment aus dem Tertiär (Augensteinüberdeckung, Bauxite, Rotlehme), umgelagerte Lössdecken aus dem Periglazial der pleistozänen Eiszeiten und die mineralische Residualkomponente aus der Dachsteinkalkverwitterung für die Bodenbildung zur Verfügung.
- Der rezent äolische Staubeintrag und ein kontinuierlicher Abtrag von Boden und bodenbildenden Substraten führt im subalpinen Dolinenrelief zu einer räumlich differenzierten Bodenentwicklung. Zu den entscheidenden Prozessen dieser Dynamik zählen die Bodenentwicklung auf umgelagerten periglazialen Deckschichten, die Akkumulation von organischer Substanz (autochthon, allochthon) und die Verjüngung von Bodenprofilen durch Erosion und Abtrag.
- Auf der Plateaufläche am Untersberg werden vorwiegend organogen geprägte Böden aus der Entwicklungsreihe der Rendzina kartiert. Diese, nach AG BODEN (2005) definierten Skeletthumusböden (O/C-Böden) lassen sich anhand ihrer Humusform und Ausprägung in die Varietäten Pech- und Moderrendzina, sowie mullartige Rendzina unterteilen.

Die Protorendzina stellt den Vertreter der lithogen geprägten Böden dar. Zwischen den Rendzinen (A/C-Böden) und den äolisch geprägten Braunerden vermitteln Braunerde-Rendzinen. Standortabhängig sind Braunerde-Pseudogleye, auf tektonischen Reibungsbrekzien Terra fusca-Rendzinen entwickelt.

- Die Dolinenränder werden dominant vom Skeletthumusboden ausgekleidet. In Abhängigkeit zu den Dolinentypen, die auf der Hochfläche in die Kategorien Normtypus, Dolinen-Schachttypus und Schachtdoline eingeteilt wurden, tritt die Pechrendzina vereinzelt auch am Dolinengrund auf. Im Dolinen-Schachttypus zeichnet sie als Variante des Skeletthumusbodens Schatten- und Feuchtestandorte nach. Die Skeletthumusböden zeichnen sich generell durch hohe Gehalte an organischer Substanz (Mittel: 46,2 Gew.-%, Min: 31 Gew.-%, Max: 76,9 Gew.-%) aus, wobei die höchsten Werte an den Dolinenrändern gemessen werden. Die pH-Werte liegen im neutralen bis sehr schwach sauren Bereich. Der Carbonatgehalt der Dolinenböden ist standortunabhängig sehr gering (Mittel: 2,11%).
- Die klassische Rendzina (A/C-Boden) besetzt die Mittelhänge und leitet zu den Braunerde-Rendzinen in unteren Hanglagen und im Dolinenzentrum über. Abhängig von konkaven Hangstrukturen im Mittelhang und im Übergang zum Unterhang treten in den Rendzina-Profilen Verzahnungshorizonte (Ah+Bv) als Ergebnis der Bodenentwicklung am erosionsgeschützten, mikrotopologischen Standort auf.
- Die Braunerde-Rendzinen zeigen sich skelett- und schluffreich (Mittel: 65,48 Gew.-%, Bodenart Us: sandiger Schluff). Ihr Auftreten ist an erosionsgeschützte Sattellagen oder konkave Hangbereiche der Mittelhänge gebunden. In den Dolinenzentren treten sie verstärkt in der Varietät Trichterddoline des Normtypus auf. Hier ist die leichte Pseudovergleyung dieses Bodentyps in Zusammenhang mit Bodenart und kolmatierten Kluftsystemen im Untergrund zu sehen.
- Braunerden sind ausschließlich auf ebenen Flächenresten oder an Kuppen und Schichtköpfen lokalisiert. Die pH-Werte liegen im stark sauren Bereich. Tongehalte von > 10% zeigen die Akkumulation von Residuen aus der Dachsteinkalkverwitterung an, die an diesen erosionsgeschützten Bodenstandorten die Bv-Horizonte kennzeichnet.
- Terra fusca-Rendzinen aus der Entwicklungsreihe der Rendzina treten ausschließlich auf Dachsteinkalkbrekzien als Kluftfüllungen oder als Kolluvien entlang der großen Talungen und tektonischen Störungszonen (z. B. Mittagsscharte, Brunntalstörung zwischen Salz-

burger Hochthron und Guter Hirt) auf. Die Entwicklung einer Terra fusca, die Tongehalte von 65% fordert, ist aufgrund der Tongehalte bis 45% nicht gegeben.

- Im subalpinen Dolinenkarst sind die typisch äolischen Indikatoren Grobschluff und Feinsand in den Bv-Horizonten der Braunerden, sowie der Braunerde-Rendzinen am Unterhang und im Dolinenzentrum lokalisiert. Makroskopische Glimmer in organischen Auflagen (Oh) der Skeletthumusböden sind an Randbereichen ausschließlich in großräumigen Dolinen (D3, D4) gegeben, während sie im Dolinenzentrum die Oberböden der Braunerde-Rendzinen generell kennzeichnen.

Relief- und standortunabhängig kann eine äolische Prägung der Hochfläche durch allochthone Minerale wie Quarz, aber auch Amphibolite und Feldspäte in Ober- und Unterbodenhorizonten nachgewiesen werden.

Zusammenfassung der Ergebnisse zur Staubquantifizierung:

- Die Dolinenränder und oberen Hangbereiche stellen aufgrund des Vegetationswechsels zwischen alpinen Rasengesellschaften und Latschenkiefern-Bewuchs (*Pinus mugo*) die bevorzugten Depositionsstandorte im Untersuchungsgebiet dar. In Abhängigkeit zur Niederschlagsintensität werden die durch Nadeln und Äste ausgekämmten Stäube final in die Böden eingebracht. Dort resultieren sie in Maximalwerten der organischen Substanz in den Skeletthumusböden.
- Das Mikrorelief im subalpinen Dolinenkarst führt zu einer Ablenkung der substrat- und niederschlagsliefernden Winde, so dass an den Mittelhängen die Hangexpositionen SSW bis NNW begünstigte Depositionsstandorte darstellen. An exponierten Kuppen des Glazio-Karstreliefs ist eine Ablenkung der Winde nicht gegeben und Luv- und Leelagen profitieren gleichermaßen von dem äolischen Input.
- Der Einfluss des Mikroreliefs zeigt sich auch durch differierende Staubraten benachbarter Standorte und die hohe Variabilität der Niederschlagsmengen in Bodennähe.
- Das Maximum der mittleren Eintragsraten wird im Spätfrühjahr und Frühsommer erreicht. In dieser Zeit fungieren perennierende Schneeflecken in Dolinenzentren und schattseitigen Hanglagen als Ablagerungs- und Transportmedium für vorwiegend organisches Material aus lokalen Quellen.

- Übergeordnet steuern Dolinenhangposition und Peripherie im subalpinen Dolinenkarst den Staubeintrag, da sie das Regulativ für die Einflussfaktoren Vegetation und Exposition am Bodenstandort darstellen. Eine Abhängigkeit vom Dolinentypus ist nicht gegeben.

Zusammenfassung der Ergebnisse zur Abtragsquantifizierung:

- Die bevorzugten Abtragsräume für Bodensubstrate sind im Dolinenzentrum und an steilen, felsdurchsetzten Hangbereichen lokalisiert. Hier steuern Vegetationstypus und Bedeckungsgrad die Erosion am Bodenstandort.
- In den hydrologisch sehr aktiven Dolinenzentren wird die Bodenerosion durch die Prozesse der Nivation (Schmelzwässer, Schneeschurf) intensiviert. Diese Dynamik führt an westexponierten Hängen über perennierende Schneeflecken zum verstärkten Abtrag der organischen Substanz aus den Skeletthumusböden und Rendzinen.
- Dolinenhänge weisen aufgrund des dichten Vegetationsbesatzes geringe Abtragsraten auf. Über den Oberflächenabfluss werden hier bevorzugt äolisch deponierte Partikel der Schlufffraktion erfasst. Eine Diskontinuität der Bodenerosion ist an den Hängen durch mikrotopologische Neigungswechsel und Hangabschnitte mit zerstörter Vegetationsdecke gegeben.
- An Schachtdolinen liegt der Eintrag von Partikeln in den Karstuntergrund trotz des hohen Wasserumsatzes an der Nachweisgrenze. Das Abtragspotential von strukturierten Felsflächen ist mit dicht bewachsenen Dolinenhängen gleichzusetzen.
- Die Bodentypenanalyse belegt eine Intensivierung der Abtragsdynamik in Dolinen-Schachttypen. Ihre steilen Wandabschnitte bewirken ein verzögertes Abschmelzen der Schneelager und verlängern damit die Schneeschmelztätigkeit am Bodenstandort. Aufgrund ihrer Anlage an Schichtflächen ist der Abtrag über gut entwickelte Kluftsysteme im Untergrund begünstigt.
- Unterschiedliche Grade der Pseudovergleyung zeigen an schluffreichen Braunerde-Rendzinen eine Kolmatierung der Karstwasserwege im Untergrund der Trichterdolinen an. Die Abtragsdynamik findet in diesen Dolinentypen verzögert statt.
- Auf Flächen-, Plateau- und Sattellagen sind die Böden vor Abtrag und Materialverlust weitgehend geschützt. Hier bleiben die residualen Komponenten aus der Dachsteinkalkverwitterung mit erhöhten Tongehalten von bis zu 15,5% im Gegensatz zu den mittleren Tongehalten von 3,5% in den Dolinenzentren erhalten.

Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Höhlensedimenten:

- Die schluffreichen Sedimente aus dem untersten Höhlengangsystemspiegeln aufgrund der dominanten Korngröße den Charakter der Braunerde-Rendzinen aus den Dolinenzentren auf der Plateaufläche wider und sind aufgrund der Substrateigenschaften mit den periglazialen Deckschichten zu parallelisieren.
- Ihre generelle Glimmerführung dokumentiert den rezenten Eintrag von allochthonen Mineralstäuben aus dem Exokarst über Kluft- und Gangsysteme in den Endokarst. Diese sind auch in den Trübstoffen an der zentralen Karstquelle Fürstenbrunn mineralogisch und makroskopisch nachweisbar. Damit ist belegt, dass äolische Stäube innerhalb von Karbonatkomplexen einem Transportzyklus unterworfen sind.
- Tonreiche Sedimentlager sind an residuale Lieferquellen aus der Dachsteinkalkverwitterung des Exo- und Endokarst gebunden. Sie reflektieren auch die geringen Tonanteile in den Bodenprofilen der Dolinenzentren. Ihr Vorkommen ist an Sedimentationsbedingungen mit sehr geringen Fließgeschwindigkeiten geknüpft, die nur unter bestimmten topologisch-hydrologischen Gegebenheiten auftreten. Tonreiche Sedimentlager stellen unter den Höhlensedimenten die Ausnahme dar. Die regelhaft auftretende Tonarmut in den Höhlensedimenten hingegen zeigt einen kontinuierlichen Austrag der Tonfraktion an, was die mittleren Tongehalte von 12-17% in den Trübstoffproben der Quellwässer beweisen.
- Geringe Gehalte an organischer Substanz charakterisieren generell die Höhlensedimente am Untersberg. Standortabhängig treten dunkle Tapeten und Lagen in Stechprofilen auf. Sie werden auf fluvial eingebrachte Partikel organischer Herkunft und deren äolische Umlagerung zurückgeführt. Sie reflektieren damit auch die quantifizierte Eintragsdynamik in den Dolinenzentren an der Oberfläche. Die abnehmenden organischen Gehalte in den Stechprofilen an der Karstwasserbasis deuten jedoch auf einen kontinuierlichen mikrobiellen Abbau oder Austrag der Humuspartikel und Huminstoffe über die Karstquelle Fürstenbrunn hin, der über die Farbanalyse der Quellwässer nachvollzogen werden kann.

7. Ausblick

Diese Dissertation deckt eine komplexe Steuerungsdynamik für Sedimente (allochthon, autochthon) im subalpinen Dolinenkarst und deren Eintrag in den unterirdischen Karst auf. Die vorliegenden Ergebnisse belegen, dass eine Erfassung der Substratdynamik im System Doline nur durch einen mehrperspektivischen Ansatz möglich ist. Sie verdeutlicht allerdings auch, dass zur Klärung dieses Prozessverständnisses eine Bearbeitung durch verschiedene Fachrichtungen (Bodenkunde, Epikarstforschung, Speläologie, Karsthydrologie) notwendig ist.

Die vorliegende Arbeit liefert detaillierte Ergebnisse zur Bodentypenverteilung in Dolinen der subalpinen Höhenstufe. Um die erfasste Bodenbildungsdynamik in den beprobten Dolinentypen auf alpine Karstgebiete generell zu übertragen, wäre eine stichprobenhafte Überprüfung auf Hochplateaus der subalpinen, aber auch alpinen Höhenstufe in vergleichbaren Dolinentypen hilfreich.

Im Untersuchungsgebiet treten geneigte Schichtflächen mit Rinnen- oder Rillenverkarstung nur untergeordnet auf. Dieses Charakteristikum kennzeichnet vorwiegend das zentrale Plateau südlich der Mittagsscharte und vergleichbare Karstplateaus mit ausgeprägtem Schichtflächenkarst der alpinen Höhenstufe (z. B. Steinernes Meer; Tennengebirge; Warscheneckplateau, Totes Gebirge). Die beprobten Messstellen deckten in der aktuellen Untersuchung den Bereich der Felsflächen nur stichprobenhaft ab. Zur Erfassung der Ein- und Abtragsdynamik von Stäuben auf Karsthochplateaus muss diese Ausprägung in zukünftige Untersuchungen miteinbezogen werden.

Die mikroklimatische Sondersituation im subalpinen Dolinenkarst konnte über die kleinräumige Bodenkartierung registriert, und die Staubquantifizierung annäherungsweise erfasst werden. Da die Klimaforschung in Dolinen generell die potentielle Depositionsdynamik nicht berücksichtigt, fehlen zur endgültigen Klärung kleinräumig kombinierte Staub- und Klimamessungen in Dolinen. Zur Ermittlung des Steuerfaktors Peripherie ist eine Ausdehnung auf mehrere, benachbarte Dolinen angezeigt.

Die Quantifizierung des Eintragungspotentials über Tropfsteine muss angesichts der wenig aussagekräftigen Daten zur Beurteilung des Epikarsts auf weitere oberflächennahe Probestellen ausgeweitet werden. Eine zusätzliche Erfassung der Sedimenteintragsdynamik sollte auch an Klüften und erweiterten Spalten in tagnahen Höhlengängen erfolgen.

8. Literaturverzeichnis

- ADAMS, W.P.** (1981): Snow: Plants and Animals. GRAY D.M. & MALE D.H. (Hrsg.): *Handbook of Snow. Principles, Processes, Management & Use*: 3-27.
- ADETUTU, E.M., THORPE, K., SHAHSAVARI, E., BOURNE, S., CAO, X., FARD, R.M.N., KIRBY, G. & BALL, A.S.** (2012): Bacterial community survey of sediments at Naracoorte Caves, Australia. *International Journal of Speleology*, 41 (2): 137-147.
- AD-HOC AG BODEN** (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage. Hannover: 438 S.
- AESCHIMAN, D., LAUBER, K., MOSER, D.M., THEURILLAT, J.-P.** (2004): Flora alpina. Band 1-3. Bern. Band 1: 1158 S., Band 2: 1188 S., Band 3: 322 S.
- AL-FARES, W., BAKALOWICZ, M.; GUERIN, R. & DUKJAN, M.** (2002): Analysis of the karst aquifer structure by means of a Ground penetrating Radar (GPR). Example of the Lamalou area (Herault, France). *Journal Applied Geophysics, Vol 51*: 97-106.
- ALEWELL, C., MEUSBURGER, K., BRODBECK, M, BANNINGER, D.** (2008): Methods to describe and predict soil erosion in mountain regions. *Landscape urban planning (88)*: 46-53.
- ALLMAN, R. & LAWRENCE, E.** (1972): Geological laboratory techniques. London: 335 S.
- ANDERTON, S.P., WHITE S.M. & ALVERA B.** (2002): Micro-scale spatial variability and the timing of snow melt runoff in a high mountain catchment. *Journal of Hydrology (268)*: 158-176.
- ARTMANN, S. & VÖLKELE, J.** (1999): Bodenkundliche Untersuchungen an periglazialen Deckschichten im Nationalpark Berchtesgaden, Nördliche Kalkalpen. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. (43)*: 463-481.
- APPLEGATE, P.** (2003): Detection of sinkholes developed on a shaly Ordovician limestone, Hamilton County, Ohio, using digital topographic data. Dependence of topographic expression of sinkholes on scale, contour interval and slope. *Journal of Cave and Karst Science, Vol. 65, no.2*: 126-129.
- ATTEIA, O. & KOZEL, R.** (1997): Particle size distributions in waters from karst aquifer: From Particles to colloids. *Journal of Hydrology, 201*: 102-119.
- AUDRA, PH., QUINIF, Y., ROCHETTE, P.** (2002): The genesis of the Tennenengebirge Karst and Caves (Salzburg, Austria). *Journal of Cave and Karst Studies 64(3)*: 153-164.
- AUCKENTHALER, A. G.** (2007): Transport von Mikroorganismen in einem Karstaquifer am Beispiel der Lützelquelle. *Dissertation an der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel*: 143 S.
- BAKALOWICZ, M.** (2003): The Epikarst, the skin of karst. *Epikarst. Karst Waters Institute Special Publication 9*: 16-22.
- BALES, R.C., LI, S., MAIGURE, K.M, YAHYA, M.T., GERBA, C.P. & HARVEY, R.W.** (1995): Virus and bacteria transport in a sand aquifer, Cape Cod, MA. *Ground water, 33 (4)*: 653-661.
- BALLUT, CH. & FAIVRE, S.** (2012): New Data on the Dolines of Velebit Mountain: an evaluation on their sedimentary archive potential in the reconstruction of landscape evolution. *Acta Carsologica 41/1*: 59-74.
- BÁRÁNY-KEVEI, I.** (1998): Connections between morphology and ecological factors of karst dolines (Aggtelek hills, Hungary). Forth international conference on geomorphology – Italy. *Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat. III*: 115-119.
- BARRY, R.G.** (1992): Mountain Weather and Climate, London: 313 S.
- BARSCHE, H., BILLWITZ, K. & SCHOLZ, E.** (1984): Labormethoden der physischen Geographie, *Gotha*: 160 S.
- BARUCK, J., NESTROY, O., SARTORI, G., BAIZE, D., TRIDL, R., VRŠČAJ, B., BRÄM, E., GRUBER, F.E., HEINRICH, K., BÁTORI, Z., KÖRMÖCZI, L., ERDOS, L., ZALATNAI, M. & CSIKY, J.** (2012): Importance of karst sinkholes in preserving relict, mountain and wet-woodland plant species under sub-Mediterranean climate: A case study from southern Hungary. *In: Journal of Cave and Karst Studies, vol. 74, no. 1*: 127-134.
- BIENIOK, A., ZAGLER, G. & BRENDL, U.** (2010): Speleothems in the Gamslöcher-Kolowrat Cave System, Untersberg (Austria). *Acta Mineralogica – Petrographica*, 6: 467 S.
- BIENIOK, A. & ZAGLER, G.** (2010a): Mineralogische Untersuchungen von Proben aus dem Weißen Saal (Gamslöcher-Kolowratsystem) und dem Blattlschacht vom Untersberg (Salzburg). *Mineralogisches Archiv Salzburg*, 13: 270-273
- BIENIOK, A.** (2011): Höhlenminerale. *Atlantis. Landesverein für Höhlenkunde Salzburg*, 3-4: 46-52.

- BIENIOK, A., ZAGLER, G., BRENDL, U. & NEUBAUER, F.** (2011): Speleothems in the dry cave parts of the Gamslöcher-Kolowrat Cave, Untersberg near Salzburg (Austria). *International Journal of Speleology*, 40 (2): 117-124.
- BLUME, H.-P., FELIX-HENNINGSSEN, P., FREDE H.-G., GUGGENBERGER, G., HORN, R., STAHR, K. (HRSG.)** (1995): Handbuch der Bodenkunde. Wiley-VCH: 3640 S.
- BOCHTER, R., NEUERBURG, W. & ZECH, W.** (1981): Humus und Humusschwund im Gebirge. Forschungsbericht 2 Nationalpark Berchtesgaden: 110 S.
- BÖGLI, A.** (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie. Berlin: 292 S.
- BONACCI, O., PIPAN, T. & CULVER, D.C.** (2009): A framework for karst ecohydrology. *Environ. Geol.* (56): 891-900.
- BOSCH, R.F. & WHITE, W.B.** (2007): Lithofazies and transport of clastic sediments in karstic aquifers. In: SASOWSKY, I.D.; MYLROIE, J.E. (Hrsg.) *Studies of cave sediments. Physical and Chemical Records of Paleoclimate*. New York: 1-22.
- BRADFORD, W.L. & HOROWITZ, A.J.** (1982): The role of sediments in the chemistry of aquatic systems. *Proceedings of the sediment chemistry workshop, February 8-12, 1982, U.S. Geological Survey Circular 969*: 75 S.
- BRANCEJ, A.** (2003): Biological sampling methods for epikarst water. *Epikarst. Karst Waters Institute Special Publication 9*: 99-103.
- BRINKMANN, R.M & REEDER, P.** (1995): The relationship between surface soils and cave sediments in west-central Florida, U.S.A. *Cave and Karst Science, Vol. 22, Issue 3*: 95-102.
- BRUNNACKER, K.** (1980): Young pleistocene loess as an indicator for the climate in the Mediterranean area. Sarntheim, M., Seibold, E., Rognon, P. (eds.) *Sahara and surrounding seas. Sediments and climate change*. Proceedings International Symposium, Akademie der Wissenschaften und Literatur, Mainz, 1-4 (April 1979), 12: 99-113.
- BURGER, D., GEYH, M.A., PAPPENFUß, K.-H., SMETTAN, H., TEICHMANN, R. & UFRICHT, W.** (1993): Sedimentpetrographie und Alter von Höhlenlehmen aus der Laichinger Tiefenhöhle (7524/01, Schwäbische Alb). *Laichinger Höhlenfreund, Band 28, Heft 2*: 47-72.
- CECH, O. & KILIAN W.** (1967): Untersuchungen zur Veränderung von Boden und Vegetation seit 1886 im Bereich der Hierlatzalm. *Kopie des Originalskriptes zur Veröffentlichung in: Beitrag zur alpinen Karstforschung, Heft 19, Wien*: 41 S.
- CEGLA, J.** (1969): Influence of capillary ground moisture on eolian accumulation of loess. *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, Série des sciences géologiques et géographiques*, 17: 25-27.
- CEGLA, J.** (1972): Loess sedimentation in Poland. *Acta Universitatis Wratislaviensis, Stud. Geogr.*, 17: 53-71.
- CHAMBERLAIN, A.C.** (1967): Transport of Lycopodium spores and other small particles to rough surfaces. *Proceedings of the Royal Society of London, Ser. A*, 296: 45-70
- CHESS, D.L., CHESS, C.A., SASOWSKY, I.D., SCHMIDT, V.A. & WHITE, W.B.** (2010): Clastic sediments in the Butler Cave – Sinking Creek System, Virginia, USA. *Acta Carsologica*, 39 (1): 11-26.
- CHELIUS, M.K., BERESFORD, G., HORTON, H., QUIRK, M., SELBY, G., SIMPSON, R.T., HORROCKS, R. & MOORE, J.C.** (2009): Impacts of Alterations of Organic Inputs on the Bacterial Community within the sediments of Wind Cave, South Dakota, USA. *International Journal of Speleology, Vol 38 (1)*: 1-10.
- CLEMENS, T., HÜCKINGHAUS, D., LIEDL, R. & SAUTER, M.** (1999): Simulation of the development of karst aquifers: role of the epikarst. *International Journal Earth Science, Bd. 88*: 157-162.
- CRAIN, A.S.** (2006): Concentrations of Nutrients, Pesticides and Suspended Sediment in the Karst Terrane of the Sinking Creek Basin, Kentucky 2004: U.S. Geological Survey, Open File Report 2006-1091, <http://pubs.usgs.gov/of/2006/1091/ofr20061091.pdf>.
- CZOERNING, W.** (1926): Die Höhlen des Landes Salzburg und seiner Grenzgebirge. *Speläologische Monographien, Bd. X, Salzburg*: 159 pp.
- DAHMS, D.E. & RAWLINS, C.L.** (1996): A two year record of eolian sedimentation in the Wind River Range, Wyoming, USA. *Arctic and Alpine Research*, 28: 210-216.
- DEL-NEGRO, W.** (1977): Abriss der Geologie Österreichs, *Geologische Bundesanstalt, Wien*: 138 S.

- DEL-NEGRO, W** (1979): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Umgebung der Stadt Salzburg. 1:50 000. *Geologische Bundesanstalt, Wien*: 41 S.
- DENIZMAN, C.** (2003): Morphometric and spatial distribution parameters of karstic depressions, Lower Suwannee River Basin, Florida. *Journal of Cave and Karst Studies, Vol. 65, no. 1*: 29-35.
- DIKAU, R.** (1988): Oberflächenabfluss und Bodenabtrag von Meßparzellen des Versuchsgebietes "Holmuth". Niederschlag, Grundwasser, Abfluss. Ergebnisse aus dem hydrologisch-geomorphologischen Versuchsgebiet „Hollmuth“ des Geographischen Instituts der Universität Heidelberg. *Heidelberger Geographische Arbeiten, Heft 66*: 127-146.
- DIRNBÖCK, T., DULLINGER, S., GOTTFRIED, M., GRABHERR, G.** (1999): Die Vegetation des Hochschwab (Steiermark) – alpine und subalpine Stufe. *Mitteilung naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark, 129*: 111-251
- DISTEL, L. & SCHECK, F.** (1911): Das Plateau des Zahnen Kaisers. *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München, 6 (2)*: 97-166.
- DOLLINGER, F. & HASEKE-KNAPCYK, H.** (1988): Naturraumpotential Untersberg bei Salzburg. Anwendung einer Kartographie-Software für die langfristige Trinkwasservorsorge durch Sicherung der ökologischen Funktion. *Salzburger Geographische Arbeiten, Band 17*: 35-56.
- DUFFY, L.** (2011): Mikrobedingte Raummuster von Böden, äolischen Substraten und Flugstäuben im Hochgebirgskarst der Nördlichen Kalkalpen (Reiteralpe, Berchtesgadener Alpen). *Dissertation, Department für Geographie, LMU München*: 131 S.
- DUTTMANN, R. & BRUNOTTE, J.** (2001): Bodenfeuchte als Steuergröße der Bodenerosion. *Geographische Rundschau, Heft 5*: 23-28
- EBERLE, J., EITEL, B., BLÜMEL, W.D., WITTMANN, P.** (2017): *Deutschlands Süden – vom Erdmittelalter zur Gegenwart*. Springer: 198 S.
- EFFENBERGER, E.** (1959): Untersuchungen über die Maßgenauigkeit der Staubniederschlagsmessung durch Haftfolien. *Staub, Bd. 19 (2)*: 313-319.
- EGLI, M., MIRABELLA, A., SARTORI, G., ZANELLI R., BISCHOF, S.** (2006): Effect of north and south exposure on weathering rates and clay mineral formation in alpine soils. *Catena, Vol 76(3)*: 145-204.
- ELLENBERG, H., WEBER, H.E., DÜLL, R., WIRTH, V., WERNER, W., PAULIßEN, D.** (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta geobotanika, 2.* verbesserte und erweiterte Auflage. Göttingen: 258 S.
- ELLENBERG, H. & LEUSCHNER, C.** (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 6. Auflage, *Stuttgart*: 1357 S.
- EHRLER, C. & SCHAPER, J.** (1997): Analyse von Ausaperungsmustern der saisonalen Schneedecke mit Fernerkundungsmethoden. *Geographica Helvetica(1)*: 11-20.
- EXEL, T.** (2014): Abschätzung des Wasserspeichervermögens der Bodenzone und des Epikarst am Hochschwabplateau. *Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien*: 86 S.
- FAIMON, J., LICBINSKÁ, M. & ZAJÍCEK, P.** (2012): Relationship between carbon dioxide in Balcarka Cave and adjacent soils in the Moravian Karst region of the Czech Republic. *International Journal of Speleology, Vol. 41 (1)*: 17-28.
- FAIRCHILD, I.J. & MC MILLAN E.A.** (2006): Speleothems as indicators of wet and dry periods. *International Journal of Speleology, 36 (2)*: 69-74.
- FELIX, R., JOHANNES, B.** (1995): Bodenerosionsuntersuchungen auf Testparzellen im Kalkhochgebirge. *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft, 137. Jb.*: 76-92.
- FIELD, M.** (2010): Simulating drainage from a flooded sinkhole. *Acta Carsologica 39/2*: 361-378.
- FINK, J.** (1968): Salzburgs Böden im Spiegel ihrer Genese. –Beitrag zur Stadt- und Landeskunde von Salzburg. *Österreichische Geographische Gesellschaft. Wien*: 31-45.
- FINK, M.H** (1976): Zum Stand der phänomenologischen und typologischen Karstforschung. *Mitteilung Österreichische Geographische Gesellschaft, Bd. 118, Wien*: 211-236.
- FIOL, L., FORNÓS, J.J., GELABERT, B. & GUIJARRO, J.A.** (2005): Dust rains in Mallorca (Western Mediterranean): Their occurrence and role in some recent geological processes. *Catena, Vol. 63*: 64-84.
- FISCHER, K.** (2005): Geomorphologie der Berchtesgadener Alpen. Forschungsbericht 50 Nationalparkverwaltung Berchtesgaden (Hrsg.), Berchtesgaden: 171 S.

- FONTES, D.E., MILLS, A.L., HORNBERGER, G.M. & HERMAN, J.S.** (1991): Physical and chemical factors influencing transport of microorganisms through porous media. *Applied and Environmental Microbiology*, 57 (9): 2473-2481.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W.** (1989): Karst Geomorphology and Hydrology. *Unwin Hyman Ltd., Winchester, Massachusetts*: 320 S.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W.** (2007): Karst Hydrogeology and Geomorphology. *Chichester, Wiley*: 576 S.
- FORNÓS, J.J., GINÉS, J. & GRÀCIA, F.** (2009): Present-day sedimentary facies in the coastal karst caves of Mallorca island (western Mediterranean). *Journal of Cave and Karst Studies*, Vol. 71, no.1: 86-99.
- FRISCH, W., KUHLEMANN, J., DUNKL, I., SZÉKELY, B., VENNEMANN, T. & RETTENBACHER, A.** (2002): Dachstein-Altfläche, Augenstein-Formation und Höhlenentwicklung - die Geschichte der letzten 35 Millionen Jahre in den zentralen Nördlichen Kalkalpen. *Die Höhle*, Jg. 53(1): 181-190.
- FUGGER, E.** (1891): Übersicht der Witterung an dem Untersberge 1889. *Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde* (31): 233-240.
- GADERMAYER, W.** (1986): Die Trübstofffracht der Fürstenbrunnerquelle. *Abschlussbericht der Trübstoffuntersuchungen des Quellwassers. Salzburger Wasserwerke*: 56 S.
- GAMS, I.** (1973): Physisch-geographische Faktoren, die das Klima der Dolinen und Poljen beeinflussen. *Beiträge zur Klimatologie, Meteorologie und Klimamorphologie. Band 3, Salzburg*: 249-264.
- GEIGER, R.** (2013): Das Klima der bodennahen Luftschicht: Ein Lehrbuch der Mikroklimatologie. *Wiesbaden*: 646 S.
- GEITNER, C.** (2007): Böden in den Alpen – ausgewählte Aspekte zur Vielfalt und Bedeutung einer wenig beachteten Resource. BORSORF, A., GRABHERR, G.: Internationale Gebirgsforschung. Wien: *Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (= IGF-Forschungsberichte, 1)*: 56-62
- GEITNER, C.** (2016): Soil classification and mapping in the Alps: the current state and future challenges. *Geoderma* 264(B): 312-331.
- GERECKE, R. & FRANZ, H.** (2006): Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. *Forschungsbericht des Nationalparks Berchtesgaden 51, Berchtesgaden*: 272 S.
- GILD, C., GEITNER, C., SANDERS, D.** (2018): Discovery of a landscape-wide drape of late-glacial aeolian silt in the western Northern Calcareous Alps (Austria): First results and implications. *Geomorphology* 301: 39-52
- GILLITZER, G.** (1913): Geologischer Aufbau des Reiteralp-Gebirges im Berchtesgadener Land. *Geognostische Jahreshefte 25*, München: 161-227.
- GOLDSCHNEIDER, N., PRONK, M., ZOPFI, J.** (2010): New insights into the transport of sediments and microorganisms in karst groundwater by continuous monitoring of particle-size distribution. *Geologia Croatica*, 63(2): 137-142
- GOOSSENS, D.** (1988): Sedimentation characteristics of natural dust in the wake of symmetrical hills. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 32: 499-502
- GOUDIE, A.S. & MIDDLETON, N.J.** (2001): Sahara dust storms: Nature and consequences. *Earth-science reviews*, Vol. 56, No. 1-4: 179-204.
- GRABNER, S.** (1997): Blaugrashorstseggenrasen und Rostseggenrasen in den nördlichen Kalkalpen. *Carinthia II, Sonderheft 53*: 37-38.
- GRAČANIN, Z.** (1963): Zur Nomenklatur der Bodenhorizonte erodierter skeletthaltiger Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 101(1): 42-48.
- GRONER, U.** (1979): Untersuchungen an Höhlenlehmen des Höllochs. *Stalactite, Bd. 29, Heft 1*: 67-71.
- GRONER, U.** (1990): Verwitterung und Umlagerung von Palynomorphen in Höhlensedimenten: das Beispiel Hölloch. *Karstologia Mémoires no.2*: 51-56.
- GRUBER, F.** (1975): Untersuchungen über die Verstaubung von Hochgebirgsböden im Glocknergebiet. Unveröffentlichte Diplomarbeit Wien. Österreich.
- GRÜGER, E. & JERZ, H.** (2010): Untersuchungen einer Doline auf dem Zugspitzplatt. Ein palynologischer Beitrag zur holozänen Gletschergeschichte im Wettersteingebirge. *Quaternary Science Journal*, Vol 59, no. 1-2: 66-75.

- GÜNTHER, W., TICHY G.** (1978): Bauxitbergbau in Salzburg. *Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde* 119: 351-374.
- HÄUSELMANN, PH.** (2005): Dating of caves by cosmogenic nuclides: methods, possibilities and the Siebenhengste example (Switzerland). *Acta Carsologica* 34 (1): 43-50.
- HANNOSCHÖCK, E., BURGHARDT, W.** (1999): Erprobung eines neu entwickelten Kunstrasen-Skelettfängers (KUNSTRA) zur Ermittlung des Staubeintrages in den Boden. *Mitt. dt. bodenkdl. Ges.*, 91 (2): 1009-1012.
- HASEKE-KNAPCZYK, H.** (1988): Karst und Höhlen im Land Salzburg: Forschungsprojekt und Naturraumpotential. *Salzburger Geographische Arbeiten, Band 17*: 75-98.
- HASEKE-KNAPCZYK, H.** (1989): Der Untersberg bei Salzburg. Ö.MaB-Programm (15), *Universitätsverlag Wagner*, Innsbruck, Austria: 223 S.
- HASEKE, H.** (2005): Quellkartierung. Endbericht Band 1. *Nationalpark Gesäuse Quellprojekt 2003-2005*: 89 S.
- HASEKE, H.** (2005a): Quellmonitoring. Endbericht Band 2. *Nationalpark Gesäuse Quellprojekt 2003-2005*: 63 S.
- HASERODT, K.** (1965): Untersuchungen zur Höhen- und Altersgliederung der Karstformen in den Nördlichen Kalkalpen. *Münchener Geographische Hefte* (27): 1-114.
- HAUSBERGER, M.** (2016): Sedimentabtrag und morphodynamisches Prozessgeschehen auf der Brandfläche Hochmahdkopf (Absam/Halltal). *Master's thesis, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck*: 99 S.
- HINKELBEIN, K., PAPANFUß, K-H., SMETTAN, H.W., UFRECHT, W. & WOLFF, G.** (1991): Zum Alter der Höhlenlehme der 3. Lehmwand in der Frankensteiner Höhle (7422/02) bei Urach, Schwäbische Alb. *Laichinger Höhlenfreund, Bd. 26, Heft 1*:17-28.
- HITZ, C., EGLI, M., FITZE, P.** (2002): Determination of the sampling volume for representative analysis of alpine soils. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 165: 326-331.
- HOINKIS, R.** (2004): Hangabtrag und Bodenerosion eines brandbeeinflussten Hanges der Arnspitzgruppe / Tirol. *Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Augsburg*: 117 S.
- HÜTTL, C.** (1999): Steuerungsfaktoren und Quantifizierung der chemischen Verwitterung auf dem Zugspitzplatt (Wettersteingebirge, Deutschland). *Münchener Geographische Abhandlungen. Reihe B, Band 30*, München: 171 S.
- ISSS-ISIC-FAO** (1998): World Reference Base for Soil Resources. *FAO, World Soil Resources Report No 84, Rome*: 88 S.
- JONES, W.K., CULVER, D.C., HERMANN, J.S. (HRSG.)** (2004): What is epikarst. In: *JONES, W.K., CULVER, D.C., HERMANN, J.S. (Hrsg.) Epikarst. Carles Town, WV: Karst Waters Institute, Special Publication 9*: 142-146.
- KIC** (KOLLMORGAN INSTRUMENTS COOPERATION) 2000: Munsell Soil Color Charts. Baltimore, USA.
- KILIAN, W., ENGLISCH, M., HERZBERGER, E., NESTROY, O., HUBER, S., PEHAMBERGER, A., WAGNER, P., NELHIEBEL, P., PECINA, E., SCHNEIDER, W.** (2002): Schlüssel zur Bestimmung der Böden Österreichs. *Mitteilung der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 67. Wien: 96 S.
- KIRCHNER, E.C. & SIMONSBERGER, P.** (1982): Nesquehonit und Hydromagnesit aus dem Salzburger Schacht des Untersberges, Salzburg. *Der Karinthin*, 87: 395-400.
- KLAPPACHER, W. & MAIS, K.** (1975): Salzburger Höhlenbuch Band 1. *Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg*: 335 S.
- KLAPPACHER, W.** (1996): Salzburger Höhlenbuch Band 6. Ergänzungsband zu den Bänden 1-5. *Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg*.
- KLIMCHOUK, A.** (1995): Karst morphogenesis in the epikarstic zone. *Cave and Karst Science, Vol. 21, No. 2*: 45-50.
- KLIMCHOUK, A.** (2004): Towards defining, delimiting and classifying epikarst: Its origin, processes and variants of geomorphic evolution. *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 2 (1)*: 1-13.
- KOHL, B., MARKART, G. & BAUER, W.** (2002): Abflussmenge und Sedimentfracht unterschiedlich genutzter Boden- und Vegetationskomplexe bei Starkregen im Sölkta/Steiermark. *BFW-Berichte Wien (127)*: 5-30.

- KONNERT, V.** (2004): Standortkarte Nationalpark Berchtesgaden. *Forschungsbericht des Nationalparks Berchtesgaden 54. Berchtesgaden*: 152 S.
- KONZ, N., BAENNINGER, D., KONZ, M., NEARING, M., ALEWELL, C.** (2009): Process identifications of soil erosions in steep mountain regions. *Hydrological Earth System Science 14*: 675-686.
- KRANJC, A.** (1989): Recent fluvial cave sediments, their origin and role in speleogenesis. *Ljubljana*: 167 S.
- KROTHER, N.C.** (2003): Groundwater flow and contaminant transport through the epikarst in two karst drainage systems, USA. *RMZ – Materials and Geoenvironment, Vol. 50, No.1*: 177-180.
- KUBIENA, W.L.** (1953): Bestimmungsbuch und Systematik. Illustriertes Hilfsbuch zur leichten Diagnose und Einordnung der wichtigsten europäischen Bodenbildungen unter Berücksichtigung ihrer gebräuchlichen Synonyme. Stuttgart.
- KÜFMANN, C.** (2003a): Erste Ergebnisse zur qualitative Untersuchung und Quantifizierung rezenter Flugstäube in den Nördlichen Kalkalpen (Wettersteingebirge). *Mitteilung Geographische Gesellschaft München, 86*: 59-84.
- KÜFMANN, C.** (2003b): Soil types and eolian dust in high mountainous karst of the Northern Calcareous Alps (Zugspitzplatt, Wetterstein Mountains, Germany). *Catena, 53*: 211-227.
- KÜFMANN, C.** (2006): Quantifizierung und klimatische Steuerung von rezenten Flugstaubeinträgen auf Schneeoberflächen in den Nördlichen Kalkalpen (Wetterstein-, Karwendelgebirge, Berchtesgadener Alpen, Deutschland). *Z.Geomorph., N.F., 50 (2)*: 245-268.
- KÜFMANN, C.** (2008a): Are cambisols in alpine karst autochthonous or eolian in origin? *Artic, Antarctic, and Alpine Research, Vol. 40, no.3*: 506-518.
- KÜFMANN, C.** (2008b): Flugstaubeintrag und Bodenbildung im Karst der Nördlichen Kalkalpen. *Forschungsbericht des Nationalparks Berchtesgaden 54. Berchtesgaden*: 189 S.
- KÜFMANN, C., MIX, C.** (2015): B-03: Karstmorphologie und Bodengenese am Untersbergplateau (Berchtesgadener Alpen). *Mitteilungen DBG (117), Göttingen*: 109-118
- LANGENSCHIEDT, E.** (1986): Höhlen und ihre Sedimente in den Berchtesgadener Alpen. Dokumente der Landschaftsentwicklung in den Nördlichen Kalkalpen. Nationalpark Berchtesgaden. Forschungsbericht 10: 93 S.
- LAWSON, T.J.** (1995): An analysis of sediments in caves in the Assynt area, North-west Scotland. *Cave and Karst Science, Vol. 22, Issue 1*: 23-30.
- LEHMANN, O** (1927): Das Tote Gebirge als Hochkarst. *Mitteilung der Geographischen Gesellschaft, Bd. 70, Wien*: 201-242.
- LEISTNER, I.** (2011): Bodenabtragsdynamik auf der Issenger-Brandfläche (Halltal/Karwendel) mittels TLS und konventionellen Methoden. *unveröffentl. Diplomarbeit, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck*: 149 S.
- LEQUY, E., CONIL, S., TURPAULT, M-P.** (2014): Complementary methods to distinguish organic and mineral matter in atmospheric particulate deposition and their respective nutrient inputs to temperate forest ecosystems. *Aeolian Research, Vol. 12*: 101-109.
- LERCH, R.N.** (2011): Contaminant transport in two central Missouri karst recharge areas. *Journal of Cave and Karst Studies, Vol. 73, no. 2*: 99-113.
- LOOP, C.M. & WHITE, W.B.** (2001): A conceptual model for DNAPL transport in karst ground water basins. *Ground Water, Vol. 39*: 119-127.
- LÜER B., BÖHMER, A.** (2000): Vergleich zwischen Perkolation und Extraktion mit 1 M NH₄Cl-Lösung zur Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) im Boden. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science Vol. 163 (5)*: 555-557.
- LYNCH, F.L., MAHLER, B.J. & HAUWERT, N.N.** (2007): Provenance of suspended sediments discharged from a karst aquifer determined by clay mineralogy. In: *SASOWSKY, I.D.; MYLROIE, J.E. (Hrsg.) Studies of cave sediments. Physical and Chemical Records of Paleoclimate. New York*: 83-93.
- MAHLER, B.J., LYNCH, F.L. & BENNETT, P.C.** (1999): Mobile sediments in an urbanizing karst aquifer: Implications for contaminant transport. *Environ. Geol. 39*: 25-38.
- MAHLER, B.J. & LYNCH, L.** (1999a): Muddy waters: temporal variation in sediment discharging from a karst spring. *Journal of Hydrology, 214*: 165-178.

- MAHLER, B.J., PERSONNÉ, J.-C., LODS, G.F, DROGNE, C.** (2000): Transport of free and particulate-associated bacteria in karst. *Journal of Hydrology*, 238: 178-193.
- MAHLER, B.J., PERSONNÉ, J.C., LYNCH, F.L. & VAN METRE, P.C.** (2007): Sediment and sediment-associated contaminant transport through karst. In: SASOWSKY, I.D.; MYLROIE, J.E. (Hrsg.) *Studies of cave sediments. Physical and Chemical Records of Paleoclimate*. New York: 23-46.
- MARKART, G. & KOHL, B.** (1995): Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluss- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden-/Vegetationseinheiten. In: *FBVA-Berichte, Wien (89)*: 38 S.
- MARKART, G., ZANETTI, P. & KOHL, B.** (1996): Ergebnisse der Beregnungsversuche, der Bodenfeuchtemessungen, der Bestimmungen der Bestandesphytomasse und der Bodenphysikalischen Untersuchungen im Rahmen des Pilotprojektes Schesastudie – 1995/1996. In: *Forstliche Bundesversuchsanstalt Innsbruck*: 85 S.
- MARKART, G., KOHL, B., SOTIER, B., SCHAUER, T., BUNZA, G. & STERN, R.** (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0). In: *BFW-Dokumentation Wien (3)*: 83 S.
- MARKART, G., KOHL, B., SOTIER, B., SCHAUER, T., BUNZA, G. & STERN, R.** (2006): Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes bei Starkregen – Grundzüge und erste Erfahrungen. *Wiener Mitteilungen (197)*: 159-178.
- MC CAULOU, D.R., BALES, R.C. & ARNOLD, R.G.** (1995): Effect of temperature-controlled mobility on transport of bacteria and microspheres through saturated sediment. *Water Resources Research* 31 (2): 271-281.
- MCCLUNG, D.M. & SCHAEERER P.**(1999): *The avalanche handbook*, Seattle: 271 S.
- MEISSL, M., ANDERT, M., PLAN, L., GRASEMANN, B. & ROCH, K.-H.** (2006): Investigation of the epikarst zone in water catchment areas using Ground Penetrating Radar (GPR) – a feasibility study. *Geophysical Research Abstracts, Vol. 8*: 2 S.
- MERZ, A., ALEWELL, C., HILTBRUNNER, E., BÄNNINGER, D.** (2009): Plant-compositional effects on surface runoff and sediment yield in subalpine grassland. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*: 1-12.
- MEUSBURGER, K. & ALEWELL, C.,** (2008): Impacts of anthropogenic and environmental factors on the occurrence of shallow landslides in an alpine catchment (Urseren Valley, Switzerland). *Natural Hazards and Earth System Sciences*,(8): 509-520.
- MEUSBURGER, K. & ALEWELL, C.,** (2009): On the influence of temporal change on the validity of landslide susceptibility maps. *Natural Hazards and Earth System Sciences* (9): 1495-1507.
- MEUSBURGER, K., KONZ, N., SCHAUB, M., ALEWELL, C.** (2010): Soil erosion modelled with USLE and PESERA using QuickBird derived vegetation parameters in an alpine catchment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12(3): 208-215.
- MEYER, B.** (1979): Die Entcarbonatisierungsröte als bodengenetischer Teilprozeß. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.*, 28: 705-708.
- MEYER, U. & MATTHALM, T.** (2009): Die Riesending-Schachthöhle im Untersberg. *Die Höhle, Jg. 60, Heft 1*: 33-43.
- MEYER, U.** (2012): Auf der Suche nach dem Barbarossa-System im Untersberg. *Akten des 13. nationalen Kongresses für Höhlenforschung, 2012*: 68-74.
- MEYER, U.** (2015): Das Riesending im Untersberg. *AG für Höhlenforschung Bad Cannstatt* (Hrsg.): 60 S.
- MIX, C. & KÜFMANN, C.** (2011): Dolinengenese und ihre Steuerfaktoren in einem subalpinen Karstökosystem der Nördlichen Kalkalpen (Plateau Zahmer Kaiser, Österreich). *Z.Geomorph., Vol. 56 (2)*: 141-163.
- MIX, C. & KÜFMANN, C.** (2015): Sedimenttransport zwischen Dolinenkarst und Riesendingschachthöhle. *Z.Geomorph., Vol. 59(4)*: 455-475.
- MORGAN, R.** (1995): *Soil erosion and conservation. 2. Auflage*: 304 S.
- MÜCKENHAUSEN, E.** (1977): Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. – 2. Auflage. *Frankfurt am Main*: 300 S.
- MÜLLAUER, W.** (2009): Höhlensedimente im Untersberg– Projektarbeit. *Atlantis. Landesverein für Höhlenkunde Salzburg, 31*: 23-49.

- NATIONALPARK BERCHTESGADEN** (2012): Karsthydrologische Markierungen im Nationalpark Berchtesgaden. *Berchtesgaden*: 51 S.
- NESTROY, O., AUST, G., BLUM, W.E.H., ENGLISCH, M., HAGER, H., HERZBERGER, E., KILIAN, W., NELHIEBEL, P., ORTNER, G., PECINA, E., PEHAMBERGER, A., SCHNEIDER, W., WAGNER, J.** (2011): Systematische Gliederung der Böden Österreichs. Österreichische Bodensystematik 2000 in der revidierten Fassung von 2011. *Mitteilung der bodenkundlichen Gesellschaft* (79). Wien: 100 S.
- NEUMEISTER, H.** (1965): Probleme der Nördlichen Lößgrenze. *Leipziger Geogr. Beitr.*, 1965: 137-143.
- NEUWINGER, I.** (1970): Böden der subalpinen und alpinen Stufe in den Tiroler Alpen. *Mitteilung der ostalp.-dinarischen Gesellschaft für Pflanzenkunde*. 11: 135-150.
- NORMAUSSCHUSS WASSERWESEN (NAW) IM DT. INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. [Hrsg.]** (2003): Bodenbeschaffenheit – Aufschlussverfahren zur nachfolgenden Bestimmung von Element-Gesamtgehalten – Teil 1: Aufschluss mit Perchlorsäure und Flusssäure. DIN ISO 14869-1.
- OBERDORFER, E.** (1971): Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Teil I und II. 2., stark bearbeitete Auflage. Stuttgart: 311 S. (Teil I): 353 S. (Teil II).
- ÖAV** (2012): Naturkundlicher Wanderführer Untersberg. Anif, Grödig, Stadt Salzburg. 147 S.
- OERTEL, A.** (2003): Fahrtenbericht Fürstenbrunner Quelhöhle (1339 10/11). *Atlantis. Landesverein für Höhlenkunde Salzburg*, 1-2: 14-15.
- PAVUZA, R. & STUMMER, G.** (2004): Projekt Tropfsteindatierung – Höhlensedimente. Endbericht 2003-2004. *Naturhistorisches Museum Wien. Karst- und höhlenkundliche Abteilung*: 10 S.
- PÉNTEK, K., VERESS, M. & LÓCZY, D.** (2007): A morphometric classification of the solution dolines. *Z. Geomorph., Supplement, Vol. 51*: 19-30.
- PEINELT, D.** (2010): Kolowrat 20.-24.02.2010. *Atlantis. Landesverein für Höhlenkunde Salzburg* 3-4: 54-66.
- PÉCSI, M.** (1990): Loess is not just the accumulation of dust. *Quaternary International, Vol 7/8*: 1-21.
- PERRIN, J., JEANNIN, P.-J. & ZWAHLEN, F.** (2003): Epikarst storage in a karst aquifer: a conceptual model based on isotopic data, Milandre test site, Switzerland. *Journal of Hydrology, Vol. 279, Issues 1-4*: 106-124.
- PETERKNECHT, K.M.** (2011): Wachstum und Lösung an Quarzkörnern in fränkischen Höhlensedimenten in Relation zur neogenen Klimaentwicklung. *Dissertation am Department für Geowissenschaften der Universität Hamburg*: 289 S.
- PFEFFER, K.-H.** (1978): Karstmorphologie. *Darmstadt*: 131 S.
- PFEFFER, K.-H.** (2010): Karst. Entstehung – Phänomene – Nutzung. *Stuttgart*: 338 S.
- PHILLIPS, M.** (2000): Influence of snowsupporting structures on the thermal regime of the ground in alpine permafrost terrain. *Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung*, Davos: 146 S.
- PIPAN, T. & BRANCELJ, A.** (2003): Diversity and peculiarity of epikarst fauna: case study from six caves in Slovenia (Europe). *Epikarst. Karst Waters Institute Special Publication 9*: 119-126.
- PIPAN, T. & CULVER, D.C.** (2007): Copepod distribution as an indicator of epikarst system connectivity. *In: Hydrogeology Journal* (15): 817-822.
- POINTNER, P.** (2007): Entnahme und Analyse von Wasserproben im Gamslöcher-Kolowrat-Salzbürger-Schacht-Höhlensystem (Kat.Nr. 1339/1). *Atlantis. Landesverein für Höhlenkunde Salzburg*, 3-4: 13-16.
- POLYAK, V.J. & GÜVEN, N.** (2000): Clays in caves of the Guadalupe Mountains, New Mexico. *Journal of Cave and Karst Studies, Vol. 62, no. 2*: 120-126.
- PRENNER, F.** (2014): Extreme Kältepole – Klimatische Verhältnisse in Dolinen. *Pistotnik, U., Spitzbart I., Weidinger, J. (Hrsg.), Der Dachstein im Klimawandel. Gmundner Geo-Studien 5*: 1-6.
- PREY, S.** (1969): Geologische Karte der Umgebung der Stadt Salzburg. Maßstab 1:50.000, *Geologische Bundesanstalt*, Wien.
- PYE, K.** (1984): Loess. *Progress in Physical Geography*, 8: 176-217.
- REHEIS, M.C. & KIHLE, R.** (1995): Dust deposition in southern Nevada and California, 1984-1989: Relations to climate, source area and source lithology. *Journal of Geophysical Research* 100 (D5): 8893-8918.

- REISCHER, M., BICHLER, B., SPÖTL, C., HÖFER-ÖLLINGER, G., WYHLIDAL, S.** (2015): Karst hydrogeology of the Untersberg massif and its interaction with the porous aquifer in the adjacent Salzburg Basin. *Austrian Journal of Earth Sciences, Vienna, Volume 108(2)*: 68-81.
- RIEDL, H.** (1961): Grundsätzliche Bemerkungen zur feldmäßigen Untersuchung von Höhlensedimenten. *Symposium Internationale di Speleologia. Varenna, 3-6 Octobre 1960. Memoria V delle Rassegna Speleologica Italiana*: 9 S. (als Kopie des Einzelbeitrages vorliegend)
- RIEDL, H.** (1966): Neue Beiträge zum Problem Raxlandschaft – Augensteinlandschaft. *Mitteilung Österreichische Geographische Gesellschaft, Bd. 108, Wien*: 98-109
- RUTTNER, B.** (1994): Die Vegetation des Höllengebirges. *Staphia 33*: 165 S.
- SASOWSKY, I.D. & MYLROIE, J.E.** (2007): Studies of cave sediments. Physical and chemical records of Paleoclimate. New York: 340 S.
- SAURO, U., FERRARESE, F., FRANCESE, R., MIOLA, A., MOZZI, P., RONDO, G.Q., TROMBINO, L. & VALENTINI, G.** (2009): Doline fills – case study of the faverghera plateau (Venetian pre-alps, Italy). *Acta Carsologica, 38 (1)*: 51-63.
- SAUTER, M.** (1995): Die Rolle des Epikarst für den Stofftransport durch Karstgrundwasserleiter – Quantifizierung des Eintrags und numerische Modellierung. *Zeitschrift dt. geol. Gesellschaft, Bd. 147*: 263-273.
- SCHAUER, T., CASPARI, C.** (1996): Der große BLV Pflanzenführer. 7., durchgesehene Auflage. München: 463 S.
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., BRÜMMEL, G., SCHWERTMANN, U., RENGER, W.R., STREBEL, O.** (1992): *Lehrbuch der Bodenkunde*. Stuttgart: 593 S.
- SCHEIDLER, A., BOROVICZENY, F., GRAF, W., HOFMANN, T., MANDL, G.W., SCHUBERT, G., STICHLER, W., TRIMBORN, P. & KRALIK, M.** (2001): Pilotprojekt „Karstwasser Dachstein“, Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. *M-108, Archiv für Lagerstättenforschung, Geologische Bundesanstalt Wien*: 155 S.
- SCHIMMER, C.** (2009): Kurz- und langfristige Morphodynamik von Brandflächen der Nördlichen Kalkalpen. *Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Augsburg*: 139 S.
- SCHLAGER, M.** (1930): Zur Geologie des Untersberges bei Salzburg. *Verhandlungen der geologischen Bundesanstalt, Wien*: 245-255.
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. & STAHR, K.** (1995): *Bodenkundliches Praktikum*. Wien: 295 S.
- SCHMID, E.** (1958): Höhlenforschung und Sedimentanalyse. *Schriften des Institutes für Ur- und Frühgeschichte der Schweiz. Basel*: 185 S.
- SCHMIDT, J.** (1998): Modellbildung und Prognose zur Wassererosion. RICHTER, G. (Hrsg.): *Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblems*. Darmstadt: 110-121.
- SCHMIDTLEIN, S.** (2000): Aufnahme von Vegetationsmustern auf Landschaftsebene. *Nationalpark Berchtesgaden-Forschungsbericht 44. Berchtesgaden*: 137 S.
- SCHUCHARDT, A.** (1988): Zum Einfluss von Dolinen auf den Stofftransport in Karsthohlformen der Schwäbischen Alb. *Tübinger Geographische Studien, Heft 100*: 185-206.
- SCHWARTZ, B.** (2009): The Role of the Epikarst in Controlling Recharge, Water Quality and Biodiversity in Karst Aquifers: A Comparative Study between Virginia and Texas. *Abstract - Portland GSA Annual Meeting (18-21 October 2009)*.
- SCHWARZ, K.** (2010): Atmogenic pollutants as reactive tracers for identification and quantification of important transport processes in a karst area at the catchment scale. *Dissertation, Institut für Geowissenschaften der Universität Tübingen*: 125 S.
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W., KAINZ, M.** (1987): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. *Stuttgart*: 64 S.
- SKOWRONEK, A.** (2016): Terrae calcis. *Handbuch der Bodenkunde. 41. Erg. Lfg. 01/16.*: 38 S.
- SIMON, K.S., PIPAN, T. & CULVER, D.C.** (2007): A conceptual model of the flow and distribution of organic carbon in caves. *Journal of Caves and Karst Studies, 69 (2)*: 279-284.
- SIMON K.S.** (2013): Organic matter flux in the epikarst of the dorvan karst, France. *Acta carsologica, Vol. 42, No 2-3*: 237-244.

- SMITH, A.C., WYNN, P.M. & BARKER, P.A.** (2013): Natural and anthropogenic factors which influence aerosol distribution in Ingleborough Show Cave, UK. *International Journal of Speleology* 42 (1): 49-56.
- SOIL SURVEY STAFF** (2006): Keys to soil taxonomy. Washington: 339 S.
- SOLAR, F.** (1963): Zur Kenntnis der Böden auf der Raxalpe. *Mitteilung der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft* (8): 1-14.
- SOLLEIRO-REBOLLEDO, E., TERHORST, B., SEDOV, S., CABADAS-BÁEZ, H., DAMM, B., SPONHOLZ, B., WIESBECK, C.,** (2015): The influence of Mayan land use on soils and pedosediments in karstic depressions in Yucatán, Mexico. In: LUCKE, B., BÄUMLER, R., SCHMIDT, M.: Soils, Paleosols and Sediments in the Subtropics as Archives of Environmental Change, *Erlanger Geographische Arbeiten* 42: 233-266.
- SOUZA-SILVA, M., FERREIRA DE OLIVEIRA BERNARDI, L., PARENTONI MARTINS, R. & LOPES FERREIRA, R.** (2012): Transport and consumption of organic detritus in a neotropical limestone cave. *Acta Carsologica* 41 (1): 139-150.
- SPÖTL, C.** (2004): Das Untertagelabor in den Obir-Höhlen. *Die Höhle*, 55. Jg, Heft 1-4: 34-42.
- SPÖTL, C., ZAGLER, G., BAUER, K., MANGINI, A. & BIENIOK, A.** (2012): Fledermausfunde aus dem Gamslöcher-Kolowrat-Salzburgerschacht-System (1339/1) des Untersbergs bei Salzburg. *Die Höhle*, Jg. 63, Heft 1-4: 32-37.
- SPÖTL, C., PLAN, L., CHRISTIAN, E.** (2016): Höhlen und Karst in Österreich. Linz (Oberösterreichisches Landesmuseum): 752 S.
- STAHR, A.** (2000): Zur Differenzierung periglazialer Deckschichten der montanen und subalpinen Höhenstufe in den Berchtesgadener Alpen. *Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten*, D26: 155-172
- STAUDINGER, M.** (HRSG.): Klimatographie von Salzburg 1961-1990, Band 1. *Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik*: 263 S.
- STEINACKER, R., DORNINGER, M., POSPICAL, B., EISENBACH, S., HOLZER, A.M., WHITEMANN, C.D., WEIHS, P., MUSCH-RADLGRUBER, E., BAUMANN, K.** (2007): A sinkhole Field Experiment in the Eastern Alps. – Department of Meteorology and Geophysics, University of Vienna, Austria. *Bulletin of American Meteorological Society*: 701 –716.
- STRASSER, W.** (2015): Bergkristalle in Höhlensedimenten der Salzburger Kalkalpen. *Die Höhle*, Jg.66, Heft 1-4: 96-107.
- ŠUŠTERŠIČ, F.** (2006): A power function model for the basic geometry of solution dolines: considerations from the classical karst of south-central Slovenia. *Earth Surface Processes and Landforms*, Jg. 31: 293-302.
- SWEETING, M.M.** (1972): Karst Landforms. *Oxford*: 362 S.
- THORN, C.E. & DARMODY, R.G.** (1980): Contemporary eolian sediments in the alpine zone, Colorado Front Range. *Physical Geography*, Vol. 1: 162-171.
- TRAPPE, M.** (2010): Classification and relations of clastic karst deposits in the Franconian Alb. *Z. Geomorph.*, Vol. 55, Suppl. 3: 339-355.
- TRIMMEL, H.** (1958): Das Problem der Untersuchung von Höhlensedimenten. *Höhlenkundliche Mitteilungen* (1).
- UNGERSBÖCK, M., AUER, I., OHMS, A.** (2002): Klimatographie von Salzburg. Kapitel 5 Niederschlag. In: AUER, I., BÖHM, R., DOBESCH, H., HOFINGER, S., KOCH, E., MOHNL, H., NIEDERMOSER, B., OHMS, A., POTZMANN, R., SCHEIFINGER, H., STAUDINGER, M., UNGERSBOCK, M. (Hrsg): *Klimatographie von Salzburg, Salzburg*: 116 S.
- VANMAERCKE-GOTTIGNY, M.C.** (1981): Some geomorphological implications of the cryoaeolian deposits in Western Belgium. *Biuletyn Peryglacjalny*, 28: 103-114.
- VEIT, H.** (2002): Die Alpen – Geoökologie und Landschaftsentwicklung. Stuttgart: 352 S.
- VEIT, H., MAILÄNDER, R., VONLANTHEN, C.** (2002): Periglaziale Deckschichten im Alpenraum: Bodenkundliche und landschaftsgeschichtliche Bedeutung. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 146(4): 6-14.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE** (1971): Bestimmung des partikelförmigen Niederschlags mit dem Bergerhoffgerät (Standardverfahren). VDI 2119, Blatt 2, *VDI-Verlag*, Düsseldorf.
- VESPER, D.J. & WHITE, W.B.** (2003): Metal transport to karst springs during storm flow: An example from Fort Campbell, Kentucky/Tennessee, USA. *Journal of Hydrology*, Vol. 276: 20-36.

- VOUILLAMOZ, J.-M., LEGCHENKO, A., ALBOUY, Y., BAKALOWICZ, M., BALTASSAT, J.M. & AL-FARES, W.** (2003): Localization of Saturated Karst Aquifer with Magnetic Resonance Sounding and Resistivity Imagery. *Groundwater*, Vol. 41, no. 5: 578-586.
- WAGNER, T.** (2011): Datierung fluviatiler Höhlensedimente mittels kosmogener Nuklide am Beispiel des Grazer Berglandes. *Die Höhle*, 62 (1): 3-14.
- WALLENTIN, G.** (2012): Durchstieg Windlöcher-Klingerschacht. *Atlantis. Landesverein für Höhlenkunde Salzburg*, Heft 1-2: 4 S.
- WEINGARTNER, H.** (1983): Geomorphologische Studien im Tennengebirge, Salzburg. *Arbeiten aus dem Institut f. Geographie, Universität Salzburg (9), Salzburg*: 195 S.
- WHITE, W.B.** (2007): Cave sediments and paleoclimate. *Journal of Cave and Karst Sediments*, Vol. 69, no. 1: 76-93.
- WEIGAND, E., PELIKAN, U., RATSCHAU, C., SCHEDER, C.** (2002): Gewässerökologische Bewertung des Einflusses von Alm- und Forstwirtschaft auf Karstquellen im Nationalpark Kalkalpen (Österreich). *Revue de Géographic Alpine* 2: 103-115.
- WIEGAND, C. & GEITNER, C.** (2010): Flachgründiger Abtrag auf Wiesen- und Weideflächen in den Alpen (Blaiken). Wissensstand, Datenbasis und Forschungsbedarf. *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft, Band 2*: 130-162.
- WIEGAND, C. & GEITNER, C.** (2010a): Shallow erosion in grassland areas in the Alps. What we know and what we need to investigate further. *Challenges for mountain regions*: 76-85.
- WIEGAND, C., KRINGER, K., GEITNER, C. & RUTZINGER, M.** (2013): Regolith structure analysis -A contribution to understanding the local occurrence of shallow landslides (Austrian Tyrol). *Geomorphology*, Vol. 183: 5-13.
- WILLIAMS, P.W.** (1983): The role of the subcutaneous zone in karst hydrology. *Journal of Hydrology*, 61: 45-67.
- WILLIAMS, P.W.** (1985): Subcutaneous hydrology and the development of doline and cockpit karst. *Z.Geomorph.*, 29 (4): 463-482.
- WILLIAMS, P.W.** (1993): Climatological and geological factors controlling the development of polygonal karst. *Z.Geomorph., Suppl.-Bd. 93*: 159-173.
- WILLIAMS, P.W.** (2003): The Epikarst: Evolution of Understanding. *Epikarst. Karst Waters Institute Special Publication 9*: 8-16.
- WILLIAMS, P.W.** (2008): The role of the epikarst in karst and cave hydrology: a review. *International Journal of Speleology*, 37 (1): 1-10.
- ZAGLER, G.** (2006): Altes und Aktuelles vom Untersberg. Gamslöcher-Kolowrat-Salzburgerschacht-Höhlensystem (1339/1) 2006-2009. *Atlantis. Landesverein für Höhlenkunde Salzburg 1-2*: 3-17.
- ZAGLER, G.** (2013): Übersicht der geologischen und hydrologischen Forschungen am Untersberg bei Salzburg (1339). *Atlantis. Landesverein für Höhlenkunde Salzburg 1-2*: 1-6.
- ZAGLER, G.** (2016): Untersberg. In: SPÖTL, C., PLAN, L., ERHARD, C. (Hrsg.) *Höhlen und Karst in Österreich*. Linz (Oberösterreichisches Landesmuseum): 541-552.
- ZEHENTNER, G., ZAGLER, G. & KLAPPACHER, W.** (2006): Das Gamslöcher-Kolowrat-Salzburgerschacht-System (1339/1). *Die Höhle*, 57 (1-4): 90-102.
- ZEHENTNER, G.** (2010): Das Gamslöcher-Kolowrat-Höhlensystem (1339/1) am Untersberg, Forschungsergebnisse 2006-2010. *Die Höhle*, 61 (1-4): 102-108.
- ZÖTTL, H.** (1965): Zur Entwicklung der Rendzinen in der subalpinen Stufe I und II. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 110: 109-126.
- ZUPAN HAJNA, N., MIHEVC, A., PRUNER, P., BOSÁK, P.** (2010): Palaeomagnetic research on the karst sediments in Slovenia. *International Journal of Speleology*, Vol 39 (2): 47-60.
- ZWITTKOVITS, F.** (1966): Klimabedingte Karstformen in den Alpen, den Dinariden und im Taunus. *Mitteilung der österreichischen Gesellschaft*, 108 (1): 572-597.

Internetquellen:

Intquel. 1:

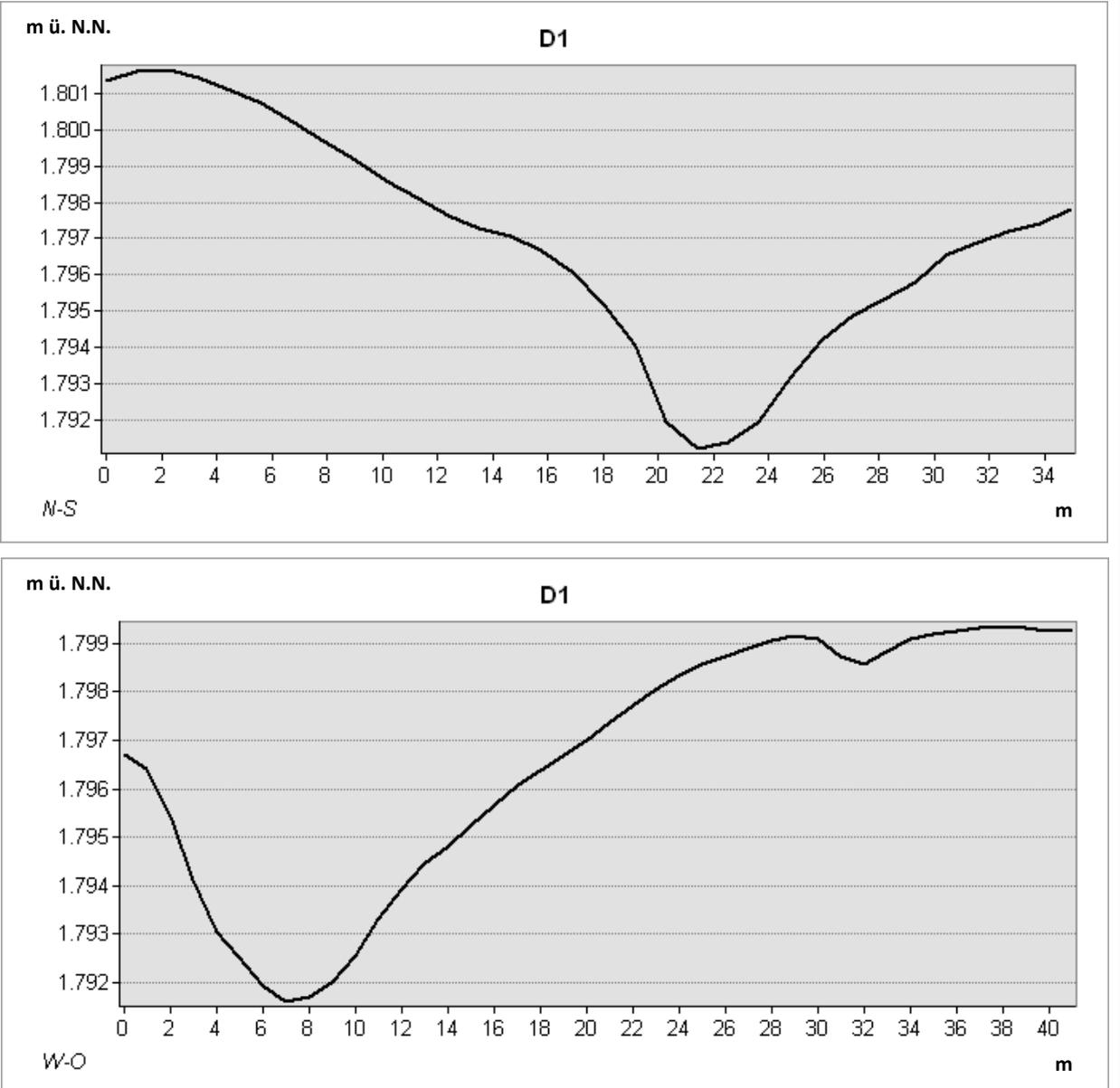
<https://www.salzburg-ag.at/service/faq/waerme-wasser/wasser.html> (Stand: 27.2.2017)

Intquel. 2:

https://www.meteoblue.com/de/wetter/vorhersage/modelclimate/untersberg_%C3%96sterreich_2818796 (Stand: 31.03.2017)

9. Anhang

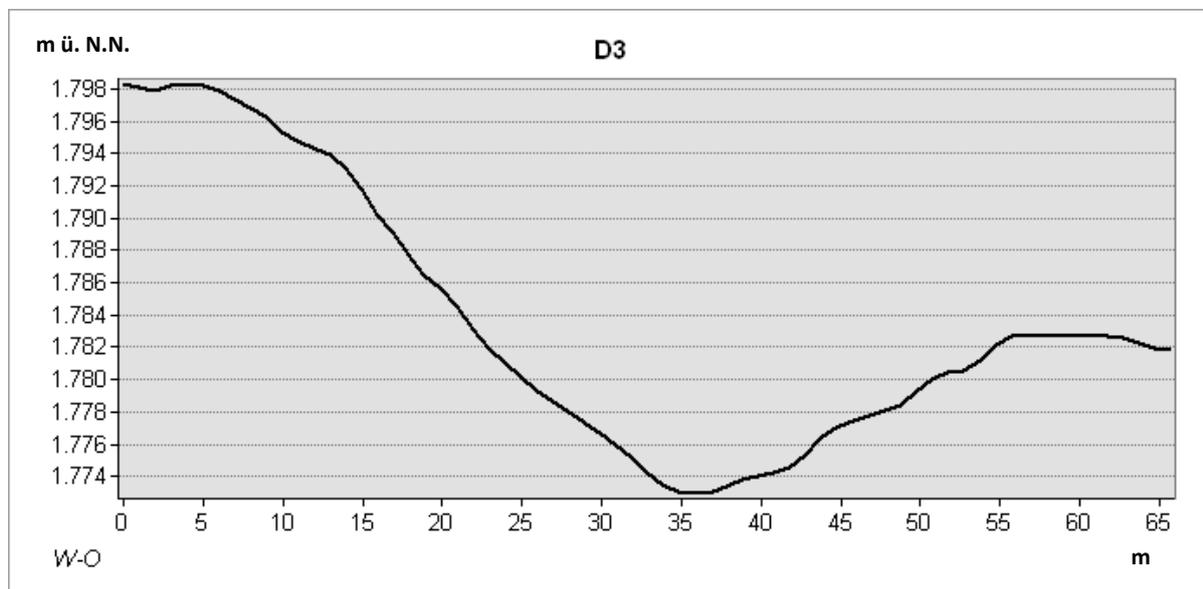
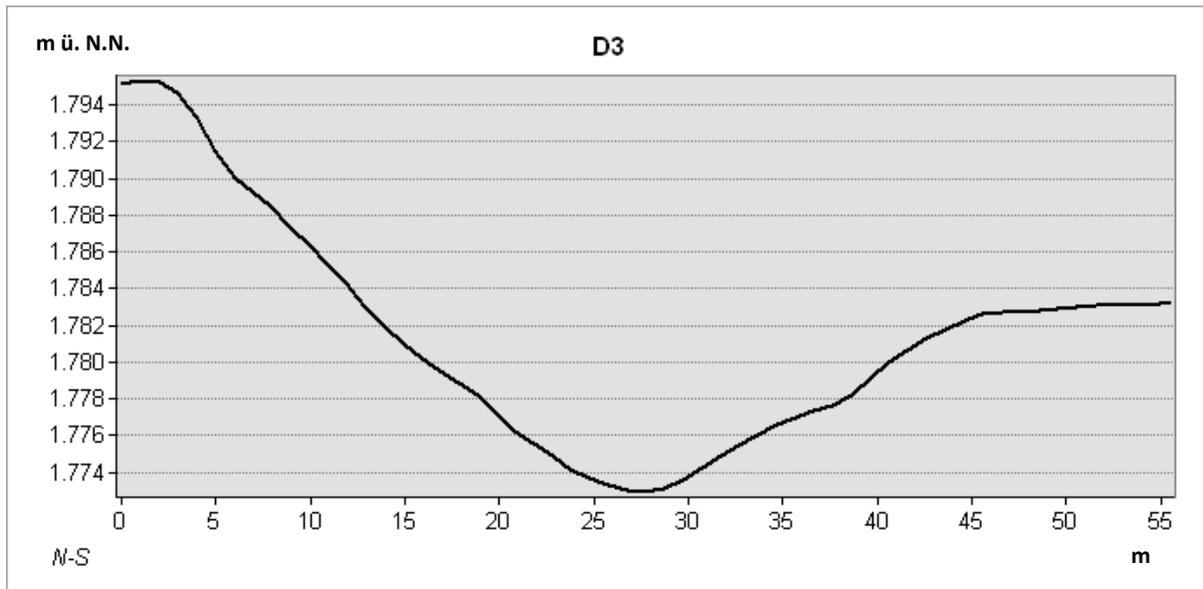
9.1 Dolinenbeschreibung

Bezeichnung: D1	Typ: Dolinen-Schacht-Komplex
Koordinaten: N: 47°42,951' E: 13°00,139'	
Lage und Relief: an ebenen Flächenrest angrenzend, im Norden und Osten umrahmt von Schichtköpfen, in Nachbarschaft gleicher Dolinentyp (D6) mit ähnlichen Charaktermerkmalen, Übergang durch geringmächtigen Sattel	
Peripherie: alpiner Rasen dominiert, <i>Mugetum</i> an Rändern durch Felspartien und alpine Rasengesellschaften aufgelockert, offene Geländesituation	
Länge/Breite/Tiefe ¹ : 32m/26m/9m	
Neigung der Hänge ² : 32° (N), 25° (S), 54° (E), 19,7° (W)	
Charakterbeschreibung: steile, schroffe Felspartien im Kontrast mit dichtem Rasenbewuchs	
Schnittlinien:	
 <p>The figure contains two cross-section diagrams of doline D1. The top diagram is a North-South (N-S) profile, showing a U-shaped depression with a minimum depth of 1.792 m ü. N.N. at the center. The profile starts at 1.801 m ü. N.N. at 0m, reaches a peak of 1.801 m ü. N.N. at 2m, and then descends to the minimum at 22m, before rising to 1.798 m ü. N.N. at 34m. The bottom diagram is a West-East (W-O) profile, showing a U-shaped depression with a minimum depth of 1.792 m ü. N.N. at the center. The profile starts at 1.797 m ü. N.N. at 0m, reaches a peak of 1.797 m ü. N.N. at 2m, and then descends to the minimum at 8m, before rising to 1.799 m ü. N.N. at 40m.</p>	
¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert	
² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenformnicht berücksichtigt	

Bezeichnung: D2	Typ: Dolinen-Schacht-Komplex
Koordinaten: N: 47°42,930' E: 13°00,143'	
Lage und Relief: zwischen D1 und dem nord-nordostexponierten Abhang des Großen Heubergkopfes (Schichtkopf, 1836m ü.NN), in den Hang zwischen latschenbewachsenen Kuppen eingebettet, dadurch Abgrenzungsschwierigkeiten von Gelände- und Dolinenhang; ein geringmächtiger Sattel trennt die Doline in zwei Senken auf, der nördliche davon wurde beprobt	
Peripherie: <i>Mugetum</i> -Bewuchs und Felspartien	
Länge/Breite/Tiefe ¹ : 44m/30m/15m	
Neigung der Hänge ² : 42,9° (N), 36,8° (S), 32° (E), 38,6° (W)	
Charakterbeschreibung: <i>Mugetum</i> -Dickicht und Felspartien im Wechsel, Felsschutt im Dolinentiefsten	
Schnittlinien:	
<p>m ü. N.N. D2</p> <p>1.806 1.804 1.802 1.800 1.798 1.796 1.794 1.792 1.790</p> <p>0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30</p> <p>N-S m</p>	
<p>m ü. N.N. D2</p> <p>1.804 1.802 1.800 1.798 1.796 1.794 1.792 1.790</p> <p>0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44</p> <p>W-O m</p>	
¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert ² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt	

Bezeichnung: D3	Typ: Trichterdoline
Koordinaten: N: 47°42,919' E: 13°00,070'	
Lage und Relief: zwischen Kuppen und Resten von Schichtköpfen eingebettet, im Südosten über einen Sattel mit D4 verbunden; Nordwesthang dadurch stark verkürzt	
Peripherie: offene Dolinensituation, Kuppen vereinzelt mit Bergkiefern (<i>Pinus mugo</i>) besetzt	
Länge/Breite/Tiefe ¹ : 50m/45m/26m	
Neigung der Hänge ² : 27° (N), 39° (S), 39,2° (E), 26,5° (W)	
Charakterbeschreibung: regelmäßiger Typus, Felsschutt im Dolinentiefsten	

Schnittlinien:



¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert

² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt

Bezeichnung: D4	Typ: Trichterdoline
Koordinaten: N: 47°42,905' E: 13°00,099'	
Lage und Relief: südöstlich von D3 gelegen, Nord- und Westhänge stellen Abhänge des Großen Heubergkopfes (Schichtkopf, 1836m ü.NN) dar, dadurch erneut Abgrenzungsschwierigkeiten von Geländehang und Dolinenhang	
Peripherie: <i>Mugetum</i> dominiert, offene Geländesituation	
Länge/Breite/Tiefe ¹ : 105m/90m/37m	
Neigung der Hänge ² : 40,3° (N), 39,6° (S), 35,3° (E), 35,7° (W)	
Charakterbeschreibung: zentrale Doline des unmittelbaren Gebietes, regelmäßiger Typus, alpine Rasengesellschaften kleiden die Hänge aus, Bodensubstrat führt zu ebener Fläche im Dolinentiefsten	
Schnittlinien:	
<p>¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert</p> <p>² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt</p>	

Bezeichnung: D5 | Typ: Muldendoline

Koordinaten: N: 47°42,940' E: 13°00,151'

Lage und Relief: Mulde im Unterhang eines Schichtkopfes im Übergang zur Verebnung, zwischen D1 und D2 vermittelnd

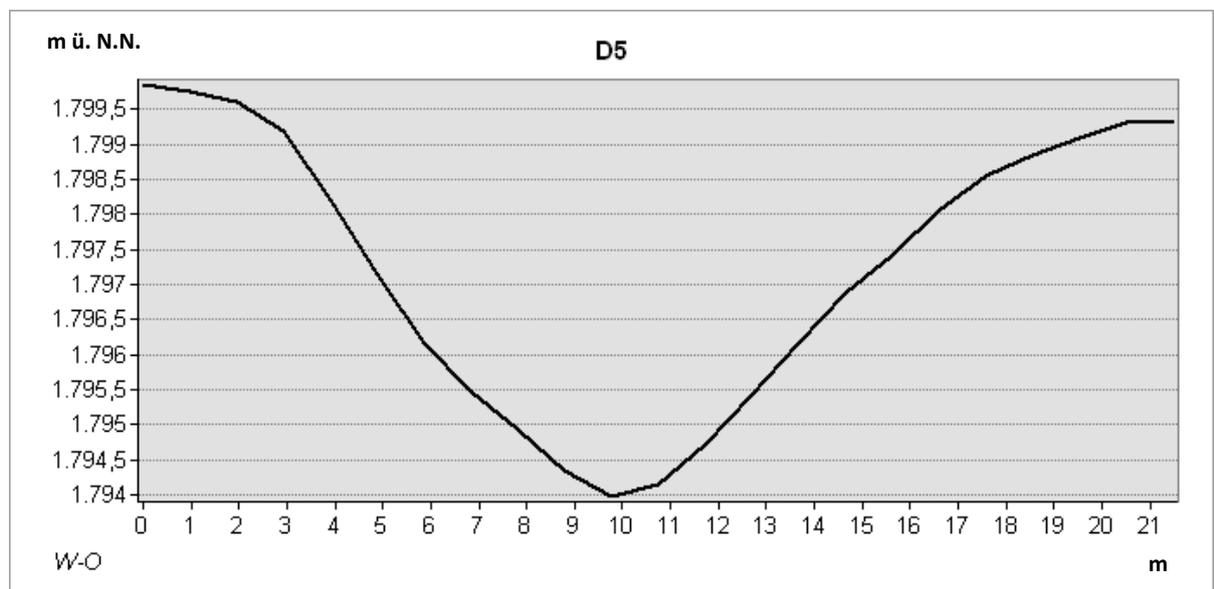
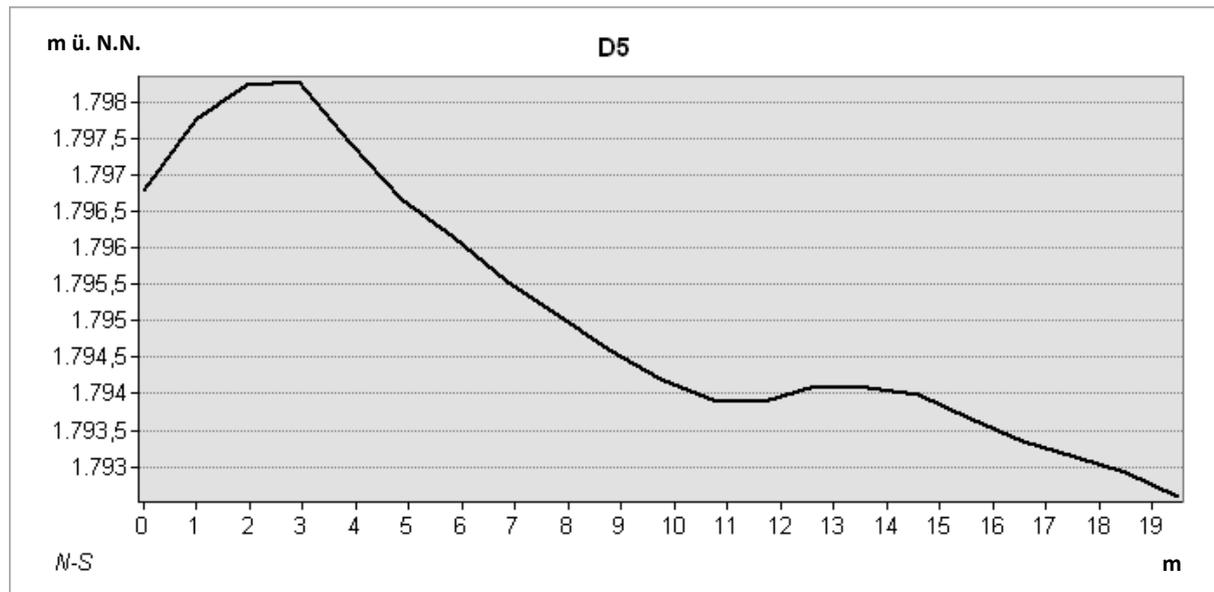
Peripherie: dichter *Mugetum*-Bewuchs

Länge/Breite/Tiefe¹: 20m/11m/5,5m

Neigung der Hänge²: 40° (N), 29,2° (S), 30,96° (E), 28,8° (W)

Charakterbeschreibung: muldenförmige Doline mit alpinen Rasengesellschaften ausgekleidet, steiniger Charakter fehlt völlig

Schnittlinien:



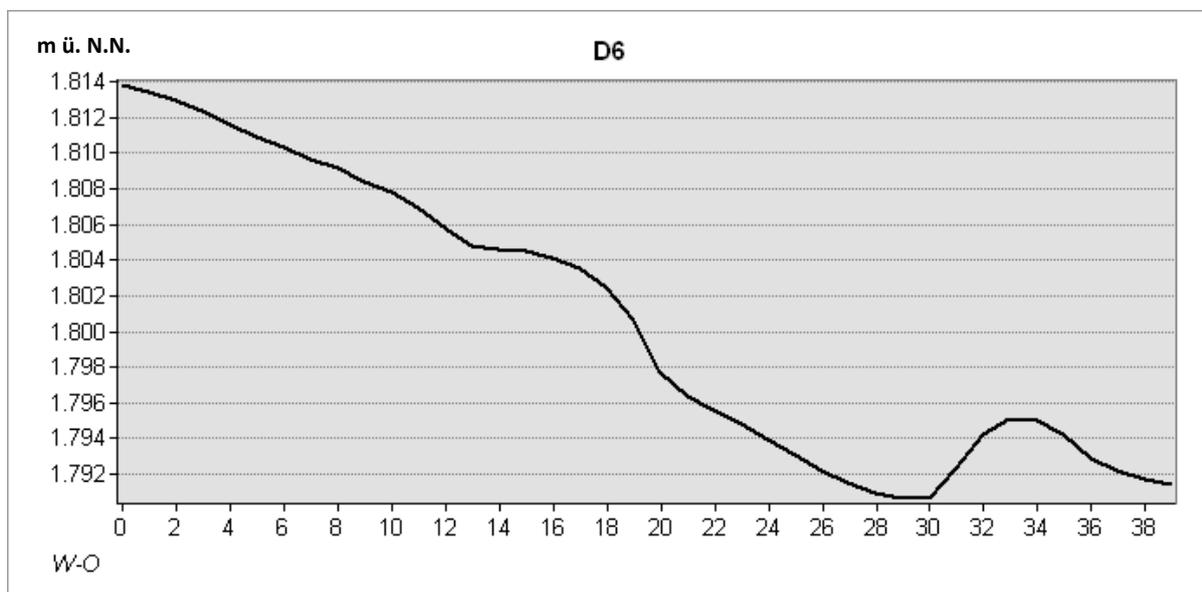
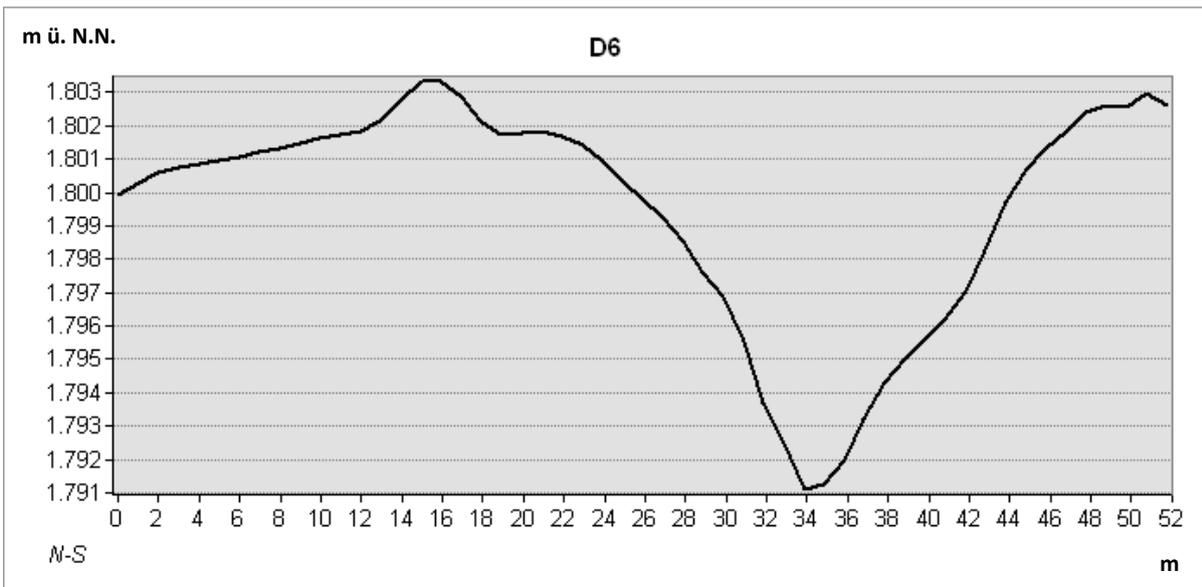
Bemerkung: Darstellung stark überhöht

¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert

² Durchschnittswerte des Gesamtanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt

Bezeichnung: D6	Typ: Trichterdoline
Koordinaten: N: 47°42,709' E: 13°00,258'	
Lage und Relief: Nachbardoline von D1, umrahmt von Schichtköpfen und Flächenrest	
Peripherie: <i>Mugetum</i> im Wechsel mit alpinen Rasengesellschaften, offene Geländesituation	
Länge/Breite/Tiefe ¹ : 34m/16m/12m	
Neigung der Hänge ² : 46,12° (N), 46, 39° (S), 23,26° (E), 51,34° (W)	
Charakterbeschreibung: steinig, felsig, stark gestufte Hänge mit steilen Partien (>70°)	

Schnittlinien:



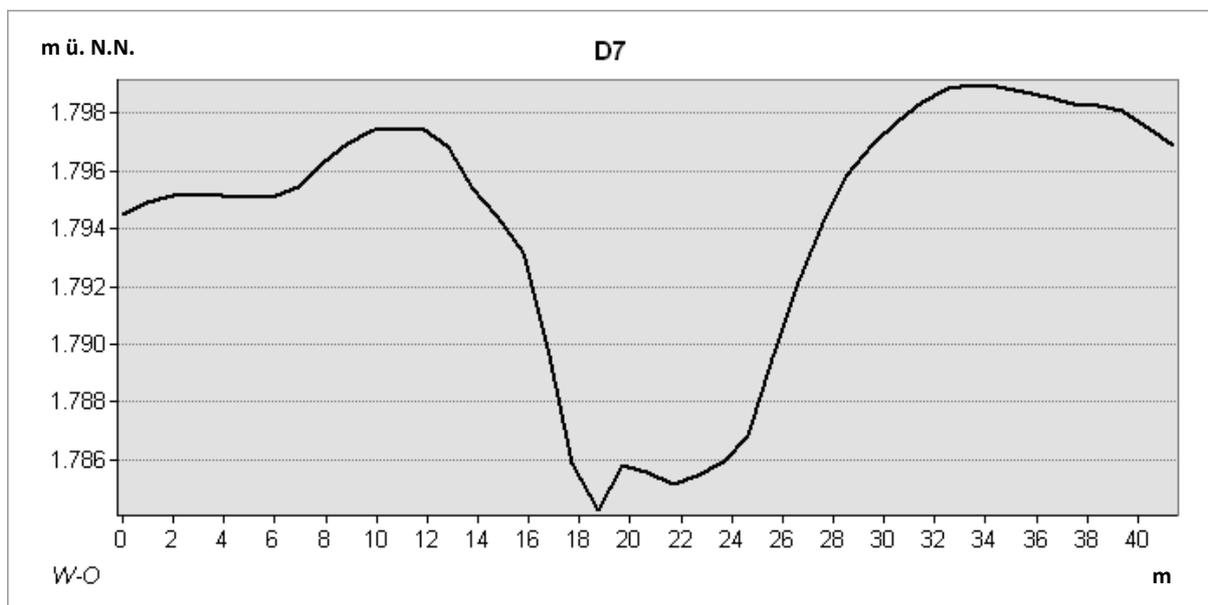
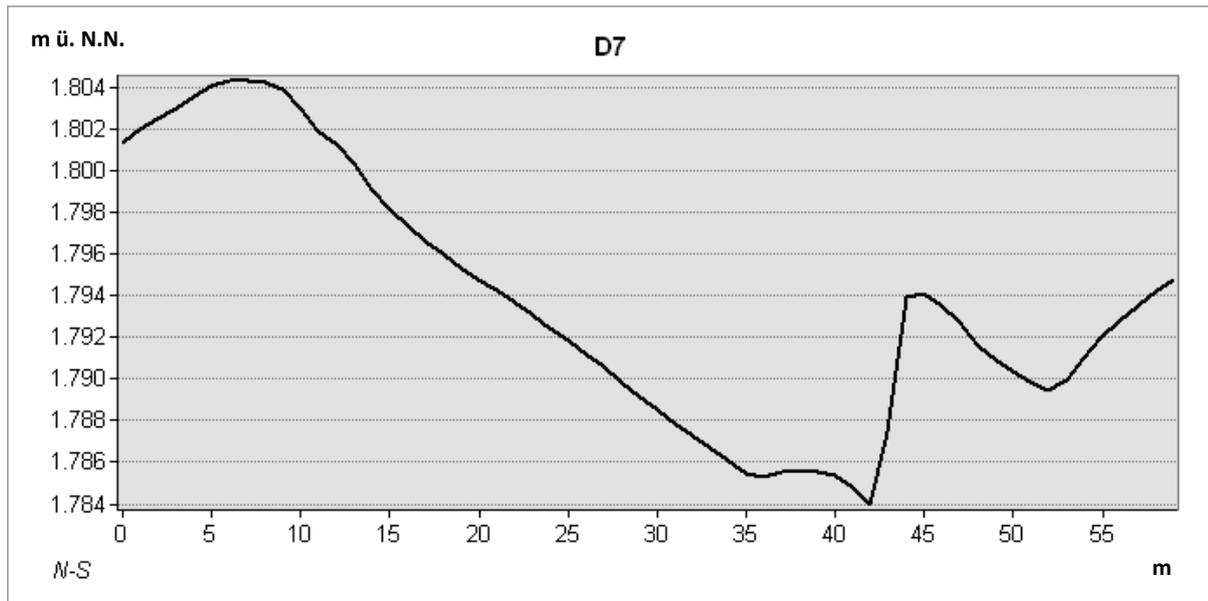
¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert

² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt

m

Bezeichnung: D7	Typ: Dolinen-Schacht-Komplex
Koordinaten: N: 47°42, 997' E: 13°00,557'	
Lage und Relief: Oberhang im Schichtkopfkarrst	
Peripherie: alpine Rasenvegetation im Wechsel mit Bergkiefern, lockerer Bewuchs, offene Geländesituation	
Länge/Breite/Tiefe ¹ : 38m/22m/12m	
Neigung der Hänge ² : 78,69° (N), 25,17° (S), 29,18° (E), 53,67° (W)	
Charakterbeschreibung: felsig, steinig; schroffe, sehr steile Hangpartien (>78°)	

Schnittlinien:



¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert

² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt

Bezeichnung: D8	Typ: Dolinen-Schacht-Komplex
Koordinaten: N: 47°42,684' E: 13° 00,378'	
Lage und Relief: Oberhang Schichtkopf im Übergang zu den östlichen Randabstürzen	
Peripherie: offene Geländesituation, <i>Mugetum</i> – Bewuchs ausschließlich an den Randbereichen	
Länge/Breite/Tiefe ¹ : 41m/21m/8m	
Neigung der Hänge ² : 26,56° (N), 27,47° (S), 23,26° (E), 40,36° (W)	
Charakterbeschreibung: großräumige Doline, Schachtcharakter tritt durch geringmächtigen Steilbereich in den Hintergrund	
Schnittlinien:	
<p>Bemerkung: N-S Darstellung stark überhöht</p> <p>¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert</p> <p>² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt</p>	

Bezeichnung: D9

Typ: Trichterdoline

Koordinaten: N: 47°43,003' E: 13°00,588'

Lage und Relief: Oberhang Schichtkopf im Übergang zu den östlichen Randabstürzen

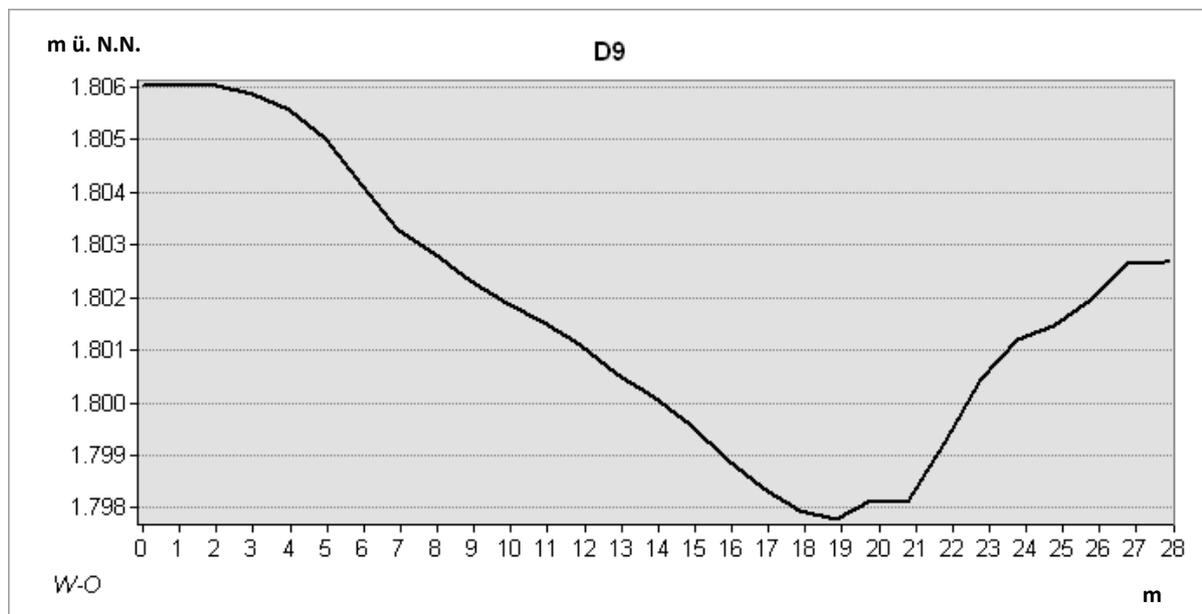
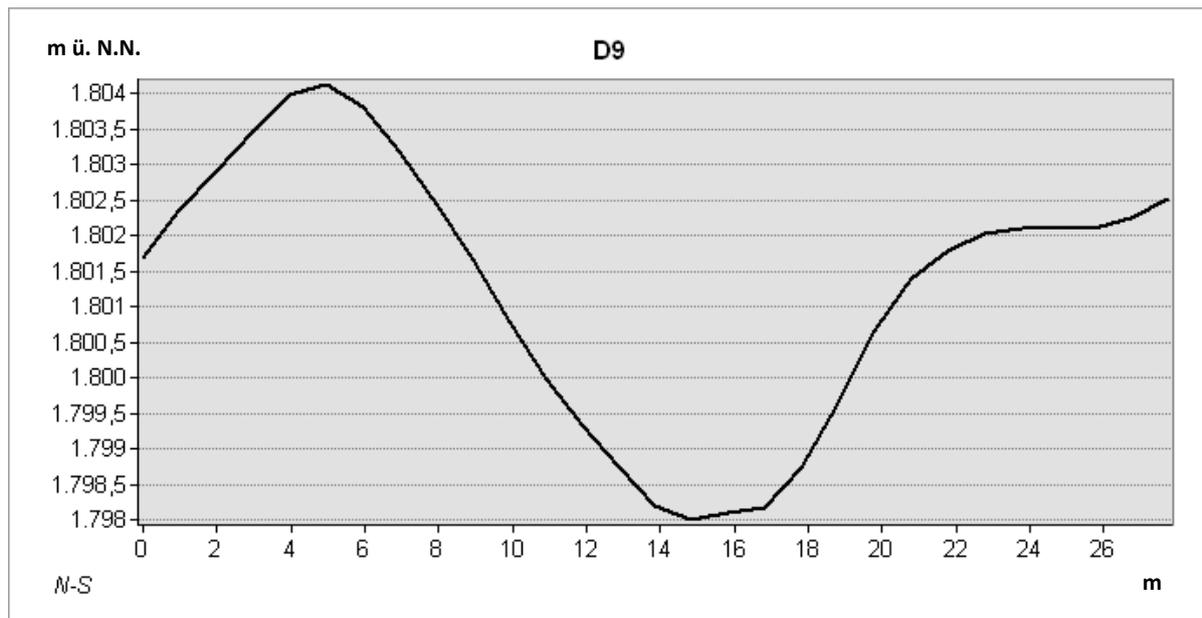
Peripherie: offene Geländesituation, *Mugetum* - Bewuchs dominant an angrenzenden Hängen und Kuppen

Länge/Breite/Tiefe¹: 17m/15m/7m

Neigung der Hänge²: 33,42° (N), 30,96° (S), 22,78° (E), 32° (W)

Charakterbeschreibung: mit alpinen Rasengesellschaften ausgekleidete Normdoline, durch Position im Abhang unterschiedliche Hanglängen

Schnittlinie:



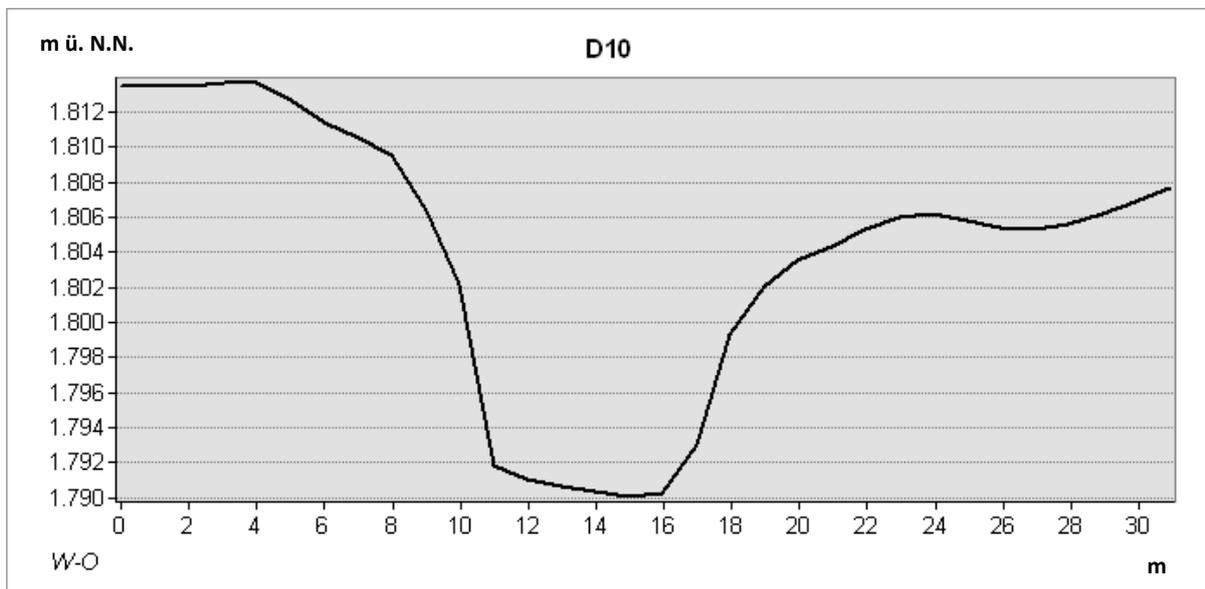
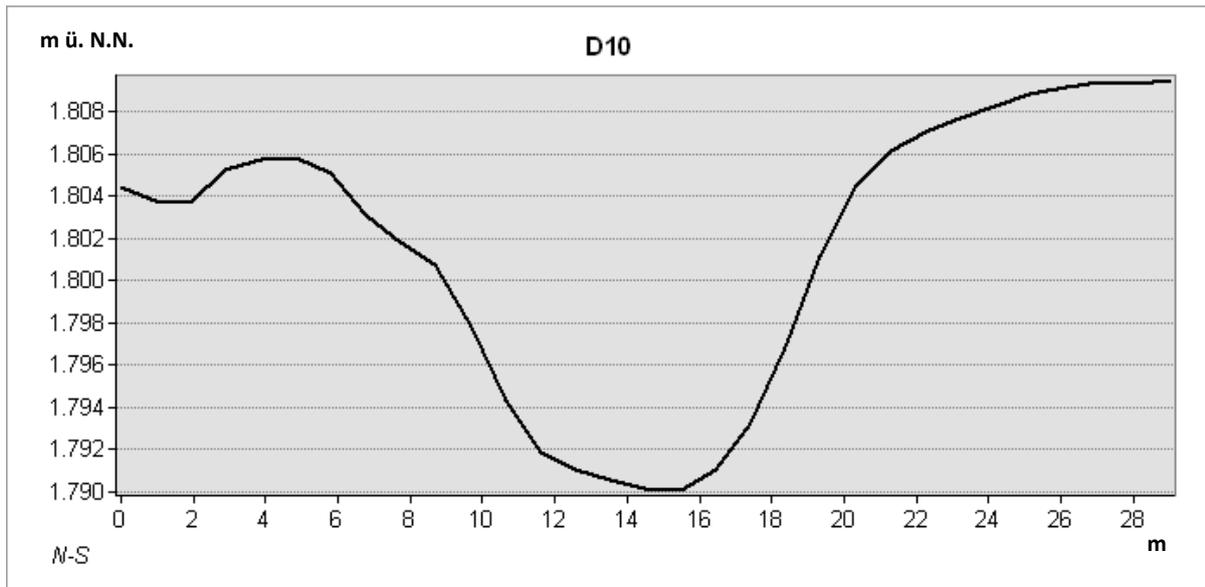
Bemerkung: Darstellung stark überhöht

¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert

² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt

Bezeichnung: D10	Typ: Schacht
Koordinaten: N: 47°42,710' E: 13°00,368'	
Lage und Relief: im Sattelbereich zwischen Hangausläufern von umliegenden Schichtköpfen	
Peripherie: dichter <i>Mugetum</i> -Bewuchs der umliegenden Hänge, stark abgeschirmt	
Länge/Breite/Tiefe ¹ :17m/17m/14m	
Neigung der Hänge ² : 68,19° (N), 60,25° (S), 83,65° (E), 74° (W)	
Charakterbeschreibung: steinig, felsig; im Übergang zur Geländeoberkante Neigungswechsel und dadurch Öffnung und Erweiterung der Karstform	

Schnittlinien:



¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert

² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt

Bezeichnung: D11

Typ: Schacht

Koordinaten: N: 47°42,727' E: 13°00,357'

Lage und Relief: Sattellage zwischen Randkuppen

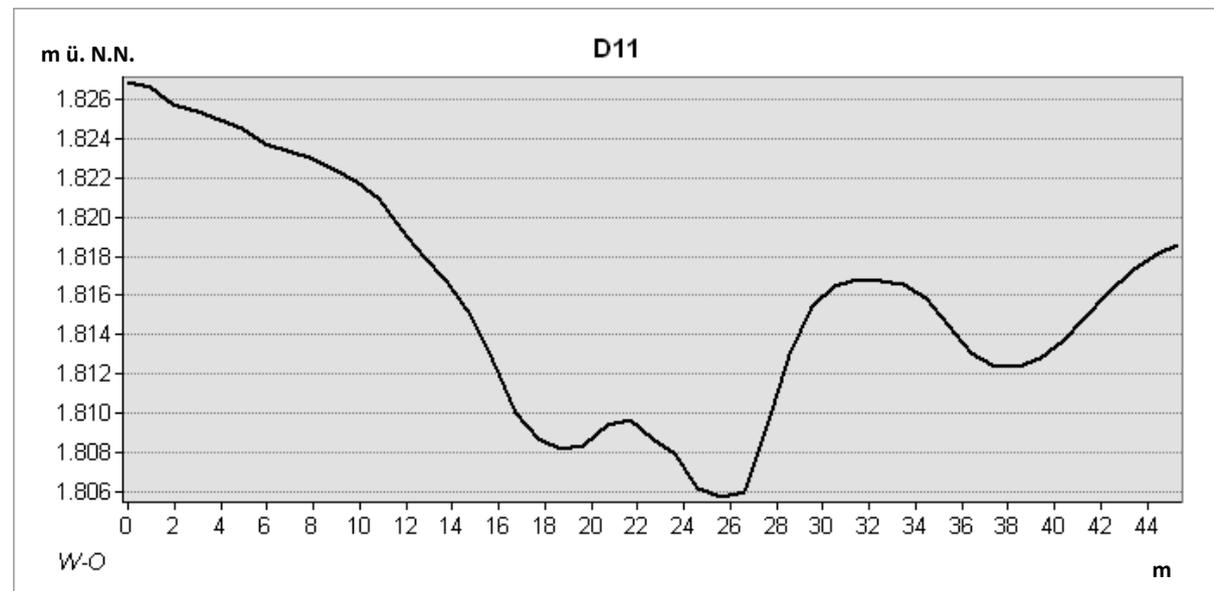
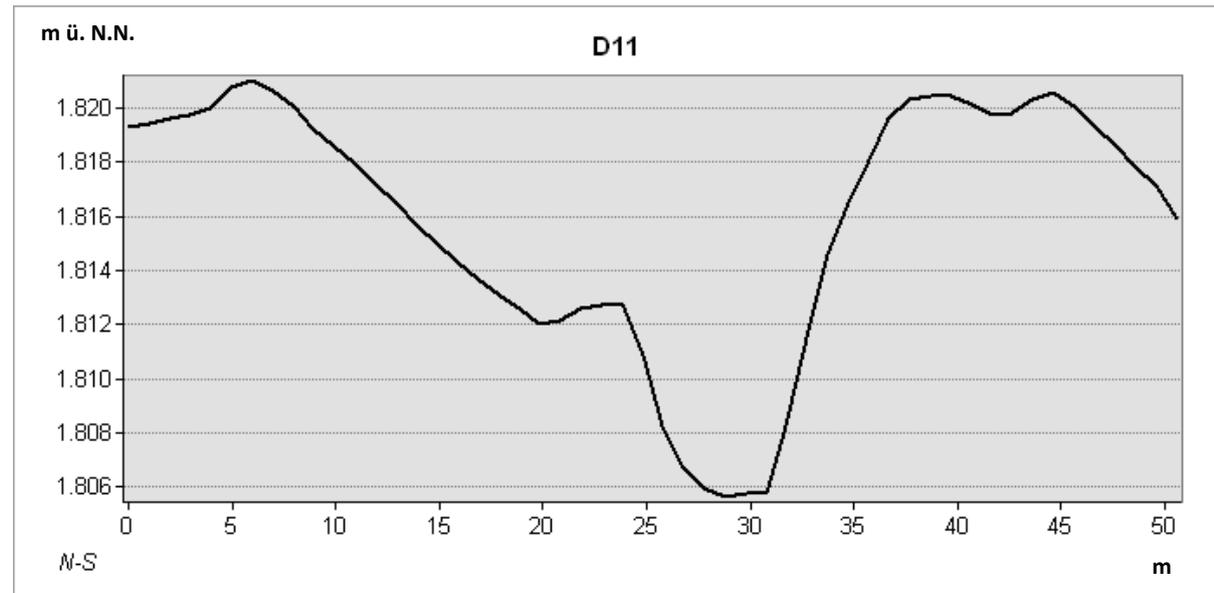
Peripherie: treppenartiger Wechsel von Kuppen und ebenen Flächenbereichen am Plateaurand

Länge/Breite/Tiefe¹: 35m/32m/15m

Neigung der Hänge²: 64,95° (N), 60,25° (S), 53,6° (E), 87,8° (W)

Charakterbeschreibung: steinig, felsig; stark strukturiert; im Übergang zur Geländeoberkante Neigungswechsel und dadurch Öffnung und Erweiterung der Karstform

Schnittlinien:



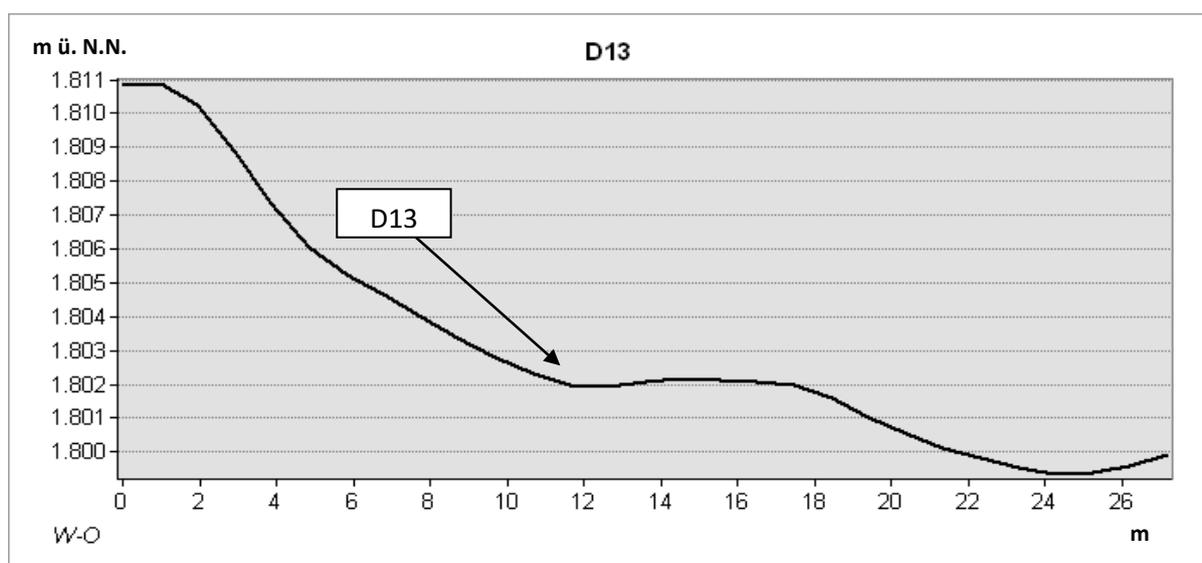
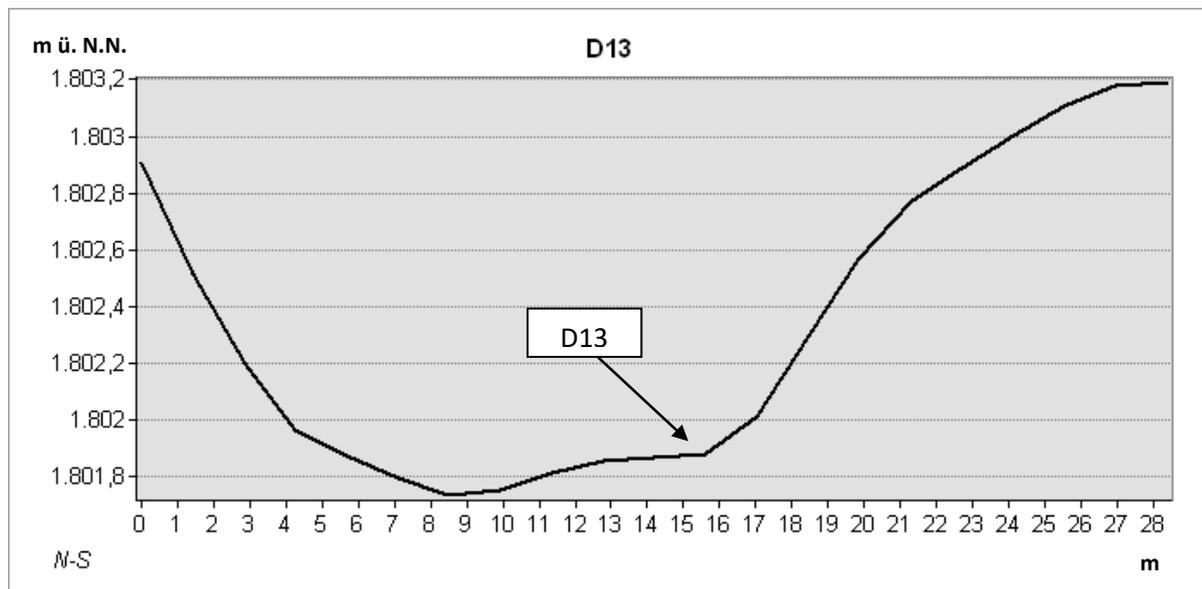
¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert

² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt

Bezeichnung: D12	Typ: Sattel in Dolinen-Schacht-Komplex D17
Koordinaten: N: 47°42,660' E: 13°00,257'	
Lage und Relief: Sattelsituation zwischen zwei Dolinenböden	
Peripherie: felsige Steilwand einer Kuppe und latschenbesetzte Hänge im Wechsel	

Bezeichnung: D13	Typ: Muldendoline
Koordinaten: N 47°42,720' E 13°00,344'	
Lage und Relief: ebener Randbereich der Doline D17	
Peripherie: alpine Rasengesellschaften, felsige Steilwand einer Kuppe und latschenbesetzte Hänge im Wechsel	
Länge/Breite/Tiefe: 2m/1m/0,3m	
Neigung der Hänge: 23° (N, S, E, W-Hang)	
Charakterbeschreibung: schüsselförmig, mit alpinen Rasengesellschaften und Feuchtezeigern ausgekleidet, skelettreiche Bodenfüllung	

Schnittlinien:



Bemerkung: Schnittlinie zeigt Lage D13 in D17-System

Bezeichnung: D14		Typ: Muldendoline	
Koordinaten: N: 47°43,120' E: 13°00,231'			
Lage und Relief: flacher Kuppenbereich oberhalb der Mittagsscharte			
Peripherie: dichter Latschenbewuchs, sanftes Relief in Kuppenlage			
Länge/Breite/Tiefe ¹ : 7m/5m/2m			
Neigung der Hänge ² : 22,78° (N), 26,56° (S), 26,56° (E), 35,37° (W)			
Charakterbeschreibung: schüsselförmige Mulde, mit alpinen Rasengesellschaften ausgekleidet			
Schnittlinien:			
<div style="text-align: center;"> <p>m ü. N.N. D14</p> <p style="text-align: left;">N-S</p> <p style="text-align: right;">m</p> </div>			
<div style="text-align: center;"> <p>m ü. N.N. D14</p> <p style="text-align: left;">W-O</p> <p style="text-align: right;">m</p> </div>			
Bemerkung: Darstellung stark überhöht			
¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert ² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt			

Bezeichnung: D15	Typ: Schichtkopf / Abhang
Koordinaten: N: 47°42,838' E: 13°00,473'	
Lage und Relief: dolinendurchsetzter Schichtkopf-Mittelhang	
Peripherie: offene Geländesituation mit alpinen Rasengesellschaften, Fels und Blockschutt im Wechsel	
Neigung des Hangabschnittes: 21,8° (Gipfel-Probestelle)	
Schnittlinie:	
<p>The profile graph, titled 'S-O-Abhang', displays the elevation profile of a slope. The vertical axis represents elevation in meters above sea level (m ü. N.N.), ranging from 1.760 to 1.840 in increments of 10. The horizontal axis represents distance in meters (m), ranging from 0 to 180 in increments of 10. The profile starts at approximately 1.835 m at 0m distance, reaches a peak of 1.853 m at 30m distance (labeled 'Salzburger Hochthron (1853m ü. NN)'), then gradually descends to about 1.820 m at 80m distance. A point labeled 'D15' is marked on the slope at approximately 85m distance. The profile then continues to descend to about 1.765 m at 150m distance, followed by a very steep drop to approximately 1.760 m at 180m distance.</p>	
NW-SO, höchste Erhebung: Salzburger Hochthron (1853m ü. NN)	

Bezeichnung: D16 | Typ: Schichtkopf

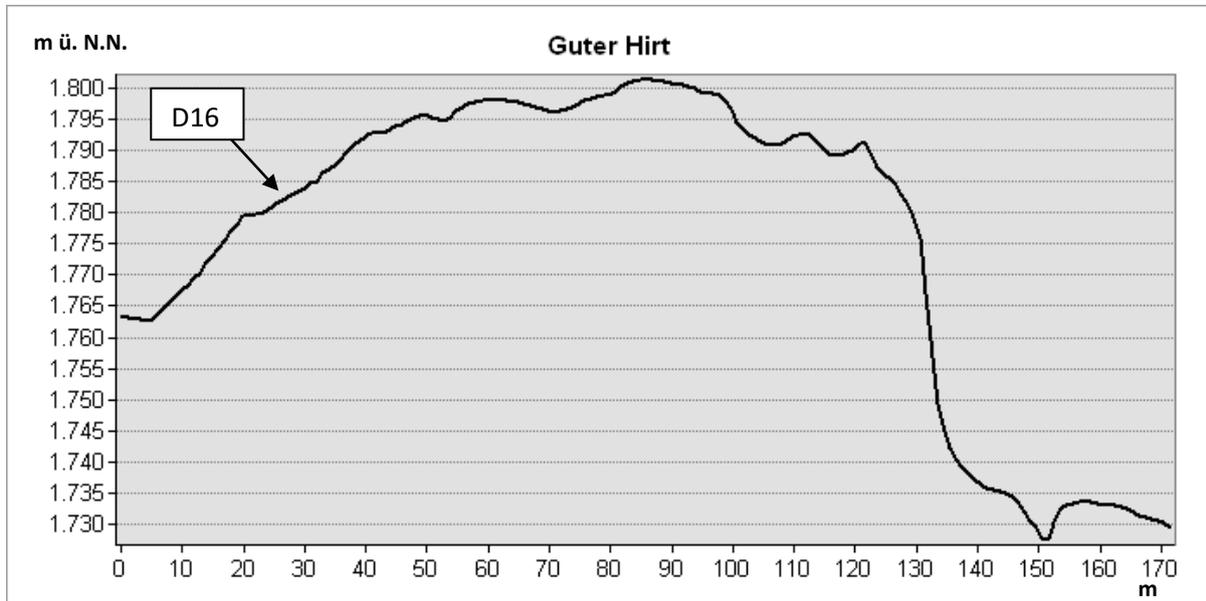
Koordinaten: N: 47°43,193' E: 13°00,412'

Lage und Relief: Schichtkopf

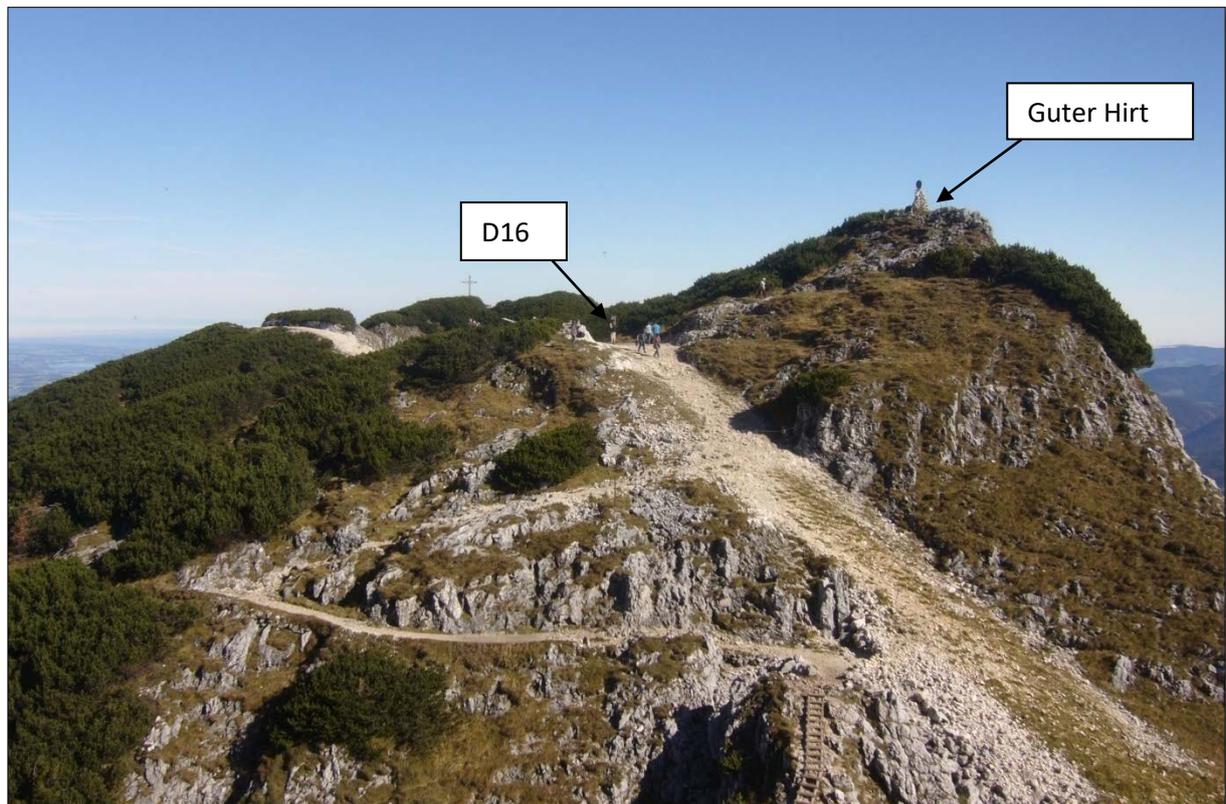
Peripherie: offene Geländesituation, alpine Rasengesellschaften und Latschen im Wechsel

Neigung des Hangabschnittes: 20° (Gipfel-Probestelle)

Schnittlinie:



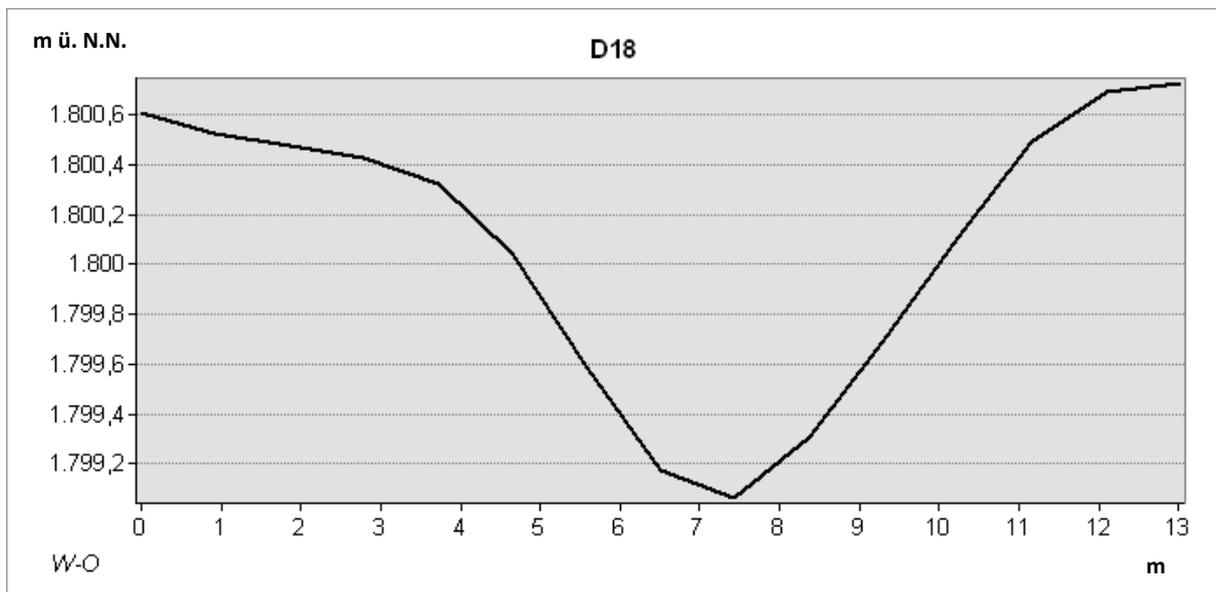
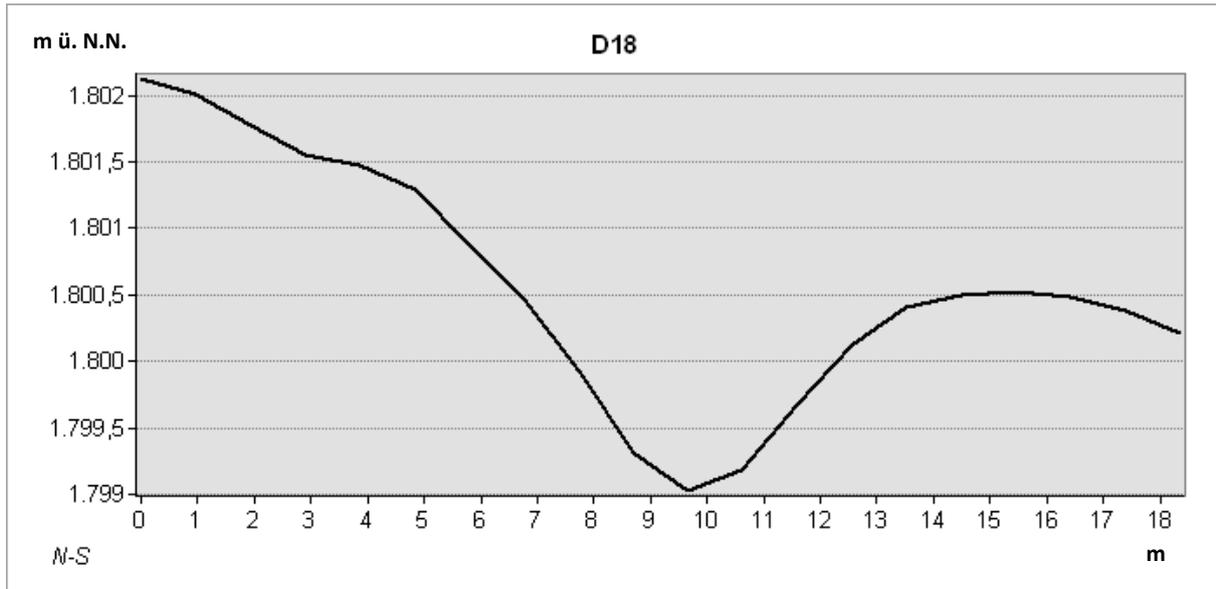
W-O



Bezeichnung: D17	Typ: Dolinen-Schacht-Komplex
Koordinaten: N: 47°42,962' E: 13°00,231'	
Lage und Relief: Dolinenboden	
Peripherie: frost-, felsschuttliefernder Dolinenhang im Wechsel zu vegetationsbewachsenen Hängen (<i>Seslerio</i> , <i>Mugetum</i>)	
Länge/Breite/Tiefe ¹ : 50m/42/17m	
Neigung der Hänge ² : 64,95° (N), 34,9° (S), 34,21° (E), 25,17° (W)	
Charakterbeschreibung: zweigestaltet, ostexponierte Hänge felsig, westexponierte Hänge bewachsen; innerhalb der Doline Normtypus und Dolinen-Schachttypus vorhanden, zwei Ponore durch Sattel getrennt	
Schnittlinien:	
<p>Bemerkung: W-O Schnittlinie leicht überhöht</p> <p>¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert ² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt</p>	

Bezeichnung: D18	Typ: Muldendoline Flächenrest
Koordinaten: N: 47°42,957' E: 13°00,181'	
Lage und Relief: ebener Flächenrest, von Schichtköpfen umrahmt	
Peripherie: alpine Mattenvegetation, latschenbewachsene Hänge der umliegenden Schichtköpfe	
Länge/Breite/Tiefe ¹ : 8m/7m/1,8m	
Neigung der Hänge ² : 20,5° (N), 26,5° (S), 21,8° (E), 19,29° (W)	
Charakterbeschreibung: muldenförmige, von alpiner Rasenvegetation ausgekleidete Doline	

Schnittlinien:



Bemerkung: Darstellung stark überhöht

¹ Länge/Breite: gemessen an horizontal gedachter Linie zwischen Dolinenrändern auch bei Höhenunterschieden, Tiefenangabe dann als Mittelwert

² Durchschnittswerte des Gesamthanges, bemessen vom Dolinentiefsten zur Geländeoberkante, Öffnung der Dolinenform nicht berücksichtigt

Bezeichnung: D19

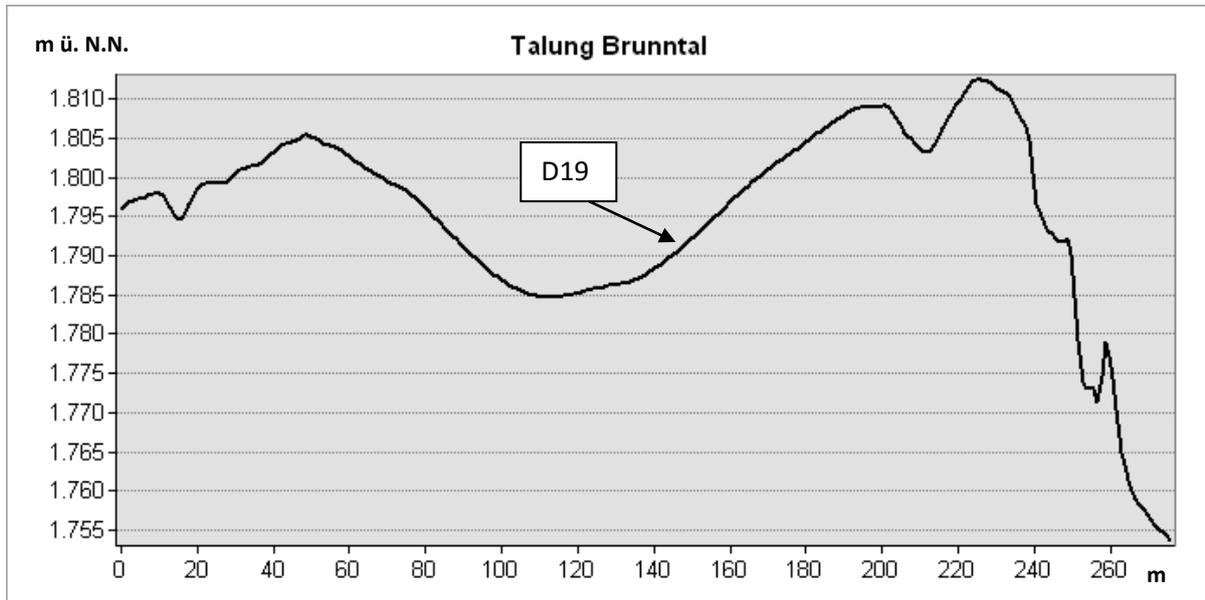
Typ: Talung zwischen Guter Hirt und Salzburger Hochthron, Beginn des Brunntals

Koordinaten: N: 47°42,126' E: 13°00,396'

Lage und Relief: tertiäre Talform zwischen Salzburger Hochthron und Guter Hirt

Peripherie: offene Geländesituation, alpine Mattenvegetation und Latschenbewuchs im Wechsel

Schnittlinien:



N-S Profil parallel des Skipistenverlaufs an der Talsohle (vgl. Karte 1, S. 22)

9.2 Bodenprofile und Kenndaten

Dolinen 1-5: Testdolinen

Doline 1 (D1)

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Nordhang						
Lage: N 47° 42,945' / E 13° 00,148'								
Position Catena: Oberhang				Bezeichnung: D1_S_Rand				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1800m ü.NN / 44° / 9°(N)				
Bodenvegetation (100%)				<i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> , verzahnt mit <i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>				
Profilmächtigkeit				9cm				
Horizontfolge				Oh/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Oh	0-9	tiefschwarz, stark humos, Krümelgefüge, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerdereich, skelettführend, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)				10YR 2/1 /10YR 2/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,09	0,42	63,6	35,98	30,31	30,37	1,97	15,39
Physikalische Kennwerte								
Skelettgehalt (geschätzt): 20%				Bodenart (Fingerprobe): Su2				

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Nordhang						
Lage: N 47° 42,946' / E 13° 00,148'								
Position Catena: Mittelhang				Bezeichnung: D1_S_Mitte				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1797m ü.NN / 40° / 10°(N)				
Bodenvegetation (100%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i> verzahnt mit <i>Arabi-detum caerulea</i> , vermoost				
Profilmächtigkeit				12cm				
Horizontfolge				Oh(xC)/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Oh(xC)	0-12	tiefschwarz, stark humos, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig-schluffig, stark skeletthaltig, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)				10YR 2/1 /10YR 2/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh(xC)	6,75	0,63	48,4	50,97	18,98	19,06	1,738	10,92
Physikalische Kennwerte								
Skelettgehalt (geschätzt): 35%				Bodenart (Fingerprobe): Su3				

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Nordhang						
Lage: N 47° 42,946' / E 13° 00,150'								
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D1_S_Boden			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1793m ü.NN / 55° / 1°(N)			
Bodenvegetation (60%)					Arabidetum caerulea mit Moos versetzt			
Profilmächtigkeit					10cm			
Horizontfolge					Oh/Ah+Bv/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Oh	0-8	tiefschwarz, humos, krümelig, in feuchtem Zustand schmierig, sandig-schluffig, karbonatfrei, feinerde-reich, skelett- und glimmerfrei						
Ah+Bv	8-10	humos, schwach sandig, feinerdereich, in feuchtem Zustand schmierig, skelettführend, in Nestern unter Skelett dunkelbraun, schluffig, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Ah+Bv					10YR 3/3 / 10YR 3/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,64	0,5	39,6	59,9	19,11	19,17	1,707	11,19
Ah+Bv	7,16	0,56	31	68,44	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			5%		Su3			
Ah+Bv			25%		Su4			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Osthang						
Lage: N 47° 42,947' / E 13° 00,138'								
Position Catena: Oberhang, Sattelposition zu D6					Bezeichnung: D1_W_Rand			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Alpine Protorendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1797m ü.NN / 2° / 194°(S)			
Bodenvegetation (100%)					Seslerio-Caricetum sempervirentis			
Profilmächtigkeit					3cm			
Horizontfolge					(L/)Aih/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Aih	0-3	Graswurzelfilz, wenig Feinerde, krümelig, stark durchwurzelt, Skelett in Boden- und Wurzelgeflecht eingearbeitet, humos, sandig, karbonatfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)					10YR 2/2 / 10YR 2/2			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Aih	6,97	0	32,2	67,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
Skelettgehalt (geschätzt): 20%					Bodenart (Fingerprobe): Su3			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Osthang							
Lage: N 47° 42,951' / E 13° 00,139'									
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D1_W_Boden				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)									
Bodenklasse O/C-Boden									
Höhe/Neigung/Exposition					1793m ü.NN / 29° / 76°(E)				
Bodenvegetation (60%)					Arabidetum caerulea mit Moos versetzt				
Profilmächtigkeit					18cm				
Horizontfolge					Oh+Ah(Bv)/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung									
Oh+Ah(Bv)	0-18	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig-schluffig, feinerdereich, leicht verbrauchte Nester unter Skelett (10YR 4/2 / 10YR 3/2)							
Bodenfarbe (trocken/nass)									
Oh+Ah(Bv)					10YR 2/1 / 10YR 2/1				
Chemische Kennwerte									
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	
Oh+Ah(Bv)	6,81	0,8	51	48,2	23,91	24,01	2,193	10,58	
Physikalische Kennwerte									
			Skelett (geschätzt)			Bodenart (Fingerprobe)			
Oh+Ah(Bv)			10%			Su3			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Südhang								
Lage: N 47° 42,960' / E 13° 00,144'										
Position Catena: Oberhang					Bezeichnung: D1_N_Rand					
Bodentyp: Braunerde (AG Boden); Cambisol (WRB 2006)										
Bodenklasse: Braunerde										
Höhe/Neigung/Exposition					1798m ü.NN / 8° / 170°(S)					
Bodenvegetation (100%)					Seslerio-Caricetum sempervirentis					
Profilmächtigkeit					30cm (erreichte Grabtiefe)					
Horizontfolge					(L/)Oh/Ah/Bv/Cv/Cn					
Horizontbeschreibung										
(L/)Oh	0-4	krümelig, humos, locker durchwurzelt, sandig-schluffig, karbontarm, glimmerführend								
Ah	4-12	krümelig bis subpolyedrisch, schluffig, Horizontgrenze tropfenförmig, fleckig, skelettfrei, glimmerführend								
Bv	12-30	subpolyedrisch, schluffreich, nach unten zunehmend tonhaltiger, skelettfrei, schwach glimmerhaltig								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Oh					10YR 2/1 / 10YR 2/1					
Ah					10YR 3/1 / 10YR 2/1					
Bv					10YR 6/4 / 10YR 5/4					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]	
Ah	5,61	0,22	35,8	63,98	16,35	16,38	1,39	11,79	n.b.	
Bv	5,8	0,03	7,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,69	
Physikalische Kennwerte										
			Skelett			Bodenart (Fingerprobe)				
Ah			0			Su3				
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Bv	0	4,4	8,5	17,4	35,3	18,9	8,6	6,6	Us	U

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Südhang						
Lage: N 47° 42,952' / E 13° 00,149'								
Position Catena: Mittelhang					Bezeichnung: D1_N_Mitte& DSK_A			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1796m ü.NN / 27° / 169°(S)			
Bodenvegetation (70%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>								
Profilmächtigkeit								
10cm								
Horizontfolge								
Oh/(Oh+Ah)/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Oh	0-10	humos, feinerereich, Krümelgefüge, sandig, karbonatfrei, skelettführend, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)					10YR 3/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	5,95	0,05	34,2	65,75	16,51	16,52	1,403	11,77
Physikalische Kennwerte								
Skelettgehalt (geschätzt): 10%					Bodenart (Fingerprobe): Su2			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Südhang						
Lage: N 47° 42,952' / E 13° 00,150'								
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D1_N_Boden			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1793m ü.NN / 42° / 191°(S)			
Bodenvegetation (80%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i> , verzahnt mit <i>Arabidetum caerulea</i>								
Profilmächtigkeit								
10cm								
Horizontfolge								
Oh/Ah(xC)/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Oh	0-3	humos, krümelig, feinerereich, sandig, in feuchtem Zustand schmierig, glimmerfrei, schwach skeletthaltig						
Ah(xC)	3-10	humos, Krümelgefüge, feinerereich, sandig-schluffig, stark skeletthaltig, schwach karbonathaltig						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 3/1 / 10YR 2/1			
Ah(xC)					10YR 3/3 / 10YR 3/2			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	7,19	0,16	31,8	68,04	14,33	14,35	1,416	10,12
Ah(xC)	6,82	0,93	28,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			5%		Su2			
Ah(xC)			40%		Su3			

Dolinen-Schacht-Typus					Catena Westhang						
Lage: N 47° 42,9' / E 13° 00,1'											
Position Catena: Oberhang					Bezeichnung: D1_E_Rand						
Bodentyp: Braunerde (AG Boden); Cambisol (WRB 2006)											
Bodenklasse Braunerde											
Höhe/Neigung/Exposition					1798m ü.NN /15°/ 319°(W)						
Bodenvegetation (100%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>						
Profilmächtigkeit					35cm (erreichte Grabtiefe)						
Horizontfolge					(L)Ah/Bv/Cv/Cn						
Horizontbeschreibung											
Ah	0-12	krümelig bis subpolyedrisch, schwach sandig, schluffig, Horizontgrenze wellenförmig, skelettfrei, glimmerführend									
Bv	12-35	subpolyedrisch, schluffreich, nach unten zunehmend tonhaltiger, schwach skeletthaltig, leicht glimmerhaltig									
Bodenfarbe (trocken/nass)											
Ah					10YR 3/2 / 10YR 4/2						
Bv					10YR 5/6 / 10YR 5/4						
Chemische Kennwerte											
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]		
Ah	3,85	0,3	16	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Bv	4,49	0,56	10,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Physikalische Kennwerte											
	Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)				Hauptgruppe				
Ah	0%		Su4				S				
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)											
	Skelett (geschätzt)		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Bodenart	Hauptgruppe
Bv	0%		11,9	17,7	18,3	23,4	15,6	5,1	8	Su4	S

Dolinen-Schacht-Typus					Catena Westhang					
Lage: N 47° 42,9' / E 13° 00,1'										
Position Catena: Mittelhang					Bezeichnung: D1_E_Mitte					
Bodentyp: Braunerde (AG Boden); Cambisol (WRB 2006)										
Bodenklasse: Braunerde										
Höhe/Neigung/Exposition					1795m ü.NN / 25° / 322°(W)					
Bodenvegetation (100%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>					
Profilmächtigkeit					33cm (erreichte Grabtiefe)					
Horizontfolge					L/Ah/Bv/Cv/Cn					
Horizontbeschreibung										
Ah	0-8	krümelig bis subpolyedrisch, schwach sandig, Horizontgrenze tropfenförmig, fleckig, skelettfrei, glimmerführend								
Bv	8-25	subpolyedrisch, schluffreich, nach unten zunehmend tonhaltiger, schwach skeletthaltig im unteren Bereich, leicht glimmerhaltig								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah					10YR 3/2 / 10YR 4/2					
Bv					10YR 6/4 / 10YR 5/4					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]	
Ah	3,7	0,13	17,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Bv	4,07	0,43	11	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Physikalische Kennwerte										
	Skelett [%]		Bodenart (Fingerprobe)							
Ah	0		S13							
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Bv	0	1,1	16,5	21,4	29,5	17,2	6,2	8,1	Uls	U
Elementaranalysen (ICP-OES)										
Gesamtelementgehalt [mg/g]										
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Si	
Ah	72,33	49,18	42,01	13,21	10,67	1,667	3,7	0,56	0,64	
Bv	84,22	7,03	46,32	15,11	8,28	3,824	7,4	1,83	1,39	

Dolinen-Schacht-Typus					Catena Westhang				
Lage: N 47° 42,9' / E 13° 00,1'									
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D1_E_Boden				
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)									
Bodenklasse A/C-Boden									
Höhe/Neigung/Exposition					1793m ü.NN / 38° / 314°(W)				
Bodenvegetation (80%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i> , verzahnt mit <i>Arbidetum caerulea</i>				
Profilmächtigkeit					10cm				
Horizontfolge					Ah/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung									
Ah	0-10	humos, krümelig, feinerdereich, sandig-schluffig, in feuchtem Zustand schmierig, schluffig glimmerfrei, skelettführend							
Bodenfarbe (trocken/nass)									
Ah					10YR 4/3 / 10YR 3/3				
Chemische Kennwerte									
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	
Ah	6,58	0,78	21,8	n.b.	8,735	8,829	0,936	9,33	
Physikalische Kennwerte									
	Skelett (geschätzt)				Bodenart (Fingerprobe)				
Ah	20%				Su4				
Elementaranalyse (ICP-OES)									
Gesamtelementgehalt [mg/g]									
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Si
Ah	72,38	17,28	42,28	13,68	7,71	3,051	5,47	2,23	1,24
Bv	70,78	6,40	37,32	13,5	8,89	0,416	7,49	0,89	2,99

Doline 2 (D2)

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Nordhang						
Lage: N 47° 42,944' / E 13° 00,139'								
Position Catena: Oberhang					Bezeichnung: D2_S_Rand			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1802m ü.NN / 17° / 350°(N)			
Bodenvegetation (50%)					<i>Arabidetum caerulea</i> , stark vermoost			
Profilmächtigkeit					15cm			
Horizontfolge					Ah/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Ah	0-15	humos, krümelig, feinerereich, durchwurzelt, karbonathaltig, sandig, in feuchtem Zustand schmierig, glimmerfrei, skeletthaltig						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah					10YR 3/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	6,93	6	24,9	n.b.	29,22	29,94	2,119	13,78
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Ah			25%		Su2			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Nordhang						
Lage: N 47° 42,930' / E 13° 00,151'								
Position Catena: Mittelhang					Bezeichnung: D2_S_Mitte			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1796m ü.NN / 29° / 12°(N)			
Bodenvegetation (60%)					<i>Arabidetum caerulea</i>			
Profilmächtigkeit					24cm			
Horizontfolge					Oh/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Oh	0-24	humos, feinerereich, krümelig, schwach karbonathaltig, locker durchwurzelt, leicht skeletthaltig, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,87	1,1	41,3	57,6	17,78	18,88	1,7	11,02
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			5%		Su2			

Dolinen-Schacht-Typus				Catena Nordhang						
Lage: N 47° 42,998' / E 13° 00,069'										
Position Catena: Unterhang				Bezeichnung: D2_S_Boden						
Bodentyp: Braunerde-Rendzina (AG Boden); Cambic Rendzic Leptosol (WRB 2006)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition				1790m ü.NN / 38° / 18°(N)						
Bodenvegetation (50%)				<i>Arabidetum caerulea</i>						
Profilmächtigkeit				18cm						
Horizontfolge				Ah/Bv-Ah/Cv/Cn						
Horizontbeschreibung										
Ah	0-4	humos, feinerdereich, krümelig, karbonathaltig, schwach sandig, leicht skeletthaltig, glimmerfrei, Humus in Schlieren vorhangartig in den Bv-Ah ausgreifend								
Bv-Ah	4-18	Krümel- bis Subpolyedergefüge, karbonatfrei, sehr schluffreich, leicht skeletthaltig, glimmerfrei								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah	10YR 3/1 / 10YR 2/1									
Bv-Ah	10YR 5/2 / 10YR 4/2									
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]	
Ah	6,71	2,4	24	n.b.	10,91	11,2	0,91	11,98	n.b.	
Bv-Ah	6,96	0,28	10,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,86	
Physikalische Kennwerte										
	Skelett (geschätzt)			Bodenart (Fingerprobe)						
Ah	5%			Su3						
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Bv-Ah	10%	0,3	4,8	16,9	42,3	24,1	8	3,7	Us	U

Dolinen-Schacht-Typus				Catena Osthang					
Lage: N 47° 42,930' / E 13° 00,145'									
Position Catena: Oberhang				Bezeichnung: D2_W_Rand					
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)									
Bodenklasse O/C-Boden									
Höhe/Neigung/Exposition				1802m ü.NN / 21° / 82°(E)					
Bodenvegetation (100%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>					
Profilmächtigkeit				20cm					
Horizontfolge				Oh/Oh(Ah)/Cv/Cn					
Horizontbeschreibung									
Oh	0-17	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerdereich							
Oh(Ah)	17-20	krümelig, locker, karbonathaltig, feinerdereich, skelettfrei, glimmerfrei							
Bodenfarbe (trocken/nass)									
Oh	10YR 2/1 / 10YR 2/1								
Oh(Ah)	10YR 3/1 / 10YR 2/1								
Chemische Kennwerte									
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	
Oh	6,15	0,35	55,5	44,15	26,85	26,9	2,09	12,67	
Oh(Ah)	6,94	2,09	37,2	60,71	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Physikalische Kennwerte									
	Skelett (geschätzt)			Bodenart (Fingerprobe)					
Oh	0%			Su2					
Oh(Ah)	0%			Su2					

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Osthang								
Lage: N 47° 42,917' / E 13° 00,144'										
Position Catena: Mittelhang					Bezeichnung: D2_W_Mitte					
Bodentyp: Braunerde-Rendzina (AG Boden); Cambic Rendzic Leptosol (WRB 2006)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition					1796m ü.NN / 39° / 85°(E)					
Bodenvegetation (50%)										
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>										
Profilmächtigkeit										
18cm										
Horizontfolge										
Oh(Ah)/Bv/Cv/Cn										
Horizontbeschreibung										
Oh(Ah)	0-8	humos, krümelig, feinerereich, sandig, karbonatfrei, skelettfrei, glimmerführend								
Bv	8-18	subpolyedrisch, schluffreich, nach unten zunehmend tonhaltiger, karbonatfrei, schwach skeletthaltig, leicht glimmerhaltig								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Oh(Ah)					10YR 3/1 / 10YR 2/1					
Bv					10YR 4/3 / 10YR 3/2					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]	
Oh(Ah)	6,6	0,75	38,4	60,85	18,07	18,16	1,73	10,44	n.b.	
Bv	7,49	0,47	8,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2	
Physikalische Kennwerte										
	Skelett (geschätzt)				Bodenart (Fingerprobe)					
Oh(Ah)	0%				Su3					
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Bv	15%	2,5	9,1	14	31,8	26,3	11,2	5,1	Us	U

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Osthang								
Lage: N 47° 42,927' / E 13° 00,153'										
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D2_W_Boden					
Bodentyp: Braunerde-Rendzina (AG Boden); Cambic Rendzic Leptosol (WRB 2006)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition					1790m ü.NN / 37° / 95°(E)					
Bodenvegetation (40%)										
<i>Arabidetum caerulea</i>										
Profilmächtigkeit										
22cm										
Horizontfolge										
Ah/Bv+Ah/Cv/Cn										
Horizontbeschreibung										
Ah	0-4	humos, krümelig, feinerereich, sandig, karbonatfrei, skelettfrei, glimmerführend								
Bv+Ah	4-22	subpolyedrisch, schluffreich, nach unten zunehmend tonhaltiger, karbonatfrei, leicht glimmerhaltig, skelettführend, z.T. zwischen Dachsteinkalkbrocken eingebettet								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah					10YR 3/1 / 10YR 2/1					
Bv+Ah					10YR 5/3 / 10YR 4/2					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]	
Ah	6,69	0,64	25,8	n.b.	12,16	12,24	0,95	12,87	n.b.	
Bv+Ah	6,95	0,3	14,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,1	
Physikalische Kennwerte										
	Skelett (geschätzt)				Bodenart (Fingerprobe)					
Ah	5%				Su2					
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Bv+Ah	10%	1,8	7,7	16,4	31,9	28,9	9,1	4,2	Us	U

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Südhang								
Lage: N 47° 42,935' / E 13° 00,155'										
Position Catena: Oberhang					Bezeichnung: D2_N_Rand					
Bodentyp: Braunerde (AG Boden); Cambisol (WRB 2006)										
Bodenklasse: Braunerde										
Höhe/Neigung/Exposition					1794m ü.NN / 7° / 173°(S)					
Bodenvegetation (100%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>					
Profilmächtigkeit					25cm (erreichte Grabtiefe)					
Horizontfolge					L(/Of)/Ah/Bv/Cv/Cn					
Horizontbeschreibung										
L(/Of)	0-0,5	Graswurzelfilz, kaum Feinerde								
Ah	0,5-3	krümelig bis subpolyedrisch, schluffig, Horizontgrenze tropfenförmig, fleckig, skelettfrei, karbonatfrei, glimmerführend								
Bv	3-25	subpolyedrisch, schluffreich, nach unten zunehmend tonhaltiger, skelettfrei, schwach glimmerhaltig								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah					10YR 5/1 / 10YR 3/1					
Bv					10YR 6/4 / 10YR 4/4					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N [%]	Fe _d [%]	
Ah	4,42	0,03	15,7	n.b.	7,23	7,24	0,65	11,13	1,69	
Bv	4,37	0,18	9,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,42	
Physikalische Kennwerte										
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ah	0	29	16,8	11,9	19,3	12,6	3,3	7,1	Su3	S
Bv	0	2,1	5,	7,7	24,3	29,9	15,2	15,5	Ut3	U

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Südhang								
Lage: N 47° 42,930' / E 13° 00,151'										
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D2_N_Boden					
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition					1790 m ü.NN / 11° / 178°(S)					
Bodenvegetation (40%)					<i>Arabidetum caerulea</i> , vermoost					
Profilmächtigkeit					12cm					
Horizontfolge					Ah/Cv/Cn					
Horizontbeschreibung										
Ah	0-12	humos, krümelig, feinerdereich, sandig, leicht tonig, karbonatfrei, skelettführend								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah					10YR 3/1 / 10YR 2/1					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
Ah	6,93	0,38	23,2	n.b.	11,27	11,32	0,951	11,85		
Physikalische Kennwerte										
				Skelett (geschätzt)			Bodenart (Fingerprobe)			
Ah				15%			SI2			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Westhang						
Lage: N 47° 42,923' / E 13° 00,155'								
Position Catena: Oberhang				Bezeichnung: D2_E_Rand				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1800m ü.NN / 38° / 313°(W)				
Bodenvegetation (100%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>				
Profilmächtigkeit				17cm				
Horizontfolge				(L/)Oh/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Oh	0-17	humos, krümelig, im oberen Bereich locker durchwurzelt, feinerereich, sandig, karbonatfrei, skelett-führend, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh				7,5YR 2,5/1 / 7,5YR 2,5/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	5,91	0,36	46,8	52,84	21,21	22,26	1,72	12,90
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			10%		Su2			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Westhang						
Lage: N 47° 42,930' / E 13° 00,148'								
Position Catena: Mittelhang				Bezeichnung: D2_E_Mitte				
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1795 m ü.NN / 20° / 318°(W)				
Bodenvegetation (70%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>				
Profilmächtigkeit				18cm				
Horizontfolge				Oh/Ah+Bv/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Ah	0-4	humos, krümelig, im oberen Bereich locker durchwurzelt, feinerereich, sandig, karbonatfrei, skelett-führend, glimmerführend						
Ah+Bv	4-18	krümelig, locker durchwurzelt, feinerereich, schluffreich, karbonathaltig, skeletthaltig, glimmer-führend						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh				10YR 3/1 / 10YR 2/1				
Ah+Bv				10YR 4/3 / 10YR 3/3				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	6,88	0,87	41,5	57,63	18,91	19,02	1,918	9,86
Ah+Bv	7,07	1,14	27,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			15%		Su2			
Ah+Bv			25%		Su4			

Dolinen-Schacht-Typus				Catena Westhang				
Lage: N 47° 42,930' / E 13° 00,153'								
Position Catena: Unterhang				Bezeichnung: D2_E_Boden				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1790 m ü.NN / 4° / 321°(W)				
Bodenvegetation (70%)				Arabidetum caerulea				
Profilmächtigkeit				12cm				
Horizontfolge				Oh+xC/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Oh+xC	0-12	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerereich, stark skeletthaltig						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh+xC				10YR 2/1 / 10YR 2/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh+xC	6,96	3,23	53	43,77	26,26	26,65	1,88	13,91
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh+xC			50%		Su2			

Dolinen-Schacht-Typus				Sattelsituation						
Lage: N 47° 42,938' / E 13° 00,152'										
Position Sattel innerhalb von D2				Bezeichnung: D2_Sattel						
Bodentyp: Braunerde Rendzina (AG Boden); Cambic Rendzic Leptosol (WRB 2006)										
Bodenklasse: A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition				1793 m ü.NN / 24° / 51°(NE)						
Bodenvegetation (100%)				Arabidetum caerulea, vermoost						
Profilmächtigkeit				13cm						
Horizontfolge				Ah/BvCv/Cv/Cn						
Horizontbeschreibung										
Ah	0-1	krümelig bis subpolyedrisch, schluffig, Humus in Schlieren in Bv verzogen, skelettfrei, karbonatfrei, glimmerfrei								
BvCv	1-13	subpolyedrisch bis polyedrisch, schluffreich, nach unten zunehmend tonhaltiger, schwach skelettführend, in Grobskelett eingebettet								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah				10YR 4/1 / 10YR 3/1						
BvCv				10YR 6/4 / 10YR 4/3						
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N [%]	Fe _d [%]	
Ah	6,89	0,1	14,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,3	
BvCv	7,18	2,4	5,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,41	
Physikalische Kennwerte										
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ah	0	8	10	16,1	38,3	20	5	2,7	Us	U
BvCv	5	0	7,7	25	35,4	18,4	8,1	5,5	Us	U

Doline 3 (D3)

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Nordhang						
Lage: N 47° 42,934' / E 13° 00,073'								
Position Catena: Oberhang		Bezeichnung: D3_S_Rand						
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition		1783 m ü. NN / 21° / 17°(N)						
Bodenvegetation (70%)		<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>						
Profilmächtigkeit		17cm						
Horizontfolge		Ah/Cv/Cn						
Horizontbeschreibung								
Ah	0-17	krümelig, locker durchwurzelt, feinerereich, sandig, karbonatarm, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah	10YR 3/1 / 10YR 2/1							
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	7,01	1,03	35,1	63,6	15,90	16,03	1,506	10,56
Physikalische Kennwerte								
		Skelett (geschätzt)	Bodenart (Fingerprobe)					
Ah	10%		Su2					

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Nordhang						
Lage: N 47° 42,921' / E 13° 00,071'								
Position Catena: Mittelhang		Bezeichnung: D3_S_Mitte& HSF_4						
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition		1779 m ü. NN / 36°/2°(N)						
Bodenvegetation (90%)		<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i> mit <i>Arabidetum caerulea</i> verzahnt						
Profilmächtigkeit		25cm						
Horizontfolge		Oh/Ah(Bv)/Cv/Cn						
Horizontbeschreibung								
Oh	0-10	krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerereich, glimmerführend						
Ah(Bv)	10-25	krümelig, feinerereich, schluffig, carbonatfrei, skelettführend, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh	10YR 2/1 / 10YR 2/1							
Ah(Bv)	10YR 4/2 / 10YR 3/1							
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,89	1,73	33,5	64,77	25,37	25,58	1,449	17,51
Ah(Bv)	6,9	0,46	16,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
		Skelett (geschätzt)	Bodenart (Fingerprobe)					
Oh	20%		Su2					
Ah(Bv)	20%		Us					

Norm-Typus Trichterdoline				Catena Nordhang				
Lage: N 47° 42,919' / E 13° 00,070'								
Position Catena: Unterhang				Bezeichnung: D3_S_Boden				
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1774 m ü. NN / 36°/2°(N)				
Bodenvegetation (70%)				<i>Arabidetum caerulea</i>				
Profilmächtigkeit				18cm				
Horizontfolge				Ah/Ah(xC)/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Ah	0-3	humos, schwach sandig, feinerdereich, glimmerführend						
Ah(xC)	3-18	zunehmend skelettreicher, schluffig, sehr feinerdereich, schwach karbonathaltig						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah				10YR 3/1 / 10YR 2/1				
Ah(xC)				10YR 4/1 / 10YR 3/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	7,01	0,43	22,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ah(xC)	7,17	2,23	19,6	n.b.	11,07	11,34	0,893	12,39
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Ah			20%		Su4			
Ah(xC)			40%		Us			

Norm-Typus Trichterdoline				Catena Osthang				
Lage: N 47° 42,917' / E 13° 00,064'								
Position Catena: Oberhang				Bezeichnung: D3_W_Rand				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), alpine Protorendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1794 m ü. NN / 17° / 90°(E)				
Bodenvegetation (70%)				<i>Seslerio Caricetum sempervirentis</i>				
Profilmächtigkeit				8cm				
Horizontfolge				Oh/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Oh	0-8	tiefschwarz, sehr stark humos, locker durchwurzelt, karbonatarm, skeletthaltig durch Gesteinsbruchstücke, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh				7,5YR 2,5/1 / 7,5YR 2,5/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,98	1,63	54,6	43,77	26,87	27,07	2,289	11,74
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			30%		Su2			

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Osthang						
Lage: N 47° 42,919' / E 13° 00,074'								
Position Catena: Mittelhang					Bezeichnung: D3_W_Mitte & HSF_6			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1784 m ü. NN / 34° / 78°(E)			
Bodenvegetation (60%)					<i>Arabidetum caerulea</i>			
Profilmächtigkeit					23cm			
Horizontfolge					Ah/AhBv/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Ah	0-5	krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerereich, glimmerfrei						
AhBv	5-23	krümelig, feinerereich, schluffig, karbonatfrei, skelettführend, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah					10YR 3/1 / 10YR 2/1			
AhBv					10YR 4/1 / 10YR 3/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	6,95	0,4	23,1	n.b.	9,797	9,845	0,947	10,34
AhBv	7,25	1,75	20,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Ah			10%		Su2			
Ah+Bv			20%		Su3			

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Osthang						
Lage: N 47° 42,920' / E 13° 00,071'								
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D3_W_Boden			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1776 m ü. NN / 18° / 80°(E)			
Bodenvegetation (70%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>			
Profilmächtigkeit					13cm			
Horizontfolge					Ah/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Ah	0-13	tiefschwarz, humos, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, schwach sandig, feinerereich, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah					10YR 3/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	7,23	1,3	25,7	n.b.	11,27	11,43	0,936	12,04
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Ah			5%		Su3			

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Südhang						
Lage: N 47° 42,930' / E 13° 00,067'								
Position Catena: Oberhang					Bezeichnung: D3_N_Rand			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), alpine Protorendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1790 m ü. NN / 3° / 181°(S)			
Bodenvegetation (70%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>			
Profilmächtigkeit					5cm			
Horizontfolge					Oh/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Oh	0-5	sehr humos, feinerereich, sandig, karbonatfrei, krümelig, Gesteinsbruchstücke und Pflanzenreste locker eingearbeitet						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 3/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,77	0,9	56,4	42,7	26,67	26,78	2,44	10,58
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			20%		Su2			

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Südhang						
Lage: N 47° 42,928' / E 13° 00,065'								
Position Catena: Mittelhang					Bezeichnung: D3_N_Mitte			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1781m ü.NN / 24° / 173°(S)			
Bodenvegetation (70%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>			
Profilmächtigkeit					13cm			
Horizontfolge					L/Of/Oh/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Oh	0-13	humos, krümelig, karbonatfrei, feinerereich, skelettführend, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,51	0,5	40,8	58,7	19,4	19,46	2,44	10,77
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			20%		Su2			

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Südhang						
Lage: N 47° 42,925' / E 13° 00,069'								
Position Catena: Unterhang		Bezeichnung: D3_N_Boden						
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition		1775m ü.NN / 34°/175°(S)						
Bodenvegetation (60%)		Arabidetum caerulea						
Profilmächtigkeit		18cm						
Horizontfolge		Oh/Ah/Cv/Cn						
Horizontbeschreibung								
Oh	0-5	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerdreich, glimmerfrei						
Ah	5-18	humos, krümelig, feinerdreich, schluffig, in feuchtem Zustand schmierig, karbonathaltig, glimmerführend						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh		10YR 2/1 / 10YR 2/1						
Ah		10YR 3/1 / 10YR 2/1						
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,77	0,53	40,1	59,37	18,51	18,58	1,76	10,5
Ah	7,11	1,75	31,6	66,65	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
	Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)					
Oh	10%		Su2					
Ah	20%		Su3					

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Westhang								
Lage: N 47° 42,921' / E 13° 00,079'										
Position Catena: Oberhang = Sattel zu D4		Bezeichnung: D3_E_Rand								
Bodentyp: Braunerde-Rendzina (AG Boden); Cambic Rendzic Leptosol (WRB 2006)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition		1782 m ü.NN / 21° / 297°(W)								
Bodenvegetation (100%)		Seslerio-Caricetum sempervirentis, stark vermoost								
Profilmächtigkeit		15cm								
Horizontfolge		Ah/Bv/Cn								
Horizontbeschreibung										
Ah	0-3	humos, krümelig, feinerdreich, schwach sandig, schluffreich, karbonatfrei, skelettfrei								
Bv	3-15	subpolyedrisch, Humus verzogen in Schlieren, schluffreich, nach unten zunehmend tonhaltiger, karbonatfrei, schwach skeletthaltig, zwischen Gestein gelagert, glimmerführend								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah		10YR 4/2 / 10YR 3/1								
Bv		10YR 6/4 / 10YR 4/3								
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]	
Ah	5,35	0,05	10,9	n.b.	4,80	4,81	0,43	11,17	n.b.	
Bv	6,85	0,29	5,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,71	
Physikalische Kennwerte										
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ah	0%	17	10,2	13,1	28,8	19,8	6,9	4,2	Us	U
Bv	5%	8,8	13,2	10,3	26,9	23,8	11,3	5,7	Us	U

Norm-Typus Trichterdoline				Catena Westhang						
Lage: N 47° 42,917' / E 13° 00,072'										
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D3_E_Boden					
Bodentyp: Braunerde-Rendzina, leicht pseudovergleyt (AG Boden); Cambic Rendzic Leptosol (WRB 2006)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition					1775m ü.NN / 30° / 338°(NW)					
Bodenvegetation (60%)					<i>Arabidetum caerulea</i>					
Profilmächtigkeit					13cm					
Horizontfolge					L/Of/Oh/Ah-Bv/Bv-Sd/Cv/Cn					
Horizontbeschreibung										
L/Of	0-0,5	Moos mit Latschennadeln durchsetzt, feucht-schmierig								
Oh	0,5-3	humos, krümelig, feinerdreich, leicht skelettführend, sandig								
Ah-Bv	3-6	krümelig-subpolyedrisch, skelettfrei, karbonatfrei, Humus in Schlieren verzogen, glimmerführend								
Bv-Sd	6-13	subpolyedrisch, schwach humos, schluffig, leichte Bleichmerkmale (marmoriert, Manganstiche), karbonatfrei, glimmerführend								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Oh					10YR 3/1 / 10YR 2/1					
Ah-Bv					10YR 5/3 / 10YR 3/2					
Bv-Sd					10YR 5/2 / 10YR 4/2					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]	
Oh	6,69	0,13	36,4	n.b.	23,31	23,33	1,503	15,51	n.b.	
Ah-Bv	6,66	0,22	9,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,3	
Bv-Sd	6,93	0,12	7,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3	
Physikalische Kennwerte										
Skelett (geschätzt)					Bodenart (Fingerprobe)					
Oh					Su2					
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ah-Bv	0%	0,8	2,6	21,4	45,1	22,4	5,4	2,3	Us	U
Bv-Sd	5%	0,2	1,3	18,7	42,1	26,6	8,1	3	Us	U

Doline 4 (D4)

Norm-Typus Trichterdoline				Catena Nordhang						
Lage: N 47° 42,893' / E 13° 00,101'										
Position Catena: Oberhang					Bezeichnung: D4_S_Rand					
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)										
Bodenklasse O/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition					1790 m ü.NN / 15° / 355°(N)					
Bodenvegetation (100%)					<i>Rhododendron hirsuti mugetum</i>					
Profilmächtigkeit					7cm					
Horizontfolge					(L)Oh/Ah/Cn					
Horizontbeschreibung										
Oh	0-7	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerdreich, glimmerführend								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Oh					10YR 3/1 / 10YR 2/1					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
Oh	6,41	0,15	55,4	44,45	25,232	25,25	1,89	13,28		
Physikalische Kennwerte										
Skelett (geschätzt)					Bodenart (Fingerprobe)					
Oh					Su2					

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Nordhang						
Lage: N 47° 42,908' / E 13° 00,095'								
Position Catena: Mittelhang				Bezeichnung: D4_S_Mitte				
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1775 m ü.NN / 14° / 353°(N)				
Bodenvegetation (100%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>				
Profilmächtigkeit				20cm				
Horizontfolge				Oh/Ah-Bv(xC)/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Oh	0-11	humos, krümelig, feinerereich, mittel sandig, karbonatfrei, schwach skeletthaltig, glimmerführend						
Ah-Bv(xC)	11-20	humos, Horizontgrenze wellig, fleckig, krümelig, feinerereich, schluffig, karbonatreich, starker Zersatz des Dachsteinkalkschutt, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh				10YR 3/1 / 10YR 2/1				
Ah-Bv(xC)				10YR 4/2 / 10YR 3/2				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,29	0,27	37,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ah-Bv(xC)	6,87	5,49	23,6	n.b.	19,76	25,25	1,899	10,41
Physikalische Kennwerte								
				Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)		
Oh				5%		Su3		
Ah-Bv(xC)				40%		Su4		

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Nordhang								
Lage: N 47° 42,916' / E 13° 00,091'										
Position Catena: Unterhang				Bezeichnung: D4_S_Boden						
Bodentyp: Braunerde-Rendzina, leicht pseudovergleyt (AG Boden); Cambic Rendzic Leptosol (WRB 2006)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition				1765 m ü.NN / 19° / 15°(N)						
Bodenvegetation (80%)				<i>Arabidetum caerulea</i>						
Profilmächtigkeit				15cm						
Horizontfolge				Ah/Ah-Bv/Bv-Sd/Cn						
Horizontbeschreibung										
Ah	0-1	humos, feinerereich, in feuchtem Zustand schmierig, karbonatfrei, schwach sandig, schluffig, glimmerführend								
Ah-Bv	1-4	humos, Horizontgrenze tropfenförmig, krümelig bis subpolyedrisch, in feuchtem Zustand schmierig, Humus in Schlieren verzogen, glimmerführend								
Bv-Sd	4-15	sehr feinerereich, schmierig-schluffig, leichte Marmorierungsmerkmale, manganstichig, Subpolyedergefüge, glimmerführend								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah				10YR 4/1 / 10YR 3/1						
Ah-Bv				10YR 5/2 / 10YR 4/3						
Bv-Sd				10YR 5/3 / 10YR 4/3						
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]	
Ah	6,4	0,39	17,1	n.b.	7,59	7,637	0,613	12,38	n.b.	
Ah-Bv	6,7	0,05	12,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,83	
Bv	6,48	0,08	9,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,83	
Physikalische Kennwerte										
				Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)				
Ah				0%		Us				
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ah-Bv	5%	9,3	8	16,8	43,9	17,2	3,2	1,6	Us	U
Bv-Sd	10%	0,7	5,8	21,6	43,8	22,2	4,4	1,5	Us	U

Norm-Typus Trichterdoline				Catena Osthang				
Lage: N 47° 42,910' / E 13° 00,070'								
Position Catena: Oberhang				Bezeichnung: D4_W_Rand				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1783 m ü.NN / 28° / 90°(E)				
Bodenvegetation (70%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>				
Profilmächtigkeit				12cm				
Horizontfolge				L/Oh/Cn				
Horizontbeschreibung								
Oh	0-12	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerdreich, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh				10YR 2/2 / 10YR 2/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,55	0,29	58,5	41,21	26,02	26,06	1,791	14,53
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			10%		Su2			

Norm-Typus Trichterdoline				Catena Osthang						
Lage: N 47° 42,904' / E 13° 00,088'										
Position Catena: Mittelhang				Bezeichnung: D4_W_Mitte						
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition				1775 m ü.NN / 32° / 82°(E)						
Bodenvegetation (100%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>						
Profilmächtigkeit				16cm						
Horizontfolge				L/Of/Ah/Ah-Bv/Cn						
Horizontbeschreibung										
L/Of	0-0,5	plattig, kaum Feinerde								
Ah	0,5-4	humos, feinerdreich, karbonatfrei, krümelig, skeletthaltig, glimmerführend								
Ah-Bv	4-16	krümelig, sandig, feinerdreich, karbonathaltig, skelett- und glimmerführend								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah				10YR 4/1 / 10YR 2/1						
Ah-Bv				10YR 5/4 / 10YR 4/4						
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]		
Ah	6,4	0,24	22,8	10,53	10,56	0,91	11,34	n.b.		
Ah-Bv	6,82	1,52	10,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,66		
Physikalische Kennwerte										
			Skelett		Bodenart (Fingerprobe)					
Ah			25%		Su2					
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Bodenart	Hauptgruppe
	>2000	2000-630	630-200	200-63	63-20	20-6,3	6,3-2	<2		
Ah-Bv	0%	30,2	22,8	10,6	16,9	11,8	4,5	3,2	Su3	S

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Osthang								
Lage: N 47° 42,906' / E 13° 00,096'										
Position Catena: Unterhang						Bezeichnung: D4_W_Boden				
Bodentyp: Braunerde-Pseudogley (AG Boden); Stagnic cambisol (WRB 2006)										
Bodenklasse: Stauwasserböden										
Höhe/Neigung/Exposition						1763m ü.NN / 48° / 89°(E)				
Bodenvegetation (100%)						<i>Arabidetum caerulea</i> , stark vermoost				
Profilmächtigkeit						30cm				
Horizontfolge						Ah/Bv/Sd-Bv/Cn				
Horizontbeschreibung										
Ah	0-1	humos, feinerereich, karbonatfrei, krümelig, schwach sandig, skelettfrei, glimmerführend								
Bv	1-10	krümelig-subpolyedrisch, karbonatfrei, Humus in Schlieren verzogen, rostfleckig, glimmerfrei								
Sd-Bv	10-30	subpolyedrisch, schluffreich, karbonatfrei, leicht marmoriert, Manganpunkte, glimmerfrei								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah	10YR 5/2 / 10YR 3/1									
Bv	10YR 5/4 / 10YR 4/3									
Sd-Bv	10YR 7/4 / 10YR 5/4									
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]		
Ah	6,42	0	16,4	7,23	7,249	0,684	10,57	1,41		
Bv	6,27	0,03	7,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,83		
Sd-Bv	6,41	0,03	6,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,93		
Physikalische Kennwerte										
	Skelett (geschätzt)					Bodenart (Fingerprobe)				
Ah	0%					Us				
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Bv	0%	0,7	5,8	15,1	37,4	28,3	10	3,3	Us	U
Sd-Bv	0%	1	5,1	14,9	43,3	23,9	6,9	3,7	Us	U

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Südhang								
Lage: N 47° 42,923' / E 13° 00,098'										
Position Catena: Oberhang						Bezeichnung: D4_N_Rand				
Bodentyp: Felshumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Moderrendzina (ÖBS 2011)										
Bodenklasse O/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition						1795m ü.NN / 27° / 178°(S)				
Bodenvegetation (100%)						<i>Rhododendron hirsuti mugetum</i>				
Profilmächtigkeit						15cm				
Horizontfolge						L/Oh/Cn				
Horizontbeschreibung										
L/Oh	0-15	Nadelstreu, krümelig, humos, karbonatfrei, sandig, locker durchwurzelt, skelett- und glimmerführend								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Oh	10YR 3/1 / 10YR 2/1									
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
Oh	5,98	0,03	60,7	39,27	29,00	29,01	2,21	13,12		
Physikalische Kennwerte										
	Skelett (geschätzt)					Bodenart (Fingerprobe)				
Oh	10%					Su2				

Norm-Typus Trichterdoline				Catena Südhang				
Lage: N 47° 42,915' / E 13° 00,094'								
Position Catena: Mittelhang				Bezeichnung: D4_N_Mitte				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1778m ü.NN / 14° / 180°(S)				
Bodenvegetation (100%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>				
Profilmächtigkeit				12cm				
Horizontfolge				L/Oh/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Oh	0-12	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerereich, glimmerführend						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh				10YR 2/1 / 10YR 2/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,42	0,21	63,3	36,49	29,69	29,72	2,688	11,04
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			10%		Su2			

Norm-Typus Trichterdoline				Catena Südhang						
Lage: N 47° 42,905' / E 13° 00,099'										
Position Catena: Unterhang				Bezeichnung: D4_N_Boden						
Bodentyp: Braunerde-Rendzina (AG Boden); Cambic Rendzic Leptosol (WRB 2006)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition				1763m ü.NN / 24° / 182°(S)						
Bodenvegetation (60%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>						
Profilmächtigkeit				10cm						
Horizontfolge				Ah/Ah-Bv/Cn						
Horizontbeschreibung										
Ah	0-5	humos, feinerereich, karbonatfrei, krümelig, skelettfrei, glimmerführend								
Ah-Bv	5-10	krümelig, schluffig, karbonathaltig, Horizontgrenze wellenförmig, skelettfrei, glimmerführend								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah				10YR 4/1 / 10YR 3/1						
Ah-Bv				10YR 5/3 / 10YR 4/3						
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]		
Ah	5,47	0,03	29,2	13,81	13,82	1,347	10,25	n.b.		
Ah-Bv	5,96	2,4	15,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,15		
Physikalische Kennwerte										
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)					
Ah			0%		Su2					
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ah-Bv	0%	9,7	13,8	21,2	32,3	16,9	3,5	2,5	Us	U

Norm-Typus Trichterdoline					Catena Westhang			
Lage: N 47° 42,905' / E 13° 00,110'								
Position Catena: Oberhang					Bezeichnung: D4_E_Rand			
Bodentyp: Felshumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1782m ü.NN / 34° / 280°(W)			
Bodenvegetation (60%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>								
Profilmächtigkeit								
20cm								
Horizontfolge								
L/Of/Oh/Cn								
Horizontbeschreibung								
Oh	0,5-20	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerereich, glimmerführend						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh								
10YR 2/1 / 10YR 2/1								
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,03	0,13	51	48,87	23,69	23,71	2,174	10,89
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			10%		Su2			

Norm-Typus Trichterdoline					Catena Westhang			
Lage: N 47° 42,900' / E 13° 00,095'								
Position Catena: Mittelhang					Bezeichnung: D4_E_Mitte			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1773m ü.NN / 38° / 268°(W)			
Bodenvegetation (60%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>								
Profilmächtigkeit								
10cm								
Horizontfolge								
Oh/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Oh	0-10	krümelig, locker durchwurzelt, sandig, feinerereich, skelett- und glimmerführend						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh								
10YR 3/1 / 10YR 2/1								
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	7,1	3,05	42,9	54,05	19,42	19,79	1,951	9,95
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			25%		Su2			

Norm-Typus Trichterdoline				Catena Westhang				
Lage: N 47° 42,905' / E 13° 00,099'								
Position Catena: Unterhang				Bezeichnung: D4_E_Boden				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1764m ü.NN / 15° / 270°(W)				
Bodenvegetation (60%)				<i>Arabidetum caerulea</i>				
Profilmächtigkeit				15cm				
Horizontfolge				Oh/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Oh	0-15	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, mittel sandig, feinerde-reich, glimmerführend, im unteren Drittel deutlicher Anstieg des Skelettanteils, Toncutane an Ge-steinsbruchstücken						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh				10YR 2/1 / 10YR 2/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,7	0,42	53,6	45,98	24,69	24,75	2,47	9,99
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			15%		Su3			

Doline 5 (D5)

Norm-Typus Muldendoline				Catena Nordhang				
Lage: N 47° 42,948' / E 13° 00,158'								
Position Catena: Oberhang				Bezeichnung: D5_S_Rand				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Moderrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1795 m ü.NN / 50° / 343°(N)				
Bodenvegetation (60%)				<i>Arabidetum caerulea</i>				
Profilmächtigkeit				14cm				
Horizontfolge				L/Of/Oh/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
L/Of	0-0,5	Nadelstreu / Moos locker, schwammartig gelagert						
Oh	0,5-14	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerdereich						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh				10YR 2/1 / 10YR 2/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	4,24	0,32	76,9	22,78	34,69	34,73	2,066	16,75
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			0%		Su2			

Norm-Typus Muldendoline		Catena Nordhang						
Lage: N 47° 42,948' / E 13° 00,153'								
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D5_S_Boden			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1794 m ü.NN /18°/ 342°(N)			
Bodenvegetation (60%)					<i>Adonestylon alliariae</i>			
Profilmächtigkeit					25cm			
Horizontfolge					Oh/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Oh	0-25	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerereich, karbonatarm, schwach skelettführend, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,33	0,13	46,9	52,97	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			5%		Su2			

Norm-Typus Muldendoline		Catena Osthang						
Lage: N 47° 42,951' / E 13° 00,147'								
Position Catena: Oberhang					Bezeichnung: D5_W_Rand			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Moderrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1798 m ü.NN /38°/ 62°(E)			
Bodenvegetation (100%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>			
Profilmächtigkeit					4cm			
Horizontfolge					L/Of/Oh/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
L/Of/Oh	0-4	loses Gemenge an Nadelstreu (z.T. zersetzt) und humosen Bestandteilen, krümelig, locker gelagert, karbonatfrei, sandig, körnig, skelett- und glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah					10YR 3/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	5,75	0	75,8	24,2	35,01	35,01	2,407	14,54
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			10%		Su2			

Norm-Typus Muldendoline		Catena Osthang						
Lage: N 47° 42,941' / E 13° 00,149'								
Position Catena: Mittelhang					Bezeichnung: D5_W_Mitte			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1796 m ü.NN /26°/ 64°(E)			
Bodenvegetation (100%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>								
Profilmächtigkeit								
14cm								
Horizontfolge								
L/Of/Oh/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
L/Of/Oh	0-14	mm-mächtige Auflage an unzersetztem Caricetum – Streu, feucht-frementriert, humos, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerereich, skelettführend, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh								
10YR 3/1 / 10YR 2/1								
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,84	1,53	54,1	44,37	25,14	25,33	2,104	11,95
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			20%		Su2			

Norm-Typus Muldendoline		Catena Osthang						
Lage: N 47° 42,942' / E 13° 00,151'								
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D5_W_Boden			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1794 m ü.NN /17°/ 90°(E)			
Bodenvegetation (100%)								
<i>Adonestylon alliariae</i>								
Profilmächtigkeit								
30cm								
Horizontfolge								
L/Oh/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
L/Of	0-1	feucht-schmierige Auflage bestehend aus Caricetum – Streu, unterliegend Moos, plattig gelagert, kaum Feinerde						
Oh	1-30	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, karbonatfrei, feinerereich, skelettarm, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh								
10YR 2/1 / 10YR 2/1								
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,36	0,48	48,7	50,82	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			5%		Su2			

Norm-Typus Muldendoline		Catena Südhang						
Lage: N 47° 42,942' / E 13° 00,153'								
Position Catena: Oberhang					Bezeichnung: D5_N_Rand			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Moderrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1797 m ü.NN /24°/ 185°(S)			
Bodenvegetation (100%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>								
Profilmächtigkeit								
9cm								
Horizontfolge								
L/Oh/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
L	0-2	Nadelstreu, im unteren Bereich zersetzt und mit Wurzelresten und Mosse vermengt, schwammartig, locker						
Oh	2-9	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt (Grob- und Feinwurzeln), in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerdereich, karbonatarm, skelett- und glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh								
10YR 2/1 / 10YR 2/1								
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	4,88	0,86	56,3	42,84	27,41	27,52	1,902	14,41
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			0%		Su2			

Norm-Typus Muldendoline		Catena Südhang						
Lage: N 47° 42,941' / E 13° 00,153'								
Position Catena: Mittelhang					Bezeichnung: D5_N_Mitte			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1795 m ü.NN /29°/ 179°(S)			
Bodenvegetation (100%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>								
Profilmächtigkeit								
25cm								
Horizontfolge								
L/Of/Oh+Ah/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Oh+Ah	0,5-25	humos, krümelig, locker durchwurzelt, sandig, feinerdereich, karbonatfrei, skelett- und glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh+Ah								
10YR 3/1 / 10YR 2/1								
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh+Ah	6,05	0,1	35,2	64,7	15,90	15,92	1,365	11,65
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh+Ah			0%		Su2			

Norm-Typus Muldendoline		Catena Südhang						
Lage: N 47° 42,944' / E 13° 00,153'								
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D5_N_Boden			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1794 m ü.NN /3°/ 1°(S)			
Bodenvegetation (100%)					<i>Adonestylon alliariae</i>			
Profilmächtigkeit					25cm			
Horizontfolge					Oh/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Oh	0-25	tiefschwarz, humos, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerde- reich, karbonatarm, skelett- und glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	5,98	0,29	33,5	66,21	14,91	14,95	1,196	12,5
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			0%		Su2			

Norm-Typus Muldendoline		Catena Westhang						
Lage: N 47° 42,946' / E 13° 00,157'								
Position Catena: Oberhang					Bezeichnung: D5_E_Rand			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1798m ü.NN /31°/ 266°(W)			
Bodenvegetation (100%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>			
Profilmächtigkeit					18cm			
Horizontfolge					L/Of/Oh/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
L/Of	0-1	Moos-, Wurzel- und Nadelreste schwammartig, plattig, sehr feucht, kaum Feinerde						
Oh	1-18	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerdereich, skelett- und glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 3/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	5,66	0,53	45,8	53,67	21,47	21,54	1,729	12,42
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			10%		Su2			

Norm-Typus Muldendoline				Catena Westhang				
Lage: N 47° 42,947' / E 13° 00,157'								
Position Catena: Oberhang				Bezeichnung: D5_E_Boden				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1794 m ü.NN /8° / 264°(W)				
Bodenvegetation (100%)				<i>Adenostylon alliariae</i>				
Profilmächtigkeit				30cm				
Horizontfolge				Oh/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Oh	0-30	humos, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerereich, karbonatarm, schwach skelettführend, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh				10YR 2/1 / 10YR 2/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,26	0,26	38,8	60,94	24,86	24,90	2,063	12,05
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			5%		Su2			

Dolinen 6 – 19 (D6-D19): Referenzdolinen

Dolinen-Schacht-Typus				Catena Nordhang				
Lage: N 47°42,710' / E 13°00,368'								
Position Catena: Unterhang				Bezeichnung: D6_S_Boden				
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1792m ü.NN /33°/12°(N)				
Bodenvegetation (80%)				<i>Arabidetum caerulea</i> , stark vermoost				
Profilmächtigkeit				25cm				
Horizontfolge				Ah/Ah(xC)/Cn				
Horizontbeschreibung								
Ah	0-15	karbonatfrei, feinerereich, in feuchtem Zustand schmierig, dunkelhumos, von feinen Wurzeln durchzogen, sandig						
Ah(xC)	15-25	stark skeletthaltig, humos, Krümelgefüge, schluffig, karbonathaltig, leichter Farbwechsel nach dunkelbraun (10YR3/3)						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah				10YR 3/1 / 10YR 2/1				
Ah(xC)				10YR 3/3 / 10YR 3/2				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	7,08	2,63	24	n.b.	18,91	19,23	1,797	10,52
Ah(xC)	7,21	10,52	23,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Ah			5%		Su2			
Ah(xC)			50%		Su3			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Osthang						
Lage: N 47° 42,718' / E 13° 00,248'								
Position Catena: Oberhang					Bezeichnung: D6_W_Rand			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1800m ü.NN /26°/86°(E)			
Bodenvegetation (80%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>			
Profilmächtigkeit					20cm			
Horizontfolge					L/Of/Oh(xC)/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
L/Of	0-2	Caricetum/Dryas-Streu mit abgestorbener und frischer Wurzelmasse vermengt, locker plattig gelagert, kaum Feinerde						
Oh(xC)	2-20	humos, Krümelgefüge, karbonathaltig, stark skelettführend						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 3/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh(xC)	6,41	01,64	36,4	61,96	31,61	31,81	2,14	14,74
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh(xC)			65%		Su2			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Südhang						
Lage: N 47° 43,0128' / E 13° 00,549'								
Position Catena: Oberhang, Sattelposition					Bezeichnung: D7_N_Rand			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Moderrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1802m ü.NN /11°/200°(S)			
Bodenvegetation (100%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>			
Profilmächtigkeit					13cm			
Horizontfolge					Oh/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Oh	0-13	Graswurzelfilz bis 2cm, tiefschwarz, humos, schmierig, fein durchwurzelt, krümelig, grobskelettführend, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	5,39	3,98	42,7	53,32	26,95	27,43	0,975	27,64
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			40%		Su2			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Südhang						
Lage: N 47° 43,003' / E 13°00,555'								
Position Catena: Mittelhang					Bezeichnung: D7_N_Mitte			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1796 m ü.NN /29°/172°(S)			
Bodenvegetation (65%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>								
Profilmächtigkeit								
20cm								
Horizontfolge								
Ah/Ah+Bv/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Ah	0-10	humos, krümelig, feinerdereich, sandig, leicht skeletthaltig, glimmerfrei						
Ah+Bv	10-20	krümelig, Humus verzogen in Schlieren, verbrauchter Saum zwischen Dachsteinkalk-Blöcken eingelagert, dadurch Gesamtmächtigkeit geringer, schwach skelettführend, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Ah+Bv					10YR 4/3 / 10YR 4/2			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	6,7	0,99	22,1	n.b.	8,77	8,896	0,833	10,53
Ah+Bv	6,96	0,92	21,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
				Skelett (geschätzt)	Bodenart (Fingerprobe)			
Ah				10%	Su2			
Ah+Bv				5%	Su3			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Südhang						
Lage: N 47° 42,997' / E 13°00,557'								
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D7_N_Boden			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1788 m ü.NN /30°/204°(S)			
Bodenvegetation (25%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>								
Profilmächtigkeit								
12cm								
Horizontfolge								
Ah/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Ah	0-12	tiefschwarz, humos, krümelig, feinerdereich, stark karbonathaltig, zwischen Dachsteinkalkschutt eingelagert, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah					10YR 3/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	7,21	18,92	22,1	n.b.	10,18	12,46	0,78	12,98
Physikalische Kennwerte								
				Skelett (geschätzt)	Bodenart (Fingerprobe)			
Ah				40%	Su2			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Osthang						
Lage: N 47° 43,678' / E 13° 00,358'								
Position Catena: Oberhang					Bezeichnung: D8_W_Rand			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1828 m ü.NN /28°/82°(E)			
Bodenvegetation (100%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>								
Profilmächtigkeit								
20cm								
Horizontfolge								
L/Ah/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Ah	0,5-20	karbonatführend, bis 6 cm skelettfrei, stark durchwurzelt, Krümelgefüge, skeletthaltig, schwach glimmerführend						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah								
10YR 2/1 / 10YR 2/1								
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	5,83	1,56	30,5	n.b.	19,36	19,55	1,576	12,28
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Ah			30%		Su2			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Osthang						
Lage: N 47° 42,682' / E 13° 00,371'								
Position Catena: Mittelhang					Bezeichnung: D8_W_Mitte			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1820m ü.NN /12°/82°(E)			
Bodenvegetation (100%)								
<i>Firmetum, verzahnt mit Seslerio-Caricetum semperviren.</i>								
Profilmächtigkeit								
12cm								
Horizontfolge								
Ah/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Ah	0-12	humos, krümelig, sandig, fein durchwurzelt, in feuchtem Zustand rollbar, skeletthaltig, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah								
10YR 3/1 / 10YR 2/1								
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	6,04	0,8	22,2	n.b.	9,70	9,80	0,86	11,23
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Ah			35%		SI3			

Dolinen-Schacht-Typus		Catena Osthang						
Lage: N 47°42,684' / E 13° 00,378'								
Position Catena: Unterhang				Bezeichnung: D8_W_Boden				
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1813 m ü.NN /36°/88°(E)				
Bodenvegetation (35%)				<i>Arabidetum caerulea</i>				
Profilmächtigkeit				20cm				
Horizontfolge				Ah/Ah+Bv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Ah	0-10	humos, krümelig, schwach skeletthaltig, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerdereich, leicht glimmerführend						
Ah+Bv	10-20	humos, schmierig, schluffig, feinerdereich, Krümel- bis Subpolyedergefüge, glimmerfrei, in Taschen zwischen Dachsteinkalkbrocken eingelagert						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah				10YR 3/2 / 10YR 2/1				
Ah+Bv				10YR 4/3 / 10YR 3/2				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	6,84	0,95	27,4	n.b.	10,156	10,27	0,985	10,31
Ah+Bv	7,1	1,42	25,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Ah			5%		Su2			
Ah+Bv			25%		Su4			

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Osthang								
Lage: N 47°43,005' / E 13°00,35'										
Position Catena: Oberhang				Bezeichnung: D9_W_Rand						
Bodentyp: Braunerde-Pseudogley, leicht podsoliert (AG Boden); Stagnic cambisol (WRB 2006)										
Bodenklasse Braunerde										
Höhe/Neigung/Exposition				1804m ü.NN /35°/78°(E)						
Bodenvegetation (100%)				<i>Rhododendron hirsuti</i> im Übergang zu <i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>						
Profilmächtigkeit				65cm						
Horizontfolge				Oh/Ae/Bs/Bv/Cn						
Horizontbeschreibung										
Oh	0-40	stark humos, krümelig, tief durchwurzelt (Graswurzelfilz bis 2 cm), skelettfrei, schluffig, feinerdereich, sehr schmierig, glimmerführend								
Ae	40-42	gebleicht, locker, krümelig, Horizontgrenze wellig, verzahnt, Humus in Schlieren verzogen, karbonatarm, skelettfrei								
Bs	42-53	schluffreich, Subpolyedergefüge, rostfleckig, marmoriert, glimmer- und skelettfrei								
Bv	53-65	schwach sandig, schluffig, subpolyedrisch, glimmer- und skelettfrei								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Oh				10YR 3/1 / 10YR 2/1						
Ae				10YR 7/1 / 10YR 4/1						
Bs				10YR 6/4 / 10YR 4/3						
Bv				10YR 6/4 / 10YR 4/3						
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]		
Oh	3,48	0,74	76,3	42,06	42,15	1,72	24,45	n.b.		
Ae	3,59	0,76	2,4	1,29	1,47	0	-	0,55		
Bs	4,49	0,61	2,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,11		
Bv	6,47	0,75	2,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,39		
Physikalische Kennwerte										
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ae	0%	0,5	0,4	12,3	44,6	23,5	8,4	10,8	Ut2	U
Bs	0%	0,1	0,5	17,2	52,2	16,2	4,5	9,4	Ut2	U
Bv	0%	0	1,7	21,1	58	13	3,5	2,8	Us	U

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Osthang						
Lage: N 47°43,004' / E 13°00,584'								
Position Catena: Mittelhang				Bezeichnung: D9_W_Mitte				
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1802m ü.NN /20°/98°(E)				
Bodenvegetation (100%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>				
Profilmächtigkeit				26cm				
Horizontfolge				Ah/Ah(Bv)/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Ah	0-16	krümelig, skelettfrei, sandig, schwach schluffig, feinerdereich, glimmerführend						
Ah(Bv)	16-26	krümelig, in feuchtem Zustand schmierig, schluffig, feinerdereich, glimmerführend, skeletthaltig, Farbwechsel zu dunkelbraun						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah				10YR 3/1 / 10YR 2/1				
Ah(Bv)				10YR 5/3 / 10YR 3/3				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	4,6	0,7	26,6	n.b.	10,87	10,96	0,87	12,40
Ah(Bv)	5,91	0,74	22,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Ah			0%		Su2			
Ah(Bv)			40%		Su4			

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Osthang						
Lage: N 47°42,710' / E 13°00,368'								
Position Catena: Unterhang				Bezeichnung: D9_W_Boden				
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1798m ü.NN /34°/82°(E)				
Bodenvegetation (80%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i> , stark vermoost				
Profilmächtigkeit				30cm				
Horizontfolge				Ah/Ah(Bv)/Cn				
Horizontbeschreibung								
Ah	0-18	Krümelgefüge, skeletthaltig, in feuchtem Zustand schmierig, schluffig, sehr feinerdereich, durchwurzelt, glimmerfrei						
Ah(Bv)	18-30	schluffig, schwach sandig, Krümel- bis Subpolyederggefüge, glimmerfrei, skeletthaltig						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah				10YR 3/1 / 10YR 2/1				
Ah(Bv)				10YR 5/3 / 10YR 4/3				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	6,72	0,98	25,3	n.b.	15,38	15,4	1,494	10,29
Ah(Bv)	6,89	0,98	23,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Ah			5%		Su2			
Ah(Bv)			20%		Su4			

Norm-Typus Trichterdoline				Catena Westhang				
Lage: N 47° 43,682' / E 13° 00,371'								
Position Catena: Oberhang				Bezeichnung: D9_E_Rand				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Moderrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1802 m ü.NN /32°/282°(W)				
Bodenvegetation (70%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i> , vermoost				
Profilmächtigkeit				30cm				
Horizontfolge				Oh/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Oh	0-23	humos, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, leicht karbonatführend, feinerereich						
Cv	23-30	Roter Dachsteinkalk, stark verwittert, Zersatz						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh				10YR 3/1 / 10YR 2/1				
Cv				5YR 8/2 / -				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,69	1,22	57,3	41,48	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			30%		Su2			

Norm-Typus Trichterdoline				Catena Westhang				
Lage: N 47° 42,999' / E 13° 00,594'								
Position Catena: Oberhang				Bezeichnung: D9_E_Mitte				
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1800 m ü.NN /32°/282°(W)				
Bodenvegetation (100%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>				
Profilmächtigkeit				20cm				
Horizontfolge				Ah/AhCv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Ah	0-10	humos, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerereich						
AhCv	10-20	krümelig, sehr feinerereich, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, locker durchwurzelt, glimmerfrei, hoher Anteil an Glasbruchstücken in 10cm						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah				10YR 2/1 / 10YR 2/1				
AhCv				10YR 3/1 / 10YR 2/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	6,63	0,98	23,1	n.b.	13,80	13,92	1,09	13,32
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
AhCv			70%		Su2			

Norm-Typus Trichterdoline		Catena Westhang						
Lage: N 47°42,710' / E 13°00,368'								
Position Catena: Unterhang					Bezeichnung: D9_E_Boden			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1798 m ü.NN /43°/282°(W)			
Bodenvegetation (70%)								
Arabidetum caerulea, vermoost								
Profilmächtigkeit								
20cm								
Horizontfolge								
Ah/Ah+Bv/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Ah	0-10	krümelig, stark skeletthaltig, in feuchtem Zustand schmierig, schwach schluffig, sehr feinerereich, sandig, glimmerfrei						
Ah+Bv	10-20	humos, schwach sandig, sehr feinerereich, in feuchtem Zustand rollbar, Krümelgefüge, schwach glimmerführend, skeletthaltig, verbrauchte Nester unter Skelett						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Ah+Bv					10YR 4/3 / 10YR 2/2			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	6,93	1,19	25,4	n.b.	10,85	11	0,95	11,42
Ah+Bv	7,19	1,22	22,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
				Skelett (geschätzt)	Bodenart (Fingerprobe)			
Ah				40%	Su2			
Ah+Bv				15%	Su3			

Schachtdoline		Einzelprofil						
Lage: N 47°42,710' / E 13°00,368'								
Position: Schachtrand					Bezeichnung: D10_Rand			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1806 m ü.NN /2°/335°(N)			
Bodenvegetation (100%)								
Firmetum								
Profilmächtigkeit								
17cm								
Horizontfolge								
Oh/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Oh	0-17	Graswurzelfilz im oberen cm, karbonatarm, Krümelgefüge, leicht glimmerführend, zwischen Skelett polsterartig eingebettet						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	5,55	0,79	35,2	64,01	30,39	39,49	2,49	12,19
Physikalische Kennwerte								
				Skelett (geschätzt)	Bodenart (Fingerprobe)			
Oh				25%	Su2			

Schachtdoline		Einzelprofil						
Lage: N 47°42,727' / E 13°00,357'								
Position Schachtrand					Bezeichnung: D11_Rand			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006); Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1819 m ü.NN /4°/6°(N)			
Bodenvegetation (100%)					Firmetum			
Profilmächtigkeit					5cm			
Horizontfolge					Ah/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Ah	0-5	karbonatarm, sandig, Krümelgefüge, glimmerfrei, feinerereich, stark durchwurzelt						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah	5YR 2,5/1 / 5YR 2,5/1							
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	6,41	1,15	25,4	n.b.	33,92	34,06	2,546	13,32
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Ah	5%			Su2				

Sattelposition		Einzelprofil								
Lage: N 47°42,720' / E 13°00,344'										
Position Catena: Sattellage						Bezeichnung: D12_Sattel				
Bodentyp: Braunerde-Rendzina (AG Boden); Cambic Rendzic Leptosol (WRB 2006)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition						1801m ü.NN /10°/198°(S)				
Bodenvegetation (30%)						<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>				
Profilmächtigkeit						10cm				
Horizontfolge						Ah/BvCv/Cn				
Horizontbeschreibung										
Ah	0-0,5	krümelig, schwachskeletthaltig, karbonatarm, schluffig, feinerereich, skelett- und glimmerfrei								
BvCv	0,5-10	humos, sehr schluffreich, feinerereich, Subpolyedergefüge, glimmerfrei, stark skeletthaltig, karbonatführend								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah	10YR 5/2 / 10YR 3/1									
BvCv	10YR 6/4 / 10YR 4/3									
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
Ah	6,55	0,92	9,5	n.b.	4,74	4,856	0,407	11,6		
BvCv	7,26	3,2	7,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Physikalische Kennwerte										
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ah	5%	5,7	6,0	16,5	43	21,4	5,5	1,8	Us	U
BvCv	40%	2,3	1,1	12,4	48,3	25,2	8,0	2,7	Uu	U

Normtypus Muldendoline		Einzelprofil						
Lage: N 47°42,720' / E 13°00,344'								
Position: Dolinengrund					Bezeichnung: D13_N_Boden			
Bodentyp: Braunerde-Rendzina (AG Boden); Cambic Rendzic Leptosol (WRB 2006)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1801 m ü.NN /3°/45°(NE)			
Bodenvegetation (60%)								
stark vermooster Standort mit <i>Aconitum napellus</i>								
Profilmächtigkeit								
13cm								
Horizontfolge								
L/Of/Ah/Bv/Cn								
Horizontbeschreibung								
L/Of	0-1	plattig, durchwurzelt, kaum Feinerde, überwiegend bestehend aus Moos und abgestorbenen <i>Aconitum</i> -Streu						
Ah	1-5	Krümelgefüge, skelettführend, schluffig, sehr feinerdreich, leicht glimmerführend, schwach sandig, fein durchwurzelt, Horizontgrenze fleckig, z.T. tropfenförmig in Bv ausgreifend						
Bv	5-13	schwach sandig, feinerdreich, Subpolyedergefüge, glimmerfrei, skelettfrei, humoses Band zwischen 9 und 10 cm						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah					10YR 4/1 / 10YR 2/1			
Bv					10YR 6/4 / 10YR 4/3			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	4,82	0,92	21,7	n.b.	8,414	8,526	0,768	10,95
BvCv	5,24	0,86	21,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Ah			20%		Su4			
Bv			0%		Us			

Normtypus Muldendoline		Einzelprofil						
Lage: N 47°43,120' / E 13°00,231'								
Position: Dolinengrund					Bezeichnung: D14_S_Boden			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1820 m ü.NN /3°/170°(S)			
Bodenvegetation (60%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i> mit Feuchtezeigern								
Profilmächtigkeit								
24cm								
Horizontfolge								
OhCv/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
OhCv	0-24	Krümelgefüge, skelettreich, sehr feinerdreich, glimmerführend, sandig, stark durchwurzelt, humusreich, karbonatfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
OhCv					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
OhCv	5,67	0,87	52,16	46,97	28,42	28,53	1,83	15,50
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
OhCv			50%		Su2			

Karstrelief Kuppe				Einzelprofil				
Lage: N 47°42,838' / E 13°00,473'								
Position: Südostabstürze unterhalb Salzburger Hochthron, Mittelhang				Bezeichnung: D15_W_Mitte				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Leptic Histosol (WRB 2006), Moderrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition				1833m ü.NN /30°/103°(E)				
Bodenvegetation (100%)				<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>				
Profilmächtigkeit				45cm				
Horizontfolge				Oh/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung								
Oh	0-45	Krümelgefüge, skelettarm, tief schwarz, sehr feinerdereich, locker, glimmerführend, sandig, tief durchwurzelt, sehr humusreich, karbonatfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh				10YR 2/1 / 10YR 2/1				
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,19	0,9	50,1	49	38,99	38,99	1,582	24,57
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			5%		Su2			

Kuppe		Einzelprofil																
Lage: N 47° 43,193' / E 13° 00,412'																		
Position: Kuppenlage / Schichtkopf					Bezeichnung: D16_Rand													
Bodentyp: Braunerde aus äolischer Deckschicht, leicht podsoliert																		
Bodenklasse Braunerde (Cambisol)																		
Höhe/Neigung/Exposition					1790 m ü.NN /8°/304°(NW)													
Bodenvegetation (100%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>													
Profilmächtigkeit					65cm													
Horizontfolge					Oh/Aeh/IIBsv/IIcCn													
Horizontbeschreibung																		
Oh	0-44	glimmerführend, extrem humos, krümelig bis feinpudrig, in feuchtem Zustand schmierig, sehr stark durchwurzelt, karbonatarm, feinsandig, skelettfrei																
Aeh	44-47	sehr stark glimmerführend, schwach humos, deutlich aufgehellt, wellenförmig verlaufendes Bändchen, feinsandig, skelettfrei																
IIBsv	47-65	glimmerführend, schwach humos, krümelig bis subpolyedrisch, feinsandig, karbonatfrei, auf den Aggregatoberflächen z.T. rostfarbig, skelettführend																
Bodenfarbe (trocken/nass)																		
Oh	10YR 2/1 / 10YR 2/1																	
Aeh	10YR 5/1 / 10YR 5/1																	
IIBsv	10YR5/3 / 10YR 4/3																	
Chemische Kennwerte																		
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N										
Oh	6,75	0,13	80,6	19,27	42,00	42,02	1,81	23,2										
IIBsv	6,79	0,65	5,9	n.b.	2,18	2,26	0,12	-										
Dithionit-Extraktion [mg/g]					Oxalat-Extraktion [mg/g]													
	Al	Fe _d	Mg	Fe _o			Fe _o /Fe _d											
Oh	1,41	2,3	0,04	1,66			0,72											
IIBsv	3,4	14,73	0,457	3,76			0,25											
Effektive Kationenaustauschkapazität [mmol/kg]																		
	K	Na	Mg	Ca	Al	H ⁺	Σ KAK	BS [%]										
Oh	1,78	0,78	4,87	893,2	0,38	0	901	99,95										
IIBsv	0,76	0,74	1,84	160,9	0,31	0	164	99,73										
Physikalische Kennwerte																		
	Skelett (geschätzt)					Bodenart (Fingerprobe)												
Oh	5%					Su2												
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)																		
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe								
IIBvs	15%	3,4	4,2	21,4	49,5	13,6	4,5	3,9	Us	U								
Mineralanalytische Werte, rel. Häufigkeit in [%] (RDA)																		
	Quarz	Illite/Mica	Chlorite	Kaolinit	Smectit	Alunit	Hämatit	Goethit	Lepidokrokit	Al-Ox-Phasen	K-Feldspat	A-F-Feldspat	Calcit	Dolomit	Magnesit	Amphibolit	Apatit (undef.)	Talc
IIBsv	39	31	11	-	T	T	0	0	-	?	1	10	0	1	-	4	T	-
Tonminerale, rel. Häufigkeit (RDA)																		
	Illit/Mica	Fe-reiche Chlorite /Kaolinite	Smectite	Quarz	Feldspat	Amphibolit	Fe-hydr(oxide) Organik	Kommentar										
IIBsv	xxx	xxx	T	x	?	-	xx	Chl=Kao										

Normdoline Trichtertypus		Einzelprofil																
Lage: N 47° 42,962' / E 13° 00,231'																		
Position: Dolinenboden						Bezeichnung: D17A_W_Boden												
Bodentyp: Rendzina (AG Boden), Rendzic Leptosol (WRB2006), Rendzina (ÖBS 2011)																		
Bodenklasse A/C Boden																		
Höhe/Neigung/Exposition						1795m ü.NN /39°/79°(E)												
Bodenvegetation (100%)																		
Arabidetum caerulea, stark vermoost																		
Profilmächtigkeit																		
20cm																		
Horizontfolge																		
Ah/Cv/Cn																		
Horizontbeschreibung																		
Ah	0-20	glimmerführend, humos, krümelig, trocken pudrig bis mittel sandig, karbonatfrei, schwach skelettführend																
Bodenfarbe (trocken/nass)																		
Ah																		
10YR 4/1 / 10YR 3/1																		
Chemische Kennwerte																		
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N										
Ah	6,57	0,2	14,3	n.b.	6,68	6,71	0,52	12,84										
Dithionit-Extraktion [mg/g]						Oxalat-Extraktion [mg/g]												
	Al	Fe _d	Mg	Fe _o				Fe _o /Fe _d										
Ah	2,49	15,86	0,73	4,48				0,28										
Effektive Kationenaustauschkapazität [mmol/kg]																		
	K	Na	Mg	Ca	Al	H ⁺	∑ KAK	BS [%]										
Ah	4,85	0,66	3,67	271,46	0,18	0	281,08	99,85										
Physikalische Kennwerte																		
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)																		
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe								
Ah	35%	15	17,1	16,2	30	16,4	3,9	1,4	Us	U								
Mineralanalytische Werte, rel. Häufigkeit in [%] (RDA)																		
	Quarz	Illite/Mica	Chlorite	Kaolinit	Smectit	Alunit	Hämatit	Goethit	Lepidokrokit	Al-Ox-Phasen	K-Feldspat	A-F-Feldspat	Calcit	Dolomit	Magnesit	Amphibolit	Apatit (undef.)	Talc
IIBsv	33	31	13	-	-	2	0	4	T	?	5	7	0	1	-	3	T	-
Tonminerale, rel. Häufigkeit (RDA)																		
	Illit/Mica	Fe-reiche Chlorite /Kaolinite			Smectite	Quarz	Feldspat	Amphibolit	Fe-hydr(oxide) Organik		Kommentar							
IIBsv	xxx	xxx			-	x	x	-	xx		Chl=Kao							

Normdoline Trichtertypus		Einzelprofil																
Lage: N 47° 42,969' / E 13° 00,235'																		
Position: Dolinenboden		Bezeichnung: D17B_S_Boden																
Bodentyp: Braunerde-Rendzina (AG Boden), Cambic Rendzic Leptosol (WRB2006), Rendzina (ÖBS 2011)																		
Bodenklasse A/C Boden																		
Höhe/Neigung/Exposition		1795m ü.NN /38°/22°(N)																
Bodenvegetation (100%)		Arabidetum caerulea, stark vermoost																
Profilmächtigkeit		18cm																
Horizontfolge		Ah/Bv+Cv/Cn																
Horizontbeschreibung																		
Ah	0-3	stark glimmerführend, stark sandig, krümelig, humos, karbonatfrei, Graswurzelfilz																
Bv+Cv	3-18	glimmerführend, feinerereich, krümelig, trocken sandig, nach unten zunehmend schluffig, schwach humos, stark skeletthaltig																
Bodenfarbe (trocken/nass)																		
Ah		10YR 4/1 / 10YR 3/1																
		10YR 6/3 / 10YR 4/3																
Chemische Kennwerte																		
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N										
Ah	6,16	0,44	22,2	n.b.	10,98	11,02	0,87	12,62										
Bv+Cv	7,26	1,14	2,06	n.b.	1,9232	2,06	0,17	-										
	Dithionit-Extraktion [mg/g]			Oxalat-Extraktion [mg/g]														
	Al	Fe _d	Mg		Fe _o		Fe _o /Fe _d											
Ah	2,32	13,6	0,54		4,65		0,34											
Bv+Cv	2,06	15,31	0,65		3,43		0,21											
	Effektive Kationenaustauschkapazität [mmol/kg]																	
	K	Na	Mg	Ca	Al	H ⁺	Σ KAK	BS [%]										
Ah	9,9	0,96	6,39	329,34	0,22	0	347,4	99,75										
Bv+Cv	3,14	0,8	2,62	277,4	0,13	0	284,17	99,94										
Physikalische Kennwerte				Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)														
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe								
Ah	0%	30,8	17,6	14,1	23,4	10,7	1,3	2,1	Su3	S								
Bv+Cv	40%	0,9	6,2	12,3	35,4	29,8	11,3	3,7	Us	U								
Mineralanalytische Werte, rel. Häufigkeit in [%] (RDA)																		
	Quarz	Illite/Mica	Chlorite	Kaolinit	Smectit	Alunit	Hämatit	Goethit	Lepidokrokit	Al-Ox-Phasen	K-Feldspat	A-F-Feldspat	Calcit	Dolomit	Magnesit	Amphibolit	Apatit (un-def.)	Talc
Ah	30	26	26	0	T	1	0	3	T	T	4	6	0	1	0	3	T	T?
Bv+Cv	31	34	9	8	-	-	0	0	T	T	6	8	2	0	-	2	-	-
Tonminerale, rel. Häufigkeit (RDA)																		
	Illit/Mica	Fe-reiche Chlorite/Kaolinite		Smectite	Quarz	Feldspat	Amphibolit	Fe-hydr(oxide) Organik	Kommen-tar									
Ah	xx	xxx		T	x	x	-	xx	Ch>>Kao									
Bv+Cv	xxx	xxx		xx	x	x	x	xx	Ch>>Kao									

Flächenrest		Einzelprofil																
Lage: N 47° 42,949' / E 13° 00,170'																		
Position: Dolinendurchsetzte Fläche, von Kuppen umrahmt					Bezeichnung: D18A													
Bodentyp: Braunerde aus äolischer Deckschicht über Residualton (AG Boden), Cambic over Chromic Cambisol (WRB2006)																		
Bodenklasse Braunerde																		
Höhe/Neigung/Exposition					1800m ü.NN /4°/118°(ESE)													
Bodenvegetation (100%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>													
Profilmächtigkeit					36cm (erreichte Grabtiefe)													
Horizontfolge					L/(Ah/)Bv/IIBv-(T)/Cn													
Horizontbeschreibung																		
L	0-1	Graswurzelfilz, stark humos																
(Ah/)Bv	1-4	stark glimmerführend, krümelig, trocken schluffig, Humus aus L z.T. verzogen in Schlieren, carbonat- und skelettfrei																
Bv	4-20	glimmerführend, mittelsandig, schluffig, humos, karbonat- und skelettfrei																
IIBv-(T)	20-36	sehr schwach glimmerhaltig, feinsandig, krümelig, nach unten deutlich tonhaltiger (Ton in einzelnen Schmitzen), humusführend, karbonat- und skelettfrei																
Bodenfarbe (trocken/nass)																		
(Ah/)Bv					10YR 3/1 / 10YR 2/1													
Bv					10YR 5/3 / 10YR 4/3													
IIBv					10YR 5/4 / 10YR 4/3													
Chemische Kennwerte																		
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N										
(Ah/)Bv	3,52	0,07	36,3	63,63	16,67	16,68	1,3	12,82										
Bv	3,71	0,14	11,2	n.b.	4,59	4,61	0,43	10,72										
IIBv-(T)	4,01	0,01	6,7	n.b.	2,26	2,27	0,2	11,3										
Dithionit-Extraktion [mg/g]				Oxalat-Extraktion [mg/g]														
	Al	Fe _d	Mg	Fe _o	Fe _o /Fe _d													
(Ah/)Bv	2,67	13,21	0,03	6,19	0,46													
Bv	3,27	22,81	0,13	12,03	0,52													
IIBv-(T)	4,51	22,18	0,67	9,62	0,43													
Effektive Kationenaustauschkapazität [mmol/kg]																		
	K	Na	Mg	Ca	Al	H ⁺	Σ KAK	BS [%]										
(Ah/)Bv	14,7	1,69	12,9	28,14	59,1	0	121,32	47,43										
Bv	3,15	0,94	2,21	4,37	86,02	0	97,56	10,91										
IIBv-(T)	1,34	0,76	0,81	3,08	65,83	0	72,24	8,28										
Physikalische Kennwerte																		
	Skelett (geschätzt)				Bodenart (Fingerprobe)													
(Ah/)Bv	0%				St2													
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)																		
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe								
Bv	0%	4,9	9,6	18,1	33,6	20,4	6,7	6,6	Us	U								
IIBv-(T)	0%	0,6	2,7	12,8	43,1	23,5	8,4	8,9	Ut2	U								
Mineralanalytische Werte, rel. Häufigkeit in [%] (RDA)																		
	Quarz	Illite/Mica	Chlorite	Kaolinit	Smectit	Alunit	Hämatit	Goethit	Lepidokrokit	Al-Ox-Phasen	K-Feldspat	A-F-Feldspat	Calcit	Dolomit	Magnesit	Amphibolit	Apatit (undef.)	Talc
Bv	37	30	13	?	-	T	0	3	?	T	5	9	0	0	0	3	T	T
IIBv-(T)	39	31	6	9	-	T	0	1	?	T	3	8	0	T	0	3	T	3
Tonminerale, rel. Häufigkeit (RDA)																		
	Illit/Mica	Fe-reiche Chlorite /Kaolinite	Smectite	Quarz	Feldspat	Amphibolit	Fe-hydr(oxide) Organik	Kommentar										
Bv	xx	xxx	T	x	T	-	xx	Chl>>Kao										
IIBv-(T)	xx	xxx	?	x	T	-	xx	Chl>>Kao										

Flächenrest					Einzelprofil					
Lage: 47° 42,952' / E 13° 00,170'										
Position: Dolinendurchsetzte Fläche, von Kuppen umrahmt					Bezeichnung: D18B					
Bodentyp: Braunerde (AG Boden); Cambisol (WRB 2006)										
Bodenklasse Braunerde										
Höhe/Neigung/Exposition					1781 m ü.NN /2°/-					
Bodenvegetation (100%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>					
Profilmächtigkeit					26cm					
Horizontfolge					(L/)Ah/Bv/Cn					
Horizontbeschreibung										
Ah	1-6	Krümelgefüge, skelettführend, schluffig, sehr feinerereich, leicht glimmerführend, schwach sandig, fein durchwurzelt, Horizontgrenze fleckig, z.T. tropfenförmig in Bv ausgreifend								
Bv	6-26	schwach sandig, feinerereich, Subpolyederggefüge, glimmerfrei, skelettfrei								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah					10YR 4/1 / 10YR 3/1					
Bv					10YR 5/4 / 10YR 4/3					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
Ah	3,8	0,52	19,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Bv	4,52	0,58	10,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Physikalische Kennwerte										
				Skelett (geschätzt)			Bodenart (Fingerprobe)			
Ah				0%			St2			
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Bv	0%	14,6	12,4	16,1	26	17,3	5,9	7,5	Us	U
Elementanalyse (ICP-OES)										
Gesamtelementgehalt [mg/g]										
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Si	
Ah	70,78	6,4	42,36	14,53	9,76	0,898	7,49	0,89	2,99	
Bv	80,05	8,07	38,20	17,49	10,02	0,857	7,99	0,62	0,71	

Normtypus Muldendoline					Catena Ost					
Lage: 47° 42,949' / E 13° 00,178'										
Position: Dolinenrand, flächennah					Bezeichnung: D18C					
Bodentyp: Braunerde (AG Boden); Cambisol (WRB 2006)										
Bodenklasse Braunerde										
Höhe/Neigung/Exposition					1801 m ü.NN /16°/ 79°(E)					
Bodenvegetation (100%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>					
Profilmächtigkeit					20cm					
Horizontfolge					(L/)Ah/Bv/Cn					
Horizontbeschreibung										
Ah	1-5	Krümelgefüge, schwach skeletthaltig, schluffig, sehr feinerereich, leicht glimmerführend, sandig, fein durchwurzelt								
Bv	5-13	schwach sandig, feinerereich, Subpolyederggefüge, glimmerfrei, skelettführend								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah					10YR 4/1 / 10YR 3/1					
Bv					10YR 6/4 / 10YR 4/3					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
Ah	4,67	0,57	10	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Bv	5,96	0,8	7,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Physikalische Kennwerte										
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ah	5%	21,6	15,8	11,7	14,2	16,6	8,5	11,5	Sl3	S
Bv	10%	23,2	10,8	9,4	20,9	19,3	10,1	6,3	Su3	S

Normtypus Muldendoline		Einzelprofil								
Lage: N 47° 42,957' / E 13° 00,181'										
Position: Dolinengrund						Bezeichnung: D18D				
Bodentyp: Braunerde, leicht pseudovergleyt (AG Boden); Cambisol (WRB 2006)										
Bodenklasse Braunerde										
Höhe/Neigung/Exposition						1799 m ü.NN /4°/171°(S)				
Bodenvegetation (60%)						<i>Adonestylon alliariae</i> , vermoost				
Profilmächtigkeit						35cm (erreichte Grabtiefe)				
Horizontfolge						(L/)Ah/Bv/Cn				
Horizontbeschreibung										
Ah	1-10	Krümelgefüge, schwach skelettführend, schluffig, sehr feinerereich, leicht glimmerführend, schwach sandig, fein durchwurzelt, Horizontgrenze fleckig								
Bv	10-20	schwach sandig, feinerereich, Subpolyederggefüge, glimmerfrei, skeletthaltig, leicht marmoriert								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah	10YR 4/1 / 10YR 3/1									
Bv	10YR 5/3 / 10YR 4/3									
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
Ah	4,14	0,48	11,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Bv	4,59	0,54	7,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Physikalische Kennwerte										
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ah	5	13,8	13,5	12,3	23,6	19,7	8,8	8,3	Slu	S
Bv	20	0,8	2,5	11,7	33,7	30,5	10,9	9,9	Ut2	U
Elementanalyse (ICP-OES)										
Gesamtelementgehalt [mg/g]										
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Si	
Ah	80,26	7,3	38,2	17,49	10,02	0,857	7,55	1,34	0,97	
Bv	85,50	8,38	39,28	18,10	10,96	0,467	8,64	0,96	0,21	

Normdoline Trichtertypus		Einzelprofil																
Lage: N 47° 43,126' / E 13° 00,396'																		
Position: alte Talung zwischen Guter Hirt und S. Hochthron		Bezeichnung: D19																
Bodentyp: Terra fusca-Rendzina (AG Boden), Chromic Cambisol (WRB2006), Terra fusca-Rendzina (ÖBS 2011)																		
Bodenklasse Terrae calcis																		
Höhe/Neigung/Exposition		1794m ü.NN /29°/329°(NW)																
Bodenvegetation (100%)		Firmetum																
Profilmächtigkeit		140cm																
Horizontfolge		Oh+Cv/Bv/T-(Cv)/Cn																
Horizontbeschreibung																		
Oh+Cv	0-10	glimmerführend, sehr stark humos, subpolyedrisch, stark durchwurzelt, Graswurzelfilz, karbonatfrei																
Bv	10-20	schwach glimmerführend, humos, subpolyedrisch, karbonathaltig, skelettführend																
T-(Cv)	20-140	Kluftfüllung, polyedrisch, trocken plattig, stark tonig, wenige Kalksplitter, schwach karbonatführend																
Bodenfarbe (trocken/nass)																		
Oh+Cv	10YR 2/1 / 10YR 2/1																	
Bv	10YR 6/3 / 10YR 5/3																	
T-(Cv)	2,5YR 5/4 / 2,5YR 5/3																	
Chemische Kennwerte																		
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N										
Oh+Cv	6,51	0,41	63,8	35,79	29,93	30,46	1,68	17,81										
Bv	7,22	8,46	14,3	n.b.	5,28	6,34	0,39	13,53										
T-(Cv)	7,3	3,09	-	n.b.	0,57	0,95	0,06	-										
		Dithionit-Extraktion [mg/g]		Oxalat-Extraktion [mg/g]														
	Al	Fe _d	Mg	Fe _o	Fe _o /Fe _d													
Oh+Cv	2,26	8,24	0,32	4,46	0,54													
Bv	4,01	29,75	1,07	4,22	0,14													
T-(Cv)	2,33	65,63	0,36	1,33	0,02													
				Effektive Kationenaustauschkapazität [mmol/kg]														
	K	Na	Mg	Ca	Al	H ⁺	Σ KAK	BS [%]										
Oh+Cv	2,64	0,89	31,1	877,2	0,51	0	912,5	99,93										
Bv	3,21	0,66	4,03	494	0,31	0	502,28	99,93										
T-(Cv)	4,55	0,83	3,84	396,2	0,2	0	405,65	99,94										
				Physikalische Kennwerte														
				Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden)														
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe								
Bv	35	21,8	13,9	14,4	19,1	13,2	12	5,5	Su4	S								
T-(Cv)	45	5,9	8,9	11,1	10,4	10,3	13,1	40,5	Lt3	L								
Mineralanalytische Werte, rel. Häufigkeit in [%] (RDA)																		
	Quarz	Illite/Mica	Chlorite	Kaolinit	Smectit	Alunit	Hämatit	Goethit	Lepidokrokit	Al-Ox-Phasen	K-Feldspat	A-F-Feldspat	Calcit	Dolomit	Magnesit	Amphibolit	Apatit (un-def.)	Talc
Bv	13	27	24	16	-	2	1	4	T	T	1	5	4	-	T	3	T	-
T-(Cv)	1	46	1	33	-	2	4	6	T	T	2	2	1	-	T	2	T	-
Tonminerale, rel. Häufigkeit (RDA)																		
	Illit/Mica	Fe-reiche Chlorite /Kaolinite	Smectite	Quarz	Feldspat	Amphibolit	Fe-hydr(oxide) Organik	Kommen-tar										
Bv	x	xxx	T	T	x	-	Goe+Hem	Kao>>Chl										
T-(Cv)	xx	xxx	x	-	?	x	Goe+Hem	Kao>>Chl										

9.3 Bodenprofile und Standortbeschreibungen an den Beprobungsstellen zum Sedi-mentabtrag

Hangsedimentfänger 1										
Lage: N 47° 42,952' / E 13° 00,149'										
Position: D1, Hangmitte						Bezeichnung: HSF_1				
Bodentyp: Humusbraunerde (AG Boden); Humic Umbrisol (WRB 2006)										
Bodenklasse Braunerde										
Höhe/Neigung/Exposition						1785 m ü.NN /24°/240°(SW)				
Bodenvegetation (100%)						<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>				
Profilmächtigkeit						18cm				
Horizontfolge						L/Ah/Ah-Bv/Cv/Cn				
Horizontbeschreibung										
L	0-2	Caricetum-Streu, locker an Horsten gebunden								
Ah	2-6	Krümelgefüge, skelettfrei, humos, feinerereich, sandig, tief und stark durchwurzelt, glimmer- und karbonatfrei, Horizontgrenze tropfenförmig								
Ah-Bv	6-18	humos, Krümelgefüge, karbonatfrei, sandig, leicht skelettführend								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah						10YR 4/1 / 10YR 3/1				
Ah-Bv						10YR 5/2 / 10YR 3/2				
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]		
Ah	4,74	0	22,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,61		
Ah-Bv	4,95	0,03	15,3	n.b.	n.b.	n.b.	v	2,75		
Physikalische Kennwerte										
	Skelett (geschätzt)					Bodenart (Fingerprobe)				
Ah	5%					Su2				
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ah-Bv	0	34,2	22,9	14,8	15,7	7,4	1,6	4,2	Su2	S

Hangsedimentfänger 2A (Laufzeit 2014)										
Lage: N 47° 42,947' / E 13° 00,156'										
Position: D1, Dolinenrand						Bezeichnung: HSF_2A				
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition						1797 m ü.NN /48°/339°(NW)				
Bodenvegetation (80%)						<i>Rhododendron hirsuti Mugetum</i>				
Profilmächtigkeit						16cm				
Horizontfolge						L/AhCv/Cn				
Horizontbeschreibung										
AhCv	1-16	Krümelgefüge, skeletthaltig, feinerereich, schwach sandig, Graswurzelfilz in den oberen 4cm, humusreich, karbonatfrei,								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah						10YR 2/1 / 10YR 2/1				
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
AhCv	6,37	0,55	29,7	n.b.	13,718	13,78	1,179	11,25		
Physikalische Kennwerte										
	Skelett (geschätzt)					Bodenart (Fingerprobe)				
Ah	25%					Su2				

Hangsedimentfänger 2B (Laufzeit 2015)								
Lage: N 47° 42,947' / E 13° 00,156'								
Position: D2, Hangmitte Rinnensituation					Bezeichnung: HSF_2B			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1803m ü.NN /38°/300°(WNW)			
Bodenvegetation (100%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>								
Profilmächtigkeit								
28cm								
Horizontfolge								
Ah/Ah(xC)/Cn								
Horizontbeschreibung								
Ah	0-14	Krümelgefüge, skeletthaltig, Feinerde, in feuchtem Zustand sehr schmierig, sandig, humusreich, carbonatfrei						
Ah(xC)	14-28	Krümelgefüge, stark skeletthaltig, kalkhaltig, sandig-schluffig						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Ah(xC)					10YR 3/3 / 10YR 2/2			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	6,72	1,59	25,05	n.b.	18,63	18,83	1,179	9,97
Ah(xC)	7,19	7,11	25,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
				Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)		
Ah				25%		SI3		
Ah(xC)				40%		Su3		

Hangsedimentfänger 3										
Lage: N 47° 42,917' / E 13° 00,103'										
Position: D4, Hangmitte unterhalb Felsstufe					Bezeichnung: HSF_3&MD_6					
Bodentyp: Braunerde-Rendzina (AG Boden); Cambic Rendzic Leptosol (WRB 2006)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition					1781 m ü.NN /28°/40°(NE)					
Bodenvegetation (90%)										
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>										
Profilmächtigkeit										
15cm										
Horizontfolge										
Of/Ah/Ah-Bv/Bv/Cv/Cn										
Horizontbeschreibung										
Ah	0,5-3	Krümelgefüge, skelettfrei, feinerdereich, sandig, humusreich, carbonatfrei, stark durchwurzelt								
Ah-Bv	3-10	Krümelgefüge, kaum skeletthaltig, glimmerführend, schwach sandig, carbonatfrei								
Bv	10-15	Subpolyedergefüge, sehr schluffreich, schmierig, skeletthaltig								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah					10YR 2/1 / 10YR 2/1					
Ah-Bv					10YR 3/2 / 10YR 3/3					
Bv					10YR 5/4 / 10YR 4/2					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	Fe _d [%]		
Ah	6,34	0,24	29,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Ah-Bv	6,62	0,16	14,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,24		
Bv	7,26	0,32	5,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,51		
Physikalische Kennwerte										
				Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)				
Ah				0%		Su2				
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ah-Bv	5%	7,6	12,8	19,2	37,2	17,6	3,8	1,8	Su3	S
Bv	30%	0,9	3,7	15,5	45,4	21,8	8,7	4	Us	U

Hangsedimentfänger 4								
Lage: N 47° 42,917' / E 13° 00,103'								
Position: D3, Hangmitte unterhalb Felsstufe					Bezeichnung: HSF_4& D3_S_Mitte			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1779 m ü.NN /36°/2°(N)			
Bodenvegetation (70%)					Arabidetum caerulea			
Profilmächtigkeit					25cm			
Horizontfolge					Oh/Ah(Bv)/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Oh	0-10	Krümelgefüge, skeletthaltig, feinerereich, sandig, humos, carbonatfrei, glimmerführend, unscharfe Horizontgrenze						
Ah(Bv)	10-25	krümelig, feinerereich, schluffig, carbonatfrei, skelettführend, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Ah(Bv)					10YR 3/2 / 10YR 2/2			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,89	1,73	33,5	64,77	25,37	25,58	1,449	17,51
Ah(Bv)	6,9	0,46	16,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
				Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)		
Oh				20%		Su2		
Ah(Bv)				20%		Su3		

Hangsedimentfänger 5										
Lage: N 47° 42,930' / E 13° 00,143'										
Position: D2, Unterhang					Bezeichnung: HSF_5					
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition					1790m ü.NN /39°/345°(N)					
Bodenvegetation (35%)					Arabidetum caerulea					
Profilmächtigkeit					22cm					
Horizontfolge					Ah/Ah-Bv/Cv/Cn					
Horizontbeschreibung										
Ah	0-7	Krümelgefüge, schluffig, skelettfrei, sehr feinerereich, humos, carbonatfrei, glimmerfrei								
Ah-Bv	7-22	Krümel- bis Subpoyedergefüge, schluffreich, viel Feinerde, stark skelettführend, humos, carbonathaltig, glimmerfrei								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah					10YR 2/1 / 10YR 2/1					
Ah-Bv					10YR 3/2 / 10YR 2/1					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
Ah	6,75	0,36	26,2	n.b.	12,25	12,3	1,021	12,00		
Ah-Bv	7,26	4,18	13,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Physikalische Kennwerte										
				Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)				
Ah				10%		Us				
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Ah-Bv	30	3,3	6,3	21,7	41,4	20,6	4,4	2,3	Us	U

Hangsedimentfänger 6								
Lage: N 47° 42,919' / E 13° 00,074'								
Position: D3 Mittelhang					Bezeichnung: HSF_6 & D3_W_Mitte			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1782 m ü. NN /34°/ 78°(E)			
Bodenvegetation (50%)					Arabidetum caerulea			
Profilmächtigkeit					23cm			
Horizontfolge					Ah/Ah-Bv/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Ah		0-5		krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerereich, glimmerfrei				
Ah-Bv		5-23		krümelig, feinerereich, schluffig, karbonatfrei, skelettführend, glimmerfrei				
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah					10YR 3/1 / 10YR 2/1			
Ah-Bv					10YR 4/1 / 10YR 3/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	6,95	0,4	23,1	n.b.	9,797	9,845	0,947	10,34
Ah-Bv	7,25	1,75	20,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
				Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)		
Ah				10%		Su2		
Ah-Bv				20%		Su3		

Hangsedimentfänger 7								
Lage: N 47° 42,909' / E 13° 00,106'								
Position: D4 Mittelhang					Bezeichnung: HSF_7			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1775m ü. NN /34°/ 320°(NW)			
Bodenvegetation (60%)					Seslerio -Caricetum sempervirentis			
Profilmächtigkeit					18cm			
Horizontfolge					Ah/Ah(Bv)/Cv/Cn			
Horizontbeschreibung								
Ah		0-7		Feinerereich, in feuchtem Zustand schmierig, humos, Krümelgefüge, glimmerführend				
Ah(Bv)		7-18		Stark skeletthaltig glimmerführend, Krümelgefüge, carbonathaltig, schluffig, schwach sandig, verbrauchte Nester unter Skelett				
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Ah					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Ah(Bv)					10YR 3/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Ah	7,09	2,35	47,6	50,05	21,03	21,32	2,149	9,78
Ah(Bv)	7,32	8,93	33,5	57,57	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
				Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)		
Ah				15%		Su2		
Ah(Bv)				50%		Su3		

Felssedimentfänger 1	
Lage: N 47° 42,949' / E 13° 00,106'	
Position: Felswand zwischen D2 und D4	Bezeichnung: RTK_1
Felstyp: strukturlos, glatt; kaum Klüfte, keine Felsvegetation	
Länge/Höhe: 5m / 20m	
Höhe/Neigung/Exposition	1782 m ü. NN / 89° / 105°(E)
Vegetation Felskuppe (100%)	<i>Rhododendron hirsuti Mugetum</i>

Felssedimentfänger 2	
Lage: N 47° 42,949' / E 13° 00,106'	
Position: Felswand in D2	Bezeichnung: RTK_2
Felstyp: strukturiert, Klüfte, Felsvegetation	
Länge/Höhe: 3m / 7m	
Höhe/Neigung/Exposition	1794 m ü. NN / 78° / 139°(SE)
Vegetation Felskuppe (100%)	<i>Rhododendron hirsuti Mugetum</i>

Felssedimentfänger 3								
Lage: N 47° 42,920' / E 13° 00,083'								
Position: D4 Mittelhang, gestuft	Bezeichnung: RTK_3							
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), alpine Protorendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition	1780m ü. NN / 12° / 189°(S)							
Bodenvegetation (50%)	<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>							
Profilmächtigkeit	5cm							
Horizontfolge	OhCv/Cv/Cn							
Horizontbeschreibung								
OhCv	0-5 Feinerereich, in feuchtem Zustand verschlämmbaar, stark humos, Krümelgefüge bei geeigneter Feuchtigkeit, in trockenem Zustand verbacken, stark skeletthaltig							
Bodenfarbe (trocken/nass)								
OhCv	10YR 2/1 / 10YR 2/1							
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
OhCv	6,98	1,91	54	44,09	26,47	26,7	2,328	11,37
Physikalische Kennwerte								
	Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)					
OhCv	50%		Su2					

9.4 Bodenprofile und Standortbeschreibungen an den Beprobungsstellen zum Sedimenteintrag

Flugstaubbänger 1								
Lage: N 47° 42,952' / E 13° 00,149'								
Position: Mittelhang	Bezeichnung: DSK_A & D1_N_Mitte							
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition	1796 m ü. NN / 27° / 192°(SSW)							
Bodenvegetation (70%)	<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>							
Profilmächtigkeit	10cm							
Horizontfolge	Oh/Cv/Cn							
Horizontbeschreibung								
Oh	0-10 humos, feinerereich, Krümelgefüge, sandig, karbonatfrei, skelettführend, glimmerfrei							
Bodenfarbe (trocken/nass)								
10YR 2/1 / 10YR 2/1								
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	5,95	0,05	34,2	65,75	16,51	16,52	1,40	11,77
Physikalische Kennwerte								
Skelettgehalt (geschätzt): 10%								
Bodenart (Fingerprobe): Su2								

Flugstaubfänger 2								
Lage: N 47° 42,952' / E 13° 00,146'								
Position: Mittelhang					Bezeichnung: DSK_B			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Lithic Leptosol (WRB 2006), alpine Protorendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1798 m ü.NN /45° / 178°(S)			
Bodenvegetation (25%)								
Schuttkriecher								
Profilmächtigkeit								
8cm								
Horizontfolge								
Oh/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Oh	0-8	feinerereich, schluffig, schwach sandig, carbonatarm, in feuchtem Zustand schmierig						
Bodenfarbe (trocken/nass)					10YR 2/1 /10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,79	1,13	42,4	56,47	17,84	17,98	1,801	9,90
Physikalische Kennwerte								
Skelettgehalt (geschätzt): 20%					Bodenart (Fingerprobe): Su2			

Flugstaubfänger 3								
Lage: N 47° 42,957' / E 13° 00,145'								
Position: Oberhang, gestuft, felsig					Bezeichnung: DSK_C			
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse A/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1800 m ü.NN /36° / 194°(SSW)			
Bodenvegetation (60%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>								
Profilmächtigkeit								
13cm								
Horizontfolge								
Oh/Ah+Bv/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Oh	0-8	tiefschwarz, humos, krümelig, in feuchtem Zustand schmierig, sandig-schluffig, karbonatfrei, feinerereich, skelett- und glimmerfrei						
Ah+Bv	8-13	humos, schwach sandig, feinerereich, in feuchtem Zustand schmierig, skelettführend, in Nestern unter Skelett dunkelbraun, schluffig, glimmerfrei						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 2/1 /10YR 2/1			
Ah+Bv					10YR 3/2 / 10YR 3/2			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,27	0,16	34,7	n.b.	15,51	15,52	1,298	11,95
Ah+Bv	6,75	0,05	24,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
Skelettgehalt (geschätzt)					Bodenart (Fingerprobe)			
Oh	5%				Su2			
Ah+Bv	30%				Su3			

Flugstaubfänger 4										
Lage: N 47° 42,947' / E 13° 00,159'										
Position: Oberhang, Flächenbereich, latschennah					Bezeichnung: DSK_D					
Bodentyp: Braunerde (AG Boden); Cambisol (WRB 2006)										
Bodenklasse Braunerde										
Höhe/Neigung/Exposition					1799 m ü.NN / 2° / 328°(NNW)					
Bodenvegetation (100%)					<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>					
Profilmächtigkeit					30cm (erreichte Grabtiefe)					
Horizontfolge					L/Of/Oh/Ah/Bv/Cv/Cn					
Horizontbeschreibung										
L/Of/Oh	0-2	Graswurzelfilz, nach unten zunehmend Feinerde, stark humos								
Ah	2-4	Krümel- bis Subpolyedergefüge, skelettfrei, sehr feinerereich, leicht glimmerführend, schwach durchwurzelt, Horizontgrenze fleckig								
Bv	4-30	schwach sandig, feinerereich, Subpolyedergefüge, glimmer- und skelettfrei								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah					10YR 5/2 / 10YR 4/1					
Bv					10YR 5/4 / 10YR 4/4					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
L/Of/Oh	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Ah	3,56	0,08	12,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Bv	3,82	0,23	7,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Physikalische Kennwerte										
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Bodenart	Hauptgruppe
Ah	0	21,5	15,9	12,8	14,6	15,9	8,6	10,7	SI3	S
Bv	0	13,9	11,5	18,4	25,9	18,4	9,5	2,4	Us	U

Flugstaubfänger 5									
Lage: N 47° 42,948' / E 13° 00,153'									
Position: Muldendoline, Unterhang / Dolinengrund					Bezeichnung: MD_A & D5_S_Boden				
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)									
Bodenklasse O/C-Boden									
Höhe/Neigung/Exposition					1794 m ü.NN / 18°/-				
Bodenvegetation (60%)					<i>Adonestylon alliariae</i>				
Profilmächtigkeit					25cm				
Horizontfolge					Ah/Cv				
Horizontbeschreibung									
Oh	0-25	tiefschwarz, krümelig, locker durchwurzelt, in feuchtem Zustand schmierig, sandig, feinerereich, karbonatarm, schwach skelettführend, glimmerfrei							
Bodenfarbe (trocken/nass)									
Oh					10YR 2/1 / 10YR 2/1				
Chemische Kennwerte									
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N	
Oh	6,33	0,13	46,9	52,97	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Physikalische Kennwerte									
			Skelett (geschätzt)			Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			5%			Su2			

Flugstaubfänger 6								
Lage: N 47° 42,947' / E 13° 00,152'								
Position: D5, oberer Hangbereich					Bezeichnung: MD_B			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1797 m ü.NN /24°/ 72°(ENE)			
Bodenvegetation (100%)								
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>								
Profilmächtigkeit								
23cm								
Horizontfolge								
L/Of/Oh/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
L/Of	0-1	Graswurzelfilz, kaum Feinerde						
Oh	1-23	Krümelgefüge, skelettreich, sehr feinerereich, glimmerführend, sandig, stark durchwurzelt, humusreich, schwach carbonathaltig						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh								
10YR 2/1 / 10YR 2/1								
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	6,22	0,55	53,8	45,65	25,21	25,28	1,703	14,80
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			20%		Su2			

Flugstaubfänger 7								
Lage: N 47° 42,908' / E 13° 00,105'								
Position: D4, Unterhang					Bezeichnung: MD_3			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Pechrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1767m ü.NN /24°/ 320°(NW)			
Bodenvegetation (60%)								
<i>Arabidetum caerulea</i> , vermoost								
Profilmächtigkeit								
22cm								
Horizontfolge								
Oh(xC)/Cv/Cn								
Horizontbeschreibung								
Oh(xC)	0-22	Krümelgefüge, skelettreich, sehr feinerereich, in feuchtem Zustand schmierig, glimmerführend, sandig, stark durchwurzelt, humusreich, carbonathaltig						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh(xC)								
10YR 2/1 / 10YR 2/1								
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh(xC)	6,94	3,16	47,5	49,34	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh(xC)			40%		Su2			

Flugstaubfänger 8										
Lage: N 47° 42,918' / E 13° 00,074'										
Position: Sattelsituation zwischen D3 und D4					Bezeichnung: MD_4					
Bodentyp: Braunerde-Rendzina (AG Boden); Cambic Rendzic Leptosol (WRB 2006)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition					1783 m ü.NN / 15°/-					
Bodenvegetation (100%)					Firmetum, vermoost					
Profilmächtigkeit					10cm					
Horizontfolge					L/Of/Oh/Bv/Cv/Cn					
Horizontbeschreibung										
L/Of	0-1	Graswurzelfilz, wenig Feinerde								
Oh	1-3	humos, krümelig, feinerereich, sandig-schluffig, karbonatfrei, skelettfrei								
Bv	3-10	subpolyedrisch, schluffreich, nach unten zunehmend tonhaltiger, karbonatfrei, skelettführend								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Oh					10YR 2/1 / 10YR 2/1					
Bv					10YR 5/3 / 10YR 5/2					
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
Oh	6,94	0,31	47,5	52,19	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Bv	7,14	2,04	10,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Physikalische Kennwerte										
	Skelett (geschätzt)				Bodenart (Fingerprobe)					
Oh	0%				Su4					
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
Bv	30	3,6	6,8	11	32,3	27,2	13	6,1	Us	U

Flugstaubfänger 9									
Lage: N 47° 42,916' / E 13° 00,073'									
Position: Dolinengrund, steinig					Bezeichnung: MD_5				
Höhe/Neigung/Exposition					1774m ü.NN / 2°/-				
Vegetation (5%)					Moos				

Flugstaubfänger 10										
Lage: N 47° 42,917' / E 13° 00,103'										
Position: D4, Hangmitte unterhalb Felsstufe					Bezeichnung: MD_6& HSF_3					
Bodentyp: Rendzina (AG Boden); Rendzic Leptosol (WRB 2006), Rendzina (ÖBS 2011)										
Bodenklasse A/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition					1781m ü.NN /36°/25° (NNE)					
Bodenvegetation (100%)										
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>										
Profilmächtigkeit										
15cm										
Horizontfolge										
Ah/Ah-Bv/Cv/Cn										
Horizontbeschreibung										
Ah	0-3	Krümelgefüge, skeletthaltig, feinerereich, schwach sandig, humos, carbonatfrei, glimmerführend, unscharfe Horizontgrenze								
Ah-Bv	3-10	Krümelgefüge, kaum skeletthaltig, glimmerführend, schwach sandig, carbonatfrei								
Bv	10-15	Subpolyederggefüge, sehr schluffreich, schmierig, skeletthaltig								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Ah	10YR 2/1 / 10YR 2/1									
Ah-Bv	10YR 3/2 / 10YR 3/3									
Bv	10YR 5/4 / 10YR 4/2									
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
Ah	6,34	0,24	29,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
AhBv	6,62	0,16	14,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Bv	7,26	0,32	5,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Physikalische Kennwerte										
			Skelett (geschätzt)			Bodenart (Fingerprobe)				
Ah	0%			Su2						
Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)										
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Hauptgruppe
AhBv	5%	7,6	12,8	19,2	37,2	17,6	3,8	1,8	Su3	S
Bv	30%	0,9	3,7	15,5	45,4	21,8	8,7	4	Us	U

Flugstaubfänger 11									
Lage: N 47° 42,949' / E 13° 00,106'									
Position: oberhalb Felswand RTK_2 in D2					Bezeichnung: RTK_2A				
Höhe/Neigung/Exposition									
1799m ü.NN / 78° / 139°(SE)									
Vegetation Felskuppe (100%)									
<i>Rhododendron hirsuti Mugetum</i>									

Flugstaubfänger 12										
Lage: N 47° 42,920' / E 13° 00,083'										
Position: D4 Mittelhang, gestuft, bei RTK_3					Bezeichnung: RTK_3A					
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), alpine Protorendzina (ÖBS 2011)										
Bodenklasse O/C-Boden										
Höhe/Neigung/Exposition					1780m ü.NN / 12° / 218°(SW)					
Bodenvegetation (50%)										
<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>										
Profilmächtigkeit										
5cm										
Horizontfolge										
Oh/Cv/Cn										
Horizontbeschreibung										
Oh	0-5	feinerereich, in feuchtem Zustand verschlammbar, stark humos, Krümelgefüge bei geeigneter Feuchtigkeit, in trockenem Zustand verbacken								
Bodenfarbe (trocken/nass)										
Oh	10YR 3/1 / 10YR 2/1									
Chemische Kennwerte										
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N		
Oh	6,98	1,91	54	44,09	26,47	26,7	2,328	11,37		
Physikalische Kennwerte										
			Skelett (geschätzt)			Bodenart (Fingerprobe)				
Oh	50%			Su2						

Flugstaubfänger 13								
Lage: N 47° 42,925' / E 13° 00,153'								
Position: oberhalb D2, Kuppenbereich					Bezeichnung: L_1			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), Moderrendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1809m ü.NN /2°/-			
Bodenvegetation (100%)					<i>Rhododendron hirsuti Mugetum</i>			
Profilmächtigkeit					20cm			
Horizontfolge					L/Of/Oh			
Horizontbeschreibung								
L/Of	0-1	Nadelstreu, in Teilen zersetzt, plattig						
Oh	1-20	Krümelgefüge, glimmerfrei, feinerereich, schmierig, schluffig, stark humos						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					7,5YR 3/3 / 7,5YR 2,5/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	3,08	0,95	48,2	50,85	47,11	47,23	1,471	32,02
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			0%		Su2			

Flugstaubfänger 14								
Lage: N 47° 42,937' / E 13° 00,149'								
Position: D2, latschenbesetzter Hangbereich					Bezeichnung: L_2			
Bodentyp: Skeletthumusboden (AG Boden); Folic Histosol (WRB 2006), mullartige Rendzina (ÖBS 2011)								
Bodenklasse O/C-Boden								
Höhe/Neigung/Exposition					1794 m ü.NN /32°/ 302°(WNW)			
Bodenvegetation (100%)					<i>Rhododendron hirsuti Mugetum, Carex sempervirentis</i> im Unterwuchs			
Profilmächtigkeit					10cm			
Horizontfolge					Oh/Cv			
Horizontbeschreibung								
Oh	0-10	Krümelgefüge glimmerfrei, feinerereich, schmierig, schluffig, stark humos, schwach sandig						
Bodenfarbe (trocken/nass)								
Oh					10YR 2/1 / 10YR 2/1			
Chemische Kennwerte								
	pH	CaCO ₃ [%]	GV [%]	VL [%]	C _{org} [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]	C/N
Oh	5,07	0,71	38,5	60,79	32,38	32,47	2,531	12,79
Physikalische Kennwerte								
			Skelett (geschätzt)		Bodenart (Fingerprobe)			
Oh			0%		Su2			

9.5 Staubquantifizierung (Input)

Messzeitraum 2014 (Mai-Oktober)

a) Flugstaubfänger – Eintrag Staub pro Messintervall [mg]

Messintervall Geländejahr 2014										
	22.05.- 28.05.	28.5.- 09.06.	09.06.- 21.06.	21.06.- 06.07.	06.07.- 20.07.	20.07.- 09.08.	09.08.- 25.08.	25.08.- 19.09.	19.9.- 12.10.	Summe und (Mittelwert) pro Kasten [mg]
Tage	6d	12d	12d	15d	14d	20d	16d	25d	23d	143d
DSK_A	147,3	15,1	50,3	53,2	²	102,4	147,3	59,8	60,3	635,7 (79,46)
DSK_B	33,8	3,6	28,9	3,4	²	50,1	2,9	15,7	1,3	139,7 (17,46)
DSK_C	38,1	10,3	2,3	14,8	²	49,5	5,1	58,5	23,7	202,3 (25,28)
DSK_D	76,4	18,3	31,1	14,9	²	61,6	4,1	49,2	24,5	280,1 (35,01)
MD_A	-	-	171,8	49,7	¹	109,2	57,2	285,1	301,1	974,1 (162,35)
MD_B	-	-	30,2	23,6	0	12,2	20,7	9,8	7,9	104,4 (14,91)
MD_3	-	-	-	-	28,2	66,1	19,7	14,5	25,7	154,2 (30,84)
MD_4	-	-	-	-	45,3	23,7	7,1	7	19,1	102,2 (20,44)
MD_5	-	-	-	-	-	23,9	4,5	24,7	2	55,1 (13,77)
MD_6	-	-	-	-	-	18,6	5	4,7	4,6	32,9 (8,22)
RTK_2A	-	-	-	10	2,8	20,5	6,1	22	10,6	72 (12)
RTK_3A	-	-	-	-	-	-	-	129,2	38,8	168 (84)
R_1	-	-	25,4	¹	0	0	2,3	0	0	27,7 (4,61)
L_1	-	-	-	10,7	²	109,2	28,7	27	88,7	264,0 (52,98)
L_2	-	-	-	21,9	²	48,6	15,1	20,5	39,2	145,3 (29,06)
Summe	295,6	47,3	340	202,2	76,3	678,6	807,5	727,7	647,5	3.357,4 (590,3)
Mittelwert	73,9	11,825	48,571	25,275	15,26	48,471	57,678	48,513	43,16	-

¹Umstoß durch Viehtritt - Messlücke

²Wartung aufgrund von starkem Gewitter nicht möglich

³Messstandort aufgrund der ungünstigen Lage aufgelassen, neuer Standort RTK_3A

b) Flugstaubfänger – Tagesraten pro Messintervall [mg/d]

Messintervalle Geländejahr 2014										
	22.05.- 28.05.	28.5.- 09.06.	09.06.- 21.06.	21.06.- 06.07.	06.07.- 20.07.	20.07.- 09.08.	09.08.- 25.08.	25.08.- 19.09.	19.9.- 12.10.	Summe und (Mittelwert) pro Kasten [mg]
Tage	6d	12d	12d	15d	14d	20d	16d	25d	23d	143d
DSK_A	24,55	1,25	4,191	3,54	²	5,12	9,2	2,39	2,62	52,86 (6,60)
DSK_B	5,63	0,3	2,40	0,22	²	2,5	0,18	0,62	0,05	11,9 (1,48)
DSK_C	6,35	0,85	0,19	0,98	²	2,475	0,31	2,34	1,03	14,52 (1,81)
DSK_D	12,73	0,108	2,59	0,99	²	3,08	0,25	1,96	1,06	22,768 (2,846)
MD_A	-	-	14,31	3,31	¹	5,46	3,57	11,404	13,09	39,14 (4,892)
MD_B	-	-	2,51	1,57	0	0,61	1,29	0,39	0,34	6,71 (0,958)
MD_3	-	-	-	-	2,01	3,305	1,23	0,58	1,11	8,235 (1,647)
MD_4	-	-	-	-	3,23	1,18	0,44	0,28	0,83	5,96 (1,192)
MD_5	-	-	-	-	-	1,195	0,28	0,98	0,08	2,535 (0,633)
MD_6	-	-	-	-	-	0,93	0,31	0,18	0,2	1,62 (0,405)
RTK_2A	-	-	-	0,66	0,2	1,025	0,38	0,88	0,46	3,605 (0,721)
RTK_3A	-	-	-	-	-	-	-	5,168	1,68	6,848 (3,424)
R_1	-	-	2,11	¹	0	0	0,14	³	³	2,25 (0,562)
L_1	-	-	-	0,71	²	5,46	1,79	1,08	3,85	12,89 (2,578)
L_2	-	-	-	1,46	²	2,43	0,96	0,82	1,7	7,37 (1,47)
Summe	49,26	2,508	28,301	13,44	5,44	34,765	20,33	29,072	28,1	191,84 (21,315)
Mittelwert	12,315	0,627	4,043	1,68	1,088	2,483	1,452	2,076	1,873	-

¹Umstoß durch Viehtritt - Messlücke

²Wartung aufgrund von starkem Gewitter nicht möglich

³Messstandort aufgrund der ungünstigen Lage aufgelassen, neuer Standort RTK_3A

c) Flugstaubfänger - Tagesraten pro Messintervall auf cm² [µg/d/cm²]

Messintervalle Geländejahr 2014										
	22.05.- 28.05.	28.5.- 09.06.	09.06.- 21.06.	21.06.- 06.07.	06.07.- 20.07.	20.07.- 09.08.	09.08.- 25.08.	25.08.- 19.09.	19.9.- 12.10.	Summe und (Mit- telwert) [µg]
Tage	6d	12d	12d	15d	14d	20d	16d	25d	23d	143d
DSK_A	34,09	1,73	5,82	4,91	²	7,11	12,77	3,319	3,638	73,41 (9,16)
DSK_B	7,81	0,416	3,33	0,27	²	3,472	0,25	0,861	0,069	16,5 (2,05)
DSK_C	8,81	1,18	0,138	1,36	²	3,437	0,43	3,25	1,43	20,16 (2,51)
DSK_D	17,68	0,15	3,59	1,375	²	4,277	0,347	2,72	1,472	31,62 (3,952)
MD_A	-	-	0,019	4,597	¹	7,58	4,958	15,83	18,18	54,361 (6,795)
MD_B	-	-	3,48	2,18	0	0,847	1,791	0,541	0,472	9,319 (1,33)
MD_3	-	-	-	-	2,791	4,59	1,708	0,805	1,541	11,437 (2,287)
MD_4	-	-	-	-	4,486	1,638	0,61	0,38	1,152	8,27 (1,65)
MD_5	-	-	-	-	-	1,659	0,38	1,361	0,11	3,52 (0,875)
MD_6	-	-	-	-	-	1,29	0,43	0,25	0,27	2,25 (0,562)
RTK_2A	-	-	-	0,916	0,27	1,423	0,527	1,22	0,638	5,006 (1,001)
RTK_3A	-	-	-	-	-	-	-	7,17	2,33	9,511 (4,75)
R_1	-	-	2,93	¹	0	0	0,194	³	³	3,125 (0,78)
L_1	-	-	-	0,986	²	7,583	2,486	1,5	5,347	17,9 (3,58)
L_2	-	-	-	2,027	²	3,375	1,3	1,138	2,361	10,236 (2,041)
Summe	49,26	2,508	28,30	13,44	5,44	34,76	20,33	29,07	28,1	266,44 (29,604)
Mittelwert	12,315	0,627	4,043	1,493	1,08	2,483	1,452	2,076	2,007	-

¹Umstoß durch Viehtritt - Messlücke

²Wartung aufgrund von starkem Gewitter nicht möglich

³Messstandort aufgrund der ungünstigen Lage aufgelassen, neuer Standort RTK_3A

d) Flugstaubfänger – Eintrag Niederschlag pro Messintervall am Bodenstandort [mm]

Messintervalle Geländejahr 2014										
	22.05.- 28.05.	28.5.- 09.06.	09.06.- 21.06.	21.06.- 06.07.	06.07.- 20.07.	20.07.- 09.08.	09.08.- 25.08.	25.08.- 19.09.	19.9.- 12.10.	
Tage	6d	12d	12d	15d	14d	20d	16d	25d	23d	
DSK_A	>78,96	53,9	36,7	48,2	75		22,34	75,01	52,01	
DSK_B	>78,96	24	29,61	>78,96	70,59		30,03	66,87	59,44	
DSK_C	>78,96	73	30,9	>78,96	70,59		32,12	>78,96	52,01	
DSK_D	>78,96	73	30,9	>78,96	59,44		-	75,01	>78,96	
MD_A	-	-	41,32	58,21	³	42,6	11,17	66,87	17,46	
MD_B	-	-	41,32	>78,96	78,96	65,38	62,41	>78,96	>78,96	
MD_3	-	-	-	-	66,87	44,58	71,2	59,44	>78,96	
MD_4	-	-	-	-	-	57,95	>78,96	55,72	52,01	
MD_5	-	-	-	-	-	57,95	73,44	>78,96	>78,96	
MD_6	-	-	-	-	-	57,95	72,65	>78,96	>78,96	
RTK_2A	-	-	-	2,75	44,58	48,29	46,06	>78,96	40,86	
RTK_3A	-	-	-	-	-	-	-	55,72	>78,96	
L_1	-	-	-	24,24	37,15		13,96	59,44	40,86	
L_2	-	-	-	49,58	57,95		55,72	66,87	>78,96	
W. G. ¹	32,5	20,8	13,9	21,6	16,2	83,5	17,2	99,1	35,8	
N_1 ²	-	-	24	53,65	152,4		41,4	126,8	48,78	

¹ Wetterstation Geiereck

² Niederschlagssammler zentrales Untersuchungsgebiet

³ Umstoß durch Viehtritt

e) Klimadaten – Anzahl der halbstündigen Events pro Messintervall

1	Sektoren															
	2014	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW
22.05.-28.05	1	1	3	1	13	76	29	4	7	7	9	22	41	50	14	9
28.5.-09.06.	8	6	7	5	15	47	25	1	1	6	8	20	141	196	55	31
09.06.-21.06.	17	8	9	13	25	111	25	0	0	0	4	13	91	138	52	48
21.06.-06.07.	9	3	2	3	13	49	28	7	6	9	21	84	229	169	68	17
06.07.-20.07.	6	5	8	8	21	82	27	8	5	7	6	22	218	165	61	22
20.07.-09.08.	5	1	2	0	2	12	4	1	0	8	10	23	46	33	10	7
22.05.-09.08.	46	24	31	30	89	377	138	21	19	37	58	183	766	751	260	134

¹ ab 09.08.14 Ausfall des Windgebers aufgrund von Blitzeinschlag

f) Flugstaubfänger – C-S-N Gehalte [%]

Messintervalle Geländejahr 2014								
22.05.-28.05			09.08.-25.08.			19.9.-12.10.		
Sammelprobe DSK_A - D			Sammelprobe gesamt			Sammelprobe gesamt		
C	N	S	C	N	S	C	N	S
21,03	1,534	-	23,94	2,447	-	27,05	2,262	-

Messzeitraum 2015 (Juni-Oktober)

a) Flugstaubfänger Eintrag Staub pro Messintervall [mg]

	Messintervalle Geländejahr 2015								
	12.6.-21.06.	21.06.-01.07.	01.07.-18.07.	18.07.-04.08.	04.08.-04.09.	04.09.-20.09.	20.09.-10.10.	10.10.-29.10.	Summe und (Mittelwert) pro Kasten [mg]
Tage	9d	10d	17d	17d	31d	11d	20d	19d	134d
DSK_A	-	99,6	67,4	46,7	19,4	14,9	12,9	1,6	262,5 (37,5)
DSK_B	-	11	53,7	45	18,7	18,8	6,4	9,7	163,3 (23,32)
DSK_C	24,3	13,5	22,5	42	16,2	18,4	5,2	7,4	149,5 (18,68)
DSK_D	14,5	38,7	45,6	65,2	58,3	66,4	12,8	31,8	333,3 (41,66)
MD_A	-	-	793,7	57,4	198,1	47,4	39,6	10,8	1147 (191,16)
MD_B	-	-	43,1	19,6	29,5	19,1	17,6	5,3	134,2 (22,36)
MD_3	-	-	69,4 ¹	4,4	93,9	3,1	8,4	6,4	185,6 (30,93)
MD_4	-	-	12,6	99,1	4,1	6,7	4	1,6	128,1 (21,35)
MD_5	-	-	-	59	11,6	3,2	5,3	16	95,1 (19,02)
MD_6	-	36,2	18,8	21,2	7,7	20,5	12,9	4,8	122,1 (17,44)
RTK_2A	-	16,6	20,7	9,4	11,5	86,4	6,7	13,9	165,2 (23,6)
RTK_3A	-	-	107,3	155	74,2	7,3	25	18,4	387,2 (64,53)
L_1	-	644,6	256,9	77,9	36,6	48,6	30,3	1,2	1096,1 (156,5)
L_2	-	45,3	104,7	60,4	61,6	23	35,6	1,3	331,9 (47,41)
Summe	38,8	905,5	1.616,4	762,3	641,4	365,323	211,7	130,2	4701,1 (50,54)
Mittelwert	19,4	113,187	124,338	54,45	45,8142	26,094	15,121	9,3	-

¹ Wintermessung

b) Flugstaubfänger Tagesrate Staub pro Messintervall [mg/d]

Messintervalle Geländejahr 2015									
	12.6.- 21.06.	21.06.- 01.07.	01.07.- 18.07.	18.07.- 04.08.	04.08.- 04.09.	04.09.- 20.09.	20.09.- 10.10.	10.10.- 29.10.	Summe und (Mittelwert) pro Kasten [mg]
Tage	9d	10d	17d	17d	31d	11d	20d	19d	134d
DSK_A	-	9,96	3,964	2,747	0,625	1,354	0,645	0,084	19,37 (2,76)
DSK_B	-	1,1	3,158	2,647	0,603	1,709	0,32	0,510	10,04 (1,43)
DSK_C	2,7	1,35	1,323	2,47	0,522	1,672	0,26	0,389	10,68 (1,33)
DSK_D	1,61	3,87	2,682	3,835	1,88	6,036	0,64	1,673	2,226 (2,77)
MD_A	-	-	46,688	3,376	0,583	1,529	1,98	0,568	54,72 (9,12)
MD_B	-	-	2,53	1,152	0,951	0,616	0,88	0,278	6,407 (1,06)
MD_3	-	-	4,082 ¹	0,258	3,029	0,1	0,42	0,336	8,225 (1,37)
MD_4	-	-	0,741	5,829	0,132	0,216	0,2	0,084	7,202 (1,20)
MD_5	-	-	-	3,47	0,374	0,103	0,265	0,842	5,054 (1,01)
MD_6	-	3,62	1,105	1,247	0,248	0,661	0,645	0,256	7,782 (1,11)
RTK_2A	-	1,66	1,217	0,552	0,37	2,787	0,335	0,731	7,652 (1,09)
RTK_3A	-	-	6,311	9,117	2,393	0,235	1,25	0,968	20,27 (3,37)
L_1	-	64,46	15,11	4,582	1,18	1,567	1,515	0,063	88,47 (12,6)
L_2	-	4,53	6,158	3,552	1,987	0,741	1,78	0,068	18,816 (2,6)
Summe	4,31	90,55	95,069	44,782	14,87	19,285	11,135	6,85	280,06 (35)
Mittelwert	2,155	11,318	7,313	3,1987	1,0621	1,377	0,795	0,489	-

¹ Wintermessung

c) Flugstaubfänger Tagesrate pro Messintervall pro cm² [µg/d/cm²]

Messintervalle Geländejahr 2015									
	12.6.- 21.06.	21.06.- 01.07.	01.07.- 18.07.	18.07.- 04.08.	04.08.- 04.09.	04.09.- 20.09.	20.09.- 10.10.	10.10.- 29.10.	Summe und (Mittelwert) [µg]
Tage	9d	10d	17d	17d	31d	11d	20d	19d	134d
DSK_A	-	13,833	5,505	3,8152	0,868	1,8805	0,68958	0,116	26,70 (3,81)
DSK_B	-	1,527	4,3861	3,6763	0,8375	2,3736	0,444	0,7083	13,95 (1,99)
DSK_C	3,75	1,875	1,8375	3,4305	0,725	2,322	0,3611	0,5402	14,84 (1,85)
DSK_D	2,236	5,375	3,725	5,3263	2,611	8,3833	0,888	2,323	30,86 (3,85)
MD_A	-	-	64,844	4,688	0,8097	2,1236	2,75	0,0788	75,29 (12,5)
MD_B	-	-	3,5138	1,6	1,3208	0,8555	1,222	0,3861	8,898 (1,48)
MD_3	-	-	5,6694	0,3583	4,2069	0,1388	0,5833	0,466	11,42 (1,90)
MD_4	-	-	10,5857	8,0958	0,1833	0,3	0,277	0,116	19,55 (3,25)
MD_5	-	-	-	4,8194	0,5194	0,1430	0,36805	1,1694	7,019 (1,40)
MD_6	-	5,027	1,534	1,73194	0,3444	0,918	0,8958	0,355	10,80 (1,54)
RTK_2A	-	2,305	1,217	0,7666	0,5138	3,8708	0,4652	1,0152	10,15 (1,45)
RTK_3A	-	-	6,311	12,6625	3,3236	0,3263	1,7361	1,344	25,70 (4,28)
L_1	-	124,343	15,11	6,3638	1,638	2,1763	2,104	0,0875	151,82 (21,69)
L_2	-	8,7375	6,158	4,933	2,759	1,0291	2,472	0,0944	26,18 (3,74)
Summe	5,936	163,022	130,3965	62,2676	20,6604	26,8408	15,256	8,799	433,178 (54,14)
Mittelwert	2,155	20,3778	10,0305	4,4476	1,475	1,9172	1,089	0,628	-

d) Flugstaubeintrag – Niederschlag pro Messintervall am Bodenstandort[mm]

Tage	Messintervalle Geländejahr 2015						
	21.06.-01.07.	01.07.-18.07.	18.07.-04.08.	04.08.-04.09.	04.09.-20.09.	20.09.-10.10.	10.10.-29.10.
	10d	17d	17d	31d	11d	20d	19d
DSK_A	52	13,03	57,95	77,38	44,58	64,64	13,96
DSK_B	>78,96	38,63	64,64	80,54	38,63	82,91	27,93
DSK_C	>78,96	37,15	>95,1	79,73	18,15	60,93	13,96
DSK_D	>78,96	40,86	40,86	58,70	31,42	53,5	6,98
MD_A	-	8,13	43,09	68,36	54,98	66,87	41,61
MD_B	-	27,93	>78,96	70,59	55,72	78,96	49,04
MD_3	-	-	75,01	68,36	44,58	63,90	16,76
MD_4	-	44,58	68,08	69,84	44,58	69,1	31,42
MD_5	-	-	60,68	61,30	43,84	78,17	46,06
MD_6	24,8	44,58	62,16	84,49	54,24	82,91	38,63
RTK_2A	33,3	20,95	43,66	63,15	38,63	60,93	30,03
RTK_3A	-	20,95	66,1	80,54	34,18	82,12	40,12
L_1	66,6	5,952	20,2	46,06	32,69	60,18	13,96
L_2	95,1	20,95	>95,1	60,18	50,52	66,13	43,09
W.-G. ¹	29,6	12,3	49,2	3	3	3	3
N_1 ²	-	17,07	45,12	70,73	17,07	46,34	14,87

¹ Wetterstation Geiereck

² Niederschlagssammler zentrales Untersuchungsgebiet

³ Datenlücke. Niederschlagsgeber defekt aufgrund von Blitzschlag

e) Klimadaten - Anzahl der halbstündigen Events pro Messintervall

2015	Sektoren															
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
12.6.-21.06.	0	0	1	0	7	16	20	12	21	18	23	22	86	156	40	9
21.06.-01.07.	0	2	2	0	1	3	3	1	1	3	9	8	147	231	55	6
01.07.-18.07.	2	2	2	7	13	48	16	8	7	4	18	33	293	278	62	13
18.07.-04.08.	0	1	1	3	13	110	38	17	19	4	26	42	215	249	64	6
04.08.-04.09.	15	12	15	8	51	380	130	35	25	17	33	77	220	316	105	48
04.09.-20.09.	12	6	7	8	12	165	72	27	19	27	23	26	120	180	38	26
20.09.-10.10.	11	5	8	10	26	267	96	21	9	14	36	37	142	184	65	29
10.10.-29.10.	3	2	1	1	1	222	95	14	14	21	29	70	259	124	34	8
12.06.-29.10.	43	30	37	37	134	1211	470	135	115	108	197	315	1482	1718	463	145

f) Flugstaubeintrag – C-S-N Gehalt [%]

Tage	Messintervalle Geländejahr 2015			
	12.6.-21.06.	21.06.-01.07.	01.07.-18.07.	18.07.-04.08.
	9d	10d	17d	17d
DSK_A	-	C: 27,49 / N: 2,107	-	
DSK_C	C: 27,49 / N: 2,107	-	-	
DSK_D		-	-	
MD_A			C: 27,32 / N: 2,39	
MD_5	-		-	C: 23,01 / N: 1,781
RTK_3A	-	-	-	C: 31,22 / N: 2,75
äolisches Material auf Schneelager in Doline 3			C: 47,06 / N: 1,639	

grau hinterlegte Zeilen = Sammelprobe aus zwei Messintervallen an 3 Standorten

9.6 Quantifizierung des Sedimentabtrages (Output)

Messzeitraum 2014 (Mai- Oktober)

a) Sedimentabtrag pro Messintervall [mg]

Tage	Messintervalle Geländejahr 2014									Summe pro Rinne (Mittelwert) in [mg]
	22.05.- 28.05	28.5.- 09.06.	09.06.- 21.06.	21.06.- 06.07.	06.07.- 20.07.	20.07.- 09.08.	09.08.- 25.08.	25.08.- 19.09.	19.9.- 12.10.	
	6d	12d	12d	15d	14d	20d	16d	25d	23d	143d
HSF_1	69,3	44,5	19,5	0	¹	5,3	0	0	0	138,6 (17,325)
HSF_2A	-	5,2	4,9	9,4	¹	2	1,2	0	1	23,7 (3,385)
HSF_3	-	-	-	-	0	25,1	3,5	6,1	164,2	198,9 (39,78)
HSF_4	-	-	-	-	15,7	47,2	6,8	76,3	2	148 (29,6)
HSF_5	-	-	-	-	1.564,2	7.125,2	1.267,2	12.884	6.076	28.916,6 (5,78)
HSF_6	-	-	-	-	-	272,4	29	653,4	202	1.156,8 (289,2)
HSF_7	-	-	-	-	-	14,2	23	12,8	50,6	100,6 (25,15)
RTK_1	-	-	-	10,7	0	0	0	0	79,3	90 (15)
RTK_2	-	-	-	1,3	58,1	27,4	60,6	72,1	29,6	249,1 (41,516)
RTK_3	-	-	-	-	-	1.380,1	503,3	1.709,4	478,2	3.640 (910)
Summe	-	49,7	24,4	21,4	1638	8898,9	1894,6	15.414,	7.082,9	35.131,9 (638,7)
Mittelwert	-	24,85	12,2	5,53	327,6	889,89	189,46	1541,41	708,29	-

¹Wartung aufgrund von starkem Gewitter nicht möglich

b) Tagesabtragsrate [mg/d]

Tage	Messintervalle Geländejahr 2014									Summe pro Rinne (Mittelwert) in [mg]
	22.05.- 28.05	28.5.- 09.06.	09.06.- 21.06.	21.06.- 06.07.	06.07.- 20.07.	20.07.- 09.08.	09.08.- 25.08.	25.08.- 19.09.	19.9.- 12.10.	
	6d	12d	12d	15d	14d	20d	16d	25d	23d	143d
HSF_1	11,51	3,708	1,25	0	¹	0,265	0	0	0	16,733 (1,97)
HSF_2A	-	0,433	0,408	0,626	¹	0,1	0,075	0	0,043	1,685 (0,33)
HSF_3	-	-	-	-	-	1,255	0,218	0,244	7,139	8,856 (2,214)
HSF_4	-	-	-	-	1,1214	2,36	0,425	3,052	0,086	7,04 (1,408)
HSF_5	-	-	-	-	111,72	356,275	79,2	515,36	264,1	1.326,6 (265,3)
HSF_6	-	-	-	-	-	13,62	1,8125	26,136	8,782	50,350 (12,58)
HSF_7	-	-	-	-	-	0,71	1,4375	0,512	2,2	4,8595 (1,214)
RTK_1	-	-	-	0,713	0	0	0	0	3,447	4,16 (0,196)
RTK_2	-	-	-	0,086	4,15	1,37	3,7875	2,884	1,286	15,5635 (2,26)
RTK_3	-	-	-	-	-	69,005	31,456	68,376	20,79	189,627 (47,4)
Summe	-	4,141	1,658	1,425	116,99	444,96	118,41	616,56	307,87	1.626,27 (180,6)
Mittelwert	-	2,07	0,829	0,356	29,24	44,496	11,841	61,656	30,787	-

¹Wartung aufgrund von starkem Gewitter nicht möglich

c) Oberflächenabfluss pro Messintervall [l]

Messintervalle Geländejahr 2014									
	28.5.- 09.06.	09.06.- 21.06.	21.06.- 06.07.	06.07.- 20.07.	20.07.- 09.08.	09.08.- 25.08.	25.08.- 19.09.	19.9.- 12.10.	Summe pro Rinne (Mittelwert) in [mg]
Tage	12d	12d	15d	14d	20d	16d	25d	23d	143d
HSF_1	0,9	0,2	0,3	-	3,0	0	0,8	0,8	6 (0,85)
HSF_2A	1,45	0,25	0,375	-	1,0	2,5	0,9	0,3	6,775(0,967)
HSF_3	-	-	-	-	1,5	0,7	1,8	1,5	5,5 (1,37)
HSF_4	-	-	-	1,4	0,9	2,4	4,5	1,75	10,95 (2,19)
HSF_5	-	-	-	3,5	5,0	0,6	5,0	5,0	19,1 (3,82)
HSF_6	-	-	-	-	1,0	0,3	1,2	2,5	5 (0,95)
HSF_7	-	-	-	-	1,0	0,6	1,3	2,0	4,9 (1,22)
RTK_1	-	-	4,5	3,5	5,0	4,5	5,0	5,0	27,5 (4,58)
RTK_2	-	-	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	30 (5)
RTK_3	-	-	-	-	4,5	0,4	1,5	0,9	7,3 (1,82)

d) Sedimentabtrag C-S-N Gehalte [%]

Messintervalle Geländejahr 2014									
	22.05.-28.05		06.07.-20.07.		20.07.-09.08.			25.08.-19.09.	
Tage	6d		14d		20d			25d	
HSF_1	C: 18,82	N: 1,648	-		-			-	
HSF_4	-		-		C: 28,6	N: 2,449		-	
HSF_5	-		C: 18,8	N: 1,64	C: 17,19	N: 1,53		C: 16,75	N: 1,49
HSF_6	-		-		-			C: 15,73	N: 1,407
HSF_7	-		-		C: 34,64	N: 3,235		-	
RTK_3	-		-		C: 29,73	N: 2,58	S: 0,213	-	

Messzeitraum 2015

a) Sedimentabtrag pro Messintervall [mg]

Messintervall Geländejahr 2015									
	21.06.- 01.07.	01.07.- 18.07.	18.07.- 04.08.	04.08.- 04.09.	04.09.- 20.09.	20.09.- 10.10.	10.10.- 29.10.	Summe pro Rinne (Mittelwert) in [mg]	
Tage	10d	17d	17d	31d	11d	20d	19d	125d	
HSF_1	-	0	74,7	6	31,8	52,9	2,1	167,5 (27,91)	
HSF_2B	-	-	553,2	28,1	166	5,3	11,55	764,15 (152,83)	
HSF_3	-	17	113,2	6,7	2,6	11,8	7,4	158,7 (26,45)	
HSF_4	-	16,9	1.118,4	116,4	15,5	6,5	22	1.295,7 (215,95)	
HSF_5	-	1176,6	5.019,3	2.990,5	6.003,8	108,6	286,2	15.585 (2.597,5)	
HSF_6	-	3,3	295,8	258	20,5	113,4	56,5	747,5 (124,583)	
HSF_7	-	36,2	285	1,6	19,4	7,4	65	414,6 (69,1)	
RTK_1	0	1,5	0	0	5,3	2,9	21,8	31,5 (4,5)	
RTK_2	46,2	18,4	17	197,4	10,3	9,5	5,7	304,5 (43,5)	
RTK_3	118,6	38,6	175,2	45	31	3.394,6	292,3	4.056,7 (579,528)	
Summe	164,8	1308,5	7.651,8	3.649,7	6.306,2	3.712,9	770,55	25.090,05 (3.584,2)	
Mittelwert	54,933	145,38	765,18	364,97	630,62	371,29	77,055	-	

¹ dunkelgrau hinterlegte Zellen: Wintermessung

b) Tagesrate pro Messstandort [mg/d]

	Messintervall Geländejahr 2015							
	21.06.- 01.07.	01.07.- 18.07.	18.07.- 04.08.	04.08.- 04.09.	04.09.- 20.09.	20.09.- 10.10.	10.10.- 29.10.	Summe pro Rinne (Mittelwert) in [mg]
Tage	10d	17d	17d	31d	11d	20d	19d	125d
HSF_1	-	0	4,394	0,1935	2,890	2,645	0,11	10,232 (1,7054)
HSF_2B	-	-	32,541	0,906	15,09	0,265	0,607	49,409 (9,881)
HSF_3	-	1	65,78	0,216	0,236	0,59	0,389	68,211 (11,368)
HSF_4	-	0,111	65,788	3,7548	1,409	0,325	1,157	72,544 (14,48)
HSF_5	-	69,176	295,259	96,4677	545,8	5,43	15,063	1.027,19 (171,199)
HSF_6	-	0,1941	17,4	8,3225	1,8636	5,67	2,973	36,4232 (7,24)
HSF_7	-	2,1294	16,764	0,0516	1,7636	0,37	3,421	24,4996 (4,0832)
RTK_1	0	0,088	0	0	0,4818	0,145	1,147	1,8618 (0,2659)
RTK_2	4,62	1,082	1	6,367	0,9363	0,475	0,3	14,7803 (2,1114)
RTK_3	11,86	2,27	10,305	1,4516	2,818	169,74	15,3842	213,8288 (30,546)
Summe	16,48	76,05	509,231	117,7307	573,28	185,655	40,5512	1.608,74 (229,82)
Mittelwert	5,493	8,45	50,9231	11,773	57,328	18,5655	4,055	-

¹ dunkelgrau hinterlegte Zellen: Wintermessung (Mitte Oktober 2014 bis Mitte Juli 2015)

c) Oberflächenabfluss pro Messintervall [l]

	Messintervall Geländejahr 2015							
	21.06.- 01.07.	01.07.- 18.07.	18.07.- 04.08.	04.08.- 04.09.	04.09.- 20.09.	20.09.- 10.10.	10.10.- 29.10.	Summe pro Rinne (Mittelwert) in [mg]
Tage	10d	17d	17d	31d	11d	20d	19d	125d
HSF_1	0,1	1,5	3,4	4,2	1,2	3,75	0,1	14,25 (2,03)
HSF_2B	-	-	1,2	2,5	0,48	0,9	0,2	5,28 (1,056)
HSF_3	-	0,5	0,55	0,7	0,4	0,4	0,1	3,15 (0,45)
HSF_4	-	-	5,0	4,2	0,85	3,0	0,62	13,67 (2,734)
HSF_5	-	-	5,0	5,0	4,0	5,0	0,1	19,1 (3,82)
HSF_6	-	-	3,6	4,7	0,55	3,2	1,9	12,95 (2,59)
HSF_7	-	0,5	0,7	3,0	0,55	1,9	2,2	10,45 (1,49)
RTK_1	5,0	0,75	4,1	5,0	1,9	5,0	2,4	24,15 (3,45)
RTK_2	5,0	0,6	5,0	5,0	1,7	5,0	3,0	25,3 (3,61)
RTK_3	1,0	0,5	1,2	2,6	0,2	1,7	0,75	7,95 (1,13)

d) Sedimentabtrag C-S-N Gehalte [%]

	Messintervalle Geländejahr 2015					
	21.06.- 01.07.	01.07.-18.07.	18.07.-04.08.	04.08.-04.09.	20.09.-10.10.	10.10. – 29.10.
Tage	10d	17d	17d	31d	20d	19d
HSF_2B			C: 20,32 N: 2,0			
HSF_4			C: 35, 37 N: 2,239			
HSF_5		C: 17,17 ¹ N: 1,618	C: 17,94 N: 1,592		C: 19,66 N: 1,799	C: 24,78 N: 1,745
HSF_6					C: 21,31 N: 1,512	
RTK_2				C: 26,27 N: 2,453 S: 0,218		
RTK_3	C: 29,89 N: 3,338				C: 29,63 N: 2,59 S: 0,205	

9.7 Höhlensedimente, Lage und Kenndaten

I) Riesending-Schachthöhle

a) Lage und Charakterisierung der Höhlensedimente

Proben-Nr. ¹	Höhenlage	Farbe (trocken)	Probenstelle	Beschreibung
RD_1	ca. 930m	10YR 6/4	Lange Gerade, zweite Senke, direkt neben dem Weg	2-3mm Oberflächenprobe, sehr fein und trocken; Sedimentoberfläche relativ hart
RD_2	ca. 910m	10YR 5/6	ca. 10-15m nach Biwak 7	Lesestück(1cm) an der Oberfläche
RD_3	ca. 1025m	5/10 GY	Zugang zur Krake	Lesestück von Block in Gangmitte
RD_4	ca. 1020m	10YR 6/4	ehemaliger Siphon am Kristallgang, am Wandfuß gegenüber dem Durchgangsweg	1cm mächtige Oberflächenprobe, harte Oberflächenschicht
RD_5	ca. 1020m	10YR 7/4	Siphon am Kristallgang	Probe unterhalb der Oberflächenprobe RD_4 entnommen
RD_6	ca. 1020m	10YR 4/6	Siphon am Kristallgang, seitlich am Wandfuß	Lesestück am Wandfuß
RD_7	ca. 1010m	10YR 8/2	zwischen Kristallgang und Senke vor ehemaligem Siphon	Lesestück Oberfläche
RD_8	ca. 905m	10YR 6/3	Biwak 7 Wasserstelle, ca. 1m über Normalwasserstand	Oberflächenprobe mit Grobkomponenten ca. 2mm
RD_9	ca. 980m	10YR 7/4	in der Krakenhalle, Pausenplatz am Wandfuß	Oberflächenprobe, 5mm
RD_10	ca. 980m	10YR 7/4	in der Krakenhalle, Pausenplatz am Wandfuß	0,5-5cm unter Oberflächenprobe von RD_9
RD_11	ca. 1015m	10YR 7/4	Senke/Mulde zwischen Kristallgang und ehemaligem Siphon	Oberflächenprobe, ca. 0-2mm
RD_12	ca. 1015m	10YR 7/4	Senke/Mulde zwischen Kristallgang und ehemaligem Siphon	0,2-2cm unter Oberflächenprobe von RD_11
RD_13	ca. 905m	10YR 6/3 10YR 7/4	Biwak 7, Wasserstelle, ca. 1m über Normalwasserstand	Stechstück, ca. 15cm tief, Durchmesser 50mm

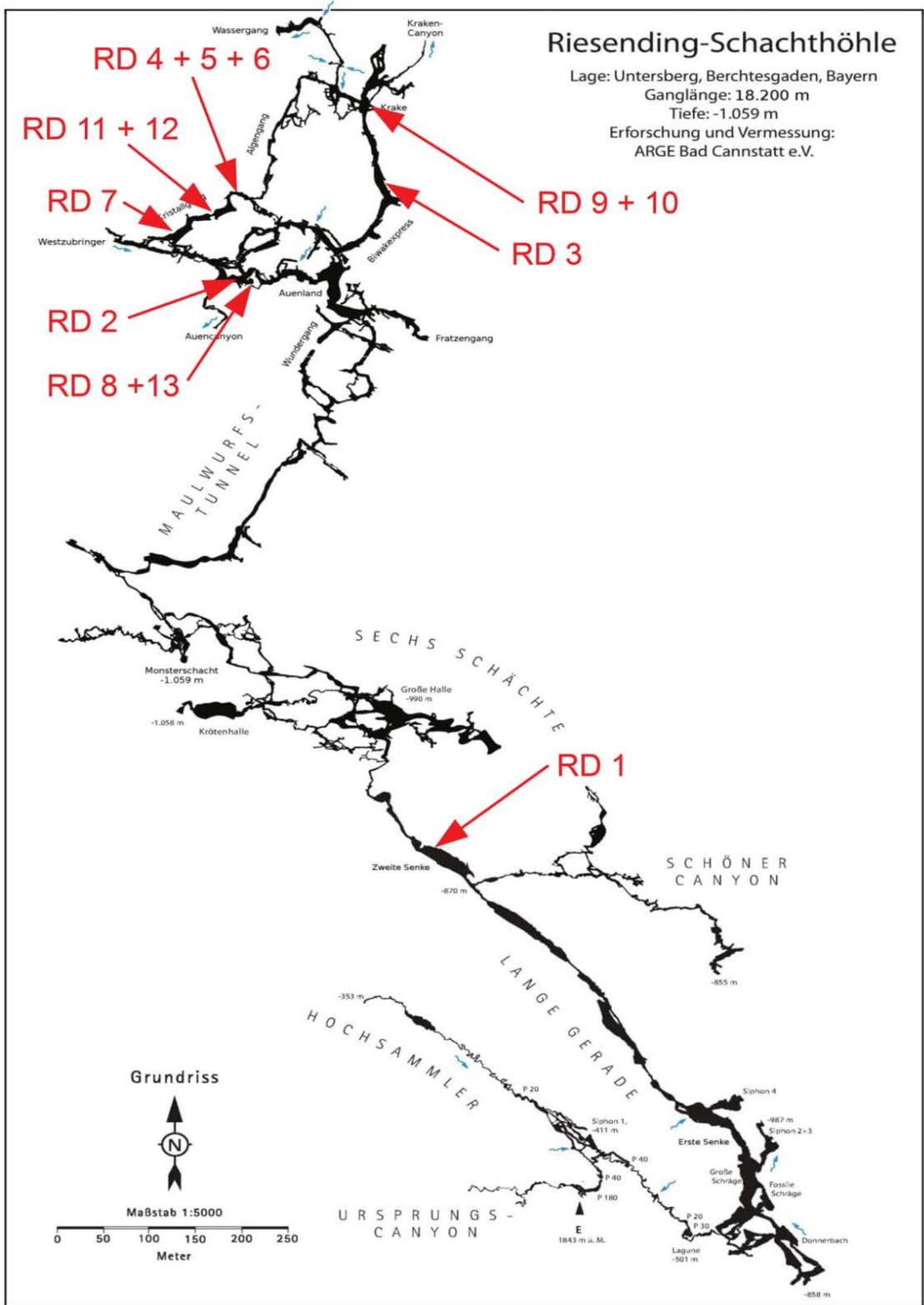
¹Entnahme 02.07.-04.07.2013 durch Johann Westhauser

Proben-Nr. ¹	Höhenlage	Farbe (trocken)	Probenstelle	Beschreibung
RD_21	ca. 905m	7,5YR 5/2	Auenbach bei Biwak 7, im Bachbett bei Niedrigwasser	Lesestück aus Bachbett
RD_22	ca. 905m	10YR 7/2	Auenbach bei Biwak 7 bachaufwärts, ca. 40-50cm über Wasserspiegel (Niedrigwasser)	Stechprobe, Tiefe 44-45cm, Rohrlänge 50cm
RD_23	ca. 905m	10YR 7/3 (0-9cm) 10YR 7/3 (9-12cm) 10YR 4/3 (12-20cm) 10YR 3/1 (20-29cm)	Auenbach bei Biwak 7 bachaufwärts	Stechprobe, Tiefe ca. 35cm, Rohrlänge 40cm
RD_24	ca. 905m	10YR 7/4	Auenbach bei Biwak 7, bachaufwärts, oberhalb der Probenstelle RD_23	Oberflächenprobe 2mm
RD_25	ca. 905m	10YR 7/4	Auenbach bei Biwak 7, direkt neben RD_24	Volumenprobe 0,5-1,5cm
RD_26	ca. 905m	10YR 7/4	Auenbach bei Biwak 7 bachaufwärts, oberhalb von RD_23	Volumenprobe 2cm
RD_27	ca. 980m	10YR 5/4	Zustieg zum Pausenplatz, Krake, Wand am kurzen Seilaufstieg	Lesestück 4mm mächtig
RD_28	ca. 850m	10YR 4/3	Krakencanyon	Oberflächenprobe 2mm
RD_29	ca. 850m	10YR 7/4	Krakencanyon	Volumenprobe 0,2-2cm unterhalb RD_28

¹Entnahme 11.09.-12.09.2013 durch Johann Westhauser

Übersicht der Probenstellen in der Höhle

Pläne von Ulrich Meyer mit Ergänzungen und Markierung der Probenstellen durch Johann Westhauser

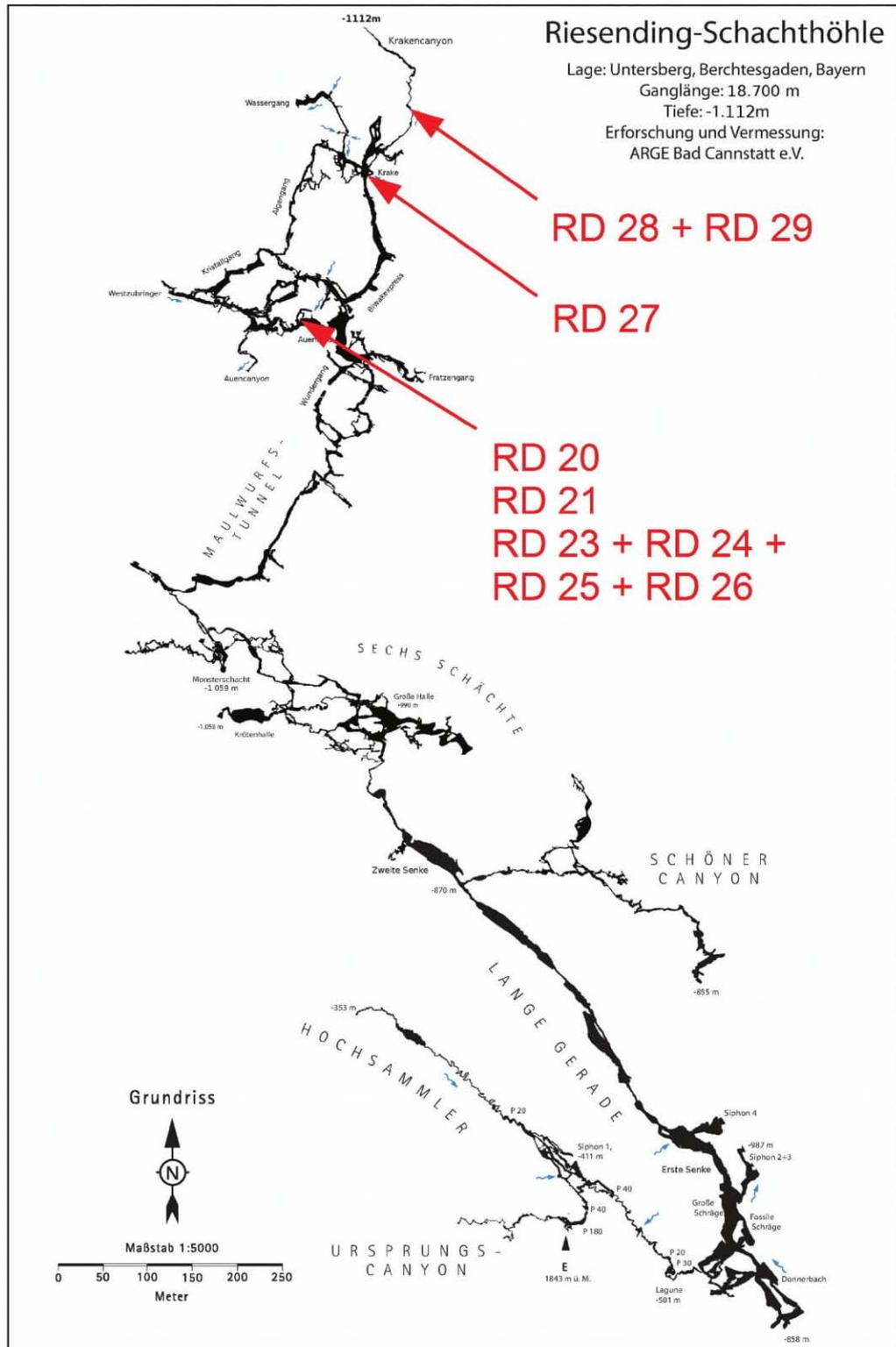


Planbearbeitung und Zeichnung: Ulrich Meyer und Thomas Matthaim 2002-2012. Alle Rechte vorbehalten. www.lehmghuht.org

Grundriss

Übersicht der Probenstellen in der Höhle

Pläne von Ulrich Meyer mit Ergänzungen und Markierung der Probenstellen durch Johann Westhauser



Grundriss

b) Kenndaten - chemische Analysen

Proben-Nr.	GV [Gew.-%]	pH-Wert	CaCO ₃ [%]	C _{tot} [%]	N _{tot} [%]
RD_1	1,1	7,57	41,73	-	-
RD_2	8,6	7,35	0,46	-	-
RD_4	4,6	7,44	4,86	-	-
RD_5	1,1	7,53	25,07	-	-
RD_8	3,0	7,43	48,22	-	-
RD_9	1,7	7,66	38,46	4,350	0,041
RD_10	0,6	7,66	77,16	-	-
RD_11	1,0	7,78	46,33	-	-
RD_12	1,0	7,81	45,92	-	-
RD_13a ¹	1,6	7,68	31,54	4,391	0,037
RD_13b	1,8	7,59	53,05	-	-
RD_13c	0,9	7,68	27,75	4,802	0,030
RD_20	-	-	-	-	-
RD_21.1 ²	-	6,79	50,24	-	-
RD_21.2	-	6,82	54,11	-	-
RD_23.1	-	7,1	39,44	-	-
RD_23.2 ²	-	7,15	27,25	-	-
RD_24	-	-	-	-	-
RD_25	-	-	22,45	-	-
RD_26	-	6,76	26,37	4,350	0,041
RD_27	-	-	-	-	-
RD_28	-	-	-	5,217	0,205
RD_29	-	7,09	56,67	-	-

¹Stechprobe in drei Höhen unterteilt: a) 0-3cm, b) 3-10cm, c) 10-15cm

²Stechprobe in zwei Höhen unterteilt: 21.1) 0-15cm, 21.2) 15-30cm

c) Einzelanalysen Riesending-Schachthöhle

Physikalische Kennwerte										
	Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)								Bodenart	B.gruppe
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2		
RD_1	0	0	0	20	53	17	6	4	Uu	su
RD_2	0	0	4	13	15	7	5	57	Tl	lt
RD_4	0	0	1	5	14	25	25	32	Tu3	ut
RD_5	0	6	1	7	32	33	14	8	Uu	su
RD_8	0	0	12	31	24	19	7	6	Us	su
RD_9	0	0	0	7	48	33	4	7	Uu	su
RD_10	0	1	0	2	54	28	11	5	Uu	su
RD_11	0	0	0	6	49	35	7	4	Uu	su
RD_12	0	0	0	4	53	34	6	3	Uu	su
RD_13a ¹	0	0	1	5	35	41	12	5	Uu	su
RD_13b	0	0	13	32	27	16	6	5	Us	su
RD_13c	0	1	0	4	34	41	14	6	Uu	su
RD_21.1 ²	0	0	30	56	10	2	1	1	Su2	ls
RD_21.2	0	0	42	46	7	2	1	1	Su2	ls
RD_23.1	0	0	15	44	23	12	4	3	Su3	us
RD_23.2	0	0	2	28	41	20	5	4	Us	su
RD_24	0	0	7	17	25	35	10	5	Us	su
RD_25	0	0	1	17	50	21	6	5	Us	su
RD_26	0	0	0	7	41	36	10	5	Uu	su
RD_28	0	9	9	14	28	21	9	9	Us	su
RD_29	0	3	1	15	43	26	7	6	Uu	su

Elementanalyse (ICP-OES)									
	Gesamtelementgehalt [mg/g]								
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Si
RD_28	59,2	102,06	27,5	16,34	30,45	0,406	5,47	0,64	0,13

II) Kolowrat-Gamslöcher-Salzbürger-Schachthöhle, Probestelle Orktränke

a) Kenndaten – chemische Analysen

Probenbezeichnung	GV [%]	pH	CaCO ₃ [%]
MP1	8,2	7,11	37,57
B1 (0-1,5cm)	7,1	n.b.	n.b.
B2 (1,5-3cm)	6,7	n.b.	n.b.
B3 (3-5cm)	6,4	7,16	32,65
B4 (5-13,5cm)	3,9	7,19	39,47
B5 (13,5-24,5cm)	3,3	7,19	46,76

b) Einzelanalysen Kolowrat-Gamslöcher-Salzbürger-Schachthöhle, Probestelle Orktränke

Physikalische Kennwerte										
	Korngrößen [µm] in Gew- % (Feinboden)									
	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	Bodenart	Haupt- gruppe
MP1	0	1	6	27	46	15	3	2	Us	U
B4	0	0	3	24	52	15	3	2	Us	U
B5	0	1	4	23	52	15	3	2	Us	U

Elementanalyse (ICP-OES)									
	Gesamtelementgehalt [mg/g]								
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Si
MP1	49,54	157,80	28,52	9,46	11,76	1,184	3,35	1,19	0,08