



# Flugstaubeintrag und Bodenbildung im Karst der Nördlichen Kalkalpen



# Flugstaubeintrag und Bodenbildung im Karst der Nördlichen Kalkalpen

Priv.-Doz. Dr. Carola Küfmann

Department für Geographie  
(Ludwig-Maximilians-Universität München)  
Lehrstuhl für Geographie und Landschaftsökologie  
Luisenstr. 37, 80333 München

Gefördert von der  
Deutschen Forschungsgemeinschaft

**Impressum:**

Nationalpark Berchtesgaden  
Forschungsbericht 54/2008

Herausgeber:

Nationalparkverwaltung Berchtesgaden, Doktorberg 6,  
D-83471 Berchtesgaden, Telefon 0 86 52/96 86-0, Telefax 0 86 52/96 86 40,  
e-Mail: [poststelle@nationalpark-berchtesgaden.de](mailto:poststelle@nationalpark-berchtesgaden.de)  
Internet: <http://www.nationalpark-berchtesgaden.de>

im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

Alle Rechte vorbehalten!

ISSN 0172-0023

ISBN 3-922325-61-0

EAN-Code 9783922325611

Druck: Berchtesgadener Anzeiger, Berchtesgaden

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier

Titelbild:

Blick auf die Nordabstürze der Reiteralpe (Berchtesgadener Alpen)  
Terra fusca-Rendzina aus roter Dachsteinkalk-Brekzie, Reiteralpe (Berchtesgadener Alpen)

Fotos:

Carola Küfmann, Andreas Küfmann



# Inhaltsverzeichnis

## Flugstaubeintrag und Bodenbildung im Karst der Nördlichen Kalkalpen

	<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	7
1.1	Problemstellung und Motivation .....	7
1.2	Stand der Forschung .....	7
1.3	Ziele, Themenkomplexe und Fragestellung .....	8
1.4	Untersuchungsgebiete .....	9
1.4.1	Physiogeographie .....	10
<b>2</b>	<b>Methoden und Lage der Messeinrichtungen</b> .....	14
2.1	Bodenchemische Analysen .....	15
2.2	Mineralogische Analysen .....	15
2.3	Feldansprache und Beprobung .....	16
2.4	Flugstaubbmessung .....	16
2.4.1	Verwendete Messtechnik .....	17
2.4.2	Staubuntersuchung auf Schneeoberflächen .....	18
2.5	Klimatologische Auswertung .....	21
<b>3</b>	<b>Theoretische Grundlagen der äolischen Dynamik im Gebirge</b> .....	22
3.1	Definitionen .....	22
3.2	Das System „Gebirge-Relief-Klima“ .....	23
3.2.1	Orographische Effekte .....	23
3.2.2	Föhnwinde .....	24
3.3	Saharastaub-Ereignisse .....	24
<b>4</b>	<b>Das Bodeninventar und seine äolische Beeinflussung</b> .....	26
4.1	Ergebnisse der Feldbodenkunde .....	26
4.1.1	Ausgangsgestein .....	26
4.1.2	Solummächtigkeiten .....	27
4.1.3	Bodenfarbe .....	29
4.1.4	Relief und Vegetation .....	30
4.2	Ergebnisse der Staubuntersuchungen (Eigenschaften) .....	31
4.2.1	Lichtmikroskopie .....	31
4.2.2	Mineralanalysen .....	33
4.2.3	Chemische Analyse der Feinfraktion .....	35
4.2.4	Korngrößenverteilung .....	36
4.3	Ergebnisse der Analysen von rezent-äolisch beeinflussten Böden .....	37
4.3.1	Autochthone Böden - <b>Zugspitzplatt</b> .....	38
4.3.2	Autochthone Böden - <b>Westliche Karwendelgrube</b> .....	42
4.3.3	Autochthone Böden - <b>Östliche Karwendelgrube</b> .....	45
4.3.4	Autochthone Böden - <b>Reiteralpe</b> .....	46
4.3.5	Mineralogische Indikatoren für rezenten Staubeintrag .....	49
4.4	Ergebnisse der Analysen von nicht-rezent äolischen Böden .....	54
4.4.1	Äolische Deckschichten .....	54
4.4.2	Allochthone Böden - <b>Zugspitzplatt</b> .....	55
4.4.3	Allochthone Böden - <b>Westliche Karwendelgrube</b> .....	56
4.4.4	Allochthone Böden - <b>Reiteralpe</b> .....	59
4.4.5	Mineralogische Indikatoren für äolische Substratherkunft .....	62
4.5	Zusammenfassung wichtiger Aspekte der Bodenbildung .....	69
4.5.1	Die autochthonen Böden .....	69
4.5.2	Die allochthonen Böden .....	70



<b>5</b>	<b>Flugstaubquantifizierung und äolische Dynamik</b> .....	73
5.1	Ergebnisse zur Staubquantifizierung auf Schneeoberflächen .....	73
5.1.1	Staubeintrag - Schneedeckenaufbau.....	73
5.1.2	Staubeintrag - Schneedeckenabbau .....	75
5.1.3	Jahreszeitlicher Vergleich der Staubeinträge .....	76
5.1.4	Verlässlichkeit der Probennahme (Schneedeckenabbau) .....	78
5.1.5	Staubeintrag aus Neuschnee .....	79
5.1.6	Ausgewählte Witterungsverläufe .....	80
5.2	Ergebnisse zur Staubquantifizierung im Regenniederschlag .....	81
5.2.1	Quantifizierung des Staubeintrags .....	81
5.2.2	Abhängigkeit von Klimaparametern .....	82
5.3	Ergebnisse zum Einfluss von Relief und Vegetation .....	84
5.3.1	Relief und Luv-Lee-Effekte .....	85
5.3.2	Effekte auf Boden und Vegetation durch Staubeintrag .....	85
5.4	Zusammenfassung: Äolische Dynamik .....	87
5.4.1	Die Staubquantifizierung im Winter .....	87
5.4.2	Die Staubquantifizierung im Sommer .....	87
5.4.3	Mögliche Liefergebiete .....	87
5.5	Berechnung von Sedimentationsraten .....	88
5.5.1	Berechnungsgrundlagen .....	88
5.5.2	Sedimentationsraten im Winter und Sommer .....	89
5.5.3	Sedimentationsraten und Solummächtigkeiten .....	89
<b>6</b>	<b>Diskussion und Bewertung</b> .....	91
6.1	Bewertung der Ergebnisse zum Bodeninventar .....	91
6.2	Bewertung der Ergebnisse zur Staubquantifizierung .....	92
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	94
<b>8</b>	<b>Danksagung</b> .....	95
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	96
<b>10</b>	<b>Anhang</b> .....	107
10.1	Lage der Messeinrichtungen .....	107
	Karte K 1: Messeinrichtung und Catenen - Zugspitzplatt	
	Karte K 2: Messeinrichtung und Catenen - Westliche Karwendelgrube	
	Karte K 3: Messeinrichtung und Bodenprofile - Karwendelgruben	
	Karte K 4: Messeinrichtung und Catenen - Reiteralpe	
10.2	Bodenprofile und Kenndaten .....	109
	Referenzprofile Zugspitzplatt (ZP_17 bis 19; ZP_29)	
	Bodenprofile Reiteralpe (RA_1 bis RA_14)	
10.3	Korngrößendaten - Böden .....	146
	Mittlere Korngrößenverteilung - Böden Zugspitzplatt	
	Mittlere Korngrößenverteilung - Böden Karwendelgruben	
	Mittlere Korngrößenverteilung - Böden Reiteralpe	
10.4	Korngrößendaten - Staub .....	148
	Mittlere Korngrößenverteilung - Staub von Schneeflächen (Horizonttiefe: 0 cm-1 cm)	
	Mittlere Korngrößenverteilung - Staub aus Regenniederschlag (Auswahl)	
10.5	Analysedaten - Gestein/Residuen .....	149
10.6	Staubquantifizierung .....	150
	Summen und Mittelwerte - Klimadaten	
	Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2002	
	Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2003	

# Vorwort

Sie halten unseren Forschungsbericht „Flugstaubeintrag und Bodenbildung im Karst der Nördlichen Kalkalpen“ in Händen. Was ist der Hintergrund dieses mehrjährigen Forschungsprojektes, das Frau Dr. Carola Küfmann am Zugspitzplatt, in der Karwendelgrube und vor allem auf der Reiteralpe im Nationalpark Berchtesgaden durchgeführt hat?

Neben dem Schutz der Natur, mit dem Ziel sie so zu belassen wie sie ist, sind Forschung und Beobachtung der Natur weitere wichtige Aufgaben und Zweckbestimmung eines Nationalparks. Bei der Erfassung der Böden im Nationalpark war an bestimmten Stellen sehr auffällig, dass bei der Entwicklung der braunen Mineralböden im Oberboden Glimmer und andere Fremdminerale nachweisbar waren - so zum Beispiel auf der Reiteralpe. Ein sicheres Zeichen für das Vorhandensein von Staubeinträgen. Diese Deposition wird erstmals systematisch erfasst, wobei Stäube aus Niederschlag (Sommer) und auf Schneeoberflächen (Winter) quantifiziert werden. Neu an den Untersuchungen ist auch die Anpassung der Messintervalle an Witterungsverläufe und Großwetterlagen. Die Auswertung von Wind- und Niederschlagsituation soll meteorologische Einflüsse auf den Staubeintrag (z.B. Menge, Herkunft) zeigen. Wichtige Ziele der Arbeit sind das Verständnis der äolischen Dynamik und die Wirkungsweise von Flugstäuben im Karstökosystem.

Eine derart detaillierte Untersuchung dieser äolischen Substrate im Karst der Nördlichen Kalkalpen wurde bisher nicht durchgeführt. Wir wissen nun genau, warum der Substrattyp „Äolium-Kolluvium“ in der Standortkarte des Nationalparks Berchtesgaden ausgewiesen ist. Der Ursprung der Flugstäube ist größtenteils die Sahara. Insgesamt gelangen jährlich weltweit rund fünf Milliarden Tonnen Staub- oder Aerosolpartikel in die Atmosphäre. Der Mineralstaub aus den Wüsten hat davon einen Anteil von 1,5 Milliarden Tonnen. Davon entstammen 60% der Sahara. Der Staub wird regelmäßig mit warmen Luftmassen bis zu 5000 m hoch in der Atmosphäre verteilt und gelangt mit Südwinden oft bis nach Nordeuropa. Das jüngste Ereignis fand zwischen dem 26. und 28. Mai 2008 über dem Alpenraum statt. Die eingetragenen Stäube haben eine große Bedeutung für das Ökosystem im Nationalpark Berchtesgaden, denn die Stäube aus der Sahara und den kristallinen Zentralalpen haben allgemein eine hohe Düngewirkung für das Pflanzenwachstum im Gebirge, da sie reich an Pflanzennährstoffen sind. Besonders die an Bodensubstrat sehr armen, kargen Karstgebiete (z.B. Reiteralpe, Steinernes Meer, Lattengebirge, Untersberg etc.) profitieren von den windtransportierten Stäuben. Die Stäube sind somit auch Wuchssubstrat für zahlreiche Felsspalten- und Schuttgesellschaften der alpinen Flora, die als Pioniere Felsspalten, Schutthalden, Karsthohlförmungen und Klüfte in der alpinen bis subalpinen Stufe besiedeln.

Die Forschungen von Frau Dr. Küfmann sind für unsere Arbeit im Nationalpark von höchster Wichtigkeit. Sie können als Grundlage für weitere Untersuchungen dienen, z.B. wie sich die allgemeinen klimatischen Änderungen auf die Ökosysteme in unserem Park auswirken und wie die Natur damit umgeht.

**Dr. Michael Vogel**  
Leiter der Nationalparkverwaltung



# Flugstaubeintrag und Bodenbildung im Karst der Nördlichen Kalkalpen

PRIV.-DOZ. DR. CAROLA KÜFMANN

## 1 Einleitung

Das mehrjährige Forschungsprojekt (2000 bis 2003) zu Hochgebirgsböden im Karst konzentriert sich auf drei Untersuchungsgebiete (Zugspitzplatt, Karwendelgrube, Reiteralpe). Im Mittelpunkt steht das Bodeninventar der subalpinen und alpinen Stufe, insbesondere die Entwicklung der braunen Mineralböden. Alle Oberböden zeigen auffälligerweise Glimmer als Beleg für aktuellen Flugstaubeintrag. Die Wirkung dieser kristallinen Fremdstäube auf die Bodenentwicklung im Karstökosystem ist ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt.

Des Weiteren konzentriert sich das Projekt auf die systematische Erfassung der Staubdeposition. Erstmals werden sowohl Stäube aus Niederschlag (Sommer) als auch Staub auf Schneeoberflächen (Winter) quantifiziert. Eine neue Vorgehensweise ist zudem die Anpassung der Messintervalle an Witterungsverläufe und Großwetterlagen. Die statistische Analyse der Wind- und Niederschlagsverhältnisse untersucht die meteorologischen Einflüsse auf den Staubeintrag (z.B. Menge, Herkunft) und dient dem Verständnis der äolischen Dynamik im Gebirge.

### 1.1 Problemstellung und Motivation

Die Deposition von Flugstäuben in den Hochlagen der Alpen ist seit Anfang des 20. Jahrhunderts bekannt (z.B. BECKE 1901; GÖTZ 1940; HELLMANN und MEINARDIUS 1901). Bereits 1915 betont von LEININGEN die positive Wirkung von Mineralstäuben auf das alpine Ökosystem. Der äolische Eintrag findet als „Verstaubung der Hochgebirgsböden“ (von LEININGEN 1908-1912, S. 1) Eingang in die Literatur. Dieser Prozess kommt auch im Substrattyp „Äolium-Kolluvium“ zum Ausdruck, der in der Standortkarte des Nationalparks Berchtesgaden ausgewiesen ist (KONNERT 2004). Eine detaillierte Untersuchung dieser äolischen Substrate im Karst der Nördlichen Kalkalpen wurde bisher nicht durchgeführt.

Eine plausible Erklärung für diese Bearbeitungslücke ist die anerkannte Meinung, dass die Entwicklung von Mineralböden im Hochkarst klima- und substratbedingt gehemmt ist (GRAČANIN 1972; GROTTENTHALER 1982; KUBIENA 1944, 1953; ZÖTTL 1965 a,b). Ausgeprägte braune Böden wie die Terra fusca, sind nur in geschützten Lagen (z.B. Dolinen) erhalten und werden deshalb häufig als tertiäre Braunlehmreste eingeordnet (BRONGER 1976; BRONGER und KALK 1979; HÄUSLER 1992; JANIK und SCHILLER 1960; RATHJENS 1938).

Anders verhält es sich in der Waldstufe, wo auf Lockersubstraten auch rezente Terra fusca kartiert sind

(BIERMAYER und REHFUESS 1985; BOCHTER 1983; ZECH und WÖLFEL 1974).

Ähnlich konträr wird auch die Bildung der rötlichen Verwitterungslehme auf den Karsthochflächen diskutiert. Meist werden sie als fossile Terra rossa eingestuft, d.h. als ein Produkt der subtropischen Verwitterung im Bereich der tertiären Augensteinlandschaft (FRISCH et al. 1998, 2000; KUHLEMANN et al. 1999; THIEDIG 1970). Hingegen postuliert SOLAR (1964) aufgrund von Glimmerreichtum auch äolisches Ausgangssubstrat. Dies wird auch für optisch ähnliche Böden in den Talräumen und der montanen Stufe angenommen (GRAČANIN 1970; NEUWINGER 1974; SCHÖNHALS und POETSCH 1976; ZECH und WÖLFEL 1974, 1975). Als Ausgangssubstrat werden hier kristalline Fernmoränen oder spätglaziale Lössdecken postuliert (HAMANN 1985; SCHÖNHALS 1953-1960; SCHÖNHALS und POETSCH 1976).

Zusammenfassend münden diese konträren Ansichten in zahlreichen Vorschlägen zur genetischen Stellung der braunen Mineralböden (Abb. 1).



Abb. 1: Vorschläge zur Einordnung von braunen Böden im Karst der Nördlichen Kalkalpen (Entwurf der Verfasserin).

Daraus lassen sich für die Substratherkunft zwei zu prüfende Annahmen ableiten:

- Vorwiegend autochthoner Ursprung (Residualsubstrat aus der Karbonatverwitterung). Die Mineralböden sind Varianten der Terra fusca (Ah/T/C).
- Vorwiegend allochthoner Ursprung (z.B. äolisches Fremdsupstrat). Die Mineralböden sind Varianten der Braunerde (Ah/B/C).

### 1.2 Stand der Forschung

#### A) Bodengenese

Der bodenkundliche Bearbeitungsstand der Nördlichen Kalkalpen ist regional uneinheitlich und weist höhenstufenabhängig noch immer große Lücken auf.

In der montanen und unteren subalpinen Stufe sind die Grundlagen der Bodenentwicklung auf Karbonatgestein intensiv untersucht (z.B. BIERMAYER und REHFUESS 1985; BOCHTER 1983; GRAČANIN 1972; KREUTZER und GROTTENTHALER 1991; MISHRA 1982; NEUWINGER 1970; WÖLFEL 1975; ZECH et al. 1986; ZÖTTL 1965 a,b). Wertvolle Ergebnisse zur Bodenökologie liefert zudem die forstwirtschaftliche Standortkunde und Ökosystemforschung (z.B. CELL 1972; GREMINGER 1982; HABER 1988; HERTER



1990; STORCH 1983, URBAN 1991). Glimmerreiche Böden werden je nach Ausgangssubstrat als „Terra fusca-Braunerde“ oder „Parabraunerde-Terra fusca“ ausgewiesen. Sie dokumentieren oft Mehrschichtprofile (z.B. BIERMEYER und REHFUESS 1985; SCHÖNHALS und POETSCH 1976; ZECH und NEUWINGER 1974).

In der subalpinen Krummholzstufe liegt der Forschungsschwerpunkt auf Rendzinen (z.B. Tangelrendzina) sowie Fels- und Skeletthumusböden (BOCHTER 1983; GROTTENTHALER 1982; KREUTZER und GROTTENTHALER 1990; MÜLLER 1986; RODENKIRCHEN 1986).

In der alpinen Stufe reduziert sich die Zahl der Bodenstudien deutlich. Wertvolle Ergebnisse liefern die jüngeren, geomorphologischen Arbeiten im Wetterstein- und Karwendelgebirge (CREDNER et al. 1998; HIRTLREITER 1992; HÜTTL et al. 1995; HÜTTL 1997-1999; SCHLOTT 1997). Weitere Hinweise finden sich in den zahlreichen vegetationskundlichen Studien (z.B. EGGENSBERGER 1994; POELT 1955; REHDER 1970; SAITNER 1989; SAITNER und PFADENHAUER 1992; SMETTAN 1981). Darunter sind die frühen Arbeiten zu Sedimenten an Schuttstandorten heute bodenkundlich von großem Interesse (ZÖTTL 1950, 1951, 1966).

Weit intensiver ist der Karst in den östlichen Kalkhochalpen bearbeitet (z.B. FISCHER 1976, 1984, 1990; GRAF 1972; LICHTENECKER 1936; ZWITTKOVITZ 1966). Dort dominieren Plateaugebirge mit ausgedehnten Karsthochflächen, die als Reste der tertiären Raxlandschaft diskutiert werden (z.B. Steinernes Meer, Untersberg, Lattengebirge, Hagengebirge, Tennengebirge, Dachsteinmassiv, Totes Gebirge, Raxalpe). Entsprechend konzentrieren sich dort die bodenkundlichen Untersuchungen auf die Terrae calcis (JANIK und SCHILLER 1960; KUBIENA 1944; ORTLAM 1980; RATHJENS 1938; SMOLIKOVA und LOZEK 1962; SOLAR 1964).

Lössdecken oder äolische Substrate sind trotz der diskutierten äolischen Beeinflussung und den neuen Befunde aus den West- und Zentralalpen (MAILÄNDER und VEIT 2001; VEIT 1988; VEIT und HÖFNER 1993) bis heute im Hochkarst der Nördlichen Kalkalpen nicht bearbeitet.

## B) Flugstaub und äolische Dynamik

Aktuell konzentriert sich die Bearbeitung der Thematik „Staub in der Atmosphäre“, auf die anthropogenen und großklimatischen Auswirkungen (z.B. JAFFE und SNOW 2003; SCHÜTZ 2004; VARRICA et al. 2003). Für Europa und den Alpenraum ist rötlicher Saharastaub auf Gletschern (*Schneestaub*, *Blutschnee*, *coloured snow*, *neige colorée*) bedeutend (z.B. VALENTIN 1902; GLAWION 1938; LUNDQVIST und BENGSSON 1970). Eisbohrkerne und Schneeprofile liefern chemisch-mineralogische Aerosoleigenschaften sowie Chronologien von Staubfällen über dem Alpenraum (DESSENS und PHAM VAN DINH 1990; FRANZEN et al. 1994; HAEBERLI et al. 1983; PETIT et al. 1981; SCHWIKOWSKI et al. 1995; SWITHINBANK 1950; TSCHERSCH et al. 1990; WAGENBACH und GEIS 1989; WEISSHAAR et al. 1999).

Trotz dieser Aktualität fehlen noch immer systematische Messreihen, welche die Frage nach dem Staubeintrag im Boden beantworten können. So liefert die geomorphologische Feldforschung nur Grobabschätzungen,

die häufig auf nicht vergleichbaren Methoden basieren (BRAUN-BLANQUET und JENNY 1926, 1936; FRIEDEL 1936; GLAWION 1939; von LEININGEN 1915; WINKLER v. HERMADEN 1945).

Lediglich GRUBER (1975) quantifiziert in größerem Umfang Staub auf Schneeflächen (Glocknergruppe/Österreich) und ermittelt für die alpine Stufe Sedimentationsraten von 0,05 mm/a bis 1 mm/a. Sonst liegen aus dem deutschsprachigen Alpenraum keine quantifizierten Angaben zum rezenten Staubeintrag im Bodensystem vor. Diesem großen Forschungsdefizit stehen zahlreiche aktuelle Ergebnisse zur äolischen Deposition in außereuropäischen Gebirgen gegenüber (z.B. BOCKHEIM und KÖRNER 1997; CHEN et al. 2002; DAHMS 1991-1993; DAHMS und RAWLINS 1996; MASON et al. 1999; MCTAINSH und LYNCH 1996; NICKLING 1978; ORTIZ et al. 2002; OWEN et al. 1992; HANSH et al. 1996; HEIMSATH et al. 1999; LITAOR 1987; MCGOWAN et al. 1996; MUNN und SPACKMAN 1990; REHEIS und KIHLE 1975; RENDELL 1989; SCOTT 2000; STETLER und GAYLORD 1996; THORN und DARMODY 1980, 1985). Ebenso gut bearbeitet sind Saharastäube im mediterranen Gebirgsraum (z.B. MIZOTA et al. 1988; MORALES 1979; MORESI und MONGELLI 1988; NIHLÉN 1990; NIHLÉN und MATSSON 1989; NIHLÉN und SOLYOM 1986, 1989; PRODI und FEA 1979; PYE 1992; RAPP 1984; RAPP und NIHLÉN 1986).

## 1.3 Ziele, Themenkomplexe und Fragestellung

Aus Kapitel 1.2 ergeben sich fünf Themenkomplexe mit folgenden Fragestellungen:

### 1. Feldbodenkunde

- Wie steuern Geologie und Relief die Entstehung von Mineralböden?
- Welche Raummuster zeigen äolische Substrate und Deckschichten?

### 2. Laboranalytische Charakterisierung der Bodengesellschaft

- Welche Kennwerte unterscheiden autochthone und allochthone Substrate?
- Gibt es Anhaltspunkte für mögliche Bildungszeiträume?

### 3. Laboranalytische Charakterisierung der rezenten Stäube

- Welche Liefergebiete erschließen sich aus der mineralogischen Kennung?
- Welche bodenkundlichen Parameter kennzeichnen Flugstäube und äolische Substrate?

### 4. Staubquantifizierung und äolische Dynamik

- Wie hoch sind die Sedimentationsraten im Sommer und Winter?
- Wie steuern Wind und Niederschlag sowie Relief und Vegetation den Staubeintrag?

### 5. Praktischer Nutzen, Anwendungsbezug

- Welche Zusammenhänge bestehen zwischen Substrat, Boden und Vegetation?
- Wie wirken äolische Substrate im alpinen Karstökosystem?



## 1.4 Untersuchungsgebiete

Die Untersuchungsgebiete Zugspitzplatt (ZP), Karwendelgrube (KG) und Reiteralpe (RA) gehören zu den Nördlichen Kalkalpen, die im äußersten Süden Deutschlands zwischen dem Lech im Westen und der Salzach im Osten liegen (Abb. 2).



**Abb. 2:** Lage der Untersuchungsgebiete, ZP = Zugspitzplatt (Wettersteingebirge), KG = Karwendelgruben (Karwendelgebirge), RA = Reiteralpe (Berchtesgadener Alpen).

Wichtig für die Wahl der Untersuchungsgebiete sind die flächenhaften Vorkommen von reinen Kalksteinen ( $\text{CaCO}_3 > 95\%$ ). Dadurch sind kristalline Fremdsubstrate gut von autochthonen Bodensubstraten unterscheidbar. Des Weiteren finden sich auf den Karsthochflächen von Wettersteingebirge und Reiteralpe zahlreiche Siedimentfallen (z.B. Dolinen, Karren). Diese Funktion erfüllen auch die Großdolinien der Westlichen und Östlichen Karwendelgrube (WKG, ÖKG) (Tab. 1).

### A) Zugspitzplatt

Das 7,5 km<sup>2</sup> große Gebiet (2000 m bis 2600 m) wird von den Flusstälern der oberen Loisach (N, W), des Kankerbachs, der Isar (E) sowie des Puiten- und Gaisbachs (S) begrenzt. Die Zugspitze (2962 m) überragt die Karsthochfläche um ca. 400 m und liegt im Gratverlauf der



**Foto 1:** Das Zugspitzplatt mit den rasenbewachsenen Moränenständen (Blick nach N zur Plattumrahmung mit der Zugspitze am oberen linken Bildrand, Aufnahme 25.08.02).

Plattumrahmung. Diese umschließt als Wandflucht das Zugspitzplatt in Form eines nach E geöffneten Hufeisens. Die Ostgrenze des Arbeitsgebietes verläuft entlang der Latschengrenze, die im Übergang zum Hochkarst ungefähr der 2000 m-Isophyse folgt (Foto 1 und Tab. 10).

### B) Karwendelgrube

Sie liegt im Bereich der Nördlichen Karwendelkette über dem Becken von Mittenwald (980 m) und ist durch die Bergstation „Karwendelbahn“ (2244 m) erreichbar. Die Staatsgrenze zu Österreich stellt die Südgrenze dar. Weitere Eckpunkte sind die Westliche Karwendelspitze (2385 m) im W und die Nördliche Linderspitze (2374 m) im E (Foto 2).

Zwischen Westlicher Karwendelspitze und Nördlicher Linderspitze ist die Doline entlang eines windausgesetzten Grates nach S geöffnet. Dahinter schließt sich der SE-exponierte Luvhang der Kirchlwiese an. Das Arbeitsgebiet liegt in der alpinen bis subnivalen Stufe. Ergänzend liegen Bodenprofile aus der Östlichen Karwendel-

**Tab. 1:** Kurzcharakteristik der Untersuchungsgebiete (UG)

Gebirgsgruppe / Höchste Erhebung	Zugspitzplatt ZP	Karwendelgrube KG	Reiteralpe RA
Talort / Zugang	Wettersteingebirge / Zugspitze (2962m)	Karwendelgebirge / Birkkarspitze (2749m)	Berchtesgadener Alpen / Hochkönig (2941m)
Höhe UG ü.NN / Höhenstufe	Garmisch-Partenkirchen (707m) / Bayer. Zugspitzbahnen	Mittenwald (980m) / Karwendelbahn	Unterjettenberg (516m) / Seilbahn der Bundeswehr
Anstehendes Gestein	2000m – 2600m alpin bis subnival	2000m – 2400m alpin bis subnival	1500m – 1800m subalpin bis alpin
Substratformen	Wettersteinkalk (Ladin)	Muschelkalk (Anis) (WKG) Reichenhaller Schichten rh (Anis) (ÖKG)	Dachsteinkalk (Nor) Kreide- u. Liaskalke (Gosau) als Deckenreste
Relieftyp	Fels, Schutt, Lokalmoräne	Fels, Schutt	Fels, Schutt, Lokalmoränenreste
Klima	Tertiärer Altflächenrest (Typ: Raxlandschaft), Schichtkopf- und Schichtflächenkarst	Großdoline (WKG), Karmulde (ÖKG) im Steilwandreif	Tertiärer Altflächenrest (Typ: Raxlandschaft), Schichtrippen- und Schichtkopfkarrst
	Ozeanisch bis kontinental geprägtes Hochgebirgsklima		





**Foto 2:** Die Westliche Karwendelgrube mit den dichtbewachsenen äolischen Deckschichten auf den im Bild besonnten Leehängen (Blick nach SSW; Aufnahme 25.09.02).

grube vor, die über den Felsgrat „Damm“ ins Dammkar nach N leitet (Anhang 10.1).

### C) Reiteralpe

Die Reiteralpe (21 km<sup>2</sup>) liegt zwischen Unterjettenberg (516 m) im N und dem österreichischen Lofer (614 m) und Weißbach (660 m) im SSW. Der Gebirgsstock wird im N und W von der Saalach sowie im E und SE von Klaus- und Schwarzbach begrenzt. Die Karsthochfläche der Reiteralpe ist in einer geologischen Synklinale angelegt und allseits von steilabfallenden Wänden umrahmt. Markante Gipfel sind: Alphorn (1708 m) im N, Weitschartenkopf (1979 m) im W, Edelweißlahnerkopf (1953 m) im E und das Stadelhorn (2287 m) im Süden.

Die Staatsgrenze zu Österreich trennt das Karstplateau der Reiteralpe zwischen dem Weitschartenkopf (1978 m) und dem Schottmalhorn (2031 m) von NW nach SE in einen Nord- und Südteil. Das Nordplateau weist ein mittleres Höhenniveau von 1600 m bis 1700 m auf und liegt fast vollständig in der Kernzone des Nationalparks. Das Südplateau steigt entlang einer tektonischen Bruchlinie zwischen Guggenbühl im W und Eisbergscharte im E zu den Reiter Steinbergen an. Die untersuchten Bodenprofile liegen in der oberen subalpinen bis unteren alpinen Höhenstufe (Foto 3; Tab. 10).



**Foto 3:** Der Schichttrippenkarst in der subalpinen Stufe der Reiteralpe (Blick SW, Aufnahme 25.08.03).

## 1.4.1 Physiogeographie

Details zur Physiogeographie sind in den vergleichenden Tabellen 5 bis 10 am Ende dieses Kapitels zusammengefasst.

Das Wettergeschehen wird allgemein durch drei Großwetterlagen charakterisiert:

- Westlagen (antizyklonal, zyklonal, winkelförmig) mit Winden aus westlichen Richtungen und hoher Niederschlagswahrscheinlichkeit.
- Nordlagen (antizyklonal, zyklonal) oft in Verbindung mit Nordwestlagen. Im Winter sind Niederschläge, im Sommer Kaltlufteinbrüche charakteristisch.
- Südlagen (antizyklonal, zyklonal) begünstigen Föhnwinde und Staubtransport aus südlichen Liefergebieten.

### A) Zugspitzplatt

Das Zugspitzplatt liegt im Kern der Reintal-Synklinale und ist aus ladinischem Wettersteinkalk ( $\geq 98\% \text{ CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ ) aufgebaut. Die tektonische Lagerung bedingt den ausgeprägten Schichtflächen- und Schichtkopfkarrst in der alpinen Stufe (2000 m bis 2350 m). Noch heute trägt das Platt mit dem Nördlichen Schneeferner den größten Gletscher der bayerischen Alpen (HERA 1996). Die verschiedenen Zeitphasen der Vergletscherung sind durch Moränenwälle und -schleier dokumentiert (HERA 1996, HIRTLREITER 1992). Kennzeichen der Moränenstandorte in der alpinen Stufe sind hohe Deckungsgrade der Vegetation ( $> 75\%$ ) und fortgeschrittene Bodenbildung (HÜTTL 1999).

Entscheidend für die Staubeinträge ist die Häufigkeit der Windrichtungen, wobei die staubrelevante Südwindtätigkeit mit 23% vertreten ist. Maxima treten sowohl im Jahr 2002 als auch im langjährigen Mittel (1931-1960, DWD München) im Frühjahr (Mai) und Herbst (September) auf (Tab. 2).

### B) Karwendelgrube

Das Gebiet besteht aus triassischen Schichtserien. Hauptgestein in der WKG ist der alpine Muschelkalk (Anis) und in der ÖKG die Reichenhaller Schichten (Tab. 5 bis 7). Sie umfassen Kalk- und Dolomitsteine sowie ausgeprägte Brekzien entlang der Überschiebungszone „Lechtal-/Inntaldecke“ im oberen Dammkar (FRISCH 1964). Besonders die rötlich verwitternden Brekzien fördern die Bodenentwicklung (SCHLOTT 1997). Aktive Schutthalden dominieren im Steilrelief und ziehen im E und W in die Westliche Karwendelgrube (SASS 1998). Diese 200 m breite Hohlform ist eine „strukturell angelegte, präglaziale Gipfelgroßdoline“ (FELS 1929, S. 15). Der Höhenunterschied zwischen dem Dolinentiefsten und der Gipfelumrahmung beträgt 130 m bis 140 m. Wichtig für die Windverhältnisse ist die Talfurche von Mittenwald-Seefeld, die als Föhngasse den hohen Anteil der Südwinde im Jahr bewirkt. Die Sektoren SW und SE sind mit 47% vertreten (SASS 1998).

### C) Reiteralpe

Auch das Karstplateau der Reiteralpe ist in einer geologischen Mulde angelegt. Dort steht als Hauptgestein der



**Tab. 2:** Mittlere Häufigkeit [%] der Windrichtung auf der Zugspitze (2962 m) (DWD: 1995-1997; Einteilung in 30° Sektoren).

NNW	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	∑
9	16	17	1	1	2	8	8	7	4	16	11	100
Nordsektor: 42			Ostsektor: 4			Südsektor: 23			Westsektor: 31			100



**Foto 4:** Tektonische Brekzie (Dachsteinkalk) im Anschlag. Die Haarrisse sind mit eisenoxidhaltiger Matrix verheilt (Schreck-sattel 1670 m, 25.08.02).

massige bis gut gebankte Dachsteinkalk (Nor) vom Reiteralmtyp an. Er baut auch den oberen Bereich der Gipfelumrahmung auf (Tab. 5 bis 7). Entlang tektonischer Störungen ist der hellgraue Kalk im Anschlag durch Eisenoxide brekziiert und rotgeädert bis getupft (Foto 4).

„Schwimmende Scherben“ (GILLITZER 1912, S. 14; BÖGEL 1971) bezeichnen Bänder und Knollen aus Ton, die den Kontaktbereich zwischen Dachsteinkalk und der ehemaligen Jura- und Kreidedecke markieren. Schwellenkalke (Lias) treten nur inselhaft auf. Hingegen sind kreidezeitliche Deckenreste (mittlere bis untere Gosau) in der geologischen Mulde vom Reitertritt gut erhalten. Die wasserstauenden Mergel der Glarnecker Schichten ermöglichen dort Almweidebetrieb (Foto 5).

Je nach Schichtneigung und glazialer Bearbeitung durch den pleistozänen Plateaugletscher, der nach W über die Alpaalm ins Saalachtal sowie nach NE in Richtung Schwarzbachwacht abfluss, tritt Schichtkopf- und Schichtrippenkarst auf.

Diese Typen gehören zum nackten Karst, der jenseits der Waldgrenze (bei ca. 1900m) im Bereich der Reiter Steinberge dominiert. Kennzeichen sind glattpolierte Flächen, steilgestellte Rippen oder rundhöckerartige Schichtköpfe mit einer Vielzahl von erosiven Kleinformen (z.B. Rinnen-, Rillen-, Kluftkarren). In Abhängigkeit von der Kluftdichte tritt in jeder Höhenstufe auch Frostschutt auf. Halbbedeckter Karst ist im Nordplateau an den aufgelockerten Lärchen-Zirben-Wald mit großen Flächenbeständen von *Pinus cembra* gebunden (Foto 3; Tab. 9).



**Foto 5:** Reste der gosauzeitlichen Decksedimente (Glarnecker Schichten) im Almgebiet Reitertritt im latschenbedeckten Schichtrippenkarst (Blick nach E, 24.08.03).



Die mittlere Niederschlagsverteilung geht auf unterschiedlich lange Messzeiträume zurück, da auf der Reiteralpe selbst keine kontinuierliche Erfassung der Klimadaten vorliegt (ENDRES 1979). Im Vergleich zur Talstation Schwarzbachwacht verzeichnet das Plateau einen Niederschlagszuwachs von 15% bis 17% (Tab. 3).

Der Schneedeckenaufbau beginnt im Oktober. Auf der Hochfläche beträgt die Schneehöhe zwischen 150 cm und 200 cm (10-jähriges Mittel). Der Schneedeckenab-

bau beginnt zwischen April und Mai. Im Mai werden im Mittel noch 19 Tage mit einer Schneedecke von mehr als 1 cm registriert.

Für die Beurteilung der Windverhältnisse dient die Klimastation Watzmannhaus (1820 m). Die Verteilung der Windhäufigkeiten ergibt dort im Vergleich zur Zugspitze eine deutliche Ostwindkomponente. Winde aus dem Südsektor sind ganzjährig vertreten, mit Minima in den Sommermonaten (Tab. 4).

**Tab. 3:** Niederschlagsverteilung im Bereich Reiteralpe (Daten: ENDRES 1979).

Klimastationen RA	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Summe
Traunsteiner Hütte (1560m) (Reihe: 1934-1941)	147	149	131	155	207	270	324	266	192	155	133	124	<b>2253</b>
Reiteralpe-Plateau (1500m) (Reihe: 1939-1944)	142	146	130	153	204	266	318	264	188	153	128	122	<b>2214</b>
Schwarzbachwacht (830m) (Reihe: 1931-1960)	120	126	116	134	178	232	269	162	135	109	106	191	<b>1878</b>

**Tab. 4:** Relative Häufigkeit [%] der Windrichtungen im Jahr 2002, Watzmannhaus (1820 m) (Daten: DWD).

Windsektor:	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
N (315-45°)	1	15	19	41	22	24	28	32	26	4	3	4
E (45-135°)	19	12	5	9	15	11	16	15	15	17	26	29
S (135-225°)	48	34	43	33	35	21	14	26	17	41	35	35
W (225-315°)	32	39	33	18	28	44	42	28	42	38	36	33
Summe [%]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**Tab. 5:** Vereinfachte Stratigraphie der Trias in den Untersuchungsgebieten (Quellen: vgl. Angaben von Tab. 8).

Alter	Epoche	Zugspitzplatt / Wettersteingebirge		Karwendelgrube / Karwendelgebirge		Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen		
		Schichtserien	Vorkommen	Schichtserien	Vorkommen	Schichtserien	Vorkommen	
TRIAS	Rät	Kössener Schichten (50m?)	NW-Vorland, z.B. Loissach-Sattel, Eibsee	Kössener Schichten (20-150m)	Kern der Wetterstein-Hauptmulde	Kössener Schichten (wenige m)		nicht im Gebiet Reiteralpe
	Nor	Plattenkalk (bis 300m)		Plattenkalk (250-400m)		Nor-Rät: Dachsteinkalk (Reiteralim-Typ) (700-800m): - häufig rotgeäderte Brekzie (Matrix tonig, eisenhaltig) - z.T. lokale Dolomitisierung - höhere Lagen: rötlich, grellrote und -gelbe Bänder (Tone, Eisen) - tiefere Lagen: blendendweiß, gelblich		Hochfläche der Reiteralpe + Gipfelrahmen
		Hauptdolomit (bis 1000m)	Hauptdolomit (bis 1400m)	Karnisch-norischer Dolomit (bis 200m): grau bis graubraun, massig bis gebankt		im Liegenden des Dachsteinkalks, die Reiteralpe umgebend		
	Karn	Raibler Schichten (verschieden)	im E der Reitalmulde, z.B. Schachen	Raibler Schichten (220-550m)	Wamberger Sattelzug im N			
	Ladin	Wettersteinkalk - oberer (lagunär) - mittlerer (lagunär) - unterer (Riffazies) (insgesamt bis 1200m)	Zugspitzplatt, Hauptgipfel-Bildner  Riffazies im Zugspitzmassiv	Wettersteinkalk - oberer (lagunär) - mittlerer (lagunär) - unterer (Riffazies) (insgesamt bis 1500m)	Hauptgipfelbildner in der Nördlichen Karwendelkette, z.B. Kirchl-Spitze, Vierer Spitz, Brunstein-Spitze	Wettersteinkalk u.-dolomit:  Kalkstein, hellgrau, lokal bräunlich, z.T. dolomitisch	Ramsaudolomit (800-1000m):  Dolomitstein, hellgrau bis weißlich, grusig verwitternd nicht ausgebildet	Sockelbildner der Reiteralpe
		Partnachschichten (bis 600m)	z.B. Höllental	Partnachkalke (300-400m)	Wamberger Sattelzone			
Anis	Alpiner Muschelkalk (bis 500m): Kalke, Hornsteinknollen, Tuffit-Lagen	N u. NW Steilabfälle des Hochgebirges	Alpiner Muschelkalk (300-450m): Kalke, Hornsteinknolle, Tuffit-Lagen	Gipfelbildner in der Westlichen Karwendelgrube, z.B. West. Karwendelspitze, Linderspitze	Skythisch-anisische Karbonatserie (50-100m): Dolomit- und Kalksteine, lokal Mergelsteine		West- und Südost-Hänge der Reiteralpe, meist von Moräne verhüllt	
	Reichenhaller Schichten (100-200m): Kalke, Dolomite, Brekzien, Rauhackern	W-Fuß der Zugspitze	Reichenhaller Schichten (>200m): Kalke, Dolomite, Brekzien, Rauhackern	Kirchl-Kar, Östliche Karwendelgrube, Auf dem Damm, Basis der Westl. Karwendelspitze				
Skyth		nicht aufgeschlossen		nicht aufgeschlossen	Werfener Schichten ( bis 500m)			



**Tab. 6:** Faziestypen des Wettersteinkalks. (Quelle: REIS 1911, S. 67ff, MILLER 1962, S. 24ff).

ALTER	FAZIESTYP	Wichtige Eigenschaften
Ladin	TRIAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rostig bis rotbraun im Handstück</li> <li>- gut gebankt, in Zwischenlagen rhythmisch feingeschichtet, stellt die oberen 100 bis 200 m dar</li> </ul>
	oberer Wettersteinkalk	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unruhige Sedimentation u. synsedimentäre Feinbrekzien</li> <li>- Erzanreicherungen von Bleiglanz (PbS), Zinkblende (ZnS), Flußspat (CaF<sub>2</sub>), Pyrit (FeS<sub>2</sub>) in Überzügen u. Nestern, an Grenzhorizonte (z.B. zw. oberem Wk und Raibler Schichten) gebunden</li> </ul>
	mittlerer Wettersteinkalk	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bräunlich bis gelb</li> <li>- dolomitische Kalke, z.T. auch Dolomite</li> <li>- vorzügliche Bankung</li> <li>- Algenreichtum</li> <li>- Mächtigkeit im Bereich der Zugspitze bis 150 m, nach S zunehmend.</li> <li>- ersetzt im Bereich der Wetterspitzen den unteren Wk vollständig (z.B. gebankte Plattspitzen und Gatterköpfe)</li> </ul>
	unterer Wettersteinkalk	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hellgrau bis hellbraungelb</li> <li>- grobbankig bis meist massig</li> <li>- dolomitische Lagen mit Großoolithen</li> </ul>

**Tab. 7:** Faziestypen der anisichen Serie um Mittenwald. (Quelle: ROTHPLETZ 1888; JERZ und ULRICH 1966, S. 12ff).

ALTER	FAZIESTYP	Wichtige Eigenschaften
Anis	TRIAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dunkelgraue, bläulichgraue angewitterte Kalke, gut gebankt, schwacher Bitumengehalt</li> </ul>
	oberer Muschelkalk	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schichtflächen häufig knollig (Knollenkalke)</li> <li>- kalzitverheilte Klüfte</li> <li>- im Hangenden oft geringmächtige Mergellagen oder -kalke, Hornsteinknollen, z.T. Tuffilbankchen</li> <li>- südl. der Überschiebungslinie „Lechtal-Inntal-Decke“ Hornsteinlagen abnehmend</li> </ul>
	mittlerer Muschelkalk	<ul style="list-style-type: none"> <li>- helle, graue dickbankige bis massige Kalksteine</li> <li>- partienweise fossilführend (Crinoidenreste, <i>Cidaris</i>-Bruchstücke, Brachiopoden)</li> </ul>
	unterer Muschelkalk	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dunkelgraue bis grauschwarze Kalke, gut gebankt, merklicher Bitumengehalt</li> <li>- zahllose kalzitverheilte Klüfte</li> <li>- im höheren Bereich zunehmend Kieselknollenkalke mit nachgewiesenen grünen Tufflagen der Pietra verde</li> </ul>
Reichenhaller Serie	Reichenhaller Serie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kalke, Dolomite, Brekzien im Liegenden des Muschelkalks</li> <li>- Kalke: dunkelgrau bis grauschwarz, bituminös, spätig, viele kalzitverheilte Klüfte; Dolomite: grau bis hellgrau</li> <li>- braungraue, rötlichbraune dolomitische Kalke mit porösen Verwitterungsflächen</li> </ul>
	Reichenhaller Brekzie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tektonische Brekzien im Liegenden der rh Schichten</li> <li>- begrenzen Überschiebung der Inntal-Decke nach N bzw. bilden Basis der Überschiebungsmasse</li> <li>- grau bis graubraun, z.T. rötlichbraun verwitternd</li> <li>- monomikt bis polymikt Kornspektrum, kalkige Matrix+ kalkige Klüften</li> </ul>

**Tab. 8:** Vereinfachte Stratigraphie von Jura und Kreide in den Untersuchungsgebieten (Schichtmächtigkeiten [m] Quellen: Westl. Wettersteingebirge: MILLER 1961, 1962; Karwendelgruben: JERZ und ULRICH 1966; Reiteralpe: Erläuterungen z.Geol. Karte von Bayern, 1:500.000; Geol. Karte 1:25.000 Blatt Nationalpark Berchtesgaden; GILLITZER 1913; RATHJENS 1939).

Alter	Epoche	Zugspitzplatt / Wettersteingebirge		Karwendelgrube / Karwendelgebirge		Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen	
		Schichtserien	Vorkommen	Schichtserien	Vorkommen	Schichtserien	Vorkommen
KREIDE	Neokom	Grüne Aptychenschichten (300m vermutet)	Jungschichtzone am S- und W-Rand des Wettersteingebirges z.B. Gattler / Hoher Kamm / Puiertal	Aptychenmergel (20 bis 60m)	Zw. Solengruppe im N und Karwendelgebirge im S, als Füllung der Mittenwalder Karwendelkline sowie im Leutasch- u. Puiertal	Mittlere Gosau [m ?]: Glanecker Schichten (Wasserstauer): - hellgraue, dichte Mergelkalke - dunkelgrüne Tonmergel - z.T. dünne Sandsteinbändchen + Glimmerblättchen	Als Deckenreste auf der Hochfläche der Reiteralpe im Bereiche Reilertrett
		Biancone (0-70m)					Untere bis mittlere Gosau [m ?]: Kalksteine, z.T. sandig: - Mikrokalkstein-Brekzie ähnlich Untersberger Marmor mit tefraler Tupfung und tonigen Eisenoxiden) - mausgraue Brekzie mit Steinkohleschmelzen
JURA	Malm	Bunte Aptychenschichten (1-30m)		Aptychenschichten (30-mehr als 100m)		nicht vertreten	
	Dogger	Radiolaritgruppe (3-10m)		Kieselkalke (>2m)			
		Allgäuschichten (100-200m)		Bunte Mergel (0 bis >15m)			
	Lias	Adneter Kalk (bis 30m)		Bunter Liaskalk (0 bis >25m)		Hierlatz-Kalke (10-25m) (blass- bis kräftig rote Kalke)	kleinste Deckenreste z.B. Eisbergalm

**Tab. 9:** Karstgliederung in den Nördlichen Kalkalpen. (Quellen: HÜTTL 1994, 1999; Nomenklatur: BÖGLI 1969a, 1978; FINK 1976; HASERODT 1965; NICOD 1976; SCHUNKE 1976, SPIEGLER 1973; WEINGARTNER 1983).

Gliederung	Typische Formen	Dominante Verbreitung (Höhenstufe)
<b>Karst ohne Vegetationsbedeckung</b> > 90% Gestein, < 10% Vegetation und Boden => freier, nackter Karst, Hochkarst	<ul style="list-style-type: none"> <li>- durch Frostsprengung zerstörter Karst („Scherbenkarst“)</li> <li>- Karrenfelder mit freien Karren (Rillen-, Rinnsal-, Trittkarren)</li> <li>- strukturgebundene Klüftkarren und Dolinenreihen</li> <li>- Schutz- und Einsturzdolinen</li> <li>- Schächte, Halbhöhlen, Karstgassen</li> </ul>	nival bis alpin
<b>Sonderform: Glazio-Karst</b> = Karst auf glazial geschliffenen Gesteinsschichten Je nach tektonischer Lagerung und Neigung: => Schichtflächen- / Schichtkopf-Karst => Schichtrippen- / Schichttreppen-Karst	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schacht- und Einsturzdolinen</li> <li>- grasbesetzte Dolinenreihen mit Schlucklöchern</li> <li>- Karstgassen, Karstspalten</li> <li>- Schichtflächen mit Rinnen-, Rillen-, Lochkarren, Biokarstformen</li> <li>- Schichtköpfe und Rundhöcker mit Karrenkleinrelief</li> <li>- Dolinen in bewachsenem Substrat (Lokalmoräne, Schutt)</li> <li>- bodengefüllte Karrenfußnäpfe, Rinnenkarren, Kamenitza</li> </ul>	subnival bis alpin
<b>Karst mit unterschiedlicher Vegetations- und Bodenbedeckung</b> => z.B. halbedeckter Karst (50% Gestein / 50% Vegetation etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rund- und Lochkarren, Karstbecken, Karrenfußnäpfe z.T. bodengefüllt</li> <li>- Lösungsdolinen, Uvalas,</li> <li>- vegetationsbedeckte Karstgassen und ausgeprägte Dolinenfelder und -reihen</li> <li>- Rillen-, Rinnsalkarren nur auf nacktem Fels</li> </ul>	alpin bis subalpin (obere)
<b>Bedeckter Karst</b> , d.h. > 90% Vegetation => subkutaner Karst, Wald- oder Grünkarst	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rundkarrenrelief unter Vegetation</li> <li>- Lösungsdolinen, Schlucklöcher, Uvalas</li> </ul>	subalpin bis submontan



**Tab. 10:** Höhenzonierung und dominante Vegetationsgesellschaften (Aufnahmen: CREDNER 1995 (Zugspitzplatt); SÄITNER 1989, SÄITNER und PFADENHAUER 1989 (Karwendelgebirge); STORCH und SEIDENSCHWARZ 1996 (Reiteralpe), in : Nationalparkplan 2001, Vegetationskarte Nr. 6).

Stufe	Zugspitzplatt / Wettersteingebirge	Karwendelgruben / Karwendelgebirge	Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen
nival	2963- 2600m – Algen, Flechten; z.T. Phanerogamen (z.B. <i>Papaver sendineri</i> , <i>Saxifraga aphylla</i> )	nicht existent	nicht existent
subnival	<b>Kalkschutt- u. Kalkfelsgesellschaften:</b> – <i>Thlaspietum rotundifolii</i> (Täschelkrauthalde) 2600- 2350m – <i>Leontodontetum montani</i> (Berglöwenzahnhalde) – <i>Arabidetum caeruleae</i> (Gänsekresse-Böden) – <i>Salicetum retuso-roticulatae</i> (Spalierweidenrasen)	>2300m <b>Pioniervegetation:</b> – initiale Stadien der Kalkschutt- und Kalkfelsgesellschaften der alpinen Stufe	>2200m <b>Pioniervegetation:</b> – Kalkschutt- und Kalkfelsgesellschaften – Flechtenüberzüge, Moose
alpin	<b>Kalkmagerrasen-Gesellschaften:</b> Unterschiedliche Reifestadien von: – <i>Caricetum firmiae</i> (Polsterseggenrasen) – <i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i> (Blaugras-Horstseggenrasen) sowie azonale: Vertreter der Kalkschutt- u. Kalkfelsgesellschaften der subnivalen Stufe in Abhängigkeit von Standort, Substrat, Schneebedeckung, Relief	2300- 2000m <b>Kalkmagerrasen-Gesellschaften:</b> Unterschiedliche Reifestadien von: – <i>Caricetum firmiae</i> (Polsterseggenrasen) – <i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i> (Blaugras-Horstseggenrasen) <b>Kalkschutt- und Kalkfelsgesellschaften:</b> – <i>Thlaspietum rotundifolii</i> (Täschelkrauthalde) – <i>Leontodontetum montani</i> (Berglöwenzahnhalde) – <i>Arabidetum caeruleae</i> (Gänsekresse-Schneeböden) – <i>Doronicetum grandiflori</i> (Gemswurzelflur) – <i>Salicetum herbaceae</i> (Silikat-Schneeflächen)	2200- 1900m <b>Kalkmagerrasen-Gesellschaften:</b> Unterschiedliche Reifestadien von: – <i>Caricetum firmiae</i> (Polsterseggenrasen) – <i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i> (Blaugras-Horstseggenrasen) sowie azonale Sondertypen: – <i>Caricetum ferrugineae</i> (Rostseggen-Halde) – <i>Laserpillio-Seslerietum</i> (Karbonat-Lahner)
subalpin	<b>Zwergstrauch- u. Krummholzgesellschaft:</b> – <i>Rhododendro-hirsuti</i> <i>Mugelum prostratae</i> – <i>Vaccinio-Rhododendretum ferruginei</i> 2000- 1650m	2000- 1550m <b>Zwergstrauch- u. Krummholzgesellschaft:</b> – <i>Rhododendro-hirsuti</i> <i>Mugelum prostratae</i> – <i>Vaccinio-Rhododendretum ferruginei</i> – <i>Adenostyletalia</i> (Hochstaudenflur) sowie azonale: – <i>Athamanto-Trisetum distichophylli</i> (Augenwurz-Goldhaferflur) – <i>Caricetum ferrugineae</i> (Rostseggenrasen)	1900- 1400m <b>Zwergstrauch- u. Krummholzgesellschaft:</b> – <i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> – <i>Rhodod. hirsuti</i> <i>Mugelum sphagnolosum</i> – <i>Alnetum viridis</i> (Grünerlen-Gebüsch) <b>Subalpiner Wald:</b> – <i>Vaccinio-Pinetum cembrae</i> (Lärchen-Zirbenwald + Fichte) – <i>Adenostyle glabra-Piceetum caric. semp.</i> (Karbonat-Lärchen-Fichtenwald)

## 2 Methoden und Lage der Messeinrichtungen

### A) Angewandte und abgewandelte Standardmethoden

#### Geomorphologische und pedologische Feldmethoden

- Kartierung wichtiger Reliefeinheiten (Schwerpunkt Karstmorphologie 1:10.000)
- Überblickskartierung: Substrate, Boden- und Vegetationstypen
- Detaillierte bodenkundliche Aufnahme von 63 Profilen

#### Geochemische, mineralogische Laboranalysen (Gestein, Boden, Staub)

- Bodenchemie
- Karbonat- und Residualgehalte im Gestein
- Schwermineralanalyse
- Haupt- und Spurenelementverteilung (RFA)
- Röntgendiffraktion (RDA) der silikatischen Leichtminerale
- Makroskopische und mikroskopische Analysen

#### Korngrößenbestimmung

- Kombiniertes Nasssieb- (63 µm bis 2000 µm) und Schlämmlverfahren (< 2 µm bis 63 µm), Pipett-Methode nach KÖHN im ATTERBERG-Zylinder und gesonderte Bestimmung des Grobschluffs

#### Quantifizierung von Staubeinträgen

- Messung der Einträge auf Schneeoberflächen (Horizonttiefe: 0 cm-1 cm)
- Messung der Einträge aus Niederschlag mit Staubfangkästen (Sommer) und Totalisatorwannen (Winter)

#### Auswertung klimatologischer Steuerungsfaktoren

- Analyse von Großwetterlagen, Witterungsverläufen
- Statistische Auswerteverfahren

### B) Probenmaterial

#### Gestein

Mineralische Substrattypen (C-Horizonte) der autochthonen Bodengenese sind Festgestein (mCn; mCv), Kalkschutt (> 20 mm; ICv) sowie Lokalmoräne (ICv) mit Geschiebelehm. Entsprechende Proben werden zu Gesteinsmehl (63 µm bis 2 µm) verarbeitet und der tonige Lösungsrückstand (Residuum) gewonnen.

#### Boden

Es werden Böden mit A/B/C-Profilen (Klasse: Braunerden) und A/T/C-Profilen (Klasse: Terrae calcis) sowie ausgewählte Profile von Rendzinen und O/C-Böden in folgenden Horizonten beprobt:

Mineralischer Oberboden (A-Horizonte)  
 Mineralischer brauner Unterboden (B-, T-Horizonte)  
 Organische Humusauflagen (O-Horizonte)

**Flugstaub**

Hierunter wird in erster Linie äolisches Fremdmaterial und zweitens äolisch transportfähiges Material aus der lokalen Umgebung (z.B. Humus- und Karbonatstaub) verstanden. Staub aus Regenniederschlag wird in der schneefreien Zeit (Mai bis Oktober) erfasst. Staub von Schneeoberflächen wird nass oder trocken auf Schneeflächen abgelagert und je nach Höhenlage der Gebiete zwischen Oktober und Juni quantifiziert. Davon unterscheiden sich Mischsedimente auf Altschneeresten mit Beimengungen von Klatten > 200 µm.

**2.1 Bodenchemische Analysen**

Die unterschiedlichen Mengen und Arten der Proben (Boden, Staub, Residuen) bedingen ein breites Methodenspektrum. Es liegen die Standardverfahren der Laborkunde zugrunde (z.B. AG BODEN 1996; ALLMAN und LAWRENCE 1972; SCHLICHTING et al. 1993). Folgende Parameter sind am Feinboden (< 2 mm) bestimmt (Tab. 11):

kochen, Nachspülen mit dest. Wasser, Trocknen bei 105 °C und Rückwiegen.

**C) Gravitative Bestimmung des Silikatanteils (= unlöslicher Rückstand)**

Berechnung aus der verbleibenden Differenz zur Gesamtprobe. Der unlösliche Rückstand wird einer Korngrößenanalyse im Laser-Sedigraphen unterzogen.

**D) Korngrößenbestimmung**

Sehr geringe Mengen (Staub, Residuen, organische Auflagen) werden im Sedigraphen (Coulter LS 200 Particle Size Analyzer) bestimmt. Dieses Gerät misst mit einem Laserstrahl (750 nm Wellenlänge) die Größe der mit einer Pumpe in Suspension gehaltenen Partikel. Die Fraktionen vom Mittelton bis zum Grobsand (0,4 µm bis 2000 µm) werden abgegriffen, wodurch sich z.T. zu geringe Tongehalte ergeben.

Die Einwaage beläuft sich bei den Lösungsresiduen auf 2 g bis 5 g, bei den Flugstäuben auf 1 g bis 3 g. Bei Letzteren handelt es sich meist um Sammelproben, die entweder pro Messstelle von den stark variierenden Flugstaubmengen (2 mg bis 700 mg) über mehrere Messzeiträume gewonnen werden oder pro Messintervall eine Mischprobe aus allen Probenstellen darstellen.

**Tab. 11:** Übersicht der bodenchemischen Analysen.

Bodenchemischer Parameter	Verfahren / Methode	Geräte
1. pH-Wert	Potentiometrisch (0,01n CaCl <sub>2</sub> -Lösung) im Verhältnis 1:2,5 nach 30min. und 24h	Glaselektrode und pH-Meter Typ 521, WTW
2. Karbonatgehalt CaCO <sub>3</sub> [%]	Gasvolumetrisch	Scheibler-Apparat
3. Organischer Kohlenstoff C <sub>org</sub> , Gesamtstickstoff N <sub>org</sub>	Berechnung organische Substanz: C <sub>org</sub> x 1,72	C/N-Analyzer
4. Aktive oxalatlösliche Oxide des Fe	nach SCHWERTMANN (1964)	
5. Pedogene dithionitlösliche Oxide des Fe, Al, Mn	nach MEHRA und JACKSON (1960)	Flammen-AAS bzw. Spektralphotometer
6. Effektive Kationenaustauschkapazität KAK <sub>eff</sub>	nach MEIWES et al. (1984) Austausch mit NH <sub>4</sub> im Perkolationsverfahren ohne Zerstörung der organischen Substanz	
7. Gesamtazidität	nach TRUBY (1989), reaktionsfähiges Al <sup>3+</sup> und H <sup>+</sup>	
Durchführung Nr. 5 bis 7 Labor der TU Darmstadt, Leitung: PD Dr. R. BRANNOLTE		

Geringe Staubmengen werden folgendermaßen analysiert:

**A) Gravitative Bestimmung des Feststoffgehalts (mg):**

Entfernen der Makropflanzenreste durch Absieben. Nach Absetzen der Suspension Dekantierung und Überführen der Restsuspension in vorgewogene Bechergläser (100 ml). Das Restwasser wird im Trockenschrank bei 105 °C entfernt, der Feststoffgehalt nach Abkühlen im Exsikkator durch Rückwaage bestimmt.

**B) Gravitative Bestimmung: organische Substanz, Gesamtkarbonat (< 2 mm):**

Aufkochen mit je 20 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (10%ig), Nachspülen mit dest. Wasser. Trocknen bei 105 °C und Rückwiegen. Im Anschluss Zugabe von 20 ml HCl (10%ig), kurzes Auf-

Bei den Feinerdeproben aus organischen Humusaufgaben ist ein zeitaufwendiges Zerstören der organischen Substanz (bis zu 30-maliges Aufkochen mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) nötig.

**2.2 Mineralogische Analysen**

Die aufwendigen, kostenintensiven Mineralanalysen werden auf Referenzproben konzentriert (Durchführung: Dr. U. RAST, Dipl.-Geogr. L. DUFFY, Geologisches Landesamt, München).

**A) Quantitative Bestimmung von CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> und Residuum im Gestein**

Die Gesteinsproben werden nach Zerkleinerung (Backenbrecher, Kugelmühle) zu Gesteinsmehl (Frak-



tion 63 µm bis 2 µm) verarbeitet. Die Einwaage (10 g) wird durch Zugabe von 10%iger Salzsäure vom Karbonatanteil befreit, der Aufschluss gefiltert und auf Kalzium und Magnesium titriert. Der separierte Lösungsrückstand wird im Filter getrocknet und gewogen.

#### **B) Schwermineralanalyse (Methode RAST 1991)**

Die Schwerminerale werden aus der Kornfraktion (0,1 mm bis 0,25 mm) gewonnen. Zur Auszählung kommen pro Einzelprobe 200 bis 300 Körner, bei geringer Kornmenge oder aufgrund sehr hoher Anteile an Opaken auch weniger.

#### **C) Haupt- und Spurenelementverteilung - Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)**

Die Haupt- und Spurenelemente werden im Schmelzaufschlußverfahren mit Hilfe der RFA an feingemahlene Gesteins- und Bodenproben (< 2 µm) bestimmt und quantitativ erfasst. Die Molverhältnisse von Oxiden (z.B. SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) werden als Parameter berechnet.

#### **D) Röntgendiffraktion (RDA) der silikatischen Leichtminerale**

Von gemörserten Proben werden texturarme Pulverpräparate hergestellt. Die qualitative und quantitative Analyse der Leichtminerale in Bodenproben (Methode: RAST 1993; TRIBUTH und LAGALY 1991) erfolgt an Texturpräparaten der Tonfraktion (< 2 µm). Es wird das Röntgendiffraktometer Typ D 5000 der Firma Siemens verwendet (Einstellung: 5-70° mit 2 sec pro Stufe 0,02°/s). Die PC-Auswertung erfolgt mit der Bragg'schen Gleichung:

$$2 d \sin (\Theta_n / 2) = n \lambda$$

d = Abstand benachbarter gleichartiger Netzebenen im Kristall

Θ = Winkel zwischen Primärstrahl und gebeugtem Strahl

n = Zahl der Beugungsordnung ≥ 1

λ = Wellenlänge der Strahlung

#### **E) Makroskopische Analysen**

Zur Identifizierung der Mineralgemenge wird die Lichtmikroskopie (Auf- und Durchlicht, Polarisationsmikroskopie) eingesetzt. Die Staubproben werden zuerst am Makroskop (Binokular; Leitz, Gesamtvergrößerung 80fach) begutachtet und dann Fotoabzüge hergestellt. Anschließend werden stärkere Objektive und Vergrößerungen verwendet (Objektiv 10,0 / 20,0 / 45,0).

Der Feststoffanteil wird nach Trocknung bei 30 °C einer ersten Sichtung unterworfen. Liegen mineralische Komponenten vor, dann werden die organischen Anteile in den Staubproben zerstört (Aufkochen mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 6%) und der Mineralrest durch spezielle Miniatur-Nylonsiebe (Maschengrößen: 63 µm, 53 µm, 40 µm, 25 µm) gerieben (Durchführung: Dipl.-Geogr. N. OLSZEWSKY, Institut für Geologie, LMU München).

#### **F) Mikroskopische Analysen**

Die Identifizierung erfolgt am Polarisationsmikroskop

(Gerät: meopta /Praha 56511 / 52162) im Durchlicht anhand von Streupräparaten mit Immersionsflüssigkeiten unterschiedlicher Lichtbrechung nach den Standardverfahren (ALLMAN und LAWRENCE 1972). Die Fotoaufnahmen stammen von einer Sony-Digitalkamera DCR-PC 100 (Durchführung, Identifizierung: Dipl.-Ing. Dr. J. KROLL, Garmisch-Partenkirchen).

### **2.3 Feldansprache und Beprobung**

Die Aufnahmen umfassen Akkumulationslagen (Dolinen, Karren, Lee-Lagen) und Erosionslagen (Windkanten, Grate) entlang von Catenen in folgenden Höhenstufen:

- Alpine Stufe, Zugspitzplatt (1980 m bis 2350 m)
- Alpine Stufe, Karwendelgruben (2000 m bis 2350 m)
- Obere subalpine bis untere alpine Stufe, Reiteralpe (1500 m bis 1750 m)

Für das Zugspitzplatt werden hier die Profile der Catenen 2 bis 4 erläutert. In der WKG liegen die Bodenprofile P1 bis P16 in Abhängigkeit von Exposition und Luv-Lee-Effekten dispers verteilt. Drei Vergleichsprofile aus der Östl. Karwendelgrube (ÖK\_P5 bis ÖK\_P7) kommen dazu. Auf der Reiteralpe konzentrieren sich die Profile im Nordplateau (Catenen 1 bis 4). Catena 5 zeigt die Böden der Dolinenfelder (Große Doline 1 und 2) am östlichen Plateaurand zwischen Saugasse und Wachterlsteig (Tab. 12, Anhang 10.1).

Ansprache und Nomenklatur folgen der AG BODEN (1996). Zusätzlich wird die Einordnung in das internationale System der *World Reference Base for Soil Resources* (ISSS-ISRIC-FAO 1998) vorgenommen. Die Farbansprache folgt der *Munsell Soil Color Charts* (KIC 2000). Die Beprobung findet pro Horizont als Mischprobe aus dem gesamten Horizont inklusive der C-Horizonte statt. Folgende Feldparameter sind besonders berücksichtigt:

- Ausgangssubstrate
- Mächtigkeit der braunen Horizonte (Solumtiefe)
- Status der Verbraunung (Bodenfarbe) und Verlehmung (Fingerprobe)
- Beimengung von Glimmer, Schluff, Sand (Fingerprobe)

Insgesamt liegen 63 Einzelprofile (Bohrstock+Grabung) vor, die hinsichtlich der Standardparameter untersucht sind. Referenzprofile stehen für eine Gruppe von Bodentypen und sind durch zusätzliche bodenchemische (KAK, oxalatlösliches Fe, pedogene Oxide des Fe, Al, Mn) und mineralogische (RFA, RDA, Schwerminerale) Eigenschaften gekennzeichnet. Einige Profile sind aufgrund der geringen Mengen an mineralischer Feinerde in den A-Horizonten (< 2 cm) und O-Horizonten (org. Substanz > 30%) nicht durchgängig analysiert.

### **2.4 Flugstaubmessung**

Die Aerosolforschung zeigt verschiedene Messmethoden zur Erfassung von Industriestäuben (z.B. CADLE



Tab. 12: Lage der Bodenprofile und Catenen.

ZUGSPITZPLATT					
Profilschnitt	Catena 1	Catena 2	Catena 3	Catena 4	
	Profil A-A'	Profil B-B'	Profil C-C'	Profil D-D'	
Name	AV-Weg-Sonnalpin	Knorrhütte – AV Weg	Knorrhütte - Plattsteig	Plattsteig - Brunntal	
Höhe ü. NN	2250m-2600m	2065m-2250m	2065m-2000m	2000m-2150m	
Lage	Frostschuttzone	Schichtflächenkarst	Schichtflächenkarst	Moränenwälle	
Richtung	WNW-ESE	NW-SE	N-S	E-W	
Profile <sup>1)</sup>	Carbonat-Syroseme <sup>2)</sup>	ZP_P34, 11, 45	ZP_P17, 18, 19, 20	ZP_P21, 29, 47	
<p>1) Es sind nur die Profile der braunen Böden aufgeführt. Die organischen Böden (P 3,4, 6,7,10,12,25,26, 28, 30 –32, 36,38,41,44) sind der Arbeit von HÜTTL (1999) zu entnehmen</p> <p>2) Die Carbonat-Syroseme sind nicht Gegenstand dieser Arbeit</p>					
REITERALPE					
Profilschnitt	Catena 1	Catena 2	Catena 3	Catena 4	Catena 5
	Profil A-A'	Profil B-B'	Profil C-C'	Profil D-D'	Profil E-E'
Name	Wartsstein-Schrecksattel	Schrecksattel-NTS	NTS-Alpasteig	NTS-Saugasse	Saugasse-Wachterlsteig
Höhe ü. NN	1700m-1620m	1620m-1570m	1570m-1700m	1570m-1500m	1500m-1400m
Lage	Plateaurand NNW	Karstplateau	Plateaurand W	Karstplateau	Plateaurand E
Richtung	NNW-SSE	N-S	ENE-WSW	SW-NE	W-E
Profile	RA_P8, 12, 14, 15	RA_P9, 10,11,13,16	RA_P3 bis P 7	RA_P1, 2	RA_P17 bis 20
Abkürzungen: NTS = Neue Traunsteiner Hütte					

1975; DIEM 1957; DIEM und JURKSCH 1961; GRAEDEL und FRANZ 1975; HASENLEVER 1954; LÖBNER und NEHLS 1957; MAIER 1956; MELDAU 1958; OST und MIRISCH 1955; SCHMIDT und GIES HEIDERMAN 1959; VDI 1971a,b).

Staub wird durch Winde schwebend in Staubwolken verlagert (trockene Deposition) oder geht als „wash-out“ (nasse Deposition) aus Regen oder Schnee nieder (KNUTSON et al. 1977; WELLBURN 1997). Die trockene Deposition wurde in der älteren Forschung meist über fettbeschichtete (Vaseline, Glycerin) Folien auf Haftsichten (Alufolie, Glas, Metall) im Gelände bestimmt (EFFENBERGER 1959a,b). Diese Methode ist im Gebirge nicht zielführend, da Sonneneinstrahlung und hohe Niederschlagsmengen ein zu schnelles Abgleiten der Fette bewirken.

Bewährt ist jedoch die Staubmessung über den Niederschlag. Dafür stehen in Deutschland drei Standardtypen von Sammeltrichtern zur Verfügung (Messhöhe 1,5 m; VDI 1971a,b).

Darauf basierend sind besonders im Gebirge zahlreiche Eigenkonstruktionen (Eimer, Zylinder, Rohr, Tonne, Kanister mit Auffangtrichtern) im Einsatz (DAHMS und RAWLINS 1996; MUNN und SPACKMANN 1990; NIHLEN und MATSSON 1989; REHEIS und KIHLE 1995). Die Staubmenge [mg] wird bezogen auf die Auffangfläche in Eintragsraten (z.B. µg/Fläche/Zeiteinheit) umgerechnet.

#### 2.4.1 Verwendete Messtechnik

Da die geomorphologische Forschung kein Standardverfahren zur Stauberfassung im Bodensystem kennt,

werden neue Staubfangkästen konstruiert. Ihnen liegt ein Blumenkasten aus Hartplastik (38 cm lang, 17 cm breit, 13 cm hoch) zugrunde. Zur Simulation der bremsenden Wirkung der alpinen Mattenvegetation werden in Abwandlung der Kunstrasenfänger von HANNOSCHÖCK et al. (1999) perforierte Plastikfußmatten (Auffangfläche 646 cm<sup>2</sup>) mit 1 cm langen Borsten als Abdeckung benutzt. Sie ähneln der Oberflächenstruktur des Polsterseggenrasens (*Caricetum firmae*). Die Mattenunterseite erhält engmaschige Fliegengitter.

Ein Überlauf (2 cm unterhalb des Kastenrandes) mit Metallsieben (< 63 µm) verhindert Wasserstau und Materialverlust. In den Kästen wird die natürliche Sedimentation genutzt. Mit einem allseitigen Abstand (3 cm bis 4 cm) zum Grabloch sind die Kästen im Boden eingesenkt. Die erhöhte Lage der Auffangfläche (5 cm über Boden) verhindert den Zuschuss von Bodenmaterial aus Hangwässern. Bei der Leerung wird der Großteil des Wassers abgesaugt und der Bodensatz mit Restwasser in PVC-Flaschen überführt (Foto 6).

Zusätzlich werden Plastikwannen (45 cm lang, 30 cm breit, 45 cm hoch, 1350 cm<sup>2</sup>) als Totalisatoren verwendet. Die Wannens besitzen ein Überlaufventil und werden vor dem Einschneien in ebener Lage installiert. Damit läuft nur das Schmelzwasser aus der vertikalen Schneesäule zu und die enthaltene Staubfracht setzt sich am Wannensboden ab. Sofort nach dem Abschmelzen der Schneedecke wird der Wannensinhalt als Wintersumme geborgen. Die Ergebnisse dienen der Abschätzung von winterlichen Raten bezogen auf die Wannensfläche.





**Foto 6:** Selbstkonstruierter Staubfangkasten. Das Bild zeigt den Status während der Wartung. Auf der Schmalseite ist der erhabene Überlauf zu sehen (rund, im Schatten). Ein Silikon-schlauch führt die Suspension in Probenflaschen über (31.05.02, Zugspitzplatt 2200 m).

#### A) Instrumentierung der Messstellen

Die Meßstellen sind wie folgt ausgestattet (Tab. 13 und Anhang 10.1):

- > Regenkanister (10 l, Auffangtrichter 176 cm<sup>2</sup>) zum Sammeln des Niederschlags
- > Staubkasten (nasse und trockene Deposition)
- > Eimer (10 l, Auffangfläche 642 cm<sup>2</sup>) mit Fliegengitterbespannung (nasse und trockene Deposition) ohne Berücksichtigung der Oberflächenrauigkeit

#### B) Messintervalle der Stauberfassung im Sommer

Der Messzeitraum umfasst jeweils die schneefreie Zeit in den Sommern 2002 und 2003. Die Leerung erfolgte 2002 in unterschiedlich langen Intervallen (7 bis 32 Tage), um eine Vorstellung vom Verhältnis zwischen Staubmenge und Zeitdauer zu erhalten. Im Messsommer 2003 wurden je nach Witterungsverlauf 10 bis 21-tägige Intervalle angestrebt. Dieser Rhythmus konnte durch die raschen Wetterwechsel nicht immer eingehalten werden (Tab. 14).

#### C) Rechengrößen und Einheiten

##### Summe Gesamtstaub G bzw. Summe

##### Silikatstaub S [µg]:

Die Menge der ermittelten Gesamtstaub- bzw. Silikatstaubanteile pro Messintervall.

##### Staubrate [µg/d]:

Die Menge der im Messintervall ermittelten Gesamtstaub- bzw. Silikatstaubmenge [µg] dividiert durch die Anzahl der Tage [d].

##### Eintragsrate [µg/d/cm<sup>2</sup>]:

Die Division der Staubrate durch die Auffangfläche liefert eine Normierung und Vergleichbarkeit der Werte unterschiedlicher Standorte und Gebiete.

##### Sedimentationsrate [µm/Zeit, mm/Zeit, cm/Zeit]:

Sie ergibt sich aus den Eintragsraten durch Einrechnen der Materialdichten (Staub: 1,3 g/cm<sup>3</sup>; Residuum: 1,5

g/cm<sup>3</sup>; Kalkstein: 2,65 g/cm<sup>3</sup>, Humus (< 2 mm, org. Substanz: 0,6 g/cm<sup>3</sup>).

#### 2.4.2 Staubuntersuchung auf Schneeoberflächen

Die Stäube der Schneeoberfläche (0 cm - 1 cm) werden innerhalb eines klappbaren Holzrahmens (Fläche: 1 m<sup>2</sup>) mit einer Spachtel abgehoben, in Plastiksäcke verpackt und im Labor verarbeitet (THORN und DARMODY 1980). Bei geringer Staubmenge (optische Beurteilung der Dunkelfärbung) wird die Bezugsfläche vergrößert. So erhält der Feststoffgehalt der Schneeprobe einen Flächenbezug [µg/m<sup>2</sup>] und unter Berücksichtigung des Schemas zur Probennahme eine Zeitdimension.

#### A) Probennahme

Auf der geschlossenen Schneedecke während der Wintermonate erhält das deponierte Staubmaterial keine störende Materialzufuhr aus der unmittelbaren Umgebung. Es werden zwei Fälle berücksichtigt:

- Fall 1: nasse Deposition durch Neuschnee („wash-out“)
- Fall 2: trockene Deposition ohne Niederschlag auf Schneeoberflächen

Im Fall 1 (nasse Deposition) erfolgt die Probennahme direkt nach Neuschneefällen, d.h. Staub wird nur aus frischem Neuschnee erfasst. Bei Witterungsverläufen mit geringen Niederschlägen (z.B. 2 mm pro Tag) gibt es auch schneefreie Stunden mit möglicher trockener Deposition. Hier ist die trockene Deposition zu vernachlässigen, da durch *wash-out* die Staubkonzentration in der Luft gering ist (Wertung der Proben auch als Neuschneeproben).

Im Fall 2 (trockene Deposition) werden Schneeoberflächen beprobt, die mehrere Tage ohne Neuschneezuwachs bleiben. In diesen niederschlagsfreien Perioden akkumulieren Stäube durch die Wirkung der herrschenden Windverhältnisse. Da bei der Probennahme nur die oberste Schicht (0 cm bis 1 cm) erfasst wird, ist eine Verfälschung durch die darunter liegenden Horizonte weitgehend vermieden. Das Messintervall erstreckt sich unter Miteinbeziehen der Daten von Niederschlag und Schneedeckenentwicklung vom Tag der Probennahme zurück bis zum letzten Tag mit Neuschneezuwachs.

Von besonderem Interesse sind Großwetterlagen mit südlichen Winden, die Saharastaub transportieren können wie z.B. die südliche Westlage, die Südostlage, das abgeschlossene Hoch über Mitteleuropa, die Hochdruckbrücke über Mitteleuropa (von SW nach NE) und schließlich die Troglagen über West- bzw. Mitteleuropa (HAUER 1952). Je nach Witterungsperiode wird in Zeiträumen von 21 bis 35 Tagen beprobt. Die Probennahme erfolgt je nach Höhenlage der Gebiete zwischen Oktober und Juli in 22 Intervallen. Wegen Lawinengefahr liegen keine lückenlosen Messreihen vor (Tab. 15).



Tab. 13: Instrumentierung der Meßstellen.

Zugspitzplatt / Wettersteingebirge		
Meßstelle	Höhe / Exp. / Neigung / (Bodentyp)	Instrumentierung
ZP 1	2250m / 170° SSE / Mittelhang 45° / (Polsterrendzina P1)	S1-ZP, N1-ZP, E1-ZP
ZP 2	2150m / 110° ESE / Plateau 5° / (Polsterrendzina P2)	S2-ZP, N2-ZP, TW2_ZP
ZP 3	2050m / 160° SSE / Unterhang 15° / (Braunerde P18)	S3-ZP, N3-ZP
ZP 4	2050m / 160° SSE / Mittelhang 30° / (Braunerde P19)	S4-ZP, N4-ZP
ZP 5	2000m / 158° SSE / Hangmulde 5° / (Braunerde P17)	S5-ZP, N5-ZP, E5-ZP
Karwendelgrube / Karwendelgebirge		
Meßstelle	Höhe / Exp. / Neigung / (Bodenprofil) <sup>1)</sup>	Instrumentierung
KG 1	2260m / 135° SE / Mittelhang 40° / (Braunerde P1)	S1-KG, N1-KG, E1-KG
KG 2	2270m / 330° NNW / Oberhang 42° / (Mullrendzina P2)	S2-KG, N2-KG, E2-KG
KG 3	2300m / 50° NE / Mittelhang / 45° / (Braunerde P7)	S3-KG, N3-KG
KG 4	2300m / 330° NNW / Hangverebnung 10° / (Braunerde P 8)	S4-KG, N4-KG, E4-KG; TW4_KG
Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen		
Meßstelle	Höhe/Exp./Neigung / (Bodenprofil) <sup>1)</sup>	Instrumentierung
RA 1	1700m / 96° E / Hangmulde 2° / (Braunerde-Terra fusca P 11)	S1-RA, N1-RA, E1-RA
RA 2	1720m / 180° S / Oberhang 10° / (Braunerde P14)	S2-RA, N2-RA
RA 3	1565m / 4° N / Unterhang 5° / (Braunerde-Terra fusca P12)	S3-RA, N3-RA, E2-RA
RA 4	1600m / 156° SSE / Hangfuß 5° / (Braunerde P13)	S4-RA, N4-RA; TW4_RA

S = Staubkasten (Fläche 646cm<sup>2</sup>), N = Niederschlagskanister (Fläche 176cm<sup>2</sup>), E = Eimer (Fläche 642cm<sup>2</sup>), TW = Totalisatorwannen (Fläche 1350cm<sup>2</sup>)

Tab. 14: Messintervalle der Sommer 2002 und 2003.

Zugspitzplatt		Karwendelgebirge		Reiteralpe	
Intervalle 2002	Dauer [Tage]	Intervalle 2002	Dauer [Tage]	Intervalle 2002	Dauer [Tage]
31.05.-02.07.02	32	29.06.-24.08.02	56	03.07.-17.07.02	14
02.07.-09.07.02	7	24.08.-02.09.02	9	17.07.-30.08.02	44
09.07.-16.07.02	7	02.09.-13.09.02	11	30.08.-06.09.02	7
16.07.-01.08.02	16	13.09.-23.09.02	10	06.09.-20.09.02	14
01.08.-15.08.02	14				
15.08.-07.09.02	23				
am 25.09.02 Winter-einbruch	Σ 99 Tage	am 24.09.02 Winter-einbruch	Σ 86 Tage	zw. 25.09. und 20.10.02 Schneebedeckung	Σ 79 Tage
Zugspitzplatt		Karwendelgebirge		Reiteralpe	
Intervalle 2003	Dauer [Tage]	Intervalle 2003	Dauer [Tage]	Intervalle 2003	Dauer [Tage]
26.06.-03.07.03	7	30.05.-14.06.03	15	12.06.-26.06.03	14
03.07.-31.07.03	28	14.06.-20.06.03	6	26.06.-08.07.03	11
31.07.-27.08.03	27	20.06.-02.07.03	12	08.07.-07.08.03	30
27.08.-18.09.03	22	02.07.-09.07.03	7	07.08.-16.08.03	15
		09.07.-30.07.03	21	16.08.-26.08.03	10
		30.07.-17.08.03	18		
		17.08.-26.08.03	9		
		26.08.-04.09.03	9		
		04.09.-17.09.03	13		
am 20.09.03 Winter-einbruch	Σ 84 Tage	am 24.09.03 Winter-einbruch	Σ 111 Tage	am 24.09.03 Schneebedeckung	Σ 80 Tage



Tab. 15: Schneeprobennahme im zeitlichen Verlauf der Großwetterlagen (Quelle: DWD 2002, 2003).

<b>Januar 02</b>	31.12.-2. Jan	03.-10. Jan	11.-17. Jan	18.-31. Jan	18.-31. Jan	18.-31. Jan
Wetterlage	NW <sub>z</sub>	HM	HBrM	W <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>
Proben			RA 11.01.02			
<b>Februar 02</b>	01.-05. Feb	06.-13. Feb	14.-18. Feb	19.-25. Feb	26.-28. Feb	01. Mrz
Wetterlage	SW <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	HBrM	NW <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>
Proben	RA 02.02.02					
<b>April 02</b>	01. Apr	02.-11. Apr	12.-20. Apr	21.-25. Apr	26.-30. Apr	
Wetterlage	HM	HF	TrM	HBrM	W <sub>z</sub>	
Proben		ZP 09.04.02	ZP 11.04.02			
<b>Mai 02</b>	01.-05. Mai	06.-11. Mai	12.-15. Mai	16.-21. Mai	22.-29. Mai	30.-31. Mai
Wetterlage	TrW	SE <sub>a</sub>	SW <sub>z</sub>	HBrM	TrM	HM
Proben	KG 01.05.02	RA 11.05.02	KG 12.05.02	KG 17.05.02		ZP 31.05.02
<b>Juni 02</b>	01.-03. Jun	04.-09. Jun	10.-16. Jun	17.-23. Jun	24.-27. Jun	28.-30. Jun
Wetterlage	HM	SE <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	SW <sub>a</sub>	HBrM	W <sub>z</sub>
Proben		ZP 07.06.02		ZP 20.06.02		
<b>Juli 02</b>	01.-07. Jul	08.-12. Jul	13.-20. Jul	21.-27. Jul	28.-31. Jul	
Wetterlage	W <sub>z</sub>	SW <sub>z</sub>	TrM	W <sub>z</sub>	HNF <sub>z</sub>	
Proben	ZP 02.07.02				ZP 31.07.02	
<b>Oktober 02</b>	01.-03. Okt.	04.-07. Okt.	08.-14. Okt.	15.-23. Okt.	24.-31. Okt.	
Wetterlage	HM	NW <sub>z</sub>	HNF <sub>a</sub>	SW <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	
Proben					KG 26.10.02	
<b>Dezember 02</b>	01.-03. Dez	04.-16. Dez	17.-20. Dez	21.-26. Dez	27.-31. Dez	
Wetterlage	W <sub>w</sub>	HF <sub>a</sub>	HM	W <sub>w</sub>	W <sub>z</sub>	
Proben			RA 11.12.02			
<b>Januar 03</b>	01.-04. Jan	05.-11. Jan	12.-20. Jan	21.-23. Jan	24.-27. Jan	28.-31. Jan
Wetterlage	W <sub>z</sub>	HB	W <sub>a</sub>	TrW	HBrM	N <sub>z</sub>
Proben	KG 03.01.03				ZP 24.01.03	
<b>Februar 03</b>	01.-07. Feb	08.-13. Feb	14.-21. Feb	22.-27. Feb	28. Feb	
Wetterlage	N <sub>z</sub> + NW <sub>z</sub>	HBrM	HF <sub>z</sub>	S <sub>a</sub>	Übergang	
Proben	RA 05.02.03	KG 13.02.03				
<b>Mai 03</b>	01.-06. Mai	07.-13. Mai	14.-23. Mai	24.-26. Mai	27.-31. Mai	
Wetterlage	SW <sub>z</sub>	HBrM	W <sub>z</sub>	TrW	HM	
Proben	RA 07.05.03	ZP 11.05.03			KG 30.05.03	
		KG 07.05.03				

#### Erläuterungen

<b>HM</b>	Hoch über Mitteleuropa	<b>N<sub>z</sub></b>	Nordlage, zyklonal
<b>HBrM</b>	Hochdruckbrücke über Mitteleuropa	<b>NW<sub>z</sub></b>	Nordwestlage, zyklonal
<b>HB</b>	Hoch über Britischen Inseln	<b>NW<sub>a</sub></b>	Nordwestlage, antizyklonal
<b>HF<sub>z</sub></b>	Hoch über Fennoskandien	<b>W<sub>a</sub></b>	Westlage, antizyklonal
<b>HF<sub>a</sub></b>	Hoch über Fennoskandien, antizyklonal	<b>W<sub>z</sub></b>	Westlage, zyklonal
<b>HN<sub>a</sub></b>	Hoch Nordmeer, antizyklonal	<b>W<sub>w</sub></b>	Westlage, winkelförmig
<b>HNF<sub>a</sub></b>	Hoch Nordmeer Fennoskandien antizyklonal	<b>S<sub>a</sub></b>	Südlage, antizyklonal
<b>HNF<sub>z</sub></b>	Hoch Nordmeer Fennoskandien zyklonal	<b>S<sub>z</sub></b>	Südlage, zyklonal
<b>TM</b>	Tief über Mitteleuropa	<b>SW<sub>a</sub></b>	Südwestlage, antizyklonal
<b>TB</b>	Tief über den Britischen Inseln	<b>SW<sub>z</sub></b>	Südwestlage, zyklonal
<b>TrM</b>	Trog über Mitteleuropa	<b>SE<sub>a</sub></b>	Südostlage, antizyklonal
<b>TrW</b>	Trog über Westeuropa	<b>SE<sub>z</sub></b>	Südostlage, zyklonal

## 2.5 Klimatologische Auswertung

### Häufigkeit der Windgeschwindigkeit pro Windrichtung:

Die Windereignisse pro Messintervall werden als absolute Häufigkeiten pro Windrichtung, verknüpft mit der jeweiligen Windgeschwindigkeit [m/s], erfasst und in Form von Häufigkeitstabellen oder als Stärkewindrosen dargestellt. Die Einteilung erfolgt in 30°-Sektoren (0°-330°). Grundlage sind die Stundenmittel pro Messtag, die sich aus den 24 Stundenwerten (0 h bis 23 h) von Windstärke und -richtung ergeben.

### Eingeführte Rechengröße „Windtätigkeit“ [m/s · h]:

Sie ist eingeführt, um für jeden Tag die Faktoren Windgeschwindigkeit [m/s] und Windrichtung [°] zu kombinieren. Basis sind die 24 Stundenwerte der Klimastationen Watzmannhaus und Zugspitze, die jeweils einen Wert der Windrichtung mit der verknüpften Windgeschwindigkeit [m/s] liefern. Aus den Häufigkeitstabellen ergibt sich durch Aufsummieren der stündlichen Windgeschwindigkeiten pro Windsektor die rechnerische

Größe der „Windtätigkeit“. Die Windtätigkeit ist ein Maß für die gesamte Windaktivität (Summe aller Windgeschwindigkeiten pro Richtungssektor) oder für die Windaktivität einzelner Sektoren (z.B. Summe der Südwindtätigkeit im Sektor 150° bis 180°) für die Anzahl der Tage eines Messintervalls. (Tab. 16).

Die statistische Auswertung erfolgt nach BAHRENBURG et al. (1990). Daten liefern folgende Stationen: Wartsteinkopf (1700 m, RA), Watzmannhaus (1820 m, RA), Zugspitze (2962 m, ZP) und Nördliche Linderspitze (2347 m, WKG). Sie sind durch die Hilfe von Dr. G. HOFMANN (DWD, München) und Dipl.-Geogr. H. VOGT verfügbar. Die Aufbereitung der Einzelwerte und die graphische Darstellung der Windrosen stammen von Dr. KÖHLER (DWD, München). Die Winddaten und die Daten zur Schneedeckenentwicklung der Stationen Linderspitze, Wartsteinhaus und Zugspitzplatt (2600 m) stellen Dr. B. ZENKE und G. KRONTHALER (Lawinenzentrale, Landesamt für Wasserwirtschaft, München) kostenlos zur Verfügung.

Tab. 16: Datenbeispiel zur Bestimmung der rechnerischen Größe der Windtätigkeit (Zugspitze, 31.05.03, DWD, München).

Uhrzeit 31.05.03	Richtung [°]	Wind v [m/s]	1- 30°	31- 60°	61- 90°	91- 120°	121- 150°	151- 180°	181- 210°	211- 240°	241- 270°	271- 300°	301- 330°	331- 360°	
00:00	290	4,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,8	0	0	
01:00	310	4,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,6	0	
02:00	340	5,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,3	
03:00	320	5,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,0	0	
04:00	300	5,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,6	0	0	
05:00	310	5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,5	0	
06:00	330	4,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,9	0	
07:00	300	4,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,2	0	0	
08:00	270	4,1	0	0	0	0	0	0	0	0	4,1	0	0	0	
09:00	270	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1	0	0	0	
10:00	270	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3	0	0	0	
11:00	260	2,6	0	0	0	0	0	0	0	0	2,6	0	0	0	
12:00	280	3,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,9	0	0	
13:00	310	3,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,2	0	
14:00	290	3,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,1	0	0	
15:00	330	5,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,2	0	
16:00	360	5,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,8	
17:00	10	5,9	5,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18:00	10	5,9	5,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19:00	340	6,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,3	
20:00	350	6,3	6,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	10	5,7	5,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	360	7,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,9	
23:00	340	6,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,3	
<b>Windtätigkeit [m/s · h] für 31.05.03</b>			<b>17</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	<b>32</b>



### 3 Theoretische Grundlagen der äolischen Dynamik im Gebirge

#### 3.1 Definitionen

##### A) Der Begriff „Staub“

Der Begriff „Staub“ bezeichnet Sedimentations- und Schwebstaub mit unterschiedlichen Teilchendurchmessern und Bildungsquellen. Der Staub ist entweder von natürlichen Oberflächen durch Verwitterung entstanden oder wird aus künstlichen Staubquellen emittiert (Tab. 17).

Staub bezeichnet im engeren Sinne feste Partikel in der Atmosphäre, wenngleich er auch innerhalb fester oder flüssiger Aggregatzustände auftritt (Eis, Nebel). Hier sind Aerosole zu nennen, die bei der Nebel- und Wolkenbildung als Kondensationskerne dienen (KÜMMEL und PAPP 1990). Der Staub wird aufgewirbelt, in die Atmosphäre verteilt und durch Winde schwebend transportiert. Die Ablagerung erfolgt mit Staubwolken durch Einwehen oder Niederschläge (KNUTSON et al. 1977).

##### B) Der Begriff „Flugstaub“

Synonyme sind z.B. äolischer Staub, (a)eolian dust, poussière éolienne. Sie bezeichnen Naturstäube aus mineralischen und organischen Anteilen (DANIN und

GANOR 1991; FETT 1958; PÉWÉ et al. 1981). In der vorliegenden Arbeit bezeichnet der Begriff „Flugstaub“ ebenfalls Naturstäube, die aufgrund der Laboranalyse in drei Anteile gegliedert werden:

- Silikatstaub **S** (silikatischer Anteil)
- Organischer Staub **H** (humoser Anteil)
- Kalkstaub **K** (karbonathaltiger Anteil)

In der Summe (S+H+K) ergibt sich der Gesamtstaub **G**. Pedologisch umfasst Flugstaub die Kornklassen des Feinbodens (< 2 mm; nach DIN 19683 Teil I+II) zwischen Feinsand (200 µm bis 63 µm), besonders Feinstsand (125 µm bis 63 µm) und Ton (< 2 µm).

Die äolische Transportfähigkeit von Staub hängt von Masse, Form und Bindigkeit der Partikel ab und sinkt bei Sanden (> 200 µm) und Tonen. Das Transportoptimum von äolischen Sedimenten liegt beim Schluff (2 µm bis 63 µm), besonders im Intervall von Grobschluff (63 µm bis 20 µm). Allerdings ist die Dominanz von Grobschluff kein striktes äolisches Kriterium mehr, da Transportstrecke und geologische Beschaffenheit der Deflationsgebiete stark variable Korngrößenspektren der Stäube hervorrufen (MCTAINSH et al. 1997; MIZOTA et al. 1988; PYE 1984; 1987).

Ein Beispiel sind Fernstäube aus der Sahara, die häufig aus Feinstpartikeln (< 4 µm bis < 16 µm) bestehen (z.B. MCTAINSH und WALKER 1982; NIHLÉN und MATTSSON 1989; MORALES 1979; NIHLÉN und SOLYOM 1989).

Tab. 17: Staubarten und Partikeldurchmesser (Quellen: CADLE 1975; DIEM und JURKSCH 1961; KÜMMEL und PAPP 1990; PYE 1987; WELLBURN 1994).

Einteilung nach der Bildungsquelle		
Name	Charakteristik	Durchmesser
1. Natürlicher Staub / Naturstaub:	Deflationsmaterial von natürlichen Oberflächen:	2-200µm
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kosmischer Staub</li> <li>- Irdischer anorganischer Staub (z.B. Vulkanstaub, Löß)</li> <li>- Organischer Staub</li> <li>- Aerosole, Kerne (z.B. Salzkristalle, Mineralpartikel)</li> </ul>	1-10µm
	Verwitterungsmaterial in Bodensystemen: Schluff	2-60µm
2. Anthropogener Staub:	Emissionen künstlicher Staubquellen:	
a) Kulturstaub	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technischer Staub (Werkstaub)</li> <li>- Abfallstaub</li> <li>- Feuerungsstaub</li> </ul>	<2 bis > 500µm
b) Künstlicher Staub	- Staubbörmiges Material aus Vermahlung, Zerstäubung Staubbörmige Massengüter	
Einteilung nach der Ablagerungsgeschwindigkeit		
1. Sedimentationsstaub:		
a) Grobstaub	Feststoffe hoher bis mittlerer Ablagerungsgeschwindigkeit	> 500µm
b) Staub (Feinstaub)		2-500µm
2. Schwebstaub (Feinststaub):	Sehr geringe Ablagerungsgeschwindigkeit, Bildung von smog	1-10µm
Einteilung nach dem Aggregatzustand		
1. Rauch:	Feststoffe in Gasen aus natürlichen oder künstlichen Quellen	<2µm
2. Nebel:	Wassertröpfchen	0,1-2µm
3. Aerosole:	Feste oder flüssige Partikel (natürliche, künstliche Quellen), schwebend in der Atmosphäre	1-10µm; (0,003-0,1µm)

### C) Der Begriff „Löß“ oder „Löss“

Die genetische Definition des äolischen Sediments beruht primär auf der Korngrößenzusammensetzung (z.B. BRUNNACKER 1980; CEGLA 1969; PÉCSI-DONÁTH 1985; PÉCSI und RICHTER 1996; PEINEMANN und GARLEFF 1981; PYE 1984; THALHEIM 1994; YAALON und DAN 1974).

Die typischen Primärlösse weisen 50 bis 70 Gew.-% an Grobschluff, bis zu 10 Gew.-% Feinst- und Feinsand sowie Ton auf (PÉCSI und RICHTER 1996, S. 36; PEINEMANN und GARLEFF 1981). International wird der Kornbereich von 10 µm bis 50 µm verwendet und damit ein Teil des Mittelschluff-Intervalls einbezogen.

Die Schwankungen im Sand- und Tongehalt sind wichtige Kriterien für die Einteilung von Lössvarianten (z.B. OWEN et al. 1992; PÉCSI und RICHTER 1996; PYE 1984; RENDELL 1989; SCHÖNHALS 1960). Sandlösse weisen 20 bis 30 Gew.-% Mittel- und Feinsand auf. Davon zu unterscheiden sind die grobkörnigen Lössderivate mit Materialbeimengungen von mehr als 2 mm Größe, die zu den umgelagerten oder durchmischten lössähnlichen Bodensedimenten überleiten. Die Verwitterung von Lössen führt zu Lösslehmen. Mineralogisch zeichnen sich Löss und Flugstäube durch hohe Quarzgehalte (40-80 Gew.-%), geringere Anteile an Feldspäten, Calcit und Dolomit sowie durch unterschiedliche Mengen an Ton- und Schwermineralen aus.

### 3.2 Das System „Gebirge-Relief-Klima“

Die Untersuchungsgebiete liegen in der periglazialen Höhenstufe, die sich von der subalpiner Stufe bis zu den Gletscherflächen der nivalen Stufe erstrecken kann (HÖLLERMANN 1964; POSER 1977; TROLL 1944). Die Naturraumausstattung (z.B. Deflationsflächen) und die Relief- und Klimaverhältnisse (z.B. Föhnwinde, Luv-Lee-Effekte) im Gebirge steuern rezente-äolische Erosions- und Akkumulationsprozesse. Dabei verursacht das Mikrorelief höchst variable Verteilungsmuster von äolischen Sedimenten und deren Mächtigkeiten. Die Wechselbeziehungen zwischen Mikrorelief und Depositionsdynamik sind noch immer am schwersten zu fassen (BARTKOWSKI 1973; GILLES und LORENT 1966; GOOSSENS 1988 a-c; OFFER und GOOSSENS 1995; PYE 1989; ROZYCKI 1967).

Wichtige Parameter bei der Staubquantifizierung sind die der Hangmorphologie (Neigung [°] / Inklinat[i]on [°], Exposition). Besonders die Wölbungstendenz des Hanges (konvex, gestreckt, konkav) bestimmt die Standorte für Sedimentfallen (z.B. Hangmulden, Dolinen, Hangfuß). Dort treten auch große Substratmächtigkeiten und gut entwickelte Böden auf (CREDNER und HÜTTL 1998; HÜTTL 1999). Zusammenfassend ist das äolische Wirkungssystem „Deflation – Transport – Akkumulation“ sehr komplex, die Einflussfaktoren vielfältig (Tab. 18).

#### 3.2.1 Orographische Effekte

Der Einfluss von Gebirgen betrifft die Skalen des Makro-, Meso- und Mikroreliefs. Im Makromaßstab fungieren die Alpen als orographisches Hindernis für Wolkenbewegung und Winddynamik. Dadurch entsteht erstens eine Stauwirkung, die an Gebirgsmassiven wie dem Wetterstein- und Karwendelgebirge noch mehr als 2000 m über den Gipfelniveaus wirksam ist (FLIRI 1975; HAUER 1950), zweitens eine vertikale und horizontale Ablenkung von Luftmassen und Winden. Die Verteilung von Bergkämmen, Tälern und Sätteln im Dekameterbereich (Mesorelief) erzeugt dann mikroskalige Strömungsmuster. Erhabene Geländeformen (Berg, Hügel, Gratverlauf) wirken als Strömungshindernisse für aerodynamische Prozesse und Parameter (z.B. Windgeschwindigkeit und -richtung, Turbulenzen). Folgende Effekte spielen für die äolische Dynamik im Gebirge eine besondere Rolle:

#### A) Luv- und Lee-Effekte

Am Hindernis kommt es an den Lee-Hängen zu einer Reduzierung der Windgeschwindigkeit (CEGLA 1972). Nach der Lehrmeinung in der Lössforschung fördern niedrige Windgeschwindigkeiten von 4-8 m/s die Deposition auf trockenen Oberflächen (z.B. NEUMEISTER 1965; PYE 1984; WOJTANOWICZ und ZINKIEWICZ 1966). Deshalb gelten die Lee-Zonen eines Hindernisses als bevorzugte Sedimentationsbereiche (z.B. ROZYCKI 1967; VANMAERCKEGOTTIGNY 1981; WEISE 1983). Je nach Hangkurvatur können auch die Ablagerungsräume an Luvhängen bevorzugt sein (GOOSSENS 1988 a-c; GOOSSENS und OFFER 1993; OFFER und GOOSSENS 1995).

Tab. 18: Wichtige Einflussfaktoren der äolischen Dynamik.

Einflussfaktoren		Spezielle Untersuchungen von:
Klima	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Windgeschwindigkeit, -stärke, -häufigkeit</li> <li>- Luftmassenturbulenzen</li> <li>- Niederschlag (Verteilung, Intensität)</li> </ul>	NEUMEISTER 1965; PYE 1984 CHAMBERLAIN 1967
Relief	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geländetopographie, Mikrorelief</li> <li>- Hangmorphologie</li> <li>- Reliefwölbung, Wölbungstendenz, Wölbungsrichtung</li> </ul>	GOOSSENS 1988 a-c VANMAERCKE-GOTTIGNY 1981 KUGLER 1974; AG BODEN 1996
Vegetation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Art und Bedeckungsgrad der Vegetation</li> <li>- Oberflächenrauigkeit</li> <li>- Auskämmende Wirkung</li> </ul>	BRUNNACKER 1980 HANNOSCHÖCK et al. 1991 PYE 1984
Boden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodenfeuchte</li> <li>- Oberflächendurchlässigkeit</li> </ul>	CEGLA 1969, 1972



**Tab. 19:** Föhnwahrscheinlichkeit am Alpennordrand in Abhängigkeit von Großwetterlagen und Jahreszeit (Daten: 1906-1947).

Großwetterlagen mit bevorzugter Föhntätigkeit	Föhnwahrscheinlichkeit [%]			
- Hoch über Mitteleuropa	7			
- Hochdruckbrücke Mitteleuropa von SW nach NE	12			
- Regelrechte Westlage, zyklonal	15			
- Trog über Mitteleuropa mit Zentraltief über Mitteleuropa	32			
- Südostlage, antizyklonal	38			
- Südostlage, zyklonal	39			
- Südliche Westlage, zyklonal	41			
- Trog Westeuropa mit Zentraltief über den Britischen Inseln (mit Südwestlagen, zyklonal und antizyklonal)	40			
Ausgesprochene föhntypische Großwetterlagen	Föhnwahrscheinlichkeit [%]			
	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
- Südliche Westlage, zyklonal	56	19	52	32
- Trog ü. Westeuropa + Zentraltief über Mitteleuropa ohne SW-Lagen	71	35	62	44
- Südostlage, zyklonal	61	20	63	17

Datengrundlage: EKHART (1949): Auswertung der 42-jährigen Aufzeichnungen der Föhntage in Innsbruck (sog. Föhnkalender), Datenaufbereitung: HAUER (1950, S.109-111).

### B) Düsen-Effekte

Im Gegensatz zu Erhebungen wirken in Windrichtung orientierte Längstäler und Tiefenlinien als Windkanäle. Sie bündeln den Windstrom und bewirken eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit. Tiefe Täler mit steilen Flanken fungieren einerseits als Sedimentfallen, andererseits wird durch Erosionsprozesse am Hang das Material sekundär verlagert und z.B. als Kolluvium akkumuliert (MASON et al. 1999). Im Alpenraum sind besonders die S-N-orientierten Föhngassen zu nennen. Innerhalb der Gebirgsstöcke sind Düseneffekte in langgestreckten Trogtälern (Saalachtal /Berchtesgadener Land, Rein- und Höllental /Wettersteingebirge, Isar- und Hinterautal/Karwendelgebirge) Bestandteil von lokalen Berg- und Talwindssystemen (HAUER 1950).

### C) Stau-Effekte

Am Alpennordrand ist die Niederschlagswahrscheinlichkeit im Frühjahr zur Zeit der stärksten Konvektion am größten. Niederschlagsbringend sind die NW- und N-Winde und zwar unabhängig von der Jahreszeit. In Abhängigkeit von der Staubkonzentration und der Wetterlage bewirken Stauwetterlagen *wash-out*. Sie sind bei folgenden Wetterlagen zu erwarten: regelrechte Westlage, zyklonale Nordwestlage, Troglage über Nord- oder Mitteleuropa und Zentraltief über Mitteleuropa (HAUER 1950). Dabei sind die Großwetterlagen mit NW- bis N-Strömungen am wetterwirksamsten.

### 3.2.2 Föhnwinde

Im Zusammenhang mit der Orographie treten Föhnwinde auf. Diese warmen, trockenen Fallwinde treten an der Alpennordseite z.T. orkanartig als Südföhn auf und gelten als Transportmedium für Saharastaub. Als Leitkanäle fungieren Föhngassen wie z.B. die Täler von Inn, Loisach, Saalach und Salzach sowie im Bereich der Isar, das Tor von Mittenwald. Bei einer Koinzidenz von Süd-

föhn-Lagen und einer erhöhten Scirocco-Tätigkeit in den Wüstengebieten sind Saharastaubfälle über Europa häufig (GÖTZ 1940, 1954; RAPP und NIHLÉN 1986; PRODI und FEA 1979).

Die Föhnwirksamkeit ist bei Südostlagen (zyklonal, antizyklonal), Troglagen über West- und Mitteleuropa (eingeschlossen Südwestlagen) und Südlichen Westlagen besonders ausgeprägt. Bei diesen Wetterlagen kommen Föhnwinde bevorzugt im Frühjahr und Herbst vor. Sommer und Winter zeichnen sich hingegen durch geringere Föhnwahrscheinlichkeit aus. Im Sommer und Winter sind SE-Winde häufig an die Hochdruckbrücke über Mitteleuropa (SW nach NE) geknüpft. Die größte Föhnwahrscheinlichkeit (71%) tritt im Frühjahr bei Troglagen über Westeuropa auf, das Minimum bei winterlichen zyklonalen Südostlagen (Tab. 19).

Bei allen genannten Wetterlagen wehen Föhnwinde im Alpenraum unabhängig von der Jahreszeit meist aus S und SE. Seltener bringen Winde aus dem SW-Sektor Föhn (HAUER 1950). Die prozentuale Verteilung der Häufigkeiten von Südwindereignissen an den Stationen Watzmannhaus (1860 m) und Zugspitze (2962 m) zeigt unterschiedliche Sektorenverteilung mit einer Dominanz des SE-Sektors auf der Zugspitze (Tab. 20).

Winde aus SE erreichen generell im Frühjahr und Herbst viel häufiger größere Windstärke (> 6 Beaufort) als in den anderen Jahreszeiten. Die Föhnereignisse auf exponierten Gipfeln (Watzmann, Zugspitze) erreichen sogar extreme Windstärken, die bei über 50% der Fälle mehr als 7 Beaufort (d.h. Windgeschwindigkeiten > 14-17 m/s) zeigen.

### 3.3 Saharastaub-Ereignisse

Insgesamt gelangen jährlich weltweit rund fünf Milliarden Tonnen Staub- oder Aerosolpartikel in die Atmosphäre. Der Mineralstaub aus den Wüsten hat davon einen Anteil von 1,5 Milliarden Tonnen. Davon entstam-

**Tab. 20:** Häufigkeit der Windaktivität aus südlichen Richtungen für 2002 (Daten: DWD).

Messstation	Prozentuale Häufigkeit der Windaktivität aus südlichen Richtungen (bezogen auf 100% der gesamten Südrichtungen)		
	SE (150°)	S (180°)	SW (210°)
Watzmannhaus (1820m) Berchtesgadener Alpen	34%	34%	32%
Zugspitze (2962m) Wettersteingebirge	54 %	28%	18%

**Tab. 21:** Depositionsraten von Saharastäuben für den Alpenraum und Mitteleuropa.

Untersuchungsgebiet	Depositionsraten [ $\mu\text{g} / \text{cm}^2 / \text{d}$ ]	Sedimentationsrate [cm / 10ka]	Methode	Autor
Colle Gnifetti (4450m), Schweizer Alpen	Mittelwert: 0,16	0,45	Eisbohrkern (1936-1982)	WAGENBACH und GEIS (1989)
Mont Blanc (Franz. Alpen)	Mittelwert: 0,063(Al) bis 0,18(Ca)	0,18 bis 0,51	Eisbohrkern (1955-1985) Berechnung von Al und Ca-Konzentration	De ANGELIS und GAUDICHET (1991)
06.03.-09.03.91 Staubfall über England und Frankreich	0,025 nach 4 Tagen Staubfall	0,07	Schneeoberflächen	BÜCHER und DESSENS (1992)
Griechenland (1988-1994)	5,2	14,6	Staubmessung über Regenfänger	MATTSSON und NIHLÉN (1996)
Arktis	0,009 bis 0,038	0,025 bis 0,11	Staub von Schneeoberflä- chen	DARBY et al. (1974)
Verschiedene Staubfälle über Europa	70mm/1000a	70	Staub von Schneeflächen	GOUDIE (1978)

men 60% der Sahara (BÜCHER 1986; SCHÜTZ 2004). Der Staub dieser Ereignisse (*sahara dust fall, chute de poussière saharienne*) wird regelmäßig mit warmen Luftmassen bis zu 5000 m hoch in der Atmosphäre verteilt. Er gelangt bei Südlagen mit Föhnwinden in den Alpenraum und z.T. bis nach Nordeuropa (FRANZEN et al. 1994; LUNDQVIST und BENGTTSSON 1970). Dabei bezeichnet der Begriff „Sahara“ die südlichen Gebiete von Marokko, Südwest-Algerien, Tunesien und Lybien sowie Mauritien, Niger und Tschad. Daneben werden über Europa auch Stäube aus den asiatischen Wüsten verfrachtet (BÜCHER 1988; BÜCHER und DESSENS 1992; DE ANGELIS und GAUDICHET 1991; DESSENS und PHAM VAN DINH 1990; PRODI und FÉA 1978). Der Saharastaub wird besonders auf Schnee- und Gletscherflächen sichtbar. Ebenso sind nasse Depositionen (*mud rain, pluie de boue*) häufig. Sie sind nach Meinung einiger Bearbeiter für den Alpenraum entscheidend, da trotz hoher Staubfracht in der Atmosphäre die trockene Deposition sehr gering ausfallen kann (DE ANGELIS und GAUDICHET 1991; HELLMANN und MEINARDIUS 1901; SCHWIKOWSKI et al. 1995; WAGENBACH 1981). Zur jahreszeitlichen Verteilung der Staubfälle über dem Alpenraum gibt es sehr unterschiedliche Angaben. Meist wird folgende Verteilung angegeben: Maxima Februar/März, April/Mai und Oktober (LITTMANN 1991). Jedoch zeigen Studien an Eisbohrkernen im Mont Blanc-Gebiet gerade im Winter starke Saharastaubtätigkeit (DE ANGELIS und GAUDICHET 1991; LITTMANN 1991; PRODI und FEA 1979).

Da es keine kontinuierliche Registrierung an den Hochgebirgsstationen gibt, fehlt eine verlässliche Zahl über die Häufigkeit von Staubfällen pro Beobachtungszeitraum. Eine Ausnahme stellt das POUSSAH-Projekt (Poussière Saharienne) von BÜCHER und DESSENS (1992) dar, das ein Beobachtungsnetz an den Messstationen der französischen Nationalparks (Alpen, Pyrenäen, Zentralmassiv) unterhält. In den Nord-Pyrenäen wurden 64 Staubereignisse (1983-1989), die sich über 126 Tage erstreckten, gezählt und in nur einem Jahr (1990-1991) sogar 18 Staubfälle registriert (BÜCHER und DESSENS 1992). Allerdings schwanken die Depositionsraten aus der Forschungsliteratur stark in Abhängigkeit von Methode und Messzeitraum. Repräsentativ ist am ehesten der errechnete Mittelwert von  $60 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{a}$  aus ungestörter Akkumulation im Eisbohrkern (Tab. 21).

Die starken Sahara-Staubfälle im November 2002 sowie am 05.05.2003 führten zu deutlich, rötlichen Staubschichten auf den Gletschern der österreichischen Zentralalpen.

Mit der stärkste Sahara-Staubfall im Alpenraum seit 25 Jahren wurde am 21.02.04 registriert. Ein heftiger Föhnsturm (246 km/h im Berner Oberland) transportierte große Staubmengen aus der Sahara mit Konzentration von  $400 \text{ mg}/\text{m}^3$  Luft heran. Sie führten am bayerischen Alpennordrand zu einer außergewöhnlich starken Lufttrübung. Trotz der hohen Staubkonzentration war die Deposition auf den Schneeflächen der Nordalpen op-



tisch kaum bemerkbar. Im Gegensatz dazu wurde im Grödner Tal (Italien) eine geschlossene Staubschicht registriert. Im Trentino trat heftiger Staubregen auf (mündl. Mitteilung Dipl.-Geogr. T. RAUCH). Eigene Probennahmen im Grödnertal ergaben eine Deposition von 2 g/m<sup>2</sup> auf Schneeflächen.

## 4 Das Bodeninventar und seine äolische Beeinflussung

### 4.1 Ergebnisse der Feldbodenkunde

Ausgangsgestein, Vegetationsbedeckung und Relief bedingen unterschiedliche Entwicklungsstadien von Rendzinen sowie Fels- und Skeletthumusböden (O/C). Minerogene Bildungen umfassen Terra fusca-Rendzinen (Ah/Bv-T/Cv) sowie Subtypen der Braunerde (Ah/Bv/C). Auf brekzierten Kalksteinen und Hangschuttdecken werden sogar flach- bis mittelgründige Terra fuscae kartiert.

Die Feldarbeit liefert wichtige Hinweise für äolisches Fremdsubstrat. Hier ist zum einen der Glimmerreichtum in den Oberböden (Aih, Ah, Of, Oh) von autochthonen Böden zu nennen (Foto 7).

Zum anderen fallen mächtige Braunerden auf, die im gesamten Profil Schluff-, Glimmer- und Quarzreichtum zeigen. Aufgrund dieser Indikatoren erfolgt eine vorläufige Einteilung der Böden in zwei mögliche genetische Gruppen I und II (Tab. 22).

Die kartierten Gebirgsböden sind in die Deutsche Klassifikation meist gut einzuordnen (AG BODEN, 1996). Die vergleichende Einordnung der Subtypen und Varietäten der Rendzina in die internationalen Systeme (FAO 1990, Soil Survey 1990; WRB, ISSS-ISRIC-FAO 1998; 2000) ist oft nur zufriedenstellend (Tab. 23).



Foto 7: Glimmerbruchstücke der Schluff-Fraktion (63 µm bis 2 µm) aus Polsterrendzinen. Das Material ist trocken aus der Feinerde von Oh-Horizonten (0-5 cm) gesiebt.

Problematisch ist auch die genetische Kennung von Residualmaterial, da die Klasse der *Terrae calcis* nicht mehr existiert (WRB 2000). Damit sind Braunerden und Kalkverwitterungslehme gleichbehandelt und z.B. den *Cambisols* zugeordnet. Häufig wird die Terra fusca als „*Chromic Cambisol*“ (FAO 1990) bzw. „*very fine Eutrochrept*“ (Soil Taxonomy 1990) benannt. Das geforderte Kriterium der Mindestmächtigkeit für Cambisols erschwert zudem die Ansprache der kartierten Nano-Formen (z.B. Nano-Terra fusca). Insgesamt ist nur die Einordnung auf der Ebene der Referenz-Bodengruppe (z.B. *Cambisol*) und der ersten Ebene der Untereinheit (z.B. *Chromic Cambisol*), des diagnostischen Horizonts (z.B. *Chromic, Rhodic*) sinnvoll.

#### 4.1.1 Ausgangsgestein

Die Residualgehalte (Residuum) der Ausgangsgesteine basieren auf der geochemischen Analyse der liegenden

Tab. 22: Geländebefunde und Vorgehensweise zur genetischen Einordnung.

Vorwiegend lithogen-organogen, organogen	Vorwiegend minerogen-autochthon	Vorwiegend minerogen-äolisch
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protorendzina Aih/C</li> <li>- Skelett- u. Felshumusböden O/C</li> <li>- Polsterrendzina Ah/C; O/C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Braunerde-Rendzina (Ah) / Bv-T/C</li> <li>- Terra fusca ähnlicher Boden (Ah) /T/Tc/C; (Oh)/T/Tc/C</li> <li>- flach- bis mittelgründige Terra fusca</li> </ul> <p>Auf Gosaukalken der RA:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Braunerden Ah/Bv/C und Subtypen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Braunerde über Residualton A/B/II/C-Profile</li> <li>- Subtypen z.B. Braunerde-Podsol</li> </ul>
<b>Äolische Indikatoren im Gelände:</b> Humose Oberbodenhorizonte: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Glimmerreichtum, Quarz (Allochthoner Mineralbestand)</li> <li>- Schluff- und Feinsanddominanz</li> </ul>		Mineralische Unterbodenhorizonte: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Glimmerreichtum, Quarz</li> <li>- Lößlehm-Charakter, kolluvial</li> <li>- flächenhafte Verbreitung, B-Horizonte</li> </ul>
Hypothese:	<b>Rezenter Flugstaub</b>	<b>Entstehung auf äolischen Substraten</b>
Vorläufige Einteilung:	<b>Gruppe I: Autochthone Böden (rezent-äolisch beeinflusst)</b>	<b>Gruppe II: Allochthone Böden (nicht rezent-äolische Herkunft)</b>

Tab. 23: Klassifikation der Hochgebirgsböden (Überblick).

Deutsche Klassifikation (KUBIENA 1953; AG BODEN 1996)	Horizontierung (AG BODEN 1996)	Mögliche Einordnung nach FAO (1990)	Horizontierung (FAO 1990; Soil Survey 1990)	Mögliche Zuordnung in die Word Reference Base WRB (2000)
<b>Carbonat-Lockersyrosem</b>	AiCv / IC	Dystric oder Eutric Regosol	A - C	<b>Regosol</b>
<b>Felshumusboden</b>	Oh / mC	Folic Histosol	O - R	<b>Histosol</b>
a) Polsterrendzina	Oh / mC	Folic Histosol	O - R	a) folic
b) Pech-, Tangelrendzina	Of/Oh / mC	Folic Histosol	O - R	b) histic
c) Tangelrendzina	L/Of/Oh / mC	Folic Histosol	O - R	c) dystric
d) Polsterrendzina	Oh / mC	Folic Histosol	O - R	d) eutric
<b>Skeletthumusboden</b>	Oh / ICv	Folic Histosol	A-C	<b>Folic Histosol / Humic Leptosol</b>
<b>Syrosem-Rendzina</b>	Aih/mC	Eutric Leptosol	A-C	<b>Leptosol</b> a) humic b) eutric
<b>Lockersyrosem-Rendzina</b>	Aih/ ICv	Eutric Regosol		<b>Regosol, humic</b>
<b>Initiale Polsterrendzina</b>	Ah / IC Ah / mC	Mollic Leptosol	O - C	<b>Rendzic Leptosol</b>
<b>Typische Polsterrendzina</b>	Oh / ICv Oh / mC	Folic Histosol Rendzic Leptosol	O-C	<b>Folic Histosol</b> <b>Humic Leptosol</b>
a) auf kalkhaltiger Moräne	a) Oh / ICc			a) Calci-humic Regosol
<b>Reife Polsterrendzina</b> <b>Rendzina-Terra fusca</b>	Oh / Oh+T / (T) / C Ah/Ah+T / (T) / C	? ?	O - OC - C O - R O-OB-2B-2C	<b>Eutric Cambisol / folic O</b> <b>Eutric Cambisol / folic O</b>
<b>Braunerde über Terra fusca</b>	(Ah) / Bv / II (T) / C	Cambic over Chromic Cambisol	O-OB-2B-2R O - OB-2Bt-2C (A)-Bw-2Bt-2C	<b>Cambisol</b> dystric oder eutric
<b>Braunerde</b>		Cambisol	A-B-C	<b>Luvisole</b>
<b>Braunerde über Terra fusca</b> , leicht pseudovergleyt / podsoliert	(Ahe) / Bvs / II (Sd-T) / C	Cambic over Chromic Cambisol with andic or gleyic features	A-AE-B-C 2 zur Kennzeichnung von Schichtung	<b>Umbrisole</b>

C-Horizonte, die von jedem Bodenprofil beprobt wurden (Tab. 24). Die Hauptgesteine (Wetterstein-, Muschel- und Dachsteinkalk) zeigen geringe Residualgehalte (2% bis 7%) mit größeren Schwankungen bei den Varietäten (rosa geädert bis rot) des Dachsteinkalks. Die Residuen steigen (> 10%) mit dem Grad der tektonischen Zerrüttung, die anhand der Kluftdichte (Anzahl der Klüfte pro m<sup>2</sup> Fels) bestimmt wurde und zu Brekzien führt. Die Brekzien sind mit roten, eisenreichen Tonfüllungen verheilt (Foto 4; Kap. 1.4.1) und fördern die Bildung der kräftig gefärbten Terra fusca-Rendzinen. Diese Böden sind auch in der Östlichen Karwendelgrube auf residualreichen (Mittel: 14%) Reichenhaller Schichten typisch (z.B. Profil ÖK\_P5 bis 7). Die höchsten Residualgehalte (Mittelwert: 62,8%) liefern die Geschiebelehmrreste (z.B. RA\_P19) auf der Reiteralpe sowie rote Verwitterungsprodukte der jurazeitlichen Bedeckung, der sog. „Bolus“ (GÜMBEL 1861 in: GILLITZER 1921, S. 179).

#### 4.1.2 Solummächtigkeit

Die Einzelwerte der T-Horizonte von Profilen ähnlicher Standorte (Typen: reife Polsterrendzina, Terra fusca-

ca-Rendzina, mittelgründige Terra fusca) sind für jeden Substrattyp gemittelt und gegenübergestellt (Tab. 25).

Im Falle der sehr reinen Ausgangsgesteine sind Rendzinen auf Lockersubstrat (Schutt, Scherbenkarst, Lokalmoräne) deutlich mächtiger. Dies ist mit den Kalkabtragsraten als ein Maß für die Substratverwitterung konform. Sie betragen bei vergleichbaren Niederschlagsintensitäten auf Felsflächen nur 18 µm/a bis 35 µm/a, im unbewachsenen Schutt je nach Schuttmächtigkeit bereits zwischen 46 µm/a und 65 µm/a und im bewachsenen Schutt sogar 45 µm/a bis 89 µm/a (HÜTTL 1999; SCHLOTT 1997).

Auf Felsstandorten (mC-Horizonte) ohne kolluviale oder erosive Prägung entscheidet die Gesteinszusammensetzung. Auf reinen Kalksteinen sind nur geringmächtige Residualbänder (Mittelwert: 2 cm bis 5 cm) vorhanden, während die T-Horizonte (Mittelwert: 10 cm bis 25 cm) auf unreinen Kalken und Brekzien deutlich mächtiger sind. Diese Steuerung durch das Ausgangsgestein wird auch durch die rechnerische Verknüpfung der Messwerte der T-Horizonte [cm] mit den Residualgehalten [%] ihrer C-Horizonte unterstützt (Abb. 3).



Tab. 24: Geochemie der Ausgangsgesteine.

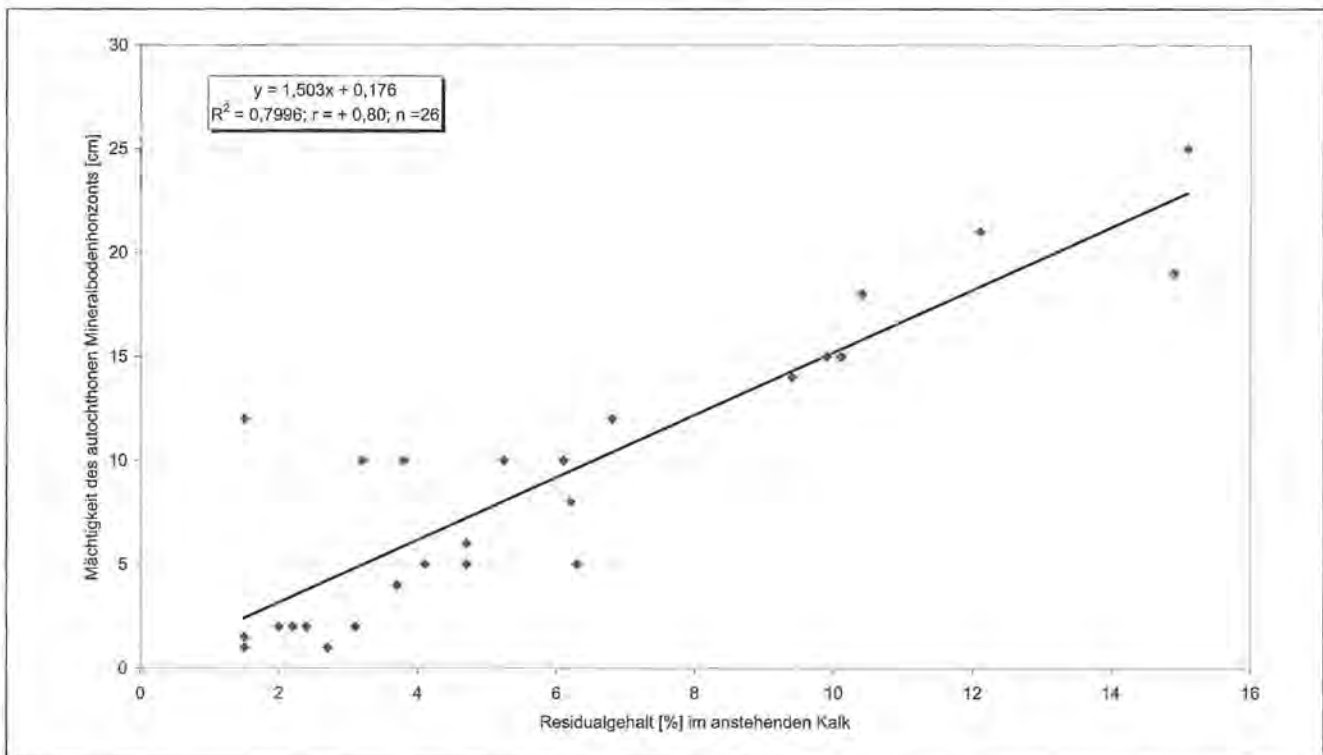
Gesteine im UG	Hauptbestandteile im Gestein <sup>1)</sup> (Methode: nasschemisch)				Hauptelemente im Residuum (Methode: RFA)		
	CaCO <sub>3</sub> [%]	MgCO <sub>3</sub> [%]	Residuum [%]	Summe [%]	SiO <sub>2</sub> [%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]
<b>Zugspitzplatt:</b>							
Wettersteinkalk	96,5	2,0	2,1	100,6	< 0,10	< 0,10	0,07
<b>Westl. Karwendelgrube:</b>							
Muschelkalk	93,9	1,3	5,2	100,4	1,0	0,22	0,12
<b>Östl. Karwendelgrube:</b>							
Reichenhaller Kalk	95,4	0,7	3,7	99,8	0,77	0,23	0,17
Reichenhaller Brekzie	69,3	14,9	14,0	98,2	2,41 <sup>2)</sup>	5,68 <sup>2)</sup>	1,65 <sup>2)</sup>
<b>Reiteralpe:</b>							
Dachsteinkalk, weiß	91,9	1,4	6,8	100,0	< 0,10	< 0,10	< 0,05
Dachsteinkalk, rotgeädert	88,9	8,1	2,1	99,1	1,11	0,76	0,31
Dachsteinkalk, rot bis rosa	89,3	0,6	10,0	99,8	0,54	0,33	0,14
Dachsteinkalk rot, brekziiert	88,1	0,9	11,1	100,1	1,30	4,87	1,74
Gosaukalk, z.T. brekziiert	87,3	5,5	7,2	99,9	0,16	0,14	0,07
Jurazeitliche Deckenreste? <sup>3)</sup>							
- Geschieberest Jura? in Lokalmoräne, Große Doline 1	96,9	1,0	2,1	100,0	2,12	1,11	0,98
- Resten von Jura?, Geschiebelehm mit Lokalmoräne Dolinenfeld 2	35,1	2,1	62,8	100,0	22,1	6,0	4,0
					Illit 60%, Kaolinit 4%, Chlorit 32% <sup>4)</sup>		
<b>Nationalpark Berchtesgaden: <sup>5)</sup></b>							
Roter Liaskalk, ungestört	81	8	11	100	Chlorit, Illit, Muskovit, Feldspat, Qz <sup>6)</sup>		
Roter Liaskalk, schwach gestört	78	7	18	103	Qz, Illit, Muskovit, Chl., Kaolinit, Feldspat		
Roter Liaskalk, stark gestört	72	0	28	100	Illit, Muskovit, Chlorit, Qz, Feldspat		

1) Mittelwerte aus jeweils 5 Einzelwerten (Kap. 10.5)  
 2) RFA nur für Probe rhB 2  
 3) Einzelanalysen, DUFFY (2003, S.28 und Anhang 2)  
 4) Rel.-%, Methode: RDA  
 5) Mittelwerte nach LANGENSCHIEDT (1995), S. 10-12; keine Angabe zu Hauptelementverteilung  
 6) Halbquantitative Bestimmung der silikatischen Leichtminerale (RDA) nach LANGENSCHIEDT 1995, S. 102; Reihenfolge gibt Rangfolge an; Qz = Quarz; Chl. = Chlorit

Tab. 25: Solummächtigkeit der T-Horizonte von autochthonen Mineralböden.

Gesteine der Untersuchungsgebiete	Mächtigkeit der T-Horizonte [cm] auf den Substrattypen <sup>1)</sup> :								
	Kompakter Fels (mCn)			Lockersubstrat (ICv)			Lokalmoräne (ICv)		
	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel
Wettersteinkalk	0,3	5	2	2	8	5	5	25	18
Muschelkalk	2	8	4	2	5	4			- <sup>2)</sup>
Reichenhaller Kalk	1	5	3	2	9	5			- <sup>2)</sup>
Reichenhaller Brekzie	5	18	12	8	20	15			- <sup>2)</sup>
Dachsteinkalk, weiß	1	10	5	1	9	5			- <sup>2)</sup>
Dachsteinkalk, rotgeädert	3	20	15	4	18	15			- <sup>2)</sup>
Dachsteinkalk, rot bis rosa	4	22	16	3	15	12			- <sup>2)</sup>
Dachsteinkalk, rot und brekziiert	10	30	25	10	35	28			- <sup>2)</sup>
Gosaukalk, z.T. brekziiert	3	15	10			- <sup>2)</sup>			- <sup>2)</sup>
Kreide- u. jurazeitliche Deckenreste			- <sup>2)</sup>			- <sup>2)</sup>	25	110	59

1) Mittelwerte: Basis sind je 10 Einzelprofilen pro Bodentyp und Substrattyp. Die Auswahl der Einzelprofile betrifft keine Akkumulationslagen wie z.B. Dolinen oder Karrenfüllungen.  
 2) Zeilen ohne Messwerte: Der Substrattyp tritt in dieser Kombination nicht auf.



**Abb. 3:** Linearer Zusammenhang zwischen Mineralbodenmächtigkeit (T-Horizonte) und den Residualgehalten der liegenden Kalksteine (C-Horizonte).

#### 4.1.3 Bodenfarbe

An der Bodenfärbung sind üblicherweise folgende Oxide beteiligt (JASMUND und LAGALY (Hrsg.) 1990; CHILDS 1992; McKEAGUE und DAY 1966):

- Goethit, gelbbraun (7.5 YR bis 2.5 Y)
- Hämatit, rot (5 R bis 2.5 YR)
- Lepidokrokit, orangefarben (5 YR bis 7.5 YR)
- Ferrihydrite (amorphe, wasserhaltige Eisen-(III)-oxide), rotbraun (5 YR - 7.5 YR).

Je nach Untersuchungsgebiet zeigen die T-Horizonte Farben von gelbbraun, gelb, gelbbrot und rot (Spektren: YR, Y), die in vielen Fällen mit den Farbvarietäten der Ausgangsgesteine und ihrer Residuen übereinstimmen. Dies wird als Beleg für den autochthonen Charakter der „bunten“ Bodenhorizonte gewertet. Auffällig liegen die Braunerden auf Decks substraten im gelb-braunen Spektrum (Farbe 10 YR; 10 YR 6-7/3-4), das häufig Primärlösse und ockergelbe Lösslehme auszeichnet (PÉCSI und RICHTER 1996) (Tab. 26).

#### Rotfärbung:

Auf der Reiteralpe sind rotgefärbte Böden (2,5 YR) weit verbreitet. Da die Hochfläche zu den tertiären Resten der Raxlandschaft zählt, muss die Rotfärbung als ein möglicher paläoklimatischer Zeiger in Betracht gezogen werden (BRONGER und KALK 1979; FRANZ und SOLAR 1961; MORESI und MONGELLI 1988; SMOLIKOVA und LOZEK 1962).

Der Farbvergleich zwischen T-Horizonten und den Residuen ihrer Ausgangsgesteine zeigt erstens hinsichtlich

des „hue“ (z.B. 5 YR) Übereinstimmung. Zweitens sind die Gehalte der pedogenen Oxide ( $Al_2O_3$  und  $Fe_2O_3$ ) in den tonreichen Residuen der roten, brekziierten Kalksteine deutlich erhöht (Tab. 27).

#### Interpretation:

Für die meisten Fälle der Bodenproben ist lithogene Rotfärbung bzw. „Entcarbonatisierungsrot“ (MEYER 1979, S. 705) wahrscheinlich. Diese Rubifizierung von T-Horizonten ist ein pedogenetischer Teilprozess und wird während der Kalklösung dann intensiviert, wenn Eisen im Ausgangsgestein karbonatisch gebunden ist (z.B. Ankerit, Siderit).

Dies trifft für alle triassischen Kalksteine der vorliegenden Arbeit zu. Ebenso ist die stark färbende Wirkung der amorphen Ferrihydrite anzuführen (z.B. CHILDS 1992; SCHWERTMANN 1985). Diese lithogenen Ursachen der Bodenfarbe betont auch REHFUESS (1981, S. 52): „Die typische *Terra fusca*... besitzt... „sattbraune, je nach Muttergestein teils mehr gelblich oder mehr rot getönte Horizonte“.

Trotzdem könnte die außergewöhnliche Rubifizierung (hue 2,5 YR) von Profilen in Karsthohlräumen (RA\_P 2, P7, P12) auch ein Zeiger für Paläoklima sein. Hierfür sprechen die auffällig hohen Gehalte an Eisen (7% bis 10%),  $Al_2O_3$  (17% bis 23%) und der detektierte Gibbsite. Dieser kann im subtropischen Verwitterungsmilieu durch die Desilifizierung von Zwei- und Dreischicht-Tonmineralen entstehen. In diesem Fall wäre die Rotfärbung der Karrenfüllung RA\_P2 paläoklimatisch zu deuten (KUHLEMANN et al. 1999).



Tab. 26: Bodenfarben der braunen Mineralböden.

Gebiet	Autochthone Mineralböden (Gruppe I) T-Horizonte		Allochthone Mineralböden (Gruppe II) B-Horizonte	
	hue	Farbansprache (KIC 1990) dry color	hue	Farbansprache (KIC 1990) dry color
Zugspitzplatt	10 YR 7.5 YR 2.5 Y	very dark grayish brown; dark brown very pale brown brown pale yellow	10 YR 7.5 YR	dark yellowish brown; yellowish brown; yellow brown; strong brown
Karwendelgrube	2.5 Y	pale yellow; grayish brown	10 YR	brown, pale brown, dark yellowish brown
Reiteralpe	10 YR 7.5 YR 2.5 YR	very pale brown light brown yellowish red; red; reddish yellow; dark brown; light yellowish brown	10 YR	pale brown; yellow; brownish yellow; light yellowish brown

Tab. 27: Rotfärbung und Geochemie.

C-Horizonte der Bodenprofile	Farbe des Residuums im Gestein <sup>1)</sup>		Farbe des Residualhorizonts <sup>1)</sup>		Gesteinsresiduum <sup>2)</sup>	
					Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]
Dachsteinkalk, weiß (RA_P 6)	white	10 YR 8/1	very pale brown	10 YR 7/4	<0,10	<0,05
Dachsteinkalk, rosa (RA_P5)	pinkish white	7,5 YR 8/2	light yellowish brown	10 YR 6/4	0,10	<0,05
Dachsteinkalk, rotgeädert (RA_P1)	pinkish white	7,5 YR 8/2	light brown	7,5 YR 6/4	0,76	0,14
Dachsteinkalk rot (RA_P3)	pink	5 YR 8/4	dark brown	7,5 YR 3/3	<b>1,18</b>	<b>0,48</b>
Dachsteinkalk, rot mit gelben Tonscherben (RA_P7)	reddish yellow	5 YR 6/6	reddish yellow	5 YR 6/8	<b>1,23</b>	<b>0,89</b>
Dachsteinkalk rot und brekziiert (RA_P2)	reddish yellow	5 YR 7/6	yellowish red	5 YR 5/6	<b>4,87</b>	<b>1,74</b>
Dachsteinkalk rot und brekziiert (RA_P12)	light red	2,5 YR 7/6	red	2,5YR 4/6	<b>3,54</b>	<b>1,56</b>

1) Bestimmung der Farbe im trockenen Zustand nach Farbskala MUNSSELL (KIC 1990)  
2) Bestimmung der Oxide: Methode RFA

Aber auch im außertropischen Verwitterungsmilieu führt die hydrolytische Verwitterung von Al-haltigen Feldspäten, Foiden und Tonmineralen zu Gibbsit (SCHEFFER et al. 1989, S. 42). In diesem Fall würde der Gibbsit in den roten T-Horizonten (z.B. RA\_P7) aus der autochthonen Gesteinsverwitterung stammen.

Diese Möglichkeit ist besonders für die Profile im Bereich der „schwimmenden Scherben“ im Dachsteinkalk anzunehmen, da die notwendigen Al-haltigen Feldspäte (Albit, Kalifeldspäte) Bestandteil der Residuen sind (LANGENSCHIEDT 1995).

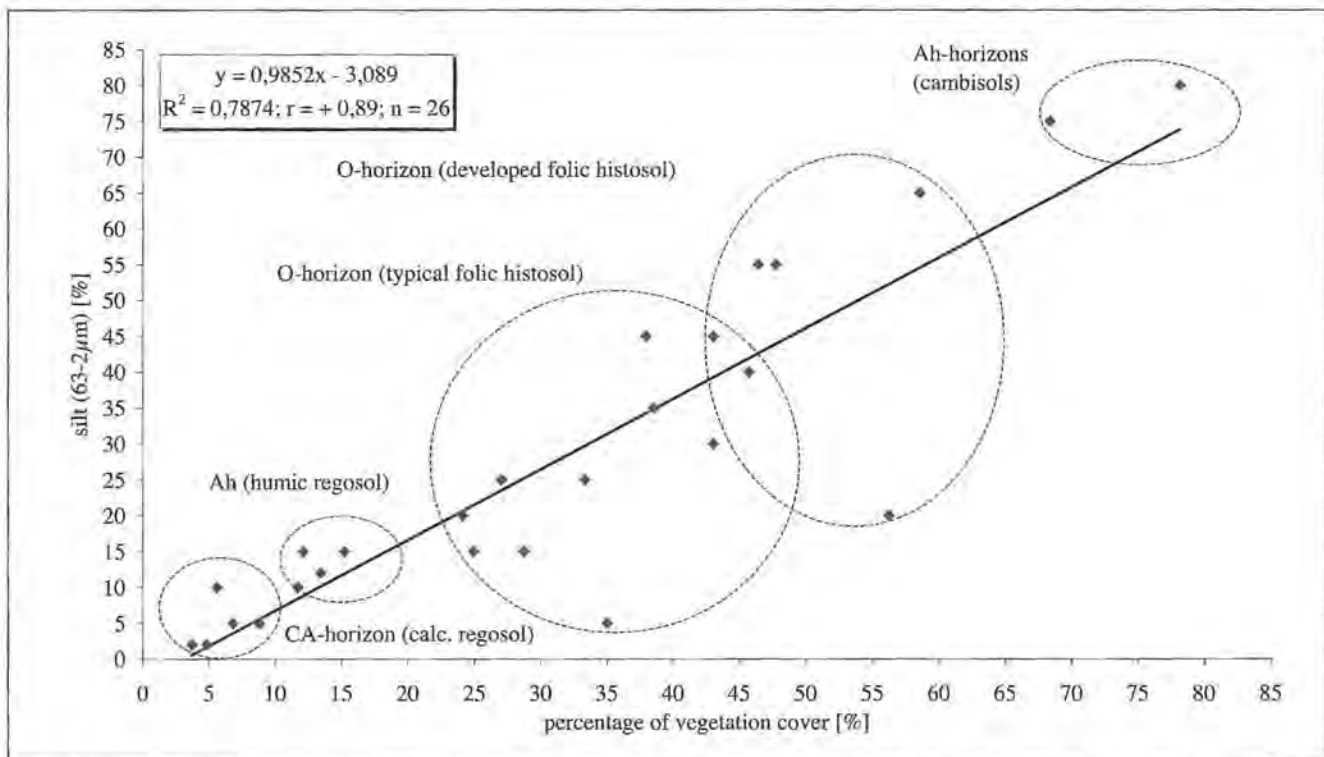
#### 4.1.4 Relief und Vegetation

Neben den primären Gesteins- und Substrateigenschaften hängt die Entwicklungstiefe der autochthonen Böden stark von den Erosions- und Akkumulationslagen im Karstrelief ab. Auf der Reiteralpe sind hier die Großdolinen (Längen bis zu 250 m, Breiten bis zu 100 m)

als Einzelformen der Dolinenfelder im Bereich von Reiertrett, Saugasse, Schwegelalm und Wachterlsteig zu nennen. Dort liegen seltene Bodenkomplexe, die einer Parabraunerde über reliktschem Kalkverwitterungslehm entsprechen (DUFFY 2003; Profil RA\_P18/GD 1).

Der Zusammenhang zwischen Bodenentwicklung und Pflanzensukzession ist im Wetterstein- und Karwendelgebirge aufgrund der großen Höherenstreckung besonders deutlich (CREDNER et al. 1998; ZÖTTL 1950, 1966; SAITNER UND PFADENHAUER 1989; SCHLOTT 1997).

Der Sukzessionsstatus beeinflusst aber auch die rezente Staubdeposition. Dies verdeutlicht der rechnerische Zusammenhang zwischen den Schluffgehalten (63 µm bis 2 µm) in den glimmerreichen Oberbodenhorizonten und dem Bedeckungsgrad der Vegetation. Dieser meint die kartierte Vegetationsbedeckung [%] in unmittelbarer Umgebung des Bodenprofils, das im Zentrum einer Rasterfläche von 4 m<sup>2</sup> liegt (Abb. 4).



**Abb. 4:** Linearer Zusammenhang zwischen dem Bedeckungsgrad [%] der Vegetation und dem Schluff (silt)-gehalt in den Oberflächenhorizonten, inklusive der Ah-Horizonte der allochthonen Braunerden (Zugspitzplatt).

## 4.2 Ergebnisse der Staubuntersuchungen (Eigenschaften)

Es sind 35 Staubproben lichtmikroskopisch untersucht (25 von Schneeoberflächen, 10 aus Regenniederschlag), wovon ein Teil der Voruntersuchung „Zugspitzplatt“ entstammt (OLSZEWSKY 2002).

### 4.2.1 Lichtmikroskopie

#### A) Organisches Material (Auflichtmikroskopie)

Das untersuchte Staubmaterial weist folgende drei Hauptbestandteile auf:

- organische Substanz (> 2 mm), Makroreste
- organische Feinsubstanz (< 2 mm), Mikroreste, „Humus“
- mineralische Substanz (< 2 mm) unterschiedlicher Korngröße und Kornhäufigkeit

Die Detailsprache (Schnee- und Regenproben) ergibt als Bestandteile:

- Zellgewebe, Pflanzenhaare, unregelmäßig geformte braune Humuskolloide
- Reste von Diatomeen
- eingebettete mineralische Körner (z.B. Quarz, Calcit) und Glimmerplättchen
- Gewebefasern industrieller bzw. anthropogener Herkunft (Ski- und Wandertourismus)
- Pilzfäden, Bakterien und Sporen

Darüber hinaus dokumentieren die Schneeproben verbackene Reste bzw. Ausscheidungsprodukte der roten

Schneealge (*Haematococcus pluvialis*). Für die Stäube aus Regenniederschlag sind Kadaver oder Exuvien (Beine, Flügel, Mandibeln, Chitinpanzerreste) von Hochgebirgsinsekten typisch, wie z.B. Schwebfliegen (*Svaeva pyrastris*, *Volucella pellucens*, *Pipiza quadrimaculata*), Mistbienen (*Eristalis stenax*) und Rinderbremsen (*Tabanus sedeticus*). Ebenso häufig sind Pflanzenreste unterschiedlicher Größe (Blatt- und Stängelreste, Pflanzenhaare, Samenkapseln) folgender Hochgebirgspflanzen (alpin bis subnival):

- Polstersegge (*Carex firma*)
- Silberwurz (*Dryas octopetala*)
- Berglöwenzahn (*Leontodontetum* sp.)
- Traubensteinbrech (*Saxifraga paniculata*)
- Alpenmaßliebchen (*Aster bellidiastum*)
- Alpenaster (*Aster alpinus*).

Typisch sind auch Reste der folgenden Arten aus der Bergwaldstufe (montan bis subalpin):

- Weißtanne (*Abies alba*)
- Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*)
- Rotbuche (*Fagus sylvatica*)
- Legföhre (*Pinus mugo*)
- Behaarte Alpenrose (*Rhododendron hirsutum*)
- Rostrote Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*).

#### B) Mineralisches Material (Durchlichtmikroskopie)

Die Bestimmung mit Hilfe von Mikrosieben hat folgende Kornintervalle ergeben:

- Intervall 1 (125 µm bis 63 µm) = Feinstsand
- Intervall 2 (63 µm bis 53 µm) = Grobschluff
- Intervall 3 (40 µm bis 20 µm) = Grobschluff



- Intervall 4 (20 µm bis 10 µm) = Mittelschluff
- Intervall 5 (<10 µm) = Mittel- bis Feinschluff („Feinstkornintervall“)

**Calzit und Dolomit:** Sie sind durch typische Doppelbrechung in allen Proben identifizierbar, jedoch oft nicht voneinander unterscheidbar. Die Proben aus der Karwendelgrube zeigen eindeutig Calzit (meist Feinstkornbereich < 10 µm). Die Minerale weisen deutliche Beanspruchung durch chemische und physikalische Verwitterung auf. Die Teilchen sind oft trüb und scharfkantig. Nur z.T. findet man Spalt-Rhomboeder. Chemisch angewitterte Formen sind faserig und von den Spalten her angelöst.

**Glimmer:** Die Glimmerplättchen konzentrieren sich in den Fraktionen Grobschluff und Feinstsand (Intervall 1 + 2). In Stäuben aus den Gebieten ZP und WKG herrschen Biotite vor. Sie sind häufig intensiv gebleicht, unregelmäßig in ihren Umrissen und randlich aufgelöst. Skelettartige Formen mit deutlich pseudohexagonaler Symmetrie zeugen von intensivem Glimmerabbau entlang von Spaltrissen.

Es treten alle Stadien eines intensiven Biotitabbaus auf, der von der initialen Randzerfransung bis hin zum vollständigen Zerfall in stängelige bis prismatische Bruchstücke geht. Hingegen sind frische, unverwitterte Biotitplättchen selten. Muskovit nimmt in den Proben der Gebiete ZP und WKG eine untergeordnete Rolle ein und ist meist stark korrodiert.

Im Gegensatz dazu zeigen die Proben der RA mehr Muskovit, der in den L-, Of- und Oh-Horizonten bereits makroskopisch erkennbar ist.

**Quarz:** Der trigonale Quarz zeigt sechsseitige Prismen mit pyramidalem Abschluss sowie auf den Längsflächen die unverkennbare Querstreifung.

**Quarzgruppe I:** Sie bezeichnet Körner mit unterschiedlichem Rundungsgrad (Dominanz: 63 µm bis 20 µm; 2. Häufigkeit < 20 µm). Besonders in der WKG treten in den Schneeproben vorwiegend wohlgerundete Quarzkörner von gelblicher Farbe auf (< 20 µm). Sonst sind sie klar, z.T. aber auch durch unregelmäßige Mikrorisse getrübt und dann grau bis milchig weiß.

Häufig tragen sie Eisenoxid-Beläge auf den Oberflächen, während Fremdmineraleinschlüsse sehr selten sind. Starke Zurundung und Eisenbeläge (Stichwort: Wüstenlack) treten oft gemeinsam auf.

**Quarzgruppe II:** Diese Feinstfraktion (≤ 20 µm) zeigt scharfkantige, spröde Bruchfazies (muscheliger bis splittiger) und nur sehr selten Oberflächenüberzüge. Die frischen Bruchflächen weisen auf jüngste Entstehung hin. Ursache ist meist der Prozess der Saltation bei der Windverfrachtung (BAGNOLD 1941; GILLETTE et al. 1974; PYE 1987; SHAO et al. 1993). Bei mineralogischer Übereinstimmung ist auch der Eintrag aus näherer Umgebung dokumentiert.

**Feldspäte:** Oft fallen Feldspäte durch ihre vollkommene Spaltbarkeit auf. Sie sind wenig verwittert und nur selten mit Quarz verwachsen. Die RDA zeigt für die Zugspitzproben eine klare Identifikation von Orthoklas (OLSZEWSKY 2002). In den anderen Gebieten wurden ebenso Plagioklase, vor allem Albit gefunden.

**Chlorit:** Er tritt mikroskopisch nur in der WKG in zwei Proben aus Neuschnee nach ausgeprägter Südströmung auf. Der primäre Chlorit zeigt aufgeschuppte Plättchen im Feinstkornbereich (< 10 µm). Schließlich sind in der Kornfraktion hochlichtbrechende, längsgestreckte bis ovale Minerale (vermutlich Zirkone) sowie massenhaft Tonminerale (< 20 µm) vorhanden. Die genaue Ansprache erfolgt mit Hilfe der Schwermineral- bzw. Röntgenanalyse (Kap. 4.2.2).

### C) Kornhäufigkeitsintervalle der Minerale

Die Häufigkeitsverteilung der Korngrößen der Minerale wird als Kriterium für die Transportstrecke und somit für die Zuordnung von Liefergebieten verwendet.

Meist treten die Minerale in der Schluff-Fraktion (63 µm bis 20 µm) auf, mit einer zweiten Häufigkeit im Mittelschluff (20 µm bis 6,3 µm).

Glimmer und z.T. die Quarzgruppe I zeigen ein Maximum im Grobschluff (bes. 63 µm bis 53 µm). In der zweiten Häufigkeit tritt Glimmer in der Feinstsand-Fraktion (63 µm bis 125 µm) dazu.

Die Quarzgruppe II mit scharfkantiger Bruchfazies, Feldspäte und Calzit (eckig, frisch) dominieren den Feinstkornbereich < 20 µm.

Das gilt auch für Quarzgruppe I, die im zweiten Maximum ebenfalls Korngrößen < 20 µm zeigt. Calzit tritt zudem auch verstärkt im Mittelschluff-Bereich (20 µm bis 6,3 µm) auf. Schließlich findet man in allen Proben massenhaft Ton- und Schwerminerale im Feinstkornbereich < 10 µm. (Tab 28)

### Interpretation

Das Staubmaterial aus Neuschnee proben wird dem Ferntransport zugeordnet, da bei Strecken von mehreren 100 km tonmineralreiches Material der Größe < 16 µm erzeugt wird (PYE 1989, S. 121). Damit sind Calzit und Feldspäte (< 20 µm) in diesen Proben ebenso ferntransportiert.

Größere Klaster (> 20 µm) in den Stäuben aus der abbauenden Schneedecke sowie im Staub aus Regenniederschlag deuten auf kürzere Transportstrecken. Frische Biotite und Glimmer weisen auf nähere Gebiete, wie z.B. die kristallinen Zentralalpen.

Das Überwiegen der Schwerminerale in der Fraktion < 10 µm in den Regenproben wird mit dem primären Verwitterungsstatus der Gesteinsserien in den Liefergebieten erklärt. Auch ist eine verstärkte Aufbereitung durch sekundären Transport innerhalb der Liefergebiete (z.B. fluvial, äolisch) in Form von Gesteinsabrieb in Betracht zu ziehen.

In diesen Fällen ist die Korngröße alleine noch kein eindeutiger marker für die Transportstrecke, sondern braucht den Bezug zur Mineralkornverteilung (BAGNOLD 1941; GANOR 1991; GRAEDEL und FRANNEY 1989). Im zusammenfassenden Vergleich zeigen sich große Ähnlichkeiten mit anderen Analysedaten, besonders von Saharastäuben (Tab. 29).

**Tab. 28:** Häufigkeitsintervalle der Minerale in Stäuben von Schneeoberflächen.

Phase des Schneedeckenaufbaus (Winter: Okt. bis März)		Häufigkeitsintervall [ $\mu\text{m}$ ]
Mineralgehalt	Calzit, Dolomit	< 10; < 20
	Glimmer (Biotit, Muskovit) in allen Stadien des Glimmerabbaus	63 – 20; < 20
	<b>Quarzgruppe I:</b> gerundete Quarze mit Eisenoxidbelägen, gelb, z.T. milchig weiß bis grau, meist klar, z.T. mit Mikrorissen getrübt	63 - 20; < 20
	<b>Quarzgruppe II:</b> eckige frische Bruchfazies ohne Oberflächenüberzüge	$\leq 20$
	Feldspäte: Orthoklas und Albit wenig verwittert, selten mit Quarz verwachsen	$\leq 20$
	Primärer Chlorit und Spuren von Hämatit Tonminerale (Gibbsit, Kaolinit, Illit)	<10
	Schwerminerale (bes. Zirkon, Rutil, Turmalin, Hornblende)	100 – 250
Organisches Material	Bakterien, Sporen, Pilzhyphen, Pflanzenhaarreste, Diatomeen, braune Humuskolloide	< 2000
Phase des Schneedeckenabbaus (Frühjahr: Mai bis Juli)		Häufigkeitsintervall [ $\mu\text{m}$ ]
Mineralgehalt	Calzit, Orthoklas Glimmer (frische Biotitstücke), frische braune/grüne Hornblende Quarzgruppe I und II	20 – 6,3 125 – 63; 63- 20
	Tonminerale (Illite, Kaolinit)	< 20
	Schwerminerale (bes. Granat, Staurolith, Disthen, Epidot-Zoisit-Gruppe)	100 – 250
	Organisches Material	Hochgebirgspflanzen (alpin bis subnival) Baumarten aus der Bergwaldstufe (montan bis subalpin) Kadaverreste von Hochgebirgsinsekten
	Pollen von Gebirgspflanzen (Kalk- u. Zentralalpen) Pflanzenhaare, Bakterien, Sporen, Pilzhyphen rote Schneeealge ( <i>Haematococcus pluvialis</i> ) Diatomeenreste	< 2000
Methoden: RDA, Lichtmikroskopie und Schwermineralanalyse		

**Tab. 29:** Korngrößen von Saharastäuben auf Schneeoberflächen in den Alpen.

Lokalität der Probe	Mittlere Kornfraktion [ $\mu\text{m}$ ]	Art der Probe	Untersuchung
Ostalpen, verschiedene Stellen	30 – 1	Staub der Schneeoberfläche	BECKE 1901
Davos, Schweizer Alpen	5 – 3	Staub der Schneeoberfläche	GLAWION 1939
Hoch-Pyrenäen/Frankreich	12 – 3	Staub der Schneeoberfläche	BÜCHER 1986
Colle Gnifetti/Schweizer Alpen	20 – 0,8	Staublage in Gletschereis und Schnee	WAGENBACH und GEIS 1989
Jungfrauoch/Schweizer Alpen	16 – 0,06	Staublage im Gletschereis	SCHWIKOWSKI et al. 1995; TSCHIRSCH et al. 1990
Mont Blanc, Frankreich	10 – 5	Staublage in Gletschereis und Schnee	De ANGELIS und GAUDICHET 1991
Monte Rosa, Schweiz	20 – 5	Staublage im Gletschereis	WEISSHAAR et al. 1999
<b>Nördliche Kalkalpen:</b> - alle Minerale - gerundete Quarze, Calzit - Feldspäte - Tonminerale	<b>20 – 6,3</b> <b>&lt;20</b> <b>&lt;10</b> <b>&lt;10</b>	Staub von Schneeoberflächen	Diese Arbeit

#### 4.2.2 Mineralanalysen

##### A) Schwermineralspektren

Die Identifizierung von Schwermineralen (Methode RAST 1991) wird an drei Referenzproben vorgestellt:

**Referenzprobe 1:** Bräunlicher (10 YR 3/2) Staub von Schneeoberflächen (30.05.03)

**Referenzprobe 2:** Graues Sediment auf Altschneeresten (31.07.02)

**Referenzprobe 3:** Staub aus Aih-Horizonten, trocken als Feinerde abgeseibt

**Referenzprobe 1:** Es überwiegen eisenreiche Glieder der Epidot-Zoisitgruppe, Hornblende und Granat, der gegenüber mechanischem Transport sehr widerstandsfähig ist.

Auffällig ist Staurolith, ein Mineral der mesozonalen Regionalmetamorphose.



**Tab. 30:** Gesamt- und Restspektrum der Schwerminerale von Staub (Referenzprobe 1).

Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1-0,25mm													
Referenzprobe 1	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme	
	19	1	3	0	3	13	2	0	31	27	1	134 <sup>1)</sup>	
Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm													
Referenzprobe 1	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme		
	1	4	0	4	16	3	0	39	33	1	108 <sup>1)</sup>		

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)  
 1) Beachte schlechtere Statistik wegen geringer Kornpopulation!

**Tab. 31:** Gesamt- und Restspektrum der Schwerminerale von Staub (Probe KG\_P11).

Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1mm-0,25mm													
Probe	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme	
KG_P11/1 Aih 0-2cm	29	3	0	0	0	6	0	0	32	29	0	31 <sup>1)</sup>	
Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1mm-0,25mm													
KG_P11/1 Aih 0-2cm	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme		
	5	0	0	0	9	0	0	45	41	0	22 <sup>1)</sup>		

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidot (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)  
 1) Beachte schlechtere Statistik wegen geringer Kornpopulation!

Die Häufigkeit der extrem Stablen (Zirkon, Turmalin, Rutil) ist sehr gering (Tab. 30).

**Referenzprobe 2:** Das schluffig-sandige Substrat zeigt deutlich magnetische Minerale (wenige Opake als Erzframboide). Es treten kaum Schwerminerale auf (drei Granate, zwei Zirkone, ein Rutil, ein Staurolith, zwei frische Hornblendes). Die Röntgenanalyse zeigt Karbonatdominanz mit Dolomit (ca. 99%) und Quarz < Calcit. Es dominiert die Fraktion < 0,1 mm. Auffällig sind die eckigen Karbonate (Bruchfazies).

**Interpretation:**

Die Dolomitdominanz kann erstens aufgrund der Korngröße von Dolomit und Calcit dann mit Ferntransport erklärt werden, wenn passende Gesteinsserien in den Liefergebiete liegen (CHESTER und JOHNSON 1971 a,b; CHESTER et al. 1971; CHESTER et al. 1984; LITTMANN 1991; NIHLEN und SOLYOM 1989). Dem widerspricht das Fehlen von Feldspäten in der Probe.

Die Dolomitvorherrschaft kann zweitens Lokaleinfluss zeigen, erklärbar aus der lokalpetrographischen Situation der unmittelbaren Umgebung. Die „Sonderfazies im oberen Wettersteinkalk“ (SCHNEIDER 1954, S. 12) zeichnet sich nämlich im Übergangsbereich zu den Raibler Schichten durch Lagen aus bituminösen Kalk-Dolomitgesteinen aus. Sie sind akzessorisch mit sulfidischen Erzen (Pb, Zn, Fe) angereichert. Unter den Fe-haltigen sind Markasit, Pyrit, Limonit und Siderit zu nennen. Die identifizierten Erzframboide im Sediment deuten auf Pyrit hin (SCHNEIDER 1954, S. 24).

**Referenzprobe 3 :** Das glimmerhaltige Sediment (2,5 Y 6/3) ist typisch für die Leehänge der Westlichen Kar-

wendelgrube . Das hier genannte Windsediment baut den Aih-Horizont (0-2 cm; pH: 6.9) einer initialen Polsterrendzina (initial Rendzic Leptosol) auf, die über Hangschutt aus Muschelkalk liegt (Tab. 31).

**Interpretation:**

Das Spektrum ist hinsichtlich der Hauptbestandteile mit Referenz 1 vergleichbar, wenn auch Disthen, Apatit und Turmalin zugunsten von Zirkon fehlen. Auch hier belegt die sehr frische Hornblende rezentes Eintrag. Ebenso unterstreicht der hohe Anteil an Granat, der hinsichtlich mechanischer Beanspruchung sehr stabil ist (BOENIGK 1983), den jungen Verwitterungszustand.

Die Referenzprobe 3 dokumentiert Liefergebiete in den Zentralalpen mit metamorphen (Chlorit, Disthen, Epidot, Granat, Rutil, Staurolith, Turmalin, Zoisit) und magmatischen (Apatit, Glimmer, Hornblende, Quarz, Zirkon) Gesteinsserien. Sie ist den Spektren von BECKE (1901) aus dem Ostalpenraum vergleichbar. Jedoch wären solche Mineralspektren „auch mit der Abstammung des Staubes aus Nordafrika vereinbar, wenn gleichzeitig die meteorologischen Erscheinungen für diese Herkunft...“ gegeben sind (BECKE 1901, S. 321).

Diese Aussage trifft für Referenzprobe 1 zu. Sie wurde am Übergang einer Troglage über Mitteleuropa zu einer Hochdrucklage über Mitteleuropa, verbunden mit hoher Südwindtätigkeit, genommen (30.05.03). Ferntransport ist auch wegen der Ähnlichkeit mit den Mineralspektren von Saharastäuben aus den Schweizer Alpen wahrscheinlich (GLAWION 1938; 1939; GÖTZ 1954).

**B) Silikatische Leichtminerale (Methode: RDA)**

Die Röntgenanalyse (Referenzproben 1 und 2) identifiziert in Einklang mit den lichtoptischen Befunden die Mi-

**Tab. 32:** Relative Mineralhäufigkeit in den Referenzproben 2 und 3 (Methode: RDA).

Probe	Verteilung der silikatischen Leichtminerale			
	Hauptkomponente	Nebenkompone	wenig	Spuren / Bemerkungen
Referenz 2	Dol		Qz<Ca	kein KF, Alb
Referenz 3	Qz	Cc>Dol>Alb	KF	

Semiquantitative Bestimmung aus dem Verhältnis der Peak-Höhen an texturlosen Feinbodenpräparaten, Qz = Quarz; KF = Kalifeldspäte; Alb = Albit; Cc = Calzit; Dol = Dolomit

Probe	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]				
	ML <sub>Illit/sm</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kaolinit <sup>3)</sup>	Chlorit	∑ K+Ch
Referenz 2	6	51 <sup>qu</sup>	20	23	43
Referenz 3	16 <sup>45</sup>	57 <sup>qu</sup>	0	27	27

1) ML<sub>Illit/sm</sub> = unregelmäßige Wechsellagerungsminerale aus Illit und Smektit. Die Indexzahlen geben die Gehalte quellfähiger Schichten an, i.e. des Smektit in Rel.-%.  
 2) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar). Der Index zeigt die randliche Aufweitung der Schichten an.  
 3) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)

**Tab. 33:** Prozentuale Verteilung der Hauptbestandteile in Staubproben (Methode: RFA).

Probenmaterial	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total	CaO	MgO
<b>Referenzprobe 1:</b> Brauner Staub (diese Arbeit)	49,90	8,12	6,10	11,13	2,60
<b>Referenzprobe 2:</b> Sediment auf Altschneeresten (diese Arbeit)	5,31	2,59	1,91	29,34	35,91
<b>Referenzprobe 3:</b> Sediment aus Aih-Horizonten (2260m, diese Arbeit)	64,0	8,75	5,10	2,44	1,79
Saharastaub aus Regen (Fiume 11.03.1901, Schweizer Alpen; BECKE 1901)	49,49	12,10	9,96	11,46	0,41
Saharastaub trocken deponiert (Staubfall Arosa 20./21.05.1937; GLAWION 1939)	75,10	0	6,80	0,11	1,60
Saharastaub aus Regen (n = 7; Staubfälle Europa; COUDÉ-GAUSSE 1982)	58,0	11,0	6,10	8,60	2,70

nerale Calzit, Dolomit, Quarz, Glimmer und Feldspat (Tab. 32).

**Interpretation:**

Auffällig ist die Quarzhäufigkeit in Referenzprobe 3. Obwohl Quarz als lokales Verwitterungsprodukt der Hornsteinknollen im oberen Muschelkalk interpretierbar ist (JERZ und ULRICH 1966), erhärten die gerundeten Quarze mit Eisenbeläge (Quarzgruppe I) die Wüstenprovenienz. Die detektierte Illit-Dominanz (51% und 57 Rel.-%) und die Schwerminerale sind eindeutige Lösszeiger (DAHMS 1991-1993; MIZOTA et al. 1988; PEINEMANN und GARLEFF 1981; PYE 1984).

Der hohe Chloritgehalt (23% und 27 Rel.-%) spiegelt den auffälligen Hornblende- und Epidot-+Zoisitgehalte wider. Lieferquellen sind Metamorphite der Grünschieferfazies. Theoretisch könnte es sich aber auch um sekundären Bodenchlorit handeln. Jedoch ist das Bodenmilieu des Aih-Horizonts (pH: 6,9) zu alkalisch, um freigesetzte Al<sup>3+</sup>-Ionen als Polyhydroxy-Al(Fe) in den Zwischenschichträumen von z.B. Illiten zu fixieren. Außerdem wird die primär allochthone Herkunft durch das Fehlen von Chlorit in den Lösungsresiduen von Wettersteinkalk und Muschelkalk unterstrichen (HÜTTL 1999; KUHLEMANN et al. 1999; KUBIENA 1944,1953; REYNOLDS 1971).

**C) Haupt- und Spurenelemente (Methode: RFA)**

Die SiO<sub>2</sub>-Gehalte der hier untersuchten Referenzproben 1 und 3 liegen zwischen 49% und 64%. Gut harmonisiert Referenzprobe 1 wieder mit dem Saharastaub aus BECKE (1901). Ebenso ist die Hauptelementverteilung der Referenzprobe 3 (78% SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4,2% CaO+MgO) mit der mittleren Zusammensetzung von Saharastäuben aus Regen vergleichbar (COUDÉ-GAUSSE 1982) (Tab. 33).

**Interpretation:**

Die größeren Schwankungsbereiche der Hauptbestandteile SiO<sub>2</sub> und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> werden auf die unterschiedliche Herkunft der Staubproben zurückgeführt. Das gilt nicht für Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, das im üblichen Schwankungsbereich liegt (3% bis 10%) und somit schwer Aussagen über Herkunftsunterschiede geben kann (PÉCSI und RICHTER 1996; RENDELL 1989; VÖLKELE 1991b; VÖLKELE 1994, 1995; VÖLKELE und RAAB 1999).

**4.2.3 Chemische Analyse der Feinfraktion**

**A) Stäube aus Schneeproben**

Die mittlere chemische Zusammensetzung basiert auf Einzeldaten aus 75 Proben (Einzelwerte Kap. 10.6). Die



**Tab. 34:** Mittlere chemische Zusammensetzung der Feinfraktion (< 2 mm) von Staub auf Schneeoberflächen.

Probengruppen	Herbstproben (Oktober)			Winterproben (Dezember bis Februar)			Frühjahrsproben (Mai bis Anfang Juli)		
	ZP	WKG	RA	ZP	WKG	RA	ZP	WKG	RA
Untersuchungsgebiet									
Silikat [%]	59,5	20,3	87,2	89,1	94,7	95,7	59,7	55,9	58,8
Humus [%]	31,2	32,0	12,5	0	0	0	34,6	43,5	37,5
Karbonat [%]	9,3	47,7	0,3	10,9	5,3	4,3	5,7	0,6	3,3
Gesamtstaub [%]	100	100	100	100	100	100	100	100	99,6
Berechnungsgrundlage: Summen der Staubmengen [mg] pro Gebiet im jeweiligen Messzeitraum									

**Tab. 35:** Mittlere chemische Zusammensetzung der Feinfraktion (< 2 mm) von Staub aus Regenniederschlag.

Gebiet	Zugspitzplatt		Karwendelgrube		Reiteralpe	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003
Meißommer						
Silikat [%]	56,1	59,1	49,1	67,0	58,2	67,1
Humus [%]	40,9	40,0	49,0	32,0	41,1	31,1
Karbonat [%]	3,0	0,9	1,9	1,0	0,8	1,8
Gesamtstaub [%]	100	100	100	100	100	100
Berechnungsgrundlage: Summen der Staubmengen [mg] im jeweiligen Messzeitraum						

**Tab. 36:** Mittlere Korngrößenverteilung [Vol.-%] der Feinfraktion (< 2 mm) von Staub auf Schneeoberflächen.

Probengruppen	Untersuchungsgebiet	Herbst/Winter (Oktober bis Februar)			Frühjahr (Mai bis Anfang Juli)		
		ZP	WKG	RA	ZP	WKG	RA
Korngrößenintervalle:							
Ton	< 2µm	3,8	17,4	8,5	10,6	11,5	8,8
Feinschluff	2-6.3µm	17,2	22	21,6	16,3	15,3	19,0
Mittelschluff	6.3-20µm	30,1	29,2	30,6	26,8	23,1	26,0
Grobschluff	20-63µm	41,2	24,8	30,4	21,0	24,7	23,7
Feinsand	63-200µm	7,0	6,0	7,4	11,7	16,1	17,0
Mittelsand	200-630µm	0,9	0,6	1,5	13,6	7,9	5,6
Grobsand	630-2000µm	0	0	0	0	1,3	0
Summe:		100	100	100	100	99,9	100,1

Stäube der Winterproben (Dezember bis Februar) sind ausschließlich mineralischer Natur und bestehen über alle Gebiete gemittelt zu 93% aus Silikat und nur zu 7% aus Karbonat. Hingegen kennzeichnet Humus mit ungefähr ein Drittel der Feinfraktion die Herbst- und Frühjahrsproben (Tab. 34).

#### B) Stäube aus Regenproben

Die Stäube aus Regen zeigen über alle Gebiete gemittelt 39% Humus, 59% Silikatstaub und 2% Gesamtkalk (Silikat: Min.: 1%; Max.: 99%; Humus: Min.: 0%; Max.: 100 %). Im Messsommer 2003 treten im Vergleich zu 2002 höhere Silikatanteile (mittlere Zunahme: 10%) auf (Tab. 35).

#### 4.2.4 Korngrößenverteilung

##### A) Stäube aus Schneeproben

Die Textur kennzeichnet die Staubproben anhand der Korngrößenverteilung der mineralischen Feinsubstanz (< 2 mm). Die Tongehalte schwanken je nach Probenart

und bezeichnen Sandschluffe sowie Lehmschluffe. Die Textur „reiner Schluff“ markiert Stäube aus Neuschneeproben. Schwach sowie mittel toniger Schluff dominiert in den Herbst- und Winterproben, sandig-lehmiger Schluff hingegen in den Frühjahrsproben. Die Mittelwerte für die Probenarten sind als Kornsummenkurven dargestellt (Einzelwerte Kap. 10.4) (Abb. 5).

Die jahreszeitlichen Einflüsse auf die Kornzusammensetzung zeigen sich in einer markanten Zunahme der Sandfraktion in den Frühjahrsproben um den doppelten bis vierfachen Wert. Besonders der Mittelsand ist auffällig. Gleichzeitig sinken die Schluffgehalte, markant der Grobschluff um ca. 50% in den Proben des Zugspitzplatts (Tab. 36).

##### B) Stäube aus Regenproben

Die mittlere Korngrößenverteilung pro Messtermin zeigt Schluffdominanz mit Werten zwischen 55% und 81% (MW = 69,8; n = 13). Die Summe aus Mittel- und Grobschluff (6,3 µm - 63 µm) beträgt durchschnittlich 50% (ZP: 49%; WKG: 47%; RA: 55%). Sand tritt bedeutend in den Proben der Karwendelgrube auf (Mittelsand: 7%

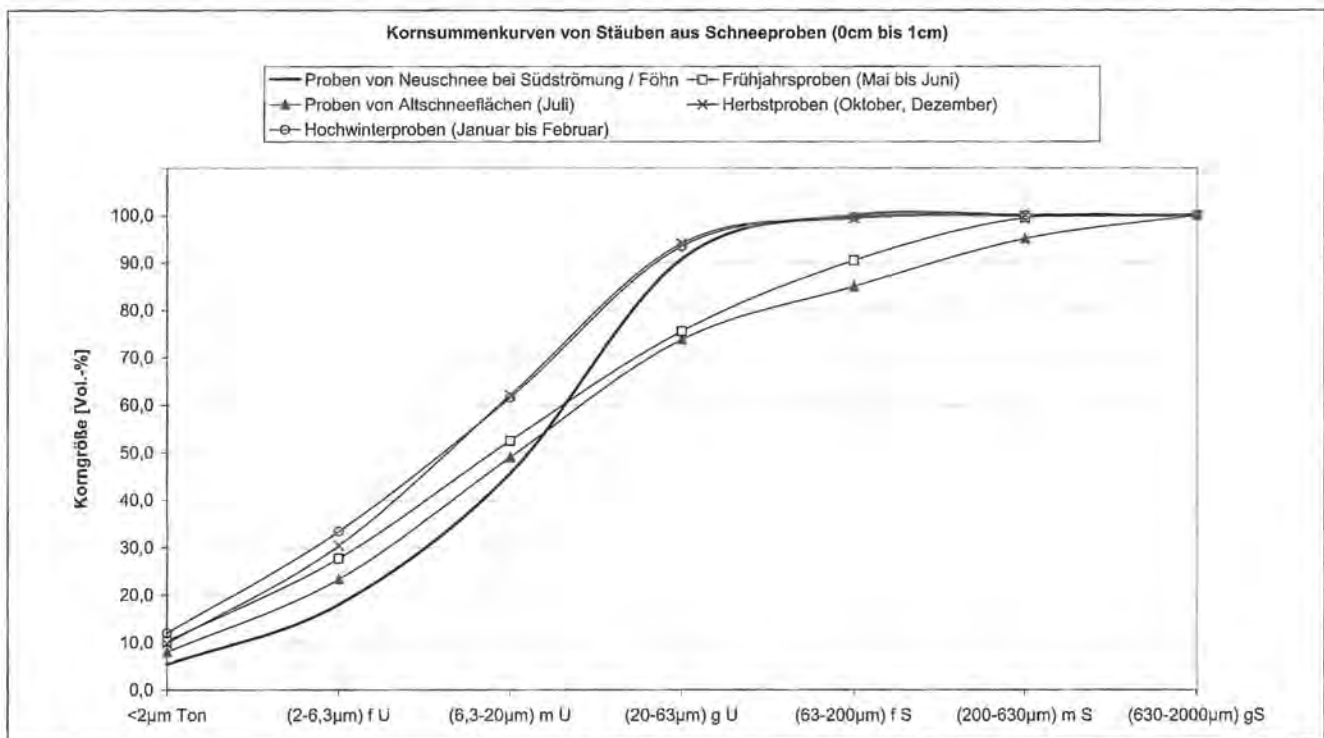


Abb. 5: Kornsummenkurven von Stäuben aus Schneeproben. (Mittelwerte aus allen Gebieten; Basis: 4 Einzelproben pro Gebiet und Probentyp; Einteilung der Abszisse als Rubriken, nicht logarithmisch).

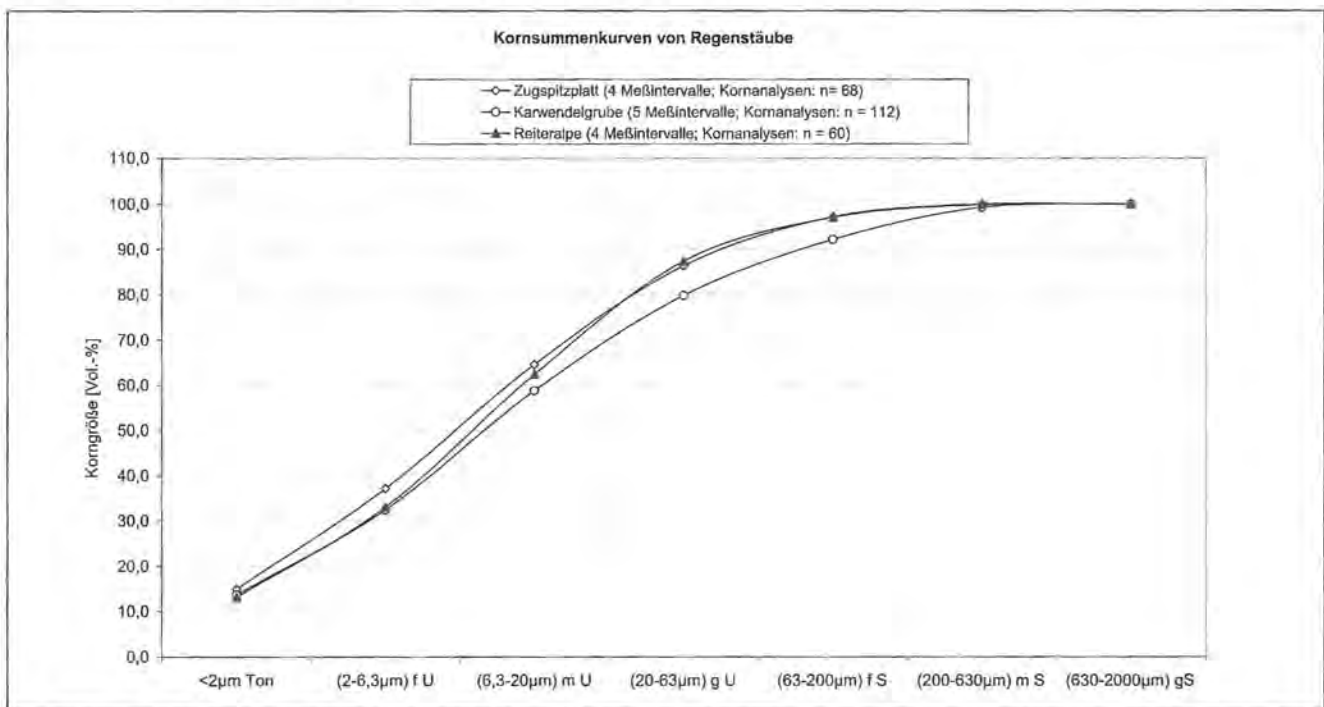


Abb. 6: Kornsummenkurven von Stäuben aus Regen (Mittelwert: 10 Einzelwerte pro Meßstelle und Leerungstermin; Einteilung der Abszisse als Rubriken, nicht logarithmisch).

bis 9%). Die Einzelproben zeigen schwach bis mittel tonige Schluffe bis hin zu sandig-lehmigen Vertretern. Als Haupttexturtypen treten je nach Ton- und Sandgehalt Ton- bzw. Sandschluffe sowie reine Schluffe auf. Die Zusammenfassung zu mittleren Kornsummenkurven zeigt ein sehr einheitliches Bild (Einzelwerte Kap. 10.4). Die Stäube aus Regen in dieser Darstellungsart sind Lehmschluffe (Abb. 6).

### 4.3 Ergebnisse der Analysen von rezent-äolisch beeinflussten Böden

Die Analysedaten der organogenen Böden des Zugspitzplatts finden sich in HÜTTL (1999), die Einzeldaten aus dem Karwendelgebirge in SCHLOTT (1997) sowie im Anhang (Kap. 10.2, 10.3 und 10.5).



### 4.3.1 Autochthone Böden - Zugspitzplatt

Die Rendzinen und O/C-Böden sind in bezug auf ihre Flächendeckung die Hauptbodentypen (HÜTTL 1999). Die Mächtigkeit und Ausprägung ihrer organischen Oberböden (A-, O-Horizonte) variiert in Abhängigkeit vom Bedeckungsgrad und den Entwicklungsstadien des Polsterseggenrasens *Caricetum firmæ* (FRIES 1985; ZÖTTL 1950, 1966). Auffällig sind lehmig-tonige Mischhorizonte (Oh+T) von schwarzbrauner Farbe (10 YR 3/2, 7.5 YR 4/4), die oft unter den schwarzen Oh-Horizonten (10 YR 1.7/1, 10 YR 2/1, 10 YR 2/2) ausgebildet sind. Über dem Ausgangsgestein sind initiale T-Horizonte (2 cm bis 5 cm) mit deutlicher Braunfärbung (10 YR 4/4, 7.5 YR 4/4) häufig. Sie repräsentieren die autochthone Mineralbodenbildung aus Wettersteinkalk.

In Anlehnung an die Sukzessionsstufen (initial, typisch, reif) von *Caricetum firmæ* werden die Polsterrendzinen bzw. O/C-Böden auf dem Zugspitzplatt in drei Entwicklungsstadien eingestuft:

- initial (Ah bzw. Oh: bis 5 cm)
- typisch (Ah bzw. Oh > 5 cm)
- reif (Oh > 5 cm + T-Horizont)

In Kombination mit den bodenkundlichen Merkmalen (Humusform, organische Substanz, Horizontmächtigkeit, pH-Wert) ergibt sich folgende Einteilung (Tab. 37).

#### A) Laboranalytische Charakterisierung - Zugspitzplatt

##### A1. Organische Substanz

Die O-Horizonte der Mull- und Moderauflagen von schwarz bis rotschwarzer Farbe (2.5 Y 2.5/1, 5 Y 2.5/1, 10 YR 2/1, 10 YR 2/2) sind sehr bis extrem humos. Im Sinne der Entwicklungsreihe nimmt die Mächtigkeit der Humusaufgaben vom Initialstadium der Syrosem-Rendzina (Aih, AhCv) bis hin zum Klimax der reifen Oh-Hori-

zonte zu. Die mineralischen T-Horizonte unterscheiden sich deutlich, obwohl dort auch Humuseintrag (15% bis 20%) stattgefunden hat (Tab. 38).

##### A2. Verlehmungsprodukt

Alle organischen Horizonte zeigen Glimmer und Verlehmungsanteile, besonders deutlich die Oh-Horizonte der typischen und reifen Polsterrendzina mit hohem Potenzial zur Ton-Humus-Kopplung. Zur laboranalytischen Kennzeichnung führt BOCHTER (1983, S.20) das Verlehmungsprodukt VL [%] zum „Ausdruck der Verlehmung eines Horizontes“ ein. VL wird als prozentualer Anteil bezogen auf die Bodenprobe dargestellt. Laboranalytisch setzt sich die Feinerdefraktion der organogenen Gebirgsböden aus vier Hauptbestandteilen zusammen (BOCHTER 1983):

1. Streureste < 2 mm
2. Humus (org. Substanz < 2 mm)
3. Gesteinsabrieb (Bodenkarbonat der Feinerde < 2 mm)
4. Mineralische Bodensubstanz (Verlehmungsprodukte < 2 mm)

$$VL = 100\% (\text{Boden} < 2 \text{ mm}) - \text{Summe (org. Substanz} [\%] + \text{CaCO}_3 < 2 \text{ mm} [\%])$$

Die Einzelwerte von VL [%] schwanken stark (0,4% bis > 80%) mit dem Trend einer steigenden Verlehmung vom Initialstadium hin zu den T-Horizonten der reifen Polsterrendzina im Sinne der Bodenentwicklungsreihe (Abb. 7).

Die schwache Verlehmung der meisten Aih-Horizonte geht mit hohen Karbonatgehalten (> 80%) einher. Sie stammen vom „Gesteinsabrieb“ (BOCHTER 1983, S. 20), der dem geringen Entwicklungsstatus entspricht. Schluff- und Feinsandanteile des Gesteinsabriebs können lokal-äolisch, die größeren Partikel auch mit Hang-

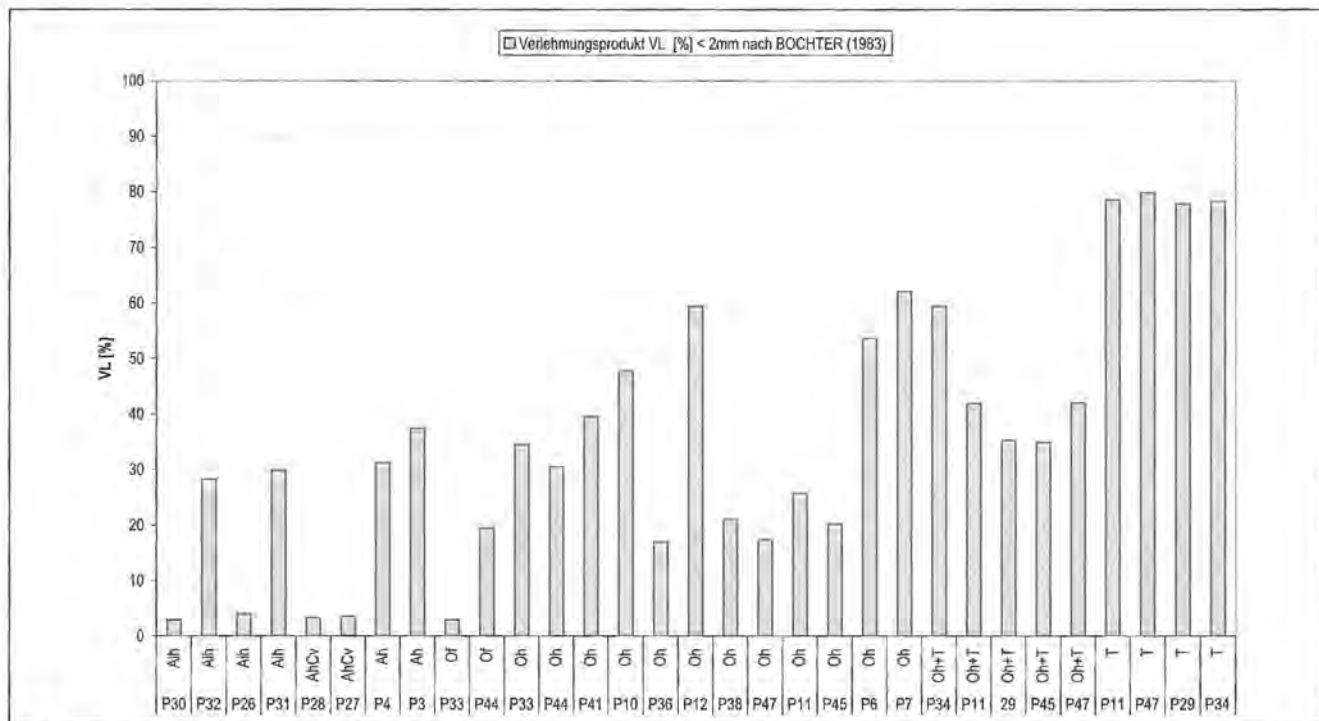


Abb. 7: Verlehmungsprodukte [%] der Bodenhorizonte, Zugspitzplatt.

Tab. 37: Autochthon-organogene Bodentypen der alpinen Stufe, Zugspitzplatt.

Entwicklungsstadium der Vegetation <sup>1)</sup>	Bodentyp nach AG Boden (1996) nach WRB (1998) <sup>2)</sup>	Horizontierung und Charakteristik	pH-Wert
<b>Initiales</b> <i>Caricetum firmae</i> Th+Lm, Sr im Übergang zu Cf	a) Lockersyrosem-Rendzina, Protorendzina b) Polsterrendzina  <i>initial Rendzic Leptosol</i> <sup>2)</sup>	a) Aih/C; Aih < 3cm b) Ah/C; Ah < 10cm  Ah-R <sup>2)</sup>	pH 7,5 – 8,2 pH 7,2 – 7,9
<b>Typisches</b> <i>Caricetum firmae</i> in Schattlagen: Ac + Cf	a) Rendzina / Polsterrendzina b) O/C Boden c) Moderrendzina / Pechrendzina  <i>typic Folic Histosol; Rendzic Leptosol</i> <sup>2)</sup>	a) Ah/C; Ah 10 bis 40cm b) O/C; Oh>10cm; c) Of/Oh/C; Of/Oh > 10 cm  O-R; Ah-R <sup>2)</sup>	pH 6,8 – 7,2 pH 5,5 – 6,8 pH 5,4 – 6,5
<b>Reifes</b> <i>Caricetum firmae</i> Übergang zwischen Cf typisch und <i>Seslerio Caricetum semp.</i>	a) Mullrendzina  b) Sondervarietät: Reife Polsterrendzina  <i>developed Folic Histosol with initial cambic features (OB) or / and small Bt-horizon</i> <sup>2)</sup>	Ah/C; Ah >40cm  (O)/Oh+T/(T)/TC <sup>3)</sup> Oh > 20 cm, Oh+T > 5 cm T < 5cm  OB-C <sup>2)</sup> ; (O)-OB-(Bt)-BC <sup>2)</sup> O > 20 cm or OB > 5 cm Bt < 5cm,	pH 6,1 - 6,5  pH 5,7 – 6,0 pH 5,6 – 5,9

- 1) Abkürzung der Pflanzenassoziationen:  
 - Ac = *Arabidetum caeruleae* (Gänsekresse-Boden) in lange schneebedeckten, schattigen Lagen  
 - Cf = *Caricetum firmae* (Polsterseggenrasen) auf Fels, Schutt, Moräne  
 - SCs = *Seslerio Caricetum sempervirentis* (Blaugras-Horstseggenrasen) auf Moräne, äolischen Substraten  
 - Sr = *Salicetum retuso-reticulatae* (Spalierweiderasen) auf Schutt und Fels  
 - Th + Lm = *Thlaspietum rotundifolii* (Täuschelkrauthalde) und *Leontodontetum montani* (Bergglöwenzahnhalde) bevorzugt auf Moräne, Schutt
- 2) Horizontierung und mögliche Benennung gemäß World Reference Base (1998)
- 3) Horizontsymbole in Klammer: Horizont nicht immer vorhanden, z.B. (Bt); O = organische Substanz > 30%; Ah = organische Substanz < 30%

Tab. 38: Organische Substanz und Horizontmächtigkeit in autochthonen Böden.

Entwicklungsstadium	Horizont	Profile	Org. Substanz (C <sub>org</sub> x 1.72) [%]			Horizontmächtigkeit [cm]		
			Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel
<b>Initial:</b> Protorendzina	Aih	P26, P30, P31, P32	2,5	16,0	<b>9,7</b>	4	10	<b>7</b>
<b>Initial:</b> mullartige Rendzina	Ah	P27, P28, P4, P3	8,2	29,1	<b>17,7</b>	5	13	<b>10</b>
<b>Typisch:</b> O/C-Böden, Moderrendzina, Tangelrendzina	Of	P33, P44, P45	61,3	74,1	<b>67,3</b>	2	8	<b>5</b>
	Oh	P12, P44, P10, P36, P41, P33	38,8	60,3	<b>51,0</b>	15	25	<b>20</b>
<b>Reif:</b> Polsterrendzina, O/C-Boden	Oh	P7, P6, P11, P38, P45, P47	33,4	74,5	<b>61,4</b>	12	28	<b>22</b>
	Oh+T	P34, P11, P29, P45, P47	34,1	59,8	<b>51,1</b>	15	26	<b>20</b>
	T	P34, P11, P29, P47	15,1	20,1	<b>17,3</b>	2	5	<b>3</b>
Mittelwert: n umfasst 4 bis 5 pro Probenart								



wasser (P29, 45, 47) in die Böden gelangen. In Karsthohlformen verbäckt Gesteinsabrieb auch zu Pseudomycelien, wodurch sich die Säurepufferkapazität der Of/Oh-Horizonte (z.B. ZP\_P33) verbessert. Dieser Effekt wird auch „natural liming“ genannt (LITAOR 1987, S.142). Die stärkste Anreicherung (VL > 80%) zeigen die schwach bis mittel karbonathaltigen (2,1% bis 6,5%) T-Horizonte der reifen Polsterrendzina.

Das Verlehmungsprodukt ist aber nicht mit der Korngröße Ton identisch. So werden einige Profile trotz hoher VL-Anteile (ZP\_P6: 53%; ZP\_P7: 69%) nicht als Oh+T-Horizonte geführt, da sie deutlich höhere Sand- und Schluffgehalte zeigen (vgl. auch Tab. 39). Diese äolischen Indikatoren machen die Herkunft der Lehmenteile in den glimmerreichen Of- und oberen Oh-Lagen aus der insitu Verwitterung des deponierten Mineralstaubes wahrscheinlich (Kap. 4.2).

### A3. Korngrößenverteilung

Die genetische Beurteilung der Verlehmungsanteile kann mit Hilfe der Textur aus der Korngrößenanalyse gestützt werden (Tab. 39).

Hohe Tongehalte (Mittel: 42%) treten in den stark verlehnten Oh+T-Horizonten und in den T-Horizonten über dem Ausgangsgestein (Mittel: 51%) auf. Ihre ermittelten Verlehmungsprodukte (VL) repräsentieren zu mehr als 50% auch die Korngröße Ton. Hingegen sind alle glimmerreichen Oberböden durch hohe Schluffgehalte (meist > 60%) gekennzeichnet. Das Maximum (86%) mit der Textur „reiner Schluff“ zeigt die Of-Lage von ZP\_P33.

## B) Pedologische Indikatoren für rezente Staubeintrag - Zugspitzplatt

### B1. Kornparameter

Aus den Korngrößendaten errechnen sich Quotienten aus Mittel- und Grobschluff (mU/gU) sowie aus Fein- und Grobschluff (fU / gU), die als übliche Kornparameter genetische Substratinterpretationen zulassen. Besonders der Schluff/Ton-Quotient (U/T-Quotient) dient zur Abschätzung des äolischen Einflusses. Alle Quotienten bestimmen sich für jede Einzelprobe und sind als Mittelwert für die jeweiligen Horizontgruppen dargestellt (Tab. 40).

Die Zuordnung der Werte aus den U/T-Quotienten ergibt folgende Gruppen:

- Gruppe 1: Ah- und reife Oh-Horizonte (U/T = 2)
- Gruppe 2: Oh+T- und T-Horizonte (U/T ca. 1)
- Gruppe 3: Aih-, typische Oh-Horizonte, Of (U/T > 3)

### Interpretation:

Der U/T-Quotient drückt in Gruppe 2 die Verwandtschaft zwischen Oh+T- und T-Horizont, d.h. autochthone Herkunft aus. Eine starke äolische Komponente tragen die Böden aus Gruppe 3, auch wenn der herausragende Wert von 51,3 auf den geringen Tongehalt von 1,6% zurückgeht.

Die Hauptgruppe „Ton“ charakterisiert die reife Polsterrendzina (Oh+T- und T-Horizonte) sowie die mullartige Rendzina (Ah-Horizonte) auf Standorten mit Lockersubstrat. Hier ist die beschleunigte Kalklösung Ursache der residualen Tonakkumulation (Drew 1983; GRAČANIN

Tab. 39: Mittlere Korngrößenverteilung des Feinbodens, Zugspitzplatt.

Entwicklungsstadium	Horizont	Profile	Sand (2000-63µm) [Vol.- %]			Schluff (63-2µm) [Vol.- %]			Ton (<2µm) [Vol.- %]		
			Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel
<b>Initial:</b> Protorendzina	Aih, AhCv	P26,P30, P31, P32	11,9	35,8	<b>25,6</b>	45,4	72,1	<b>55,2</b>	6,1	29,1	<b>19,3</b>
<b>Initial:</b> mullartige Rendzina	Ah	P27, P28, P4, P3	1,0	9,2	<b>6,3</b>	61,1	70,4	<b>65,2</b>	25,8	30,8	<b>28,5</b>
<b>Typisch:</b> O/C-Böden, Moderrendzina, Tangelrendzina	Of	P33, P44, P12	11,8	35,7	<b>23,8</b>	63,5	86,1	<b>74,8</b>	1,0	2,2	<b>1,6</b>
	Oh	P12, P44, P10, P36, P41, P33	1,2	32,9	<b>10,3</b>	44,3	75,9	<b>66,8</b>	18,6	25,5	<b>23,0</b>
<b>Reif:</b> Polsterrendzina, O/C-Boden	Oh	P7, P6, P11, P38, P45, P47	0	15,2	<b>4,4</b>	55,5	69,1	<b>62,9</b>	22,8	41,3	<b>33,0</b>
	Oh+T	P34, P11, P45, P43, P47	0	5,2	<b>2,3</b>	50,2	58,0	<b>54,9</b>	39,5	45,4	<b>42,4</b>
	T	P11,P47, P39, P34	0	1,2	<b>0,3</b>	45,7	58,3	<b>50,2</b>	41,8	57,3	<b>51,0</b>
Mittelwert: n umfasst 5 Einzelwerte pro Probenart											

**Tab. 40:** Bodenart der Feinerde und Kornparameter der autochthonen Böden, Zugspitzplatt.

Bodenhorizont	Bodenart <sup>1)</sup>	Bodenarten- gruppe <sup>1)</sup>	Haupt- gruppe <sup>1)</sup>	Mittlerer U/T-Quotient für die Horizontgruppe <sup>2)</sup>	mU / gU <sup>2)</sup>	fU / gU <sup>2)</sup>
Aih, initial	mittel toniger U sandiger U sandig-toniger L	Lehmschluff Sandschluff Tonlehm	U U L	4,1	0,8	0,3
Ah	mittel schluffiger T stark schluffiger T	Schluffton Schluffton	T T	2,0	0,7	0,2
Of, typisch	sandiger U reiner U	Sandschluff Sandschluff	U U	51,3	1,2	0,5
Oh, typisch	stark toniger U schwach sandiger L	Tonschluff typ. Lehm	U L	3,0	3,3	0,4
Oh, reif	stark schluffiger T mittel schluffiger T schluffiger L	Schluffton Schluffton Tonschluff	T T U	2,0	5	1,3
Oh+T, reif	mittel schluffiger T	Schluffton	T	1,3	10	2,4
T	schwach schluffiger T mittel schluffiger T	Lehmton Schluffton	T T	1,0	10	3,6

1) S = Sand, U = Schluff, L = Lehm, T = Ton; Definition nach AG BODEN (1996, S. 135-140)  
2) Berechnung: Schluffgehalt / Tongehalt [%], Grundlage: Kornanalysedaten der Einzelhorizonte

**Tab. 41:** Mittlere Zusammensetzung der Schluff-Fraktion [Vol.-%] in Oberböden und Staub.

Gebiet	Horizont	fU [%]	mU [%]	gU [%]	U [%]
		2-6.3µm	6.3-20µm	20-63µm	2-63µm
<b>Initial:</b> Protorendzina, mullartige Rendzina	Aih	8,3	20,6	26,3	55,2
<b>Typisch:</b> Moderrendzina	Of	6,3	29,7	39,2	75,2
<b>Typisch:</b> O/C-Boden	Oh	6,1	44,7	16,0	66,8
<b>Staub</b> aus Neuschnee	(0-1cm)	12,6	27,6	44,9	85,1
<b>Staub</b> von Schneeoberflächen (Winterproben)	(0-1cm)	17,5	25,9	41,1	84,5

Mittelwert: n umfasst 5 Einzelwerte pro Probengruppe

1972; HELLDÉN 1974; HÜTTL 1999; SCHEFFER et al. 1960; ZÖTTL 1966).

Hingegen ist die Hauptgruppe „Lehm“ auf die Verwitterung der allochthonen Stäube zurückzuführen. Es hat also die Neubildung von sekundären Tonmineralen aus der Silikatverwitterung (Glimmer, Feldspäte, Foide) stattgefunden (GERASIMOV 1973; REHFUESS 1983; SCHEFFER et al. 1966). Da die Oh-Horizonte oft sekundär aufgekalkt sind (pH-Werte > 5), wird auch die hemmende „Aziditätsgrenze“ (SCHEFFER et al. 1966, S. 80) nicht unterschritten, die bei pH-Werten von < 4 eine Bildung von Dreischicht-Tonmineralen aus Glimmern verhindert würde.

### B2. Schluff-Fraktion (63 µm bis 2 µm)

Schluff kennzeichnet die deponierten Stäube. In Abhängigkeit von der Probenart und den Liefergebieten liegen die Häufigkeiten im Grob- und Mittelschluff-Intervall (Kap. 4.2.1). Dies ist auch bei den stark äolisch beeinflussten Bodenhorizonten (U/T-Quotienten > 3) der Fall. Hier haben Grob- und Mittelschluff mit ca. 52% bis 69% Anteil am Gesamtschluff. Mit zunehmender Bodenentwicklung verschiebt sich das Maximum in Richtung Mittelschluff (Tab. 41).

### Interpretation:

Der Mittelschluff ist ein äolischer Indikator, da der für Primärlösser definierte Grobschluff-Indikator Fremdkomponenten alleine nicht beweist (ARTMANN und VÖLKELE 1999; THALHEIM 1994; THALHEIM und FIEDLER 1990; VÖLKELE 1994). Jedoch repräsentiert der Mittelschluff in Böden nicht nur den äolischen Primärstaub, sondern entsteht auch als Produkt der insitu Verwitterung der allochthonen Minerale (BRONGER 1976; BRONGER und KALK 1979). Die Zerkleinerung wird auch durch „kryoklastischen Zerfall“ (SCHEFFER et al. 1966, S. 83) vorbereitet, der sich bis in die Grobton-Fraktion fortsetzen kann. Dieser Prozess ist für die z.T. beachtlichen lehmig-tonigen Verwitterungsprodukte in äolisch geprägten Horizonten verantwortlich (EBERLE 1994; LATRIDOU 1988; SMALLEY und SMALLEY 1983). Das Ausmaß des kryoklastischen Zerfalls und die Zunahme von Mittel- und Feinschluff steigen mit der Bodenentwicklung.

### B3. Feinsandfraktion (200 µm bis 63 µm)

In den Bodenhorizonten betragen die Feinsandgehalte zwischen 12% und 36%. Der rezente Saharastaub weist nur Feinstsand (63 µm-125 µm) mit Mittelwerten von 6% bzw. 9% auf (Tab. 42).



Tab. 42: Zusammensetzung der Feinsandfraktion in Staub- und Bodenproben.

Staubproben:	63-125µm [Vol.-%]	125-160µm [Vol.-%]	160-200µm [Vol.-%]	Summe Feinsand (63-200µm) [Vol.-%]
Staub aus Neuschnee	8,9	0	0	8,9
Staub (Winterproben)	6,4	0	0	6,4
Bodenhorizonte:	63-125µm [Vol.-%]	125-160µm [Vol.-%]	160-200µm [Vol.-%]	Summe Feinsand (63-200µm) [Vol.-%]
Of (0-2cm), P33	26,8	6,4	2,5	35,7
Oh (2-18cm), P33	10,3	1,3	0	11,6
Oh (0-18cm), P41	22,4	6,9	3,5	32,8
Oh (0-22cm), P11	12,2	2,4	0,6	15,2
Mittelwerte aus je 15 Einzelproben pro Probenart				

#### Interpretation:

Sandstürme während der Deflation sind die Ursache für Feinsand in Saharastäuben (z.B. GILLETTE et al. 1974; MC-TAINSH und WALKER 1982; NICKLING 1978; SHAO et al. 1993). LITTMANN (1991, S. 60) bezeichnet diese Stäube als „coarse series“. Damit ist der Feinsandgehalt im vorliegenden Staubmaterial nicht im Widerspruch zur Provenienz Sahara. Sowohl die Bodenhorizonte als auch der Staub zeigen das Maximum im Feinstsand (63 µm bis 125 µm). Dies ist z.B. mit der zweiten Kornhäufigkeit des identifizierten Glimmers im Staub deckungsgleich, der durch alpine Rasenvegetation unmittelbar im Oberboden fixiert wird bzw. durch Schmelzwässer in die Böden gelangt (z.B. BIRKELAND et al. 1987; CALLIEUX 1978; DIJKMANS 1989; EMBLETON und KING 1975).

#### 4.3.2 Autochthone Böden - Westliche Karwendelgrube

Das Bodenmosaik in der alpinen Stufe ist von organogenen Rendzinen geprägt. Dazu treten braune Mineralbodenhorizonte auf Muschelkalk. Im Bereich der aktiven Schutthalden und am Übergang zur subnivalen Stufe dominieren Protorendzinen und Lockersyroeme.

Eine Besonderheit stellt die äolische Mullrendzina dar (Ah/C-Profile: KG\_P11, KG\_P12), die in großer Ausdehnung die Lee-Hänge der Großdoline in N- und NE-Exposition besetzt. Die Mächtigkeit ihrer Ah-Horizonte (28 cm bis 80 cm) schwankt je nach Mikrorelief und solifuidaler Überformung.

Die Mullrendzinen sind auffällig an *Arabidion caerulea* (z.B. *Carex parviflora*, *Saxifraga androsacea*) gebunden. Dazu treten die Sauberboden-Alpenmatten mit *Euphrasia minima* als azidophile Zeiger für das glimmerreiche Substrat an diesen lange schneebedeckten Standorten (ELLENBERG 1996, S. 584; S. 614). Da die äolische Mullrendzina keinerlei Anzeichen von Verbraunung zeigt, steht sie der organisch geprägten Bodengruppe (Ah/C-Profil) näher als den allochthonen Braunerden der Gruppe II.

#### A) Laboranalytische Charakterisierung - Westliche Karwendelgrube

##### A1. Organische Substanz

Sehr hohe Gehalte an organischer Substanz (16% bis 41%) kennzeichnen die gut entwickelten Oberböden mit den Humusformen Mull, mullartiger Moder und Moder. Die Bodenfarbe ist schwarz (10 YR 1.7/1; 10 YR 2/1; 10 YR 2/2; 2.5 Y 2.5/1; 5 Y 2.5/2). Darunter liegen oft schwarzbraune bis dunkelgraue (10 YR 4/2; 7.5 YR 3/1; 5 Y 3/2) Oh+T-Horizonte, die am Übergang zum Muschelkalk humusvermischt und deutlich verlehmt sind (pH-Werte: 4,9 - 5,9). Die Zunahme der Farbtintensität (5 Y 4/3; 7.5 YR 3/4) sowie die Reduzierung der mittleren Humusgehalte auf 16% im T-Horizont ermöglichen die Unterscheidung zum Oh+T-Horizont. Im Gegensatz dazu sind die Ah-Horizonte der äolischen Mullrendzinen deutlich humusärmer (org. Substanz: 8% bis 10%). Die pH-Werte liegen zwischen 5,0 und 5,9 (Tab. 43).

##### A2. Verlehmungsprodukt

Das Verlehmungsprodukt drückt die lehmige oder schluffig-tonige Textur der Profile KG\_P1 bis P10 aus. Im Sinne der autochthonen Entwicklungsreihe tritt der höchste Wert (VL: 79%) im residualen T-Horizont (3 cm mächtig) aus Muschelkalk (KG\_P10) auf. Die selten deutlich ausgeprägten T-Horizonte sind je nach Substrattyp schwach bis mittel karbonathaltig (2,5% bis 7%). Die größten Werte von 90% VL weisen die fast karbonatfreien, äolischen Mullrendzinen auf (Tab. 43).

##### A3. Korngrößenverteilung

Hohe Schluffgehalte (> 60%) mit maximal 76% im Oh-Horizont der Polsterrendzina (KG\_P7) sind typisch. Die mittleren Sandgehalte reduzieren sich von 22% in den Ah-Horizonten auf 2% in den T-Horizonten. Im Gegensatz dazu bestehen die Ah-Horizonte der äolischen Mullrendzinen zu mehr als 60% aus Sand (Tab. 44).

#### Interpretation:

Der Anstieg des Tongehalts zur reifen Polsterrendzina (KG\_P 10/2) kennzeichnet die autochthone Entwicklung auf Muschelkalk. Sie manifestiert sich in der beginnenden Verbraunung (Oh+T; 41% Ton). Allerdings sind die Tongehalte der T-Horizonte (39% bis 44%) nochmals

Tab. 43: Organische Substanz, Horizontmächtigkeit und Verlehmungsprodukt, Westliche Karwendelgrube.

Entwicklungsstadium	Horizont	Profile	Org. Substanz (C <sub>org</sub> x 1.72) [%]	Horizontmächtigkeit [cm]	Verlehmungsprodukt VL [%]
<b>Initial:</b> Protorendzina, Mullartige Rendzina	Aih	P13	3,4	4	52,7
		P14	15,9	5	35,4
		P15	6,9	7	42,1
<b>Typisch:</b> Ah/C-Profile	Ah	P4	25,8	13	73,7
		P5	26,9	16	58,2
		P6	18,9	22	62,1
<b>Typisch:</b> Skelett- und Felshumusboden Moderrendzina	Of	P7/1	38,9	5	45,1
	Oh	P7/2	33,5	28	65,1
		P8	32,8	19	69,1
<b>Reif:</b> reife Polsterrendzina, O/C-Boden	Oh	P9	41,5	27	58,3
		P10/1	40,1	25	62,3
	Oh+T	P10/2	36,3	18	63,2
	T	P10/3	18,6	2	78,9
	T	P9/2	16,1	3	79,1
<b>Äolische</b> Mullrendzina Ah/IIC	Ah	P11	8,8	28	90,2
		P12	10,1	30	89,9

Tab. 44: Korngrößenverteilung des humusfreien Feinbodens, Westliche Karwendelgrube.

Entwicklungsstadium	Horizont	Profile	Sand (2000-63µm) [Vol.-%]	Schluff (63-2µm) [Vol.-%]	Ton <2µm [Vol.-%]
<b>Initial:</b> Protorendzina, Mullartige Rendzina	Aih	P13	20,9	63,3	15,8
		P14	18,5	69,4	12,1
		P15	25,6	64,6	9,8
<b>Typisch:</b> Ah/C-Profile	Ah	P4	13,7	64,9	21,4
		P5	22,3	57,8	19,9
		P6	12,5	59,8	27,7
<b>Typisch:</b> Skelett- und Felshumusboden Moderrendzina	Of	P7/1	1,5	76,1	22,5
	Oh	P7/2	22,2	71,3	6,5
		P8	4,5	75,1	20,4
<b>Reif:</b> reife Polsterrendzina, O/C-Boden	Oh	P9	3,2	63,7	33,1
		P10/1	1,9	61,3	36,8
	Oh+T	P10/2	2,3	56,7	41
	T	P10/3	2,3	58,3	39,4
	T	P9/2	3	53,4	43,6
<b>Äolische</b> Mullrendzina Ah/IIC	Ah	P11	71,8	25,2	3
		P12	58,9	35,3	5,8

niedriger als jene aus Wettersteinkalk. Die äolische Mullrendzina weist trotz hoher Verlehmungrückstände die geringsten Tongehalte (3% bis 6%) im Korngrößen-spektrum auf.

**B) Pedologische Indikatoren für rezenten Staubeintrag - Westliche Karwendelgrube**

**B1. Kornparameter**

Die hohen Werte der U/T-Quotienten (3,5 bis 11) stellen die glimmerreichen Initialhorizonte und äolischen Mullrendzinen heraus. Ebenso wird die genetische Verwandtschaft von Oh+T- und T-Horizonten deutlich (U/T: 1,4) (Tab. 45).

- Gruppe 1: Aih-, Of-Horizonte, Ah-Horizonte der Mullrendzina (U/T ≥ 5)
- Gruppe 2: Ah- und typische Oh-Horizonte (U/T: ≥ 3)
- Gruppe 3: Oh-Horizonte der reifen Polsterrendzina (U/T: 2)
- Gruppe 4: Oh+T- und T-Horizonte (U/T: 1,4)

**B2. Schluff-Fraktion (63 µm bis 2 µm)**

Die prozentuale Verteilung der Schluff-Fraktion für die Horizonte der Einzelprofile mit einem U/T-Quotienten > 2 zeigt eine Dominanz des Mittelschluffs. Hingegen kennzeichnet der Grobschluff die Of-Lagen und äoli-



**Tab. 45:** Bodenarten der Feinerde und Kornparameter der autochthonen Böden, Westliche Karwendelgrube.

Bodenhorizont	Bodenart <sup>1)</sup>	Bodenarten- gruppe	Haupt- gruppe <sup>1)</sup>	Mittlerer U/T-Quotient für die Horizontgruppe <sup>2)</sup>	mU / gU <sup>2)</sup>	fU / gU <sup>2)</sup>
Ah, äolische Mullrendzina	mittel schluffiger S	Schluffsand	S	7,2	0,5	0,4
Of, typisch	sandiger U	Sandschluff	U	11,0	0,5	0,2
Aih, initial	schwach toniger U mittel toniger U sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U	5,4	1,5	1,1
Ah	mittel toniger U stark toniger U schluffiger L	Lehmschluff Schluffton Schluffton	U T T	2,7	1,3	1,2
Oh, typisch	schluffiger L stark toniger U	Tonschluff Tonschluff	U U	3,5	2,0	0,8
Oh, reif	mittel schluffiger T	Schluffton	T	1,8	3,4	0,8
Oh+T, reif	mittel schluffiger T	Schluffton	T	1,4	4,4	1,6
T-Horizont	mittel schluffiger T	Schluffton	T	1,4	4,4	1,7

1) S = Sand, U = Schluff, L = Lehm, T = Ton; Definition nach AG BODEN (1996, S. 135-140)  
2) Berechnung: Schluffgehalt / Tongehalt [%], Grundlage: Kornanalysedaten der Einzelprofile

**Tab. 46:** Mittlere Zusammensetzung der Schluff-Fraktion [Vol.-%], Westliche Karwendelgrube.

Entwicklungsstadien	Horizontmächtigkeit	fU [%]	mU [%]	gU [%]
		2-6.3µm	6.3-20µm	20-63µm
<b>Initial:</b> Protorendzina mullartige Rendzina	Aih (8cm)	20,0	27,6	18,2
	Ah (12cm)	20,7	22,8	17,3
<b>Typisch:</b> Moderrendzina, O/C Boden	Of (3cm)	9,8	21,2	45,0
	Oh (15cm)	16,8	39,2	19,9
<b>Reif:</b> Polsterrendzina, O/C Boden	Oh (18cm)	9,7	40,7	12,1
<b>Äolische</b> Mullrendzina	Ah (40cm)	6,6	8,0	15,7
<b>Staub</b> aus Neuschnee	(0-1cm)	9,5	24,5	48,5
<b>Staub</b> von Schneeoberflächen (Winterproben)	(0-1cm)	23,8	33	26,5

Mittelwertbildung: Staubproben, n = 10 je Probenart; Bodenhorizonte, n umfasst 3 bis 5, je nach Probenumfang

**Tab. 47:** Mittlere Zusammensetzung der Sandfraktion [Gew.-%], Westliche Karwendelgrube.

Entwicklungsstadien	Hori- zont	gS [%]	mS [%]	fS [%]	Sand [%]	Feinsandintervall [%]		
		2000- 630µm	630- 200µm	200- 63µm	2000- 63µm	63- 125µm	125- 160µm	160 200µm
<b>Initial:</b> Protorendzina, mullar- tige Rendzina	Aih	3,8	3,9	13,8	21,6	nicht bestimmt		
	Ah	0,0	1,1	15,0	16,2	14,6	3,1	2,6
<b>Typisch:</b> Moderrendzina, O/C Boden	Of	1,6	3,6	17,0	22,2	8,6	6,4	1,9
	Oh	0,0	0,0	3,0	3,0	nicht bestimmt		
<b>Reif:</b> Polsterrendzina	Oh	0,0	0,0	2,6	2,6	nicht bestimmt		
<b>Äolische</b> Mullrendzina	Ah	5,5	13,7	46,2	65,4	37,9	8,7	3,3
<b>Staub</b> aus Neuschnee	(0-1cm)	0	0	12,1	12,1	10,2	2,0	0
<b>Staub</b> von Schneeoberflä- chen (Winterproben)	(0-1cm)	0	1	8,3	8,3	6,3	2,0	1,0

Mittelwertbildung: Staubproben, n = 10 je Probenart; Bodenhorizonte, n umfasst 3 bis 5, je nach Probenumfang.

schen Mullrendzinen. Grob- und Mittelschluff betragen in der Summe zwischen 53% und 87% des Gesamtschluffes.

Der Vergleich mit Hilfe der Kornparameter (in Tab. 45), zeigt wieder Ähnlichkeiten zwischen äolischer Mullrendzina, Of-Horizont und Staubmaterial (Tab. 46).

### B3. Sandfraktion (2000 µm bis 63 µm)

Die größten Sandgehalte zeigen die äolischen Mullrendzinen (65%) und Of-Lagen (22%). Feinsand (200 µm bis 63 µm) dominiert in allen Bodentypen, sinkt aber absolut mit der Horizontentwicklung. Feinstsand (63 µm bis 125 µm) kennzeichnet die Stäube sowie die stark äolischen Bodenhorizonten (Tab. 47).

### 4.3.3 Autochthone Böden – Östliche Karwendelgrube

Die drei Vergleichsprofile ÖK\_B5 bis ÖK\_B7 beschreiben braune Böden aus Reichenhaller Schichten (Residuum im Mittel 14%). Sie befinden sich in Hanglagen (SE 20° bis 30°) mit konvex-konkaver und konkav-gestreckter Horizontalwölbung. Die Solummächtigkeiten (32 cm bis 90 cm) und der dichte Bewuchs mit *Seslerio-Caricetum semp.* unterstreichen ihren Reifegrad (CREDNER et al. 1998; FRIES 1985).

#### A) Laboranalytische Charakterisierung – Östliche Karwendelgrube

Die Verlehmungsprodukte liegen zwischen 70% und 75%. Je nach Schuttlieferung sind die Böden skelett-

haltig (10% bis 50%). Der mineralische Unterboden ist sehr karbonatarm (< 5%; pH-Werte: 4,8 bis 6,8). Die Bodenfarbe reicht von hellgelb über olivbraun (2.5 Y 7/4; 2.5 Y 5/2; 2.5 Y 4/3).

Mit zunehmender Tiefe ist das Solum toniger und geht am Kontakt zu den C-Horizonten in stark bindigen Residualton über, der in Nestern, Bändchen oder Schmitzen konzentriert ist. Auf dem Substrattyp Schutt liegt im klebrig-tonigen Residualmaterial zersplitterter graugelber Feingrus (2,5 Y 7/2). Das Bodengefüge ist polyedrisch bis plattig. Ebenfalls graugelb (2.5 Y 5/4; 2.5 Y 7/2 ; 2.5 Y 8/3) ist der autigene Lösungsrückstand des Anstehenden. Schwarze Schlieren zeigen Humuseinwaschung; entsprechend changiert die Bodenfarbe in diesen Bvh-Horizonten von grau bis graubraun (2.5 Y 3/1; 2.5 Y 3/3; 2.5 Y 4/1; 2.5 Y 4/2) (Tab. 48).

#### A1. Korngrößenverteilung

Die Schluffgehalte liegen in den Bvh- und AhBv-Horizonten zwischen 64% und 65%. Bezogen auf den Gesamtschluff beträgt die Summe aus Mittel- und Feinschluff 80% bis 90%. Besonders tonreich (27% bis 34%) sind die braunen T-Horizonte über den Ausgangsgesteinen. Ein Vergleich mit deren Lösungsresiduen zeigt Übereinstimmung in bezug auf die Schluff- und Tonfraktion. Dies ist ein Befund für die autigene Herkunft der Schluff- und Tonfraktion in den Sola (Tab. 49).

#### A2. Kornparameter

Die Übersicht der Bodenarten weist die Bvh- und Ah+Bv-Horizonte als Tonschluffe aus. Die stark schluffi-

Tab. 48: Laboranalytische Kennwerte autochthoner Mineralböden, Östliche Karwendelgrube.

Bodenprofile	Org. Substanz [%]	CaCO <sub>3</sub> [%]	Verlehmungsprodukt VL [%]
ÖK_5/1 Bvh (0-80cm)	15,6	9,1	75,3
ÖK_5/2 (Bv)-TCv (80-90cm)	13,7	7,9	78,4
ÖK_6/1 Bvh (0-5cm)	16,2	14,2	69,6
ÖK_6/2 Bv+T (5-38cm)	7,9	9,2	82,9
ÖK_7/1 AhBv (0-5cm)	6,8	1,1	92,1
ÖK_7/2 T (5-32cm)	4,9	2,3	92,8

Tab. 49: Korngrößenverteilung [Gew.-%] autochthoner Böden, Östliche Karwendelgrube.

Profil	Horizont <sup>1)</sup>		gS	mS	fS	S [%]	gU	mU	fU	U [%]	Ton
			2000-630µm	630-200µm	200-63µm	2000-63µm	63-20µm	20-6,3µm	6,3-2µm	63-2µm	< 2µm
P5/1	Bvh	0-80cm	0,2	1,5	5,2	6,9	9,4	24	30,6	64,0	29,1
P5/2	(Bv)-TCv	80-90cm	1	4,2	7,6	12,8	6,2	25,6	29,1	60,9	26,5
P5/3	ICv (LR)	>90cm	0	0	0	0	5	31,1	32,6	68,7	31,4
P6/1	Bvh	0-5cm	0,1	0,4	3	3,5	9,1	27	31,8	67,9	28,6
P6/2	Bv+T	5-38cm	0	0	4,1	4,1	11,9	25	29,5	66,4	30,1
P6/3	mCv (LR)	>38cm	0	0	0	6,8	6,8	28,5	28,9	64,2	30,1
P7/1	AhBv	0-5cm	0	0	12,1	12,1	12,1	22,1	31	65,2	22,9
P7/2	T	5-32cm	1,9	1	3,7	6,6	6,5	21,4	32,3	60,2	33,3
P7/3	mCv (LR)	32-40cm	0	0,5	5,2	5,7	8,5	25,9	33,5	67,9	26,4

<sup>1)</sup> LR = Lösungsrückstand der C-Horizonte aus Reichenhaller Schichten. Der Feinboden <2mm der C-Horizonte repräsentiert die Schluff- u. Tonfraktion des Residuums nach Behandlung mit 10%iger HCl.



**Tab. 50:** Bodenarten der Feinerde und Kornparameter der autochthonen Böden, Östliche Karwendelgrube.

Bodenhorizont	Bodenart <sup>1)</sup>	Bodenarten-gruppe	Haupt-gruppe <sup>1)</sup>	U/T-Quotient für die Horizontgruppe <sup>2)</sup>	gU (63-20µm) [%]	mU / gU	fU / gU
Bvh, Ah+Bv	schluffiger L st toniger U st schluffiger T	Tonschluff Tonschluff Schluffton	U U T	2,4	11,3	2,2	2,8
Bv+T, (Bv)-TCv	mittel schluffiger T st schluffiger T	Schluffton Schluffton	T T	1,8	7,5	2,6	3,7
T	mittel schluffiger T	Schluffton	T	1,8	6,5	3,3	5,0

1) S = Sand, U = Schluff, L = Lehm, T = Ton; Definition nach AG BODEN (1996, S. 135-140)  
 2) Berechnungsgrundlage für alle Quotienten: Kornanalysedaten der Einzelhorizonte; T-Horizont nur 5 Werte!

**Tab. 51:** Profile von autochthonen Mineralböden auf der Reiteralpe.

Substrattyp: Fels und Schutt	Profile	Bodentypen	Horizontierung
Dachsteinkalk, weiß	RA_P20 /DF 1 RA_P5	Pechrendzina Flachgründige Terra fusca-Rendzina	L / Of / Oh / mCv Bv-T / mCn
Dachsteinkalk, rotge-ädert	RA_P1 RA_P8	Rendzina-Terra fusca Braunerde-Rendzina	Ah/Bv-T/mCv Oh/Bv-T/mCv
Dachsteinkalk mit schwimmenden Scherben	RA_P11, P12	Braunerde-Rendzina	Ah / Bv-T / mCv
Dachsteinkalk, rot bis rosa	RA_P3 RA_P7	Rendzina-Terra fusca Mittelgründige Terra fusca aus Hangschutt	Ah / Ah+Bv-Tc / mCv Ah / T / TCv / ICv
Dachsteinkalk rot, brekziiert	RA_P2 RA_P16	Rendzina-Terra fusca Braunerde-Rendzina aus sandig-verwitternder Brekzie	Ah / Bv-T / mCv Ah / Bv1 / Bv2 / mCv
Gosaukalk, z.T. brekziiert	RA_P9 RA_P13	Podsol über Residualton Braunerde, leicht pseudovergleyt	Ahe / Bhs / II Bv-Tc / mCv Ah / Bv / Bv-Sd / mCv
Gosaumergel	P10	Braunerde aus Gosaumergel über Residualton aus Dachsteinkalk	Ah+Bv / Bv / IIBv-T / mCv
Substrattyp: Lokalmoräne in Dolinen	Profile	Bodentypen	Horizontierung
Lokalmoräne aus Dachsteinkalk, Große Doline 1	RA_P 17 /GD1	Pseudogley-Braunerde aus Lokalmoräne von Dachsteinkalk	Ah / Bsv / Sw / II Sd / II Bv / ICv
Geschiebereste in Lokalmoräne, Große Doline 1	RA_P 18 /GD 1	Parabraunerde aus Lokalmoräne mit jura- /gosauzeitlichen Geschieberesten über Kalkverwitterungslehm (reliktisch) aus Dachsteinkalk	Ah / Al / Btv / Bv / II Bt / III Ah / III Bt / III Bv / ICn
Lokalmoräne aus Dachsteinkalk, Dolinenfeld 1	RA_P 19 /DF 1	Podsolige Braunerde aus schluffreicher Lokalmoräne	Ahe / Ae / Bsv / ICv

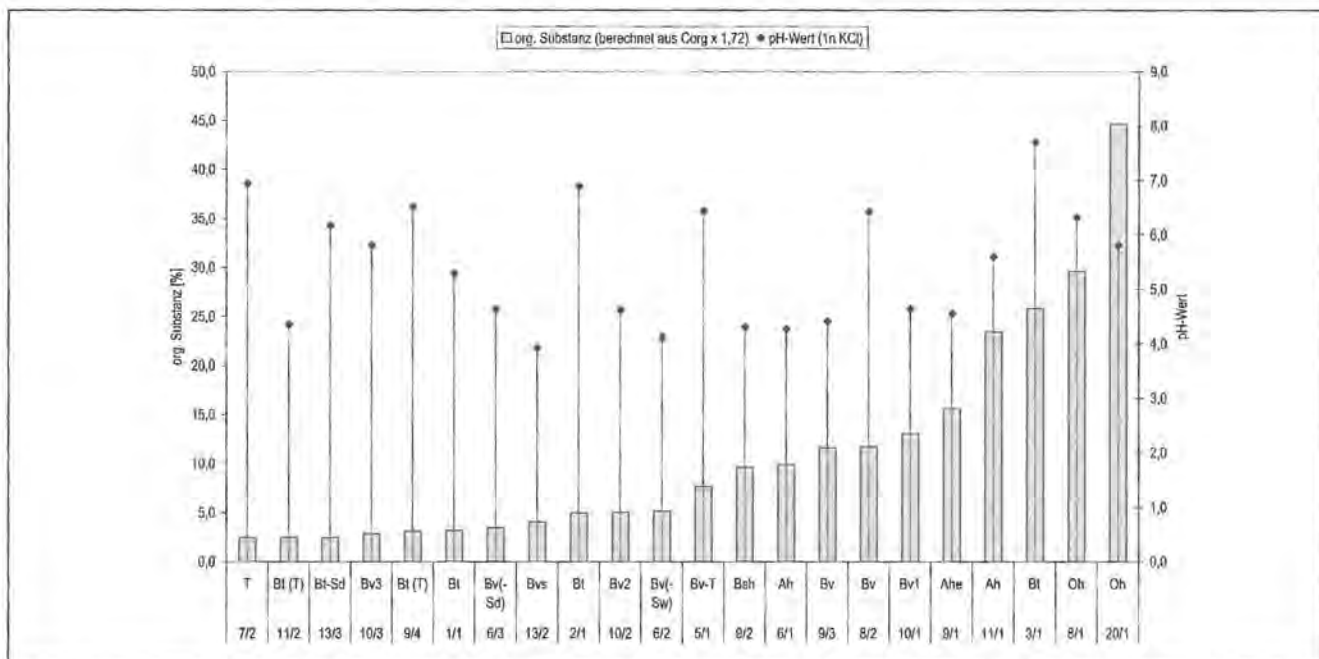
gen Tone der Bv+T-Horizonte stimmen auch hier mit den Tongehalten der Residuen überein. Die geringen Werte der U/T-Quotienten und das Vorherrschen der Hauptbodenart Ton spiegeln den residualen Charakter der T-Horizonte wider. Sie sind am Aufbau der Terra fusca-Rendzina ((Ah)/(Bv-)T/mC) aus Reichenhaller Schichten beteiligt. Möchte man am Definitionskriterium des T-Horizonts (> 65 Masse % Ton) festhalten, dann ist auch die Bezeichnung Braunerde-Rendzina ((Ah)/Bvh/Bv+Cv/ICv) bzw. Braunerde-Terra fusca (Ah/AhBv/Bv-T/C) denkbar (Tab. 50).

#### 4.3.4 Autochthone Böden - Reiteralpe

Die geologische Vielfalt der Ausgangssubstrate bedingt ein großes Spektrum an autochthonen Mineralböden mit Glimmerakkumulation im Oberboden (Tab. 51).

##### A) Laboranalytische Charakterisierung - Reiteralpe A1. Organische Substanz, pH-Wert und Karbonatgehalt

Maximale Werte an organischer Substanz (45%) werden in den Moderauflagen der Pechrendzina (RA\_P20/1)



**Abb. 8:** Chemische Eigenschaften autochthoner Mineralböden, Reiteralpe (aufsteigende Anordnung der Werte der organischen Substanz).

ermittelt. Die glimmerreichen Oberbodenhorizonte (pH-Werte: 4,1 bis 5,3) sowie die B-Horizonte (pH: 3,9 bis 4,5) sind versauert. Die T-Horizonte der *Terrae fuscae* sowie die residualen Varianten von B-Horizonten (z.B. RA\_13/3 Bt-Sd) sind mittel bis stark humos. Die humusvermischten T-Horizonte sind mittel sauer bis schwach alkalisch (pH: 4,5 bis 7,7).

Die pH-Wert abhängigen Verlagerungsprozesse fördern podsolige Braunerden (z.B. RA\_P6), Braunerde-Podsole und Podsole (z.B. RA\_P9). Entsprechend hoch sind die Humusgehalte (8% bis 15%). Die Bodenfarbe ist rötlich-schwarz (2,5 YR 2.5/1; 2,5 YR 3/2) oder dunkelbraun (7,5 YR 3/2; 7,5 YR 3/3). Auf Gosaukalk sind die Bsh-Horizonte gelbbraun (10 YR 5/8). Humuseinwaschung zeigt sich in einer leichten Pantherfleckung oder Bänderung der B-Horizonte (Abb. 8):

## A2. Korngrößenverteilung

Die Korngrößenanalyse zeigt auffällig hohe Sand- und Schluffgehalte in den Oberböden (Einzelwerte Kap. 10.3). Die gebleichten Ahe-Horizonte weisen Werte von 39% auf, die zusammen mit den sauren Humusaufgaben die Podsolierung der Braunerden bedingen (z.B. RA\_P 9).

Die Tongehalte kennzeichnen markant die flach- und mittelgründige Terra fusca (RA\_P5; RA\_P7) auf Hangschutt. Tonakkumulation bedingt häufig Staunässe (Bt-Sd, T-Sd; Bsv) und führt zur Ausbildung von Braunerde-Pseudogleyen (z.B. RA\_P 10). In Dolinen tritt Pseudovergleyung über liegenden Geschiebelehmen auf (RA\_P 18 DG 1). Schließlich sind im Reitertrett auf tonigen Gosauergeln (z.B. RA\_P 10) verschiedene Stadien hydromorpher Böden (Pseudogley, Gley, anmoorige Böden) typisch. Die hohen Sandgehalte der Oberböden sind allochthon zu werten.

Hingegen zeigen die Korngrößenanalysen der Residuen (Einzelwerte, Kap. 10.5), dass Sand in den B-Horizonten auch aus der autochthonen Verwitterung der quarzithaltigen Gosaukalk (z.B. P9) sowie der brekzierten Dachsteinkalkvarianten (z.B. P 2/1; P 11/2) stammt. Die entsprechenden B-Horizonte gehören den Sandlehmen an, während die Residuen der anderen Gesteinstypen vorwiegend Schlufftone markieren. Eine Übereinstimmung der Textur zu den überlagernden B- bzw. T-Horizonten zeigt sich aufgrund unterschiedlicher Verwitterungsgrade der Horizonte nicht immer (Tab. 52).

**Tab. 52:** Bodenartengruppen von Gesteinsresiduen und Bodenhorizonten, Reiteralpe.

Substrat, liegende C-Horizonte <sup>1)</sup>	Bodenartengruppe <sup>2)</sup>	Hauptgruppe	Hangende B- u. T-Horizonte <sup>2)</sup>	Hauptgruppe
Dk, sandig verwitternd, LR	Sandlehme	<b>Lehm</b>	Sandlehme	<b>Lehm</b>
Dk, rot brekziert, LR	Schlufftone	<b>Ton</b>	typische Lehme	<b>Lehm</b>
Gosaukalk, Dk rotgeädert, LR	Schlufftone	<b>Ton</b>	Tonschluffe	<b>Schluff</b>
Dachsteinkalk weiß brekziert, LR	Schlufftone	<b>Ton</b>	Schlufftone	<b>Ton</b>

1) LR = Lösungsrückstand der C-Horizonte, Dk = Dachsteinkalk. Der Feinboden <2mm der C-Horizonte repräsentiert die Schluff- u. Tonfraktion des Residuums nach Behandlung mit 10%iger HCl.

2) Definition nach AG BODEN (1996, S. 135-140)



**Tab. 53:** Bodenarten der Feinerde und Kornparameter der autochthonen Böden, Reiteralpe.

Gruppierung	Bodenhorizont	Bodenart <sup>1)</sup>	Bodenarten-gruppe <sup>1)</sup>	Haupt-gruppe	Mittlerer U/T-Quotient <sup>2)</sup>	Mittlerer Quotient gU + fS / T <sup>2)</sup>
<b>G1:</b> Oberboden (glimmerreich)	Oh	sandiger U	SU	U	8,2	8.8
	Ah, ABv	sw toniger U sandiger U	LU SU	U U	8,4	6.6
	Ahe, Aeh	schluffiger L sandig-lehmiger U	TU LU	U U	3,8	3.0
<b>G2:</b> Unterboden (sand- und schluffvermischt)	Bv, Bvh, Bhs	mi toniger S	SL	L	3,0	1.4
	Btv	st toniger U	TU	U	2,8	1.0
	Bt, Bt-Sd	sw sandiger U mi sandiger L	typ. Lehm typ. Lehm	L L	2,3	0,8
<b>G3:</b> Unterboden (lehmig, tonige Residuen)	Bt-T, TCv	mi schluffiger T	UT	T	1,8	0.4
	IIT, T	sw schluffiger T	UT	T	1,0	0,2

1) S = Sand, U = Schluff, L = Lehm, T = Ton; Definition nach AG BODEN (1996, S. 135-140)  
 2) Berechnung der Quotienten: z.B. Schluffgehalt / Tongehalt [%]; Grundlage: Kornanalysedaten der Einzelprofile

**Tab. 54:** Mittlere Zusammensetzung der Sandfraktion [Gew.-%], Reiteralpe.

Gruppierung	Horizont	gS [%] 2000- 630µm	mS [%] 630- 200µm	fS [%] 200- 63µm	Sand [%] 2000- 63µm	Feinsandintervall [%]		
						63-125µm	125-160µm	160- 200µm
<b>G1:</b> Oberboden (glimmerreich)	Oh	0,3	1,3	32,9	34,5	18,9	9,7	4,3
	Ah, ABv	0	3,4	17,4	20,8	8,9	5,9	2,6
	Ahe, Aeh	1,5	2,4	34,6	38,5	16,5	14,2	3,9
<b>G2:</b> Unterboden (sand- und schluffvermischt)	Bv, Bvh, Bhs	1,9	12,8	23,6	38,3	20,2	9,6	8,5
	Btv	0	1,0	9,8	10,8	9,5	0,3	0
	Bt, Bt-Sd	3,3	3,1	11,2	17,6	10,2	1,0	0
<b>G3:</b> Unterboden (lehmig, tonig)	Bt-T, TCv	0	0,6	1,4	2,0	1,0	0,5	0,5
	IIT, T	0	1	4,4	5,4	3,9	0,5	0
<b>Staub aus Neuschnee</b>	(0-1cm)	0	0	12,2	12,2	10,2	2,0	0

Mittelwertbildung: Staub: n = 10 je Probenart, Reiteralpe; Bodenhorizonte: n umfasst 4 bis 6, je nach Probenmaterial

**Tab. 55:** Relative Mineralhäufigkeit in Horizonten autochthoner Böden, Zugspitzplatt (Methode: RDA).

Probe	Qz <sup>1)</sup>	Kf	Albit	Cc	Dol	Glimmer /Illit <sup>2)</sup>	Chlorit	Reihung der Nebenkompontenten
Carbonat-Lockersyrosem ZP_SS AiCv (0-2cm)	+	0	0	+++	++	+	0	Cc>>Dol>Qz
Protorendzina ZP_P 4 Aih (0-2cm)	+++	+	+	++	+	+	+	Cc>Dol>Alb>Kf
Pechrendzina ZP_33 Of+Oh (0-10cm) PR	+++	+	+	+	tr	++	o	Qz, Kf, Alb>>Cc, Dol
<b>Reife Polsterrendzina:</b> ZP_P 29/1 Oh (0-17cm)	+++	+	+	++	+	+	+	Cc>Dol>Alb>Kf
ZP_P 29/2 Oh+T (17-20cm)	+++	0	+	+	0	+	0	Alb>Cc Hauptkomponente Gibbsit !
ZP_P 34 T (21-25cm)	++	+	+	+	+	0	+	Qz>KF>Alb>Cc>Dol

1) Halbquantitativ aus dem Verhältnis der Peak-Höhen an texturlosen Feinbodenpräparaten: +++ = dominant; ++ = viel; + = wenig; Qz = Quarz; Kf= Kalifeldspat; Alb = Albit; Cc = Calcit; Dol = Dolomit; tr = trace, Spuren (Durchführung: U. RAST, GLA, München; K. KNABE, Uni Karlsruhe)  
 2) Differenzierung zwischen Illit und Glimmer nicht immer möglich; Tonmineral (Aufweitung > 10 Å)

**Tab. 56:** Relative Tonmineralgehalte in Horizonten autochthoner Böden, Zugspitzplatt (Methode: RDA, Texturpräparat).

Probenmaterial	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]				Kommentar		
	ML <sub>III</sub> 1)	Illit 2)	Kt 3)	Ct 3)	Menge	Kristallisation	Quellfähigkeit
Protorendzina (ZP_P 3, Ah 0-3cm)	6	51 <sup>qu</sup>	20	23	keine Angabe		
Pechrendzina (ZP_P33, Of +Oh 0-10cm)	0	35 <sup>qu</sup>	65	0	keine Angabe		
Mullartige Rendzina (ZP_P4, Ah 0-18cm)	7	55	3	35	keine Angabe		
Reife Polsterrendzina (ZP_P 29, Oh 0-17cm)	4	63	6	27	keine Angabe		
ZP_P 29, T (20-21cm)	0	37	29	34	keine Angabe		
ZP_P 34, T (20-25cm)	6	6	42	46	hoch	gut	keine
Lösungsresiduum Wettersteinkalk 4)	0	+++	++	+	-	-	-
Sammelprobe Staub	25	36	15	24	-	-	-
Saharastaub (CHESTER & JOHNSON 1971a)	-	40	50	5	und 5% Montmorillonit		
Saharastaub (COUDÉ-GAUSSSEN 1982)	-	34	29	12	und 25% Smektit		

1) ML<sub>III</sub> = unregelmäßige illitreiche Wechsellagerungsminerale  
 2) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar), Index zeigt randliche Aufweitung der Schichten an  
 3) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)  
 4) +++ = dominant (30-60%); ++ = viel (10-30%); + = wenig (1-10%); (Analyse: K. KNABE, Univ. Karlsruhe)

## B) Pedologische Indikatoren für rezenten Flugstaub - Reiteralpe

### B1. Kornparameter

Die hohen Werte der mittleren U/T-Quotienten zeigen in den Oberbodenhorizonten äolischen Einfluss an, während sie für die Bv-Horizonte das sandige Ausgangssubstrat markieren. Der Wechsel zum autochthonen Kalkverwitterungslehm vollzieht sich bei den Bt-Horizonten mit dem Wert 2,3. Das Terra-Material ist markant durch Quotientenwerte von < 2 gekennzeichnet (Tab. 53).

### B2. Schluff-Fraktion (63 µm bis 2 µm)

Die Zusammensetzung der Schluff-Fraktion unterstützt die bereits in Tabelle 53 getroffene genetische Einteilung der Horizonte in drei Gruppen (Einzelwerte Kap. 10. 3). In der Gruppe 1 (äolisch geprägte Ah- und B-Horizonte) tritt der Grobschluff auffällig hervor. Die Gruppe 2 umfasst B-Horizonte mit dem Maximum im Mittelschluff. Die fortgeschrittene Horizontverwitterung drückt sich noch stärker in den Bt- und T-Horizonten der Gruppe 3 aus, die deutlich von Mittel- und Feinschluff dominiert ist.

### B3. Sandfraktion (200 µm bis 63 µm)

In den Ah- und Oh-Horizonten sowie den gekappten B-Horizonten dominiert in den meisten Fällen der Feinsand (Mittel: 24% und 35%). Auf sandig verwitternden C-Horizonten (z.B. Gosau; RA\_P9, P10) sowie auf Brekzien (z.B. Dachsteinkalk; RA\_P 11) tritt Mittelsand (1% bis 13%) hinzu. Grobsand (2% bis 3%) findet sich nur in Füllungen von Kluftkarren (RA\_P2, P3) sowie in Verwitterungsbändern über den C-Horizonten. Abgesehen von den genannten Beispielen, nimmt der Sand i.d.R. mit der Bodentiefe (RA\_P 7/2) ab.

Der Vergleich der Feinsandfraktionen von Flugstäuben und äolisch beeinflussten Oberböden zeigt wieder Ähnlichkeiten. Sie betreffen die Ah- und O-Horizonte sowie die gekappten B-Horizonte der Gruppe 1 (Tab. 54).

## 4.3.5 Mineralogische Indikatoren für rezenten Staubeintrag

### A) Zugspitzplatt

#### A1. Silikatische Leichtminerale (Methode: RDA) - Zugspitzplatt

Häufig dominieren Quarz und Hellglimmer. Als Nebenkomponten treten je nach Bodentyp Calcit und Dolomit auf. Die Feldspäte (vor allem Albit) sind sekundär in den organischen Horizonten angereichert, da im sauren Bodenmilieu der Humusaufgaben Calcit und Dolomit verstärkt ausgemerzt werden (Tab. 55).

Die Tonmineralverteilung in ausgewählten Horizonten zeigt meist Illite und illitreiche Wechsellagerungsminerale (Tab. 56).

#### Interpretation:

Die Illite dominieren primär im Staubmaterial (Kap. 4.2) und bilden in den initialen Böden die Tonfraktion der Flugstäube (4 Vol.% bis 26 Vol.-%). In den reiferen Horizonten stammen sie aus der sekundären Silikatverwitterung.

Chlorit im Oberboden ist als äolischer Indikator zu werten, da er aus primären Chloriten oder sekundär aus der Glimmerverwitterung stammt. Eine autigene Herkunft ist wegen der geringen Chloritmengen im Residuum des Wettersteinkalks (1% bis 5 Gew.-%) von untergeordneter Bedeutung. Das ist auch von anderen mesozoischen Kalksteinen bekannt (KHAN 1960; KUBIENA 1945; KUHLE-MANN et al. 1999). Allerdings kann bei entsprechend hohen pH-Werten ein hoher Glimmer- und Illitanteil in der Tonfraktion (im Mittel 87%) des Lösungsresiduums auch eine Quelle für autigenen Chlorit sein. Die für eine Al-Chloritisierung nötigen hohen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Gehalte von 29% (RFA-Bestimmung) sind in den Proben vorhanden, allerdings wirkt das mäßig saure Milieu stark verzögernd (SCHEFFER et al. 1985).

Der Kaolinitgehalt in der Proto- und Pechrendzina ist äolisch, in reiferen Horizonten auch aus den Feldspäten



**Tab. 57:** Ausgewählte geochemische Parameter, Zugspitzplatt (Basis: Einzeldaten, RFA).

Horizont	Oxide (RFA) [Gew.-%]						Geochemische Indices	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Protorendzina ZP_P 3, Aih (0-3cm)	5,3	2,6	1,1	45,1	0,38	0,14	2,4	2,0
Pechrendzina ZP_P33, Of+Oh (0-10cm)	6,4	2,8	2,1	6,0	0,41	0,15	1,3	2,3
Mullartige Rendzina ZP_P4, Ah (0-18cm)	34,2	8,1	6,1	23,1	1,19	0,55	1,3	4,2
Reife Polsterrendzina ZP_P 29, Oh (0-17cm)	39,1	9,9	3,4	3,0	2,28	0,91	2,9	3,9
ZP_P 29, Oh+T (17-20cm)	36,4	18,3	6,1	3,7	1,43	0,89	3,0	2,0
ZP_P 29, T (20-21cm)	35,2	<b>28,8</b>	12,8	4,7	2,12	<b>1,00</b>	2,3	1,3
ZP_P 34, T (20-25cm)	20,1	<b>38,5</b>	14,2	1,8	0,59	<b>1,64</b>	2,7	0,5

**Tab. 58:** Schwermineralspektren von autochthonen Rendzina-Typen, Zugspitzplatt.

Probe	Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1mm-0,25mm											Kornsumme
	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	
Syrosem-Rendzina, P3 AhCv	<b>29</b>	3	0	0	0	6	0	0	<b>32</b>	<b>29</b>	0	43 <sup>1)</sup>
Typ. Polsterrendzina, P33 Of+Oh	<b>36</b>	7	<1	3	0	1	<1	0	<b>30</b>	<b>22</b>	<1	214
Reife Polsterrendzina, P29 Oh	17	<b>46</b>	4	0	0	4	0	0	15	13	0	31 <sup>1)</sup>

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidot (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)

<sup>1)</sup> Beachte schlechtere Statistik wegen geringer Kornpopulation!

hervorgegangen. Aufgrund der geringen Kaliumwerte wird im mittel saurem Milieu (pH: 5,8) der Pechrendzina bei entsprechend geringer Si-Konzentration verstärkt Kaolinit (65 Gew.-%) gebildet.

In den T-Horizonten ist der Kaolinitgehalt typischerweise gesteinsbürtig und zeigt besonders im alkalisch bis neutralen Milieu über lange Zeiträume Beständigkeit (BIRKLAND 1974; BRONGER 1976; ROBBINS und KELLER 1952; VAN HOUTEN 1953; ZECH und VÖLKL 1979). Das trifft auch für den Wettersteinkalk zu, dessen Lösungsrückstand Illit-Dominanz, gefolgt von Kaolinit zeigt.

Darüber hinaus findet gerade in Terrae fuscae aus reinen Kalksteinen auf Kosten der Glimmer und Illite verstärkt Kaolinit-Neubildung statt (BRONGER und KALK 1979). Deshalb bestimmen in den Terra-Horizonten Kaolinite gefolgt von Illiten (z.T. Montmorillonite in Terrae rossae) das Spektrum, während die entsprechenden Lösungsresiduen des Anstehenden die umgekehrte Reihenfolge aufweisen (KHAN 1960; MACLEOD 1980; MORESI und MONGELLI 1988). Der hohe Kaolinitgehalt von 42% spricht für intensive Verwitterung und ein hohes Alter der Karrenfüllung ZP\_P34.

## A2. Haupt- und Spurenelemente (Methode: RFA) - Zugspitzplatt

Der Mineralbestand zeigt sich auch in der Verteilung ausgewählter Oxide (Tab. 57).

## Interpretation:

Ein wichtiger rezent-äolischer Indikator ist Titanoxid, das mit Werten zwischen 0,1% und 0,6% dem Alter dieser Böden entsprechend einen geringen Verwitterungsstatus dokumentiert. Titan ist am Aufbau von Biotiten, Amphibolen oder verwitterungsstabilen Mineralen wie Illmenit, Titanit oder Rutil beteiligt, die typisch in Magmatiten vorkommen. Der hohe Titanoxid-Gehalt der T-Horizonte von mehr als 1% wird auf Rutil zurückgeführt und bezeichnet stark verwitterte Böden (SCHEFFER et al. 1989). Ebenso ist Titan häufig in Kombination mit Eisenkonkretionen zu finden. Die Erzlagerstätten im Wettersteinkalk erklären die Anreicherung in den T-Horizonten. Die Verwitterungsgrade der Bodentypen drücken sich in den geochemischen Indices (Tab. 57) und dem Anstieg der Al- und Fe-Oxide aus. Deutlich abgesetzt ist die Karrenfüllung (ZP\_P34). Der außergewöhnlich hohe Aluminiumoxid-Gehalt (38,5%) spiegelt den detektierten Gibbsit wider. Da das Gesteinsresiduum Illit- und Kaolinitdominanz zeigt, könnte die Karrenfüllung möglicherweise einen tertiären Braunlehmrest repräsentieren.

## A3. Schwermineralbestand - Zugspitzplatt

Die Spektren von drei Referenzproben zeigen eisenreiche Glieder der Epidotgruppe, Hornblende und Granat, bei generell geringer Häufigkeit der Resistenten (Zirkon, Turmalin, Rutil, Staurolith). Beachtenswert ist auch,

dass die Stablen vom AhCv-Horizont zum Oh-Horizont der reifen Polsterrendzina zunehmen (46 Rel.-%). In den initialen AhCv-Horizonten ist die Schwermineralmenge (gelblich bis hellbraun) gering, in den O-Horizonten mäßig. Vereinzelt treten Reste von sphärischen Kieselalgen auf (Tab. 58).

**Interpretation:**

Der gute Rundungsgrad der Zirkone wird äolisch interpretiert und deutet längere Transportstrecken sowie arides Verwitterungsmilieu (z.B. Reptation, Saltation) an. Zusätzlich hat beim Sekundärtransport in das Bodensystem auch mechanische oder chemische Rundung durch Schmelzwässer stattgefunden, wie die narbigen Zirkonoberflächen zeigen (GROMOLL 1990). Die Spektren der Referenzproben beweisen allochthone Stäube im Bodensystem. Die gerundeten Quarze und Zirkone sowie die Kieselalgenreste belegen Saharastaub.

**B) Karwendelgruben**

**B1. Silikatische Leichtminerale (Methode: RDA) - Karwendelgruben**

In allen Böden der Westlichen Karwendelgrube finden sich Fremdminerale. Am auffälligsten sind Hellglimmer. Hingegen zeigen die Terra fusca-Rendzinen aus Reichenhaller Schichten in der Östlichen Karwendelgrube (z.B. ÖK\_B7) nur Spuren von Hellglimmer und Quarz. Als Nebenkomponenten treten Calcit und Dolomit stärker in den autochthonen Böden auf Muschelkalk auf, während sie im versauertem Milieu der Terra fusca-Rendzina chemisch bereits gelöst wurden (Tab. 59).

**Interpretation:**

Während in der WKG Plagioklase vorherrschen, sind in den residualen Böden aus Reichenhaller Brekzien Orthoklase in erster Häufigkeit vorhanden. Dies ist ein Hinweis für Substratunterschiede. Wieder dominieren illit-

**Tab. 59:** Relative Mineralhäufigkeit in Horizonten autochthoner Böden, Karwendelgruben (Methode: RDA).

Probe 1)	Qz 2)	Kf	Albit	Cc	Dol	Glimmer /Illit 3)	Chlorit	Reihung der Komponenten
Syrosem-Rendzina KG_P 4, Ah (0-10cm) auf mk, WKG	+	tr	+	++	++	+	+	Cc>>Dol>Qz
Pechrendzina KG_P 10, Of+Oh (O- 18cm) auf mk, WKG	+++	+	+	++	+	+	+	Qz>Cc>Dol>Alb>Kf
Braunerde-Rendzina ÖK_B 5, Bvh (0-80cm) aus rh; ÖKG	++	+	+	0	+	tr	+	Qz>Kf>Alb> Dol; Lepidokrokit
Terra fusca-Rendzina ÖK_B7, T (5-32cm) aus rh	++	+	tr	0	0	tr	+	Qz>Kf>>Alb
<b>Äolische</b> Mullrendzina KG_P12, Ah (0-35cm) auf mk, WKG	+++	+	++	+	+	++	0	Qz>Alb>> Kf; Cc> Dol

1) WKG = Westl. Karwendelgrube, ÖKG = Östl. Karwendelgrube  
 2) Semiquantitative Bestimmung aus dem Verhältnis der Peak-Höhen an texturlosen Feinbodenpräparaten: +++ = dominant; ++ = viel; + = wenig; Qz = Quarz; Kf= Kalifeldspat; Alb = Albit; Cc = Calcit; Dol = Dolomit; tr = trace, Spuren (Durchführung: U. RAST, GLA, München)  
 3) Differenzierung zwischen Illit und Glimmer nicht möglich; Tonmineral (Aufweitung > 10 Å)

**Tab. 60:** Relative Tonmineralgehalte in autochthonen Böden, Karwendelgruben (Methode: RDA, Texturpräparat).

Probenmaterial	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]			
	ML <sub>illit</sub> 1)	Illit 2)	Kt 3)	Ct 3)
Syrosem-Rendzina, WKG_P 4, Ah (0-10cm) auf mk	16 <sup>45</sup>	57 <sup>qu</sup>	0	27
Pechrendzina, KG_P 10, Of+Oh (O-18cm) auf mk	keine Analyse, da zu wenig Tonmaterial			
Braunerde-Rendzina, ÖKG_B 5, Bvh (0-80cm) aus rh	7	55	3	35
Terra fusca-Rendzina, ÖKG_B7, T (5-32cm) aus rh	9	53	6	32
<b>Äolische</b> Mullrendzina, WKG_P12, Ah (0-35cm) auf mk	11	55	0	34

1) ML<sub>illit</sub> = unregelmäßige illitreiche Wechsellagerungsminerale  
 2) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar), Index zeigt randliche Aufweitung der Schichten an Kaolinit (7 Å-Mineral)  
 3) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)



**Tab. 61:** Ausgewählte geochemische Parameter, Karwendelgruben (Einzeldaten: RFA):

Horizont	Oxide (RFA) [Gew.-%]						Geochemische Indices	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Syroseme-Rendzina WKG_P 4, Ah (0-10cm) auf mk	64,0	8,6	6,1	4,1	1,43	0,44	1,4	7,4
Pechrendzina KG_P 10, Of+Oh (0-18cm) auf mk	39,5	6,2	5,2	18,1	1,11	0,55	1,2	6,4
Braunerde-Rendzina ÖKG_B 5, Bvh (0-80cm) aus rh	53,7	15,3	7,5	6,3	6,32	0,67	2,0	3,5
Terra fusca-Rendzina ÖKG_B7, T (5-32cm) aus rh	<b>39,1</b>	9,9	3,4	3,0	2,28	<b>0,91</b>	<b>2,9</b>	3,9
<b>Äolische</b> Mullrendzina WKG_P12, Ah (0-35cm) auf mk	<b>85,6</b>	4,7	3,2	1,4	0,74	0,29	1,5	18,2

**Tab. 62:** Schwermineralspektren ausgewählter Bodenhorizonte, Karwendelgruben.

Probe	Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1mm-0,25mm											
	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme
Äolische Mullrendzina, P11 Ah	42	5	0	3	1	1	0	0	10	38	0	250
Typ. Polsterrendzina, P7 Of+Oh	14	22	6	4	3	3	0	0	18	30	0	210
Braunerde-Rendzina, P5 Bvh-T (ÖKG)	20	0	7	2	2	10	0	0	7	51	0	50 <sup>1)</sup>

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidot (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)  
<sup>1)</sup> Beachte schlechtere Statistik wegen geringer Kornpopulation!

reiche Wechsellagerungsminerale und Illite das Tonmineralspektrum. In den äolisch geprägten Böden der WKG fehlt Kaolinit, tritt aber in den Böden aus Reichenhaller Schichten in der ÖKG auf (3 Rel.% bis 6 Rel.%). Damit sind die residualen T-Horizonte ähnlich wie im Wettersteingebirge durch Kaolinit markiert, wenn auch in weit geringeren Mengen (Tab. 60).

**Interpretation:**

Kaolinit ist ein Indikator für autochthone Substratherkunft. Das Fehlen von Kaolinit in der Syroseme-Rendzina wird mit ihrem geringen Verwitterungsstatus erklärt, obwohl die Oxidverteilung einen K<sub>2</sub>O-Gehalt von 1,43% zeigt. Die äolische Mullrendzina hingegen fällt im Röntgenspektrum durch Albit-Dominanz auf, entsprechend gering ist der K<sub>2</sub>O-Gehalt (0,74%).

**B2. Haupt- und Spurenelemente (Methode: RFA) - Karwendelgruben**

Die Sonderstellung der äolischen Mullrendzina wird durch den sehr hohen Siliziumoxidgehalt (86%) deutlich. Hingegen zeichnet sich der residuale T-Horizont (ÖKG\_B7) durch die höchsten Werte an Titanoxid (0,9%) aus (Tab. 61).

**Interpretation:**

Der hohe Gehalt an Titanoxid wird mit der Anwesenheit von Eisen in den Brekzien erklärt, da Magnetitkörner im

Schwermineralspektrum nicht selten sind. Der höhere Entwicklungsgrad der residualen Böden der ÖKG wird auch durch die fast doppelt so hohen Verhältnisse von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> beschrieben.

**B3. Schwermineralbestand - Karwendelgruben**

Die Schwermineralmenge der Oh-Horizonte ist gering bis mäßig, in den Bvh-T-Horizonten gering bis sehr gering (Kornpopulationen: 33 bis 50). Der chemisch verwitterungslabile Granat ist im Oh-Horizont (pH: 5,1) zugunsten von Hornblende, Epidot+Zoisit reduziert. Auffällig ist hier die relative Anreicherung der Stablen (Quarz, Turmalin) sowie von gerundeten Zirkonen. Der Ah-Horizont der äolischen Mullrendzina weist hingegen einen doppelt so hohen Granatanteil wie die braunen Horizonte der ÖKG auf (Tab. 62).

**Interpretation:**

Die relative Anreicherung von Granat in der äolischen Mullrendzina wird durch ihren geringeren Entwicklungsstand und den mittel sauren pH-Wert (5,5) erklärt. In den braunen Bvh-T-Horizonten ist Granat stark angelöst, während die Hornblende noch frisch erscheint. Dies belegt die unterschiedlichen Verwitterungsstabilitäten im z.T. sauren Milieu der Mineralhorizonte. Den höheren Verwitterungsgrad der braunen Horizonte unterstreicht auch die Abnahme der Kornfraktion der Minerale < 0,1 mm. Deutlich wird der residuale Charakter in der

Terra fusca-Rendzina aus Reichenhaller Schichten (ÖK\_B7). Hier wurden nur noch 12 Granate, drei Zirkone, ein Rutil, ein Staurolith und fünf Hornblenden identifiziert.

### C) Reiteralpe

#### C1. Silikatische Leichtminerale (Methode: RDA) - Reiteralpe

Die Referenzproben beziehen sich auf autochthone Braunerde-Typen, eine mittelgründige Terra fusca sowie eine glimmerreiche Pechrendzina (RA\_P8/1). Quarz, Albit und Kalifeldspäte prägen die Spektren. Glimmer ist im Oberboden angereichert, während mit zunehmender Solumtiefe Illite dominieren. Neben mixed-layer Material dominiert Illit, gefolgt von Kaolinit und Chlorit. Im sauren Milieu der podsoligen Braunerden sind die Illite an Kalium verarmt und in Bodenchlorit umgewandelt. Dabei steigt der Chlorit-Gehalt in den B-Horizonten an (27 Rel.-% bis 33 Rel.-%), während die Residualtone neben Illit in zweiter Häufigkeit bereits Kaolinit zeigen (Tab. 63).

#### C2. Haupt- und Spurenelemente (Methode: RFA) - Reiteralpe

SiO<sub>2</sub> tritt in allen Horizonten auf und beträgt in den Braunerden zwischen 50% und 59% (z.B. RA\_P10). Stärker schwanken die Gehalte in den podsoligen Vari-

anten (49% bis 59%) und den pseudovergleyten Braunerden (39% bis 62%), wobei eine generelle Abnahme mit der Profil- und Horizonttiefe eintritt. Der geringste Gehalt (6,5%) wird in der Pechrendzina ermittelt. Hier sind wieder gerundete Zirkone mit narbiger Oberfläche sowie prismatische, idiomorphe Zirkone bewerkenswert. Auffällig sind auch die hohen Prozentgehalte an Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, die mit den Daten von K<sub>2</sub>O und TiO<sub>2</sub> eine intensive Verwitterung der Mineralböden anzeigen. Der hohe K<sub>2</sub>O-Wert im T-Horizont ist an Kaolinit (27 Rel.-%) gekoppelt (Tab. 64)

#### C3. Schwermineralbestand - Reiteralpe

Generell liegen die Anteile von Hornblende und Epidot+Zoisit in den mineralischen Horizonten sehr hoch (55% bis 68%). An der Bodenoberfläche ist der Zustand von Hornblende und Hellglimmer sehr frisch. Zoisit übersteigt häufig den Epidotgehalt. Mit zunehmender Solumtiefe (ab 10 cm) ist in den B-Horizonten Hornblende und Glimmer sichtbar verwittert. Epidot und Zoisit dominieren die Hornblende oder umgekehrt. Häufig sind auch magnetische Minerale mit schwankenden Anteilen sowie vereinzelt Chloritoide. Sie weisen auf Gesteine hin, deren Biotite, Amphibole und Pyroxene durch thermale Prozesse chloritisiert wurden. In den residualen Horizonten (Bvt; Bv-T) ist die wenige Hornblen-

Tab. 63: Relative Mineralhäufigkeit in Horizonten von autochthonen Böden, Reiteralpe (Methode: RDA).

Probe	Qz <sup>1)</sup>	Kf	Albit	Cc	Dol	Glimmer /Illit <sup>2)</sup>	Chlorit	Reihung der Komponenten
Oh, Pechrendzina, RA_P8/1	++	+	+	tr	tr	+	0	Qz; Kf, Al >> Cc, Dol
Ahe, Podsol, RA_P 9/1	+++	+	+	+	+	+	+	Qz; Kf, Al >> Cc, Dol
Bv-T, Braunerde-Rendzina RA_P12/2	+++	+	+	0	0	+	+	Qz, Alb>Kf
Bvt, RA_P10/2, Braunerde	+++	+	+	0	0	+	+	Qz, Alb>Kf
Bv-T, RA_P1/1 Braunerde-Rendzina	++	+	+	+	+	+	+	Qz, Kf, Alb>>Cc, Dol
Terra fusca, T RA_P7/2	+++	+	++	0	0	+	+	Qz>Alb>> Kf

1) Semiquantitative Bestimmung aus dem Verhältnis der Peak-Höhen an texturlosen Feinbodenpräparaten: +++ = dominant; ++ = viel; + = wenig; Qz = Quarz; Kf = Kalifeldspat; Alb = Albit; Cc = Calcit; Dol = Dolomit; tr = trace, Spuren (Durchführung: U. RAST, GLA, München)

2) Differenzierung zwischen Illit und Glimmer nicht möglich; TM = Tonmineral (Aufweitung > 10 Å)

Tab. 64: Ausgewählte geochemische Parameter, Reiteralpe (Basis: Einzeldaten, RFA).

Horizont	Oxide (RFA) [Gew.-%]						Geochemische Indices	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Oh, Pechrendzina, P8/1	6,5	3,6	1,2	7,0	2,11	0,98	3,0	1,8
Ahe, Podsol, P 9/1	49,1	13,4	6,0	3,0	2,13	0,95	2,2	3,7
Bv-T, Braunerde-Rendzina P12/2	58,5	18,0	8,5	3,2	2,87	0,97	2,1	3,2
Bvt, 10/2, Braunerde	59,4	16,3	6,7	2,3	2,92	1,12	2,4	3,6
Bv-T, 1/1 Braunerde-Rendzina	45,7	17,6	8,2	2,5	1,68	1,06	2,1	2,6
Terra fusca, T RA_P7/2	43,7	22,8	10,1	7,0	3,70	1,14	2,2	1,9



Tab. 65: Schwermineralspektren ausgewählter Bodenhorizonte, Reiteralpe.

Probe	Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1mm-0,25mm												
	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Chloritoide	Kornsumme	
Podsol, P9/1, Ahe	2	1	1	1	1	1	0	0	38	55	0	300	
Pechrendzina, P8/1, Oh	35	7	0	2	0	2	0	0	25	29	0	100 <sup>1)</sup>	
BR-Terra fusca, P1/1, Bv-T	37	11	5	8	1	2	2	0	5	29	0	100 <sup>1)</sup>	
Braunerde, P10/1, Bvh	2	2	2	0	2	2	1	0	53	29	7	300	
Braunerde, P10/2, Bvt	8	2	1	2	2	3	3	0	20	58	1	100 <sup>1)</sup>	
BR-Rendzina, P12/2, Bv-T	5	6	1	6	2	1	0	0	14	64	1	80 <sup>1)</sup>	

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidot (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)  
<sup>1)</sup> Beachte schlechtere Statistik wegen geringer Kornpopulation!

de deutlich angelöst, weiß gebleicht oder braunfleckig (Fraktion < 0,1 mm). Epidot übersteigt den Zoisitanteil. Magnetische Minerale sind häufig bis mäßig vorhanden, Karbonatkörner bei hohem Opakanteil nicht selten (Tab. 65).

**Interpretation:**

Der Erhaltungszustand von Granat hängt vom Bodenmilieu ab. Die sauren Ah- und Ahe-Horizonte (pH: 3,9 bis 4,4) sowie die gekappten Bv-Horizonte (z.B. RA\_10/1) zeigen wenig Granat. Ein Anstieg ist in den mittel sauren bis schwach alkalischen Oh- und B-Horizonten zu verzeichnen (35% bis 37%). Auffällig ist die relative Anreicherung der Stablen in der Karrenfüllung RA\_P1/1, wo der hohe Granatgehalt zugleich die Vermischung mit rezentem Staub anzeigt.

Die Cv-Horizonte aus Geschiebemergel (Große Doline 1) zeigen außerordentliche Gehalte an magnetischen Mineralen und leicht angelöstem Granat (55%), der Epidot+Zoisit (30%) übersteigt. Hornblende ist nur mit 3% vertreten. Es wurden 54% CaO, 1% MgO, 1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1% SiO<sub>2</sub> (RFA) sowie Chlorit, Kaolinit und Feldspäte (RDA) ermittelt (DUFFY 2003). Diese Verhältnisse treten in keiner anderen Bodenprobe auf. Das Ergebnis wird durch eine kristallinreiche Grundmoräne erklärt, wie sie GILLITZER (1912, S. 186 ff) im Bereich der Schwegelalm beschreibt.

**4.4 Ergebnisse der Analysen von nicht-rezent äolischen Böden**

**4.4.1 Äolische Deckschichten**

Außergewöhnlich sind mächtige glimmerreiche Substratdecken in unterschiedlicher Flächenausdehnung. Eng an sie gebunden sind die verschiedenen Subtypen der Braunerde (Ah/B/IIC) aus der Gruppe II (allochthone Böden) (Foto 2, Kap. 1.4).

**Zugspitzplatt:**

Die größte zusammenhängende Fläche nehmen die äolischen Substrate auf dem Zugspitzplatt ein. Dort herrschen sie auf SE- bis S-exponierten Hängen zwischen 1950 m and 2150 m vor. Sie sind ausschließlich mit dem

reifen Blaugras-Horstseggenrasen (*Seslerio-Caricetum semp.*) bewachsen. Sie treten reliefdeckend im Karst auf, vermutlich als Reste einer ehemals geschlossenen Deckschicht. Die größten Mächtigkeiten von mehr als 1,5 m (ergrabene Tiefe) erreichen sie als Kolluvien in Karstgassen und Dolinenreihen, die als Tiefenlinien die verkarsteten Schichtköpfe und -flächen voneinander trennen. Zwischen 2150 m und 2230 m werden die äolischen Substrate immer geringmächtiger und verschwinden jenseits von 2250 m.

**Westliche Karwendelgrube:**

Dort ist das Vorkommen der schluffreichen Substrate auch am Auftreten bestimmter Pflanzengesellschaften festzumachen. Die Kartierungen zeigen hier eine enge Bindung an *Salicetum herbaceae*, dem Silikatkrautwede-Schneeboden mit *Euphrasia minima* (SAITNER 1989; SAITNER und PFADENHAUER 1989). Diese für die Kalkumgebung außergewöhnliche Vegetationsgesellschaft bedeckt die N- und NE-exponierten Hänge (Leehänge) der Großdoline. Ein eng begrenztes Areal von äolischen Substraten befindet sich jedoch auch im Luv, am SE-exponierten Hang der Kirchlwiese am konkaven Hangfuß. In der Östlichen Karwendelgrube fehlen die äolischen Substrate.

**Reiteralpe:**

Die äolischen Substrate treten ebenfalls in flächenhafter Verbreitung an den S- und SE-exponierten Hängen (Neigung: 20° bis 30°) der Gipfelumrahmung auf. Sie sind zwischen Wartsteinkopf und der Traunsteiner Hütte mit *Seslerio-Caricetum semp.* bewachsen und ziehen auch in die obere subalpine Stufe hinab. Auch in der subalpinen Stufe des Hagengebirges wurden Deckschichten von ARTMANN und VÖLKE (1999) gefunden. In anderen Bereichen des Nationalparks sind die Deckschichten als „Äolium-Kolluvium“ kartiert (KONNERT 2004). Diese Kennung umschreibt treffend die Profile der vorliegenden Arbeit, die entlang von Wegeinschnitten (Wartstein-Schrecksattel) aufgeschlossen, dort Akkumulationslagen beschreiben. Verschüttete Ah-Horizonte markieren die Materialbewegung in diesen Bodenkomplexen („humoses Äolium-Kolluvium“ n. KONNERT 2004). Die äolischen Substrate sind die Grundvoraussetzung für das Auftreten von allochthonen Böden. Sie stellen im

periglazialen Milieu der alpinen bis subnivalen Höhenstufe von ZP und WKG eine außerordentliche Besonderheit dar. In der subalpinen bis unteren alpinen Stufe der RA treten diese allochthone Böden zu den autochthonen Braunerde-Typen und Terra fuscae-Ähnlichen hinzu. Die Geländeergebnisse zeigen häufig Podsolierung und Pseudovergleyung. Zur Unterscheidung von den autochthonen Braunerden (z.B. aus Gosaukalken) werden sie als Subtypen der Lössbraunerde angesprochen. Eine Zusammenfassung gibt die Tabelle 66.

#### 4.4.2 Allochthone Böden - Zugspitzplatt

Die Mineralböden ((A)/B/IIC) weisen ausgeprägte B-Horizonte von kräftig brauner Farbe auf (10 YR 4/4, 10 YR 5/3, 7.5YR 4/4, 7.5YR 5/4). Wenn vorhanden, sind die A-Horizonte geringmächtig (1 cm bis 5 cm) und grau bis grauschwarz (2.5 Y 3/1; 2.5 Y 4/1; 2.5 Y 5/1).

In Abhängigkeit von der Reliefposition treten zwei genetische Subtypen sowie Mischformen auf (Tab. 67).

Tab. 66: Verbreitung und Kurzcharakteristik der äolischen Substrate.

	Zugspitzplatt	Westliche Karwendelgrube	Reiteralpe
Vorkommen	1950m – 2200m	2240m – 2380m	1450m – 1800m
Relieflage	- flächenhaft zwischen 1950m und 2150m - Reste als Füllung von Karstformen (Dolinen, Karren, Schachtreihen)	- größere Flächen am N- und NE-exp. Linderhang, Lee - kleine Flächen in Akkumulationslagen in der Großdoline - Reste am SE-Hang des Kirchls, Luv	- größere Flächen als Decksedimente auf ESE- und SE-exp. Hängen, Luv - kleinere Flächen verstreut auf dem Karstplateau - Reste als Füllung von Karstformen
Mächtigkeit	- 15cm bis 65cm - als Füllung 60cm bis >100cm	- 60cm bis 90cm - als Kolluvium 85cm bis 110cm	- 20cm bis 80cm - als Füllung 20cm bis >100cm - als Kolluvium 60cm bis >120cm
Ansprache	- äolische Deckschicht, lößlehmartig verwittert - Kolluvium in Tiefenlinien (Karstgassen)	- Hanglöß, lößlehmartig verwittert, z.T. Solifluktionslöß - Hangkolluvien	- äolische Deckschicht, lößlehmartig verwittert - Kolluvium in Hangfußlage und in Dolinen
Vergesellschaftete Bodentypen	- Lössbraunerde über Residualton (Terra fusca) aus Wettersteinkalk	- Braunerde-Rendzina - Lössbraunerde - Braunerde über Residuallehm - Haftnässepseudogley-Braunerde über Residuallehm aus Muschelkalk	- Lössbraunerde - Lössbraunerde über Terra fusca bzw. Residualton aus Dachsteinkalk oder Gosau - Pseudogley-Braunerde - Podsolige Braunerde
Überprägung	- leicht podsoliert	- pseudovergleyt und leicht podsoliert	- pseudovergleyt, podsoliert, podsolig

Tab. 67: Typen von allochthonen Böden auf dem Zugspitzplatt.

	SUBTYP 1	SUBTYP 2	Mischformen
Charakterisierung	Äolische Braunerde über Residualton aus Lokalmoräne	Äolische Braunerde über anstehendem Wettersteinkalk mit Residualtontapeten	Mischformen auf Lokalmoräne oder Fels <b>ohne</b> horizontgebundene Anreicherung von Residualton
Horizontierung	Ah / Bv / II T / ICv	(Ah) / Bv / II (Tc) / mCv	(Ah) / Bv-T / II Cv (Ah) / Bvt / II Cv
Referenzprofil	ZP_P 17	ZP_P 18, 21	ZP_P 19, 20
Ansprache, vorliegende Arbeit	Lössbraunerde über Terra fusca	Lössbraunerde über Wettersteinkalk mit Residualtontapeten	Lössbeeinflusster Residualton oder: Residualbeeinflusster Lößlehm
Einordnung (AG Boden 1996)	Braunerde über flachgründiger Terra fusca	Braunerde über Kalkstein	Braunerde-Terra fusca
WRB (1998)	Cambisol	Cambisol over Rendzic Leptosol	Cambisol
Einordnung FAO (1990)	Cambisol over Chromic Cambisol	Cambisol	Chromic Cambisol with characteristics of Cambisol



**Subtyp 1** auf Lokalmoräne beschreibt Braunerden über den T-Horizonten (2 cm bis 5 cm mächtig) der reifen Polsterrendzina, d.h. genetische Mehrschichtprofile. Die Mächtigkeiten liegen zwischen 15 cm und 60 cm.

**Subtyp 2** auf anstehendem Fels bezeichnet Lössbraunerden, deren Verwitterungshorizonte taschen- bis zapfenförmig als Karrenfüllungen in den mCv-Horizont ziehen. Der Wettersteinkalk selbst ist löchrig angewittert und nur mit residualen Toncutanen bzw. Lehmtapeten überzogen. In Karstgassen und Dolinen erreichen die kolluvialen Braunerden bis zu 150 cm.

**A) Laboranalytische Charakterisierung - Zugspitzplatt**

**A1. Organische Substanz, pH-Wert und Karbonatgehalt**

Die glimmerreichen Ah-Horizonte aus dichtem Wurzelfilz sind stark sauer (pH-Werte: 4,6 bis 5,8) und humos (org. Substanz: 14,3% bis 16,6%). Sie tragen oft Merkmale einer leichten Sauerbleichung.

Die ebenfalls glimmerreichen B-Horizonte sind mittel bis stark humos (org. Substanz Bvh: 3,4% bis 7,7%). Kennzeichen leichter Podsolierung (Bhv) und Lessivierung (Btv) sind die schwache Pantherfleckung, Humusbeläge in den Aggregaten (org. Substanz: 8% bis 15%) sowie entrindete Quarzkörnchen. In gekappten Profilen ist das braune Solum schwach karbonathaltig (bis 5,3%), die pH-Werte liegen zwischen 4,9 und 6,2. Ist ein A-Horizont vorhanden, dann sind die B-Horizonte stets entkalkt.

**A2. Korngrößenverteilung**

Das Bodengefüge der Ah-Horizonte ist krümelig, jenes der skelettfreien B-Horizonte krümelig bis subpolyedrisch. Die Einzelwerte der Ah- und B-Horizonte zeigen eine klare Dominanz der Schluff-Fraktion, die in den Subtypen 1 und 2 zwischen 73% und 85% (ZP\_P17, P18, P21) erreicht. Mittel- und Feinschluff haben entsprechend des Verwitterungsstatus der Lösslehme den größten Anteil. Die Sandfraktion (4% bis 10%) tritt in den Oberböden zurück. Mittelsand ist vermutlich eingespült, da die B-Horizonte sandfrei oder nur schwach feinsandführend (bis 4%) sind. Tongehalte von mehr als 35% zeigen auf Felsstandorten die Nähe zu den residualen T-Horizonten an (Tab. 68).

**B) Pedologische Indikatoren für äolische Substratherkunft - Zugspitzplatt**

**B1. Kornparameter**

Die Bodenart Schluff kennzeichnet die glimmerreichen Ah-, Bv- und Btv-Horizonte. Die Kornparameter der B-Horizonte zeigen Substrathomogenität an, wobei die wechselnden Tongehalte die Verlehmungsgrade des äolischen Ausgangsmaterials belegen. Hohe Tongehalte (> 35% bis 40%) sind für die Unterbodenhorizonte (Bt- oder Bv-T) der Mischformen auf Fels typisch (U/T: 1,8 bis 2,0). Genetische Zweischichtprofile sind anhand der mittleren U/T-Quotienten ablesbar. Sie betragen für die II T-Horizonte nur noch 1,4 (Tab. 69).

**B2. Lithologisch-genetischer Schichtwechsel**

Die Substratfolge „Lösslehm über Residualton“ ist durch Texturwechsel belegt. In Profil P17 geht stark toniger Schluff im Bv1-Horizont (18,1% Ton; 81,6% Schluff) in mittel schluffigen Ton im II (Bv-)T-Horizont über. Durch intensive holozäne Umlagerung hat eine Vermengung des Lösslehms mit Residualton stattgefunden. Im Vergleich dazu weist das Residualsubstrat der reifen Polsterrendzina (ZP\_P29/3) im schwach schluffige Unterboden (ZP\_P29/3) bis zu 57,3% an Ton auf (Tab. 70).

**4.4.3 Allochthone Böden - Westliche Karwendelgrube**

Die vorgestellten Profile zeigen in Abhängigkeit vom Substrat drei Subtypen der Lössßbraunerde (Tab. 71).

**Subtyp 1** repräsentiert das noch nicht verbrauchte Entwicklungsstadium der äolischen Mullrendzina.

**Subtyp 2** bezeichnet flach- bis mittelgründige Lössbraunerden in östlicher Exposition sowie am SE-exponierten Luvhang. Sie besetzen im Verbund mit den autochthonen mullartigen Rendzinen und Polsterrendzinen die Akkumulationslagen (konkav, konvex-konkav) auf Schutt. Die Mächtigkeit der Profile beträgt zwischen 32 cm und 50 cm, jene der B-Horizonte zwischen 8 cm und 48 cm. In der Regel leiten Bv+Cv-Horizonte zum liegenden Muschelkalkschutt über. Je nach Substrat (Fels,

**Tab. 68:** Korngrößenverteilung [Gew.-%] allochthoner Böden, Zugspitzplatt.

Profil	Horizont [cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T <	S	U
			2000-630µm	630-200µm	200-63µm	63-20µm	20-6,3µm	6,3-2µm	2µm	[%]	[%]
<b>Subtyp 1</b> auf Lokalmoräne: ZP_P17	Ah	0-3	0	2,7	2,6	21,3	38,1	19,6	16,1	5,3	<b>79,2</b>
	Bv1	3-25	0	0	0,6	26,2	31,8	23,6	18,1	0,6	<b>81,6</b>
	Bv2	25-35	0	0	3,7	26,4	37,4	21	11,7	3,7	<b>84,8</b>
	II T	35-37	0	0	0	13,8	28,1	18,3	<b>39,8</b>	0	<b>60,2</b>
<b>Subtyp 2:</b> ZP_P18 auf Fels, ZP_P21	II Bv	0-15	0	0	0	18,1	36,7	21,1	24,1	0	<b>75,9</b>
	II Bv	0-20	0	5,7	4,4	16,2	32,0	25,0	16,8	10,1	<b>73,2</b>
<b>Mischform</b> auf Moräne + Residuum, ZP_P19	Ah	0-8	1,2	2,3	3,3	28,1	20,9	19,1	25,1	6,8	<b>68,1</b>
	II Bv-T	8-25	0	0	0	3,2	18,5	36,4	<b>41,8</b>	0	<b>58,1</b>
<b>Mischform</b> + Lösslehm auf Fels, ZP_P20	II Bvt	0-13	0	0	0	15,7	28,1	21,1	<b>35,1</b>	0	<b>64,9</b>

**Tab. 69:** Bodenarten der Feinerde und Kornparameter, Zugspitzplatt.

Horizont	Bodenart <sup>1)</sup>	Bodenartengruppe <sup>2)</sup>	Hauptgruppe	Kornparameter für die Horizontgruppe <sup>3)</sup>		
				U / T	mU / gU	fU / gU
Ah	mittel toniger U	Lehmschluff	U	4,9	1,8	0,9
Bv	mittel toniger U	Lehmschluff	U	5,8	1,7	1,2
Btv	stark toniger U	Tonschluff	U	3,5	1,3	1,0
Bt	mittel schluffiger T	Schluffton	T	1,8	1,8	1,3
II(Bv-)T	mittel schluffiger T	Schluffton	T	1,4	3,9	6,3

1) S = Sand, U = Schluff, L = Lehm, T = Ton  
 2) Definition nach AG BODEN (1996, S. 135-140)  
 3) Darstellung der Quotienten als Mittelwerte aus ähnlichen Horizonten, berechnet auf den Kornanalysedaten [%] von 5 Einzelprofilen. Für den Ah-Horizont liegen nur 4 Werte vor!

**Tab. 70:** Korngrößenvergleich zwischen Lößbraunerde und autochthoner Polsterrendzina.

Referenzprofil	Horizont [cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T <
			2000-630µm	630-200µm	200-63µm	63-20µm	20-6,3µm	6,3-2µm	2µm
Lößbraunerde über Residualton ZP_P17	17/1 Ah	0-3	0	2,7	2,6	21,3	38,1	19,6	16,1
	17/2 Bv1	3-25	0	0	0,6	26,2	31,8	23,6	18,1
	17/3 Bv2	25-35	0	0	3,7	26,4	37,4	21	11,7
	17/4 II(Bv)-T	35-37	0	0	0	13,8	28,1	18,3	39,8
Reife Polsterrendzina ZP_P29	29/1 Oh	0-17	3,2	4,1	7,9	19,1	29,5	14,5	22,8
	29/2 Oh+T	17-20	0	1,7	5,4	5,1	20,6	16,3	50,9
	29/3 T	20-22	0	0	0	8,5	10,5	22,7	57,3

**Tab. 71:** Typen von allochthonen Böden, Westliche Karwendelgrube.

	SUBTYP 1	SUBTYP 2	SUBTYP 3
Charakterisierung	Äolische Mullrendzina über Residualtontapeten aus Muschelkalk	Äolische Braunerde über Residualton aus Muschelkalkschutt	Äolische Braunerde über anstehendem Muschelkalk mit Residualtontapeten
Horizontierung	Ah / II (TCv) / mCv	Ah / Bv / Bv+Cv / II (T) / ICv	Bv / II (TCv) / mCv
Referenzprofil	KG_P11, P12	KG_P1, P2	KG_P3, P4
Ansprache, vorliegende Arbeit	Äolische Mullrendzina über Muschelkalk mit Residualtontapeten	Lößbraunerde über initialer Terra fusca	Kolluviale Lößbraunerde über Muschelkalk mit Residualtontapeten
Einordnung (AG Boden 1996)	Mullrendzina	Flach- bis mittelgründige Braunerde über Terra fusca	Mittelgründige Braunerde über Kalkstein
Einordnung WRB (1998)	Mollic Leptosol	Cambisol over Calcaric Regosol with features of chromic B	Cambisol over Calcaric Leptosol
Einordnung FAO (1990)	Mollic Leptosol	Cambisol over Chromic Cambisol	Cambisol

Hangschutt) tritt Grobskelett (1% bis 10%) auf. Die sandigen Ah-Horizonte von Subtyp 2 sind durch frische Glimmerschüppchen, hohe Feinsandgehalte und entrindete Quarzkörner markiert. Je nach Humusdynamik sind sie schwarz (10 YR 2/2) oder dunkelbraun (10 YR 3/1; 10 YR 2/2). Quarzkörner, diffuse Fleckung und Bleichung beweisen leichte Podsolierung. Die B-Horizonte sind deutlich glimmerführend und hellgelb bis braun (10 YR 6/3; 10 YR 5/6; 10 YR 5/8). Der Bewuchs ist vielfältig (*Caricetum firmae*, *Salicetum herbaceae*, *Seslerio-Caricetum semp.*).

**Subtyp 3** markiert mittelgründige Lössbraunerden von großer Mächtigkeit (60 cm bis 90 cm) in N- und NE-Exposition. Der Bewuchs ist ausschließlich *Salicetum herbaceae*. Die starke Hangneigung bedingt kolluviale Überprägung. Subtyp 3 tritt meist über unterschiedlich verwittertem Fels auf und zeigt an diesem Übergang erhöhte Tongehalte, die Hangzugwasser stauen. Das Resultat sind Nano-Pseudogleye. Ah-Horizonte fehlen oder sind nur geringmächtig (< 2 cm) als dichter Wurzelfilz vorhanden. Die braunen bis braungelben B-Horizonte sind sehr stark glimmerführend.



**Tab. 72:** Korngrößenverteilung [Gew.-%] allochthoner Böden, Westliche Karwendelgrube.

Profil	Horizont	gS 2000- 630µm	mS 630- 200µm	fS 200- 63µm	gU 63- 20µm	mU 20- 6,3µm	fU 6,3- 2µm	T < 2µm	S [%]	U [%]
<b>Subtyp 1:</b> Äolische Mullrendzina	Ah 11/1	6,8	15,1	49,9	13,2	6,2	5,8	3	71,8	25,2
	Ah 12/1	4,2	12,3	42,4	18,1	9,8	7,4	5,8	58,9	35,3
<b>Subtyp 2:</b> Flachgründige Lößbraunerde	Aeh 1/1	11,8	13,6	13,1	12,4	17,6	16,8	14,7	38,5	46,8
	Bv 1/2	11,4	12,1	10	9	18,6	20,5	18,4	33,5	48,1
	Bv-TIIcV	5,3	11,5	20,1	18,1	18,9	3,9	22,1	36,9	40,9
	AhBv 2/1	15,1	28,1	21,1	15,2	7,6	6,8	6,1	64,3	29,6
	Bv 2/2	14,4	14,7	12,5	9,3	18,1	17,1	13,9	41,6	44,5
	Bv+IIcV 2/3	8,5	10,3	15,6	11,9	14,9	19,8	19	34,4	46,6
<b>Subtyp 3:</b> Mittelgründige Lößbraunerde	Bv1 3/1	10,0	10,3	13,3	13,8	15,1	23,1	14,4	33,6	52,0
	Bv2 3/2	7,5	12,2	10,2	14,8	17,8	21,2	16,3	29,9	53,8
	AhBv 4/1	5,8	12,3	23,8	18,1	19,8	12,1	7,9	41,9	50
	Bv 4/2	2,3	9,0	18,0	14,7	17,1	19,6	19,3	29,3	51,4

**Tab. 73:** Bodenarten der Feinerde und Kornparameter, Westliche Karwendelgrube.

Bodenhorizont	Bodenartengruppe	Haupt- gruppe 1)	Kornparameter für die Horizontgruppe <sup>2)</sup>		
			U / T	mU / gU	fU / gU
Ah, Mullrendzina, äolisch	Schluffsand	<b>S</b>	7,2	0,5	0,4
Ah, Lößbraunerden	Schluffsand	<b>S</b>	4,1	0,9	1,4
Ah-Bv, Lößbraunerden	Schlufflehm Sandlehm	<b>L</b>	5,8	1,1	0,7
Bv, Lößbraunerde, gekappte Profile	Sandlehm	<b>U</b>	3,4	1,1	1,4
	Lehmschluff		2,5		
Bv	Typ. Lehm Tonschluff	<b>L</b>	2,1	1,6	1,5
Bv-II mCv ; Bv-II ICv	typ. Lehm	<b>L</b>	2,1	1,1	0,9
II ICv, II mCv Residuum	Schluffton	<b>T</b>	1,5	21	28

1) S = Sand, U = Schluff, L = Lehm, T = Ton, Definition nach AG BODEN (1996, S. 135-140)  
 2) Darstellung der Quotienten als Mittelwerte aus ähnlichen Horizonten, berechnet auf den Kornanalysedaten [%] der Einzelprofile. Für den Ah-Horizont liegen nur 5 Werte vor!

**A) Laboranalytische Charakterisierung - Westliche Karwendelgrube**

**A1. Organische Substanz, pH-Werte und Karbonatgehalt**

Die quarz- und glimmerreichen Fremdstäube bedingen saures Milieu. Sehr sauer sind die gut entwickelten B-Horizonte vom Subtyp 3 (pH: 3,9 bis 4,3). Ein Anstieg der pH-Werte in den mittel sauren Bereich tritt mit zunehmender Solumtiefe auf. Die Gehalte an organischer Substanz unterscheiden sie deutlich von den organogenen Rendzinen. Die Ah-Horizonte sind mit 7% bis 10% stark humos, während die B-Horizonte Gehalte zwischen 2% und 6% aufweisen. Die Abnahme der organischen Substanz mit der Profiltiefe zum C-Horizont ist regelhaft.

**A2. Korngrößenverteilung**

Die Aeh- bzw. (Ah-Bv)-Horizonte sind auffällig sandreich (40% bis 72%), wobei sich die einzelnen Subfraktionen abgesehen von der Mullrendzina (Feinsanddominanz!) ungefähr gleichmäßig verteilen. Mit zunehmender Profil-

tiefe steigt in den Bvt-Horizonten auch wieder der mittlere Tongehalt von 10% auf 20% (Tab. 72).

**Interpretation:**

Die Sanddominanz steht im Gegensatz zu den Kornspektren der Flugstäube. Eine Erklärung ist die starke solifluidale Überprägung der Deckschichten, wodurch größere Kornfraktionen aus dem Gesteinsabrieb der Schutthalden in die Böden gelangen. In den B-Horizonten sinken die Sandgehalte (30% und 42%) wieder und liegen in den tonreicheren Horizonten unter 30%. Die Schluffgehalte der B-Horizonte haben geringe Schwankungsbreiten (41% bis 54%) und beweisen dadurch homogenes Substrat.

**B) Pedologische Indikatoren für äolische Substratherkunft**

**B1. Kornparameter**

Die Oberböden (Ah, Bv gekappt) repräsentieren Schlufflehme und Schluffsand, sonst dominieren typische

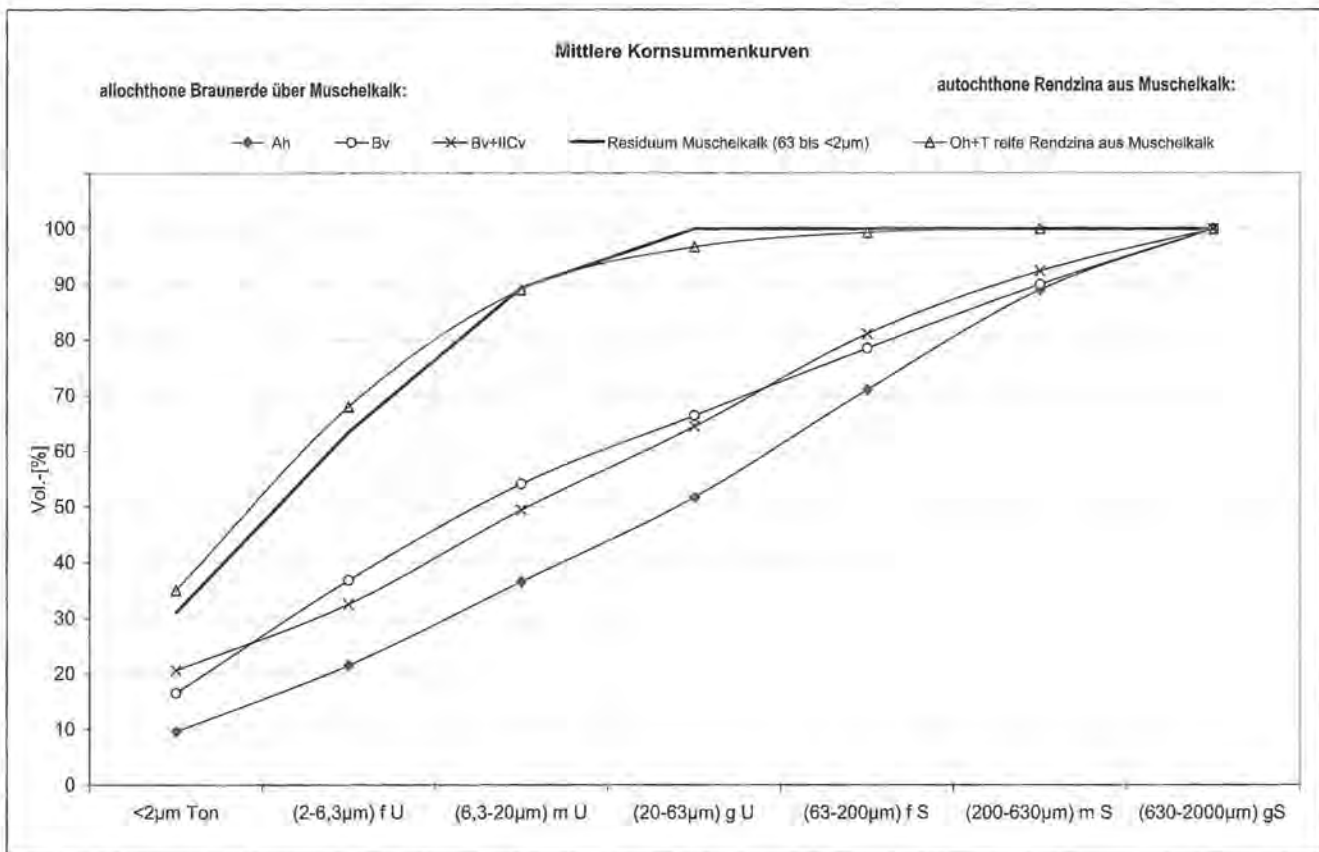


Abb. 9: Vergleichende Kornsummenkurven von Böden und Staub, Westliche Karwendelgrube.

Lehme und Tonschluffe. Am Übergang zum Muschelkalk treten Schlufftone auf.

Dieser Wechsel belegt die Schichtung „äolische Deckschicht über Muschelkalk“. Hohe U/T-Quotienten (U/T: 3,4 bis 7,2) unterstreichen den äolischen Charakter des Decksubstrats (Tab. 73).

## B2. Vergleichende Kornsummenkurven

Die unterschiedliche Herkunft der Sola von Lössbraunerde und autochthonem Mineralboden wird im Vergleich mit den Kornsummenkurven der Flugstäube und Gesteinsresiduen deutlich (Abb. 9).

### 4.4.4 Allochthone Böden - Reiteralpe

Die allochthonen Braunerden werden in vier Subtypen unterschieden. Die **Subtypen 1 und 2** besetzen verschiedene Stellen im Relief, treten aber mit größerer Häufigkeit in Dolinen sowie im Bereich von wasserstauenden Substraten auf. Stau- oder Haftnässe bedingen unterschiedliche Grade der Pseudovergleyung (Profile der Catena 2 bis 4, Tab. 12, Kap. 2.3). **Subtyp 3** bezeichnet Lössbraunerden, die aus Hangkolluvien entstanden sind (vgl. Tab. 12, Catena 1).

**Subtyp 4** tritt nur punktuell in Dolinen zwischen Wachterlsteig und Saugasse auf, wo Reste von Verwitterungsprodukten der ehemaligen Decken (Jura, Kreide) mit kristallreichen Lokalmoränenresten vermengt sind.

Sind diese Substrate schluffreich, dann tritt sogar Lesivierung mit dem Sonderfall der Parabraunerde (RA\_P18 /GD 1) auf. Insgesamt sind leichte bis mittlere Grade der Podsolierung und Pseudovergleyung auffällig, die zu Übergangstypen aus der Klasse der Podsole führen (Tab. 74).

## A) Laboranalytische Charakterisierung - Reiteralpe

### A1. Organische Substanz, pH-Werte und Karbonatgehalt

Die Ah-Horizonte sind wurzelverfilzt und feinerde- sowie karbonatarm. Die organische Substanz beträgt dort zwischen 13% und 18%. Die beginnende Bleichung drückt sich in der Farbe (5 YR 4/1; 7,5 YR 5/1) aus. Das C/N-Verhältnis der Ah-Horizonte vom Subtyp 3 beträgt zwischen 20 und 24. Damit ist die biologische Aktivität dort im Moder (L/Of/Ah) nur mäßig. Of- und Oh-Material liegen als dünne Lagen über dem Ah-Horizont bzw. sind mit diesem vermischt.

Die sandigen Aeh-Horizonte der podsoligen und pseudovergleyten Braunerden (Subtyp 2, z.T. Subtyp 4) sind stark humos (org. Substanz: 6% bis 9%). Die biologische Aktivität ist trotzdem gut (C/N 11 bis 13). Die Horizonte zeigen saures Milieu (pH: 4 bis 5) an. Bei den podsoligen Typen (Subtyp 2) sind die A-Horizonte sehr stark sauer (pH: 3,6 bis 3,8).

Die braunen B-Horizonte (10 YR 6/3; 10 YR 7/6; 10 YR 6/6; 10 YR 6/4) sind schwach (RA\_P17) bis mittel humos (RA\_P15). In den B-Horizonten zeigt sich Sickerwasserzug in Form von Schlieren, Bändern oder Panther-



Tab. 74: Einordnung der allochthonen Böden auf der Reiteralpe.

	SUBTYP 1	SUBTYP 2	SUBTYP 3	SUBTYP 4
Charakterisierung	Äolische Braunerde über Residualton aus Dachsteinkalk	Äolische Braunerde über anstehendem Dachsteinkalk mit Residualtontapeten	Äolische Braunerde aus Kolluvium über Dachsteinkalk	Äolische Braunerde aus kristallinreichem Geschiebelehm in Doline über Dachsteinkalk
Referenzprofil	RA_P4	RA_P6	RA_P14; RA_P15	RA_P18/GD1
Horizontierung	Ah / Bv1 / Bv-II T / TmCv	Ahe / Bsv / Sd-Bv-II T / mCv	Ah / (Ahe) / Bvh / III mCv	Ah / Bsv / Sw / II Sd / II Bv / ICv
Ansprache, vorliegende Arbeit	Lößbraunerde über Residualton aus Dachsteinkalk	Podsolige Lößbraunerde Podsol-Braunerde Podsol	Lößbraunerde aus äolischem Kolluvium über Dachsteinkalk	Pseudogley-Braunerde aus kristallinreichem Geschiebelehm über Dachsteinkalk
Einordnung (AG Boden 1996)	Braunerde-Rendzina Braunerde-Terra fusca	Podsolige Braunerde Podsol-Braunerde Podsol	Braunerde	Pseudogley-Braunerde
Einordnung WRB (1998)	Cambisol	Ferralic Cambisol; Podzole	Cambisol (with spodic and stagnic features)	Gleyi-stagnic Cambisol
Einordnung FAO (1990)	Cambisol over chromic Cambisol	Spodi-dystric Cambisol	Cambisol	Stagno-gleyic Cambisol

fleckung. Häufig ist eine leichte Roststichigkeit in den Aggregaten.

Der Grad der Hydromorphie-Merkmale hängt von der Ausprägung der Pseudovergleyung ab. Im Profil RA\_P17 bedecken die Merkmale eine Fläche von mehr als 80%. Der Sw-Horizont zeigt orange bis rötliche Rostflecken und orangefarbene stecknadelkopfgroße Konkretionen. Er ist fahlbraun aufgehellt (10 YR 7/6; 10 YR 8/6). Die pH-Werte liegen zwischen 4,1 und 4,8. Der Sd-Horizont ist marmoriert und hell. Die Rost- und Bleichsektionen bedecken 50% (DUFFY 2003). Der Basenreichtum zeigt sich in einem Anstieg der Karbonatgehalte (4% und 13%). Das C/N-Verhältnis (5 bis 18) markiert gute bis mäßige Streuzersetzung und Stickstoffmineralisierung (Tab. 75).

#### A2. Eisenoxide, effektive Kationenaustauschkapazität

Aufgrund der ausgeprägten Braunerde-Podsol-Dynamik wird die Eisenoxidverteilung in den B-Horizonte vorgestellt. Stark humose Horizonte sind nicht analysiert, da hohe Gehalte an organischer Substanz das Bestimmungsverfahren verfälschen (SCHWERTMANN 1966).

Die hohen  $Fe_o/Fe_d$  Quotienten ( $> 3$ ) unterstreichen typischerweise die Podsolierung in den Horizonten RA\_4/1 und RA\_6/2. Im Vergleich dazu weisen die residualen T-Horizonte geringe Werte auf (Tab. 76).

#### Interpretation:

Das Verhältnis  $Fe_o/Fe_d$  bzw. der „Aktivitätsgrad“ (SCHWERTMANN 1959, S. 172) spiegelt die Umwandlung von amorphen Ferrihydraten zu kristallinen Formen (z.B. Goethit, Hämatit) wider. Es kann als ein Maß für den Verwitterungsgrad verwendet werden (MAHANEY et al. 1999). Höhere Gehalte an Ferrihydraten werden im reduzierenden Milieu der Stauhorizonte oder aufgrund von organisch-komplex gebundenem Fe (z.B. RA\_14/2; RA\_

17/3) bewirkt. Damit kommt eine Alterung, die sich in ansteigenden  $Fe_o$ -Gehalten (z.B. RA\_7/2) zeigt, in den Quotienten für die Lösslehmdecken nur in manchen Horizonten zum Ausdruck (z.B. RA\_15/3). Als Alternative sind für einige Horizonte die  $Fe_2O_3$ -Gehalte (6% bis 11%; Methode: RFA) aufgeführt, deren Höhe das Ausmaß der Tonmineralneubildung aus Glimmern verdeutlicht. Zusätzlich kennzeichnet die effektive Kationenaustauschkapazität das Aziditätsmilieu der Braunerde- bzw. Podsol-Dynamik (SCHEFFER et al. 1989; SCHLICHTING 1963; VÖLKELE 1995). Die saure Reaktion der podsolierten B-Horizonte führt zur Abnahme der basisch wirkenden Kationen an den Austauschern, während mit Annäherung an die II C-Horizonte besonders Calcium die Austauscherplätze besetzt (z.B. Bt-(T); RA\_15/3 Bv+IICv). Dies trifft auch für die Terra fusca zu, deren hohe Basensättigung (BS  $> 80\%$ ) den guten ökologischen Zustand zeigt. Im effektiven Wurzelraum der Braunerden sind die Nährstoffbedingungen deutlich ungünstiger. Hier hat Al einen Anteil von 50% und 80% an  $KAK_{eff}$ , was die Podsolierung belegt.

Die Basensättigung in den B-Horizonten ist auf Werte zwischen 18% und 26% gesunken. Im Ah-Horizont unter mullartigem Moder (Profil 6) zeigt der hohe Al-Belag die Fixierung von Al in Chelaten an, mit deren Hilfe die Verlagerung in den Bv-Sw-Horizont gefördert wird.

#### A3. Korngrößenverteilung

Sehr hohe Schluffgehalte im Oberboden (62% bis 78%) und in den B-Horizonten (64% bis 82%) sind typisch. Grob- und Mittelschluff nehmen die Hälfte der Gesamtfraktion ein. Die Tongehalte bewegen sich je nach Horizonttyp zwischen 9% und 17%. Ebenso typisch ist der Feinsand in den Ah-Horizonten (10% bis 42%), der die Podsolierung fördert. Dadurch tritt der Grobschluff als rezent-äolischer Zeiger hinter den Feinsand. Grobsand findet sich nur über sandig verwitternden Dachsteinkal-

Tab. 75: Laboranalytische Kennwerte von allochthonen Böden, Reiteralpe.

Bodenprofil	Horizont	pH-Wert (1nKCl)	Org. Substanz (Corg x 1,72) [%]	CaCO <sub>3</sub> [%]	C / N Verhältnis
<b>Subtyp 1: Lößbraunerde-Rendzina</b>					
RA_4/1	Bt	5,2	5,1	3,1	11,4
RA_4/2	Bt(T)	6	5,5	3,4	11
<b>Subtyp 2: Podsolige Lößbraunerde</b>					
RA_6/1	Ahe	3,8	9	1,3	11,3
RA_6/2	Bv-(Sw)	4	5,2	1,3	15
RA_6/3	Bv-(Sd)	4,6	3,5	3,6	18,2
<b>Subtyp 3: Pseudogley-Lößbraunerde</b>					
RA_17/1	Ah	4,4	6,5	0	13,2
RA_17/2	Bsv	5,5	1,5	0,79	16
RA_17/3	Sw	4,8	1,2	0,52	17,9
RA_17/4	II Sd	6,1	1,5	12,6	7,9
RA_17/5	II Bv	7,2	0,6	59,7	5,4
<b>Subtyp 4: Lößbraunerde auf Kolluvium</b>					
RA_14/1	Ah	5,1	13,4	7,8	25,1
RA_14/2	Bvt	4,8	11,4	6,6	22,1
RA_15/1	Ahe	4,9	18,2	3,2	23,4
RA_15/2	Bv	5,1	2,1	2,3	18,6
RA_15/3	BvIIcV	5,8	4,6	4,3	16,9

Tab. 76: Eisenoxidverteilung in ausgewählten Horizonten, Reiteralpe.

Bodenprofil	Pedogene Eisenoxide, dithionitlöslich Fe <sub>d</sub> [%]	Amorphes, freies Eisenoxid, oxalatlöslich Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>o</sub> / Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> RFA [%]
<b>Braunerde-Rendzina</b>				
RA_4/1 Bt	1,5	4,7	3,1	7,2
RA_4/2 Bt(T)	2,1	3,9	1,9	6,2
<b>Podsolige Lößbraunerde</b>				
RA_6/1 Ahe	0,9	2,8	3,1	n.b.
RA_6/2 Bv-(Sw)	1,2	5,5	4,5	n.b.
RA_6/3 Bv-(Sd)	1,6	2,1	1,2	n.b.
<b>Pseudogley-Lößbraunerde</b>				
RA_17/3 Sw	1,9	5,7	3,0	9,1
RA_17/4 II Sd	1,8	4,6	2,6	7,0
<b>Lößbraunerde auf Kolluvium</b>				
RA_14/2 Bvt	0,8	3,8	0,8	10,6
RA_15/1 Ahe	0,9	2,8	3,2	n.b.
RA_15/2 Bv	0,8	1,2	1,5	n.b.
RA_15/3 BvIIcV	0,8	0,9	1,1	n.b.
<b>Mittelgründige Terra fusca</b>				
RA_7/2 TCv	0,3	0,1	0,3	10,1

ken (z.B. RA\_17/5; RA\_15/3; Einzelwerte Kap. 10.3). Es dominieren Sand- und Lehmschluffe und in Richtung II C-Horizonte, je nach Zusammensetzung der Lösungsresiduen, Tonschluffe und Schlufftone sowie Schluff-sande. Diese Verteilung zeigt die Verwitterung des schluffreichen Flugstaubs zu lösslehmartigen Substraten. Sie sind sehr gut mit den Deckschichtenresten auf dem Zugspitzplatt vergleichbar, während in der Karwendelgrube der Sandlöss typisch ist.

## B) Pedologische Indikatoren für äolische Substratherkunft

### B1. Kornparameter

Die U/T-Quotienten bestätigen die genetischen Substratunterschiede. Ebenso ist der Sand in Form des Quotienten (gU+fS)/T ein äolischer Kennwert (Abb. 10). Als Resultat der Verwitterung tritt Mittelschluff in den residualen Horizonten (Bodengruppe I) hervor. Hier ist die Summe aus Feinschluff und Ton um



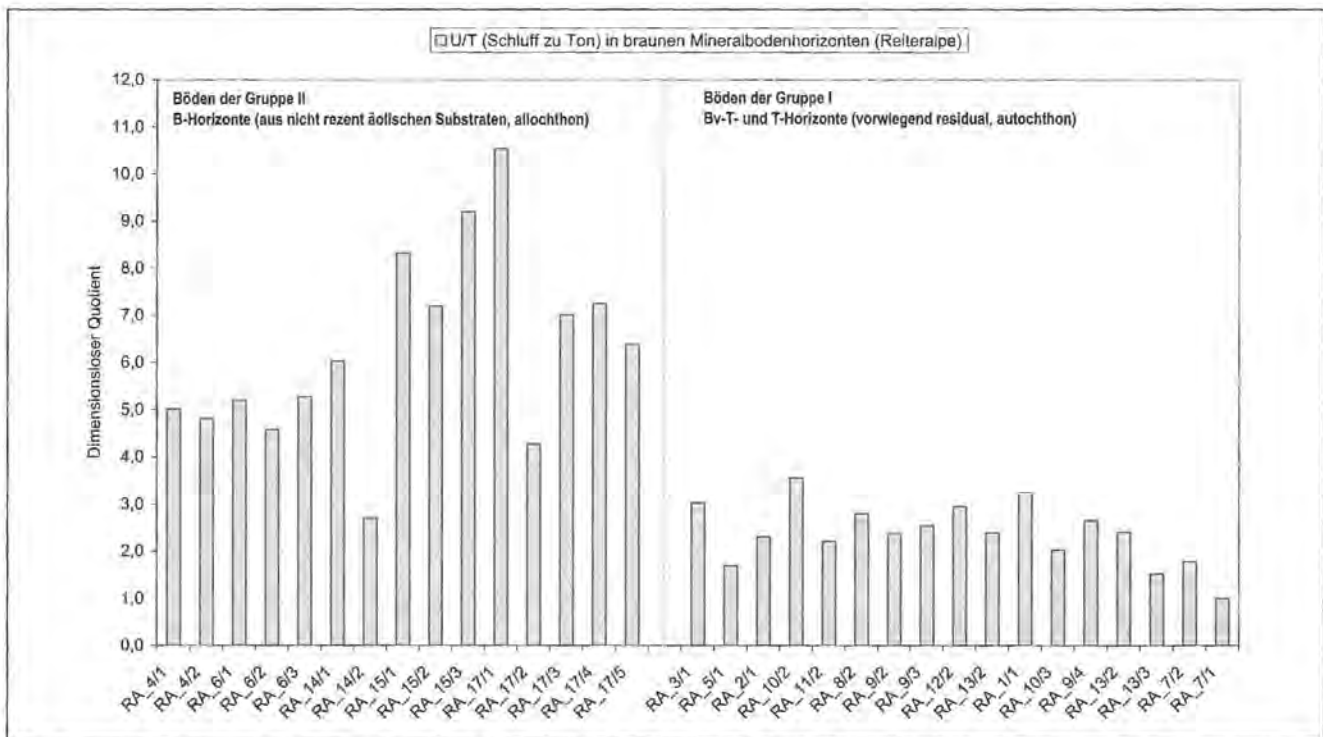


Abb. 10: U/T-Quotienten in Böden unterschiedlicher Substratherkunft, Reiteralpe.

den Faktor 1,5 höher als in den äolischen Substraten. Hingegen prägen Grobschluff und Feinsand die B-Horizonte der Gruppe II (Tab. 77).

## B2. Vergleich von Kornsummenkurven

Die genetische Verwandtschaft von T-Horizonten /Gesteinsresiduen (Dachsteinkalk, Gosaukalk) und B-Horizonten /Flugstaub drücken die jeweils ähnlichen Verläufe der Summenkurven aus (Abb. 11).

### 4.4.5 Mineralogische Indikatoren für äolische Substratherkunft

#### A) Zugspitzplatt

##### A1. Silikatische Leichtminerale (Methode: RDA) - Zugspitzplatt

In den Braunerden dominiert Quarz unabhängig von der Solumtiefe. Dies unterstreicht die Homogenität des Lösskomplexes. Am zweithäufigsten treten Feldspäte (Albite), Glimmer und Illitvertreter auf (Tab. 78).

#### Interpretation:

Das Mineralspektrum ist typisch für äolische Substrate (z.B. BAÜMLER et al. 2002; DAHMS 1992, 1993; DILL und

ZECH 1980; KALLENBACH 1966; MIZOTA et al. 1980; RENDELL 1989). Auffällig ist Chlorit als Mineral der Grünschieferfazies (z.B. Chloritschiefer). Einen weiteren Hinweis auf Einwehung aus dieser Fazies gibt Amphibol (meist als grüne bis schwarze Hornblende) als Hauptvertreter der Amphibol-Gruppe in Magmatiten.

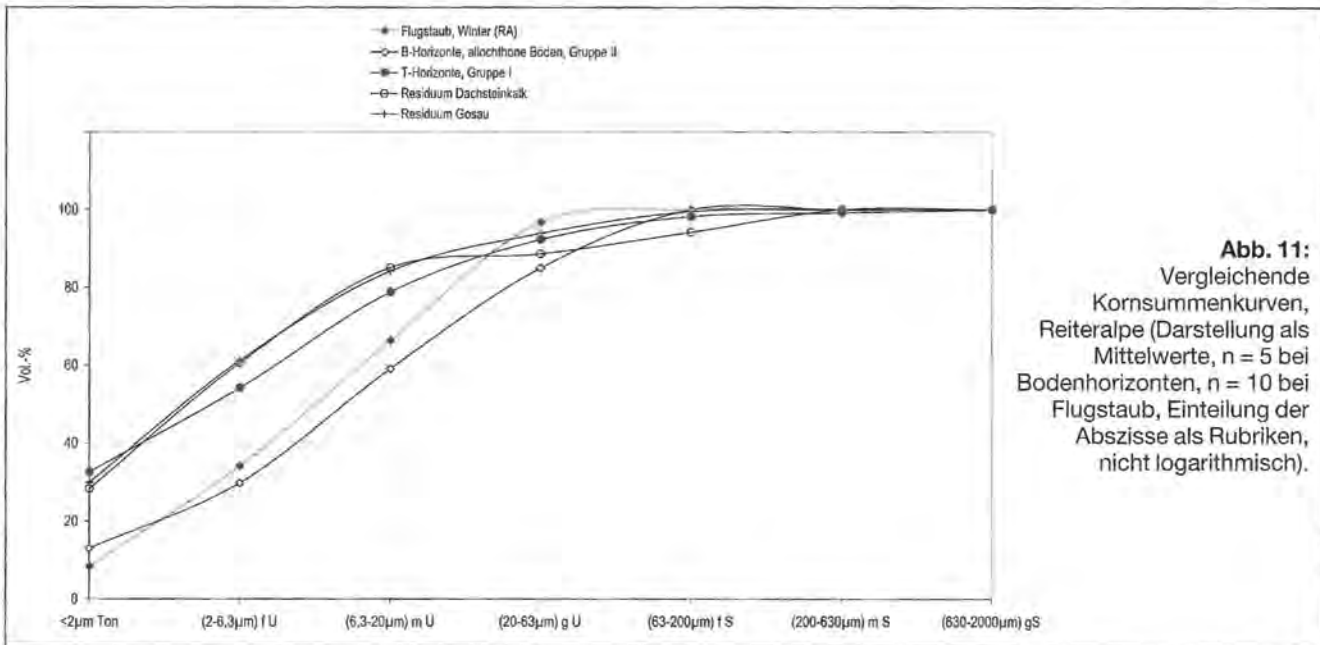
Die Lössbraunerde ZP\_P17 weist Illite und illitreiches *mixed-layer* Material (> 56 Rel.%) auf, wobei die Abnahme mit der Solumtiefe typisch ist für Böden aus Lössmaterial (RUHE 1984). Ebenso tritt Kaolinit auf, der aus der Feldspatverwitterung stammt oder aus primären Chloriten über sekundäre Chlorite entstehen kann (VAN HOUTEN 1953; BIRKLAND 1974). Endglieder dieser Verwitterungsreihe sind die identifizierten Spuren von Hämatit und Gibbsit (Tab. 79).

#### Interpretation:

Die geringen Chloritgehalte (16% bis 18 Rel.-%) der Lössbraunerde werden mit der Verwitterungsanfälligkeit von Fe reichen primären Chloriten erklärt. Sie werden bei sauren pH-Werten (pH < 5) durch das Herauswittern von Fe zerstört. Durch die Einlagerung von Al- und Fe-OH-Verbindungen in die Zwischenschichträume aufweitbarer Dreischichttonminerale können Al-Chlorite und Wechsellagerungsminerale entstehen (DILL und

Tab. 77: Mittlere Kornparameter der Schluff- und Sandfraktion von braunen Mineralböden, Reiteralpe.

Bodengruppen	U/T	mU/gU	fU/gU	(gU+fS)/T	fU+T [%]	(fU+T)/gU
Bv-T-, T-Horizonte Gruppe I	2,6	1,6	1,5	18	44	20
B-Horizonte Gruppe II	6,2	0,6	1,2	25	29	16



**Abb. 11:**  
Vergleichende  
Kornsummenkurven,  
Reiteralpe (Darstellung als  
Mittelwerte,  $n = 5$  bei  
Bodenhorizonten,  $n = 10$  bei  
Flugstaub, Einteilung der  
Abszisse als Rubriken,  
nicht logarithmisch).

**Tab. 78:** Relative Mineralhäufigkeit in allochthonen Bodenhorizonten, Zugspitzplatt (Methode: RDA).

Probe	Quarz <sup>1)</sup>	Kalifeldspat	Albit	Calzit	Dolomit	Glimmer /Illit <sup>2)</sup>	Chlorit	Spuren <sup>3)</sup>
ZP_P 17/1 Ah (0-3cm)	+++	0	++	+	+++	++	++	Gibbsit, Amphibole, Hämatit ?
ZP_P 17/2 Bv1(3-25cm)	+++	+	++	0	+	++	++	Amphibole, TM, Gibb- sit
ZP_P 17/3 Bv2 (25-35cm)	+++	+	+	+	0	++	+	Dolomit
ZP_P 17/4 II(Bv-)T (35-38cm)	+++	+	+	++	+	+	+	TM
ZP_P 18/1 Ah-Bvt (0-8 cm)	+++	+	++	0	0	+	+	TM
ZP_P 18/ 2 II(Bv-)T (8-20cm)	+++	0	++	+	0	+	+	Kaolinit, Amphibole, TM, Hämatit

1) Semiquantitative Bestimmung aus dem Verhältnis der Peak-Höhen an texturlosen Feinbodenpräparaten: +++ = dominant; ++ = viel; + = wenig (Durchführung: U. RAST, GLA, München; K. KNABE, Uni Karlsruhe)  
2) Differenzierung zwischen Illit und Glimmer nicht möglich  
3) TM = Tonmineral (Aufweitung > 10 Å)

**Tab. 79:** Relative Tonmineralgehalte in ausgewählten Bodenhorizonten, Zugspitzplatt (Methode: RDA, Texturpräparat).

Probe	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <math><0,002\text{mm}</math> [Rel.-%]				Kommentar		
	ML <sub>Illit</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kt <sup>3)</sup>	Ct <sup>3)</sup>	Menge	Kristallisation	Quellfähigkeit
ZP_P 17/1 Ah (0-3cm)	39	17	25	18	klein	gut	kaum
ZP_P 17/2 Bv1(3-25cm)	60	7	16,5	16,5	klein	gut	kaum
ZP_P 17/3 Bv2 (25-35cm)	57	8	18	17	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe
ZP_P 17/4 II(Bv-)T (35-38cm)	9	43	15	33	klein	gut	kaum

1) ML<sub>Illit</sub> = unregelmäßige illitische Wechsellagerungsminerale  
2) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar), Index zeigt randliche Aufweitung der Schichten an  
3) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)



ZECH 1980). Günstig dafür ist saures Milieu bei pH 4-5 (TRIBUTH 1990; TRIBUTH und LAGALY 1991). Dies betrifft besonders die Horizonte Ah+Btv ZP\_P18/1 (pH 4,5) und Bv1 ZP\_P17/2 (pH 4,9).

Der Chloritanstieg in den residualen Horizonten zeigt einen geringeren Verwitterungsgrad an. Er wird aufgrund des verstärkten Auftretens von Calcit (z.T. Dolomit) mit der Erhöhung des pH-Wertes erklärt.

In den II(Bv-)T-Horizonten tritt mehr Calcit auf, z.T. findet man auch wenig Dolomit. Dies hängt mit der Geochemie des Wettersteinkalks zusammen (2% MgCO<sub>3</sub>). In den Ah-Horizonten ist rezente Einwehung aus den Karbonatserien (z.B. Hauptdolomit, Rauwacken der Raibler Schichten) der Umgebung wahrscheinlich. Diese Ergebnisse zu den residualen Horizonten sind jenen von untersuchten Terrae fuscae aus Wettersteinkalk in anderen Gebieten vergleichbar (KUBIENA 1945; SOLAR 1964). Die genetische Schichtung „Lösslehmkomplex über Residualton“ wird anhand der Tiefengradienten von Calcit und Illit untermauert.

### A2. Haupt- und Spurenelemente (Methode: RFA) - Zugspitzplatt

Die SiO<sub>2</sub>-Gehalte (Gew.-%) betragen in den B-Horizonten zwischen 43% und 53%, in den Ah-Horizonten 15% bis 22%. In den residualen Horizonten (II(Bv-)T) und im Ah-Horizont von ZP\_P17 sinkt der Quarzgehalt auf einen Mittelwert von 43%.

Die geochemischen Parameter zeigen eine typische Tiefenfunktion der Hauptelemente CaO und MgO in den T-Horizonten. Das Maximum der basischen Oxide tritt im ICv-Horizont der Lokalmoräne auf (CaO+MgO: 55,8%). Kalium liegt vorwiegend in Glimmern und Illiten sowie Kalifeldspäten vor. Das Verhältnis von K<sub>2</sub>O/CaO beträgt in den B-Horizonten mehr als 1,5 und zeigt die leichte Verwitterbarkeit von Ca im Vergleich zu K. Sonst sind die Kaliumgehalte in den braunen Mineralhorizonten ähnlich (Tab. 80).

#### Interpretation:

Die hohen Gehalte an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> beweisen mit den Gibbsitbefunden (RDA) die Verwitterung Al-haltiger Silikate. Die Verteilung von Quarz und Aluminium wird durch die

mittlere Verhältniszahl von SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ausgedrückt. Diese beträgt in den B-Horizonten 2,9 und im residualen Horizont nur noch 2,1. Diese Tiefenfunktion tritt dem üblichen Verwitterungsgradienten entgegen und kennzeichnet das äolische Substrat der Lössbraunerden. Eine Erklärung für die geringen Kaliumgehalte (1,62%) im Ah-Horizont liefern die Ergebnisse aus der RDA an der Tonfraktion (< 2 µm). Es treten wenig quellfähige, illitreiche Wechsellagerungsminerale sowie Illite (10 Å-Minerale) ohne randliche Aufweitung auf, die Kalium in den Zwischenschichträumen fixieren. Die relativen Gehalte betragen zwischen 52% und 67%. Die vergleichbaren Natriumwerte der B-Horizonte werden mit dem Vorhandensein von Albit erklärt. Albit hat nach Quarz die zweite Häufigkeit, entsprechend gering ist er im Residualmaterial vertreten. Titan entstammt entweder leicht verwitterbaren Biotiten und Amphibolen oder verwitterungsstabilen Mineralen wie Illmenit, Titanit oder Rutil. Rutil tritt regelmäßig im Schwermineralspektrum der untersuchten Böden auf, während Titanit sporadisch identifiziert ist. Der anorganische Phosphor in Böden stammt meist aus der Verwitterung des Calciumphosphats Apatit, dessen Löslichkeit bei Anwesenheit von Calcium-Ionen sinkt. Dies kann den Anstieg auf 0,33% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> im Unterboden des T-Horizonts erklären.

### A3. Spurenelemente (Methode: RFA) - Zugspitzplatt

In jüngster Zeit werden auch die Spurenelemente als Lösszeiger herangezogen, ohne jedoch eindeutige Elemente dafür festzulegen. Dies hängt mit den Schwankungen in der Verteilung zusammen, die individuell von der Geochemie und dem Mineralbestand des Ausgangsmaterials abhängen (z.B. CHESTER und JOHNSON 1971a,b; PÉCSI und RICHTER 1996; VÖLKELE 1995).

In der vorliegenden Arbeit können lithologische Schichtwechsel mit Hilfe ausgewählter Spurenelemente nachvollzogen werden. Im Lösslehm sind die Elemente Ba, Zr, Zn, Sr, V und Rb im Vergleich zum Lösungsresiduum des Wettersteinkalks angereichert. Von den genannten Elementen sind gesteinsbürtig folgende Gehalte festgestellt: Sr (55 ppm), V (13 ppm) und Zn (28 ppm). Die verbleibenden Spurenelemente sind nur mit Spannen von < 5 bis < 50 ppm anzugeben. Vanadium ist chemisch

Tab. 80: Ausgewählte geochemische Parameter am Beispiel des Profils ZP\_P 17.

Horizont	Oxide (RFA) [Gew.-%]				Geochemische Indices			Oxide (RFA) [Gew.-%]		
	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO + MgO [%]	K <sub>2</sub> O / CaO	K <sub>2</sub> O / Na <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
ZP_P17/1 Ah	1,34	1,54	0,68	1,62	2,88	1,05	2,38	0,16	1,00	0,24
ZP_P17/2 Bv1	1,41	1,19	0,82	1,93	2,60	<b>1,61</b>	2,35	0,23	1,17	0,17
ZP_P17/3 Bv2	2,41	1,43	0,94	2,11	3,84	<b>1,47</b>	2,24	0,10	0,97	0,24
ZP_17/4 II(Bv-)T	2,28	1,87	0,65	1,99	4,15	1,06	3,06	0,09	0,87	<b>0,33</b>
ICv (wK), LR 1)	2,00	53,84	<0,20	<0,05	55,84	-	-	<0,01	<0,05	<0,02

1) LR = Lösungsresiduum aus Wettersteinkalk

**Tab. 81:** Schwermineralbestand unterschiedlicher Horizonte, Zugspitzplatt.

Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0.1mm bis 0.25mm															
Probe	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+ Zo	Chlori- toid	Extrem Stabile (Z, T, R)	Instabile (G, Hbl, Ap)	Instabil / extrem Stabil	G / Ep+Zo
<b>Äolische B-Horizonte</b> <sup>1)</sup>	45	3	3	1	4	5	2	0	16	22	1	7	65	9,1	2,0
II(Bv-)T- Horizonte <sup>1)</sup>	28	12	4	3	3	4	0	0	17	31	0	19	47	2,5	0,9
<b>Residuale T- Horizonte P29</b>	6 Granate, 4 Zirkone, 1 Rutil, 1 Staurolith, 3 Hornblenden, ansonsten keine weiteren Schwerminerale											5	9	1,8	-
Erläuterung: G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidot (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit) 1) Darstellung als Mittelwerte (Basis: Einzelanalysen: je 4 pro B-Horizont; je 3 pro II(Bv-)T-Horizont).															

**Tab. 82:** Relative Mineralhäufigkeit in allochthonen Böden, Westliche Karwendelgrube (Methode: RDA).

Probe	Qz <sup>1)</sup>	Kf	Albit	Cc	Dol	Glimmer /Illit <sup>2)</sup>	Chlorit	Reihung der Nebenkomponenten
Äolische Mullrendzina, KG_P11/1	+++	+	++	+	+	+	tr	Qz; Alb >> Kf; Cc,Dol
Lößbraunerde, flachgründig KG_P 1/2 (8-45cm)	+++	+	+	tr	0	+	0	Qz; Kf, Alb >> Cc
Lößbraunerde, mittelgründig KG_P 4 /2, Bv (8-60cm)	+++	++	0	+	+	+	+	Qz; Kf >> Dol, Cc
Lößbraunerde, mittelgründig, KG_P3/1 Bv (0-70cm)	0	++	+++	+	+	+	+	Alb > Kf; Dol, Cc
1) Semiquantitative Bestimmung aus dem Verhältnis der Peak-Höhen an texturlosen Feinbodenpräparaten: +++ = dominant; ++ = viel; + = wenig; Qz = Quarz; Kf = Kalifeldspat; Alb = Albit; Cc = Calcit; Dol = Dolomit; tr = trace, Spuren (Durchführung: U, RAST, GLA, München; K. KNABE, Uni Karlsruhe) 2) Differenzierung zwischen Illit und Glimmer nicht immer möglich; Tonmineral (Aufweitung > 10 Å)								

z.B. in Brauneisenerz (z.B. Goethit) gebunden. Barium tritt im Baryt als typischer Vertreter von Sedimentiten oder z.T. als Bariumtitanat auf, eine weitere Quelle für Titan in den residualen Horizonten. Die residualen T-Horizonte hingegen zeigen einen Anstieg der Lanthanoide (La, Ce, Nd, Y), die als Seltenerdmetalle stets vergesellschaftet als Silikate bzw. Phosphate auftreten. Hervorzuheben ist Zirkon (377 ppm) im B-Horizont, während der autochthone Liegendhorizont um 40% weniger aufweist und der Wettersteinkalk (IICn) selbst zirkonfrei ist (< 10 ppm Zr).

Die relative Zr-Anreicherung ist aufgrund des Tiefengradienten nur mit Substratwechsel erklärbar und belegt den Verwitterungsstatus des Lösslehmkomplexes. Auch innerhalb des Lösslehms zeichnet die regelhafte Veränderung der Spurenelementgehalte die Horizontierung nach. In der Korngrößenanalyse zeigt sich Schichtung in einer Abnahme des Schluffgehalts, die tendentiell mit dem Sinken der Zirkonmenge einhergeht.

#### 4.4. Schwermineralbestand - Zugspitzplatt

Der Schwermineralbestand (blass-gelb, gelb, kirschrot, meist Fraktion < 0,1 mm) der äolischen Horizonte ist glimmer- und chloritreich, zeigt einige Magnetitkörner

und bezogen auf die Fraktion kaum angewitterten Granat. Die Menge ist mäßig. Es dominiert Granat, gefolgt von eisenreichen Gliedern der Epidotgruppe und Hornblende. Je nach Horizonttiefe und Verwitterungsauslese ist Hornblende (< 0.1 mm) in den B-Horizonten nicht selten (5% bis 31%), während die Ah-Horizonte hornblendereich (33% bis 36%) sind. Im residualen Unterbodenhorizont sind nur sporadisch Schwerminerale vorhanden (Tab. 81).

#### Interpretation:

Die Granatdominanz ist Ausdruck der Lithologie des Liefergesteins. Eine Erklärung für die Anreicherung ist sekundäre Verwitterung in kalkfreien Horizonten. Dabei reichert sich Granat in Abhängigkeit vom Bodenmilieu relativ zur Hornblende an, die wie Apatit im sauren Milieu ausgemerzt wird (BOENCK 1983; FRÜHAUF 1992). Horizontunterschiede im Lösslehmkomplex (z.B. Bv1, Bv2) zeigen sich manchmal in einer Zunahme des Quotienten bei gleichzeitiger Abnahme der Hornblende. Dies ist als Resultat sekundärer Verwitterung zu werten (WEYL 1960). Bemerkenswert ist die geringe Häufigkeit der extrem Stablen, wobei Zirkon und Turmalin Granitindikatoren sind (FRÜHAUF 1992).



**Tab. 83:** Relative Tonmineralgehalte in allochthonen Böden, Westliche Karwendelgrube (RDA, Texturpräparate).

Probenmaterial	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]			
	ML <sub>Ill</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kl <sup>3)</sup>	Cl <sup>3)</sup>
Äolische Mullrendzina, KG_P11/1	11	55	0	34
Lößbraunerde, flachgründig, KG_P 1/2 (8-45cm)	24 <sup>40</sup>	50	4	22
Lößbraunerde, mittelgründig, KG_P 4 /2, Bv (8-60cm)	42 <sup>50</sup> ML <sub>Ill/Sm</sub> <sup>1)</sup>	38	0	20
Lößbraunerde, mittelgründig, KG_P3/1 Bv (0-70cm)	45 <sup>65</sup>	42 <sub>qu</sub>	0	13

1) ML<sub>Ill/Sm</sub> = unregelmäßige Wechsellagerungsminerale aus Illit und Smektit; die Indexzahlen geben die Gehalte quellfähiger Schichten i.e. des Smektit in Rel.-% an;  
 2) ML<sub>Ill</sub> = unregelmäßige illitreiche Wechsellagerungsminerale  
 3) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar), Index zeigt randliche Aufweitung der Schichten an; Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)

**Tab. 84:** Ausgewählte geochemische Parameter in allochthonen Böden, Westliche Karwendelgrube (Basis: Einzeldaten aus RFA).

Horizont	Oxide (RFA) [Gew.-%]					Geochemische Indices		
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+ MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Mullrendzina, Ah KG_P11/1 (0-40cm)	85,4	4,7	3,3	1,4	0,74	0,29	1,4	18,2
Lößbraunerde, Bv flachgründig KG_P 1/2 (8-45cm)	77,4	7,4	3,9	1,6	1,45	0,40	1,9	10,5
Lößbraunerde, mittelgründig KG_P 4 /2, Bv (8-60cm)	81,5	6,8	2,4	1,7	1,14	0,29	2,8	12
Lößbraunerde, mittelgründig, KG_P3/1 Bv (0-70cm)	74,4	8,2	4,5	1,8	1,35	0,4	1,8	9,1

Die residualen II (Bv-)T-Horizonte sind opakreich. Kennzeichnend ist die Zunahme der extrem Stabilen, die mit stärkerer Verwitterung und/oder Anreicherung aufgrund von Sickerwasserbewegung erklärt wird. Granat, Hornblende und die Epidotgruppe treten auch in den II (Bv-)T-Horizonten auf. Der Quotient Granat/Epidot beträgt allerdings nur noch 0,9 im Gegensatz zum hangenden Lösskomplex (Wert 2).

Dies ist ein weiterer Hinweis auf lithologische Schichtung, da das Verhältnis Granat/Epidot im selben Substrat mit der Solumtiefe als Resultat sekundärer Verwitterung häufig zunimmt (WEYL 1952, FRÜHAUF 1992). Gleichzeitig sind Karbonatkörner und magnetische Minerale häufig. Dies deutet die Nähe zum Wettersteinkalk an, der im oberen Faziesbereich Erzanreicherung zeigt (JERZ und ULRICH 1966).

## B) Karwendelgrube

### B1. Silikatische Leichtminerale (Methode: RDA) – Westliche Karwendelgrube

Die äolischen Substrate zeigen Quarz, gefolgt von Feldspäten. Auffällig ist, dass Quarz in der Probe KG\_P3/1 nur in Spuren auftritt. Wie in den Proben des Zugspitzplatts dominieren Plagioklase, die sich auf die Tonmineralbildung auswirken, indem Kaolinit spektakulär in drei von vier Proben fehlt.

Dieser Sachverhalt wird mit der Dominanz von Na und Ca in den Plagioklasen erklärt. Ebenso bemerkenswert sind Reste von Smektit (KG\_P4/2). Mg-reiche Smektite (Montmorillonite) sind wie die Illite typisch in Böden aus

Lössen (SCHEFFER et al. 1989). Smektite sind aber auch Ausdruck der Versauerung (KG\_P4/2, pH 4,5). Sie wandeln sich in sekundäre Chlorite um (Tab. 82; Tab 83).

### B2. Haupt- und Spurenelemente (Methode: RFA) – Westliche Karwendelgrube

Die Verteilung der Hauptelemente zeigt eine Vorherrschaft von SiO<sub>2</sub> in den sandig-schluffigen Braunerden bei geringen Gehalten an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Die hohen Kieselsäuregehalte decken sich mit dem Auftreten von Schluffsand oder Sandschluffen in den sauren oberflächennahen Horizonten. Die konstante Verteilung der Hauptelemente zeigt Substrathomogenität an (Tab. 84).

### B3. Schwermineralbestand – Westliche Karwendelgrube

Die mäßige Schwermineralmenge ist braun bis schwarz oder ockergelb (z.B. KG\_P4/2 Bv). Der Anteil der Karbonatkörner ist gering oder fehlt. Nur die Lößbraunerde am Luvhang (KG\_P1/2, Bv) zeigt deutlich Karbonatkörner bei ausgesprochen hohem Opakgehalt (Tab. 85).

### Interpretation:

In allen Proben dominiert die Kornfraktion < 0,1 mm, was auf verstärkte Lösungsverwitterung im sauren Milieu zurückgeht. Dies zeigt sich im angelösten Granat, der in allen Proben den gleichen Verwitterungszustand aufweist. Im Gegensatz dazu ist Hornblende frisch, im Ah-Horizont der Mullrendzina (KG\_P11/1) sogar sehr frisch. Granat und Hornblende dominieren die Spektren

**Tab. 85:** Gesamtspektren der Schwerminerale ausgewählter Bodenhorizonte, Westliche Karwendelgrube.

Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1mm-0,25mm												
	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme
Mullrendzina, Ah, KG_P11/1	28	5	1	6	0	7	1	0	18	34	0	120
Lößbraunerde, flachgründig Ah, KG_P1/2	21	5	0	0	7	0	0	0	26	40	0	42 <sup>1)</sup>
Lößbraunerde, mittelgründig Bv, KG_P4/2	33	15	0	2	5	0	0	0	18	27	0	40 <sup>1)</sup>
Lößbraunerde, mittelgründig, Bv, KG_P3/1	40	10	2	6	<1	3	<1	0	8	32	0	304

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidot (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)

<sup>1)</sup> Beachte schlechtere Statistik wegen geringer Kornpopulation!

**Tab. 86:** Relative Mineralhäufigkeit in Horizonten von allochthonen Böden, Reiteralpe (Methode: RDA).

Probe	Qz <sup>1)</sup>	Kf	Albit	Cc	Dol	Glimmer /Illit <sup>2)</sup>	Chlorit	Reihung der Nebenkomponenten
Braunerde-Rendzina, RA_P4/1 AhBv (2-25cm)	++	+	+	0	0	+	+	Qz>Kf,Al
Lößbraunerde aus äolischem Kolluvium, RA_P14/2 Ah+Bv (0- 14cm)	+++	+	++	+	+	+	tr	Qz; Alb >> Kf; Cc,Dol
<b>Lößbraunerde RA_P17:</b>	+++	+	++	0	0	+	+	Qz; Al>> Kf
RA_P17/1 Ah	+++	+	+	+	0	+	+	Qz; Al>Kf >> Cc
RA_P17/2 Bsv	+++	+	++	+	0	+	+	Qz; Al>>Kf >>Cc
RA_P17/3 Sw	+++	+	++	+	0	+	+	Qz; Al >> Kf >> Cc
RA_P17/4 Sd	+++	+	++	+	0	+	+	Qz; Al >> Kf >> Cc
RA_P17/5 II Bv+TCv	+	+	+	+++	0	0	0	Cc>>Kf,Al, Qz

1) Semiquantitative Bestimmung aus dem Verhältnis der Peak-Höhen an texturlosen Feinbodenpräparaten: +++ = dominant; ++ = viel; + = wenig; Qz = Quarz; Kf= Kalifeldspat; Alb = Albit; Cc = Calcit; Dol = Dolomit; tr = trace, Spuren (Durchführung: U. RAST, GLA, München; K. KNABE, Uni Karlsruhe)

2) Differenzierung zwischen Illit und Glimmer nicht immer möglich; Tonmineral (Aufweitung > 10 Å)

**Tab. 87:** Relative Tonmineralgehalte in Horizonten von allochthonen Böden, Reiteralpe (RDA, Texturpräparat).

Probenmaterial	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]			
	ML <sub>illit</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kt <sup>3)</sup>	Ct <sup>3)</sup>
Braunerde-Rendzina, RA_P4/1 AhBv (2-25cm)	44	12	28	16
Lößbraunerde aus äolischem Kolluvium, RA_P14/2 Ah+Bv (0-14cm)	9	46	0	45
<b>Lößbraunerde RA_P17:</b>	0	55	8	37
RA_P17/1 Ah	0	50	14	36
RA_P17/2 Bsv	0	48	15	37
RA_P17/3 Sw	0	59	5	36
RA_P17/4 Sd	0	59	14	30
RA_P17/5 II Bv+TCv	0	59	14	30

1) ML<sub>illit</sub> = unregelmäßige illitreiche Wechsellagerungsminerale

2) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar), Index zeigt randliche Aufweitung der Schichten an, Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)



(43 Rel.-% bis 56 Rel.-%). Zusammen mit Apatit (5 Rel.-% bis 7 Rel.-%) bilden sie die Instabilen (ZECH und NEUWINGER 1974; ZECH und VÖLKL 1979). Das Verhältnis Stabile / Instabile (mit Staurolith und Disthen) ist in den Horizonten konstant (0,8 bis 1,2) und zeigt Substrathomogenität. Die zweite Häufigkeit nimmt die Epidot-Zoisit-Gruppe ein. Die Summe aus Rutil, Turmalin und Zirkon beträgt 12 Rel.-% bis 17 Rel.-% in den Braunerden im Lee und sinkt in der Braunerde im Luv (Probe KG\_P1/2, Bv) auf 5 Rel.-%. Hier zeigen der höhere Karbonatkorngehalt und die wenigen Stablen einen geringeren Verwitterungsgrad an.

**C) Reiteralpe**

**C1. Silikatische Leichtminerale (Methode: RDA) - Reiteralpe**

Neben Quarz nimmt Albit die zweite Häufigkeit bei den Feldspäten ein. Auffällig ist der Tiefengradient von Calcit (RA\_P17) mit weitgehender Entkalkung der Oberböden. Glimmer in Form von Muskovit zeigt ebenfalls eine typische Tiefenfunktion des Verwitterungsgrades. In den Ah-Horizonten erscheint er sehr frisch bis frisch. Ab ca. 9 cm bis 12 cm zeigen deutliche Lösungsspuren bereits Verwitterung an. In diesen Horizonten tritt als Zeichen des sekundären Glimmerabbaus mixed-layer Material auf, das in der Pseudogley-Braunerde aus kristallreicher Deckschicht (RA\_P17) völlig fehlt. Ebenso bemerkenswert

ist Chlorit (30% bis 45 Rel.-%), der die Umwandlung von Illit in Bodenchlorit anzeigt. Die einheitliche Zusammensetzung der Tonminerale in Profil RA\_P17 (17/1 bis 17/3) beweist Substrathomogenität (Tab. 86, 87).

**C2. Haupt- und Spurenelemente (Methode: RFA) - Reiteralpe**

Die Verteilung zeigt relativ konstante SiO<sub>2</sub>-Gehalte (59% bis 62%) bei hohen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Werten und bestätigt die Verwitterung Al-haltiger Minerale. Das Verhältnis SiO<sub>2</sub> / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bleibt ebenso wie Titanoxid mit der Tiefe konstant und unterstreicht den einheitlichen Verwitterungsstatus. Die genetische Schichtung „äolische Deckschicht über Residualmaterial“ (P17/5 II Bv+TCv) zeigt sich auch in der Halbierung des Kieselsäure- und Eisengehalts sowie in Vervielfachung der Karbonate (Tab. 88).

**C3. Schwermineralspektrum - Reiteralpe**

Hornblende und die Epidot-Zoisit-Gruppe (45% bis 77 Rel.-%) dominieren alle äolischen Horizonte, während Granat im sauren Milieu schnell ausgemerzt wird. Die Braunerde RA\_P4 zeigt eine geringe Schwermineralmenge (Fraktion < 0,1 mm) mit relativ hohen Anteilen an Stablen mit Staurolith sowie drei Rutil-Kniezwillinge. Im Profil RA\_P17 treten wieder Chloritoide auf. Spektakulär ist Granat (55 Rel.-%) im residualen II

**Tab. 88:** Ausgewählte geochemische Parameter in Horizonten von allochthonen Böden, Reiteralpe (Basis: Einzeldaten aus RFA).

Horizont	Oxide (RFA) [Gew.-%]						Geochemische Indices	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Braunerde-Rendzina, RA_P4/1 AhBv (2-25cm)	57,53	17,31	7,22	1,93	2,00	1,15	2,4	3,3
Lößbraunerde aus Kolluvium, RA_P14/2 Ah+Bv (0-14cm)	52,97	15,09	10,64	1,91	1,80	1,09	1,4	3,5
<b>Lößbraunerde RA_P17:</b>								
RA_P17/1 Ah	62,12	15,21	5,59	3,0	3,10	0,96	2,7	4,1
RA_P17/2 Bsv	60,0	14,91	9,0	3,1	3,02	1,09	1,7	4,0
RA_P17/3 Sw	61,21	15,98	7,0	3,1	3,03	1,03	2,3	3,8
RA_P17/4 Sd	59,13	16,98	6,89	4,12	2,99	1,02	2,5	3,5
RA_P17/5 II Bv+TCv	25,1	7,00	3,00	35,12	2,00	0,95	2,3	3,6
RA_P17/6 ICv	1,0	1,0	1,0	54,1	0	0	1	1

**Tab. 89:** Gesamtspektren der Schwerminerale ausgewählter allochthoner Horizonte, Reiteralpe.

	Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1mm-0,25mm											
	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme
RA_4/1 Bt	9	10	4	7	3	3	1	0	9	52	2	100 <sup>1)</sup>
RA_14/1 AhBv	5	2	<1	1	0	1	0	0	14	77	0	300
<b>Lößbraunerde RA_P17:</b>												
RA_17/1 Ah	1	1	1	0	1	1	0	0	49	45	1	310
RA_17/2 Bsv	3	1	1	0	0	0	0	0	33	62	0	300
RA_17/3 Sw	4	3	1	1	0	2	0	0	26	61	1	300
RA_17/5 II Bv+TCv, residual	55	1	1	2	3	4	1	0	3	20	0	300

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidot (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)

<sup>1)</sup> Beachte schlechtere Statistik wegen geringer Kornpopulation!

Bv+TCv des Geschiebemergels mit folgender Zusammensetzung: 54% CaO, 1% MgO, 1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1% SiO<sub>2</sub> (DUFFY 2003) (Tab. 89).

#### Interpretation:

In Profil RA\_4/1 ist Apatit rezent eingeweht und im mäßig saurem Bodenmilieu (pH: 5,2) überdurchschnittlich gut erhalten. Granat, Staurolith, Zirkon, Epidot, sowie die große Menge an Zoisit und frischer grüner Hornblende, beschreiben ein Liefergebiet mit „molasseartigem Spektrum“ (schriftliche Mitteilung Dr. RAST 2003). Mineralogisch ist der Geschiebemergel (RA\_17/5 II Bv+TCv) mit den Grundmoränenresten im Bereich der Schwegel- und Eisbergalm verwandt. GILLITZER (1912, S. 186) beschreibt sie als ein Konglomerat aus Dachsteinkalk und jurassischen Hierlatz-Kalken (Lias) von roter Farbe. Der Granatgehalt hingegen geht auf kantengerundete bis gerundete Kristallinkomponenten zurück, die Verwitterungsreste der ehemaligen Augensteinbedeckung darstellen.

### 4.5 Zusammenfassung wichtiger Aspekte der Bodenbildung

#### 4.5.1 Die autochthonen Böden

##### A) Organogene Typen

Sie sind die Hauptbodentypen im Wetterstein- und Karwendelgebirge (alpine und subnivale Stufe) sowie in der oberen subalpinen Stufe der Reiteralpe. Die reifen Entwicklungsstadien dieser Böden sind durch residuale Tonhorizonte über dem Ausgangsgestein gekennzeichnet. In allen humusreichen Oberböden (Of, Aih, Oh, Ah) ist kristalliner Flugstaub deponiert. Die pedochemische Tonbildung aus der Glimmer-, Feldspat- und Foidverwitterung bedingt die bemerkenswerten Gehalte an lehmiger Feinerde in den Humushorizonten. Die Feinerde der Oberböden weist hohe Gehalte an Schluff (Grob- bzw. Mittelschluff) und Sand (Fein- und Feinstsand) auf. Die deponierten Flugstäube sind in ihren Primäreigenschaften (z.B. kristalline Spektren, Mittelschluff- und Feinstsanddominanz) am deutlichsten in den initialen Horizonten (Aih, Of) zu erkennen. Allerdings variiert der Mineralbestand mit dem pH-Wert der Humusaufgaben. Entsprechend ist der Verwitterungsstatus der Minerale frisch bis stark angelöst. Vorwiegend residualer Herkunft hingegen sind die Verlehmungsprodukte in den Oh+T-Horizonten der reiferen Entwicklungsstadien. Kennzeichen sind höhere Tongehalte, die mit den Gesteinsresiduen korrespondieren. Dies belegen z.B. hohe Illitgehalte mit Kaolinit und die geringen Kornzahlen an extrem Stablen (Zirkon, Rutil, Turmalin).

##### B) Braune Mineralbodentypen

Die autochthone Bodenbildung manifestiert sich in Residualmaterial, das je nach Ausgangsgestein, Substratform und Höhenstufe unterschiedliche Mächtigkeiten zeigt. Auf Felsstandorten hängen die Solummächtigkeiten deutlich von der geochemischen Zusammensetzung des Ausgangsgesteins ab.

Sehr reine Kalksteine (Wettersteinkalk, Muschelkalk, Dachsteinkalk) bedingen geringmächtige T-Horizonte (Mittel: 2 cm bis 5 cm). Weit besser entwickelt (Mittel: 12 cm bis 25 cm) sind die Mineralböden aus unreinen Serien und Brekzien (z.B. Reichenhaller Schichten, Gosauserien, Dachsteinkalk-Brekzien). Zusätzlich fördern Lockersubstrat und Lokalmoräne deutlich die Verbraunung und Verlehmung (Ah+Bv-, Oh+T- und T-Horizonte). Die größten Solumtiefen (> 60 cm) werden in Kolluvien ermittelt (z.B. Dolinenfüllungen/Reiteralpe).

##### C) Unterschiede in der Bodenentwicklung

Für das Zugspitzplatt ist die reife Polsterrendzina (Oh/Oh+T/(T)Cv) vor allem auf Lokalmoräne typisch. In der Westlichen Karwendelgrube sind die T-Horizonte nur auf Standorten mit Muschelkalkschutt ausgeprägt, sonst endet die Entwicklung bei den Oh+T-Horizonten oder im Stadium der mullartigen Rendzina (Ah/C). Ganz anders in der Östlichen Karwendelgrube, wo auf Reichenhaller Brekzien tonreiche Terra fusca-Rendzinen kartiert sind. Auf der Reiteralpe ist das Spektrum der autochthonen Mineralböden substratbedingt besonders vielfältig. Die Verwitterung der tektonischen Brekzien geht mit auffälliger Rotfärbung der Residualhorizonte einher. Häufig sind Braunerde-Terrae fuscae, die auch aus der Verwitterung der gelbroten Knollen und Konkretionen der jurassischen „Schwimmenden Scherben“ stammen. Die Tonhorizonte zeigen gelbe, rote und weiße Tonnester sowie plastisches Gefüge mit Schrumpfrissen. Autochthone Braunerden sind aus tonig-schluffigen (z.B. brekziierter Dachsteinkalk) sowie sandig-lehmigen Verwitterungsresiduen (Gosauquarzit, Gosauergel) entstanden und häufig durch Podsolierung und Pseudovergleyung geprägt. Damit sind die autochthonen Mineralböden auf der Reiteralpe nicht nur anhand der Tongehalte zu kennzeichnen.

Besonderheiten sind die flach- bis mittelgründige Terra fusca (Ah/T/ICv) auf Hangschutt aus Dachsteinkalk-Brekzie sowie die Parabraunerde über reliktschem Kalkverwitterungslehm in Dolinen. Dolinenfüllungen aus Lokalmoräne + Geschiebelehm bedingen punktuell auch Pseudogley-Braunerden, pseudovergleyte Braunerden und Podsol-Braunerden.

##### D) Einordnung und Klassifizierung

Die Böden werden den Klassen der Ah/C-Böden und der Terrae calcis zugeordnet, die sich auf der Reiteralpe um die Klassen der Braunerden und Podsole erweitern. Die Profile lassen sich den Typen Rendzina, Terra fusca und Braunerde zuordnen. Art und Form des Ausgangssubstrats sowie die Entwicklungstiefe (flach- und mittelgründig) definieren die mineralischen Subtypen. Die Ausprägung und Mächtigkeit ihrer diagnostischen Horizonte drückt sich im Tongehalt aus:

- |          |                                       |                             |
|----------|---------------------------------------|-----------------------------|
| - Bv-T   | Braunerde-Terra fusca                 | (Tongehalt mäßig)           |
| - (Bv-)T | Terra fusca-Rendzina                  | (Tongehalt mittel bis hoch) |
| - T/TCv  | Flach- bis mittelgründige Terra fusca | (Tongehalt hoch)            |
| - T/TCv  | Reife Polsterrendzina                 | (Tongehalt maximal)         |



Maxima zeigen die T-Horizonte (Ton: 45% bis 58%) der reifen Polsterrendzina (Zugsplatt), gefolgt von den flach- bis mittelgründigen Terra fuscae (Ton: 35% bis 48%) auf der Reiteralpe. Vergleichbar sind die Residualbänder aus Muschelkalk, während jene aus Reichenhaller Brekzien nur Werte zwischen 29% und 34% aufweisen. Die hohe Plastizität der bunten T-Horizonte aus Dachsteinkalk (mittlerer Tongehalt: 45%) erinnert an die P-Horizonte der Pelosole (AG Boden 1996).

In der vorliegenden Arbeit werden die braunen Horizonte (Tongehalte: 40% bis 58%) zur Hervorhebung des autochthonen Charakters als T-Horizonte geführt, obwohl sie das Normkriterium (> 65 Gew.-% Ton) nicht erfüllen. Aufgrund der hohen Humusgehalte ist die reife Polsterrendzina (Oh/Oh+T/(T)Cv) ein Sonderfall. Sie wäre bei geringeren Gehalten an organischer Substanz (< 30%) am ehesten der Terra fusca-Rendzina (Ah /Ah+ (Bv-) T/TCv/C) vergleichbar. Gegen die Bezeichnung „Braunerde-Rendzina“ (bzw. Lehrendzina) von REHFUESS (1982, S. 46) spricht jedoch der markante T-Horizont.

#### 4.5.2 Die allochthonen Böden

##### A) Charakterisierung

Allochthone Braunerden sind an lösslehmartige Substrate gebunden, die in unterschiedlicher Flächenausdehnung vor allem in Lee-Positionen erhalten sind. Die Herkunft der ehemaligen Primärlösser ist durch die kristallinen Mineralspektren belegt, die den rezenten Flugstäuben ähnlich sind. Die nicht-rezent abgelagerten Lössdecken sind intensiv umgelagert worden (Erosion, Solifluktion etc.). Sie bedingen in der Westlichen Karwendelgrube ausgeprägte Formen der gebundenen und halbgebundenen Solifluktion. Allgemein sind Lössbraunerden mit stark glimmerhaltigen B-Horizonten entstanden, die hohe Schluffgehalte (64% bis 85%) und häufig Feinstsand zeigen. Auffällig hohe Feinstsandgehalte zeigen die B-Horizonte (Sandlehme, Lehmschluffe) in der Westlichen Karwendelgrube, die vermutlich aus ehemaligen Sandlössen entstanden sind. Der Mineralbestand zeigt das typische Lössspektrum (Quarz, Feldspäte, Glimmer, illitreiches mixed-layer Material + Illit). In allen Gebieten dominieren Plagioklase die Feldspäte. Durch die hohen Gehalte an Siliziumoxid (43% bis 82%) ist die Versauerung in allen Bv-Horizonten deutlich fortgeschritten. Besonders in den Podsolen und Pseudogley-Braunerden der Reiteralpe führt die Bodenversauerung zur Bildung von Chlorit und Kaolinit. In den meisten Fällen ist in den Bodenkomplexen der Deckschichten lithologische Schichtung nachweisbar. Die Bodenfarbe bewegt sich im typischen Spektrum der Lösslehme (z.B. 10 YR 4/4; 10 YR 6/3; 10 YR 6/6). Die oft hohen Humusgehalte drücken sich nicht in einer Schwarzfärbung der B-Horizonte aus (Tongehalte: 9% bis 20%). Die Eisengehalte in den Bv-Horizonten von ZP und RA sind wieder sehr ähnlich (7% bis 11%), während sie in der WKG nur 2% bis 4% betragen. Die Schwermineralspektren zeigen für alle B-Horizonte eine Dominanz der Epidot-Zoisit-Gruppe mit grüner oder brauner Hornblende. Typisch für WKG und ZP ist Granat, je nach Probe wech-

selnd zwischen 1. und 2. Häufigkeit. Das deutet auf geologisch ähnliche Liefergebiete hin. Der Granatgehalt tritt auf der RA nur in Ausnahmefälle (II Bv+Cv-Horizonte) in Dolinenfüllungen markant hervor. Der Reichtum an magnetischen Mineralen kann dort auch ein Zeiger für tertiäre Verwitterungsprodukte sein (KNAPCZYK-HASEKE 1989; LANGENSCHIEDT 1995). Die Anreicherung von Eisen und Mangan in den Höhlensedimenten der Reiteralpe wird durch die Remobilisation aus den Sedimenten der Augensteinlandschaft zu Beginn des Oligozäns interpretiert (GILLITZER 1912; CLEMENS et al. 1995).

##### B) Einordnung und Klassifizierung

Die allochthonen Mineralböden gehören den Klassen der Braunerden und Podsole an. Der Grundtyp ist eine „Lössbraunerde über Kalkstein“ oder - die Deckschichten-Theorie stützend - eine „Lößbraunerde aus äolischer Deckschicht über Residualton bzw. initialer Terra fusca“.

##### C) Verwitterungsgrad und Alterseinschätzung

Eine Aussage über den Verwitterungsgrad läßt sich mit Hilfe von Verwitterungsindices auf der Basis der Hauptelementverteilung vornehmen (BÄUMLER et al. 1996, 2002).

Neben dem Verwitterungsindex von KRONBERG und NESBITT (1981) eignet sich für Karstböden sehr gut der Quotient  $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (PFEFFER 1969b, S. 420). Die Quotienten betragen für die allochthonen Braunerden im Mittel 1,7 (ZP), 2,2 (RA) und 7,5 (WKG). Ursachen für den hohen Wert in den Böden der Westlichen Karwendelgrube sind das sandige Ursprungssubstrat und die schlechteren Verwitterungsbedingungen im periglazialen Milieu der Großdoline.

Vergleichbare Verwitterungsgrade werden durch die Quotienten der Braunerde-Subtypen angezeigt: 2,4 (podsolige Braunerde), 2,2 (Podsol-Braunerde), 2,4 (Pseudogley-Braunerde). Zieht man den Verwitterungsquotienten nach PFEFFER (1969) für die autochthonen T-Horizonte (T-, Bv-T) heran, dann liegen die Quotienten zwischen 1,6 (RA: T-Horizont) und 2,6 (ÖKG: T-Horizont). Spektakulär ist der Wert 0,6 für die T-Horizonte auf dem ZP. Sie weisen auch von allen untersuchten T-Horizonten die höchsten  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Werte (22% bis 38%) und in manchen Fällen Gibbsit auf. Da subtropische und tropische Verwitterungsmilieus durch deutlich erhöhte  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte und geringere  $\text{SiO}_2$ -Gehalte auffallen (PFEFFER 1969b), könnten die Gibbsit-Funde und der Quotient von 0,6 tertiäres Alter für den Braunlehmrest ZP\_P33 motivieren.

Eine vergleichbare Interpretation ließen auch die Laboraten für drei kräftig rotgefärbte T-Horizonte auf der Reiteralpe zu. Aufgrund der Verwitterungsquotienten nach PFEFFER (1969) von 1,3 bzw. 1,4 (RA\_1/2 und RA\_P7/2) könnte hier die Rubifizierung der Kluffkarrenfüllungen auch paläoklimatisch (tertiärer Rotlehmrest) gedeutet werden. In den meisten Fällen ist die Rotfärbung aber als lithologische „Entcarbonatisierungsrot“ zu werten.

Die folgenden Tabellen 90 bis 93 geben einen zusammenfassenden Überblick der Bodenbildung.



**Tab. 90:** Vergleich der Bodenkennwerte (Pedologie, Mineralogie) von **autochthonen** Mineralbodenhorizonten (**T-, Bv-T**).

Parameter	Zugspitzplatt	Westliche Karwendelgrube	Östliche Karwendelgrube	Reiteralpe
Org. Substanz	Oh+T: stark bis sehr stark (9 bis 22%) T-Horizonte: mittel bis stark humos (6% bis 7%)	Oh+T: stark bis sehr stark (8% bis 17%) T-Horizonte: mittel bis stark humos (5% bis 8%)	stark bis sehr stark humos 5% bis 16%	stark bis sehr stark humos 8% bis 15%
pH-Wert	mittel sauer Oh+T-Horizonte: 5,7 bis 6,0 T-Horizonte: 5,6 bis 5,9	stark bis mittel sauer 4,6 bis 6,0	stark bis schwach alkalisch 4,8 bis 6,8	stark sauer bis schwach alkalisch Bv-T-Horizonte 3,9 –4,5; T-Horizonte 4,5 bis 7,7
Karbonatgehalt	karbonatarm (2% bis 4%)	schwach bis mittel (2,5% bis 7%)	frei bis karbonatarm (<2%)	frei bis schwach karbonathaltig (>2% bis 3%)
Farbe	Oh+T-Horizonte: schwarzbraun (10YR 3/2; 7,5 YR 4/4) T-Horizonte: braun (10YR 4/4; 7,5 YR 4/4)	Oh+T-Horizonte: schwarzbraun bis dunkelgrau (10 YR 4/2; 7,5 YR 3/1; 5Y 3/2) T-Horizonte: olive, braun (5 Y 4/3; 7,5 YR 3/4)	T-Horizonte: hellgelb bis olivbraun (2,5 Y 7/4; 2,5 Y 5/2; 2,5 Y 4/3) Bvh-T-Horizonte: grau bis graubraun (2,5 Y 3/1; 2,5 Y 3/3; 2,5 Y 4/1)	rötlich-schwarz (2,5 YR 2,5/1; 2,5 YR 3/2) dunkelbraun (7,5 YR 3/3; 7,5 YR 2,5) hellbraun (7,5 YR 6/4) rotgelb, gelbrot (5 YR 6/8; 5 YR 5/6) rot (2,5 YR 4/6)
Bodenarten-gruppe	Schluffton, Lehmtlon	Schluffton	Schluffton	je nach Ausgangsgestein: Sandlehm, Tonschluff, Ton
Tongehalt	Oh+T-Horizonte: 39% bis 45% T-Horizonte: 42% bis 57%	Oh+T: 39% T-Horizonte: 35% bis 41%	T-Horizonte: 27% bis 34% Bvh-T-Horizonte: 23% bis 29%	T-Horizonte: 35% bis 48% Bv-T-Horizonte: 20% bis 30%
Schluff-Fraktion	Oh+T-Horizonte: 48% bis 60% T-Horizonte: 40% bis 55%	Oh+T-Horizonte: 55% bis 60% T-Horizonte: 52% bis 55%	T-Horizonte: 53% bis 64% Bvh-T-Horizonte: 64% bis 66%	T-Horizonte: 48% bis 60% Bv-T-Horizonte: 40% bis 60%
Silikatische Leichtminerale	Quarz, Gibbsite, Calcit, Dolomit Illit > Chlorit > Kaolinit Chlorit > Kaolinit > Illit-Material	Quarz, Albit Illit > Chlorit > mixed layer-Material > Kaolinit	Quarz, Orthoklas Illit > Chlorit > mixed layer-Material > Kaolinit	Quarz, Albit, Kalifeldspäte B-Horizont: Illit>Chlorit>Kaolinit Bv-T-Horizonte: Illit > Kaolinit > Chlorit
Haupt- u. Spurenelemente	T-Horizont: - SiO <sub>2</sub> 20% bis 35% - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 29% bis 38% - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 13% bis 14% - Anstieg der Lanthanoide (La, Ce, Nd, Y)	keine Analysen von Oh+T, zu wenig Feinerde	T-Horizont: - SiO <sub>2</sub> : 39% - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 10% - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 3% Bvh-T-Horizonte: - SiO <sub>2</sub> : 54% - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 15% - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 7%	T-Horizonte - SiO <sub>2</sub> : 39% bis 44% - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 18% bis 23% - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 8% bis 10% Bv-T-Horizonte: - SiO <sub>2</sub> : 39% bis 62% - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 16% bis 18% - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 7% bis 8%
Schwermineralbestand	Kornpopulation gering, opakreich extrem Stabile sind häufig	keine Analysen von Oh+T, zu wenig Feinerde	- Hornblende+Epidot/Zoisit: 50% > Granat (20%) - Anreicherung von Stabilen, magnetische Körner	- Hornblende+Epidot/Zoisit (55% bis 68%) > Granat (35% bis 37%) - T-Horizonte: Anstieg der Stabilen, magnetische Körner
Schwermineralmenge	sehr gering	gering bis sehr gering, meist < 0,1mm	gering bis sehr gering, meist < 0,1mm	Bv-T-Horizonte: mäßig; meist < 0,1mm T-Horizont: sehr gering

**Tab. 91:** Vergleich der Bodenkennwerte (Pedologie, Mineralogie) von **allochthonen** Mineralbodenhorizonten (**Bv-**).

Parameter	Zugspitzplatt	Westliche Karwendelgrube	Reiteralpe
Org. Substanz	mittel bis stark humos 3% bis 8%	humos bis mittel humos (2% bis 6%)	schwach bis mittel humos (1% bis 6%) je nach Humusdynamik (Bvh mit 10%)
pH-Wert	stark bis schwach sauer 4,9 bis 6,2	sehr stark bis stark sauer 3,9 bis 4,3	sehr stark bis mittel sauer 4,1 bis 5,6 (je nach Podsolierung)
Karbonatgehalt	frei bis schwach karbonathaltig (<2% bis 3%)	frei bis schwach karbonathaltig (<2% bis 4%)	frei bis schwach karbonathaltig (<2% bis 4%)
Farbe	braungelb bis braun (10YR 4/4; 10YR 5/3; 7,5 YR 4/4; 7,5 YR 5/4)	hellgelb bis braun (10YR 6/3; 10YR 5/6; 10YR 5/8)	hellbraun bis gelb (10 YR 6/3; 10 YR 7/6; 10YR 6/6; 10 YR 6/4)
Bodenartengruppe	Lehmschluff, Tonschluff	je nach Sandgehalt: Sandlehm, Lehmschluffe, Tonschluffe	Sandschluffe, Lehmschluff, Tonschluffe
Tongehalt	10% bis 20%	9% bis 15%	9% bis 17% je nach Horizonttyp und -tiefe
Schluff-Fraktion	65% bis 85%	41% bis 54%	64% bis 82%
Silikatische Leichtminerale	Quarz, Albit, Glimmer, Illitvertreter illitreiches mixed-layer Material > Kaolinit, Chlorit	Quarz, Albit, Glimmer, Illitvertreter illitreiches mixed-layer Material + Illit > Chlorit, kein Chlorit!	Quarz, Albit, Chlorit, Glimmer+Illitvertreter Illit (>46%) > Chlorit (30% bis 45%)>Kaolinit (14% bis 28%),
Haupt- u. Spurenelemente	- SiO <sub>2</sub> 43% bis 53% - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 18% bis 22% - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 7% bis 11% - Tiefenfunktion von CaO+MgO - Anreicherung von Ba, Zr, Zn, Sr, V, Rb	- SiO <sub>2</sub> 74% bis 82% - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 7% bis 8% - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2% bis 4% - CaO+MgO zwischen 1 und 1,5% - Anreicherung von Ba, Zr, Zn, Sr, Rb	- SiO <sub>2</sub> 59% bis 62% - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 15% bis 17% - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 7% bis 11% - Tiefenfunktion CaO+MgO - Anreicherung von Ba, Zr, Zn, Sr, Rb
Schwermineralbestand	- eisenreiche Glieder der Epidot-Zoisit-Gruppe + Granat - Hornblende ist nicht selten (5% bis 31%) - Stabile 3% bis 7% - einige Magnetitkörner - Chloritoide	- Granat + Hornblende (43% bis 56%) - Epidot+Zoisit-Gruppe - Stabile 12% bis 17% - kaum magnetische Minerale, Karbonatkorngehalt von Exposition der Profile abhängig - Chloritoide	- Epidot+Zoisit-Gruppe (45% bis 77%) + Hornblende (10% bis 50%) - Stabile 5% bis 7% - z.T. Reichtum an magnetischen Mineralen, kein Karbonatkorn - Chloritoide - z.T. „molasseartiges Spektrum“
Schwermineralmenge	mäßig, meist < 0,1mm	mäßig, meist < 0,1mm	mäßig, meist < 0,1mm



**Tab. 92:** Gegenüberstellung und Einordnung der **autochthonen** Mineralböden (AG BODEN 1996; WRB 2000).

Gebiet:	Zugspitzplatt	Westliche Karwendelgrube	Östliche Karwendelgrube	Reiteralpe
Klasse:	Ah / C –Boden, Terrae calcis	Ah / C –Boden, Terrae calcis	Ah / C –Boden, Terrae calcis	Ah / C –Boden, Terrae calcis, Braunerde, Lessivé
Typ:	Rendzina, Terra fusca	Rendzina, Terra fusca	Rendzina, Terra fusca	Rendzina, Terra fusca
Subtypen: aus Festgestein	Sonderfall: reife Polsterrendzina Oh / Oh+T / ( T ) / mC (developed Follic Histosol)	Sonderfall: reife Polsterrendzina Oh / Oh+T / ( T ) / mC (developed Follic Histosol)	Braunerde-Terra fusca (Ah) / Bv-T / mC (Cambisol with features of Chromic Cambisol)	Braunerde-Terra fusca (Ah) / Bv-T / mC (Cambisol with features of Chromic Cambisol)
aus Lockersubstraten (Schutt, Hangschutt)	Mullartige Rendzina Ah / Ah+Bv / IC (Humic Regosol)	Mullartige Rendzina Ah / Ah+Bv / IC (Humic Regosol)	Mullartige Rendzina Ah / Ah+Bv / IC (Humic Regosol)	Mullartige Rendzina Ah / Ah+Bv / IC (Humic Regosol)
aus Schutt von Brekzien	nur jenseits von 2300m vorhanden) Residualtontapeten	nicht vorhanden	Terra fusca-Rendzina (Ah) / (Bv-)T / mC  (Chromic Cambisol, initial)	flach- und mittelgründige Terra fusca (Entwicklungstiefe mittel) Ah / T / TCc / ICv (Chromic Cambisol)
aus Lokalmoräne	reife Polsterrendzina Oh / Oh+T / T / IC (developed Follic Histosol)	reife Polsterrendzina Oh / Oh+T / T / IC (developed Follic Histosol)	nicht vorhanden	podsolige Braunerde Ahe / Ae / Bsv / ICv (Ferralic Cambisol)
aus Lokalmoräne mit Liasgeschieben	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden	Spezialfall: Parabraunerde über Kalkverwitterungslehm Ah / Al / Bv / Bv / II Bt / III Ah / Bt / Bv / ICv (Luvisol over relic Chromic Cambisol)
aus Gosaudecken- resten (Kalke, Mergel)	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden	Pseudogley-Braunerde Ah / Bsv / Sw / II Sd / Bv+Cv / ICv (Gleyi-stagnic Cambisol)
				podsolige Braunerde Ahe / Ae / Bsv / ICv (Ferralic Cambisol)

**Tab. 93:** Gegenüberstellung und Einordnung der **allochthonen** Mineralböden (AG BODEN 1996; WRB 2000).

Gebiet	Zugspitzplatt	Westliche Karwendelgrube	Reiteralpe
Klasse:	Braunerde	Braunerde	Braunerde, Podsol
Typ:	Braunerde	Braunerde	Braunerde, Podsol
Grundtypen	Lößbraunerde über Terra fusca aus Wettersteinkalk (bzw. Residualton)	(kolluviale) Lößbraunerde über initialer Terra fusca bzw. Residualton aus Dachsteinkalk	(kolluviale) Lößbraunerde über Terra fusca bzw. Residualton aus Dachsteinkalk
aus äolischer Deck- schicht über autochthonem Fest- gestein	(Ah) / Bv / II (Tc) / mCv Braunerde über Kalkstein (Cambisol)	Ah / II (TCv) / mCv Äolische Mullrendzina (Mollic Leptosol)	Ah / Bv1 / Bv-II T / mCv Braunerde über Terra fusca bzw. Residualton (Cambisol with features of Chromic Cambisol)
		Bv / II (TCv) / mCv mittelgründige Braunerde über Kalkstein (Cambisol over Calcaric Leptosol)	Ah / (Ahe) Bvh / II mCv Braunerde, podsolige Braunerde (Cambisol)
			Podsol-Braunerde Ahe / Bsv / Sd-Bv-II T / mCv (Ferralic Cambisol)
			Podsol Ahe / Bsv / Bv/II mCv (Podzol)
aus äolischer Deck- schicht / Kolluvium über autochthonem Lockersubstrat	Ah / Bv / II T / ICv Braunerde über flachgründiger Terra fusca (Cambisol over Chromic Cambisol)	Ah / Bv / Bv+Cv / II (T) / ICv flach- bis mittelgründige Braunerde über Terra fusca (Cambisol over calcaric Regosol with features of chromic B)	nicht vorhanden
aus äolischer Deck- schicht über Lokal- moräne	Ah / Bv / II T / ICv Braunerde über flachgründiger Terra fusca (Cambisol over Chromic Cambisol)	nicht vorhanden	Lokalmoräne nur in Dolinen erhalten, Oberflächen- nahe Horizonlie rezent äolisch überprägt Pseudogley-Braunerde Ah / Bsv / Sw / II Sd / II Bv / ICv (Gleyi-stagnic Cambisol)
Klasse:	Braunerde / Terrae calcis	Braunerde / Terrae calcis	Braunerde / Terrae calcis
Typ:	Braunerde / Terra fusca	Braunerde / Terra fusca	Braunerde / Terra fusca
Mischformen	Lößbeeinflusster Residualton oder residualvermischer Lößlehm (Ah) / Bv-T (Btv) / II Cv (Chromic Cambisol with characteristics of Cambisol)	Lößbeeinflusster Residualton oder residualvermischer Lößlehm (Ah) / Bv-T (Btv) / II Cv (Chromic Cambisol with characteristics of Cambisol)	Lößbeeinflusster Residualton oder residualvermischer Lößlehm (Ah) / Bv-T (Btv) / II Cv (Chromic Cambisol with characteristics of Cambisol)

## 5 Flugstaubquantifizierung und äolische Dynamik

### 5.1 Ergebnisse zur Staubquantifizierung auf Schneeoberflächen

Die Deposition auf Schneedecken setzt sich aus verschiedenen Teilkomponenten des Flugstaubs zusammen. Die im folgenden vorgestellten Staubeinträge beziehen sich auf den Silikatanteil.

- $F_f$  : Flugstaub durch Ferntransport (> 500 km, z.B. Sahara)  
 $F_m$  : Flugstaub aus mittlerer Entfernung (> 50 km, Zentralalpen)  
 $F_n$  : Flugstaub durch Nahtransport (< 50 km, kalkalpine Umgebung)

Dazu treten Sedimente  $S_i$  aus dem lokalen Umfeld (Entfernung < 5 km).

Ein Maß für die Beteiligung der Teilkomponenten aus den entsprechenden Liefergebieten kann nur halbquantitativ mit den Kategorien „stark, mittel, wenig“ gegeben werden (Tab. 94).

#### 5.1.1 Staubeintrag - Schneedeckenaufbau

Die Phase des Schneedeckenaufbaus wird in den Messzeiträumen der Jahre 2002 und 2003 durch 11 Intervalle berücksichtigt. Sie umfassen Staubproben aus nasser Deposition sowie aus trockener Deposition ohne Neuschneezuwachs.

Die ermittelten Eintragsraten schwanken zwischen 0,7 mg/m<sup>2</sup>/d und 55 mg/m<sup>2</sup>/d (Mittelwert: 12 mg/m<sup>2</sup>/d). Die Staubraten aus Neuschneehorizonten (M1 bis M7) sind bei antizyklonaler Südwestlage und zyklonaler

Tab. 94: Schema zur Beteiligung des Flugstaubs aus verschiedenen Liefergebieten.

Relief- und Klimabedingte Gegebenheiten:	Anteil des potentiellen Flugstaubeintrags aus den Liefergebieten			
	$F_f$	$F_m$	$F_n$	$S_i$
<b>1A) Phase des Schneedeckenaufbaus (Herbst):</b>				
- Südliche Liefergebiete in Ferndistanz: o schneefrei, Maximum der herbstlichen Sandsturmätigkeit	XXX	0	0	0
- Zentralalpen in mittlerer Distanz: o noch schneefreie Höhenstufen unterhalb der Baumgrenze	0	X	0	0
- Zentralalpen in mittlerer Distanz: o Höhenstufen jenseits der Waldgrenze bereits partiell schneebedeckt	0	X	0	0
- Untersuchungsgebiete und Umgebung: o noch schneefreie Höhenstufen unterhalb der Baumgrenze	0	0	X	X
- Untersuchungsgebiete und Umgebung: o Höhenstufen jenseits der Waldgrenze bereits partiell schneebedeckt	0	0	X	X
Großwetterlagen mit Föhnereignissen im Oktober häufig	XXX	X	X	0
<b>1B) Phase des Schneedeckenabbaus (Winter):</b>				
- Südliche Liefergebiete in Ferndistanz: o schneefrei, Südwindtätigkeit mit Staubtransport zwischen Dezember und Februar möglich	XXX	0	0	0
- Zentralalpen in mittlerer Distanz: o alle Höhenstufen in mittlerer Distanz schneebedeckt	0	0	0	0
- Untersuchungsgebiete und Umgebung: schneebedeckt	0	0	0	0
<b>2) Phase des Schneedeckenabbaus (Frühjahr):</b>				
- Südliche Liefergebiete in Ferndistanz: o schneefrei, Föhnereignissen sowie Staubstürme in der Sahara zwischen April und Mai häufig	XXX	XX	X	X
- Zentralalpen in mittlerer Distanz: Täler schneefrei	0	0	0	0
- Zentralalpen in mittlerer Distanz: o Höhenstufen unterhalb der Waldgrenze sukzessive schneefrei	0	X	0	0
- Untersuchungsgebiete und Umgebung: o jenseits der Waldgrenze noch partiell schneebedeckt	0	0	X	X
Ausmaß der Beteiligung: XXX = stark; XX = mittel; X = wenig; 0 = kein				



Tab. 95: Silikatstaubmengen von Neuschneeoberflächen, Schneedeckenaufbau.

Messintervall und Wetterlage		Gebiet		Silikatstaubsumme [mg/m <sup>2</sup> ]	Aufbau von 1cm Neuschnee (Tage)	Staubakkumulation (Tage)	Eintragsrate [mg/m <sup>2</sup> /d]
M1	(24.-26.10.02)	Wa	KG	6,0	2	0	3,0
M2	(01.-02.02.02)	SW <sub>a</sub>	RA	1,0	1	0	1,0
M3	(06.-08.04.02)	HF	ZP	6,3	2	0	3,2
M4	(10.-11.04.02)	TrM	ZP	9,3	1	0	9,3
M5	(31.12.02-03.01.03)	Wz	KG	20,0	3	0	6,7
<b>M6</b>	(22.-23.01.03)	<b>TrW</b>	ZP	55,0	1	0	<b>55,0</b>
M7	(04.-05.02.03)	N+NWz	RA	1,0	1	0	1,0
M8	(06.-11.12.02)	HF <sub>a</sub>	RA	25,0	0	5	5,0
M9	(01.-11.01.02)	HM / HBrM	RA	9,0	0	10	0,9
M10	(10.-13.02.03)	HBrM	KG	2,1	0	3	0,7
<b>M11</b>	(09.-23.02.03)	<b>HBrM / S<sub>a</sub></b>	ZP	351	0	13	<b>27,0</b>

**Erläuterungen:**

z = zyklonal, a = antizyklonal; H = Hoch; HBr = Hochdruckbrücke; HF = Hoch ü. Fennoskandien; M = Mitteleuropa; N, NW = Nord-, Nordwestlage; S = Südlage; SE = Südostlage, SW = Südwestlage; TrW= Trog über Westeuropa; W = Westlage

Tab. 96: Verteilung der Windtätigkeit [m/s · h] berechnet für die Hauptwindsektoren, Schneedeckenaufbau.

Messintervall und Wetterlage		Nordsektor (301°-30°)	Ostsektor (31°-120°)	Südsektor (121°-210°)	Westsektor (211°-300°)	Eintragsrate [mg/m <sup>2</sup> /d]	
M1	(24.-26.10.02)	Wa	62,3	0	48,6	585,0	3,0
M2	(01.-02.02.02)	SW <sub>a</sub>	1,3	0	0	135,4	1,0
M3	(06.-08.04.02)	HF	105	0	0	162	3,2
<b>M4</b>	(10.-11.04.02)	<b>TrM</b>	0	0	<b>203,5</b>	43,4	<b>9,3</b>
M5	(31.12.02-03.01.03)	Wz	40	4,3	5,1	20	6,7
<b>M6</b>	(22.-23.01.03)	<b>TrW</b>	34	0,7	<b>221,2</b>	40,4	<b>55,0</b>
M7	(04.-05.02.03)	N+NWz	40,5	16,5	5,1	82,5	1,0
M8	(06.-11.12.02)	HF <sub>a</sub>	0,8	8,7	<b>86,7</b>	2,4	<b>5,0</b>
M9	(01.-11.01.02)	HM / HBrM	2,9	3,2	25,4	60,1	0,9
M10	(10.-13.02.03)	HBrM	0,7	5,5	24,3	5,3	0,7
<b>M11</b>	(09.-23.02.03)	<b>HBrM / S<sub>a</sub></b>	1,4	12,9	<b>83,0</b>	7,8	<b>27,0</b>

**Erläuterungen:**

z = zyklonal, a = antizyklonal; H = Hoch; HBr = Hochdruckbrücke; HF = Hoch ü. Fennoskandien; M = Mitteleuropa; N, NW = Nord-, Nordwestlage; S = Südlage; SE = Südostlage, SW = Südwestlage; TrW= Trog über Westeuropa; W = Westlage

Nord- und Nordwestlage am geringsten. Die Raten aus trockener Deposition (M8 bis M11) zeigen die Minima bei Hochdrucklagen und Hochdruckbrücke über Mitteleuropa. Hingegen treten die Maxima nach der Troglage über Westeuropa (M6) und der beginnenden antizyklonalen Südlage (M11) auf, zwei wichtige Wetterlagen mit möglichen Südwindereignissen (Tab. 95).

**A) Abhängigkeit von der Windtätigkeit (Hauptwindsektoren)**

Der Vergleich der Staubraten aus Tab. 95 mit der Summe der Windtätigkeit pro Messintervall zeigt ohne Aufgliederung der Windrichtung keinen Zusammenhang mit den Staubraten ( $r = +0,17$ ). Deutlichere Ergebnisse bringt die Aufteilung der Windtätigkeit in die Hauptwindsektoren (N, E, S, W). Sehr hohe Silikateinträge treten in Intervallen mit hoher Windtätigkeit aus dem Südsektor auf, verknüpft mit den Großwetterlagen „Trog über

Westeuropa“ (M4, M6) und der antizyklonalen Südlage (M11). Im Gegensatz dazu liefern die Windtätigkeiten aus dem zweithäufigsten Westsektor sowohl in Intervallen ohne andere Winde (z.B. antizyklonale Südwestlage M2) als auch bei hoher Windtätigkeit (M1, M2) nur sehr geringe Raten. Keine klare Aussage läßt sich hinsichtlich des Einflusses der Winde aus dem Nordsektor treffen. So gut wie keinen Einfluss haben östliche Winde (M7). Hier spiegelt sich die generell geringe prozentuale Häufigkeit des Ostsektors an den Stationen Zugspitze und Linderspitze wider (Tab. 96).

**B) Abhängigkeit von der Windtätigkeit (Südliche Richtungen)**

Eine weitere Aufteilung in 30°-Sektoren wird durchgeführt und die Korrelation der täglichen Windtätigkeit [m/s · h] pro Richtung mit den Staubeintragsraten untersucht (Tab. 97).

**Tab. 97:** Korrelationskoeffizienten  $r$  zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Staubrate und täglicher Windtätigkeit pro Richtungssektor, Schneedeckenaufbau.

	Nordsektor			Ostsektor			Südsektor			Westsektor		
	301-331°	331-360°	1-30°	31-60°	61-90°	91-120°	121-150°	151-180°	181-210°	211-240°	241-270°	271-300°
$r =$	0	+0,21	-0,19	-0,19	-0,12	0	<b>+0,49</b>	<b>+0,81</b>	+0,36	+0,18	-0,25	-0,31

**Tab. 98:** Silikatstaubmengen von Schneeoberflächen, Schneedeckenabbau (Frühjahr).

Messintervall und Wetterlage			Gebiet	Silikatstaubsumme [mg/m <sup>2</sup> ]	Aufbau von 1cm Neuschnee (Tage)	Staubakkumulation (Tage) <sup>1)</sup>	Eintragsrate [mg/m <sup>2</sup> /d]
M1	(29.04.-01.05.02)	W <sub>z</sub>	KG	16,8	2	0	8,4
M2	(11.-12.05.02)	SE <sub>a</sub>	KG	17,0	1	0	17,0
<b>M3</b>	(06.-11.05.02)	<b>SE<sub>z</sub></b>	RA	675	0	5	<b>135,0</b>
M4	(13.-17.05.02)	SW <sub>z</sub> / HBrM	KG	91	0	6	15,2
M5	(19.-31.05.02)	HBrM / TrM / HM	ZP	692	0	12	57,6
M6	(19.5.-7.06.02)	HBrM / TrM / HM / SE <sub>z</sub>	ZP	1068	0	19	56,2
M7	(17.-20.06.02)	SW <sub>a</sub>	ZP	177	0	3	59,0
M8	(03.-07.05.03)	SW <sub>z</sub> / HBrM	RA	312	0	4	78,0
M9	(03.-09.05.03)	SW <sub>z</sub> / HBrM	KG	488	0	6	81,3
M10	(23.-30.05.03)	Trog M / HM	KG	525	0	7	75,0
M11	(26.-31.05.03)	Trog M / HM	ZP	412	0	5	82,5

**Erläuterungen:**

z = zyklonal, a = antizyklonal; H = Hoch; HBr = Hochdruckbrücke; HF = Hoch ü. Fennoskandien; M = Mitteleuropa; N, NW = Nord-, Nordwestlage; S = Südlage; SE = Südostlage, SW = Südwestlage; TrW = Trog über Westeuropa; W = Westlage

1) Bei M1 bis M2 (Neuschneeproben) wird angenommen, daß aufgrund des wash-out keine zusätzliche trockene Deposition stattfindet.

**Tab. 99:** Mittlere Windtätigkeit pro Tag [m/s · h] aus dem Südsektor in den Intervallen Frühjahr und Winter.

Proben	Mittlere Windtätigkeit pro Tag [m/s · h]			
	121-150°	151-180°	181-210°	121-210°
Frühjahrsintervalle <b>F</b>	50,0	35,8	14,2	100
Winterintervalle <b>W</b>	22,1	27,8	14,2	64,1
<b>Faktor F / W</b>	<b>2,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,0</b>	<b>1,6</b>

Im Verlauf der aufbauenden Schneedecke führen Wetterlagen mit ausgeprägter Windtätigkeit aus Süd (151°-210°), besonders aus SSE bis S (151°-180°), zu hohen Einträgen. Fast kein Zusammenhang besteht mit dem Vorherrschen anderer Winde.

Diese Zusammenhänge sind wegen der geringen Datenmenge (n=11) vorläufig als Trends zu verstehen. Auffällig ist aber der positive lineare Zusammenhang der Staubraten pro Intervall mit den Winden aus SE bis Süd (151°-180°) mit  $r = +0,81$ . Er ist bei Winden aus den Sektoren 121°-150° und 181°-210° deutlich schwächer.

**5.1.2 Staubeintrag - Schneedeckenabbau**

Die Phase der abbauenden Schneedecke (Frühjahr) wird durch 13 Intervalle berücksichtigt, die ebenfalls Staubproben aus nasser Deposition durch Schneefall

sowie aus trockener Deposition ohne Neuschneezuwachs umfassen.

Die geringsten Einträge werden nach zyklonaler Westlage (M1) und Südwestlage (M4), das Maximum nach zyklonaler Südostlage (M3) festgestellt. Die mittlere Rate auf Schneeoberflächen im Frühjahr beträgt 64 mg/m<sup>2</sup>/d und ist damit 5-mal höher als der mittlere Winterwert (12 mg/m<sup>2</sup>/d) (Tab. 98).

Aufgrund der festgestellten linearen Abhängigkeiten stellt sich die Frage, ob die hohen Staubraten der Frühjahrsintervalle (M1 bis M11) eine Folge der gesteigerten Südwindaktivität sind. Deshalb werden die herrschenden Südwindtätigkeiten in den Intervallen von Winter und Frühjahr miteinander verglichen (Tab. 99).

Es zeigt sich zum Frühjahr hin ein Anstieg der mittleren Windtätigkeit aus dem Südsektor um den Faktor 1,6. Am deutlichsten hat die Windtätigkeit im Sektor 121°-150° zugenommen (Faktor 2,3). Insgesamt besteht im



**Tab. 100:** Verteilung der Windtätigkeit [m/s · h] berechnet für die Hauptwindsektoren, Schneedeckenabbau.

Messintervall und Wetterlage			Nordsektor (301-30°)	Ostsektor (31-120°)	Südsektor (121-210°)	Westsektor (211-300°)	Eintragsrate [mg/m <sup>2</sup> /d]
M1	(29.04.-01.05.02)	W <sub>z</sub>	7,4	19,5	46,5	4,0	8,4
M2	(11.-12.05.02)	SE <sub>a</sub>	0,0	2,0	205,0	76,3	17
M3	(06.-11.05.02)	SE <sub>z</sub>	1,3	2,5	419,3	15,0	135,0
M4	(13.-17.05.02)	SW <sub>z</sub> / HBrM	11,4	16,1	12,8	16,2	15,2
M5	(19.-31.05.02)	HBrM / TrM / HM	28,4	2,4	67,7	52,7	57,6
M6	(19.5.-7.06.02)	HBrM / Tr M / HM / SE <sub>z</sub>	36,2	1,8	69,4	51,3	56,2
M7	(17.-20.06.02)	SW <sub>a</sub>	42,8	1,9	15,4	78,9	59,0
M8	(03.-07.05.03)	SW <sub>z</sub> / HBrM	10,3	0,0	112,9	90,6	78,0
M9	(03.-09.05.03)	SW <sub>z</sub> / HBrM	6,8	0,0	134,0	63,9	81,2
M10	(23.-30.05.03)	Trog M / HM	57,2	2,6	80,4	17,0	75,0
M11	(26.-31.05.03)	Trog M / HM	9,0	16,5	70,1	12,0	82,5

**Erläuterungen:**

z = zyklonal, a = antizyklonal; H = Hoch; HBr = Hochdruckbrücke; HF = Hoch ü. Fennoskandien; M = Mitteleuropa; N, NW = Nord-, Nordwestlage; S= Südlage; SE = Südostlage, SW = Südwestlage; TrW= Trog über Westeuropa; W = Westlage

1) Bei M1 bis M2 (Neuschneeproben) wird angenommen, daß aufgrund des *wash-out* keine zusätzliche trockene Deposition stattfindet.

**Tab. 101:** Korrelationskoeffizienten r zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Staubraterate und täglicher Windtätigkeit pro Richtungssektor, Schneedeckenabbau.

	Nordsektor			Ostsektor			Südsektor			Westsektor		
	301-331°	331-360°	1-30°	31-60°	61-90°	91-120°	121-150°	151-180°	181-210°	211-240°	241-270°	271-300°
r =	0	0	0	-0,60	-0,21	-0,43	+0,63	+0,80	+0,42	0	0	0

Vergleich zur starken Zunahme der Staubraterate (Faktor 5) nur eine mäßige Erhöhung der Südwindtätigkeit. Somit sind bei den stark erhöhten Staubrateraten im Frühjahr auch noch andere Faktoren zu vermuten, wie z.B. die Windtätigkeit aus anderen Richtungssektoren oder jahreszeitlich bedingte Einflüsse (z.B. Schneebedeckung der Liefergebiete, Vegetationsentwicklung etc.).

**A) Abhängigkeit von der Windtätigkeit (Hauptwindsektoren)**

Hohe Südwindtätigkeit bedingt hohe Silikateinträge (M2, M3, M9). Jedoch gibt es auch Fälle, wo bei geringerer Windtätigkeit aus Süd höhere Werte (M11) gemessen werden, als in solchen mit starker Südwindtätigkeit (M2) (Tab. 100).

**B) Abhängigkeit von der Windtätigkeit (Südliche Richtungen)**

Die Unterteilung in 30°- Windsektoren und ihr Einfluss auf die Silikatstaubraterate werden durch lineare Einfachregressionen überprüft. Die resultierenden Korrelationskoeffizienten zeigen nur für die Sektoren der Südrichtungen positive Zusammenhänge. Wieder ist der Einfluss des Sektors SE bis Süd (151°-180°) besonders stark, wobei die Frage bleibt, ob eine Einheit Windaktivität aus diesem Sektor (151°-180°) im Winter dieselbe Menge Silikatstaub liefert wie im Frühjahr (Tab. 101).

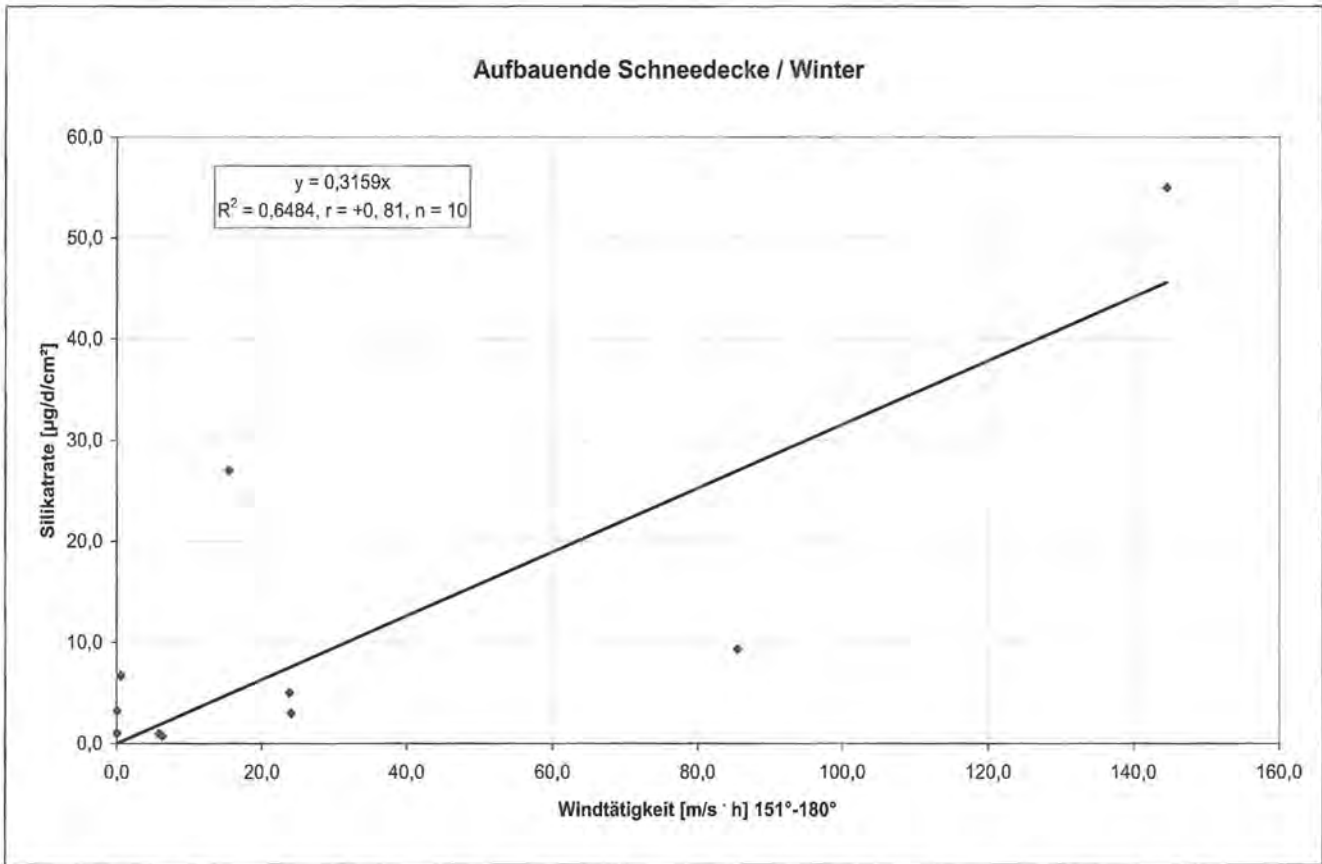
**5.1.3 Jahreszeitlicher Vergleich der Staubeinträge**

Für einen Vergleich der staubbringenden Winde des Winters mit jenen des Frühjahrs wird vereinfachend angenommen, dass die Windtätigkeit aus dem Sektor Süd (151°-180°) und die im jeweiligen Intervall erfassten Silikatstaubmengen (vgl. Tab. 96, Tab. 98) zueinander proportional sind. Für die Phasen der auf- und abbauenden Schneedecke werden jeweils lineare Einfachregressionen durchgeführt und die Proportionalitätsfaktoren bestimmt (Abb. 12 und 13).

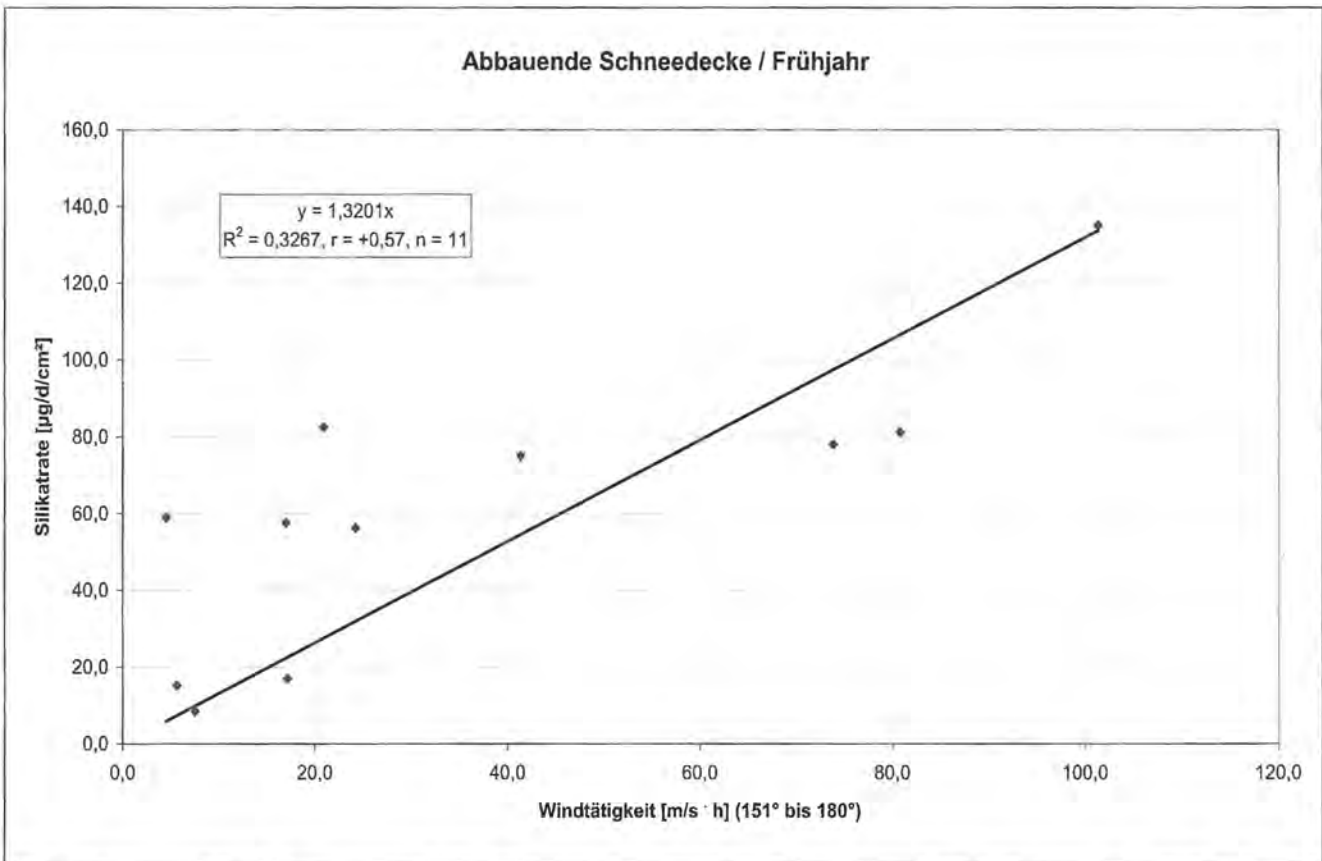
**Interpretation:**

Die Proportionalitätsfaktoren ergeben sich als Steigungsfaktoren der beiden Geraden ( $y_1 = 0,3159 x$ ;  $y_2 = 1,3201 x$ ). Die Steigungsfaktoren unterscheiden sich um den Faktor 4. Dies zeigt, dass die Südwinde (151°-180°) im Frühjahr deutlich höhere Mengen an Silikatstaub bringen als im Winter. Durch die Annahme einer proportionalen Beziehung geht allerdings die gute Korrelation für die Frühjahrswerte verloren, wodurch der Faktor 4 mit einer Unsicherheit behaftet ist.

Eine Erklärung für die erhöhten Frühjahrswerte ist zum einen die mit dem Abbau der Schneedecke einhergehende verstärkte Deflation in den Liefergebieten. Dies betrifft die Stäube aus näherer und mittlerer Distanz. Zum anderen verstärkt sich der Ferntransport durch die



**Abb. 12:** Korrelation zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Staubrate und Windtätigkeit aus dem Sektor Süd (151° - 180°), Schneedeckenaufbau.



**Abb. 13:** Korrelation zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Staubrate und Windtätigkeit aus dem Sektor Süd (151° - 180°), Schneedeckenaubau.



im Mai dokumentierte Zunahme von Saharastaubfällen als Folge erhöhter Scirocco-Tätigkeit (GLAWION 1938; PYE 1987; LITTMANN 1991).

### 5.1.4 Verlässlichkeit der Probennahme (Schneedeckenabbau)

Während des Schneedeckenabbaus kann es zu folgenden Kontaminationen kommen. Erstens zur Vermischung mit nicht-äolischen Materialien, wobei das Zusammenschwemmen durch Schmelzwasserfluss oder die Erosion durch Winddrift von Schnee zu nennen sind (CAILLEUX 1978; DIJKMANS und MÜCHER 1989; KOSTER und DIJKMANS 1988). Ebenso sind Störungen laminarer Sedimentationsschichten durch Redeposition möglich (MÜCHER und DE PLOEY 1977).

Zweitens kann der Oberflächenstaub bei längerer Ablationsperiode im Frühjahr das Konzentrat der bereits abgetauten Schneeschicht repräsentieren - vorausgesetzt er ist nicht schon innerhalb des Profils durch perkolierende Schmelzwässer weitertransportiert worden - (COLBECK 1977). Der erste Fall ist durch die Probenentnahme aus horizontaler Reliefposition weitgehend auszuschließen. Inwieweit der zweitgenannte Effekt durch die Vorgehensweise der Probennahme vermieden werden konnte, wird im folgenden aufgezeigt. In Abb. 14 werden die Silikatstaubraten aus trockener Deposition der Windtätigkeit aus dem Südsektor (121°- 180°) und den Raten des Schneedeckenabbaus während der jeweiligen Intervalle gegenübergestellt. Diese Abbauraten

[cm/d] ergeben sich aus dem Quotienten aus Schneedeckenabnahme [cm] und Zeitdauer [d] des jeweiligen Messintervalls. Dabei ist die Verringerung der Schneedeckenhöhe in den Frühjahrsintervallen vorwiegend dem Schmelzvorgang zuzuordnen. Zusätzlich wird die Windtätigkeit aus den relevanten Sektoren (121°- 180°) pro Tag im Messintervall herangezogen.

#### Interpretation:

Die tägliche Abbauraten der Schneedecke [cm/d] beeinflusst die Höhe der Silikatraten auf den Schneeflächen mit nur schwacher Tendenz ( $r = +0,49$ ). Der größte Eintrag findet in M3 (06.05.-11.05.02) bei einer Abbauraten von 6cm/d statt, während in M7 (17.06.-20.06.02) bei einer Rate von 8cm/d ca. nur die Hälfte an Staub auftritt. Damit ist der verfälschende Einfluss der Abbauraten und somit des Konzentrationseffekts auf die Probennahme als gering zu bewerten. Die hohe Verlässlichkeit der Probennahme und somit des Messprinzips hinsichtlich des Untersuchungszwecks ist gewährleistet.

Die zusätzliche Steuerung der deponierten Staubmengen durch die Akkumulationszeit wird durch Konstanthalten des Parameters Windtätigkeit aufgezeigt. Dazu werden die Messintervalle ähnlicher Windtätigkeit in drei Gruppen zusammengefasst (mittlere Windtätigkeiten: 16 m/s · h; 57 m/s · h; 85 m/s · h) und hinsichtlich der Staubraten miteinander verglichen (Tab. 102).

Die Erhöhung der Staubmenge mit der Anzahl der Tage der Akkumulationsphase zeigt sich mit großer Deutlichkeit in Gruppe II. Innerhalb der Gruppen I und III wird im

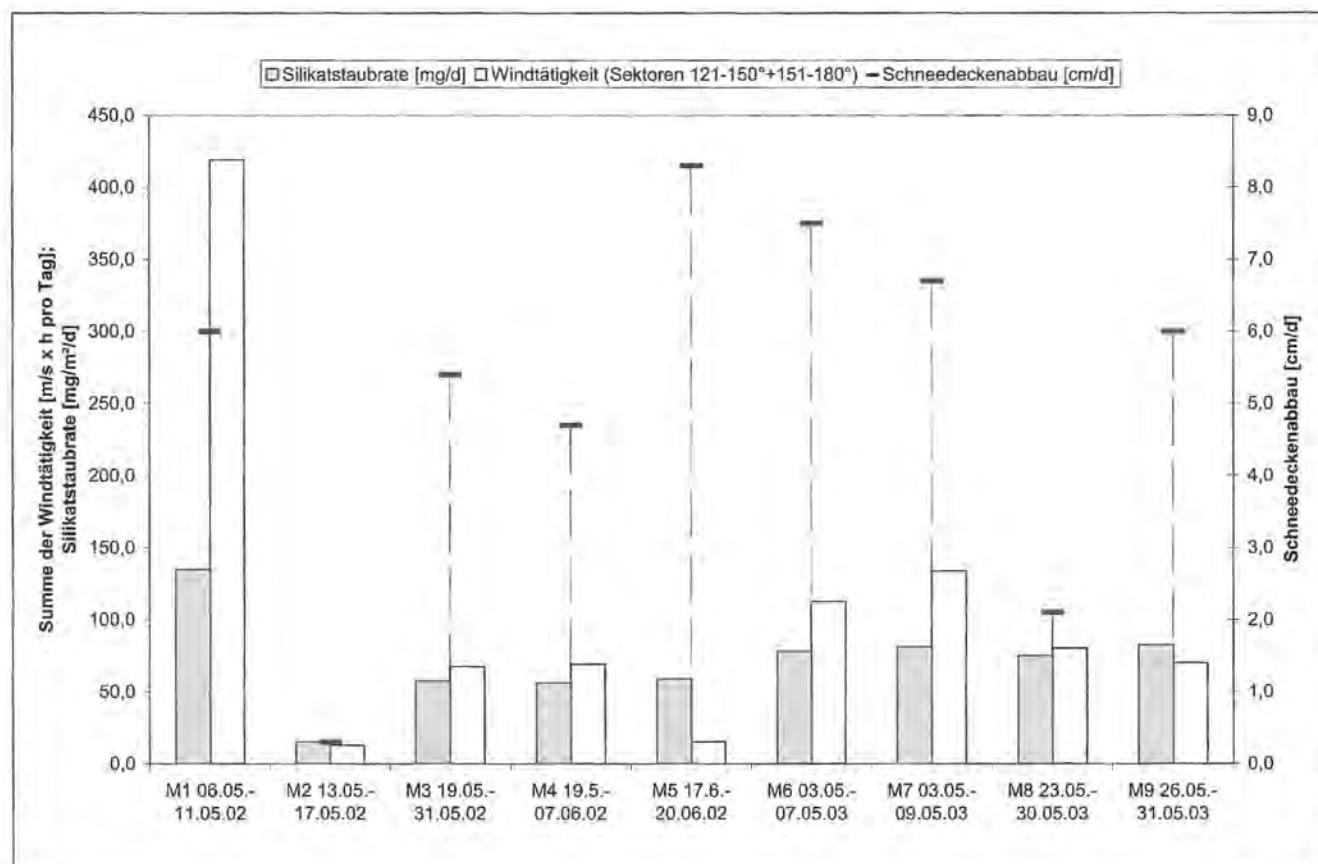


Abb. 14: Abhängigkeit zwischen Schneedeckenabbau, Windtätigkeit und Silikatstaubrate auf Schneeflächen.

**Tab. 102:** Abhängigkeit der Silikatstaubmengen [mg] von der Akkumulationszeit bei konstanten Windverhältnissen auf Schneeoberflächen.

Messintervalle und Schneedeckenentwicklung			Silikatstaubsumme [mg]	Tage der Staubakkumulation	Windtätigkeit [m/s·h]
<b>Gruppe I: mittlere Windtätigkeit 16m/s</b>					
M10	(10.02.-13.02.03)	Aufbau - Winter	2	3	16,8
M9	(01.01.-11.01.02)	Aufbau - Winter	9	10	24,6
M5	(17.06.-20.06.02)	Abbau - Frühjahr	177	3	13,4
M2	(13.05.-17.05.02)	Abbau - Frühjahr	61	4	10,9
<b>Gruppe II: mittlere Windtätigkeit 57m/s</b>					
M9	(11.05.-12.05.02)	Abbau - Frühjahr	412	5	65,8
M8	(23.05.-30.05.03)	Abbau - Frühjahr	525	7	56,3
M3	(19.05.-31.05.03)	Abbau - Frühjahr	691	12	48,5
M4	(19.05.-07.06.02)	Abbau - Frühjahr	1068	19	56,4
<b>Gruppe III: mittlere Windtätigkeit 85m/s</b>					
M8	06.12.-11.12.02	Aufbau - Winter	25	5	83,6
M11	09.02.-23.02.03	Aufbau - Winter	351	13	82,4
M6	03.05.-09.05.03	Abbau - Frühjahr	312	4	83,8
M7	03.05.-09.05.03	Abbau - Frühjahr	487	6	91,4

**Tab. 103:** Silikatstaubraten in Neuschneeproben in Abhängigkeit von der Großwetterlage.

Messintervall und Wetterlage			121-150°	151-180°	181-210°	301-331°	331-360°	Eintragsrate [mg/m <sup>2</sup> /d]
M1	(24.-26.10.02)	Wa	0,0	24,0	24,6	49,0	13,3	3,0
M5	(31.12.-03.01.03)	Wz	3,2	0,5	1,4	40	0	6,7
M1	(29.-01.05.02)	Wz	35	7,5	4	1,5	4,5	8,4
M4	(10.-11.04.02)	TrM	42,7	85,5	75,3	0	0	9,3
M6	(22.-23.01.03)	TrW	36	144,5	40,7	13,8	20,2	91
M7	(04.-05.02.03)	N+NWz	3,4	0	1,7	3,7	22,5	1
M2 Wi	(01.-02.02.02)	SW <sub>a</sub>	0	0	0	1,3	0	1
M2 Fr	(11.-12.05.02)	SE <sub>a</sub>	99,3	71,2	34,5	0	0	17
M3	(06.-08.04.02)	HF	0	0	0	27,2	28,7	3,2

**Erläuterungen:**

z = zyklonal, a = antizyklonal; H = Hoch; HF = Hoch ü. Fennoskandien; M = Mitteleuropa; N, NW = Nord-, Nordwestlage; S = Südlage; SE = Südostlage, SW = Südwestlage; TrW = Trog über Westeuropa; W = Westlage

Frühjahr bei vergleichbarer Akkumulationszeit ein Vielfaches der Winterstaubmengen deponiert (z.B. M10 Winter und M5 Frühjahr).

**Interpretation:**

Das Staubmaterial der Schneeflächen im Frühjahr ist das Resultat äolischer Sedimentation. Sie wird durch die verstärkte Südwindtätigkeit und erhöhte Deflation in den Liefergebieten gefördert. Da in den Stäuben aus Neuschnee i.d.R. sehr geringe Staubkonzentrationen auftreten, ist der zentrale Prozess der Staubakkumulation sowohl im Winter als auch im Frühjahr die trockene Deposition. Die Staubanlieferung findet überwiegend in Perioden ohne Niederschlag statt.

**5.1.5 Staubeintrag aus Neuschnee**

Für die nasse Deposition durch Schneefall ist wichtig, dass die niederschlagsbringenden Winde in den mei-

sten Monaten im Jahr im langjährigen Mittel aus dem West- und Nordwestsektor (bei Stauniederschlägen bevorzugt NW, NNW) kommen.

Aufgrund der erarbeiteten Zusammenhänge zwischen Südwindtätigkeit und Staubrate stellen sich nun zwei Fragen:

- Wie wirken die Südwinde an der nassen Deposition mit?
- Wie verläuft die äolische Dynamik bei nasser Deposition durch Schnee?

Es werden die Intervalle herausgegriffen, deren Staubmengen nach Neuschneefällen gewonnen wurden. Die Analyse von acht Staubproben zeigt eine Schwankung der Silikateinträge durch Neuschnee zwischen 1 mg/m<sup>2</sup>/d und 55 mg/m<sup>2</sup>/d (Mittelwert: 11,6 mg/m<sup>2</sup>/d).

**A) Abhängigkeit von der Großwetterlage**

Bei herrschender Troglage (über Mittel- oder Westeuropa) sowie bei antizyklonaler Südlage zeigen Neuschneeproben aufgrund der dominanten Südwindtätig-



keit die größten Silikatmengen. Den geringsten Einfluss scheinen Nordlagen (hier zyklonale Nord- mit Nordwestlage) sowie die antizyklonale Südwestlage zu haben. Die unterstützende Wirkung der Südwindtätigkeit bei Westlagen ist zu vermuten. Bei M5 ist der Staubgehalt von 6,7 mg/m<sup>2</sup>/d möglicherweise durch die starke Windtätigkeit von 40 m/s ·h pro Tag aus dem Sektor 301-331° zu erklären (Tab. 103).

### 5.1.6 Ausgewählte Witterungsverläufe

Die nasse Staubdeposition hängt von der Staubmenge pro Luftvolumen ab, die vor dem Auswaschen vorhanden ist (ALLOWAY und AYRES 1996, WELLBURN 1997). Deshalb werden die Wechsel von Trocken- und Niederschlagsperioden sowie die Südwindverhältnisse einige Tage vor der Probennahme an ausgewählten Beispielen betrachtet.

**Beispiel 1:** Westlage, zyklonal (28.01.-31.01.02), gefolgt von Südwestlage, zyklonal (ab 01.02.02), Reiteralpe. Die Phase (28.01. bis 02.02.02) ist durch tägliche, geringe Niederschlagsmengen (Mittelwert: 1 mm/d) gekennzeichnet. Windtätigkeit aus den Sektoren W und N prägt die Westlage Ende Januar. Erst am Tag der Probennahme, also nach dem Neuschneezuwachs, treten mit Beginn der Südwestlage Winde aus südlichen Richtungen auf. Die Silikatmenge ist mit 1mg/m<sup>2</sup> minimal. Die starke Westwindtätigkeit hat hier keinen Einfluss auf die Deposition.

**Beispiel 2:** Nordlage und Nordwestlage, zyklonal (01.-05.02.03), Reiteralpe. Auch hier bestimmen tägliche, jedoch hohe Niederschlagsmengen (Mittel: 23 mm/d) die Witterung. Der relevante Niederschlag vor dem Tag der Probennahme (04.05.03) beträgt 28 mm. Die Südwindtätigkeit ist gering. Ebenso zeichnen sich die Stunden vor der Probennahme durch Neuschneezuwachs aus.

Südwind am Tage des Niederschlags scheint dann keinen fördernden Einfluss auf die Staubmenge zu haben, wenn eine Niederschlagsphase mit hohen Tagesmen-

gen vorausgeht. Dadurch ist möglicher Staub bereits in tieferen Schneeschnitten akkumuliert und wird in der Probe nicht mehr erfasst.

**Beispiel 3:** Westlage, antizyklonal (17.01.-20.01.03) gefolgt von der Troglage über Westeuropa (ab 21.01.03), Zugspitzplatt. Dieses Beispiel zeigt eine deutliche Zweiteilung der Wetterlage. Die vorausgegangene antizyklonale Westlage ist niederschlagsfrei (17.01.-20.01.03), während am Übergang zur Troglage bis zur Probennahme (23.01.03) täglicher Niederschlag (Mittelwert: 8mm/d) mit kräftiger Südwindtätigkeit registriert ist. Das Staubmaximum von 55 mg/m<sup>2</sup> im Neuschnee tritt am 23.01.03 auf (Tab. 104).

In Trockenperioden mit mäßiger, aber täglicher Südwindtätigkeit befinden sich Stäube aus südlichen Liefergebieten in der Atmosphäre. Sie können entweder trocken deponiert oder durch folgenden Schneefall abgelagert werden. Eine Verstärkung des wash-out Effekts mit dem Resultat hoher Staubsummen tritt bei kräftiger Südwindtätigkeit an Niederschlagstagen auf.

**Beispiel 4:** Südostlage, antizyklonal (07.05.-11.05.02) gefolgt von einer Südwestlage, zyklonal (ab 12.05.02), Karwendelgrube. Mit dieser Wetterlage geht kräftige Materiallieferung mit Südwinden einher. Im Verlaufe vom 11.05.02 setzen Niederschläge ein. Der in der Atmosphäre verbliebene Staub wird am 11.05.02 nass deponiert. Am 12.05.02 werden 17 mg/m<sup>2</sup> Silikatmaterial in der Schneeprobe registriert (Tab. 105).

Aus den vier Beispielen und den Messdaten werden folgende Zusammenhänge abgeleitet:

- Es gibt keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Niederschlagsmenge und den Staubraten im Neuschnee. Einige Werte zeigen jedoch, dass bei Witterungsverläufen mit anhaltenden Schneefällen (Neuschneezuwachs von > 1 cm pro Tag), oft nur sehr geringe Mineralanteile im Neuschnee auftreten. Das zeigt eine Art „Verdünnungseffekt“, da der wash-out des Materials bereits stattgefunden hat und der Staub in tieferen Horizonten der Neuschneeaufgabe angereichert ist.

Tab. 104: Niederschlag und Windverhältnisse zwischen 17.01.03 und 23.01.03, Zugspitzplatt.

Messintervall	Nordsektor (301-30°)	Ostsektor (31-120°)	121- 150°	151- 180°	181- 210°	Westsektor (211-300°)	NS [mm]
<b>Westlage antizyklonal 17.01. bis 20.01.2003</b>							
17.01.2003	5,9	16,3	80,1	9,8	39,2	0	0
18.01.2003	28,4	15,8	1,6	0	6,3	25,2	0
19.01.2003	48,5	0	12,5	8,1	0	94,4	0
20.01.2003	48,5	0	12,5	8,1	0	94,4	0
<b>Troglage über Westeuropa ab dem 21.01. 2003</b>							
21.01.2003	0,0	0	26,4	141,7	40,7	35,3	3,7
22.01.2003	34,0	0,7	9,6	2,8	0	140,3	9,6
23.01.2003 (0h bis 9h)	Probennahme: Staubkonzentration 55mg/m <sup>2</sup>						

Tab. 105: Niederschlag und Windverhältnisse zwischen 06.05.02 und 12.05.02, Westliche Karwendelgrube.

Messintervall	Nordsektor (301-30°)	Ostsektor (31-120°)	121- 150°	151- 180°	181- 210°	Westsektor (211-300°)	NS [mm]
<b>Südostlage, antizyklonal (06.-11.05.02) gefolgt von Südwestlage, zyklonal ab dem 12.05.02</b>							
06.05.2002	0,0	0	114,1	48,1	0	0	0,1
07.05.2002	0,0	0	81,8	79,3	11,7	10,4	0
08.05.2002	0,0	0	258,6	0	0	0	0
09.05.2002	2,5	1	50,8	58,3	1,4	8,1	0
10.05.2002	0,0	0	50	54,1	29,6	4,7	0
11.05.2002	0,0	2	49,3	13,8	4,9	22,5	14,8
12.05.2002	1,5	0	11,4	19,6	8,5	51	0,8
12.05.2002	Probennahme: Staubkonzentration <b>17mg/m<sup>2</sup></b>						

Tab. 106: Staubeintrag durch Regen in den Sommern 2002 und 2003.

Untersuchungsgebiet Messfeld	Sommer	Silikatstaub [µg/cm <sup>2</sup> /d]	Humusstaub [µg/cm <sup>2</sup> /d]	Karbonatstaub [µg/cm <sup>2</sup> /d]	Gesamtinput [µg/cm <sup>2</sup> /d]
Zugspitzplatt	2002	10,1	9,5	0,7	20,5
	2003	6,2	4,1	0,1	10,5
Westliche Karwendelgrube	2002	4,4	4,6	0,3	9,2
	2003	8,8	3,7	0,2	12,6
Reiteralpe	2002	4,3	4,0	0,1	8,5
	2003	4,1	1,9	0,1	6,1

- Allerdings gibt es auch Beispiele, in denen trotz langanhaltender Schneefälle hohe Staubkonzentrationen in der Neuschneeprobe auftreten. Dies ist häufig der Fall, wenn den Niederschlagstagen mit Südwindtätigkeit eine Niederschlagsphase mit Nord- und Westwindtätigkeit vorausgeht. Der Staubgehalt im Neuschnee wird vorrangig von der Südwindtätigkeit an den Niederschlagstagen gesteuert. Eine Korrelation der Staubraten aus Neuschnee mit den Winden aus den Sektoren 121°-180° ergibt einen positiven Zusammenhang ( $r = +0,76$ ).
- Die Abhängigkeit von der Südwindtätigkeit erklärt sich auch aus der Tatsache, dass die niederschlagsbringenden Windrichtungen (Sektoren NW, NNW) auf die Deposition von Mineralstäuben im Winter keinen Einfluss haben. Entsprechend treten in Phasen mit hoher Nord- und Westwindtätigkeit sowohl bei hohen als auch bei geringen Tagesniederschlägen minimale Staubwerte auf.
- Treten im Witterungsverlauf Trockenphasen auf, dann sorgt bereits eine mäßige Südwindtätigkeit an diesen Tagen für erhöhte Staubkonzentrationen im folgenden Neuschneezuwachs, wenn dieser gering bleibt. Entscheidend für die Aufwirbelung und den Transport von Stäuben sind also Trockenphasen mit Südwinden vor den Niederschlagsphasen. Der Großteil der Stäube wird aufgeweht, ein kleinerer Teil wird durch Schneekristalle mitgerissen.

Die vorliegenden Ergebnisse korrelieren mit der Schneebedeckung in den Liefergebiete in mittlerer Entfernung (Zentralalpen). Sie sind mit den identifizierten Mineraleigenschaften ein weiterer Beleg für den Ferntransport der Silikatstäube im Winter.

## 5.2 Ergebnisse zur Staubquantifizierung im Regenniederschlag

Die Einzelmessungen aus den Staubfangkästen sind Datengrundlage. Mit dem Flächenbezug (Sedimentkasten: 646 cm<sup>2</sup>) ergeben sich aus den Tagesmengen [mg/d] pro Staubfangkasten die Eintragsraten [µg/cm<sup>2</sup>/d]. Neben den Silikateinträgen (S) wird z.T. auch der Gesamtstaub (G) herangezogen. Bei Probenverlusten werden auch die Werte der Messeimer (642 cm<sup>2</sup>) verwendet.

### 5.2.1 Quantifizierung des Staubeintrags

Die in einer Saison in allen Staubfangkästen eines Gebietes erfassten Staubmassenwerte [mg] werden addiert und durch die Anzahl der Staubfangkästen geteilt. Diese Mittelwerte werden in Eintragsraten umgerechnet (Tab. 106).

Der Sommer 2003 ist in allen drei Gebieten durch eine deutliche Abnahme des Humusanteils gekennzeichnet. Die Humus- und Silikatanteile sind anders als das Staubmaterial im Winter von vergleichbarer Größenordnung. Auffällig ist der geringe Karbonatgehalt am Gesamtstaub. Die Eintragsraten werden pro Intervall als Mittelwerte über die Staubfangkästen für die Messsommer 2002 und 2003 dargestellt, ebenso die ermittelten Gesamteinträge pro Staubfangkasten (Catena Zugspitzplatt) (Abb. 15, 16).

Der modifizierende Einfluss des Reliefs (Vegetation, Höhenlage, Bedeckungsgrad) wird in den unterschiedlichen Beträgen der Einzelwerte deutlich. Sehr gute



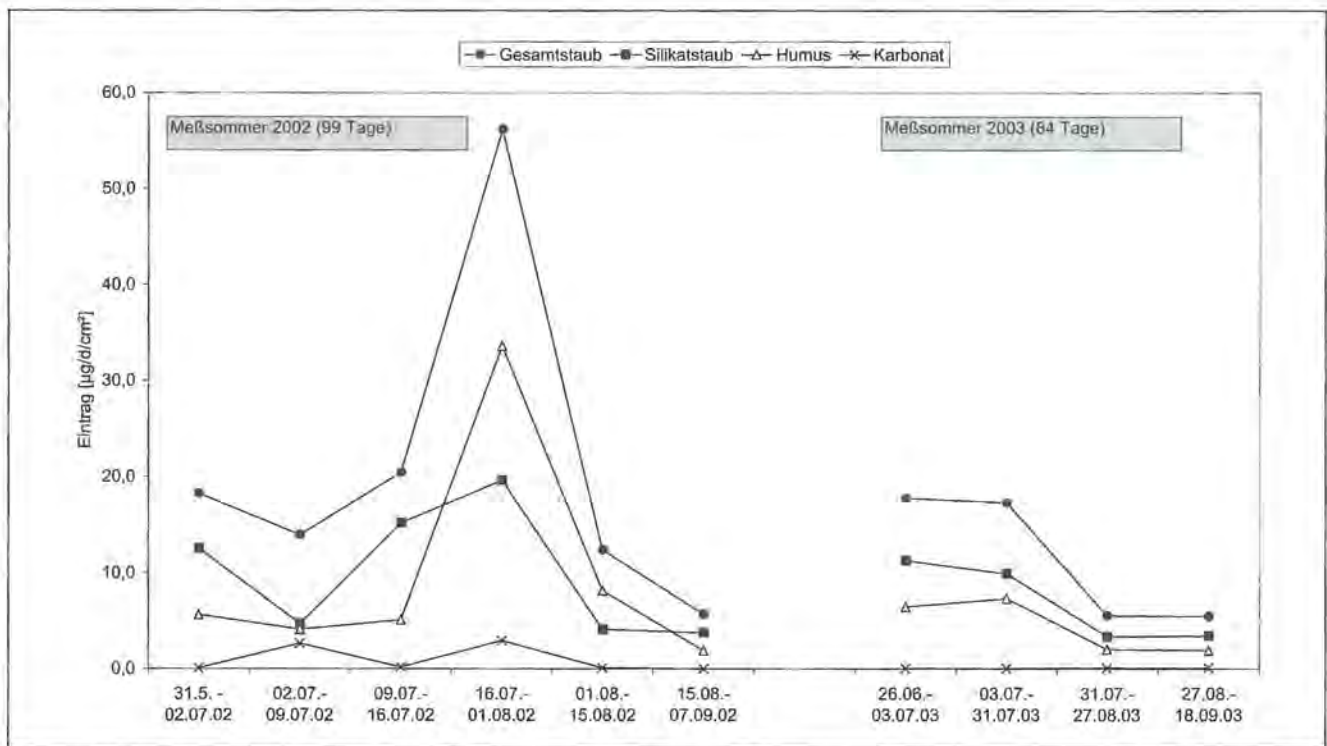


Abb. 15: Zeitlicher Verlauf der Staubeinträge in den Sommern 2002 und 2003 (Catena Zugspitzplatt).

Übereinstimmung zeigen die Staubfangkästen in der Karwendelgrube und zwar besonders jene in Lee-Situation (Abb. 17).

### 5.2.2. Abhängigkeit von Klimaparametern

Der Sommer 2003 war extrem heiß und trocken („Jahrhundertsummer“) und es stellt sich die Frage, ob die

Faktoren Wind und Niederschlag auch im Sommer staubrelevant sind. Für den Vergleich wird für beide Sommer das Zeitintervall vom 03. Juli bis 26. August (54 Tage) herausgegriffen. In diesem Vergleichsintervall sind die Staubeinträge in allen Gebieten im Jahr 2003 um die Hälfte, auf der Reiteralpe sogar auf etwa ein Drittel reduziert. Die Gegenüberstellung der herrschenden Niederschlags- und Windverhältnisse zeigt eine für beide Jahre vergleichbar große Gesamtwindtätigkeit. Daher kann

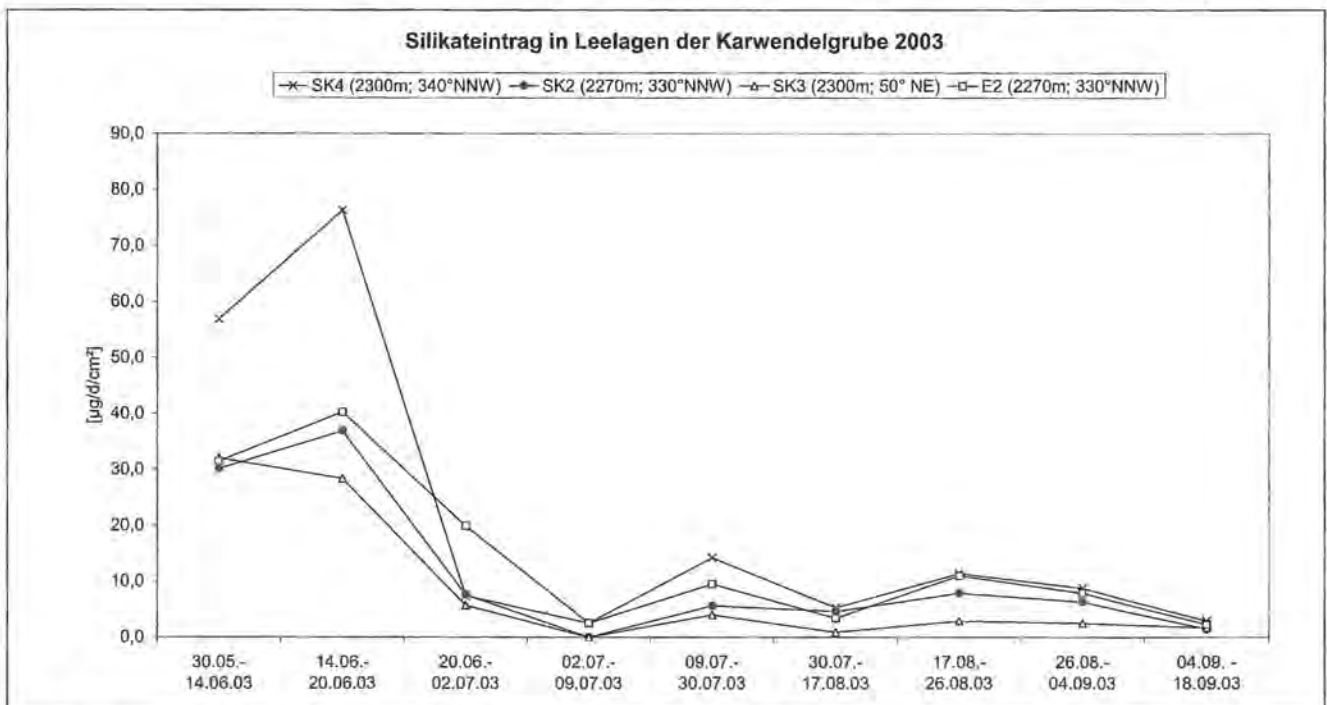


Abb. 16: Zeitlicher Verlauf der Staubmengen pro Meßstelle in den Sommern 2002 und 2003 (Catena Zugspitzplatt).

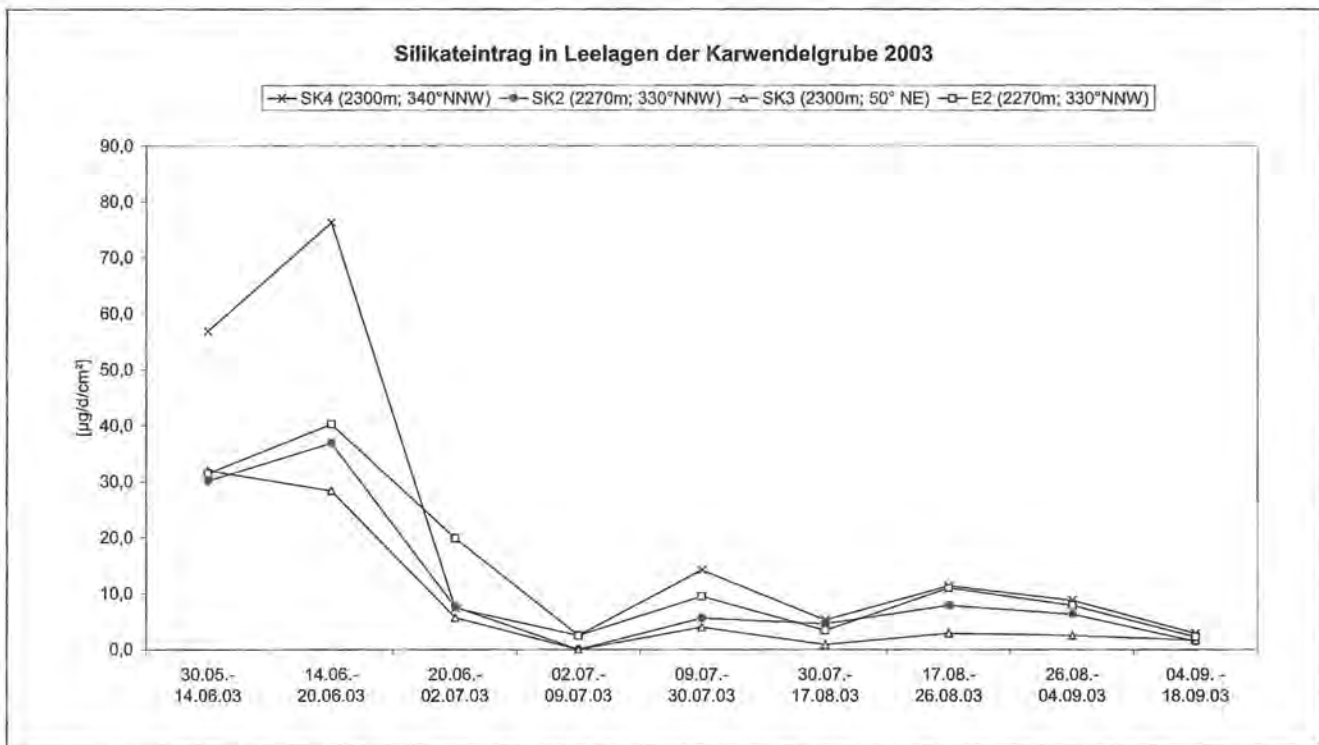


Abb. 17: Zeitlicher Verlauf der Staubmengen in Leelagen (2003, Westliche Karwendelgrube).

sie in diesem Falle nicht die Ursache für die Schwankungen zwischen 2002 und 2003 sein. Als mögliche Steuerungsfaktoren sind zum einen die Südwinde, zum anderen die ebenfalls stark reduzierten Niederschläge zu betrachten (Tab. 107, 108).

### A) Windtätigkeit

Im folgenden werden für alle Intervalle in den drei Gebieten die Windtätigkeiten zunächst unabhängig von den

Richtungssektoren dargestellt (Abb. 18). Die Regressionsanalysen ergeben einen positiven Zusammenhang von Windtätigkeit und Silikateintrag für die Gebiete Zugspitzplatt ( $r = +0,66$ ) und Karwendelgrube ( $r = +0,62$ ). Kein Zusammenhang besteht bei den Werten für die Reiteralpe. Dies drückt sich beim Zusammenfassen aller Werte in der Berechnung in einem geringeren Koeffizienten ( $r = +0,53$ ) aus. Als nächstes wird die Abhängigkeit des Staubeintrages von den Windrichtungssektoren

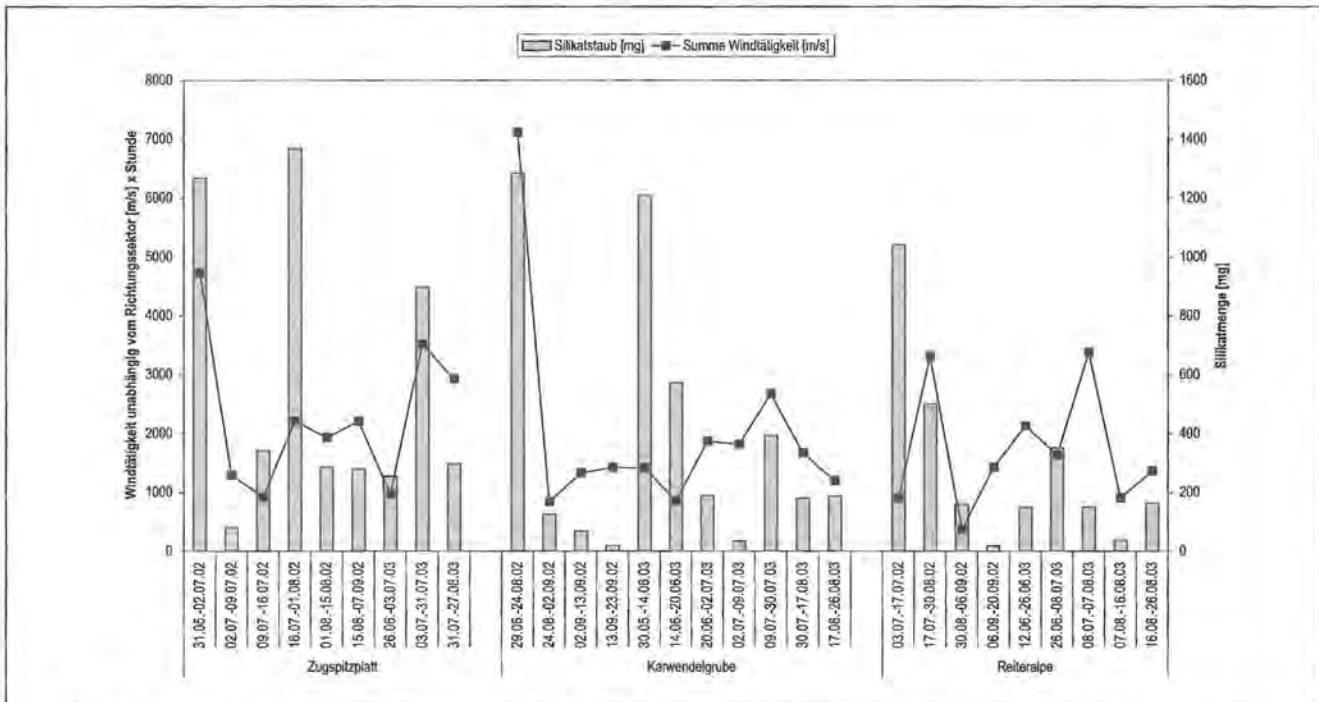


Abb. 18: Windtätigkeit und Silikatstaubmenge (Sommer 2002, 2003).



**Tab. 107:** Staubeinträge der Sommer 2002 und 2003 (Normintervall: 03. Juli bis 26. August, 54d).

Untersuchungsgebiet Messfeld	Sommer	Silikatstaub [µg/cm²/d]	Humusstaub [µg/cm²/d]	Karbonatstaub [µg/cm²/d]	Gesamtinput [µg/cm²/d]
Zugspitzplatt	2002	12,4	12,0	1	26,1
	2003	6,9	4,9	0,1	11,9
Westliche Karwendelgrube	2002	8,9	7,5	0,03	16,4
	2003	5,7	4,0	0,10	9,7
Reiteralpe	2002	10,7	6,5	0,03	17,2
	2003	3,9	2,0	0,2	5,9

**Tab. 108:** Windtätigkeit und Niederschlag der Sommer 2002 und 2003 (Normintervall: 03. Juli bis 26. August, 54d).

Meßsommer	Windtätigkeit [m/s · h]				Niederschlag [mm]	Mittlerer Silikateintrag [µg/d/cm²]
	Alle Richtungen	121-150°	151-180°	181-210°		
2002 ZP 1)	7478	1272	1123	488	389	12,4
2003 ZP 1)	6311	298	284	202	172	6,9
<b>Quotient 02/03</b>	<b>1,2</b>	<b>4,3</b>	<b>3,9</b>	<b>2,4</b>	<b>2,3</b>	<b>1,8</b>
2002 KG 1)	7478	1272	1123	488	389	8,9
2003 KG 1)	6311	298	284	202	172	5,7
<b>Quotient 02/03</b>	<b>1,2</b>	<b>4,3</b>	<b>3,9</b>	<b>2,4</b>	<b>2,3</b>	<b>1,6</b>
2002 RA 2)	3245	262	173	147	389	10,7
2003 RA 2)	2812	75	48	63	172	3,9
<b>Quotient 02/03</b>	<b>1,1</b>	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>2,3</b>	<b>2,3</b>	<b>2,7</b>

1) Station Zugspitze (2962m), DWD München  
 2) Wind 2002, 2003: Station Watzmannhaus (1801m), DWD München + NP Berchtesgaden

**Tab. 109:** Korrelationskoeffizienten r zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Staubeintrag und Windtätigkeit pro Richtungssektor.

	Nordsektor			Ostsektor			Südsektor			Westsektor		
	301-331°	331-360°	1-30°	31-60°	61-90°	91-120°	121-150°	151-180°	181-210°	211-240°	241-270°	271-300°
r =	+0,35	<b>+0,44</b>	+0,26	+0,11	+0,13	+0,14	+0,40	+0,35	0,32	+0,29	<b>+0,48</b>	<b>+0,48</b>

(30°-Sektoren) geprüft (Tab. 109). Die rechnerische Analyse ergibt generell einen positiven, aber für alle 30°-Sektoren schwachen Zusammenhang. Es zeigt sich allerdings eine Präferenz des Nord- und Westsektors, d.h. der niederschlagsbringenden Winde. Im Gegensatz zum Winter beeinflusst die Windtätigkeit aus dem Südsektor (121°-150°) die Höhe der Silikateinträge im Messzeitraum nur schwach.

**B) Niederschlag**

Der Vergleich mit der Niederschlagsmenge (Methode: Sammelkanister) ergibt folgende Kurvenverläufe (Abb. 19).

Wie die Silikatraten berechnet sich auch die Niederschlagsrate [mm/d] aus der festgestellten Menge am Ende des Intervalls dividiert durch die Anzahl der Tage d. In der Regel sind die Kurvenverläufe zueinander synchron, was die Steuerung durch den Niederschlag dokumentiert. Die durchgeführte lineare Regressionsanalyse unterstützt das Ergebnis ( $y = 0,731x + 2,021$ ;  $R^2 = 0,39$ ,  $r = +0,63$ ,  $n = 32$ ) in Abb. 19.

Keiner der Windsektoren zeichnet sich in der Korrelation mit dem Silikateintrag aus, da im Sommer neben den südlichen Liefergebieten (z.B. Sahara) auch andere Gebiete (z.B. Ost- und Westalpen) Stäube liefern können. Zudem erfolgt nasse Deposition bei Wetterlagen mit Winden aus dem NW- und W-Sektor.

Insgesamt zeigt sich eine Abhängigkeit der Staubeinträge vom Regenniederschlag, die beim Humusanteil am stärksten zum Ausdruck kommt ( $y = 2.7504x + 39.012$ ;  $R^2 = 0,5041$ ;  $r = +0,71$ ,  $n = 32$ ) und den wash-out Effekt dokumentiert.

**5.3 Ergebnisse zum Einfluss von Relief und Vegetation**

Anhand der Staubeinträge (Winter, Sommer) wird versucht, die Einflüsse von Reliefparametern in erster Näherung anzugehen. Das Grundproblem liegt dabei in der nötigen und realistisch möglichen Messnetzdichte. Dies hat Auswirkungen auf die statistische Aussagekraft

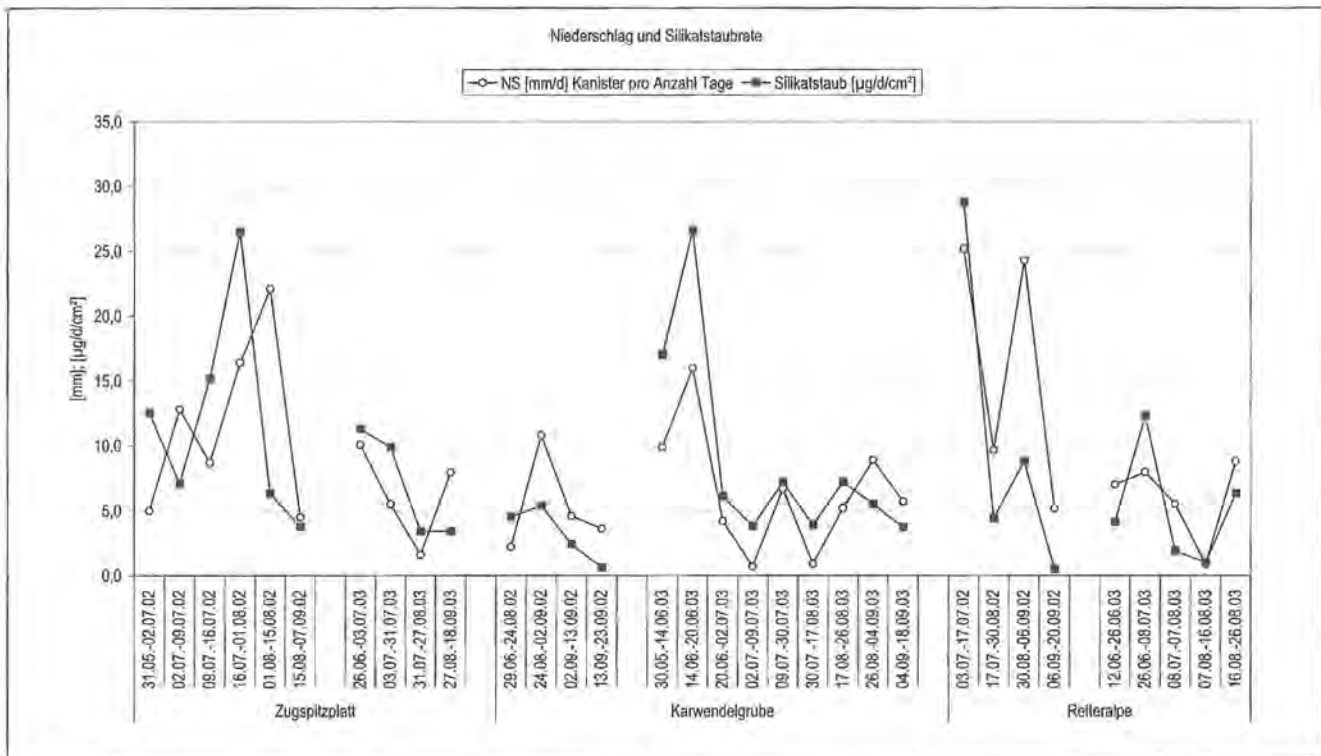


Abb. 19: Niederschlag und Silikaleintrag pro Intervall (Sommer 2002 und 2003).

der Geländedaten, die deshalb als Trends zu verstehen sind. Die Reliefsituationen sind repräsentativ für den betrachteten Parameter (z.B. Luv-/Lee-Effekte). Die Quantifizierung findet an drei Standorten in der Westlichen Karwendelgrube statt, die im Winter gut zugänglich sind (Anhang 10.1).

- SP1 Dolinenmulde (2200 m)
- SP2 Kirchlwiese SE (2250 m), Luvhang
- SP3 Linderhang NNE (2300 m), Leehang

### 5.3.1 Relief und Luv-Lee-Effekte

Insgesamt liegen Ergebnisse aus sieben Probenahmen während des Winters vor. Die Testfläche am Leehang (SP 3) zeigt prozentual die größte Staubmenge, gefolgt von jener am Luvhang (SP 2) in fünf von sieben Probenahmen (Tab. 110). Auch die reliefabhängige Auswertung der Eintragsraten aus den Regenniederschlägen (Kasten 1 bis 4, neun Intervalle im Sommer 2003) zeigt eine deutliche Bevorzugung der Lee-Lagen, besonders entlang von konkaven Unterhängen ( $10^\circ$ ; Standort SP3, Kasten 2). Am steileren konkaven Oberhang (Standort SP3, Kasten 3) wird mehr deponiert als in konvex-konkaver Situation am Mittelhang (Standort SP3, Kasten 4). Vergleicht man zwei Standorte mit identischen Neigungsparametern (KG 4\_Lee mit KG 1\_Luv), zeigt sich wieder die Präferenz der Lee-Lage.

#### Interpretation:

Ursache dieser Depositionsmuster ist die Winddynamik in der Großdoline. Die Südwinde prallen zuerst im Luv der Kirchlwiese auf, wobei sie bereits einen Teil der

Staubfracht ablagern. Im weiteren Verlauf lenkt das Gipfelmassiv der Linderspitze die Winde ab. Nach dem Überstreichen des Grates erfolgt im Lee eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit. Der Großteil des Flugstaubs wird bevorzugt entlang eines Geländeknicks auf den N- und NE-exponierten Ober- bis Unterhangbereichen deponiert. Nahe des Dolinenbodens gelangt ein geringer Teil der Staubfracht trocken auf die Schneeoberfläche.

### 5.3.2 Effekte auf Boden und Vegetation durch Staubeintrag

Die Staubdynamik spiegelt sich in der Bodenentwicklung sowie den räumlichen Mustern von Boden- und Vegetationstypen wider (Tab. 111).

#### Standort Doline SP1:

Die Doline hat den geringsten prozentualen Anteil am Gesamtstaub (bezogen auf die Standorte SP1, SP2, SP3). Entsprechend gibt es dort Rohböden verzahnt mit initialen Polsterrendzinen, die z.T. mit Vertretern des kalkliebenden Gänsekresse-Bodens (*Arabidatum caeruleae*) besetzt sind. Diese zeigen lange Schneebedeckung (7-8 Monate) an. Am Unterhang treten im Ruh-schutt initiale und typische Polsterrendzinen unter Polsterseggenrasen (*Caricetum firmiae*) auf. Die Schmelzwässer verlagern den Staub in die Doline, wo er in den Untergrund gespült wird. Die hohe Wasserzügigkeit spiegelt das nur mäßig ausgebildete *Arabidatum caeruleae* wider (ELLENBERG 1996; REISIGL und KELLER 1987; SFAZER 1924).



**Tab. 110:** Prozentuale Verteilung [%] der Staubmengen in Abhängigkeit vom Relief.

Staubkasten	Schneedeckenaufbau				Schneedeckenabbau		
	26.10.02	11.12.02	03.01.03	13.02.03	17.05.02	07.05.03	30.05.03
Doline, SP1	25	34	10	17	4	25	15
Luv, SP2	34	29	25	33	36	11	40
Lee, SP3	41	37	65	50	60	64	45

Die prozentuale Darstellung der Silikatstaubmengen [mg/m<sup>2</sup>] basiert auf folgender Berechnung: Summe Staubgehalt aus den Testflächen (SP1+SP2+SP3) pro Messtermin entspricht 100%.

**Tab. 111:** Staubeintrag und Bodenentwicklung, Westliche Karwendelgrube.

Meßstellen	Mittlere Solummächtigkeit [cm] der dominanten Bodentypen am Standort <sup>1)</sup>	Prozentualer Anteil am Gesamtstaub [mg/m <sup>2</sup> ] <sup>2)</sup>
SP1 Grube, <b>Doline</b> , 2200m, 2°	Protorendzina Aih/Cv	8
	Polsterrendzina Oh/Cv	20
SP2 Kirchl, <b>Luv</b> , 2250m, SE, 30°	<b>Flachgründige</b> Lößbraunerde über verbrauchter Rendzina Ah/Bv+II Cv/Cn	52
SP3 Linderspitz, <b>Lee</b> , 2300m, NE, 30°	<b>Mittelgründige</b> Lößbraunerde (Ah)/Bv/II Cv+Cn	80

1) Mittelwert: Solummächtigkeit, n umfasst 15 Bohrstocktiefen pro Bodentyp  
 2) Gesamtstaubmenge [mg/m<sup>2</sup>] von Schneeoberflächen in der Karwendelgrube als Summe aus den Staubmengen von den Testflächen SP1, SP2, SP3 pro Messtermin der Sommer 2002 und 2003. Daraus errechnet sich ein prozentualer, mittlerer Staubeintrag.

**Standort Luvhang SP2:**

Am Standort SP2 wird ein Anteil von 30% an der mittleren Gesamtstaubdeposition verzeichnet. Flachgründige Lössbraunerden (Min.: 45 cm, Max.: 71 cm, Mittel: 52 cm) besetzen den konkaven Unterhang. Auf den glimmerreichen äolischen Hangsedimenten dominiert *Seslerio-Caricetum sempervirentis*. Diese thermo- und calcophile Rasengesellschaft bevorzugt feinerdereiche Südlagen, die im Winter ausreichend Schneeschutz bieten (ELLENBERG 1996; FRANZ 1979). Die pH-Werte der Bv-Horizonte über Muschelkalk liegen im Bereich der Kirchlwiese allerdings im mittel sauren Bereich (pH: 5,1 bis 5,3). Sie steigen am Übergang zum noch durchwurzeltten IICv-Horizont auf 5,8 bis 5,9 an. Ähnliche Ergebnisse liegen aus den Schweizer Alpen vor, die einen größeren Toleranzbereich von *Seslerion* (gutes Gedeihen noch bei pH 5,5) zeigen (GIGON 1971).

Damit steht der Kalkrasen nicht im Gegensatz zum äolischen Substrat. Im Gegenteil, typische Säurezeiger wie das Borstgras (*Nardus stricta*) oder die Rasen-Schmiele (*Deschampsia cespitosa*), die zum *Nardetum* überleiten, beschreiben die z.T. „versauerten Blaugras-Horstseggen-Halden“ (SAITNER 1989, S. 90) in der Westlichen Karwendelgrube. Die horstbildenden Gräser (Blaugras, Horstsegge, Blauschwengel) kämten den Staub aus und ihr weitverzweigtes Wurzelwerk fixiert das bodenbildende Substrat.

**Standort Leehang SP3:**

Der größte Anteil am Gesamteintrag in der Karwendelgrube ist an den Leehängen von SP3 (Mittel: 52%) registriert. Mächtige Lössbraunerden (Min.: 64 cm; Max.:

90 cm), bewachsen mit dem Silikatkrautweide-Schneeboden (*Salicetum herbaceae*) „als Charakter-Gesellschaft der Silikatischen Zentralalpen“ (ELLENBERG 1996, S. 613), herrschen vor. *Salicetum herbaceae* ist ökologischer Zeiger für saure Bodenverhältnisse und lange Schneebedeckung. Diese dokumentiert sich im Lee in einer ausgeprägten Hangwechte, die von der Nördl. Linderspitze dem Leehang in die Doline folgt und erst im Verlauf des Juli völlig abtaut.

Innerhalb der Großdoline treten am Hangbereich (SE, ESE) zwischen Linderspitze und Bergstation äolische Mullrendzinen und geringmächtige Braunerden auf. Dort nimmt die Hanghöhe ab, sodass eine weitere Öffnung der Dolinenumrahmung nach W besteht. Über diese Pforte können die von der Linderspitze abgelenkten Südwinde in die Doline gelangen.

Dieses aerodynamisch induzierte Verteilungsmuster der Stäube und Lössbraunerden spiegelt sich in der Vegetation. Windharte Spalierpflanzen und Rasen sowie Vertreter der Karbonat-Alpen-Windecken und Sauerboden-Windheiden treten auf. *Caricetum fimae* in Kombination mit Silberwurzteppichen (*Dryas octopetala*) besetzt die windexponierten, trockenen Standorte. Es tritt im Verband mit Pflanzen (z.B. *Antennaria carpatica*) des kalkliebenden Nacktrietrasens (*Elynetem alpinum*) auf. Zeigerpflanzen für silikatisches Substrat sind auf den verbrauchten Rendzinen z.B. *Loiseleurea procumbens* als Vertreter des Gamsheide-Teppichs (*Loiseleurietum*). Diese Pflanze gehört den Sauerboden-Windheiden an und besetzt „windexponierte, aber weniger geneigte Reliefeinheiten“ (ELLENBERG 1996, S. 585; SAINTNER 1989; SAINTNER und PFANDENHAUER 1989).

## 5.4 Zusammenfassung: Äolische Dynamik

### 5.4.1 Die Staubquantifizierung im Winter

Die mittleren Eintragsraten während der Phase des Schneedeckenaufbaus betragen auf Schneeflächen **12 mg/m<sup>2</sup>/d** (Schwankung: 0,7 bis 55 mg/m<sup>2</sup>/d). Dabei treten die geringsten Raten im Winter direkt nach Neuschneefällen (nasse Deposition) auf.

Im Frühjahr ist der mittlere Silikateintrag von **64 mg/m<sup>2</sup>/d** (Schwankung: 8 bis 135 mg/m<sup>2</sup>/d) rund 5-mal höher. Es besteht eine deutliche Abhängigkeit der Staubdynamik von den Witterungsverläufen und Großwetterlagen (Tab. 112).

#### A) Äolische Dynamik

Der zentrale Prozess ist im Winter und Frühjahr die trockene Deposition, wobei der Staubtransport bevorzugt in niederschlagsfreien Perioden stattfindet.

Die rötlichbraunen Mineralstäube der winterlichen Schneeflächen belegen Ferntransport aus der Sahara. Auch die deutlich verfärbten Schneeflächen im Frühjahr sind vorwiegend das Resultat verstärkter, äolischer Sedimentation. Sie wird durch erhöhte Südwindtätigkeit (Sektor: 151-180°) und zusätzliche Deflation aus den bereits schneefreien Räumen der alpinen Liefergebiete (z.B. Zentralalpen) gefördert.

#### B) Äolische Deposition in Neuschneehorizonten

Nach langanhaltenden Schneefällen (Neuschneezuwachs von > 1 cm pro Tag), ist die Staubkonzentration im Probenhorizont (0-1 cm) gering. Es besteht bei den Staubgehalten aus nasser Deposition eine Abhängigkeit von der Südwindtätigkeit am Niederschlagstag. Dies trifft besonders zu, wenn eine Niederschlagsphase mit Nord- und Westwinden vorausgegangen ist.

In Perioden mit hoher Nord- und Westwindtätigkeit treten sowohl bei hohen als auch geringen Tagesniederschlägen minimale Staubwerte auf, da im Winter keine potentiellen Liefergebiete in dieser Windrichtung aktiv sind. Gehen niederschlagsfreie Perioden mit Südwind voraus, dann bewirkt schon eine mäßige Südwindtätigkeit während des Niederschlags erhöhte Staubmengen, vorausgesetzt der folgende Neuschneezuwachs bleibt gering.

### 5.4.2 Die Staubquantifizierung im Sommer

Es liegen folgende Silikateinträge (µg/d/cm<sup>2</sup>) bezogen auf die jeweiligen Messintervalle vor:

- Sommer 2002: Zugspitzplatt (10), Westl. Karwendelgrube (4), Reiteralpe (4)
- Sommer 2003: Zugspitzplatt (6), Westl. Karwendelgrube (9), Reiteralpe (4)

#### A) Äolische Dynamik

Es besteht eine schwache positive Korrelation der Silikateinträge mit den niederschlagsbringenden Windrichtungen aus dem NW- und W-Sektor. Damit sind im Sommer zusätzliche Liefergebiete (z.B. die kristallinen Westalpen) aktiv. In beiden Sommern zeigt sich ab September der Trend einer Abnahme der mittleren Staubeinträge. Zu dieser Zeit beginnt in den Deflationsgebieten der periglazialen Höhenstufe der Zentralalpen bereits der Schneedeckenaufbau und so die Bindung des erosionsfähigen Staubmaterials. Die Höhe des Staubinputs hängt deutlich von der Niederschlagsmenge ab. Nach längeren Trockenphasen wird der Staub ausgewaschen. Dabei stellt sich eine Art „Verdünnungseffekt“ im Verlauf des Niederschlagsereignisses ein. Trockene Witterungsphasen führen in den Staubfangkästen zu Staubgehalten im Bereich der Nachweisgrenze.

#### B) Einflüsse von Relief, Vegetation und Boden

Bevorzugte Ablagerungsräume sind konkave Hanglagen in Lee-Situation, wobei an steileren konkaven Oberhangbereichen mehr deponiert wird als in konvex-konkaven Lagen am Mittelhang. Die zweitgrößte Staubmenge wird in vergleichbaren Geländesituationen am Luv-Hang ermittelt. Bei identischen Hangparametern zeigt sich immer eine Bevorzugung der Lee-Lagen. Die alpinen Vegetationsgesellschaften kämten Staub in Bodennähe aus und verändern in Reaktion auf die sauren Fremdsubstrate ihre Artenzusammensetzung.

### 5.4.3 Mögliche Liefergebiete

Gesteinsserien der alpinen Liefergebiete werden durch die Schwermineralspektren mit Hilfe von metamorphen Zeigern (Chlorit, Disthen, Epidot, Granat, Rutil, Stauoro-

Tab. 112: Staubdeposition auf Schneeflächen in Abhängigkeit von den Großwetterlagen.

Hemmende Wirkung auf die äolische Deposition → Niedrige Staubraten	
Schneedeckenaufbau „Winter“	Schneedeckenabbau „Frühjahr“
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Südwestlage antizyklonal</li> <li>- Nord- u. Nordostlagen</li> <li>- Hochdrucklagen Mitteleuropa und Fennoskandien</li> <li>- Hochdruckbrücken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Westlage zyklonal</li> <li>- Südwestlagen</li> </ul>
Fördernde Wirkung auf die äolische Deposition → Hohe Staubraten	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Troglagen über West- und Mitteleuropa</li> <li>- Südlage antizyklonal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Südlagen und Südostlagen</li> <li>- Troglagen ü. West- und Mitteleuropa</li> <li>- Südwestlage mit Übergang zur Hochdruckbrücke/Mitteleuropa</li> </ul>



lith, Turmalin, Zirkon) und magmatischen Indikatoren (Apatit, Glimmer, Hornblende, Quarz, Zirkon) beschrieben. Saharastäube fallen zusätzlich durch Hämatit, Gips, gerundete Quarzkörner und Feldspäte sowie Diatomeenreste auf. Folgende Liefergebiete ergeben sich:

- Wüstengebiete  
der Sahara (Ferntransport > 500 km)
- Kristalline  
Zentralalpen (Mittlere Distanz > 50 km und < 500 km)
- Benachbarte  
Umgebung (Nahtransport < 50 km)

#### A) Wetterstein- und Karwendelgebirge

Als zentralalpine Liefergebiete fungieren die Phyllit-Zone und das Ötztal-Kristallin der Stubai- und Ötztaler Alpen südlich des Innntals. Bei mechanischer Verwitterung der feinkörnigen Quarzphyllit- und Glimmerschiefer-Serien entstehen Korngrößen der Schluff-Fraktion (63 µm bis 2 µm). Die Granodiorite und Granitgneise verwittern bevorzugt zu sandigem Substrat (LATRIDOU 1988). Weitere Quellen sind die Schieferhülle und die Zentralgneis-Serien des Tauernfensters (Penninikum). Als Leitkanäle der Südwinde fungieren die Täler von Inn, Isar und Sill.

Schließlich liefert das Neokom der Jungschichtenzone am Südrand des Wettersteingebirges Tonminerale und sedimentären Quarz. Die äolische Zufuhr von Sanden aus der näheren Umgebung des Kalkalpins (z.B. Raibler Schichten) wird für die Karwendelgrube postuliert.

#### B) Reiteralpe:

Zentralalpine Stäube stammen aufgrund der bedeutenderen Ostwindkomponente (ESE, SE) vorwiegend aus der oberostalpinen Grauwackenzone (Ennstaler und Pinzgauer Phyllit, Wildschönauer Schiefer) mit Kiesel- und Phyllitschiefern sowie Sandsteinen (Quarz-, Glimmer- und Tonminerale). Ebenso wird Verwitterungsmaterial aus den Hohen Tauern des ostalpinen Altkristallins ausgeweht (besonders Hornblendegneise, Hornblendegarbenschiefer sowie Amphibolite). Das erklärt den Reichtum an frischer Hornblende auf der Reiteralpe. Als Windkanäle fungieren die Täler des Pinzgau und der Salzach und Saalach. Die festgestellten „molasseartigen Schwermineralspektren“ in den Böden deuten auch auf äolisch transportfähige Verwitterungsreste der tertiären Augensteinlandschaft hin.

#### C) Äolische Dynamik

In der schneefreien Zeit sind die Liefergebiete der Zentralalpen relevant, während im Winter der Ferntransport dominiert (z.B. gerundete Quarze, Zirkone, Diatomeen). Die verstärkte Humuslieferung im Sommer findet aufgrund der identifizierten Pflanzeninhalte aus der Umgebung statt. Die prinzipiell mögliche Staubleistung mit Niederschlägen aus nördlichen Gebieten (z.B. kristalline Mittelgebirge, Molassevorland) ist heute als sehr gering anzunehmen. Gründe sind die Schneebedeckung der Gebiete im Winter, die großflächige Vegetationsbedeckung im Sommer und die anthropogene Flächenver-

siegelung. Anders im Spätglazial, wo aufgrund der Vegetationsarmut eine Lössauswehung auch aus dem Alpenvorland (Molassebecken) und Mittelgebirgsraum möglich war.

## 5.5 Berechnung von Sedimentationsraten

Die berechneten Sedimentationsraten [µm/a] verknüpfen die Messwerte aus der Staubquantifizierung mit den Ergebnissen der Bodengenese.

### 5.5.1 Berechnungsgrundlagen

#### A) Materialdichten

- 2,65 g/cm<sup>3</sup> kompakte reine Kalke (wk, mk, dk, go)
- 2,10 g/cm<sup>3</sup> tonhaltige Brekzien (rh, dk)
- 1,50 g/cm<sup>3</sup> lehmiges Residuum (RAPP 1984)
- 1,30 g/cm<sup>3</sup> Flugstaub (tonmineralreich; MATTSSON und NIHLÉN 1996)

#### B) Postglazialer Kalkabtrag

Zur Abschätzung der holozänen Bodenbildung benötigt man die potentiellen Solummächtigkeiten aus der Kalksteinverwitterung. Berechnungsgrundlage sind die Residualgehalte der Ausgangsgesteine sowie der postglaziale Kalkabtrag [cm/10 ka].

Der Wert von 34 cm/10 ka (alpine Stufe 2000 m bis 2350 m) für das Zugspitzplatt basiert auf Kalkabtragsraten, die in Abhängigkeit von Bodentyp, Flächenbedeckung und Höhenstufe ermittelt wurden (Methode: *rock tablets*, Lösungsfähigkeit von Bodensickerwässern, HÜTTL 1999). Trotz der geringeren Jahresniederschläge auf der Reiteralpe, die den Kalkabtrag mindern, wird der Wert von 34 cm/10 ka auch hier verwendet. Die mächtigen Humusaufgaben rechtfertigen dieses Vorgehen, da sie noch höhere Lösungspotentiale haben als der hier verwendete mittlere Kalkabtrag (BAUER 1969, HÜTTL 1999, SCHLOTT 1997). Für das periglaziale Verwitterungsmilieu der Westlichen Karwendelgrube gibt SCHLOTT (1997) einen Abtrag von 16 cm pro 10.000 Jahre an. Die Rechenwerte (reine Kalksteine) der potentiellen Solumbildung liegen mit 1,3 cm bis 4 cm/10.000 Jahren in ähnlicher Größenordnung wie die Messwerte. Jene für die Bodenstandorte auf unreinen Kalken und Brekzien liegen mit 4 cm und 6,7 cm/10.000 Jahren deutlich niedriger als die Geländedaten (Tab. 113).

#### C) Zeiträume

Die potentiellen Solummächtigkeiten aus der Flugstaubsedimentation werden aufgrund der jahreszeitlich differenzierten Silikatraten auf einen Winter- und Sommereintrag bezogen. Beide ergeben zusammen die jährliche Sedimentationsrate [µm/a].

Zeitlich sind die Sedimentationsraten auf einen Normwinter und Normsommer bezogen, deren Längen sich an der Schneedeckenentwicklung im langjährigen Mittel orientieren (DWD, München). Für die höher gelegenen

**Tab. 113:** Gemessene und berechnete Solummächtigkeiten.

Gesteine im UG	Gemessene Solummächtigkeiten der Residualhorizonte [cm]	Berechnete Solummächtigkeiten [cm] / 10ka <sup>1)</sup>
<b>Zugspitzplatt:</b> Wettersteinkalk	2	1,3
<b>Westl. Karwendelgrube:</b> Muschelkalk	4	1,5
<b>Östl. Karwendelgrube:</b> Reichenhaller Kalk Reichenhaller Brekzie	3 12	1,0 4,0
<b>Reiteralpe:</b> Dachsteinkalk, weiß Dachsteinkalk, rotgeädert Dachsteinkalk, rot bis rosa Dachsteinkalk, rot, brekziiert Gosaukalk, z.T. brekziiert	5 15 16 25 10	4,1 1,3 6,0 6,7 4,3
1) Eingerechnete Dichten: Lehm: 1,5 g/cm <sup>3</sup> , Kalkstein 2,65g/cm <sup>3</sup> ; KR = Kalkabtragsrate postglazial: 34cm/10ka gültig für Gebiete Reiteralpe, Zugspitzplatt; 16cm/10ka gültig für Karwendelgrube		

**Tab. 114:** Sedimentationsraten (Silikatstaub) im Untersuchungszeitraum.

Betrachtete Zeiträume	Sedimentationsraten [µm pro betrachteter Zeitraum]
Winter, aufbauende Schneedecke (trockene Deposition, Mittelwert alle Gebiete)	1,6
Winter, abbauende Schneedecke (trockene Deposition, Mittelwerte alle Gebiete)	2,9
Winter, aufbauende Schneedecke: - Zugspitzplatt - Karwendelgrube - Reiteralpe	0,4 – 3,7 0,1 – 0,9 0,1 – 0,6
Frühjahr, abbauende Schneedecke: - Zugspitzplatt - Karwendelgrube - Reiteralpe	2,6 – 3,8 0,4 – 3,7 3,0 – 5,2

Gebiete ZP und WKG umfasst der „Normwinter“ 240 Tage (Oktober bis Mai) und für die RA 210 Tage (Mitte Oktober bis Mitte Mai). Der „Normsommer“ bezieht sich auf 120 Tage (ZP, WKG) bzw. 150 Tage (RA). Eine weitere Differenzierung ergibt sich für die Wintereinträge durch die Berücksichtigung der Phasen der Schneedeckenentwicklung.

### 5.5.2 Sedimentationsraten im Winter und Sommer

Die winterliche Sedimentationsrate ergibt sich als Summe der Raten von auf- und abbauender Schneedecke (Winter, Frühjahr), wobei die Werte im Frühjahr deutlich erhöht sind. Die mittleren Sedimentationsraten betragen für das Winterhalbjahr zwischen 2,9 µm und 4,6 µm (Methode: Staub von Oberflächen). Der gesamte winterliche Staubeintrag (Totalisatorwannen) liefert Werte zwischen

4 µm und 12 µm. Die Sommerwerte (Methode: Staubfangkästen) liegen zwischen 4 µm und 8 µm (Tab. 114, Tab. 115).

### 5.5.3 Sedimentationsraten und Solummächtigkeiten

Die Gegenüberstellung der berechneten Solummächtigkeiten mit den Sedimentationsraten aus der Staubdeposition basiert auf den Residualgehalten der drei Hauptgesteine, da sie die größten Flächen einnehmen und die entsprechenden Kalkabtragsraten bekannt sind (Tab. 116).

#### Interpretation:

Unter der vereinfachten Annahme von konstanten Sedimentations- und Erosionsbedingungen hat sich im Ver-



laufe der letzten 10.000 Jahre eine Silikatschicht von 9 cm bis 13 cm gebildet. Diese übersteigt die potentiellen Solummächtigkeiten aus der Karbonatverwitterung um ein Vielfaches (Faktor: 2 bis 10). Die ermittelten Raten lägen noch höher, wenn man den sommerlichen Humus-anteil (ca. 50% am Gesamteintrag) einrechnen würde. Die Messwerte der periglazialen Deckschichten sind im Mittel sogar noch höher (Faktor: 3 bis 7) als die aus den Staubmessungen hochgerechneten Sedimentationsraten. Hier zeigt sich die holozäne Überprägung und pedogenetische Entwicklung, besonders durch so-

lfluidale Prozesse während der Schneeschmelze. Sekundäre Umlagerungsprozesse (Frostanfälligkeit, hohe Fließfähigkeit, Erodierbarkeit) werden zudem durch die schluffig-sandige Textur der äolischen Substrate begünstigt. Diese rezenten periglazialen Prozesse sind der Grund für die um ein Vielfaches erhöhten Solummächtigkeiten der kolluvialen Deckschichten.

Abschließend zeigen sich im Vergleich der ermittelten Sedimentationsraten mit jüngeren Forschungsergebnissen ähnliche Größenordnungen (Tab. 117).

**Tab. 115:** Mittlere Sedimentationsraten (Silikatstaub, Messzeitraum 2002, 2003)

Gebiet	Aufbauende Phase <sup>1)</sup> [µm]	Abbauende Phase <sup>2)</sup> [µm]	Wintersumme (aufbauend + abbauend) [µm/Winterjahr]	Wintersumme (Totalisatorwert) <sup>3)</sup> [µm/Winterjahr]	Sommersumme [µm/Sommerjahr]	Jahresrate (Winter + Sommer) [µm/a]
	A	B	A+B	C	D	A+B+D
ZP	1,8	2,8	4,6	5,3	8,2	12,8
WKG	0,5	2,4	2,9	12,2	6,6	9,5
RA	0,3	4,2	4,5	4,0	4,2	8,7

1) 180d für ZP und WKG; 160d für RA  
 2) 60d für ZP und WKG; 50d für RA  
 3) Wert von WKG und RA aus der Totalisatorwanne (1350cm<sup>2</sup>), Wert aus ZP von den Staubfangkästen (Mittelwert von SK1 bis SK5), die über den Winter aufgestellt waren, da Totalisatorwanne 2003 zerstört wurde

**Tab. 116:** Gemessene und berechnete mittlere Solummächtigkeiten.

Gebiet / Geologie	Solummächtigkeit [cm] Residualhorizonte Messwert	Solummächtigkeit [cm / 10ka] Residualhorizonte berechnet	Solummächtigkeit [cm] Lößbraunerden Messwert	Solummächtigkeit [cm / 10ka] Flugstaubsedimentation (Silikat) hochgerechnet aus Messwerten
ZP (wk)	2	1,3	40	12,8
WKG (mk)	4	1,5	65	9,5
Reiteralpe (dk)	5	4,1	65	8,7

Berechnungsbasis: Residualgehalte der Hauptgesteine (Wetterstein-, Muschel-, Dachsteinkalk, Karbonatgehalt > 95%)

**Tab. 117:** Äolische Sedimentationsraten aus Gebirgsregionen im Vergleich.

Untersuchungsgebiet	Untersuchtes Material	Quelle	Sedimentationsrate [µm/a, bzw. cm/10ka]
- Wettersteingebirge, alpine Stufe	Staub von Schneeoberflächen, Regen	KÜFMANN diese Arbeit	14,4
- Karwendelgebirge, alpine Stufe			9,5
- Reiteralpe, subalpin bis alpin			9,7
Wind River Range, USA, alpine Stufe	Staub aus Regen, von Schneeoberflächen	DAHMS und RAWLINS (1996)	0,1 – 7,4
Schweizer Alpen, nivale Stufe	Saharastaub, Gletscher	WAGENBACH und GEIS (1989)	0,5
Kreta, alpine Stufe	Saharastaub in Boden	NIHLÉN und OLSSON (1995)	7,4 – 24

## 6 Diskussion und Bewertung

### 6.1 Bewertung der Ergebnisse zum Bodeninventar

#### A) Rezent-äolischer Einfluss

In allen oberflächennahen Horizonten der Hauptbodentypen ist glimmerreicher Fremdstaub dokumentiert und anhand ausgewählter Kennwerte (Chemie, Mineralogie, Korngröße) bewiesen. Diese vergleichende Analyse von rezente Staubeintrag und Böden wurde bisher nur in wenigen Studien zu außereuropäischen Gebirgsböden angewandt (DAHMS 1993; DAHMS und RAWLINS 1996).

Der Fremdstaub ist im gesamte Bodensystem in unterschiedlicher Intensität deponiert. Besonders auffällig und gut nachweisbar ist die Staubdeposition in den organogenen Fels- und Skeletthumusböden, während sie in den lithogenen Rohböden (z.B. Carbonat-Lockersyrosem) zurücktritt. Ursache hierfür ist das Zusammenspiel von folgenden zwei Gunstfaktoren in den organogenen Bodentypen.

Erstens der bereits deutliche Bewuchs mit alpiner Rasenvegetation (z.B. *Caricetum firmae*), deren erhöhte Rauigkeit den Staub bremst und fixiert. Diese Oberflächeneigenschaft konnte mit den platzierten Kunstrassenmatten auf den Staubfangkästen nachempfunden werden. Die Messwerte zeigen einen positiven linearen Zusammenhang zwischen dem Bedeckungsgrad der Vegetation [%] im Umkreis der Staubfangkästen und den äolisch deponierten Schluff- und Feinsandmengen an der Bodenoberfläche. Dieses Ergebnis bestätigt auch die Kartierbefunde aus den Schweizer Alpen (FRIES 1985, STICHER et al. 1975). Der zweite Gunstfaktor ist der noch geringe pedogene Verwitterungsstatus der Fels- und Skeletthumusböden. Dadurch sind die Fremdsilikate und Schwerminerale noch gut erhalten und auch die äolische Textur ist pedologisch eindeutig identifizierbar. Hier ist die Korngrößenverteilung der Stäube in den Oberbodenhorizonten mit Grob- und Mittelschluff als typischer Lösszeiger zu nennen (PÉCSI und RICHTER 1996; STAHR et al. 1989; THALHEIM und FIEDLER 1990; VÖLKELE 1991a,b). Damit spiegeln die Oberflächenhorizonte (z.B. Of, Oh, Aih) in ihren äolischen Kennwerten das deponierte Staubmaterial auf Schneeoberflächen am deutlichsten wider.

#### B) Nicht-rezent äolischer Einfluss

Dieser zeigt sich in mächtigen allochthonen Varianten der Braunerde, die auf den z.T. flächig vorhandenen Deckschichten entstanden sind. Als Leitbodentyp wird die Lössbraunerde ((Ah)/Bv/II(T)-)Cv) kartiert. Ihre Subtypen lassen sich mit Hilfe des U/T-Quotienten deutlich von den braunen Residualböden (z.B. Terra fusca-Rendzina) unterscheiden. Auf der Reiteralpe gelingt auch meist die Abgrenzung zur autochthonen Braunerde aus Gosaukalken oder sandig verwitternden Dachsteinkalk-Brekzien. Als wichtigster Indikator der residualen Bodenentwicklung gilt u.a. auch hier der Tongehalt. Die allochthonen und autochthonen Karstböden lassen sich eindeutig mit jenen Kennwerten (z.B. SiO<sub>2</sub>-Gehalt, Schwerminerale) unterscheiden, die sonst in der

Analyse von periglazialen Mehrschichtprofilen verwendet werden (ARTMANN und VÖLKELE 1999, BAÜMLER et al. 1996, 2002; BIRKELAND et al. 1987).

#### C) Altersstellung

Einen zeitlichen Anhaltspunkt für die nicht-rezente Lössdeposition liefert die räumliche Verteilung der Lössbraunerden innerhalb der Lokalmoränen des Brünnl-Standes auf dem Zugspitzplatt. Sie sind aufgrund von fossilen Bodenresten mit dem Egesen-Stadium (Jüngere Dryas, 11.000 -10.000 yrs. B.P.) parallelisiert (HIRTLEITER 1992). Diese relative Chronostratigraphie läßt vermuten, dass die Staubdeposition hauptsächlich am Übergang zwischen Spätglazial und Holozän stattfand. Diese Zeitspanne gilt als die produktivste Phase der Lössdeposition nach dem Pleistozän (MAHANAY et al. 1996; BOCKHEIM and KOERNER 1997; WEISSHAAR 1999 et al.).

Im Verlaufe des Holozäns wurde das Primärsubstrat dann diagenetisch verfestigt und zu Lösslehmen verwittert (SCHÖNHALS 1957, 1960). Die vorliegenden Kartierergebnisse stützen die Theorie einer einst flächendeckenden Lössschicht, die in jüngster Zeit auch in der alpinen Höhenstufe der Schweizer Alpen bewiesen wurden (VEIT und HÖFNER 1993; MAILÄNDER und VEIT 2001).

#### D) Klassifizierung und Nomenklatur

Nach der Klassifikation von Lössen (PÉCSI und RICHTER 1996) gehören die Lösslehme strenggenommen zu den Braunlössen mit Dominanz von Grobschluff.

Da dies bei den Lössbraunerden der vorliegenden Arbeit nicht immer der Fall ist, wird „Lössderivat“ vorgeschlagen. Dies läßt für die Einordnung der Subtypen und Varianten einen größeren Spielraum. Hinsichtlich der räumlichen Verbreitung der äolischen Substrate ist die Einordnung „Lössderivat in lückenhafter Verbreitung“ (PÉCSI und RICHTER 1996, S. 136) treffend.

Im Berchtesgadener Raum werden die äolischen Sedimente ebenfalls als kolluviale Fremddecken über dem Anstehenden eingeordnet (FREYER et al. 1993; KONNERT 2004). Substrathomogenität, Solummächtigkeit und die Bevorzugung der Süd- bis SE-exponierten Hänge sind Parameter, die das Postulat von FREYER et al. (1993 und 1986; in LANGENSCHIEDT 1995) untermauern.

Dieses „Äolium-Kolluvium“ ist durch die vorliegende Arbeit nun auch durch mineralogische Analysewerte bestätigt. Die Dominanz von Hornblende und der Epidot-Zoisit-Gruppe weist in die vermuteten Primärlieferquellen der Stäube (Hoher Tauern). Hingegen ist das postulierte sekundäre Liefergebiete der kristallinen Fernmoränen in den Talräumen (FREYER et al. 1993; ZECH und VÖLKELE 1979; ZECH und WÖLFEL 1974) für rezente Staubeintrag keine ausreichende Erklärung.

Eine Alternative zum Begriff „rezenter Flugstaub“ ist alpiner Löss bzw. „alpine loess“ (LITAOR 1987, S. 142). Er umfasst zeitlich sowohl nicht-rezente als auch rezente Flugstaubablagerungen. Er ist auch räumlich treffend, da mit „alpin“ bereits die dominante vegetationsgeographische Höhenstufe der rezente Staubdeposition an-



gesprochen wird (GRUBER 1976, 1980). Räumlich neutral ist zwar der Begriff „Gebirgslöss“, er trifft aber inhaltlich nicht, da er grobskeletthaltige äolische Sedimente in Gebirgen definiert (PÉCSI und RICHTER 1996).

#### E) Mögliche tertiäre Bodenreste

Im Bereich der Reiteralpe wurde auch den bodenkundlichen Hinweisen zu roten Karstböden (GILLITZER 1920, GÜMBEL 1901, RATHJENS 1938) nachgegangen. Ihre Mineralanalysen zeigen jedoch, dass sie vorwiegend ein Verwitterungsphänomen der rötlichen Residuallehme der Dachsteinkalk-Brekzien sind. Die vorliegenden Profile der rötlichen Terra fusca-Rendzina aus dem Kontaktbereich Dachsteinkalk /ehemalige Jurabedeckung, können dem roten „Bolus“ von GÜMBEL (1901) zugeordnet werden. Ob einige der Karstfüllungen aufgrund hoher Gibbsit- und Kaolinitgehalte möglicherweise doch Rotlehmreste einer eozänen, subtropischen Verwitterungsdynamik sind (FRISCH et al. 1998, 2000; KUHLEMANN et al. 1999; THIEDIG 1970; SKOWRONEK 1978), konnte mit den durchgeführten Untersuchungen nicht endgültig entschieden werden. Ebenso bleibt die Frage nach dem Grad der Beteiligung von äolisch transportfähigen Verwitterungsresten der kristallinen Augensteinlandschaft am Bodensubstrat offen.

#### F) Zusammenfassung der Bodenentwicklung

Folgende Prozesse der Bodenentwicklung sind typisch:

- 1) Akkumulation von Lösungsresiduum zu autochthonen T-Horizonten
- 2) Akkumulation von organischer Substanz zu mächtigen O-Horizonten
- 3) Rezenter Eintrag von allochthonen Flugstäuben
- 4) Spätglaziale Sedimentation von äolischen Deckschichten

Die Prozesse 1) und 2) spiegeln die Genese der autochthonen Karbonatböden in Einklang mit der allgemein gültigen Bodensukzession für die Nördlichen Kalkalpen wider (z.B. ZÖTTL 1966, GRACANIN 1972, MISHRA 1982). Allerdings wird das nach KUBIENA (1944) postulierte Klimaxstadium der Norm-Terra fusca i.d.R. aufgrund der klimatisch-geologischen Gegebenheiten nicht erreicht. Durch die geringen Gehalte an Residualtonen endet die Bodenentwicklung auf den reinen Kalken der Untersuchungsgebiete im Stadium der reifen Polsterrendzina bzw. der Terra fusca-Rendzina. Besonders die Residualtonbänder auf Wetterstein- und Muschelkalk repräsentieren in ihrer Mächtigkeit (2 cm bis 5 cm) die postulierte holozäne Solumentwicklung (z.B. GROTTENTHALER 1993, 1992; MISHRA 1982; RODENKIRCHEN 1976).

Erst mit der spätglazialen Lösssedimentation (Prozess 4) konnten mächtige Braunerden (Ah/Bv/IITCv) entstehen, die allochthon über den T-Horizonten liegen. Aufgrund der flächenhaften Verbreitung der äolischen Deckschichten, sind die Lössbraunerden auf dem Zugspitzplatt und in der Westlichen Karwendelgrube flächenanteilig von größerer Bedeutung als die Kalkverwitterungslehme. Auf der Reiteralpe hingegen ergänzen die allochthonen Lössbraunerden das vielfältige Mosaik der autochthonen Mineralböden (Terra fusca-Rendzina,

flachgründige Terra fusca, autochthone Braunerden). Durch die holozänen Verlagerungsprozesse tritt häufig Vermischung von Residuum mit rezemtem Flugstaub (Prozess 3) auf. Deshalb sind die Bodentypen als vorwiegend residual bzw. vorwiegend äolisch geprägt anzusprechen.

## 6.2 Bewertung der Ergebnisse zur Staubquantifizierung

### A) Stäube von Schneeoberflächen

Die neu eingeführten Rechengröße der „Windtätigkeit“ liefert ein Maß für den Einfluss des Parameters Wind auf die Staubraten. Damit kann die Abhängigkeit der Staubeinträge pro Windrichtungssektor (30°) auf der Grundlage von Häufigkeitstabellen statistisch geprüft werden.

Die linearen Regressionsanalysen stellen deutlich die Windtätigkeit aus südlichen Richtungen (120° bis 210°) als Ursache des Staubtransports im Winter und Frühjahr heraus. Die jahreszeitlich veränderten Mineralinhalte und -anteile der Stäube bekräftigen die rechnerischen Interpretationen. Diese kombinierte Methode liefert erstmals einen quantifizierten Beleg für die Aussagen, dass bevorzugt Föhnwinde kristalline Stäube bringen (z.B. SCHÖNHALS 1957, 1960; WINKLER v. HERMADEN 1945; SAITNER und PFADENHAUER 1989; VALENTIN 1902).

Die Quantifizierung auf Schneeoberflächen berücksichtigt die Schneedeckenentwicklung (Phase des Auf- und Abbaus) von Oktober bis Mai und die Großwetterlagen im Alpenraum. Die Probennahmen am Ende typischer Witterungsverläufe kombiniert mit der Auswertung der staubrelevanten Parameter (Wind, Niederschlag, Neuschneezuwachs) ermöglichen erstmals ein differenzierteres Bild der äolischen Dynamik im Winter und Frühjahr.

### B) Stäube aus Regenniederschlag

Die gewählte Methodik (Staubfangkästen) liefert für die Nördlichen Kalkalpen zum ersten Mal Staubeinträge nahe der Bodenoberfläche. Die Fangkästen mit abdeckenden Kunstrasenmatten empfinden die Rauigkeit von Rasenoberflächen (z.B. *Caricetum firmiae*) nach. Dieser Faktor wird zwar in zahlreichen Untersuchungen betont, in die Staubbmessungen aber kaum einbezogen (LOGIE 1983; MUNN und SPACKMAN 1999; REHEIS und KIHLE 1995; SCOTT 2000; VANMAERCKE-GOTTIGNY 1981). Der wertvolle Ansatz von HANNOSCHÖK et al. (1999) wurde in der vorliegenden Konstruktion berücksichtigt. Die Verwendung von Kunstrasenmatten, wie er sie zur Messung von Erosionsraten von landwirtschaftlich genutzten Flächen eingesetzt hat, hat sich auch im Hochgebirge bewährt. Die häufige Kontamination mit Bodenmaterial durch Hangwassertransport wurde in der vorliegenden Arbeit durch eine Erhöhung der Fangkästen ausgeschaltet. Allerdings werden durch die häufigen Gewitterregen meist Mischproben (nasse + trockene Deposition) erfasst. Witterungsperioden ohne Niederschlag sind selten, entsprechend liegen nur wenige Messwerte der trockenen Deposition vor. Letztere konnte auch nicht herkömmlich (z.B. Einsatz von Klebeflächen, Haftfolien) erfasst wer-

den, da die Methode entgegen einiger Meinungen in der Aerosolforschung (DIEM und JURKSCH 1961; EFFENBERGER 1959a, b; HASENCLEVER 1954; MELDAU 1956) sich im Hochgebirge nicht bewährt hat.

Die Mischprobenwerte sind bei der Berechnung der potentiellen Sedimentationsraten dann ein Manko, wenn es um die Gewichtung von trockener und nasser Deposition im Sommer geht. Jedoch zeigen die Ergebnisse auch, dass in Intervallen ohne Niederschlag die Staubinhalte an der Nachweisgrenze liegen. Dies wurde als Anhaltspunkt gewertet, der trockenen Deposition im Sommer eine untergeordnete Rolle zuzuweisen.

### C) Äolische Dynamik

Der Transport durch Südwinde hat ganzjährig Bedeutung. Jedoch werden Herkunft und Zusammensetzung des Staubs deutlich von der Entwicklung der Schneedecke in den Liefergebieten gesteuert. Im Hochwinter ist die periglaziale Höhenstufe der Zentralalpen weitgehend schneebedeckt. Entsprechend werden die deponierten Mineralstäube dem Ferntransport bei Südströmung zugeordnet. Dieser Saharastaub wird vorwiegend trocken deponiert, wobei er aber auch mit geringen Neuschneefällen (Schneedeckenzuwachs < 1 cm) während Föhnphasen an der Oberfläche (0 cm-1 cm) erfasst wird.

Die Winterproben zeigen den Fernstaub unverfälscht, während im späten Frühjahr bereits Beimengungen aus anderen Lieferquellen (Zentralalpen, Südalpen, lokale Umgebung) hinzutreten. Mit diesen Ergebnissen ist die Aussage in der Literatur, dass die Zentralalpen generell das wichtigste Quellgebiet sind, deutlich zu differenzieren.

Mit dem sukzessiven Schneedeckenrückgang im Frühjahr steigen auch die Humusanteile in den Schneeproben. Der Humus ist auch das Charakteristikum der Stäube aus Regenniederschlag. Das organische Material stammt in den Übergangszeiten (Herbst, Frühjahr) weitgehend von lokalen Quellen. Durch die verlängerte Wachstumsperiode in den tieferen Lagen gelangt organisches Material auf die Schneeflächen der alpinen bis nivalen Stufe. Besonders wichtig dabei sind lokale Windsysteme (BOCKHEIM und KOERNER 1997; MASON et al. 1999; MCKENNA NEUMAN 1993; OFFER und GOOSSENS 1995).

Da die Mikroreste in den Stäuben von den Vegetationsgesellschaften der montanen bis alpinen Stufe stammen, ist eine genaue Herkunftsbestimmung des humosen Feinmaterials (< 2 mm) nicht möglich. Hingegen stammen die Makroreste (Blätter, Stängel, Samenkapseln > 2 mm) sicher aus der unmittelbaren Nachbarschaft.

### D) Eigenschaften der Stäube

Lichtoptische und mineralogische Analysen liefern die allgemein anerkannten Zeigerwerte für Saharastaub (BURT 1991; GIOVANOLI 1982; HAEBERLI 1973; HAEBERLI et al. 1983; PRODI und FEA 1979). Die Oxide (z.B.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) liegen in den typischen prozentualen Anteilen vor (CHESTER und JOHNSON 1971a; COUDÉ-GAUSSSEN 1985; NIHLÉN und OLSSON 1995). Die Dominanz der

Mineralkörner (Calzit, Quarz, Feldspäte) liegt im Mittelschluff-Intervall, massenhaft treten Tonminerale (< 10  $\mu\text{m}$ ) dazu.

Herausragend in den Schneeproben sind gerundete Quarze mit Eisenoxidbelägen, Diatomeenreste, Gips und Gibbsit. Hingegen fehlen Palygorskit oder Halit als aride Indikatoren (COUDÉ-GAUSSSEN 1982, 1985; GANOR 1991; PYE 1993; YAALON und GANOR 1979). Insgesamt sind die Mineral- und Korngrößendaten aber in Einklang mit anderen Ergebnissen von Firn-, Schnee- und Eisbohrkernproben aus dem Alpenraum (BÜCHER und LUCAS 1984; BÜCHER 1986; BÜCHER und DESSENS 1992; COUDÉ-GAUSSSEN 1982; DE ANGELIS und GAUDICHET 1991; MORALES 1979; SCHWIKOWSKI et al. 1995).

### E) Bedeutung der Stäube für das Bodensystem

Unabhängig von der geographischen Lage der Lieferquellen hat der äolische Transport von Humus einen wesentlichen Einfluss auf die Bodenbildung in der Frostschuttstufe. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse ist der humose Flugstaub ein Anstoß zur Bildung der initialen Aih-Horizonte der Syrosem-Rendzinen. Damit werden die Annahmen von ZÖTTL (1950, S. 174) wieder aufgegriffen, der das humose Material auf Schneeoberflächen aufgrund der Nährstoffvorräte (1,72%  $\text{N}_i$ ; 0,20%  $\text{K}_i$ ; 0,11%  $\text{P}_i$ ) auch als „Düngeschlamm“ bzw. „Schneedünger“ bezeichnet.

In diesem Zusammenhang sind auch die Moder- und Tangelrendzinen der subalpinen Stufe zu nennen. Bereits von LEININGEN weist auf die „pulverige, torfartige Struktur des Alpenhumus“ (1912, S. 272) hin und SOLAR (1964, S. 17) bezeichnet das Gefüge der Feinerde als „feinstkrümelig und kohlig“.

In der vorliegenden Arbeit dokumentieren gerundete Quarze und Zirkone rezente Mineralstaub in den Humusaufgaben. Wird nun die Vegetations- und Schneedecke durch erosive Prozesse gestört, dann fungieren diese organischen Auflagen ihrerseits wieder als lokale Lieferquelle für humosen Flugstaub. Mit dieser Überlegung würde die Winderosion einen bisher wenig beachteten Faktor einerseits für den „Humusschwund im Gebirge“ (BOCHTER et al. 1981, S. 11; SEVINK et al. 1998), andererseits für einen Humusgewinn an anderer Stelle darstellen.

Mit Beginn der Schneeschmelze nehmen die lokalen Lieferquellen flächenanteilig zu. Entsprechend fallen die Sedimente auf den letzten Altschneeflecken durch Grobskelett (2 mm bis 20 mm) und erhöhte Grobsandanteile (Mittel: 5%) auf, die den „niveo-eolian deposits“ anderer Arbeiten entsprechen und zusätzlichen gravitativen oder fluvialen Materialtransport anzeigen (CALLIEUX 1978; KOSTER und DIJKMANS 1988; WARREN 1979).

In diesem Zusammenhang ist die Bereitstellung von äolisch transportfähigen Partikeln der Sand- und Schlufffraktion durch mechanische Verwitterungsprozesse zu diskutieren (MCGREEVY und WHALLEY 1982; SASS 1998; SMALLEY und SMALLEY 1983).

Dieser autigene Kalkschluff taucht als Teil des Gesteinsabriebs (< 2 mm) vorwiegend in den initialen Bodentypen (Syrosem, Polsterrendzinen) auf. Auffällig fehlt aber der Karbonatgehalt in der Zusammensetzung der



Flugstäube. Eine Ursache kann die grundsätzlich gehemmte Deflation bei der Durchfeuchtung des Untergrunds sein (DIJKMANS und MÜCHER 1988; HAMISH et al. 1995; LOGIE 1983; MCKENNA 1993). Diese bewirkt in den Untersuchungsgebieten, dass Karbonatstäube mit Ton- und Humusteilchen zu größeren Aggregaten verbacken und in den Schuttkörper oder Karsthohlräume geschwemmt werden. Die Akkumulation von tonig-schluffiger Feinerde im Schuttkörper fördert wiederum die Besiedelung mit Kalkschuttgesellschaften (BIRKLAND et al. 1987; NEUWINGER 1970; ZÖTTL 1950).

In der subnivalen Stufe wird zudem durch die hohen Niederschlags- und Schmelzwassermengen die chemische Verwitterung beschleunigt (BAUER 1964; HÜTTL 1999), die aufgrund der größeren Lösungsoberfläche verstärkt die Kalkstäube betrifft. Diese sekundäre Verlagerung von Feinerde (< 2 mm) betrifft auch den rezenten Fremdstaub. So konnten Glimmeranreicherungen im

Schutt erst in größerer Tiefe in der Feinerde nachgewiesen werden, während sich der Eintrag in vegetationsbedeckten Böden der alpinen Stufe unmittelbar an der Oberfläche zeigt.

#### F) Sedimentationsraten

Nimmt man vereinfachend konstante Sedimentations- und Erosionsbedingungen an, dann hat sich im Verlaufe der letzten 10.000 Jahre durch äolische Deposition eine Silikatschicht von 9 cm bis 13 cm gebildet. Diese allochthone Schicht ist um ein Vielfaches (Faktor: 2 bis 11) mächtiger als die möglichen autochthonen Residualbänder. Äolisches Substrat leistet damit einen bedeutenden Beitrag für die Bildung von Mineralböden im Hochkarst. Der Eintrag von Flugstaub in den waldfreien Karst der Nördlichen Kalkalpen ist ein rezenter Prozess, der im Spätglazial begonnen hat und bis heute andauert.

## 7 Zusammenfassung

Die wichtigsten Punkte aus den Teilzusammenfassungen (Kap. 4.5, 5.4) sind aufgeführt.

- Die Oberböden (A-, O-Horizonte) sind durch glimmerreichen Flugstaub rezent beeinflusst. Durch Verwitterung der allochthonen Minerale kommt es zu einer deutlichen Verlehmung der organischen Horizonte.
- Lössbraunerden (A/B/IIC) sind das Resultat einer spätglazialen Lössdynamik, die in der alpinen Stufe zu Flugstaubdecken geführt hat. Diese sind als periglaziale Deckenreste in allen Untersuchungsgebieten nachgewiesen worden. Es liegt die Substratfolge „Lösslehm über Residualton“ vor.
- Die Bedeutung der „Verstaubung der Hochgebirgsböden“ liegt in einer zusätzlichen Substratlieferung und Förderung der Bodenbildung auf reinen Kalksteinen.
- Die Bildung autochthoner Mineralböden (*Terrae calcis*, Braunerden) wird vom Substrat und der Variabilität des Ausgangsgesteins (Residualgehalt, tektonische Brekzierung) gesteuert, sodass auf der Reiteralpe eine herausragende Vielfalt von autochthonen braunen Mineralböden auftritt. Entsprechend ist dort die Bedeutung der *Terrae calcis* am größten.
- Die autochthonen braunen Mineralböden lassen sich in den meisten Fällen mit Hilfe von einfachen Gelände- und Labormethoden unterscheiden. Allen voran ist hier die Korngrößen- und Mineralanalyse sowie die Bodenfarbe zu nennen.
- Die Flugstaubdeposition wird maßgeblich durch die Reliefaktoren (Hangmorphologie, Luv-Lee) und die auskämmende Wirkung der Vegetation gesteuert, wie

die Zunahme der rezenten Staubeinträge mit abnehmender Höhenstufe, steigender Vegetationsbedeckung und in Lee-Lagen zeigt.

- Der Humusgehalt ist ein Charakteristikum der Stäube aus Regen und der Initiator für die Bodenbildung in der subnivalen Stufe. Hingegen bestehen die Stäube im Winter ausschließlich aus Mineralstaub, Calcit, Glimmer, gerundete Quarze und Feldspäte sowie Diatomeenreste weisen das Material als Saharastaub aus, und zeigen Ferntransport durch südliche Winde im Winter an.
- Die Staublieferung ist in jahreszeitlicher Abhängigkeit (Schneebedeckung) unterschiedlichen Liefergebieten zuzuordnen. Dabei wird das Gros des Staubes im Sommer aus den kristallinen Zentralalpen mit südlichen Winden geliefert. Ebenso wird mit niederschlagsbringenden Winden (NW, W) auch Material aus den Westalpen geliefert. Im Gegensatz dazu sind im Winter weiter südlich gelegene Gebiete („Sahara“) die vorrangigen Staubquellen.
- Ein Großteil des Staubes wird im Winter bevorzugt in Trockenphasen durch herrschende Südwinde abgelagert und gelangt durch Schmelzwässer in die Böden. Im Sommer hat die nasse Deposition durch Regen eine größere Bedeutung.
- Die äolische Dynamik ist seit dem Spätglazial ein andauernder Prozess. Durch die Quantifizierung können seit der Eisfreiwerdung holozäne Sedimentationsraten von 9 cm bis 13 cm (Silikatstaub) berechnet werden. Das ist ein Vielfaches (Faktor 2 bis 11) der durch die Karbonatverwitterung erzeugbaren Solummächtigkeiten.

## 8 Danksagung

Großer Dank geht an Dr. M. VOGEL und Dipl.-Biol. H. FRANZ (Nationalpark Berchtesgaden). Sie haben die Drucklegung der umfangreichen Arbeit in der Schriftenreihe der Forschungsberichte des Nationalparks Berchtesgaden finanziell ermöglicht. Ebenso haben mir Dr. V. Konnert und Dipl.-Geogr. H. Vogt Datenmaterial bereit gestellt.

Das Forschungsvorhaben wurde inhaltlich von Prof. Dr. K. Rögner und Prof. Dr. O. Baume, LMU München unterstützt. Finanziell wurde das Forschungsvorhaben zwischen 2001 und 2003 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG, Bonn) im Rahmen einer Sachbeihilfe gefördert. Daneben konnten auch Zuschüsse aus der Förderung der Gleichstellung von Frauen in Lehre und Forschung (LMU München) eingeworben werden.

Großzügige Unterstützung stammt von Prof. Dr. H. SCHMID, Dr. U. RAST und Fr. Dipl.-Geogr. L. DUFFY (Geologisches Landesamt, München). Ohne ihr Wohlwollen und den tatkräftigen Einsatz wären die umfangreichen Mineralanalysen nicht durchführbar gewesen.

Dank auch an die Leiter der Bergbahnen Hr. MEIDER, Mittenwald und Hr. Dr. HURM, Garmisch-Partenkirchen für ihr finanzielles Entgegenkommen sowie an Dr. THÜNE-MANN, der die kostenlose Mitbenutzung der Bundeswehr-Seilbahn, Oberjettenberg ermöglichte.

Mein größter Dank gilt meinen studentischen Hilfskräften, ohne deren Einsatz die Gelände- und Laborarbeiten nicht zu bewältigen gewesen wären. Hier sind in alphabetischer Reihenfolge genannt: Magister Freiherr JAKOB VON GLEICHENSTEIN, Dipl.-Geogr. KATJA KOTHIERINGER, Dipl.-Geogr. ADELHEID RAPPL, Dipl.-Geogr. THOMAS RAUCH, BARBARA RUHLAND, Dipl.-Geogr. SIMONE WERNER.

In der abschließenden Phase der Arbeiten unterstützte mich wieder in gewohnter, selbstloser Manier OStR FRANZ KNEISSL durch kritische Diskussionsbeiträge und mathematische Lösungsvorschläge.

Nicht zuletzt danke ich von Herzen Dipl.-Ing. ANDREAS KÜFMANN für die Anfertigung der Staubfangkästen, die computertechnische Abwicklung sowie die große Geduld in den letzten Jahren.

Schließlich sei den „stillen“ Helfern und Helferinnen, die mir freundschaftlich verbunden sind, für ihre seelische Unterstützung gedankt.



## 9 Literaturverzeichnis

- ALLMAN und LAWRENCE (1972): Geological laboratory techniques. London.
- BAGNOLD, R.A. (1941) : The physics of blown sand and desert dunes. London.
- ARTMANN, S. und VÖLKELE, J. (1999): Bodenkundliche Untersuchungen an periglazialen Deckschichten im Nationalpark Berchtesgaden, Nördliche Kalkalpen. *Z. Geomorph. N.F.*, 43 (4), 463-481.
- BAUER, F. (1964): Kalkabtragungsmessungen in den österreichischen Kalkhochalpen. *Erdkde*, XVIII, 95-102.
- BÄUMLER, R., KEMP-OBERHETTINGER, M., ZECH, W., HEUBERGER, H., SIEBERT, A., MADHIKARMI, D.P. und POUDEL, K.P. (1996): Soil weathering on glacial and glaciofluvial deposits in the Langtang Valley (Central Nepal) and its relation to the glacial history. *Z. Geomorph. N.F.*, Suppl.-Bd. 103, 373-387.
- BÄUMLER, R., PETROV, I., LEMZIN, I. und ZECH, W. (2002): Pedo-geochemical studies and palaeoenvironmental implications in Kichik Alay Mountain soils (Kyrgyzstan). *Z. Geomorph. N.F.*, 46 (4), 461-474.
- BARTKOWSKI, T. (1973) : Relief linéaire du rempart métacarpathique entant que témoin des cycles éoliens dans l'évolution du relief. *Biuletyn Peryglacialny*, 23, 167-200.
- BIERMAYER, G. und REHFUESS, K.-E. (1985): Holozäne Terrae fuscae aus Carbonatgestein in den Nördlichen Kalkalpen. *Z. Pflanzenernährung u. Bodenkde*, 148, 405-416.
- BIRKELAND, P.W. (1974): Pedology, Weathering, and Geomorphological Research. New York. S.285.
- BIRKELAND, P.W., BURKE, R.M. und SHROBA, R.R. (1987): Holocene alpine soils in gneissic cirque deposits, Colorado Front Range. *Soil chronosequences in the Western United States*, Vol. 1590, 1-21.
- BOCHTER, R. (1983): Böden naturnaher Bergwaldstandorte auf carbonatreichen Substraten. *Forschungsberichte aus dem Nationalpark Berchtesgaden* 6, Berchtesgaden.
- BOCKHEIM, J.G. und KOERNER, D. (1997): Pedogenesis in alpine ecosystems of the Eastern Uinta Mountains, Utah, U.S.A. *Arctic and Alpine Research*, 29 (2), 164-172.
- BÖGEL, H. (1971): Beitrag zum Aufbau der Reiteralm-Decke und ihrer Umrandung. Auszug der Disseration an der TU München, 1971.
- BÖGLI, A. (1969): Le Schichttreppenkarst. *Revue Belge de Géographie*, 2, 63-82, Brüssel.
- BÖGLI, A. (1971): Karstdenudation - das Ausmaß des korrosiven Kalkabtrags. *Regio. Bas.*, 12 (2), 352-361.
- BOENIGK, W. (1983): Schwermineralanalyse. Stuttgart.
- BOWEN, D.Q. (1981): Quaternary Geology: a stratigraphic framework for multidisciplinary work. Boston.
- BRADLEY, R.S. (1989): Quaternary paleoclimatology: methods of paleoclimatic reconstruction. Boston.
- BRAUN-BLANQUET, J. und JENNY, H. (1926) : Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen (Klimaxgebiet des *Caricion curvulae*). Mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse im schweizerischen Nationalpark. *Denkschriften der Schweiz. Naturforschenden Ges.*, 63 (2), I-IX und 183-349.
- BRAUN-BLANQUET, J. und JENNY, H. (1936) : Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. *Denkschrift der Schweiz. Naturforschenden Ges.*, 13 (2), 120 S.
- BRONGER, A. (1976): Kalksteinverwitterungslehme als Klimazeugen? *Z. Geomorph. N.F.*, Suppl.-Bd. 24, 138-148.
- BRONGER, A. und KALK, E. (1979): *Terrae calcis* der Slowakei - klimatomorphe oder lithomorphe Böden? *Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges.*, 29, 693-704.
- BRUNNACKER, K. (1980) : Young Pleistocene loess as an indicator for the climate in the Mediterranean area. In : Sarntheim, M., Seibold, E. und Rognon, P. (eds.) Sahara and surrounding seas. Sediments and climate change. *Proceedings International Symposium, Akad. der Wissenschaften und Literatur, Mainz*, 1-4 (April 1979), 12, 99-113.
- BÜCHER, A. und LUCAS, C. (1984): Sédimentation éolienne intercontinentales, poussière saharienne et géologie. *Bulletin Centres Recherches Exploration et Production. Elf Aquitaine*, 8, 151-165.
- BÜCHER, A. (1986) : Recherche sur les poussières minérales d'origine saharienne. These de Doctorat d'Etat, University of Reims.
- BÜCHER, A. und DESSENS, J. (1992) : Poussières Sahariennes sur la France et l'Angleterre, 6-9 Mars 1991. *The Journal of Meteorology*, H. 17, 226-233.
- BURGER, D. (1983): Mikromorphologische Untersuchungen der Verwitterungsresiduen im Bereich der Iserlohner Kalkmulden. *Karst und Höhle*, 1982/1983, 73-75.
- BURGER, R. und FRANZ, H. (1969): Die Bodenbildung in der Pasterzenlandschaft. Neue Forschungen im Umkreis der Glocknergruppe. *Wissenschaftl. Alpenvereinshefte*, 21, 253-263.
- BURT, S. (1991): Falls of dust rain in Berkshire, March 1991. *Weather*, 46, 248pp.
- CADLE, R.D. (1975): The measurement of airborne particles. Wiley, New York, 342 pp.
- CALLIEUX, A. (1978): Niveo-eolian deposits. In: Fairbridge, R.W. und Bourgeois, J. (Eds.): *Encyclopedia of earth sciences*, 6; the *Encyclopedia of sedimentology*, 501-503.
- CATT, J.A. (1985): Soil particle size distribution and mineralogy as indicators of pedogenic and geomorphic history: examples from the loessial soils of England and Wales. In: K.S. RICHARDS, R.R. ARNETT & S. ELLIS (eds.), *Geomorphology and soils*. London, 202-218.
- 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.
- CELL, A. (1972): Wasserhaushaltsmessungen in subalpinen Böden. *Mitt. forstl. Bundesversuchsanstalt zu Wien*, H. 98, 153 S.

- 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.
- CHIELDS, C.W. (1992): Ferrihydrite: A review of structure, properties and occurrence in relation to soils. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.*, 155, 441-448.
- CHEN, X.Y., SPOONER, N.A. OLLEY, J.M. und QUESTIAUX, D.G. (2002): Addition of aeolian dusts to soils in southeastern Australia: red silty clay trapped in dunes bordering Murrumbidgee River in the Wagga Wagga Region. *Catena*, 47 (1), 1-27.
- CHESTER, R. und JOHNSON, L.R. (1971a): Atmospheric dust collected off the West African coast. *Nature*, 229, 105-107.
- CHESTER, R. und JOHNSON, L.R. (1971b): Trace element geochemistry of North Atlantic eolian dusts. *Nature*, 231, 176-178.
- CHESTER, R., ELDERFIELD, H. und GRIFFIN, J.J. (1971): Dust transported in the northeast and southeast trade winds of the Atlantic Ocean. *Nature*, 233, 474-476.
- CHESTER, R., SHARPLES, E.J., SANDERS, G.S., OLDFIELD, F. und SAYDAM, A.C. (1984): Saharan dust incursion over the Tyrrhenian Sea. *Atmospheric Environment*, 18, 929-935.
- CLEMENS, T., JANTSCHKE, H. SCHÄFFLER, M. (1995): Zur Herkunft der Eisen-Mangan-Erze in Höhlensedimenten der Horizontalhöhlen in der Reiteralm. *Die Höhle- Zeitschrift für Karst- und Höhlenkunde*, 46 (3), 6-73.
- COLBECK, S.C. (1972): A theory of water percolation in snow. *J. of Glaciology*, 11 (63), 369-385.
- COLEMAN, S.M. und DETHIER, D.P. (1985): Rates of chemical weathering of rocks and minerals. Orlando.
- COUDÉ-GAUSSSEN, G. (1982): Les poussières éoliennes sahariennes. Mise au point. *Révue Géomorph. Dyn.*, 31, 49-69.
- COUDÉ-GAUSSSEN, G. (1985) : Présence de grains éolisés de palygorskite dans les poussières actuelles et les sédiments récents d'origine désertique. *Bull. Soc. Geol. Française*, 1, 571-579.
- CREDNER, B., HÜTTL, C. und RÖGNER, K. (1998): The formation and distribution of soils and vegetation at the Zugspitzplatt (Bavaria, Germany) related to climate, aspect, and geomorphology. *Ecologie*, 29 (1-2): 63-65.
- DAHMS, D.E. (1991): Eolian sedimentation and soil development on moraine catenas of the Wind River Mountains, West-Central Wyoming. Ph. D. dissertation, University of Kansas. 340pp.
- DAHMS, D.E. (1992): Comment on "origin of silt-enriched alpine surface mantles in Indian Basin, Wyoming." *Soil Science of America Journal*, 56, 991-992.
- DAHMS, D.E. (1993): Mineralogical evidence for eolian contributions to soils of late Quaternary moraines, Wind River Mts., Wyoming, USA. *Geoderma*, 59, 175-196.
- DAHMS, D.E. und 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.
- DANIN, A. und CANOR, E. (1991): Trapping of airborne dust by mosses in the Negev desert, Israel. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 153-162.
- DANIN, A., GERSON, R. und CCARTY, J. (1983): Weathering patterns on hard limestone and dolomite by endolithic lichens and cyanobacteria: supporting evidence for eolian contribution to terra rossa. *Soil Science*, 136, 213-217.
- DARBY, D.A., BURCKLE, L.H. und CLARK, D.L. (1974): Airborne dust on the arctic pack ice, its composition and fallout rate. *Earth and Planetary Science Letters*, 24, 166-172.
- DAVENPORT, H.M. und PETERS, L.K. (1978): Field studies of atmospheric particulate concentration changes during precipitation. *Atm. Environment*, 12, 997-1008.
- DE ANGELIS, M. und GAUDICHET, A. (1991): Saharan dust deposition over Mont Blanc (French Alps) during the last 30 years. *Tellus*, 43B, 61-75.
- DESSENS, J. und PHAM VAN DINH (1990): Frequent Saharan dust outbreaks north of the Pyrennes: A sign of climatic change? *Weather*, 45, 327-333.
- DIEM, M. (1957): Staubbiederschlagsmessungen vor und bei Betrieb eines Dampfkraftwerkes. *Meteorologische Rundschau*, Jg. 10.
- DIEM, M. und JURKSCH, G. (1961): Vergleichsmessungen des Staubgehaltes der Luft nach Niederschlags- und Konzentrationsmethoden. *Staub*, 21, 345-355.
- DIJKMANS, J.W.A. (1989) : Niveo-aeolian sedimentation of loess and sand : an experimental and micromorphological approach. *Earth Surface and Landforms*, 14, 303-315.
- DILL, H. und ZECH, W. (1980): Schwermineralverteilung in einigen Bayerischen Deckschicht- und Bodenprofilen. *Geol. Jb.*, D 41, 3-22.
- DREW, D.P. (1983): Accelerated soil erosion in a karst area: The Burren, western Ireland. *J. Hydrology*, 61, 113-124.
- EBERLE, J. (1994): Untersuchungen zur Verwitterung, Pedogenese und Bodenverbreitung in einem hochpolaren Geosystem (Liefdefjord und Bockfjord/Nordwestspitzbergen). *Stuttgarter Geogr. Studien* 121, 226 S.
- ECKERT, M. (1900): Das Gottesackerplateau (ein Karrenfeld) in der Gebirgsgruppe des Hohen Ifen. *Z. Dt. u. Österr. Alpenvereins*, 31, 52-60.
- EFFENBERGER, E. (1959a): Untersuchungen über die Meßgenauigkeit der Staubbiederschlagsmessung durch Hauffolien. *Staub*, Bd. 19, 313-319.
- EFFENBERGER, E. (1959b): Vergleichsmessungen mit verschiedenen Staubmeßgeräten. *Staub*, Bd. 19, Nr. 2. (ohne Seitenanzahl).
- EGGENSBERGER, P. (1994): Die Pflanzengesellschaften der subalpinen und alpinen Stufe der Ammergauer Alpen und ihre Stellung in den Ostalpen. *Ber. Bayer. Bot. Ges. z. Erforschung der heimischen Flora*, 8, 220 S.
- ELLINGBOE, J. und WILSON, J. (1964): A quantitative separation of non-carbonate minerals from carbonate minerals. *J. of Sedimentary Petrology*, 34, 412-418.
- EKHART, E. (1949): Zum Innsbrucker Föhn. *Meteorologische Rundschau*, 2, 276 S.
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart.
- EMBLETON, C. und KING, C.A.M. (1975): Periglacial geomorphology. London.



- ENDERS, G. (1979): Theoretische Topoklimatologie. *Forschungsberichte des Nationalpark Berchtesgaden* 1.
- FANTONI, R., BERSEZIO, R., FORCELLA, F., GORLA, L., MOSCONI, A. und PICOTTI, V. (1999): New dating of the Tertiary products of the central Southern Alps, bearings on the interpretation of the Alpine tectonic history. *Mem. Sci. Geol. (Padova)*, 51, 47-61.
- FELS, E. (1929): Das Problem der Karbildung in den Ostalpen nach Forschungen im Karwendelgebirge. *Petermanns Mitteilungen, Erg.-Heft* 202, 85 S.
- FETT, W. (1958): Der atmosphärische Staub. Monographien der experimentellen und theoretischen Physik. Berlin.
- FISCHER, K. (1976): Das Formenbild der Allgäuer Alpen. *Mitt. Verband Dtsch. Höhlen- und Karstforscher*, 22, 43-48.
- FISCHER, K. (1984): Erläuterungen zur Geomorphologischen Karte 1:25000, GMK 25, Blatt 16, 8443 Königsee.
- FISCHER, K. (1988): Die würmeiszeitliche und stadiale Vergleichen der Berchtesgadener Alpen. *Berliner Geogr. Abhandlungen*, 47, 207-225.
- FISCHER, K. (1990): Höhlenniveaus und Altreliefgenerationen in den Berchtesgadener Alpen. *Mitt. Geogr. Ges. München*, 75, 47-59.
- FLIRI, F. (1975): Das Klima der Alpen. Monographien zur Landeskunde von Tirol, Bd. 1. Innsbruck
- FRANZ, H. (1961): Das Glocknergebiet. *Exkursionen durch Österreich anlässlich der Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Ges.*, 6, 102-120.
- FRANZ, H. (1979): Ökologie der Hochgebirge. Stuttgart.
- FRANZ, H. (1980) (Hrsg.): Untersuchungen an alpinen Böden in den Hohen Tauern 1974-1978. Stoffdynamik und Wasserhaushalt. Veröff. Österr. MaB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern (Österr. Akad. Wiss.), 3, 295 S.
- FRANZ, H. und FRASL, G. (1961): Das Glocknergebiet.; *Exkursionen durch Österreich. Mitt. Österr. Bodenkundl. Ges.*, 6, 102-120.
- FRANZ, H. und SOLAR, F. (1961): Das Raxplateau und seine Böden. *Mitt. Österr. Bod. Ges.*, 6, 212-234.
- FRANZEN, L.G., MATTSON, J.O., MARTENSSON, U., NIHLEN, U. und RAPP, A. (1994): Yellow Snow over the Alps and Subarctic from Dust storms in Africa. March 1991. *Ambio*, 23 (3), 233-234.
- FREYER, K., LANGENSCHIEDT, E., STEINMETZER, K. und KONNERT, V. (1996): Karte zu den Bodentypen im Nationalpark Berchtesgaden 1:50.000 (Ausgabe 30.03.2001), Nationalparkplan 1996. Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen.
- FRIEDEL, H. (1936): Ein bodenkundlicher Ausflug in die Sandsteppe der Gamsgrube. *Mitt. Dt. Österr. Alpenver.*, 9, 220-222.
- FRIES, M.A. (1985): Bodenkundliche Studien unter einem *Carricetum firmiae* auf dem Munt la Schera im Schweizerischen Nationalpark. Inaugural-Dissertation, Philosophische Fak. d. Univ. Zürich, 1985.
- FRISCH, H. (1964): Zur Geologie der Nördlichen Karwendelkette im Bereich des Kirchlkars zwischen Isartal im Westen und Karwendeltal im Osten (Tirol). Ungedr. Diplomarbeit TU München, 1964.
- FRISCH, W., KUHLEMANN, J., DUNKL, I., BRÜGEL, A. (1998): Palinspastic reconstruction and topographic evolution of the Eastern Alps during late Tertiary extrusion. *Tectonophysics*, 297, 1-15.
- FRISCH, W., SZÉKELY, B., KUHLEMANN, J. und DUNKL, I. (2000): Geomorphological evolution of the Eastern Alps in response to Miocene tectonics. *Z. Geomorph. N.F.*, 44 (1), 103-138.
- FRITZ, P. (1976): Arktische Frostbodenformen im Hochgebirge. *Mitt. Österr. Geogr. Ges.*, 188 (2), 237-273.
- FRÜHAUF, M. (1992): Die Bedeutung jungdryaszeitlicher geomorphologischer Prozesse für die Landschaftsgenese in den Mittelgebirgen. *Z. geol. Wiss.*, 20(3), 239-244.
- GANOR, E. (1991): The composition of clay minerals transported to Israel as indicators of Saharan dust emission. *Atmospheric Environment*, 25A (12), 2657-2664.
- GARDNER, R.A.M. und RENDELL, H.M. (1994): Loess, climate and orogenesis: implications of South Asian loesses. *Z. Geomorph. N.F.*, 38(2), 169-184.
- GERASIMOV, I.P. (1973): Chernozems, buried soils, and loesses of the Russian Plain: their age and genesis. *Soil Science*, 116, 202-210.
- GIGON, A. (1971): Vergleich alpiner Rasen auf Silikat- und auf Karbonatboden. *Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel*, 48, 164 S.
- GILLETTE, D.A. und WALKER, T.R. (1977): Characteristics of airborne particles produced by wind erosion of sandy soil, High Plains of West Texas. *Soil Science*, 123, 97-100.
- GILLETTE, D.A., BLIFFORD, I.H. und FRYREAR, D.W. (1974): The influence of wind velocity on the size distribution of aerosols generated by wind erosion of soils. *J. Geophysical Research*, 79, 4068-4075.
- GILLITZER, G. (1913): Geologischer Aufbau des Reiteralp-Gebirges im Berchtesgadener Land. München 1912.
- GIOVANOLI, R. (1982): Der Sahara-Staubfall vom 8 Januar 1982 in der Schweiz. *Naturwissenschaften*, 69, 237-239.
- GLAWION, H. (1938): Eine ungewöhnliche Periode von Staubfällen im Mai 1937. *Zeitschrift f. Angewandte Meteorologie*, 54 (9), 284-289.
- GLAWION, H. (1939): Staub und Staubfälle in Arosa. *Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre*, 25, 1-43.
- GÖTZ, F.W.P. (1940): Saharstaub im Rauhref. *Z. Angewandte Meteorologie*, 57 (11), 360-361.
- GÖTZ, F.W.P. (1954): Klima und Wetter in Arosa. Frauenfeld. 148 S.
- GOOD, T.R. und BRYANT, I.D. (1985) : Fluvio-aolian sedimentation – an example from Banks Island, N.W.T. Canada. *Geografiska Annaler*, 67A, 33-46.
- GOOSSENS, D. (1988a): The effect of surface curvature on the deposition of loess: a physical model. *Catena*, 15, 179-194.
- GOOSSENS, D. (1988b): Scale model simulation of the deposition of loess in hilly terrain. *Earth surface processes and landforms*, 13, 533-544.
- GOOSSENS, D. (1988c): Sedimentation characteristics of natural dust in the wake of symmetrical hills. *Z. Geomorphologie*, 32, 499-502.

- GOOSSENS, D. (1989): Height distortion and the sedimentation of dust on topographic scale models: considerations and simulations. *Earth surface processes and landforms*, 14, 655-667.
- GOOSSENS, D. (1995): Long-term aeolian loess accumulation modelled in the wind tunnel: The Molenberg case (central loess belt, Belgium). *Z. Geomorphologie, Z. Geomorphologie*, 39, 112-119.
- GOOSSENS, D. und OFFER, Z.Y. (1993): Eolian deposition of dust over symmetrical hills: an evaluation of wind tunnel data by means of terrain measurements. *Z. Geomorphologie*, 37, 103-111.
- GOUDIE, A.S. (1978): Dust storms and their geomorphological implications. *Journal of arid environments*, 1, 291-311.
- GRAČANIN, Z. (1962): Zur Genese, Morphologie und Mikromorphologie der Hangtorfbildungen auf Kalksteinen in Kroatien. *Z. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkde*, 98, 264-272.
- GRAČANIN, Z. (1970): Buckelwiesen und ihre Bodenbildungen in den westlichen Lechtaler Alpen. *Allg. Forst- u. Jagdzeitung*, 141, 193-205.
- GRAČANIN, Z. (1972): Vertikale und horizontale Verteilung der Bodenbildung auf Kalken und Dolomiten im mittleren Abschnitt der Alpen. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.* 15, 19-40.
- GRAEDEL, T.E. und FRANNEY, J.P. (1975): Field measurement of submicron aerosol washout by snow. *Geophys. Res. Lett.*, 2, 325-328.
- GRAF, G. (1972): Karstmorphologische Untersuchungen im östlichen Tennengebirge. Arb. a. d. Inst. f. Geogr. d. Karl-Franzens Univ. Graz, H. 18. Graz.
- GREMINGER, P. (1982): Physikalisch-ökologische Standortuntersuchungen über den Wasserhaushalt im offenen Sickersystem Boden unter Vegetation am Hang. Dissertation Nr. 7023, ETH Zürich, 1982.
- GROMOLL, L. (1990): Quarzkornoberflächenuntersuchungen an Sedimenten der südwestlichen Ostsee. Ein qualitativer und halbquantitativer Vergleich. *Z. geol. Wiss.*, 18 (7), 615-635.
- GROTTENTHALER, W. (1982): Alpine Böden aus Carbonatgestein. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.*, 34, 105-108.
- GROTTENTHALER, W. (1993): Die Böden. In: RITSCH, H.: Erläuterungen zur Geologische Karte von Bayern 1:25000, Blatt 8343 Berchtesgaden West, 106-110, München.
- GRUBER, F. (1975): Untersuchungen über die Verstaubung von Hochgebirgsböden im Glocknergebiet. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Wien.
- GRUBER, F. (1980): Die Verstaubung der Hochgebirgsböden im Glocknergebiet. In: FRANZ, H. (ed.) (1980), 69-90.
- HABER, J. (1988): Beziehungen zwischen dem Humusgehalt/Humusvorrat bayerischer Bergwaldböden und steuernden Standorts- und Bestandsfaktoren. Diss. Univ. Bayreuth. *Bayreuther Bodenkundl. Berichte*, 9, Bayreuth.
- HAEBERLI, W. (1978): Sahara dust on the Alps – a short review. *Z. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 13 (1-2), 206-208.
- HAEBERLI, W. SCHOTTERER, U. WAGENBACH, D., HAEBERLI-SCHWITTER, H. und BORTENSCHLAGER, S. (1983): Accumulation characteristics on a cold high-Alpine firn saddle from a snow-pit study on Colle Gnifetti, Monte Rosa, Swiss Alps. *J. of Glaciology*, 29, 260-271.
- HAMANN, C. (1985): Buckelwiesen und Konvergenzformen am Südrand des Tennengebirges und in anderen Arealen der Nördlichen Kalkalpen. *Arb. aus d. Institut f. Geographie d. Univ. Salzburg*, 10, 182 S., Salzburg.
- HAMISH, A. MCGOWAN, A., STURMAN, P. und OWENS, I.F. (1996): Aeolian dust transport and deposition by foehn winds in an alpine environment, Lake Tekapo, New Zealand. *Geomorphology*, 15, 135-146.
- HANAUER, J.E. (1893): Mud showers and their effect on building in Palestine. *Palestine Expl. Fund. Quart*, V 1893, 69-70.
- HANNOSCHÖCK, E., und BURGHARDT, W. (1999): Erprobung eines neu entwickelten Kunstrasen-Skelettfängers (KUNSTRA) zur Ermittlung des Staubeintrages in den Boden. *Mitt. Dtsch. bodenkdl. Ges.*, 91 (2), 1009-1012.
- HANTSCHHEL, R., PFIRRMANN, T. und EISENMANN, T. (1989): Bodenökologische Charakterisierung von Waldschadensflächen im bayerischen Kalkalpenraum. *Mitt. Bodenkundl. Ges.*, 59 (1), 373-378.
- HARDEN, J.W. (1982): A quantitative index of soil development from field description: Examples from a chronosequence in central California. *Geoderma*, 28/1, 1-28.
- HASENGLER, D. (1954): Bestimmung des Feinstaubgehaltes der Luft. Eine Übersicht über Meßgeräte und Meßverfahren. *Chem.-Ing.-Techn.*, 26, 180-187.
- HAUER, H. (1950): Klima und Wetter der Zugspitze. *Sonderdruck aus den Berichten des Dt. Wetterdienstes in der U.S. Zone*. Bad Kissingen.
- HÄUSLER, W. (1992): Böden aus Kalkstein in der Südlichen Frankenalb. Mineralogische und chemische Eigenschaften als Ergebnis der Pedogenese. Dissertation, Fak. für Landwirtschaft und Gartenbau, TU München, 1992.
- HEIMSATH, A.M., DIETRICH, W.E., NISHIZUMI, K. und FINKEL, R.C. (1999): Cosmogenic nuclides, topography, and the spatial variation of soil depth. *Geomorphology*, 27, 151-172.
- HELLDÉN (1974): Limestone solution intensity in a karst area in lappland, northern Sweden. *Geogr. Annaler*, 55A, 185-196.
- HELLMANN, G. und MEINARDIUS, W. (1901): Der große Staubfall vom 9. bis 12. März 1901 in Nordafrika, Süd- und Mitteleuropa. *Abh. des königlichen preußischen Meteorolog. Instituts*, II (1), 93 S.
- HERA, U. (1997): Gletscherschwankungen in den Nördlichen Kalkalpen seit dem 19. Jahrhundert. *Münchner Geogr. Abh.*, B25: 205 S.
- HERB, H. (1973): Schneeeverhältnisse in Bayern. Schriftenreihe Bayer. Landesstelle f. Gewässerkunde, 12, 93 S.
- HERTER, W. (1990): Zur aktuellen Vegetation der Allgäuer Alpen: Die Pflanzengesellschaften des Hintersteiner Tales. *Diss. Bot.*, 147, 124 S.
- HIEMSTRA, C.A., LISTON, G.E. und REINERS, W.A. (2002): Snow redistribution by wind and interactions with vegetation at upper treeline in the Medicine Bow Mountains, Wyoming, U.S.A. *Arctic and Alpine Res.*, 34 (3), 262-273.



- HIRTLEITER, G. (1992): Spät- und postglaziale Gletscherschwankungen im Wettersteingebirge und seiner Umgebung. *Münchner Geogr. Abh.*, B 15, München.
- HÖLLERMANN, P. (1964): Rezente Verwitterung, Abtragung und Formenschatz in den Zentralalpen am Beispiel des oberen Suldentals (Ortlergruppe). *Z. Geomorph. N.F.*, Suppl.-Bd. 4, 257 S.
- HÜTTL, C. (1997): The influence of different soil types and associations of vegetation on limestone solution in a high-mountainous region (Zugspitzplatt, Wettersteingebirge, Germany). *Ecologie*, 29 (1-2), 83-87.
- HÜTTL, C. (1999): Steuerungsfaktoren und Quantifizierung der chemischen Verwitterung auf dem Zugspitzplatt (Wettersteingebirge, Deutschland). *Münchner Geogr. Abh.*, B 30, München.
- HÜTTL, C., RÖGNER, K. und SASS, O. (1998): Erste Ergebnisse von Studien zu Verwitterungsprozessen in den Kalkhochalpen (Wetterstein- und Karwendelgebirge) unter besonderer Berücksichtigung der Karbonatlösung und der klastischen Schuttbildung. *Mitt. Österr. Geogr. Ges.*, 137, 1-75.
- ISSS-ISRIC-FAO (1998): World Reference Base for Soil Resources. FAO, World Soil Resources Report No. 84. Rome.
- ITAGI, K. und KOEUNUMA, A. (1962): Altitude distribution of fallout contained in rain and snow. *J. Geophys. Res.*, 67, 3927-3933.
- Jaffe, D. und SNOW, J. (2003): The 2001 Asian dust events: transport and impact on the surface aerosol concentration in the U.S. EOS, *transactions American geophysical Union*, 84 (46), 501-507.
- JAHN, R. (1995): Ausmaß äolischer Einträge in circumsaharischen Böden und ihre Auswirkungen auf Bodenentwicklung und Standorteigenschaften. Bd. 23. 213 Seiten.
- JANIK, V. und SCHILLER H. (1960): Charakterisierung typischer Bodenprofile der Gjalldalm. *Mitt. Österr. Bodenkd. Ges.*, 4, 31-44.
- JASMUND, K. und LAGALY, G. (Hrsg.) (1990): Tonminerale und Tone: Struktur, Eigenschaften, Anwendung und Einsatz in Industrie und Umwelt. Darmstadt.
- JERZ H. und ULRICH R. (1966): Erläuterungen zur geologischen Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 8533/8633 Mittenwald. München.
- JENNY, H. (1930): Hochgebirgsböden. In: Blanck, E.: Handbuch der Bodenlehre, 3, 25-61.
- KALLENBACH, H. (1966): Mineralbestand und Genese südbayerischer Löss. *Geol. Rundschau*, 55, 582-607.
- KERSCHNER, H. (1982): Outlines of the climate during the Egesen advance (Younger Dryas, 11000-10000BP) in the Central Alps of the Western Tyrol, Austria. *Z.f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie*, 16 (1980), 229-240.
- KHAN, H.D. (1960): Clay mineral distribution in some rendzinas, red-brown soils and terra rossas on limestones of different geological ages. *Soil Sci.*, 90: 312-319.
- Kic (Kollmorgan Instruments Cooperation) (1990): Munsell Soil Colour Charts. Baltimore, USA.
- KNAPCZYK-HASEKE, H. (1989): Der Untersberg bei Salzburg. Die ober- und unterirdische Karstentwicklung und ihre Zusammenhänge. Ein Beitrag zur Trinkwasserforschung. Innsbruck.
- KNUTSON, E.O., SOOD, S.K. und STOCKHAM, J.D. (1977): Aerosol collection by snow and ice crystals. *Atmos. Env.*, 11, 395-402.
- KONNERT, V. (2004): Standortkarte Nationalpark Berchtesgaden. *Forschungsberichte des Nationalparks Berchtesgaden*, 49.
- KOSTER, E.A. und DIJKMANS, J.W.A. (1988): Niveo-aeolian deposits and denivation forms, with special reference to the Great Kobuk Sand Dunes, Northwestern Alaska. *Earth surface processes and landforms*, 13, 153-170.
- KREUTZER, K. und GROTTENTHALER, W. (1991): Terrestrische organische Bodenbildungen auf Fels- und Skelettsubstraten (O/C-Böden). *Mitt. Dt. Bodenkd. Ges.*, 66 (II), 815-818.
- KRIEG, W. (1969): Seichter Hochkarst am Hohen Ifen - ein Beispiel von allgemeiner Bedeutung. 5. *Int.Kongreß Speleol.*, Abh. 1 (34), 1-8.
- KRONBERG, G.I. und NESBITT, H.W. (1981): Quantification of weathering of soil chemistry and soil fertility. *J. Sol. Sc.*, 32, 435-495.
- KUBIENA, W.L. (1944): Beiträge zur Bodenentwicklungslehre: der Kalksteinbraunlehm (Terra fusca) als Glied der Entwicklungsreihe der mitteleuropäischen Rendzina. *Z. f. Bodenkunde und Pflanzenernährung*, 35, 136-166.
- KUBIENA, W.L. (1953): Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Stuttgart.
- KUBIENA, W.L. (1956): Zur Mikromorphologie, Systematik und Entwicklung der rezenten und fossilen Lößböden. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 7, 102-112.
- KÜFMANN, C. (2003a): Erste Ergebnisse zur qualitativen Untersuchung und Quantifizierung rezenter Flugstäube in den Nördlichen Kalkalpen (Wettersteingebirge). *Mitt. Geogr. Ges. München*, 86, 59-85.
- 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.
- KÖMMEL, R. und PAPP, S. (1990): Umweltchemie - Eine Einführung. Leipzig.
- KÜGLER, H. (1974): Das Georelief und seine kartographische Modellierung. Dissertation B, Martin Luther-Universität Halle-Wittenberg 1974, 517 S.
- KUHLEMANN, J., TAUBALD, H., DUNKL, I. und FRISCH, W. (1999): Geochemistry of red clays in the Eastern Alps: Remnants of late Miocene soils? - *Tübinger Geowiss. Arb.*, Reihe A, 52: 166.
- LANCASTER, N. (1995): Geomorphology of desert dunes. London.
- LANCASTER, N. (2002): Flux of eolian sediments in the McMurdo dry valleys, Antarctica: A preliminary assessment. *Arctic and Alpine Res.*, 34(3), 318-323.
- LANGENSCHIEDT, E. (1986): Höhlen und ihre Sedimente in den Berchtesgadener Alpen. Dokumente der Landschaftsentwicklung in den Nördlichen Kalkalpen. *Forschungsberichte des Nationalparks Berchtesgaden* 10.
- LATRIDOU, J.P. (1988): Recent advances in cryogenic weathering. In: M.J. Clark (Editors), *Advances in periglacial geomorphology*. Oxford University Press, London, pp. 249-260.

- LEHMANN, O. (1927): Das Tote Gebirge als Hochkarst. *Mitt. Geogr. Ges. Wien*, 70, 201-242.
- LEININGEN, W. von (1908-1912): Über Humusablagerungen in den Kalkalpen (Fortsetzung). Sonderdruck aus der Naturwissenschaftl. *Zeitschrift f. Forst- u. Landwirtschaft*, Heft 5, Jg. 7, 1-272.
- LEININGEN, W. von (1915): Über die Einflüsse von äolischer Zufuhr auf die Bodenbildung (mit besonderer Berücksichtigung auf die Roterde). *Mitt. Geol. Ges. Wien*, Heft 8, 1915.
- LEROY, S.D. (1981): Grain-size and moment measures: A new look at Karl Pearson's idea on distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 0625-0630.
- LICHTENECKER, N. (1936): Die Rax. *Geogr. Jahresber. a. Österr.*, XIII, 127 S.
- LITAOR, M.I. (1987): The influence of eolian dust on the genesis of alpine soils in the Front Range, Colorado. *Soil Science, Society of American Journal*, 51: 141-146.
- LITTMANN, T. (1991): Recent African dust deposition in West Germany – Sediment characteristics and climatological aspects. *Catena Suppl.*, 20, 57-73.
- LITTMANN, T. (1994): Immissionsbelastung durch Schwebstaub und Spurenstoffe im ländlichen Raum Nordwestdeutschlands. *Bochumer Geogr. Arb.*, 59, 135 S.
- LÖBNER, A. und NEHLS, H. (1957): Untersuchungsverfahren für die Bestimmung der in Niederschlagswasser enthaltenen Verunreinigungen. *Schr. Reihe Ver. für Wasser-, Boden-, Lufthygiene*, Bd. 12, Berlin.
- LOGIE, M. (1983) : Influence of roughness elements and soil moisture on the resistance of sand to wind erosion. *Catena*, Suppl. 1, 161-173.
- LUNDOVIST, J. und BENGTTSSON, K. (1970): The red snow – a meteorological and pollen analytic study of longtransported material from snowfalls in Sweden. *Geologiska Föreningens I Stockholm Förhandlingar*, 92, 288-301.
- MACHATSCHKEK, F. (1924): Morphologische Untersuchungen in den Salzburger Kalkalpen. *Ostalpine Formenstudien*, I (4).
- MACLEOD, D.A. (1980): The origin of the red Mediterranean soils in Epirus, Greece. *J. Soil Sc.*, 31, 125-136.
- MAIER, K.H. (1956): Aerosolfiltration mit Hilfe von Membranfiltern. *Kolloid-Z.*, 146 (1/3).
- MAILÄNDER, R. und VEIT, H. (2001): Periglacial cover-beds on the Swiss Plateau: indicators of soil, climate, and landscape evolution during the Late Quaternary. *Catena*, 45 (4): 251-272.
- MASON, J.A., NATER, E.A., ZANNER, C. and BELL, J. (1999): A new model of topographic effects on the distribution of loess. *Geomorphology*, 28, 223-236.
- MAHANEY, W.C., SANMUGADAS, K., NORTH, Y., HANCOCK, R.G.V. (1996): Physical and geochemical analysis of a late glacial/Little Ice Age pedostratigraphic complex in the Zillertal Alps, Austria. *Z. Geomorph. N.F.*, 40 (4): 447-460.
- MATTSSON, J.O. und NIHLÉN, T. (1996): The transport of Saharan dust to southern Europe: a scenario. *J. of Arid Environments*, 32, 111-119.
- McKEAGUE, J.A. und DAY, J.H. (1966): Dithionite- and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil. Sci.*, 46: 13-22.
- MCKENNA NEUMAN, C. (1993): A review of aeolian transport processes in cold environments. *Progresses on physical geography*, 17, 137-155.
- MCTAINSH, G.H. und WALKER, P.H. (1982): Nature and distribution of Harmattan dust. *Z. Geomorph. N.F.*, 26, 417-436.
- MCTAINSH, G.H. und LYNCH, A.W. (1996): Quantitativ estimates of the effect of climatic change on dust storm activity in Australia during the Last Glacial Maximum. –Special Issue: Response of Aeolian Processes to global change edited by N. LANCASTER, *Geomorphology* 17, (1-3), 263-271.
- MCTAINSH, G.H., NICKLING, W.G., LYNCH, A.W. (1997): Dust deposition and particle size in Mali, West Africa. *Catena*, 29, 307-322.
- MELDAU, R. (1956): Handbuch der Staubtechnik. Düsseldorf.
- MILLER, C.D. und BIRKELAND, P.W. (1974): Probable preneoglacial age of the type Temple Lake moraine, Wyoming: Discussion and additional relative-age data. *Arctic and Alpine Research*, 6, 301-306.
- MILLER, H. (1962): Zur Geologie des westlichen Wetterstein- und Mieminger Gebirges. Inaugural-Dissertation 1962, München.
- MISHRA, V.K. (1982): Genesis and classification of soils derived from Hauptdolomit (Dolomites) in Kalkalpen and effects of soil type and humus form on some features of forest natural regeneration. Dissertation, Forstwissenschaftl. Fak. Ludwig-Maximilians Universität München, 1982.
- MIZOTA, C., KUSAKABE, M. und NOTO, M. (1988): Eolian contribution to soil development on Cretaceous limestones in Greece as evidence by oxygen isotope composition of quartz. *Geochemical Journal*, 22, 44-46.
- MEYER, B. (1979): Die Entcarbonatisierungsrötung als bodengenetischer Teilprozeß. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.*, 28, 705-708.
- MORALES, C. (ed.) (1979): Saharan dust – mobilization, transport deposition. SCOPE Report 14, 297 pp. Chichester.
- MORESI, M. und MONGELLI, G. (1988): The relation between terra rossa and the carbonate-free residue of the underlying limestones and dolostones in Apulia. *Clay. Mineralogy*, 23, 439-446.
- MÜCHER, H.J. und DEPLOEY, J. (1977): Experimental and micromorphological investigations of erosion and redeposition of loess by water. *Earth surface processes and landforms*, 2, 117-124.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1982): Einführung zur Inventur des Paläoböden in der Bundesrepublik Deutschland. *Geol. Jb.*, F14, 5-13.
- MÜLLER, M. (1986): Soils above the timberline in the upper Engadin. *Mitt. dt. bodenkdl. Ges.* 48, 107-120.
- MÜLLER, M. und PEYER, K. (1986): Profile Kloster: Raw humus layer on dolomitic Cobbler Talus. *Mitt. dt. bodenkdl. Ges.* 48, 81-90.
- MUNN, L.C. und SPACKMAN, L. K. (1990): Origin of silt-enriched alpine surface mantles in India Basin, Wyoming. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 1670-1677.
- NEUMEISTER H. (1965): Probleme der Nördlichen Lößgrenze. *Leipziger Geogr. Beitr.*, 1965, 137-143.



- NEUWINGER, I. (1963): Beziehungen zwischen Relief, Pflanzen-  
decke und Boden and der Obergrenze des Zirben-Lär-  
chenwaldgürtels. *Ber. d. naturwiss. med. Ver. in Inns-  
bruck, Bd. 53, Festschrift H. GAMS*, 235-255.
- NEUWINGER, I. (1970): Böden der subalpinen und alpinen Stufe  
in den Tiroler Alpen. *Mitt. Ostalp.-dinarische Ges. für Ve-  
getationskunde*, 11, 135-150.
- NEUWIRTH, R. (1962): Der Staubfall vom 17.4.1962. *Staub*, 22,  
412-413.
- NICKLING, W.G. (1978): Eolian sediment transport during dust  
storms: Slims River Valley, Yukon Territory. *Canadian J. of  
Earth Science*, 15, 1069-1084.
- NIHLÉN, T. (1990): Eolian processes in southern Scandinavia  
and the Mediterranean Area. Meddelanden Fran Lund  
Universitets Geografiska Institutioner Avhandlingar 110,  
Lund University Press.
- NIHLÉN, T. und MATTSSON, J.O. (1989): Studies on eolian dust  
in Greece. *Geogr. Annaler*, 71 A, 269-274.
- NIHLÉN, T. und OLSSON, L. (1995): Influence of eolian dust on  
soil formation in the Aegean area. *Z. Geomorph. N.F.*, 39  
(3): 341-361.
- NIHLÉN T. und SOLYOM, Z. (1986). Dust storms in the Mediter-  
ranean Area. *Geol.Foren. Stock.Forhand.*, 108: 235-242.
- NIHLÉN, T. und SOLYOM, Z. (1989): Possible Influence of Saha-  
ran dust on soils in Crete. *Geol.Foren. Stock.Forhand.*,  
111, 25-33.
- OFFER, Z.Y. und GOOSSENS, D. (1995): Wind tunnel experi-  
ments and field measurements of aeolian dust deposition  
on conical hills. *Geomorphology*, 14, 43-56.
- OLSZEWSKY N. (2001): Rezentler Eintrag von Flugstäuben am  
Zugspitzplatt (Wettersteingebirge). Unveröffentl. Diplom-  
arbeit am Inst. für Geographie der LMU München.
- ORTIZ, I., SIMÓN, M., DORRONSORO, C., MARTÍN, F. und GARCÍA, I.  
(2001): Soil evolution over the Quaternary period in a Me-  
diterranean climate (SE Spain). *Catena*, 48 (3), 131-148.
- Ortlam, D. (1980): Erkennung und Bedeutung fossiler Boden-  
komplexe in Locker- und Festgesteinen. *Geol. Rund-  
schau*, 69, (2).
- OST, K. und MIRISCH G. (1955): Über Messungen von Staub-  
niederschlägen in der Umgebung eines größeren Kraft-  
werkes auf Steinkohlebasis. *Mitt. Verein. Großkesselbesit-  
zer*, Nr. 37.
- OSTROM, M.E. (1961): Separation of clay minerals from carbo-  
nate rocks using acid. *J. Sedim. Petrol.*, 31, 123-129.
- OWEN, L.A., WHITE, B.J., RENDELL, H. und DERBYSHIRE, E. (1992):  
Loessic silt deposits in the Western Himalayas: their sedi-  
mentology, genesis and age. *Catena*, 19, 493-509.
- PALLMANN, H. (1948): Die Systematik der Böden; der Vor-  
schlag eines Bodensystems. In: Pallmann, H., Richard, F.  
und Bach, R. (1948): Über die Zusammenarbeit von Bo-  
denkunde und Pflanzensoziologie. 10<sup>er</sup> Kongreß Int. Verv.  
Forstl. Versuchsanstalten. Zürich.
- PALMQUIST, R. (1979): Geologic controls on doline characteri-  
stics in mantled karst. *Z. Geomorph. N.F.*, Suppl.-Bd.32,  
90-106.
- PÉCSI, M. und RICHTER G. (1996): Löss: Herkunft – Gliederung  
– Landschaften. *Z. Geomorph. N.F.*, Suppl.-Bd.98, 391 S.
- PÉCSI-DONATH, É (1985): On the mineralogical and pedologi-  
cal properties of the younger loess in Hungary. In: Pécsi,  
M. (ed.): Loess and the Quaternary. Chinese and Hungarian  
case studies. Budapest, 93-104.
- PEINEMANN N. und GARLEFF, K. (1981): Sedimentologische und  
mineralogische Merkmale von Lössen und Lössderivaten in  
Franken. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 31, 177-186.
- PETIT, J.R., BRIAT, M. und ROYER, A. (1981) : Ice-age aerosol  
content from east Antarctic ice core samples and past  
wind strength. *Nature*, 293, 391-394.
- PÉWÉ T.L. (ed.) (1981): Desert dust. Origin, characteristics and  
effects on Man. *Geological Soc. of America Special Paper*  
186.
- PÉWÉ, T.L., PÉWÉ, E.A., PÉWÉ, R.H., JOURNAUX, A. und SLATT,  
R.M. (1981): Desert dust: characteristics and rates of de-  
position in central Arizona, USA. *Geol. Soc. Am. Spec.  
Pap.*, 186, 169-190.
- PFEFFER K.-H. (1969a): Erfahrungsbericht über Korngrößen-  
bestimmungen von Verwitterungsresiduen aus Karstge-  
bieten. *Notizblatt hess. Landesamt f. Bodenforschung*, 97,  
275-282.
- PFEFFER, K.-H. (1969b): Charakter der Verwitterungsresiduen  
im tropischen Kegelkarst und ihre Beziehung zum For-  
menschatz. *Sonderdruck Geol. RS*, 58, 1969.
- POSER, H. (Hrsg.) (1977): Formen, Formengesellschaften und  
Untergrenzen in den heutigen periglazialen Höhenstufen  
der Hochgebirge Europas und Afrikas zwischen Arktis und  
Äquator. *Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys.-Kl.* 3  
(31), 355 S.
- PRODI, F. und FEA, G. (1979): A case of transport and depositi-  
on of Saharan dust over the Italian peninsula and southern  
Europe. *Journal Geophys. Res.*, 84 (C11), 6951-6960.
- PYE, K. (1984): Loess. *Progress in Physical Geography*, 8,  
176-217.
- PYE, K. (1987): Aeolian dust and dust deposits. London.
- PYE, K. (1992): Aeolian dust transport and deposition over  
Crete and adjacent parts of the Mediterranean Sea. *Earth  
Surface Processes and Landforms*, 17, 271-288
- RAPP, A. (1984): Are terra rossa soils in Europe eolian depo-  
sits from Africa? *Geol.Foren. Stock.Forhand.*, 105, 161-  
168.
- RAPP, A. und NIHLÉN T. (1986): Dust storms and eolian depo-  
sits in North Africa and the Mediterranean. *Geodkodyna-  
mik*, 7, 41-62.
- RAST U. (1991): Sedimentpetrographische Untersuchungs-  
methoden am Bayerischen Geologischen Landesamt. Teil  
1: Schwermineralanalyse. *Geol. Bavarica*, 96, 223-228.
- RAST U. (1993): Sedimentpetrographische Untersuchungs-  
methoden am Bayerischen Geologischen Landesamt. Teil  
3: Tonmineralanalyse. *Geol. Bavarica*, 97, 177-192.
- RATHJENS, C. (1939): Geomorphologische Untersuchungen in  
der Reiteralm und im Lattengebirge im Berchtesgadener  
Land. *Mitt. Geogr. Ges. Mü*, 32, 15-89.
- REHEIS, M.C. und KIHLE, R. (1995): Dust deposition in southern  
Nevada and California, 1984-1989: Relations to climate,  
source area and source lithology. *Journal of Geophys.  
Res.* 100 (D5), 8893-8918.

- REHFLUESS, K.E. (1981): Waldböden: Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Hamburg.
- RENDELL, H.M. (1989): Loess deposits during the Late Pleistocene in Northern Pakistan. *Z. Geomorph. N.F.*, Suppl.-Bd. 76, 247-255.
- RETAILLACK, G.J. (1991): Soils of the past – an introduction to paleopedology. London.
- REYNOLDS, D.C. (1971): Clay mineral formation in an alpine environment. *Clays and Clay Minerals*, 19, 361-374.
- REIS, O. (1911): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Wettersteingebirges, I. Teil. Sonderdruck aus dem Geognostischen Jahreshften 1910, XXIII, München.
- REISIGL, H. und KELLER, R. (1987): Alpenpflanzen im Lebensraum. Stuttgart.
- ROBBINS, C. und KELLER, W.D. (1952): Clay and other non-carbonate minerals in some limestones. *J. Sedimentary Petrology*, 22 (3), 146-152.
- RODENKIRCHEN, H. (1986): Terra fusca-Braunerde and Eisen-Humus-Podsol in the calcarous Alps in Bavaria – Bayerischzell/Kloaschautal. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.*, 46, 35-48.
- ROZYCKI, S.Z. (1967): Le sens des vents portant la poussière de loess, à la lumière de l'analyse des formes d'accumulation du loess en Bulgarie et en Europe Centrale. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 2ème série, 9, 1-9.
- RUHE, R.V. (1984): Loess-derived soils, Mississippi Valley region: I. Soil-sedimentation system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48, 859-863.
- SAITNER, A. (1989): Die Vegetation des Dammkars bei Mittenwald (Karwendelgebirge) und ihre Beeinflussung durch den Tourismus. Unveröff. Diplomarbeit TU München-Weihenstephan, 1989.
- SAITNER, A. und PFADENHAUER, J. (1989): Die Vegetation im Bereich des Dammkars bei Mittenwald und ihre Beeinflussung durch den Tourismus. *Jb. Verein z. Schutze der Bergwelt*, 57, 195 S.
- SASS, O. (1998): Die Steuerung von Steinschlagmenge und -verteilung durch Mikroklima, Gesteinsfeuchte und Gesteinseigenschaften im westlichen Karwendelgebirge (Bayerische Alpen). *Münchner Geogr. Abh.*, Reihe B 29, 175 S.
- SCHAEFFER, F., WELTE, D. und MEYER, B. (1960): 2. Fraktur, Nichtcarbonatgehalt und spezifische Auflösungs-geschwindigkeit des Kalkgesteins als bestimmende Größe der Bodenentwicklungsgeschwindigkeit. *Z. Pflanzen-nähr. u. Bodenkunde*, 98, 1-16.
- SCHAEFFER, F., MEYER, B. und GEBHARDT, H. (1966): Pedo-chemische und kryoklastische Verlehmung (Tonbildung) in Böden aus kalkreichen Lockersedimenten (Beispiel Löß). *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde* 114, 77-89.
- SCHAEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., BRÜMMER, G., SCHWERTMANN, U., RENGER, W.R. und STREBEL O. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart.
- SCHLICHTING E. (1963): Zur Deutung von „Ortstein“-Böden im subarktisch-alpinen Gebiet. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk.*, 100, 121-126.
- SCHLICHTING, E. und BLUME, H.P. (1962): Art und Ausmaß der Veränderungen des Bestandes mobiler Oxide in Böden aus jungpleistozänem Geschiebemergel und ihren Horizonten. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk.* 96: 144-156.
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. und STAHR, K. (1995): Bodenkundliches Praktikum. Blackwell, Wien.
- SCHLOTT, P. (1997): Die Böden der subalpinen und alpinen Stufe im Bereich des Dammkars bei Mittenwald und ihr Beitrag zur Verwitterung. Unveröffentl. Diplomarbeit, LMU München 1997.
- SCHMIDT, K.G. und GIES HEIDERMAN, A. (1959): Untersuchung von Staubproben mit dem Phasenkonstrastmikroskop insbesondere bei Verwendung von Membranfiltern. *Staub*, 19, 413-416.
- SCHMIDTLEIN, S. (2000): Aufnahme von Vegetationsmustern auf Landschaftsebene. *Forschungsberichte des National-parks Berchtesgaden* Bd. 44.
- SCHNEIDER, H. (1954): Die sedimentäre Bildung von Flußspat im Oberen Wettersteinkalk der nördlichen Kalkalpen. *Abh. Bayer. Akad. Wiss., math.-naturw. Klausur, N.F.*, 66, 1-37.
- SCHÖNHALS, E. (1953): Gesetzmäßigkeiten im Feinaufbau von Talrandlössen mit Bemerkungen über die Entstehung des Lösses. *Eiszeitalter + Gegenwart*, 3, 19-36.
- SCHÖNHALS, E. (1955): Kennzahlen für den Feinheitsgrad des Lösses. *Eiszeitalter + Gegenwart* 6, 133-147.
- SCHÖNHALS, E. (1957): Späteiszeitliche Windablagerungen in den Nördlichen Kalkalpen und die Entstehung von Buckelwiesen. *Natur und Volk*, 87, 317-328.
- SCHÖNHALS E. (1960): Spät- und nacheiszeitliche Entwicklungsstadien von Böden aus äolischen Sedimenten in Westdeutschland. – 7th Intern. Congress. Soil Science, Madison, Wisconsin, (V 40), 283-290.
- SCHÖNHALS, E. und POETSCH T.J. (1976): Körnung und Schwermineralbestand als Kriterien für eine Deckschicht in der Umgebung von Seefeld und Leutasch (Tirol). *Eiszeit-alter und Gegenwart*, 27, 134-142.
- SCHUBERT, W. (1963): Die *Sesleria varia*-reichen Pflanzengesellschaften in Mitteleuropa. *Feddes Repertorium*, Beiheft 40, 71-199.
- SCHWERTMANN, U. (1959): Die fraktionierte Extraktion der freien Eisenoxide in Böden, ihre mineralogischen Formen und ihre Entstehungsweisen. *Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk.* 84, 194-204.
- SCHWERTMANN, U. (1966): Inhibitory effect of soil organic matter on the crystallization of amorphous ferric hydroxide. *Natur*, 212, 645-646.
- SCHWERTMANN, U. (1985): The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. *Adv. Soil Sci*, 1, 171-200.
- SCHÜTZ, L. (2004): Mitteilung der DFG-Forschergruppe zur Untersuchung des Einflusses von Saharastäuben auf das globale Klima. [http://idw-online.de/public/zeige\\_pm.html?pmid=76189](http://idw-online.de/public/zeige_pm.html?pmid=76189).
- SCHWIKOWSKI, M., SEIBERT, P., BALTENSBERGER, U. und GÄGLER, H.W. (1995): A study of an outstanding Saharan dust event at the high-alpine site Jungfraujoch, Switzerland. *Atm. Environment*, 29 (15), 1829-1842.



- SCOTT, S.R. (2000): The Cantor dust model for discontinuity in geomorphic process rates. *Geomorphology*, 5, (1-2), 185-194.
- SCRIVEN R.A. und FISHER B.E.A. (1975a): The long range transport of airborne material and its removal by deposition and washout I: general considerations. *Atm. Environment*, 9, 49-58.
- SCRIVEN, R.A. und FISHER, B.E.A. (1975b): The long range transport of airborne material and its removal by deposition and washout II: the effect of turbulent diffusion. *Atm. Environment*, 9, 59-68.
- SEVINK, J., VERSTRATEN, J.M. und JONGEJANS, J. (1998): The relevance of humus forms for land degradation in Mediterranean mountainous areas. *Geomorphology*, 23 (2-4), 285-292.
- SHAO, Y., RAUPACH, M.R. und FINDLATER, P.A. (1993): Effect of saltation barrier on the entrainment of dust by wind. *J. Geophysical Research*, 98, 12719-12726.
- SIEBERTZ, H. (1982): Die Bedeutung des Feinheitsgrades als geomorphologische Auswertungsmethode. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 32, 81-91.
- SINGH, U.B., GREGORY, J.M., WILSON, G.R., PETERSON, R.E. und FEDLER, C.B. (1992): Climatic change effects on wind erosion. Am. Soc. Agri. Eng. International Summer Meeting, Charlotte, North Carolina, Paper 922050.
- SKOWRONEK, A. (1978): Untersuchungen zur Terra rossa in E- und S-Spanien – ein regionaler Vergleich. *Würzburger Geogr. Arb.* 47.
- SMALLEY, I.J. und SMALLEY, V. (1983): Loess material and loess deposits: formation, distribution and consequences. In: Brookfield, M.E. und Ahlbrandt, T.S. (Editors): *Eolian Sediments and Processes*. Amsterdam, pp. 51-68.
- SMETTAN, H.W. (1981): Die Pflanzengesellschaften des Kaisergebirges / Tirol. *Jb. Ver. z. Schutze d. Bergwelt*, 46, 231 S.
- SMOLIKOVA L. und LOZEK, V. (1962): Zur Alterfrage der mitteleuropäischen Terrae calcis. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 13, 157-177.
- SOLAR, F. (1964): Zur Kenntnis der Böden auf dem Raxplateau. *Mitt. Österr. Bodenkdl. Ges. Wien*, 8: 1-14.
- STAHR, K., JAHN, R., HURTH, A. und GAUER, J. (1989): Influence of eolian sedimentation on soil formation in Egypt and Canary Island deserts. *Catena Suppl.*, 14: 127-144.
- STETLER, L.D., und GAYLORD, D.R. (1996): Evaluating eolian-climatic interactions using a regional climate model from Hanford, Washington (USA). *Geomorphology*, 17 (1-3), 999-1113.
- STICHER, H. BACH, R., BRUGGER, H. & VOEKT, U. (1975): Flugstaub in vier Böden aus Kalk, Dolomit und Serpentin (Schweizer Jura und Schweizer Alpen). *Catena*, 2, 11-22.
- STINGL H. (1969): Ein periglazialmorphologisches Nord-Süd-Profil durch die Ostalpen. *Göttinger Geogr. Abh.*, 49, 239 S., Göttingen.
- STORCH, M. (1983): Zur floristischen Struktur der Pflanzengesellschaften in der Waldstufe des Nationalparks Berchtesgaden und ihrer Abhängigkeit vom Standort und der Einwirkung des Menschen. Diss. Fak. Biol. Univ. München, 406 S.
- STORCH und SEIDENSCHWARZ (1996): Vegetationskarte Nr. 6 des Nationalparkplans 2001. Berchtesgaden.
- SWITHINBANK, C. (1950) : The origin of dirt cones on glaciers. *J. of Glaciology*, 1, 461-465.
- SZAFER, W. (1924): Zur soziologischen Auffassung der Schneetälchenassoziationen. *Veröff. Geobot. Inst. Rübel, Zürich*, 1, 300-310.
- THALHEIM, K. (1994): Mineralogisch-granulometrische Untersuchungen an Deckschichten im Osterzgebirge. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.*, 74; 35-38.
- THALHEIM, K. und FIEDLER H.J. (1990): Merkmale für äolischen Einfluß in den känozoischen Deckschichten des Osterzgebirges (DDR). *Chem. Erde* 50, 147-154.
- THIEDIG, F. (1970): Verbreitung, Ausbildung und stratigraphische Einstufung neogener Rotlehme und Grobschotter in Ostkärnten (Österreich). *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg* 39, 97-116.
- THORN, C.E. und DARMODY, R.G. (1980): Contemporary eolian sediments in the alpine zone, Colorado Front Range. *Physical Geography*, 1, 162-171.
- THORN, C.E. und DARMODY, R.G. (1985): Grain-size distribution of the insoluble component of contemporary eolian deposits in the alpine zone, Front Range, Colorado, USA. *Arctic and Alpine Res.*, 17, 433-442.
- TRIBUTH, H. (1990): Die Tonmineralentwicklung in Abhängigkeit von der Bodengenese. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.*, 62, 153-156.
- TRIBUTH, H. und LAGALY, G. (Hrsg. 1991): Identifizierung und Charakterisierung von Tonmineralen. Berichte der Dt. Ton- und Tonmineralgruppe (DTTG), 162 S.
- TROLL, C. (1944): Strukturböden, Solifluktion und Frostklima-te der Erde. *Geol. Rundschau*, 34, 545-694.
- TROLL, C. (1973): Rasenabschälung (turf exfoliation) als periglaziale Bodenabtragung. *Z. Geomorph. N.F.*, Suppl.-Bd. 17, 1-32.
- TSCHIRSCH, J., HIETEL, B., SCHRAMMEL, P. und TRAUTER, F. (1990): Saharan dust at Jungfrau-joch. *J. of Aerosol Science*, 21 (Suppl.1), 357-360.
- URBAN, R. (1991): Die Pflanzengesellschaften des Klamm-spitzkamm im Naturschutzgebiet Ammergebirge. *Ber. Bayer. Bot. Ges. Mü.*, 62 (3).
- VALENTIN, J. (1902): Der Staubfall vom 9. bis 12. März 1901. Sitzungsbericht der kaiserlichen Akademie der Wissenschaft in Wien. *Mathematisch-naturwissenschaftl. Classe*, CXI, Abt.IIa, 50 S.
- VAN HOUTEN, F.B. (1953): Clay minerals in sedimentary rocks and derived soils. *American J. of Science*, 215, 61-82.
- VANMAERCKE-GOTTIGNY, M.C. (1981): Some geomorphological implications of the cryoaeolian deposits in Western Belgium. *Biuletyn Peryglacialny*, 28, 103-114.
- VARRICA, D., DONGARRA, G., SABATINO, G., MONNA, F. (2003): Inorganic geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy. *Environmental Geology*, 44, 222-230.
- VEIT, H. (1988): Fluviale und solifluidale Morphodynamik des Spät- und Postglazials in einem zentralalpiner Flußein-zugsgebiet (südliche Hohe Tauern, Osttirol). *Bayreuther Geowiss. Arb.*, 13, 167 S., Bayreuth.

- VEIT, H. und HÖFNER, T. (1993): Permafrost, gelifluction and fluvial sediment transfer in the alpine/subnival ecotone, Central Alps, Austria: present and future. *Z. Geomorph. N.F.*, Suppl.-Bd. 92, 71-84.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1971a): Bestimmung des Partikelförmigen Niederschlags mit dem Bergerhoffgerät (Standardverfahren). VDI 2119, Blatt 2, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1971b): Bestimmung des Partikelförmigen Niederschlags mit dem Hibernia- und Löbner-Liesegang-Gerät (Standardverfahren). VDI 2119, Blatt 3, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- VÖLKEL, J. (1991a): Staubsedimentation im nordafrikanischen Sahel – Herkunft und Auswirkung auf die Landschaftsökologie eines semiariden Großraumes. *Z. Geomorph. N.F.*, Suppl.-Bd. 89, 73-85.
- Völkkel, J. (1991b): Bodentypen und -genese auf jungpleistozänen Deckschichten im Bayerischen Wald. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.*, 66/II, 877-880.
- VÖLKEL, J. (1994): Zur Frage der Merkmalcharakteristik und Gliederung periglazialer Deckschichten am Beispiel des Bayerischen Waldes. *Peterm. Geogr. Mitt.*, 138, 195-206.
- VÖLKEL, J. (1995): Periglaziale Deckschichten und Böden im Bayerischen Wald und seinen Randgebieten. *Z. Geomorphologie, N.F.*, Suppl.-Bd. 96, 301 S.
- VÖLKEL, J. und RAAB, T. (1999): Zur Differenzierung periglazialer, glazigener und kolluvialer Sedimente im Hangrelief von Mittel- und Hochgebirgen. *Zentralblatt für Geol. Paläontologie*, Teil I, (5-6), 289-304.
- WAGENBACH, D. (1981): Pilotstudie zur Aerosoldeposition auf einer hochalpinen kalten Firndecke. Ph.D. Thesis, University of Heidelberg, Heidelberg FRG.
- WAGENBACH, D. und GEIS, K. (1989): The mineral dust record in a high altitude alpine glacier (Colle Gnifetti, Swiss Alps). In: Leinen, M. und Sarnheim, M. (eds.), *Paleoclimatology and Paleometeorology: modern and past patterns of global atmospheric transport*, 543-564.
- WASHBURN, A.L. (1979): *Geocryology. A survey of periglacial processes and environments*. 406 S. London.
- WARREN, A. (1979): Aeolian Processes. In: Embleton, C. und Thornes, J. (eds.), *Process in Geomorphology*, 325-351, London.
- WEINGARTNER, H. (1983): *Geomorphologische Studien im Tennengebirge*, Salzburg. Arbeiten aus dem Institut f. Geogr. d. Univ. Salzburg, Nr. 9. Salzburg.
- WEISE, O.R. (1983): *Das Periglazial*. Stuttgart.
- WEISSHAAR, R., SCHÄFER, J., TOMADIN, L. und WAGENBACH, D. (1999): Aeolian sediment chronology recorded in ice cores from Monte Rosa summit range. *Tübinger Geowissenschaftl. Arb.*, 52 (Serie A), 67 S.
- WELLBURN, A.R. (1997): Luftverschmutzung und Klimaänderung. Auswirkungen auf Flora, Fauna und Mensch. Berlin.
- WETTERAMT München (Hrsg.) (1963-1995; 2002; 2003): *Berichte des Dt. Wetterdienstes*, München.
- WEYL, R. (1952): Zur Frage der Schwermineralverwitterung in Sedimenten. *Erdöl u. Kohle* 5, 29-33.
- WILSON, M.J. (ed. 1987): *A handbook of determinative methods in clay mineralogy*. New York.
- WINDOM, H.L. (1969): Atmospheric dust records in permanent snowfields: implications to marine sedimentation. *Geol.Soc. of Am. Bull.*, 80, 761-782.
- WINKLER v. HERMADEN, A. (1945): Geologisches Kräftespiel und Bodenwirtschaft in den deutschen Alpen. *Sonderdruck aus dem Neues Jb. Für Mineralogie*, Bd. 89, Abt. B, 45-100.
- WÖLFEL, U. (1975): Bodenkundlich-morphologische Untersuchungen an einem Buckelwiesenvorkommen im Mangfallgebirge. *Geogr. Helv.*, 30 (1), 9-16.
- WÜNSCHE, B. (1997): Der Einfluß von Boden und Vegetation auf die Lösungsverwitterung im Wettersteingebirge. Unveröffentl. Diplomarbeit am Institut für Geographie, LMU München.
- YAALON, D.H. und GINZBOURG, D. (1966): Sedimentary characteristics and climatic analysis of easterly dust storms in the Negev (Israel). *Sedimentology*, 6, 315-332.
- YAALON, D.H. und DAN, J. (1974): Accumulation and distribution of loess-derived deposits in the semi-desert and desert fringe areas of Israel. *Z. Geomorph.*, Suppl.-Bd. 20, 91-105.
- YAALON, D.H. und GANOR, E. (1979): East Mediterranean trajectories of dust-carrying storms from the Sahara and Sinai. In: MORALES, C. (ed.), *Saharan dust*, Chichester, 187-193.
- ZECH, W. und NEUWINGER, I. (1974): Podsolbildung aus kalkreichen Substraten. Beobachtungen in den Tiroler Kalkalpen bei Seefeld. *Forstwiss. Zentralblatt*, 93, 179-191.
- ZECH, W. und WÖLFEL, U. (1974): Untersuchungen zur Genese der Buckelwiesen im Kloaschautal. *Forstwiss. Zentralblatt*, 93 (3), 137-155.
- ZECH, W. und VOELKL, W. (1979): Beitrag zur bodensystematischen Stellung kalkalpiner Verwitterungslehme. *Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges.*, 29, 661-668.
- ZECH, W., WILKE, B.M., KÖGEL, I., HAIDER, K., und SCHULTEN, H.-R. (1986): Tangelrendzina und Moderrendzina. *Mitt. dt. bodenkdl. Ges.*, 46, 23-34.
- ZEUNER, F.E. (1949) : Frost soils on Mount Kenya, and the relation of frost soils to aeolian deposits. *J. Soil Sci.*, 1, 25-30.
- ZÖTTL, H. (1950): Die Vegetationsentwicklung auf Felsschutt in der alpinen und subalpinen Stufe des Wettersteingebirges. Dissertation an der LMU München 1950.
- ZÖTTL, H. (1951): Beitrag zur Ökologie alpiner Kalkschuttstandorte. *Phyton*, 4 (1-3), 160-175.
- ZÖTTL, H. (1966): Kalkböden der Alpen. *Jb. d.V. z.Schutze der Alpenpflanzen u. Tiere*, Bd. 31.
- ZWITTKOVITS, F. (1969): Alters- und Höhengliederung der Karren in den Nördlichen Kalkalpen. *Geol. Rundschau*, Bd. 58, H. 1, 378-395, Stuttgart. 71, Wien.



## Abkürzungen:

### Geographie, Geologie:

N, S, E, W	: Himmelsrichtungen Nord (en), Süd (en), Ost (en), West (en)
mk	: Muschelkalk (Anis)
rh	: Reichenhaller Schichten (Anis)
rh k	: Reichenhaller Kalk (Anis)
rh b	: Reichenhaller Brekzien (Anis)
wk	: Wettersteinkalk (Ladin)
dk	: Dachsteinkalk (Nor)
go	: Gosau (Kreide)

### Untersuchungsgebiete:

UG	: Untersuchungsgebiet
WKG	: Westliche Karwendelgrube
ÖKG	: Östliche Karwendelgrube
RA	: Reiteralpe
ZP	: Zugspitzplatt
KG	: Karwendelgruben

### Bodenkunde:

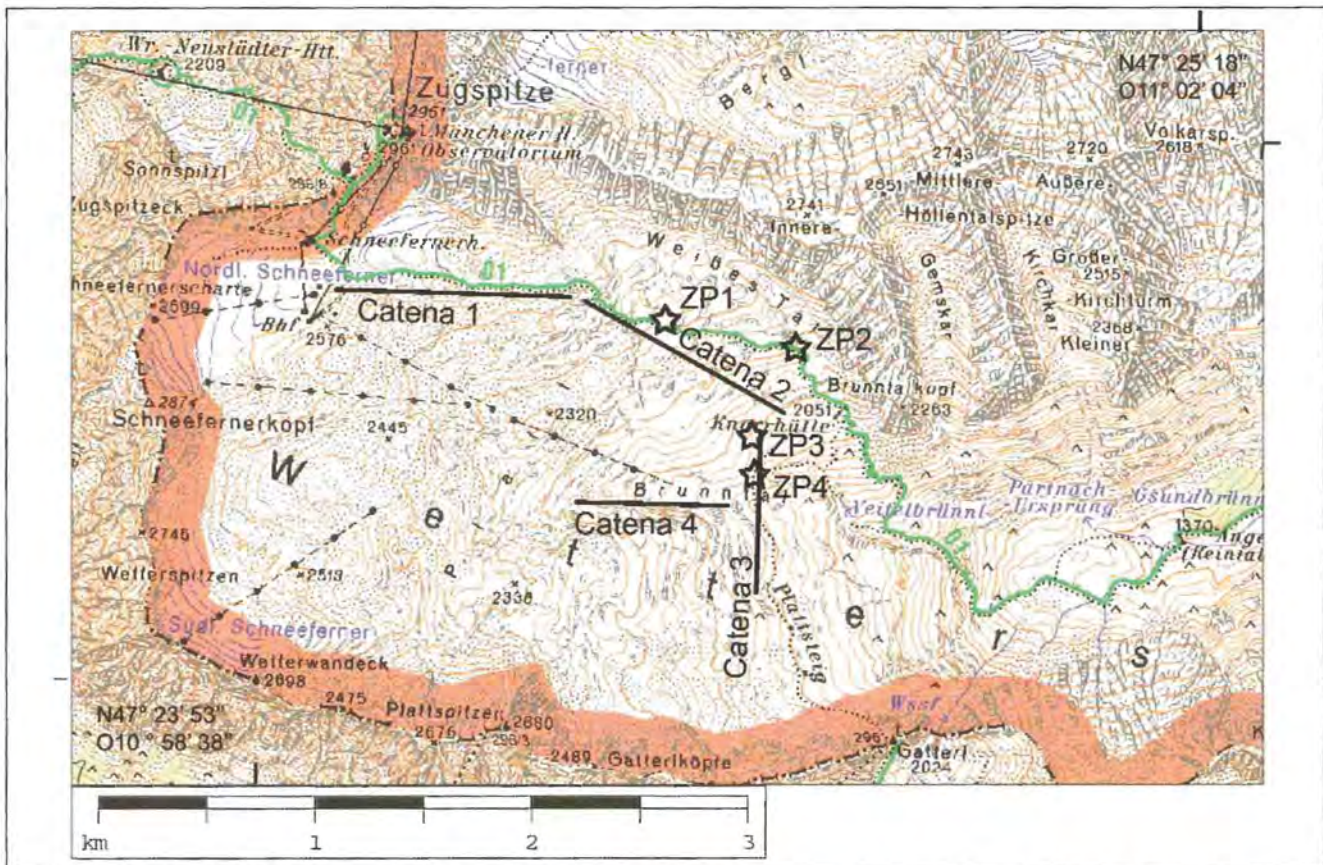
BR	: Braunerde
T-R	: Terra fusca-Rendzina
PO	: Polsterrendzina
POi	: initiale Polsterrendzina
PR	: Pechrendzina
S	: Sand
U	: Schluff
T	: Ton
g	: Grob- z.B. gU (Grobschluff)
m	: Mittel-
f	: Fein-
R	: Residuum bzw. Residual-
VL	: Verlehmungsprodukt

### Sonstige:

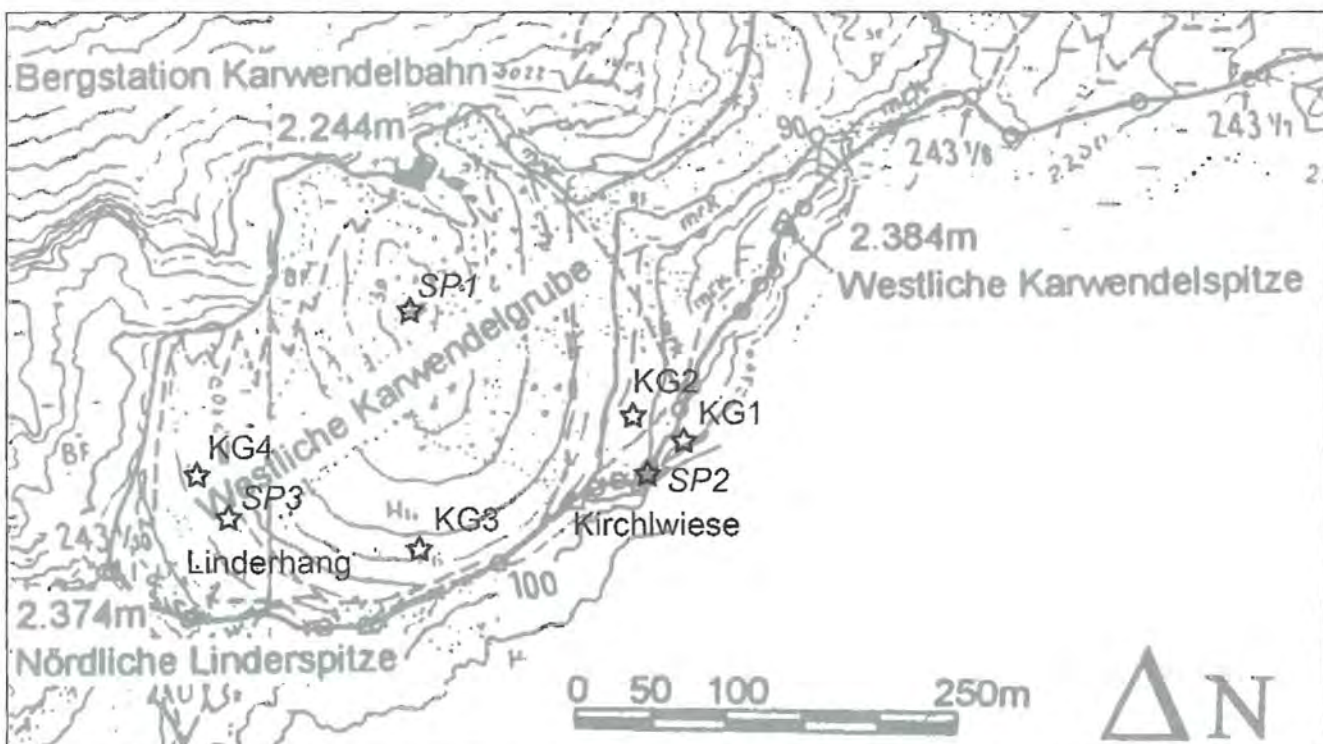
DWD	: Deutscher Wetterdienst
GLA	: Geologisches Landesamt
SK	: Staubfangkasten
Gew.-%	: Gewichtsprozent
Vol.-%	: Volumenprozent
Rel.-%	: Relativprozent

# 10 Anhang

## 10.1 Lage der Messeinrichtungen

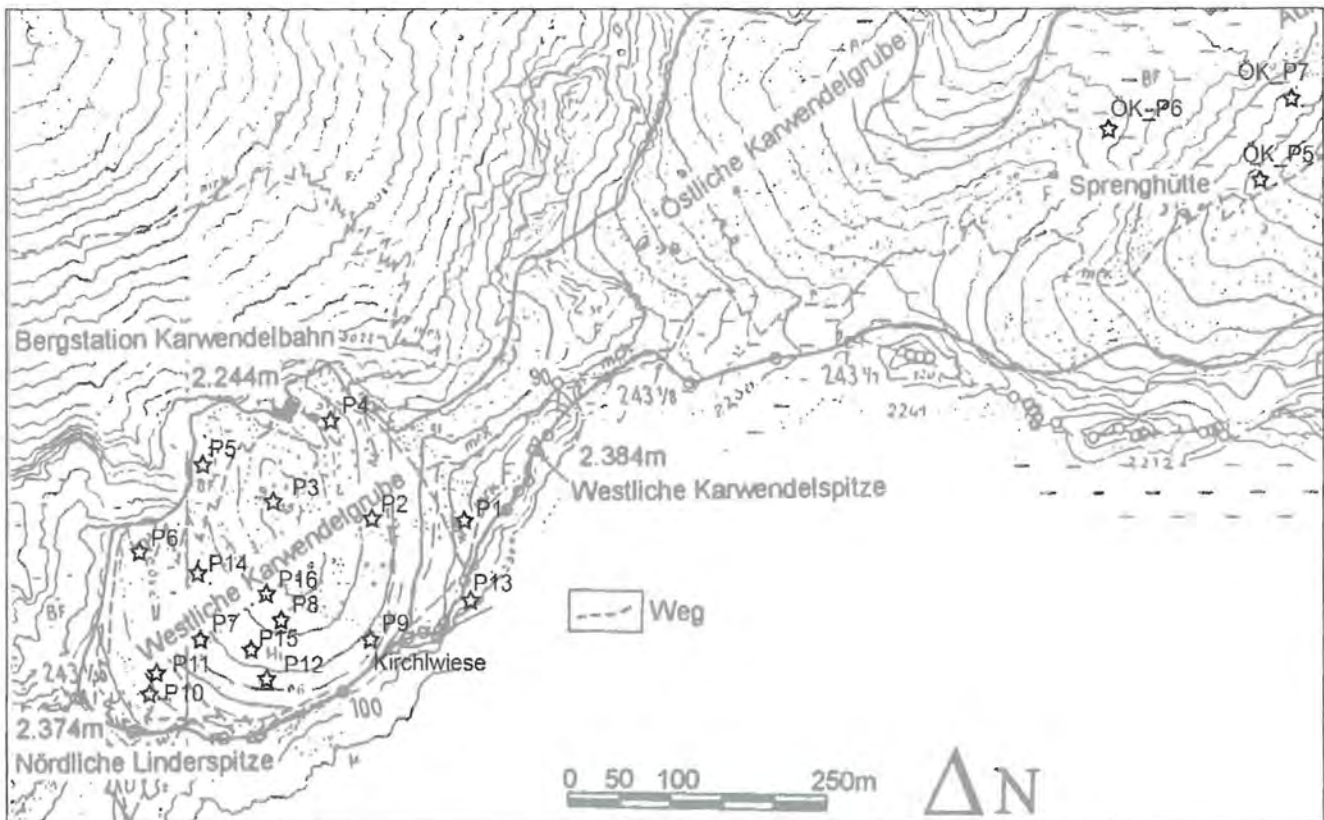


**Karte 1:** Messeinrichtung und Catenen - Zugspitzplatt / Wettersteingebirge (Quelle: TK von Österreich 1:50.000, 8565, Innsbruck 1994; Erläuterung: ZP 1 bis ZP 4 = Lage der Meßstellen zur Staubquantifizierung (Staubfangkästen), Catena 1 bis 4 = Lage der Bodenprofile).

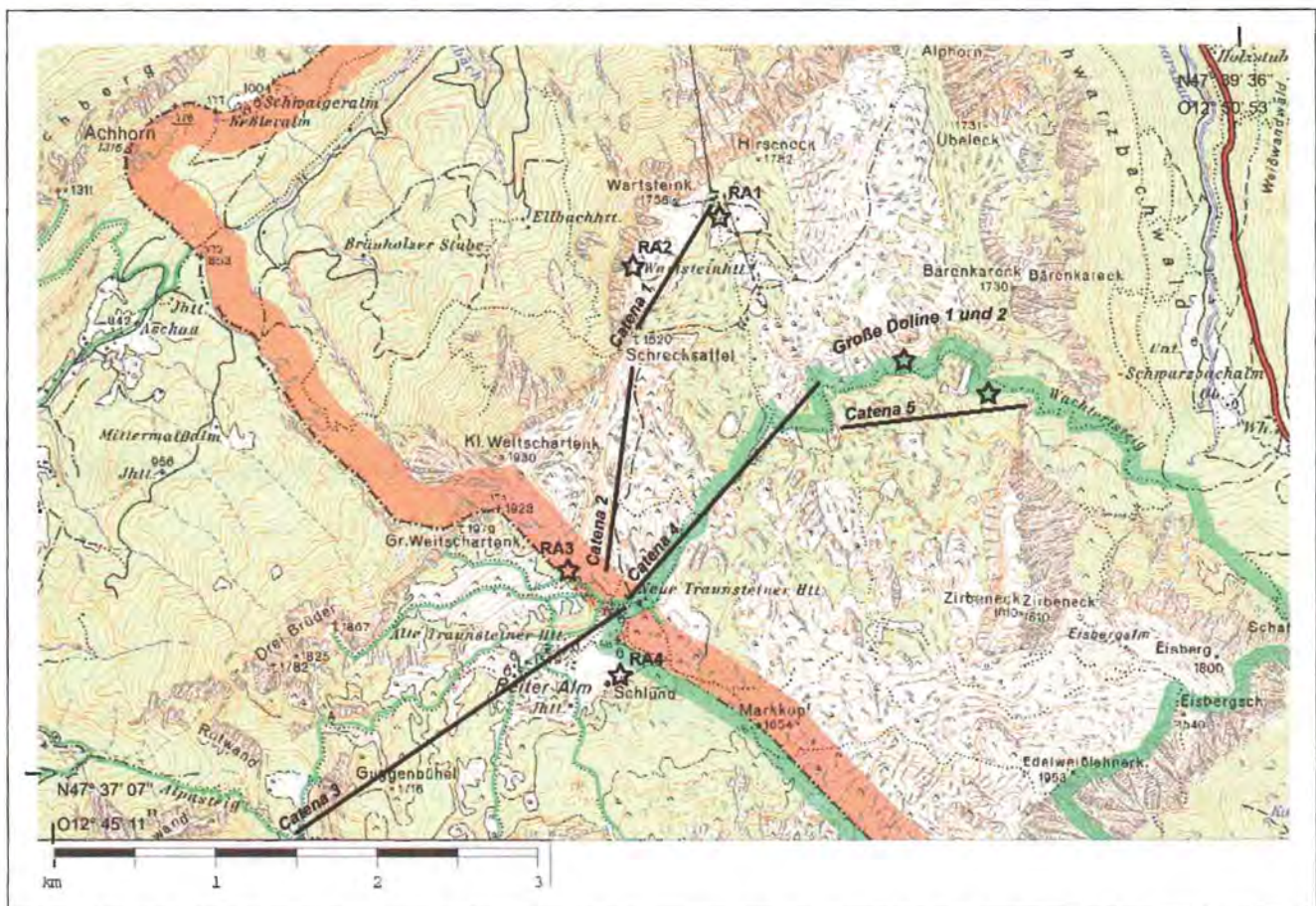


**Karte 2:** Messeinrichtung und Catenen - Karwendelgrube / Karwendelgebirge (Quelle: Topographische Karte 1:10.000, 8633, München 1983; Erläuterungen: KG 1 bis KG 3 = Lage der Staubfangkästen; SP 1 bis SP 2 = Lage der Schneeprofile).





**Karte 3:** Messeinrichtung und Bodenprofile - Karwendelgruben / Karwendelgebirge (Quelle: Topographische Karte 1:10.000, 8633, München 1983; Erläuterungen: P 1 bis P 16 = Lage der Bodenprofile in der Westl. Karwendelgrube; ÖK\_P 5 bis P 7 = Lage der Bodenprofile in der Östl. Karwendelgrube).



**Karte 4:** Messeinrichtung und Catenen - Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen (Quelle: TK von Österreich 1:50.000, 8565, Innsbruck 1994; Erläuterungen: RA 1 bis RA 4 = Lage der Meßstellen zur Staubquantifizierung (Staubfangkästen), Catenen 1 bis 5 = Lage der Bodenprofile).



## 10.2 Bodenprofile und Kenndaten

### Zugspitzplatt – Profil 17: ZP\_P17, Catena 3 (Knorrhütte-Plattsteig)

17.1 Profilbeschreibung													
Bodentyp:		Lößbraunerde aus äolischer Deckschicht über Residualton aus Lokalmoräne über Wettersteinkalk, Subtyp 1											
Klasse:		Braunerde											
Höhe / Neigung / Exposition		2000m/ 10°/ 156°SSE											
Lage und Relief:		R / H ; Unterhang im Schichtkopfkarst											
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		alpine Stufe, <i>Seslerio-Caricetum semp.</i> ,											
Profilmächtigkeit:		37cm											
Horizontfolge:		Ah/Bv1/BV2/II T/II TCn											
0 – 3cm	Ah	intensiv durchwurzelt; humos; schwach karbonathaltig, skelettfrei, glimmerhaltig, krümelig;											
3 – 20cm	Bv1	durchwurzelt, humos, Humus z.T. in Schlieren; krümelig, karbonat- und skelettfrei; glimmerführend; braun 7.5 YR 4/4											
20 – 35cm	Bv2	kaum durchwurzelt, schwach humos; krümelig bis subpolyedrisch, karbonat- und skelettfrei, ab 33cm höher Ton- bzw. Lehmgehalt, glimmerführend; braun 7.5 YR 5/4											
35 – 38cm	II T(ICv)	nicht durchwurzelt; schwach humos; subpolyedrisch, karbonathaltig, Residualton											
>38cm	II T(ICv)Cn	Moränenschleier über kompaktem Wettersteinkalk											
17.1.1 Probenentnahme:													
Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer										
ZP 17/1	07.08.02	Ah	0-3cm	ZP (Ah 0-3cm)									
ZP 17/2	07.08.02	Bv1	3-20cm	ZP 4/1 (Bv1 3-20cm)									
ZP 17/3	07.08.02	Bv2	20-35cm	ZP (Bv2 20-35cm)									
ZP 17/4	07.08.02	II T	35-37cm	ZP (II T 35-36cm)									
ZP 17/5	07.08.02	II TCn	>37cm	ZP (II TCn >36)									
17.1.2 Bodenfarbensprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)													
Probe			trocken				naß						
Nr.	Horizont	[cm]											
ZP 17/1	Ah	0-3	2.5 Y 3/1	very dark grey	2.5 Y 2,5/1							black	
ZP 17/2	Bv1	3-20	7.5 YR 4/4	brown	7.5 YR 4/6							strong brown	
ZP 17/3	Bv2	20-35	7.5 YR 5/4	brown	7.5 YR 4/6							strong brown	
ZP 17/4	II T	35-37	7.5 YR 5/4	brown	7.5 YR 4/6							strong brown	
ZP 17/5	II TCn	>37	10 YR 8/1	white	10 YR 8/2							very pale brown	
17.2. Bodenanalytische Werte													
17.2.1 Korngrößenverteilung													
Probe	Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)												
Nr.	Horizont	[cm]	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T < 2	S	U	T
ZP 17/1	Ah	0-3	0	0,6	2,1	2,6	21,3	38,1	19,6	16,0	5,3	79,0	16,0
ZP 17/2	Bv1	3-20	0	0	0,4	0,2	26,2	31,8	23,6	18,1	0,6	81,6	18,1
ZP 17/3	Bv2	20-35	0	0	0	3,7	26,4	37,4	21,0	11,7	3,7	84,8	11,7
ZP 17/4	II T	35-37	2	0	0	0	13,8	28,1	18,3	39,8	0	60,2	39,8
ZP 17/5	II TCn	>37	Fels	0	8,3	3,7	0	23,6	35,9	28,5	12,0	59,5	28,5
17.2.2 Bodenphysikalische Indices													
Probe	Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)								Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S= Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm				
Nr.	Horizont	[cm]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe		
ZP 17/1	Ah	0-3	4,9	0,2	14,9	17,9	1,8	0,9	mi toniger U	Lehmschluff	U		
ZP 17/2	Bv1	3-20	4,5	0,2	136	166	1,2	0,9	st toniger U	Tonschluff	U		
ZP 17/3	Bv2	20-35	7,2	0,1	22,9	26,0	1,4	0,8	mi toniger U	Lehmschluff	U		
ZP 17/4	II T	35-37	1,5	0,7	-	-	2,0	1,3	mi schluffiger T	Schluffton	T		
ZP 17/5	II TCn	>37	2,1	0,5	4,9	7,3	-	-	schluffiger L	Lehmschluff	U		



## Zugspitzplatt – Profil 17: ZP\_P17, Catena 3 (Knorrhütte-Plattsteig)

### 17.2.3 Bodenchemische Werte

Probe			Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR											
			pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> / Fe <sub>o</sub>	
Al	Fe <sub>d</sub>	Mn												
Nr.	Horizont	[cm]												
ZP 17/1	Ah	0-3	5,8	0,2	8,33	14,3				0,38	1,57	0,04	0,50	0,32
ZP 17/2	Bv1	3-20	4,9	0	4,48	7,7				0,26	1,57	0,06	0,54	0,34
ZP 17/3	Bv2	20-35	5,4	0	3,19	5,4				0,34	1,10	0,02	0,32	0,29
ZP 17/4	II T	35-37	6,4	2,5	6,84	11,8				0,35	1,03	0,02	0,52	0,50

Probe			KAKeff [mmol/kg]													
			K	[%]	Na	[%]	Mg	[%]	Ca	[%]	Al	[%]	H <sup>+</sup>	[%]	Σ KAK	Basen- sättigung [%]
Nr.	Horizont	[cm]														
ZP 17/1	Ah	0-3	0	0	0,82	0,5	4,05	2,7	145,49	95,9	0,48	0,3	0,90	0,6	151,74	99,1
ZP 17/2	Bv1	3-20	0	0	1,81	1,8	2,36	2,4	94,20	94,8	0,39	0,4	0,62	0,6	99,38	99,0
ZP 17/3	Bv2	20-35	0	0	1,04	1,2	1,95	2,3	81,00	95,3	0,43	0,5	0,58	0,7	85,0	98,8
ZP 17/4	II T	35-37	0,07	0,04	2,60	1,6	5,56	3,4	156,02	94,3	0,40	0,2	0,77	0,5	165,42	99,3

### 17.3 Mineralanalytische Werte

#### 17.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Hauptelementgehalte [%]																
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.	
Ah	43,99	18,08	7,88	0,94	6,79	0,16	1,34	1,54	0,68	1,62	1,00	0,24	4,14	24,04	76,38	
Bv1	51,48	17,58	8,19	0,86	7,20	0,23	1,41	1,19	0,82	1,93	1,17	0,17	3,18	15,07	84,50	
Bv2	50,66	19,57	7,74	1,91	5,56	0,10	2,41	1,43	0,94	2,11	0,97	0,24	2,81	13,17	86,47	
II T	41,70	20,46	7,13	1,50	5,39	0,10	2,28	1,87	0,65	1,99	0,87	0,33	4,13	21,82	77,82	
II Cn	<0,10	<0,10	0,07	<0,10	-	<0,01	2,00	53,80	<0,20	<0,05	<0,05	<0,02	0,34	43,40	56,08	

Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
Ah	320	160	18	114	14	24	85	25	63	44	84	107	0,24	102	15	6	125	102	312	315
Bv1	363	90	18	111	16	27	44	28	40	36	78	105	0,13	103	13	<5	166	38	275	377
Bv2	386	132	23	127	20	26	69	24	52	63	47	92	0,11	107	18	<5	145	85	220	304
II T	283	179	22	147	19	23	95	25	71	82	53	79	0,26	87	17	<5	125	137	171	236
II Cn	<50	<50	<10	<15	<10	<5	<15	<5	<10	<10	<10	<15	<0,10	55	<10	<5	13	<5	28	<10

#### 17.3.2 Geochemische Indices

Geochemische Indices										
Probe	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/ MgO	CaO/ K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/ Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+ MgO	Sr/Ba
Ah	2,40	0,12	1,15	0,95	0,04	2,38	2,31	69,35	2,88	0,32
Bv1	2,93	0,11	0,84	0,62	0,05	2,35	2,12	77,25	2,60	0,28
Bv2	2,59	0,25	0,59	0,68	0,05	2,24	2,48	77,97	3,84	0,28
II T	2,04	0,21	0,82	0,94	0,03	3,06	2,62	69,29	4,15	0,31
II Cn	-	-	26,92	-	-	-	-	-	55,84	-

#### 17.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>1)</sup>	Kornsumme
Ah	19	1	3	0	3	13	2	0	31	25	3	134
Bv1	64	0	0	0	19	0	0	0	0	27	0	11 <sup>2)</sup>
Bv2 <sup>3)</sup>	61	9	2	6	4	2	0	0	5	10	0	300
II T		12	4	8	0	1	0	0			0	

Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm											
Probe	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>1)</sup>	Kornsumme
Ah	1	4	0	4	16	3	0	39	31	4	108
Bv1	0	0	0	25	0	0	0	0	75	0	4 <sup>2)</sup>
Bv2 <sup>3)</sup>	24	4	16	11	5	0	0	14	26	0	116

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)

1) Sonstige: ZP 17/1 (4 Chloritoide)

2) Beachte schlechtere Statistik wegen geringer Kornpopulation!

3) Korngröße <0,1mm

## Zugspitzplatt – Profil 17: ZP\_P17, Catena 3 (Knorrhütte-Plattsteig)

### 17.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA)

Probe	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]					Kommentar		
	ML <sub>mit</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kaolinit <sup>3)</sup>	Chlorit	∑ K+Ch	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit
ZP 17/1 Ah	39	17	25	18	43	klein	gut	kaum
ZP 17/2 Bv1	60	7	16,5	16,5	33	klein	gut	kaum
ZP 17/3 Bv2	9	43	15	33	48	klein	gut	kaum
1) ML <sub>mit</sub> = unregelmäßige illitreiche Wechsellagerungsminerale 2) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar), Index zeigt randliche Aufweitung der Schichten an 3) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)								
Probe	Verteilung sonstiger Minerale				wenig	Spuren / Bemerkungen		
	Hauptkomponente	Nebenkompente						
ZP 17/1 Ah	Qz	Ch>Alb>Illit, Glimmer		Dol	Gips? Amphibole Hämatit			
ZP 17/2 Bv1	Qz	Alb		Ch, Illit, Glimmer	Amphibole, TM			
ZP 17/3 Bv2	Qz	Alb						
ZP 17/4 II T	Qz	TM						
Relative Häufigkeit [Rel.-%] ohne Quarz (bezogen auf 100%)								
	KF	Alb		Cc	Dol			
keine Angaben möglich								
Qz = Quarz; KF = Kalifeldspäte; Alb = Albit; Cc = Calcit; Dol = Dolomit; Ch = Chlorit; TM = Tonminerale mit Aufweitung von d > 10 Å (keine Unterscheidung zw. Illit und Glimmer möglich), ? = vermutet								



## Zugspitzplatt - Profil 18: ZP\_P18, Catena 3 (Knorrhütte-Plattsteig)

18.1 Profilbeschreibung							
Bodentyp:		Lößbraunerde aus äolischer Deckschicht über Wettersteinkalk, Subtyp 2					
Klasse:		Braunerde					
Höhe / Neigung / Exposition		2050m/ 23°/ 158°SE					
Lage und Relief:		R / H ; Hangverflachung im Schichtflächenkarst					
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		alpine Stufe, <i>Seslerio-Caricetum semp.</i>					
Profilmächtigkeit:		25cm					
Horizontfolge:		Ah / Bvt / II ICv					
0 – 8cm	Ah	humos, stark durchwurzelt, dicht; krümelig bis schmierig, z.T. sichtbare Glimmer, stark toniger Schluff; schwarz-braun 10 YR 3/2					
8 – 20cm	Bvt	schwach humos, durchwurzelt, krümelig, ab 16cm vereinzelt Kalksplintern durchsetzt, wenig Glimmer; mittelschluffiger Ton, schwach feinsandig; braun 7.5 YR 4/4					
>20cm	II ICv (Cm)	Feinmaterial von oben eingeschwemmt, Skelett (50%, z.T. durch Eisenoxide bräunlich gefärbt); Schichtrippe mit Rundkarrenrelief, 1 bis 2mm mächtige Residualtontapeten; weiß 10 YR 8/1					
18.1.1 Probenentnahme:							
Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer				
ZP	Ah	0-8cm	ZP (Ah 0-8cm)				
ZP	Bvt	8-20cm	ZP (Bvt 8-20cm)				
18.1.2 Bodenfarbensprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)							
Probe			trocken			naß	
Nr.	Horizont	[cm]					
ZP 18/1	Ah	0-8	10 YR 3/2	very dark grayish brown	10 YR 3/1	very dark gray	
ZP 18/2	Bvt	8-20	7,5 YR 4/4	brown	7.5 YR 4/6	strong brown	



## Zugspitzplatt – Profil 18: ZP\_P18, Catena 3 (Knorrhütte-Plattsteig)

18.2. Bodenanalytische Werte																				
18.2.1 Korngrößenverteilung																				
Probe		Korngrößen [ $\mu\text{m}$ ] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)																		
Nr.	Horizont [cm]	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T < 2	S	U	T								
ZP 18/1	Ah	0-8	1,5	1,2	2,3	3,3	28,1	20,9	19,1	25,6	6,8	68,1	25,6							
ZP 18/2	Bvt	8-20	1,5	0	0	1,0	3,2	18,5	36,4	41,8	0,0	58,1	41,8							
18.2.2 Bodenphysikalische Indices																				
Probe		Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)						Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm												
Nr.	Horizont [cm]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart		Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe									
ZP 18/1	Ah	0-8	10	0,4	10	13,8	0,7	0,7	sw toniger U		Lehmschluff	U								
ZP 18/2	Bvt	8-20	1,4	0,7	-	-			mi toniger L		Schluffton	T								
18.2.3 Bodenchemische Werte																				
Probe		Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR																		
Nr.	Horizont [cm]	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>o</sub>								
								Al	Fe <sub>d</sub>	Mn										
ZP 18/1	Ah	0-8	5,3	1,3	6,07	16,6	0,30	20,2	0,38	1,49	0,04	0,62	0,42							
ZP 18/2	Bvt	8-22	5,1	0	2,81	4,8	0,27	10,4	0,34	1,05	0,02	0,63	0,60							
18.3 Mineralanalytische Werte																				
18.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)																				
Hauptelementgehalte [%]																				
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.					
Bvt	20,06	38,54	14,22	0,39	13,78	0,25	0,63	1,23	<0,20	0,59	1,64	0,19	2,12	22,59	77,84					
Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
Bvt	105	207	36	165	13	33	103	37	85	134	76	28	<0,10	45 9	24	<5	223	78	88	391
18.3.2 Geochemische Indices																				
Geochemische Indices																				
Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba								
ZP Bvt	0,52	0,03	1,95	2,08	-	-	-			72,82	1,86	4,37								
18.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)																				
Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1-0,25mm																				
Probe	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>1)</sup>		Kornsumme							
ZP Bvt	52	5	4	0	0	0	0	0	13	26	0		23 <sup>2)</sup>							
Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm																				
Probe	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>1)</sup>		Kornsumme								
ZP Bvt	7	4	4	4	7	0	0	45	20	9		55 <sup>2)</sup>								
G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)																				
1) Sonstige: ZP Bvt (3 Chloritoide, 3 Chlorite); 2) Beachte schlechtere Statistik wegen geringer Kornpopulation!																				
18.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA)																				
Probe		Relative Tonminerale in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]						Kommentar												
ZP Bvt		ML <sub>200</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kaolinit <sup>3)</sup>	Chlorit	$\Sigma$ K+Ch	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit											
		6	6	42	46	88	hoch	gut	keine											
4) ML <sub>200</sub> = unregelmäßige illitische Wechsellagerungsminerale																				
5) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar), Index zeigt randliche Aufweitung der Schichten an																				
6) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)																				
Probe		Verteilung sonstiger Minerale																		
ZP Bvt		Hauptkomponente				Nebenkompente				wenig		Spuren / Bemerkungen								
		Gibbsit				Qz				Cc, TM										
		Relative Häufigkeit [Rel.-%] ohne Quarz (bezogen auf 100%)																		
		KF				Alb				Cc		Dol								
		keine Angaben möglich																		
Qz = Quarz; KF = Kalifeldspäte; Alb = Albit; Cc = Calcit; Dol = Dolomit; Ch = Chlorit; TM = Tonminerale mit Aufweitung von d > 10 Å (keine Unterscheidung zw. Illit und Glimmer möglich), ? = vermutet																				



## Zugspitzplatt – Profil 19: ZP\_P19 ZP, Catena 3 (Knorrhütte-Plattsteig)

19.1 Profilbeschreibung			
Bodentyp:		Terra fusca-Braunerde, äolisch geprägt, Mischtyp	
Klasse:		Braunerde	
Höhe / Neigung / Exposition		2040m/ 5°/ 178°SSE	
Lage und Relief:		R / H ; Dolinenfüllung südlich des Brunntals	
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		alpine Stufe, <i>Seslerio-Caricetum semp.</i>	
Profilmächtigkeit:		12cm	
Horizontfolge:		Ah / Bcv / II ICv	
0 – 1cm	Oh	Graswurzelfilz, organisch; schwach karbonathaltig, skelettfrei, stark glimmerhaltig; schwarz	
1 – 5cm	Ah	durchwurzelt, sehr stark humos, krümelig, schwach karbonat- und skeletthaltig; stark glimmerführend; braunschwarz	
5 – 10cm	Bvt	kaum durchwurzelt, schwach humos; krümelig bis subpolyedrisch, karbonat- und skelettfrei, glimmerführend; braun 7,5 YR 5/4	
>10cm	Cn	Wettersteinkalk, durch Eisen und Tontapeten leicht bräunlich gefärbt, ansonsten unverwittert	
<b>19.1.1 Probenentnahme:</b>			
Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer
ZP	Bvt	5-10cm	ZP (Bvt 5-10cm)
<b>19.1.2 Bodenfarbensprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)</b>			
Probe Nr.	Horizont [cm]	trocken	naß
ZP 19/1	Bvt 5-10	7,5 YR 5/4	



## Zugspitzplatt – Profil 19: ZP\_P19 ZP, Catena 3 (Knorrhütte-Plattsteig)

### 19.2. Bodenanalytische Werte

#### 19.2.1 Korngrößenverteilung

Probe	Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)												
	Nr.	Horizont	[cm]	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T < 2	S	U
ZP 19/1	Bv1	5-10	0,9	0	0	0	15,7	28,1	21,1	35,1	0,0	64,9	35,1

#### 19.2.2 Bodenphysikalische Indices

Probe	Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)							Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm				
	Nr.	Horizont	[cm]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe
ZP 19/1	Bv1	5-10	1,8	0,5	-	-	1,8	1,3		mi schluffiger T	Schluffton	T

#### 19.2.3 Bodenchemische Werte

Probe	Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR													
	Nr.	Horizont	[cm]	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>s</sub>
										Al	Fe <sub>d</sub>	Mn		
ZP 4/1	Bvt	5-10	6,2	1,8	7,05	12,13	n.b.	n.b.						

Probe	KAKeff [mmol/kg]													
	Nr.	Horizont	[cm]	K [%]	Na [%]	Mg [%]	Ca [%]	Al [%]	H <sup>+</sup> [%]	Σ KAK	Basen-sättigung [%]			
ZP 4/1	Bvt	5-10	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			

### 19.3 Mineralanalytische Werte

#### 19.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Hauptelementgehalte [%]																				
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.					
Bvt	36,41	18,29	7,29	1,10	6,01	0,18	1,42	2,29	0,55	1,43	0,89	0,42	4,32	30,16	69,44					
Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
Bvt	239	145	15	118	15	20	79	24	55	45	92	100	<0,1	94	16	<5	114	128	427	269

#### 19.3.2 Geochemische Indices

Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba
ZP Bvt	1,99	0,15	1,61	1,60	0,03	2,60	2,92	61,99	3,71	0,39

#### 19.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Gesamtpektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>1)</sup>	Kornsumme
ZP Bvt	20	6	3	3	3	6	0	0	36	16	7	69

Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>1)</sup>	Kornsumme	
ZP Bvt	9	9	0	0	0	0	0	27	55	0	11 <sup>2)</sup>	

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klnozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit); <sup>1)</sup> Sonstige: ZP Bvt (3 Chloritoide, 2 Chlorite); <sup>2)</sup> Beachte schlechtere Statistik wegen geringer Kornpopulation!

#### Beschreibung des Schwermineralspektrums

ZP Bvt: mäßige SM-Menge, blaß-gelblich, wenig Fraktion >0,1mm; vereinzelt sphärische Kieselalgen, Zirkone sehr klein; opakreich (Körner meist gut gerundet), viele vererzte Leichtminerale und Karbonate; karbonatreich (mikritische Körner), ganz vereinzelt magnetische Körner

#### 19.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA)

Probe	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]					Kommentar		
	ML <sub>int</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kaolinit <sup>3)</sup>	Chlorit	Σ K+Ch	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit
ZP Bvt	keine Aussage möglich					klein	schlecht	kaum

<sup>1)</sup> ML<sub>int</sub> = unregelmäßige illitische Wechsellagerungsminerale; <sup>2)</sup> Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar), Index zeigt randliche Aufweitung der Schichten an; <sup>3)</sup> Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)

Probe	Verteilung sonstiger Minerale			
	Hauptkomponente		Nebenkompente	
	ZP 17/1 Ah	Qz	TM, Cc	wenig
Probe	Relative Häufigkeit [Rel.-%] ohne Quarz (bezogen auf 100%)			
	KF	Alb	Cc	Dol
	keine Angaben möglich			

Qz = Quarz; KF = Kalifeldspäte; Alb = Albit; Cc = Calcit; Dol = Dolomit; Ch = Chlorit; TM = Tonminerale mit Aufweitung von d > 10 Å (keine Unterscheidung zw. Illit und Glimmer möglich), ? = vermutet



## Zugspitzplatt – Profil 29: ZP\_P29, Catena 4 (Plattsteig- Brunntal)

29.1 Profilbeschreibung													
Bodentyp:		Reife Polsterrendzina aus Residualton über Lokalmoräne											
Klasse:		Rendzina											
Höhe / Neigung / Exposition		2170m/ 28°/ 180°SSE											
Lage und Relief:		R / H ; Mittelhang											
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		Terrassiertes <i>Caricetum firmae</i> , Terrassetten mit Schutt bestreut											
Profilmächtigkeit:		12cm											
Horizontfolge:		Ah / Bcv / II ICv											
0 – 15cm	Oh	intensiv durchwurzelt; organisch; glimmerhaltig, krümelig bis subpoledrisch, karbonat- und skeletthaltig; grauschwarz 2,5 Y 3/1											
15 – 17cm	T	wenig durchwurzelt, mittel humos; subpolyedrisch, karbonatarm, skeletthaltig, glimmerführend; braungrau 2.5 Y 6/2											
17 – 22cm	T+Cv	kaum durchwurzelt, mittel humos; subpolyedrisch, karbonathaltig, skelettreich (75%) mit Tonlinsen als Matrix; beigebraun 10 YR 8/3											
>12cm	II ICv	Moränenstreu aus Wettersteinkalk mit Residualtontapeten; weiß 10 YR 8/1											
29.1.1 Probenentnahme:													
Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer										
ZP 29/0	Oh	0-15cm	ZP 4/0 (Oh 0-15cm)										
ZP 29/1 07.08.02	T	15-17cm	ZP 4/1 (Bcv 15-17cm)										
ZP 29/2 07.08.02	TCv	17-22cm											
ZP 29/3 07.08.02	II ICv	>22cm	ZP 4/2 (II ICv >15cm)										
29.1.2 Bodenfarbansprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)													
Probe Nr.	Horizont	[cm]	trocken				naß						
ZP 29/0	Oh	0-15	2,5 Y 3/1	very dark grey	2,5 Y 2,5/1	black							
ZP 29/1	T	15-17	10 YR 7/6	yellow	10 YR 6/6	brownish yellow							
ZP 29/2	T+Cv	17-22	10 YR 8/3	very pale brown	10 YR 6/3	pale brown							
ZP 29/3	ICv	>22	10 YR 8/1	white	10 YR 8/2	very pale brown							
29.2. Bodenanalytische Werte													
29.2.1 Korngrößenverteilung													
Probe Nr.	Horizont	[cm]	Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)										
			Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T < 2	S	U	T
ZP 29/0	Oh	0-15	15,0	3,4	3,1	6,5	19,1	29,5	15,2	23,0	13,0	63,8	23,0
ZP 29/1	T	15-17	2,0	0	1,7	11,6	10,1	13,6	22,9	41,5	13,3	46,6	41,5
ZP 29/2	TCv	17-22	50,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
ZP 29/3	ICvLR	>22	Moräne	2,5	8,9	2,9	0,9	21,0	33,2	30,6	14,3	55,1	30,6
29.2.2 Bodenphysikalische Indices													
Probe Nr.	Horizont	[cm]	Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)						Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S= Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm				
			U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart		Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe	
ZP 29/0	Oh	0-15	2,8	0,4	4,9	6,7	1,5	0,8	schluffiger L		Tonschluff	U	
ZP 29/1	T	15-17	1,1	0,9	3,5	6,6	1,3	2,3	mi toniger L		Schluffton	T	
ZP 29/2	II ICvLR	>22	1,8	0,5	3,8	6,0	23,3	36,7	mi schluffiger T		Schluffton	T	

## Zugspitzplatt – Profil 29: ZP\_P29, Catena 4 (Plattsteig- Brunntal)

29.2.3 Bodenchemische Werte																				
Probe			Kennwerte des Feinbodens /Lösungsresiduums LR																	
			pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>a</sub>							
Al	Fe <sub>d</sub>	Mn																		
Nr.	Horizont	[cm]																		
ZP 29/1	T	15-17	7,0	10,2	2,1	3,6	0,25	8,4	0,33	2,10	0,03	0,09	0,04							
29.3 Mineralanalytische Werte																				
29.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)																				
Hauptelementgehalte [%]																				
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc					
ZP 29/1	35,22	28,76	12,47	1,72	10,75	0,09	2,7	1,48	0,20	2,12	1,08	0,16	5,51	18,0	82,88					
Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
ZP 29/1	218	106	24	135	42	30	46	20	39	94	55	117	<0,1	65	19	7	195	45	708	216
29.3.2 Geochemische Indices																				
Geochemische Indices																				
Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba										
ZP 29/1	1,22	0,16	0,55	0,70	0,01	10,6	1,75	76,78	4,18	0,30										
29.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)																				
Gesamtspektrum (Kornzahl- %): Fraktion 0,1-0,25mm																				
Probe	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme								
ZP 29/1	20	12	4	2	2	10	0	0	36	14	0	50 <sup>1)</sup>								
Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%): Fraktion 0,1-0,25mm																				
Probe	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme									
ZP 29/1	15	5	2	2	13	0	0	45	17	0	40 <sup>1)</sup>									
1) G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit); 1) Beachte schlechtere Statistik wegen geringer Kornpopulation!																				
Beschreibung des Schwermineralspektrums																				
- geringe SM-Menge, braun, kaum Fraktion >0,1mm, Material relativ frisch!, geringer Opakanteil, karbonatreich, vereinzelt, magnetische Körner																				
29.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA)																				
Probe	Relative Tonminerale in der Fraktion <0,002mm [Rel.- %]							Kommentar												
ZP 29/1	ML <sub>ill</sub> <sup>2)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kaolinit <sup>3)</sup>	Chlorit	Σ K+Ch	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit												
	0	37	29	34	63	-	-	-												
2) ML <sub>ill</sub> = unregelmäßige illitreiche Wechsellagerungsminerale																				
3) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar), Index zeigt randliche Aufweitung der Schichten an																				
4) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)																				
Probe	Verteilung sonstiger Minerale																			
ZP 29/1	Hauptkomponente	Nebenkompente					wenig	Spuren / Bemerkungen												
	Qz	Cc>KF>Alb					Dol													
	Relative Häufigkeit [Rel.%] ohne Quarz (bezogen auf 100%)																			
	KF	Alb					Cc	Dol												
	26	21					37	16												
Qz = Quarz; KF = Kalifeldspäte; Alb = Albit; Cc = Calcit; Dol = Dolomit																				



## Reiteralpe – Profil 1: RA\_P1, Catena 4 (Saugasse, Ost)

1. 1 Profilbeschreibung			
Bodentyp:		Rendzina-Terra fusca aus Residualton von rotgeädertem Dachsteinkalk, z.T. tektonisch brekziiert	
Klasse:		Terraes calcis	
Höhe / Neigung / Exposition / Höhenstufe		1570m / 10° / NNW, obere subalpine Stufe	
Lage und Relief:		R / H ; Schichtkopfkarrst, Karstgasse	
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		aufgelockertes Alpenrosen-Latschen-Gebüsch ( <i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> ) mit <i>Sesleria varia</i>	
C-Horizont:		Dachsteinkalk, rot geädert und brekziiert der Reiteralp-Fazies (Nor)	
Profilmächtigkeit:		14cm	
Horizontfolge:		Ah / Bv-T / mCn	
0-1cm	Ah	Graswurzelfilz, feinerdearm, dicht, glimmer- und sandhaltig; sandig-lehmiger	
0-1cm	Ah	Graswurzelfilz, feinerdearm, dicht, glimmer- und sandhaltig; sandig-lehmiger Schluff, dunkelgrau 7,5 YR 4/1	
1 - 14cm	Bv-T	durchwurzelt, mittel humos; dicht, subpolyedrisch, skelettfrei, glimmerführend, mittel karbonathaltig mit sekundärer Kalkausfällung in Nestern; als Kluffüllung in mCn ausgreifend; stark schluffiger Ton; hellbraun 7,5 YR 6/4	
>14cm	mCn	rotgeädertes Dachsteinkalk, z.T. tektonisch brekziiert mit Residualtontapeten; 5 YR 8/2	
1.1.1 Probenentnahme			
Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer
RA 1/1 27.08.01	Bv-T	1-14cm	RA 1/1 (Bv-T 0-14cm)
RA 1/2 27.08.01	mCn	>14cm	RA 1/2 (mCn >14cm)
1.1.2 Bodenfarbensprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)			
Probe		trocken	naß
RA 1/1 Bv-T 1-14		7,5 YR 6/4 light brown	7,5 YR 5/6 strong brown
RA 1/2 mCn >14		5 YR 8/2 pinkish white	5 YR 8/3 pink



# Reiteralpe – Profil 1: RA\_P1, Catena 4 (Saugasse, Ost)

## 1.2 Bodenanalytische Werte

### 1.2.1 Korngrößenverteilung

Nr.	Horizont	[cm]	Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)										
			Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T < 2	S	U	T
RA 1/1	Bv-T	1-14	0	0	0	3,8	17,6	27,3	28,7	22,7	3,8	73,6	22,7
RA 1/2	mCn LR	>14	0	0	16,3	11,3	8,5	22,4	23,0	18,4	27,6	53,9	18,4

### 1.2.2 Bodenphysikalische Indices

Nr.	Horizont	[cm]	Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)						Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm			
			U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Hauptgruppe	
RA 1/1	Bv-T	1-14	3,2	0,3	19,5	25,5	1,6	1,6	st toniger U		Tonschluff	U
RA 1/2	mCn LR	>14	2,9	0,3	1,9	2,6	2,6	1,2	schluffiger L		Tonschluff	U

### 1.2.3 Bodenchemische Werte

Nr.	Horizont	[cm]	Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR										
			pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>o</sub>
									Al	Fe <sub>d</sub>	Mn		
RA 1/1	Bv-T	1-14	5,3	5,2	1,86	3,2	0,15	12,4	n.b.	3,40	n.b.	1,40	0,4
RA 1/2	mCn LR	>14	8,2	95,6	0,06	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Nr.	Horizont	[cm]	KAKeff [mmol/kg]											Basensättigung [%]		
			K [%]	Na [%]	Mg [%]	Ca [%]	Al [%]	H <sup>+</sup> [%]	Σ KAK							
RA 1/1	Bv-T	1-14	0	0	1,22	2,6	1,20	2,6	34,49	75,2	4,83	10,5	4,14	9,0	45,88	80,0

## 1.3 Mineralanalytische Werte; 1.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Probe	Hauptelementgehalte [%]														
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.
RA 1/1	45,70	17,55	8,19	0,82	7,24	0,18	1,36	1,15	0,70	1,69	1,06	0,23	3,75	20,83	78,18
RA 1/2	0,54	0,33	0,14	<0,10	n.b.	<0,01	0,60	54,73	<0,20	0,05	<0,05	<0,02	0,08	43,38	56,54

Probe	Spurenelementgehalte [ppm]																			
	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
RA 1/1	324	118	13	112	16	24	58	29	52	38	91	110	0,2	100	14	<5	135	66	333	325
RA 1/2	<50	<50	<10	<15	<10	<5	<15	<5	<10	<10	<15	<15	<0,10	109	<10	<5	9	<5	13	<10

### 1.3.2 Geochemische Indices

Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba
RA 1/1 Bv-T 0-14cm	2,60	0,11	0,85	0,68	0,04	2,41	0,20	71,44	2,51	0,31
RA 1/2 mCv >14cm	1,64	-	91,22	-	-	-	-	1,01	55,33	2,78

### 1.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Probe	Gesamtspektrum (Kornzahl-%); Fraktion 0,1-0,25mm												Kornsumme
	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>1)</sup>		
RA 1/1 Bv-T 1-14cm	37	11	5	8	1	2	2	0	5	29	0	300	

Probe	Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm										Kornsumme
	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	
RA 1/1 Bv-T, 1-14cm	1	4	0	4	16	3	0	39	31	4	108

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen; And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit); <sup>1)</sup> Sonstige in RA 1/1 (Kornzahl): insgesamt Chlorite (5), Chloritoide (2)

#### Beschreibung des Schwermineralspektrums

sehr geringe SM-Menge, sehr wenige in der Fraktion >0,1mm; deutlicher Gehalt an magnetische Mineralen; mäßiger Opakanteil, Hornblende deutlich angelöst und oft braunfleckig, mehr Epidot als Zoisit; Granat wenig angelöst mit z.T. braunen Überzügen; Karbonatkörner

### 1.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA) - Tonminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Probe	Relative Tonmineralegehalte in der Fraktion <0,002mm (Rel.-%)					Kommentar		
	ML <sub>mix</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kt <sup>3)</sup>	Cl <sup>3)</sup>	Σ Kt+Cl	Menge	Kristallisation	Quellfähigkeit
RA 1/1 Bv-T 0-14cm	47	21	16	16	32	klein	mäßig	kaum

<sup>1)</sup> ML<sub>mix</sub> = Mixed-layer-Material, d.h. unregelmäßige Wechsellagerungsminerale aus Illit und Smektit, reich an Illit (>60 Rel.-% Illite); <sup>2)</sup> Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar); <sup>3)</sup> Kaolinit (7 Å-Mineral); <sup>4)</sup> Chlorit (7 Å-Mineral)



## Reiteralpe – Profil 2: RA\_P2, Catena 4 (Saugasse, Ost)

2.1 Profilbeschreibung			
Bodentyp:		Rendzina-Terra fusca aus bunter Dachsteinkalk -Brekzie	
Klasse:		Terraes calcis	
Höhe / Neigung / Exposition		1540m / 8° / 330° NNW, subalpine Krummholzzone	
Lage und Relief:		R / H ; Schichtkopkarst, Karstgasse, Kluftkarrenfüllung	
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		aufgelockertes Alpenrosen-Latschen-Gebüsch ( <i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> ) mit <i>Sesleria varia</i>	
C-Horizont:		Dachsteinkalk, rot, brekziiert der Reiteralp-Fazies (Nor)	
Profilmächtigkeit:		25cm	
Horizontfolge:		Ah / Bv-T / mCn	
0-5cm	Ah	Graswurzelfilz, kaum Feinerde, krümelig, stark humos; schluffiger Lehm	
5 - 25cm	(Bv-)T / mCn	durchwurzelt, mittelhumos; dicht, polyedrisch, plastisch, skelettfrei, schwach karbonathaltig, Glimmer u. Feinsand führend; nach unten vereinzelt Steine, braunrot, 5 YR 5/6	
>25cm	mCn	roter Dachsteinkalk, brekziiert, mit Residualtontapeten; 5 YR 7/6	
2.1.1 Probenentnahme			
Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer
RA 2/1 27.08.01	Bv-T	1-15cm	RA 2/1 (Bv-T 0-15cm)
RA 2/2 27.08.01	mCn	>15cm	RA 2/2 (mCn >15cm)
2.1.2 Bodenfarbensprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)			
Probe		trocken	naß
RA 2/1	Bv-T 1-15	5 YR 5/6 yellowish red	5 YR 4/6 yellowish red
RA 2/2	mCn >15	5 YR 7/6 reddish yellow	5 YR 6/8 reddish yellow



## Reiteralpe – Profil 2: RA\_P2, Catena 4 (Saugasse, Ost)

### 2.2 Bodenanalytische Werte

#### 2.2.1 Korngrößenverteilung

Probe			Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)										
Nr.	Horizont	[cm]	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	S	U	T
RA 2/1	Bv-T	1-15	2,3	0	0	0	16,6	28,2	28,2	26,7	0	73	26,7
RA 2/2	mCn LR	>15	0	1,2	12,5	8,2	0,0	17,1	28,0	33,0	21,9	45,1	33,0

#### 2.2.2 Bodenphysikalische Indices

Probe			Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)					Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm			
Nr.	Horizont	[cm]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe
RA 2/1	Bv-T	1-15	2,7	0,4	-	-	1,7	1,7	st schluffiger Ton	Schluffton	Ton
RA 2/2	mCn LR	>15	1,4	0,7	2,1	3,6	-	-	sw toniger L	typ. Lehm	Lehm

#### 2.2.3 Bodenchemische Werte

Probe			Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR										
Nr.	Horizont	[cm]	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>o</sub>
									Al	Fe <sub>d</sub>	Mn		
RA 2/1	Bv-T	1-15	6,8	3,7	2,90	5,0	0,23	12,6	n.b.	3,20	n.b.	1,30	0,4
RA 2/2	mCn	>15	7,9	81,8	0,12	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Probe			KAKeff [mmol/kg]										Basen-sättigung [%]			
Nr.	Horizont	[cm]	K	[%]	Na	[%]	Mg	[%]	Ca	[%]	Al	[%]		H <sup>+</sup>	[%]	Σ KAK
RA 2/1	Bv-T	1-15	0	0	1,29	1,0	1,53	1,2	125,18	96,7	0,31	0,2	0,79	0,6	129,10	99,1

### 2.3 Mineralanalytische Werte; 2.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Hauptelementgehalte [%]															
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.
RA 2/1	60,22	16,92	7,04	1,40	5,45	0,12	2,20	0,80	0,87	2,72	1,10	0,11	2,00	6,79	92,33
RA 2/1	1,30	4,87	1,74	<0,10	n.b.	<0,01	0,37	49,65	<0,20	0,05	0,21	0,04	0,19	41,25	58,33

Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
RA 2/1	387	102	23	135	27	20	49	23	44	79	30	117	<0,10	119	15	<5	140	39	106	302
RA 2/1	<50	<50	<10	<15	<10	5	<15	6	<10	13	<15	<15	<0,10	194	<10	<5	30	<5	17	40

#### 2.3.2 Geochemische Indices

Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba
RA 2/1 Bv-T 1-15cm	3,65	0,25	0,36	0,29	0,05	3,13	0,26	84,18	3,00	0,31
RA 2/2 mCv >15cm	0,27	-	134,19	993	-	-	-	7,91	50,02	3,88

#### 2.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe <sup>1)</sup>	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>2)</sup>	Kornsumme
RA 2/1 Bv-T 1-15cm	9	3	1	3	4	2	1	0	25	45	8	300

Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe <sup>1)</sup>	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme	
RA 2/1 Bv-T 1-15cm	3	1	3	4	2	1	0	27	49	9	273	

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit); <sup>1)</sup> Korngröße < 0,1mm; <sup>2)</sup> Sonstige in P2/1 (Kornzahl): insgesamt Chlorite (12), Chloritoide (10), Pyroxene (2)

#### Beschreibung des Schwermineralspektrums

- Geringe SM-Menge, wenige in der Fraktion >0,1mm ganz vereinzelt magnetische Körner; sehr opakreich, Körner häufig mit Zackenrändern polykristalline Hornblende-Aggregate; zahlreich vererzte Leichtminerale mit rotbraunen Krusten; Granat angelöst mit z.T. braunen Überzügen, 1 Rutil-Kniezwilling

#### 2.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA) - Tonminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Probe	Relative Tonminerale in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]					Kommentar		
	ML <sub>mm</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kt <sup>3)</sup>	Ct <sup>4)</sup>	Σ Kt+Ct	Menge	Kristallisation	Quellfähigkeit
RA 2/1 Bv-T 1-15cm	23	28	18	31	49	klein	mäßig	kaum

<sup>1)</sup> ML<sub>mm</sub> = Mixed-layer-Material, d.h. unregelmäßige Wechsellagerungsminerale aus Illit und Smektit, reich an Illit (>60 Rel.-% Illite); <sup>2)</sup> Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar); <sup>3)</sup> Kaolinit (7 Å-Mineral); <sup>4)</sup> Chlorit (7 Å-Mineral)



## Reiteralpe – Profil 3: RA\_P3, Catena 3 (Alpasteig, West)

3.1 Profilbeschreibung																
Bodentyp:		Rendzina-Terra fusca über rotem Dachsteinkalk														
Klasse:		Terrae calcis														
Höhe / Hangneigung / Exposition		1650m / 2° Karstspalte/ , subalpine Krummholzzone														
Lage und Relief:		R / H ; Schichtkopkarst, Kluffüllung														
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		aufgelockertes Alpenrosen-Latschen-Gebüsch ( <i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> ) mit <i>Sesleria varia</i>														
Profilmächtigkeit:		15cm														
Horizontfolge:		Ah / Ah+Bv-Tc / mCv														
0-1cm	Ah	Graswurzelfilz														
1 - 15cm	Ah+Bv-Tc	intensiv durchwurzelt, stark humos, Humus in Schlieren oder Flecken; mäßig dicht, krümelig bis subpolyedrisch, Kalk-Pseudomycel, stark karbonathaltig, ab 13cm Skelettgehalt in Form von einzelnen Gesteinsbruchstücken >2mm zunehmend; Glimmer u. Feinsand führend; stark toniger Schluff; braun 7,5 YR 3/3														
>15cm	mCv	roter Dachsteinkalk z.T. in Bruchstücke verwittert, geht in kompakte Schichtrippen mit Residualtontapeten über; 5 YR 8/4														
3.1.1 Probenentnahme																
Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer													
P3/1 30.09.01	Ah+Bv-Tc	0-15cm	P3/1 (Ah+Bv-Tc 0-15cm)													
P3/2 30.09.01	mCv	>15cm	P3/2 (mCv >15cm)													
3.1.2 Bodenfarbansprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)																
Probe		trocken	naß													
RA 3/1	Ah+Bv-Tc	1-15	7,5 YR 3/3	dark brown	7,5 YR 2,5/3	very dark brown										
RA 3/2	mCv	>15	5 YR 8/4	pink	5 YR 7/8	reddish yellow										
3.2. Bodenanalytische Werte																
3.2.1 Korngrößenverteilung																
Probe	Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)															
Nr.	Horizont	[cm]	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T < 2	S	U	T			
RA 3/1	Ah+Bv-Tc	1-15	54,1	5,3	1,9	5,7	35,2	12,6	17,5	17,5	12,9	65,3	21,6			
RA 3/2	mCv LR	>15	0	0	0	4,5	27,2	4,5	27,0	32,3	0	67,7	32,3			
3.2.2 Bodenphysikalische Indices																
Probe	Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)							Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm								
Nr.	Horizont	[cm]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart		Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe				
RA 3/1	Ah+Bv-Tc	1-15	3,0	0,3	5,1	6,7	0,4	0,5	st toniger U		Tonschluff	U				
RA 3/2	mCv	>15	2,1	0,5	-	-	6,0	8,0	st schluffiger T		Schluffton	T				
3.2.3 Bodenchemische Werte																
Probe	Kennwerte des Feinbodens /Lösungsresiduums LR															
Nr.	Horizont	[cm]	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>			
									Al	Fe <sub>d</sub>	Mn					
RA 3/1	Ah+Bv-Tc	1-15	7,7	10,3	15,01	25,8	1,27	11,8	n.b.	1,50	n.b.	1,30	0,86			
RA 3/2	mCv	>15	7,9	89,4	0,08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			
Probe	KAKeff [mmol/kg]															
Nr.	Horizont	[cm]	K [%]	Na [%]	Mg [%]	Ca [%]	Al [%]	H <sup>+</sup> [%]	Σ KAK	Basen-sättigung [%]						
RA 3/1	Ah+Bv-Tc	1-15	0	0	2,25	2,3	2,45	2,6	90,36	94,1	0,50	0,5	0,41	0,4	95,97	99,0

## Reiteralpe – Profil 3: RA\_P3, Catena 3 (Alpasteig, West)

### 3.3 Mineralanalytische Werte

#### 3.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Hauptelementgehalte [%]															
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.
RA 3/1 Ah+Bv-Tc 1-15cm	36,41	18,29	7,29	1,10	6,01	0,18	1,42	2,29	0,55	1,43	0,89	0,42	4,32	30,16	69,44
RA 3/2 mCv >15cm	1,68	1,18	0,48	<0,10	n.b.	<0,01	0,51	53,01	<0,20	0,08	0,05	0,05	0,16	42,31	57,13

Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
RA 3/1 Ah+Bv-Tc 1-15cm	239	144	16	118	14	21	79	24	55	45	92	100	<0,10	93	17	<5	114	128	427	269
RA 3/2 mCv >15cm	<50	<50	<10	<15	<10	<5	<15	<5	<10	<10	<15	<15	<0,10	109	<5	<5	9	<5	13	<10

#### 3.3.2 Geochemische Indices

Geochemische Indices										
Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba
RA 3/1 Ah+Bv-Tc 1-15cm	1,99	0,15	1,61	1,60	0,03	2,60	2,92	61,99	3,71	0,39
RA 3/2 mCv >15cm	1,42	-	103,94	662	-	-	-	3,34	53,52	-

#### 3.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe <sup>1)</sup>	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>2)</sup>	Kornsumme
RA 3/1 Ah+Bv-Tc 1-15cm	20	6	3	3	3	6	0	0	36	16	7	69

Resispektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe <sup>1)</sup>	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme	
RA 3/1 Ah+Bv-Tc 1-15cm	9	9	0	0	0	0	0	27	55	0	11	

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit);

<sup>1)</sup> Achtung nur sehr geringe Kornzahl, deshalb Aussagekraft eingeschränkt

<sup>2)</sup> Sonstige in RA 3/1 (Kornzahl): keine Angabe

Beschreibung des Schwermineralspektrums
- mäßige SM-Menge, wenige in der Fraktion >0,1mm, blaß-gelblich, ganz vereinzelt magnetische Körner
- sehr karbonatreich (mikritische Körner); opakreich, opake Körner meist gut gerundet
- zahlreiche vererzte Leichtminerale und Karbonate
- Zirkone sehr klein, vereinzelt sphärische Kieselalgen

#### 3.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA) - Tonminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Probe	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]					Kommentar		
	ML <sub>III</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kt <sup>3)</sup>	Ct <sup>4)</sup>	∑ Kt+Ct	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit
RA 3/1 Ah+Bv-Tc 1-15cm	keine Aussage möglich							

<sup>1)</sup> ML<sub>III</sub> = Mixed-layer-Material, d.h. unregelmäßige Wechsellagerungsminerale aus Illit und Smektit, reich an Illit (>60 Rel.-% Illite)

<sup>2)</sup> Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar)

<sup>3)</sup> Kaolinit (7 Å-Mineral);

<sup>4)</sup> Chlorit (7 Å-Mineral)



## Reiteralpe – Profil 4: RA\_P4, Catena 3 (Reitertrett)

4.1 Profilbeschreibung																
Bodentyp:		Braunerde aus äolischer Deckschicht (Äolium-Kolluvium) über Dachsteinkalk														
Klasse:		Braunerde														
Höhe / Neigung / Exposition		1650m / 8° / 200°S / Unterhang, subalpine Krummholzzone														
Lage und Relief:		R / H ; Schichtkopkarst														
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		aufgelockertes Alpenrosen-Latschen-Gebüsch ( <i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> ) mit <i>Sesleria varia</i>														
Profilmächtigkeit:		28cm														
Horizontfolge:		Ah / Bv1 / Bv2 / IlmCn														
0 - 2cm	Ah	extrem durchwurzelt, Graswurzelfilz, stark humos, kaum Feinerde; krümelig; skelettfrei, schwach karbonathaltig, glimmerführend; toniger Schluff; graubraun 10 YR 5/2														
2 – 25cm	Bv1	durchwurzelt, stark humos; mäßig locker, krümelig bis subpolyedrisch, skelettfrei, schwach karbonathaltig; stark glimmer- und feinsandführend; schluffig-lehmiger Sand; gelbbraun 10 YR 6/4														
25 – 28cm	Bv2	mäßig durchwurzelt, stark humos; mäßig dicht, krümelig bis subpolyedrisch, schwach skelett- und karbonathaltig; Glimmer; fühlbar toniger; sandig-lehmiger Schluff; hellbraun 10 YR 7/4														
>28cm	IlmCn	rotgeädertes Dachsteinkalk, wenig angewittert; 5 YR 8/2														
4.1.1 Probenentnahme																
Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer													
RA 4/1 30.09.01	Bv1	2-25cm	RA 4/1 (Bt1 2-25cm)													
RA 4/2 30.09.01	Bv2	25-28cm	RA 4/2 (Bt2 25-28cm)													
RA 4/3 30.09.01	IlmCn	>28cm	RA 4/3 (mCn >28cm)													
4.1.2 Bodenfarbansprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)																
Probe			trocken					naß								
Nr.	Horizont	[cm]														
RA 4/1	Bv1	2-25	10 YR 6/4	light yellowish brown			7,5 YR 5/6	strong brown								
RA 4/2	Bv2	25-28	10 YR 7/4	very pale brown			7,5 YR 5/6	strong brown								
RA 4/3	IlmCn	>28	5 YR 8/2	pinkish white			5 YR 8/3	pink								
4.2. Bodenanalytische Werte; 4.2.1 Korngrößenverteilung																
Probe	Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)															
Nr.	Horizont	[cm]	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T < 2	S	U	T			
RA 4/1	Bv1	2-25	0	0	1,0	41,3	18,3	17,0	12,3	9,5	42,3	47,6	9,5			
RA 4/2	Bv2	25-28	3,8	0	1,0	21,5	21,4	24,7	17,9	13,3	22,5	64,0	13,3			
RA 4/3	IlmCn LR	>28	0	0	0	0	0	28,6	39,2	32,2	0	67,9	32,2			
4.2.2 Bodenphysikalische Indices																
Probe	Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)							Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm								
Nr.	Horizont	[cm]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart		Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe				
RA 4/1	Bv1	2-25	5,0	0,2	1,1	1,3	0,9	0,7	schluffig-lehmiger S		Sandlehm	L				
RA 4/2	Bv2	25-28	4,8	0,2	2,8	3,4	1,2	0,8	sand.-lehmiger Schluff		Lehmschluff	U				
RA 4/3	IlmCn LR	>28	2,1	0,5	-	-	-	-	st schluffiger Ton		Schluffton	T				
4.2.3 Bodenchemische Werte																
Probe	Kennwerte des Feinbodens /Lösungsresiduums LR															
Nr.	Horizont	[cm]	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>o</sub>			
									Al	Fe <sub>d</sub>	Mn					
RA 4/1	Bv1	2-25	5,2	3,1	2,97	5,1	0,26	11,4	0,26	1,41	0,05	0,33	0,23			
RA 4/2	Bv2	25-28	6,0	3,4	3,20	5,5	0,29	11,0	0,22	1,11	0,04	0,33	0,30			
RA 4/3	IlmCn LR	>28	8,1	96,1	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			
Probe	KAKeff [mmol/kg]															
Nr.	Horizont	[cm]	K [%]	Na [%]	Mg [%]	Ca [%]	Al [%]	H <sup>+</sup> [%]	Σ KAK	Basen-sättigung [%]						
RA 4/1	Bv1	2-25	0	1,37	1,6	1,68	2,0	80,75	94,8	0,49	0,6	0,86	1,0	85,16	98,8	
RA 4/2	Bv2	25-28	3,74	3,2	1,36	1,2	1,98	1,7	106,37	92,5	0,48	0,4	0,96	0,8	114,88	98,7

## Reiteralpe – Profil 4: RA\_P4, Catena 3 (Reitertrett)

### 4.3 Mineralanalytische Werte

#### 4.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Hauptelementgehalte [%]

Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.
RA 4/1 Bv1 2-25cm	57,53	17,31	7,22	0,89	6,21	0,16	1,71	1,22	0,80	2,00	1,15	0,15	2,45	10,33	89,51

Spurenelementgehalte [ppm]

Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
RA 4/1 Bv1 2-25cm	314	116	22	151	17	21	57	26	50	68	38	103	<0,10	115	12	<5	142	67	145	344

#### 4.3.2 Geochemische Indices

Geochemische Indices

Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba
RA 4/1 Bv1 2-25cm	3,32	0,14	0,71	0,61	0,05	2,50	0,23	82,06	2,93	0,37

#### 4.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1-0,25mm

Probe <sup>1)</sup>	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>2)</sup>	Kornsumme
RA 4/1 Bv1 2-25cm	g	10	4	7	3	3	1	0	9	52	2	300

Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm

Probe <sup>1)</sup>	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme
RA 4/1 Bv1 2-25cm	11	4	8	3	4	1	0	10	57	2	272

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit);

<sup>1)</sup> = Korngröße < 0,1mm; <sup>2)</sup> Sonstige in RA 4/1 (Kornzahl): Chloritoide (6)

Beschreibung des Schwermineralspektrums:

- sehr geringe SM-Menge, gelblich-braun, nur wenige Körner >0,1mm
- Dominanz von Granat, Staurolith, Zirkon, Epidot; große Menge an Zoisit sowie frische grüne Hornblende
- „Molasseartiges“ Spektrum
- wenige Opake; kein Karbonat
- sehr reich an magnetischen Mineralen, 3 Rutil-Kniezwillinge

#### 4.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA) - Tonminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Probe	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]					Kommentar		
	ML <sub>Illit</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kt <sup>3)</sup>	Ct <sup>3)</sup>	Σ Kt+Ct	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit
4/1 Bv1 2-25cm	44	12	28	16	44	hoch	gut	kaum

1) ML<sub>Illit</sub> = Mixed-layer-Material, d.h. unregelmäßige Wechsellagerungsminerale aus Illit und Smektit, reich an Illit (>60 Rel.-% Illite)

2) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar)

3) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)



## Reiteralpe Profil 5: RA\_P5, Catena 3 (Alpsteig-Plateaurand West)

5.1 Profilbeschreibung																				
Bodentyp:		Flachgründige Rendzina-Terra fusca aus Residualton																		
Klasse:		Terraes calcis																		
Höhe / Hangneigung / Exposition		1680m / 2° Karstspalte/ , subalpine Krummholzzone																		
Lage und Relief:		R / H ; Schichtkopkarst, Kluffüllung																		
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		aufgelockertes Alpenrosen-Latschen-Gebüsch ( <i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> ) mit <i>Sesleria varia</i>																		
Profilmächtigkeit:		20cm																		
Horizontfolge:		Bv-T/ mCn																		
0-20cm	Bv-T	intensiv durchwurzelt, sehr stark humos; mäßig dicht, krümelig bis subpolyedrisch, schwach karbonathaltig; Glimmer führend; mittel schluffiger Ton; hellbraun 10 YR 6/4																		
>20cm	mCn	anstehender weißer Dachsteinkalk mit Kalzit verheilten Haarrissen und rauher Verwitterungsoberfläche + Toncutanen; 7, 5 YR 8/1																		
5.1.1 Probenentnahme:																				
Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer																	
RA 5/1 30.09.01	Bv-T	0-20cm	RA 5/1 (Bt 0-20cm)																	
RA 5/2 30.09.01	mCn	>20cm	RA 5/2 (Cv >20cm)																	
5.1.2 Bodenfarbensprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)																				
Probe	[cm]	trocken	naß																	
RA 5/1	Bv-T 0-20	10 YR 6/4	light yellowish brown	7,5 YR 4/6							strong brown									
RA 5/2	mCn >20	7,5 YR 8/1	white	7,5 YR 8/1							white									
5.2 Bodenanalytische Werte																				
5.2.1 Korngrößenverteilung																				
Probe	Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)																			
Nr.	Horizont	[cm]	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	S	U	T							
RA 5/1	Bv-T	0-20	0	0,5	0	4,8	29,0	18,5	11,9	35,2	5,3	59,4	35,2							
RA 5/2	mCn LR	>20	0	0	0,9	1,0	0	25,6	39,8	32,6	2,9	65,4	32,6							
5.2.2 Bodenphysikalische Indices																				
Probe	Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)								Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm											
Nr.	Horizont	[cm]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart			Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe							
RA 5/1	Bv-T	0-20	1,7	0,6	11,2	17,8	0,6	0,4	mi schluffiger Ton			Schluffton	T							
RA 5/2	mCn LR	>20	2,0	0,5	22,6	33,8	-	-	mi schluffiger Ton			Schluffton	T							
5.2.3 Bodenchemische Werte																				
Probe	Kennwerte des Feinbodens /Lösungsresiduums LR																			
Nr.	Horizont	[cm]	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>							
									Al	Fe <sub>d</sub>	Mn									
RA 5/1	Bv-T	0-20	6,4	3,45	4,47	7,72	0,46	9,7	0,27	7,01	0,04	1,72	0,24							
RA 5/2	mCn LR	>20	8,0	95,8	0,05	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.							
Probe	KAKeff [mmol/kg]																			
Nr.	Horizont	[cm]	K [%]	Na [%]	Mg [%]	Ca [%]	Al [%]	H <sup>+</sup> [%]	∑ KAK	Basen-sättigung [%]										
RA 5/1	Bv-T	0-20	0	0	0,76	0,7	1,74	1,7	96,67	96,0	0,50	0,5	1,0	1	100,68	98,5				
5.3. Mineralanalytische Werte ; 5.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)																				
Hauptelementgehalte [%]																				
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.					
RA 5/2 mCn	0,12	<0,12	<0,05	<0,10	n.b.	<0,01	0,63	55,60	<0,20	<0,05	<0,05	<0,02	0,06	43,48	56,45					
Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
RA 5/2 mCn >20cm	<50	<50	<10	<15	<10	<5	<15	<5	<10	<10	<10	<15	<0,10	154	<10	<5	<5	6	<10	<10

## Reiteralpe Profil 6: RA\_P6, Catena 3 (Alpasteig, Dolinenfeld)

6.1 Profilbeschreibung					
Bodentyp:		Podsolige äolische Braunerde, leicht pseudovergleyt			
Klasse:		Braunerde			
Höhe / Neigung / Exposition		1650m / 0° / - / Blaugras-Horstseggenrasen			
Lage und Relief:		R / H ; Dolinenfeld, z.T. wassergefüllte Hohlformen			
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		Blaugras-und Rostseggenflur ( <i>Seslerietalia variae</i> )			
Profilmächtigkeit:		50cm			
Horizontfolge:		Aeh / Sw-Bsv / Sd-Btv / mCv			
0 - 7cm	Aeh	durchwurzelt, sehr stark humos; locker, krümelig, skelettfrei, karbonatarm, sehr stark glimmerführend; leicht gebleicht, z.T. Roststiche in den Aggregaten; sandig-lehmiger Schluff; graubraun 10 YR 6/3			
7-40cm	Sw-Bsv	durchwurzelt, stark humos, Humos in Schlieren verzogen; locker, krümelig, skelettfrei, karbonatarm, sehr stark glimmerführend, rostfleckig, Tonbeläge; mittel toniger Lehm; gelb 10 YR 7/6			
40-50cm	Sd-Btv	schwach durchwurzelt, mittel humos; mäßig dicht, subpolyedrisch bis polyedrisch, skelettfrei, karbonathaltig, stark glimmerführend; leicht marmoriert, Manganpunkte, Roststiche; stark schluffiger Ton; hellfahlbraun 10 YR 7/4			
>50cm	IlmCv	weißer Kalk mit Kalzit verheilten Haarrissen und braunen Tonüberzügen, angewittert; weiß 7,5 YR 8/1			
6.1.1 Probenentnahme:					
Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer		
RA 6/1 30.09.01	Aeh	0-7cm	RA 6/1 (Aeh 0-7cm)		
RA 6/2 30.09.01	Sw-Bsv	7-40cm	RA 6/2 (Sw-Bsv) 7-40cm)		
RA 6/3 30.09.01	Sd-Btv	40-50cm	RA 6/3 (Sd-Bv) 40-50cm)		
RA 6/4 30.09.01	mCv	>50cm	RA 6/4 (mCv >50cm)		
6.1.2 Bodenfarbensprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)					
Probe Nr.	Horizont [cm]	trocken		naß	
RA 6/1	Aeh 0-7	10 YR 6/3	pale brown	10 YR 4/3	brown
RA 6/2	Sw-Bsv 7-40	10 YR 7/6	yellow	10 YR 5/6	yellowish brown
RA 6/3	Sd-Btv 40-50	10 YR 7/4	very pale brown	10 YR 5/4	yellowish brown
RA 6/4	mCv >50	7,5 YR 8/1	white	7,5 YR 8/1	white





## Reiteralpe Profil 6: RA\_P6, Catena 3 (Alpsteig, Dolinenfeld)

keine Schwer- und Tonmineralanalysen von RA Profil 6

### 6.2. Bodenanalytische Werte

#### 6.2.1 Korngrößenverteilung

Probe		Korngrößen [ $\mu\text{m}$ ] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)											
Nr.	Horizont	[cm]	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T < 2	S	U	T
RA 6/1	Aeh	0-7	0	0,6	3,5	22,1	25,2	27,5	9,2	11,9	26,2	61,9	11,9
RA 6/2	Sw-Bsv	7-40	0	0	0	2,8	31,5	30,3	18,2	17,5	2,8	80,0	17,5
RA 6/3	Sd-Btv	40-50	0	0	1,2	1,6	11,6	33,2	30,4	22,0	2,8	75,2	22,0
RA 6/4	mCv	>50	0	0	0	0	0	22,1	42,5	35,4	0	64,6	35,4

#### 6.2.2 Bodenphysikalische Indices

Probe		Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)						Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm			
Nr.	Horizont	[cm]	U/T	T/U	U/S	U+T / S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe
RA 6/1	Aeh	0-7	5,2	0,2	2,4	2,8	1,1	0,4	sand.-lehmgiger Schluff	Lehmschluff	U
RA 6/2	Sw-Bsv	7-40	4,6	0,2	28,5	34,7	1,0	0,6	mi toniger Lehm	Lehmschluff	U
RA 6/3	Sd-Btv	40-50	3,4	0,3	26,8	34,7	2,9	2,6	st schluffiger Ton	Schluffton	T
RA 6/4	mCnLR	>50	1,8	0,5	-	-	-	-	st schluffiger Ton	Schluffton	T

#### 6.2.3 Bodenchemische Werte

Probe		Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR											
Nr.	Horizont	[cm]	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
									Al	Fe <sub>d</sub>	Mn		
RA 6/1	Aeh	0-7	3,8	1,26	5,77	9,9	0,51	11,3	0,11	0,42	0,002	0,23	0,55
RA 6/2	Sw-Bsv	7-40	4,0	1,30	2,99	5,2	0,20	15,0	1,15	0,25	0,01	0,56	2,24
RA 6/3	Sd-Btv	40-50	4,6	3,59	2,00	3,5	0,11	18,2	0,69	0,31	0,02	0,12	0,39
RA 6/4	mCnLR	>50	8,2	96,82	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Probe		KAKeff [mmol/kg]														
Nr.	Horizont	[cm]	K	[%]	Na	[%]	Mg	[%]	Ca	[%]	Al	[%]	H <sup>+</sup>	[%]	$\Sigma$ KAK	Basen-sättigung [%]
			RA 6/1	Aeh	0-7	0,47	0,8	2,30	3,9	3,60	6,1	19,95	34,0	17,44	29,7	14,88
RA 6/2	Sw-Bsv	7-40	0	0	1,40	2,7	1,92	3,7	5,98	11,5	22,17	42,5	20,68	39,6	52,15	17,8
RA 6/3	Sd-Btv	40-50	0	0	1,63	7,0	1,52	6,5	2,93	12,6	8,82	37,9	8,33	35,8	23,24	26,2

### 6.3. Mineralanalytische Werte (RFA-Analyse)

Hauptelementgehalte [%]															
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.
RA 6/4 mCn >50cm	0,15	0,12	<0,05	<0,10	n.b.	<0,01	0,59	55,40	<0,20	<0,05	<0,05	<0,02	0,06	43,21	55,22

Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
RA 6/4 mCn >50cm	<50	<50	<10	<15	<10	<5	<15	<5	<10	<10	<10	<15	<0,10	161	<10	<5	<5	5	<10	<10

Geochemische Indices										
Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba
RA 6/4 mCv >50cm	-	-	94,0	-	-	-	-	-	56,0	-

## Reiteralpe Profil 7: RA\_P7, Catena 3 (Alpaalm-Plateaurand West)

### 7.1 Profilbeschreibung

Bodentyp:	Mittelgründige Terra fusca aus Hangschutt aus Dachsteinkalk (brekziiert)	
Klasse:	Terraes calcis	
Höhe / Neigung / Exposition	1400m / 25° / E	
Lage und Relief:	R / H ; Hangschutt über Schichrippe, Mittelhang	
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:	submontaner Bergmischwald mit Tanne, Buche, Fichte	
Profilmächtigkeit:	50cm	
Horizontfolge:	Ah / T / TCv / ICv	
0 - 2cm	Ah	gut durchwurzelt, humos; locker, krümelig bis subpolyedrisch, skelettarm, karbonathaltig; schluffiger Lehm; dunkelgraubraun 5 YR 3/1
2-30cm	T	durchwurzelt, schwach humos; dicht, polyedrisch, skelettarm, karbonathaltig; Kalkkörner und weiße Konkretionen in rote, grüne Tonfetzen eingelagert; schwach schluffiger Ton; rotbraun 5 YR 6/8
30-50cm	TCv	schwach durchwurzelt, schwach humos; Feinerde (mit weiß-rot-gelben Tonfetzen) zwischen Kalkskelett polyedrisch; TCv zieht zapfenförmig in den ICv-Horizont, karbonatreich; rotbraun 5 YR 6/6
>50cm	ICv	Hangschutt aus Kalk, z.T. brekziiert, belegt mit Residualtontapeten; 10YR 8/1

### 7.1.1 Probenentnahme:

Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer
RA 7/1 30.09.01	Ah	0-2cm	RA 7/1 (Ah 0-2cm)
RA 7/2 30.09.01	T	2-30cm	RA 7/2 (T 2-30cm)
RA 7/3 30.09.01	TCv	30-50cm	RA 7/3 (TCv 30-50cm)
RA 7/4 30.09.01	mCn	>50cm	RA 7/4 (Cn >50cm)

### 7.1.2 Bodenfarbansprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)

Probe Nr.	Horizont	[cm]	trocken		naß	
			5 YR	color	5 YR	color
RA 7/1	Ah	0-2	5 YR 3/1	very dark grey	5 YR 2.5/1	black
RA 7/2	T	2-30	5 YR 6/8	reddish yellow	5 YR 5/8	yellowish red
RA 7/3	TCv	30-50	5 YR 6/6	reddish yellow	5 YR 5/6	yellowish red
RA 7/4	ICv	>50	10 YR 8/1	white	10 YR 8/1	white

## 7.2 Bodenanalytische Werte

### 7.2.1 Korngrößenverteilung

Probe Nr.	Horizont	[cm]	Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)										
			Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	S	U	T
RA 7/1	Ah	0-2	0,6	2,1	2,4	30,2	21,4	17,3	9,0	17,6	34,7	47,7	17,6
RA 7/2	T	2-30	0	0	0,1	4,4	10,9	14,0	22,8	47,8	4,5	47,7	47,8
RA 7/3	TCv	30-50	25	0	0,6	1,4	11,1	32,3	19,2	35,2	2,0	62,6	35,2
RA 7/4	ICv LR	>50	75	0	20,1	11,7	0	21,7	26,1	20,4	31,8	47,8	20,4

### 7.2.2 Bodenphysikalische Indices

Probe Nr.	Horizont	[cm]	Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)						Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S= Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm		
			U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe
RA 7/1	Ah	0-2	2,7	0,4	1,4	1,9	0,8	0,4	sw sandiger L	typ. Lehm	L
RA 7/2	T	2-30	1,0	1,0	10,6	21,2	1,3	2,1	sw schluffiger T	Lehmton	T
RA 7/3	TCv	30-50	1,8	0,6	31,3	48,9	2,9	1,7	mi schluffiger T	Schluffton	T
RA 7/4	ICv LR	>50	2,3	0,4	1,5	2,1	-	-	sw sandiger Lehm	typ. Lehm	L



## Reiteralpe Profil 7: RA\_P7, Catena 3 (Alpaalm-Plateaurand West)

7.2.3 Bodenchemische Werte (keine KAK-Bestimmung der Bodenproben RA 7/1 Ah 0-2cm, RA 7/3 TCv 30-50cm)																				
Probe			Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR																	
			pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>							
Nr.	Horizont	[cm]							Al	Fe <sub>d</sub>	Mn									
RA 7/1	Ah	0-2	5,9	10,2	8,8	15,1	0,51	17,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		n.b.						
RA 7/2	T	2-30	6,9	7,16	1,42	2,4	0,09	15,8	n.b.	0,51	n.b.	0,27		0,53						
RA 7/3	TCv	30-50	7,2	16,5	1,13	1,9	0,05	22,6	n.b.	0,42	n.b.	0,19		0,45						
RA 7/4	ICv LR	>50	7,9	90,9	0,23	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		n.b.						
Probe			KAKeff [mmol/kg]																	
			K [%]	Na [%]	Mg [%]	Ca [%]	Al [%]	H <sup>+</sup> [%]	Σ KAK	Basensättigung [%]										
RA 7/2	T	2-30	3,95	<0,1	0,44	0,2	52,13	22,6	173,19	75,2	0,07	<0,1	0,53	<0,1	230,32	99,7				
7.3 Mineralanalytische Werte																				
7.3.1 RFA-Analyse																				
Hauptelementgehalte [%]																				
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.					
RA 7/2 T 2-30cm	43,74	22,84	10,08	0,67	9,31	0,04	4,07	2,93	≤0,20	3,70	1,14	0,21	3,71	10,68	89,19					
RA 7/4 ICv	<0,10	<0,10	<0,05	<0,10	n.b.	<0,01	19,02	33,44	<0,20	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	46,50	52,75					
Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
RA 7/2 T 2-30cm	293	137	17	133	61	31	78	23	47	112	48	226	<0,10	271	18	<5	174	44	216	199
RA 7/4 ICv	<50	<10	<15	<10	<5	<5	<15	<5	<10	<10	<10	<15	<0,10	133	<10	<5	9	<5	<10	<10
7.3.2 Geochemische Indices																				
Geochemische Indices																				
Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba										
RA 7/2 T 2-30cm	1,92	0,07	0,72	0,79	≤0,009	≤18,5	≤0,30	76,66	7,00	0,92										
RA 7/4 ICv <50cm	-	-	1,76	-	-	-	-	-	52,46	2,66										
7.3.3 Schwerminerale																				
Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1-0,25mm																				
Probe	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>2)</sup>	Kornsumme								
RA 7/2 T 2-30cm	23	3	4	2	2	9	2	0	31	24	0	162								
Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm																				
Probe	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme									
RA 7/2 T 2-30cm	4	5	2	2	12	2	0	41	31	0	125									
G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)																				
Beschreibung des Schwermineralspektrums																				
- mäßige SM-Menge, blaß-gelblich, nur wenige Körner >0,1mm; keine magnetischen Minerale																				
- opakreich; kein Karbonat																				
7.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA) - Tonminerale (Methode RAST 1990, 1993)																				
Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]										Kommentar										
Probe	ML <sub>Ill</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kaolinit <sup>3)</sup>	Chlorit	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit													
RA 7/2 T 2-30cm	20	45	27	8	hoch	mäßig	vorhanden													
1) ML <sub>Ill</sub> = Mixed-layer-Material, d.h. unregelmäßige Wechsellagerungsminerale aus Illit und Smektit, reich an Illit (>60 Rel.-% Illite)																				
2) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar)																				
3) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)																				

## Reiteralpe Profil 8: RA\_P8, Catena 1 (Wartstein-Schrecksattel)

### 8.1 Profilbeschreibung

Bodentyp:	Braunerde-Rendzina aus rotgeädertem Dachsteinkalk, autochthon	
Klasse:	Terrae calcis	
Höhe / Neigung / Exposition	1610m / 18° / ESE, subalpine Stufe	
Lage und Relief:	R / H ; Hangfuß, Karrenfüllung im Schichtrippenkarst	
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:	aufgelockerter Lärchen-Zirbenwald ( <i>Vaccinio-Pinetum cembrae</i> ) mit Schnee heide-Alpenrosen-Gebüsch	
Profilmächtigkeit:	17cm	
Horizontfolge:	Ah / Bv / mCn	
0 - 3cm	Ah	intensiv durchwurzelt, extrem humos; krümelig, skelettfrei, schwach karbonathaltig, deutlich glimmerführend; mittel schluffiger Ton; dunkelgrau 7,5 YR 4/1
3 - 17cm	Bv	durchwurzelt, sehr stark humos, z.T. eingewaschener Humus in Schlieren oder entlang Wurzelbahnen; krümelig, skelett- und schwach karbonathaltig, deutlich glimmerführend; sandiger U ; hellbraun 10 YR 6/4
ab 17cm	mCn	kompakter, rotgeädertes Dachsteinkalk, nur leicht angewittert, vereinzelt Tontapeten

#### 8.1.1 Probenentnahme:

Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer
RA 8/1 12.10.01	Ah	0-3cm	RA 8/1 (Oh 0-3cm)
RA 8/2 12.10.01	Bv	3-17cm	RA 8/2 (Bv 3-17cm)
RA 8/3 12.10.01	Cn	>17cm	RA 8/3 (Cn >17cm)

#### 8.1.2 Bodenfarbansprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)

Probe Nr.	Horizont [cm]	trocken				naß			
		7,5 YR	dark grey	light yellowish brown	pinkish white	7,5 YR	very dark grey	dark yellowish brown	pinkish white
RA 8/1	Ah 0-3	7,5 YR 4/1	dark grey	light yellowish brown	pinkish white	7,5 YR 3/1	very dark grey	dark yellowish brown	pinkish white
RA 8/2	Bv 3-17	10 YR 6/4	light yellowish brown	pinkish white		10 YR 3/6	dark yellowish brown		
RA 8/3	mCn >17	7,5 YR 8/2	pinkish white			7,5 YR 8/2	pinkish white		

### 8.2 Bodenanalytische Werte

#### 8.2.1 Korngrößenverteilung

Probe Nr.	Horizont [cm]	Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)										
		Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	S	U	T
RA 8/1	Ah 0-3	1,8	0,0	1,8	32,8	29,3	20,0	8,8	7,3	34,6	58,1	7,3
RA 8/2	Bv 3-17	0	0	1,0	5,8	18,1	34	14	27,1	6,8	66,1	27,1
RA 8/3	mCnLR >17	0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,1	40,2	33,7	0,0	66,3	33,7

#### 8.2.2 Bodenphysikalische Indices

Probe Nr.	Horizont [cm]	Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)						Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S= Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm		
		U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe
RA 8/1	Ah 0-3	1,8	0,6	5,2	8,2	0,1	<0,01	sandiger U	Sandschluff	U
RA 8/2	Bv 3-17	2,8	0,3	6,1	8,2	1,9	0,8	st schluffiger T	Schluffton	T
RA 8/3	mCn >17	2,0	0,5	-	-	-	-	st schluffiger T	Schluffton	T



## Reiteralpe Profil 8: RA\_P8, Catena 1 (Wartstein- Schrecksattel)

### 8.2.3 Bodenchemische Werte

Probe			Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR												
			pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>d</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>		
Al	Fe <sub>d</sub>	Mn													
Nr.	Horizont	[cm]													
RA 8/1	Ah	0-3	6,3	3,1	17,2	29,6	1,35	12,9	n.b.	1,71	n.b.	0,51	0,30		
RA 8/2	Bv	3-17	6,4	3,3	6,80	11,7	0,56	12,1	0,38	1,36	0,04	0,56	0,41		
RA 8/3	mCn	>17	7,9	96,2	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		

Probe			KAKeff [mmol/kg]												Basen-sättigung [%]	
			K	[%]	Na	[%]	Mg	[%]	Ca	[%]	Al	[%]	H <sup>+</sup>	[%]		Σ KAK
Nr.	Horizont	[cm]														
RA 8/2	Bv	3-17	0,0	0	1,28	0,8	2,38	1,5	156,07	97,2	0,16	1,5	0,56	0,3	160,54	99,5

### 8.3 Mineralanalytische Werte

#### 8.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Hauptelementgehalte [%]																	
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.		
RA 8/2 Bv 3-17cm	48,94	16,69	7,03	4,29	2,74	0,11	1,69	2,10	0,93	1,82	1,02	0,26	3,96	19,19	80,91		
RA 8/3 mCn >17cm	<0,10	<0,10	<0,05	<0,10	n.b.	<0,01	0,32	55,56	<0,20	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	43,52	56,11		

Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
RA 8/2 Bv 3-17cm	305	119	22	185	<10	16	50	20	57	64	42	90	0,13	129	19	8	116	65	163	339
RA 8/3 mCn >17cm	<50	<10	<15	<10	<5	<5	<15	<5	<10	<10	<10	<15	<0,10	106	<10	<5	9	<5	11	<10

#### 8.3.2 Geochemische Indices

Geochemische Indices											
Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba	
RA 8/2 BV 3-17cm	2,93	1,56	1,24	1,15	0,05	1,96	0,29	72,66	3,79	0,42	
RA 8/3 mCn >17cm	-	-	134	-	-	-	-	-	55,88	<2,12	

#### 8.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Gesamtspektrum (Kornzahl- %): Fraktion 0,1-0,25mm													
Probe	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme	
RA 8/2 BV 3-17cm	13	5	3	2	2	0	0	0	13	62	0	234	

Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%): Fraktion 0,1-0,25mm													
Probe	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme		
RA 8/2 BV 3-17cm	6	3	2	2	0	0	0	15	72	0	203		

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)

#### Beschreibung des Schwermineralspektrums

- geringe SM-Menge, ockerfarben, sehr fein, nur wenige Körner >0,1mm;
- sehr deutlicher Gehalt magnetischer Minerale
- mäßiger Opakanteil; kein Karbonat
- Verwitterungsgrad nicht bestimmbar

#### 8.3.4 Röntgendiffraction-Analyse (RDA) - Tonminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Probe	Relative Tonmineralegehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]							Kommentar		
	Sm <sup>4)</sup>	ML <sub>int</sub> <sup>5)</sup>	Illit <sup>6)</sup>	Kaolinit <sup>7)</sup>	Chlorit	Σ K+Ch	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit	
RA 8/2 BV 3-17cm	3	7	41	8	41	49	hoch	mäßig	vorhanden	

4) ML<sub>int</sub> = Mixed-layer-Material, d.h. unregelmäßige Wechsellagerungsminerale aus Illit und Smektit, reich an Illit (>60 Rel.-% Illite)  
 5) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar)  
 6) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)  
 7) Smektit

RA 8/2 BV 3-17cm	Relative Häufigkeit sonstiger Minerale		
	Hauptkomponente	Nebenkompente	wenig
	Qz	KF > Alb	Cc

Qz = Quarz; KF = Kalifeldspäte; Alb = Albit; Cc = Calcit; Dol = Dolomit

## Reiteralpe Profil 9: RA\_P9, Catena 2 (Karstplateau, Neue Traunsteiner Hütte)

### 9.1 Profilbeschreibung

Bodentyp:		Podsol über Residuallehm aus Gosaukalk
Klasse:		Podsol
Höhe / Neigung / Exposition		1560m/ 0-5°/ S
Lage und Relief:		R / H ; Dolinenreiche Senke in Gosauschichten
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		aufgelockertes Alpenrosen-Latschen-Gebüsch ( <i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> ) mit Weiderasen
Profilmächtigkeit:		41cm
Horizontfolge:		Ahe /Bhs / Bsh / IIBv-Tc / mCv
0 - 7cm	Ahe	intensiv durchwurzelt, sehr stark humos; locker, krümelig, skelettfrei, schwach karbonathaltig, deutlich glimmerführend, gebleicht, scharfe Grenze zu Bhs; schluffiger Lehm; hellbraungrau 10 YR 6/3
7 - 10cm	Bhs	durchwurzelt, sehr stark humos, Humus in Schlieren; krümelig, skelettfrei, karbonatarm, roststichig, stark glimmerführend; schluffiger Lehm; gelb 10YR 7/6
10-25cm	Bsh	durchwurzelt, humos, krümelig, skelettfrei, karbonatarm; stark toniger Schluff; gelbbraun 10 YR 6/6
25-30cm	IIBv-Tc	schwach durchwurzelt, mittel humos; subpolyedrisch, skelettfrei, taschenförmig in Klüften in den mCv ziehend, sek. Kalkausfällung in Nestern, z.T. pseudomycelartig; schluffiger Lehm; rotbraun 7,5 YR 6/6
30-41cm	mCv	zerklüfteter Kreidekalk in Karrensteine zerfallen und mit Tontapeten belegt; sek. Kalkausfällungen in Form von Zäpfchen auf der Kalkoberfläche; rosa 7,5 YR 8/3

### 9.1.1 Probenentnahme:

Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer
RA 9/1 12.10.01	Ahe	0-7cm	RA 9/1 (Ahe 0-3cm)
RA 9/2 12.10.01	Bhs	7-10cm	RA 9/2 (Bhs 7-10cm)
RA 9/3 12.10.01	Bsh	10-25cm	RA 9/3 (Bsh 10-25cm)
RA 9/4 12.10.01	IIBv-Tc	25-30cm	RA 9/4 (IIBv-Tc 25-30cm)
RA 9/5 12.10.01	mCv	30-41cm	RA 9/5 (mCv 30-41cm)

### 9.1.2 Bodenfarbensprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)

Probe Nr.	Horizont	[cm]	trocken			naß		
			10 YR	hue	chroma	10 YR	hue	chroma
RA 9/1	Ahe	0-7	10 YR 6/3	pale brown	10 YR 3/4	dark yellowish brown		
RA 9/2	Bhs	7-10	10 YR 7/6	yellow	10 YR 5/8	yellowish brown		
RA 9/3	Bsh	10-25	10 YR 6/6	brownish yellow	10 YR 4/6	dark yellowish brown		
RA 9/4	IIBv-Tc	25-30	7,5 YR 6/6	reddish yellow	7,5 YR 5/6	strong brown		
RA 9/5	mCv	30-41	7,5 YR 8/3	pink	7,5 YR 8/4	pink		

## 9.2. Bodenanalytische Werte

### 9.2.1 Korngrößenverteilung

Probe Nr.	Horizont	[cm]	Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)										
			Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T < 2	S	U	T
RA 9/1	Ahe	0-7	0	1,9	2,4	34,5	20,4	18,9	3,4	18,3	38,8	42,7	18,3
RA 9/2	Bhs	7-10	0	0,7	0,8	16,7	17,1	27,8	12,6	24,4	18,2	57,5	24,4
RA 9/3	Bsh	10-25	0	0,2	0,0	7,2	18,5	28,4	19,5	26,2	7,2	66,4	26,2
RA 9/4	IIBv-Tc	25-30	0	0	0	0	10,4	30,4	31,6	27,4	0,0	72,4	27,4
RA 9/5	mCv	30-41	Fels	0	0	0	14	19,8	30,7	35,4	0,0	64,5	35,4

### 9.2.2 Bodenphysikalische Indices

Probe Nr.	Horizont	[cm]	Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)						Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm		
			U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe
RA 9/1	Ahe	0-7	2,3	0,4	1,1	1,6	0,9	0,2	schluffiger L	Tonschluff	U
RA 9/2	Bhs	7-10	2,4	0,4	3,2	4,5	1,6	0,7	schluffiger L	Tonschluff	U
RA 9/3	Bsh	10-25	2,5	0,4	9,2	12,9	1,5	1,1	st toniger U	Tonschluff	U
RA 9/4	IIBv-Tc	25-30	2,6	0,4	-	-	2,9	3,0	st schluffiger T	Schluffton	T
RA 9/5	mCv	30-41	1,8	0,5	-	-	1,4	2,2	mi schluffiger T	Schluffton	T



## Reiteralpe Profil 9: RA\_P9, Catena 2 (Karstplateau, Neue Traunsteiner Hütte)

### 9.2.3 Bodenchemische Werte

Probe			Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR										
			pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>d</sub>
									Al	Fe <sub>d</sub>	Mn		
Nr.	Horizont	[cm]											
RA 9/1	Ahe	0-7	3,9	2,0	9,05	15,6	0,89	10,2	11,45	0,89	0,01	0,69	0,77
RA 9/2	Bhs	7-10	4,0	1,9	5,60	9,6	0,32	17,5	18,76	1,49	0,02	0,96	0,64
RA 9/3	Bsh	10-25	4,2	1,7	6,76	11,6	0,14	48,3	13,85	0,60	0,02	0,13	0,22
RA 9/4	IIbV-Tc	25-30	6,7	3,1	1,84	3,2	0,16	11,5	0,15	1,03	0,03	0,12	0,12
RA 9/5	mCv	30-41	8,2	94,6	0,08	-	-	-	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Probe			KAKeff [mmol/kg]													
			K [%]	Na [%]	Mg [%]	Ca [%]	Al [%]	H <sup>+</sup> [%]	Σ KAK	Basensättigung [%]						
Nr.	Horizont	[cm]														
RA 9/1	Ahe	0-7	10,87	15,1	1,93	2,7	3,91	5,4	33,83	47,2	11,45	16,0	9,74	13,6	71,72	70,5
RA 9/2	Bhs	7-10	3,39	5,3	1,58	2,5	2,65	4,2	19,79	31,2	18,76	29,6	17,24	27,2	63,42	43,2
RA 9/3	Bsh	10-25	0	0	1,52	3,1	1,51	3,1	18,44	38,1	13,85	28,6	13,08	27,0	48,41	44,4
RA 9/4	IIbV-Tc	25-30	3,36	2,3	1,55	1,0	2,28	1,6	138,27	94,6	0,15	0,1	0,54	0,4	146,14	99,5

### 9.3 Mineralanalytische Werte; 9.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Hauptelementgehalte [%]															
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.
RA 9/1 Ahe 0-5cm	49,10	13,42	6,0	0,78	5,22	0,15	1,98	0,99	0,42	2,13	0,95	0,11	2,35	16,40	83,61
RA 9/4 IIbV-Tc 25-30cm	55,92	19,34	7,72	0,67	6,95	0,15	2,25	1,12	0,45	3,41	0,98	0,16	2,62	8,15	91,75
RA 9/5 mCv 30-41cm	1,10	0,64	0,26	<0,10	n.b.	<0,01	0,54	53,78	<0,20	0,07	<0,05	0,02	0,15	43,02	56,56

Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
RA 9/1 Ahe	319	73	<10	105	10	17	31	20	33	37	134	100	0,15	124	14	5	118	29	117	271
RA 9/4 IIbV-Tc; 25-30cm	375	170	21	179	28	23	90	22	68	105	36	163	<0,10	128	15	<5	151	100	128	265
RA 9/5 mCv 30-41cm	<50	<50	<10	<5	<15	<5	<15	<5	<10	<10	<10	<15	<0,10	158	<5	<5	5	<10	<10	<10

### 9.3.2 Geochemische Indices

Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba
RA 9/1 Ahe 0-5cm										
RA 9/4 IIbV-Tc 25-30cm	2,89	0,09	0,50	0,33	0,02	7,85	0,26	82,98	3,37	0,34
RA 9/5 mCv 30-41cm	1,72	-	99,56	-	-	-	-	2,00	54,32	0,38

### 9.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme
RA 9/1 Ahe	2	1	1	1	1	1	0	0	38	56	0	315
RA 9/4 IIbV-Tc 25-30cm	13	6	1	0	6	2	0	0	13	59	0	176

Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme	
RA 9/4 IIbV-Tc 25-30cm	7	1	0	7	3	0	0	14	68	0	153	

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)

Beschreibung des Schwermineralspektrums

- geringe SM-Menge, gelblich-braun, nur ganz wenige Körner >0,1mm
- Granat angelöst und z.T. mit braunen Überzügen versehen, Opakkörner häufig mit zackigen Rändern
- sehr opakreich; vereinzelt Karbonatkörner und sphärische Kieselalgen
- mäßiger Gehalt an magnetischen Mineralen

## Reiteralpe Profil 9: RA\_P9, Catena 2 (Karstplateau, Neue Traunsteiner Hütte)

### 9.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA) - Tonminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Probe	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]					Kommentar		
	ML <sub>Illit</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kt <sup>3)</sup>	Ct <sup>3)</sup>	Σ Kt+Ct	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit
RA 9/1 Ahe	4	63	6	27	33			
RA 9/4 IIBv-Tc 25-30	13	41	32	14	46	mäßig	mäßig	kaum

1) ML<sub>Illit</sub> = Mixed-layer-Material, d.h. unregelmäßige Wechsellagerungsminerale aus Illit und Smektit, reich an Illit (>60 Rel.-% Illite)  
 2) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar)  
 3) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)





## Reiteralpe Profil 10: RA\_P10, Catena 2 (Karstplateau, Schrecksattel)

10.1 Profilbeschreibung						
Bodentyp:		Äolische Braunerde über Residualton aus weißem Dachsteinkalk				
Klasse:		Braunerde				
Höhe / Neigung / Exposition		1540m/10-15° / NW				
Lage und Relief:		R / H ; Unterhang, Schichtkopf, Almgebiet				
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		aufgelockertes Alpenrosen-Latschen-Gebüsch ( <i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> ) mit Weiderasen				
Profilmächtigkeit:		55cm				
Horizontfolge:		Bhv / Bv / IIBv-T / mCv				
0 - 16cm	Bhv	durchwurzelt, sehr stark humos; krümelig, skelettfrei, schwach karbonathaltig, deutlich glimmerführend; mittel toniger Sand; hellbraun 10 YR 6/3				
16 - 34cm	Bv	durchwurzelt, mittel humos; krümelig, skelettfrei, schwach karbonathaltig, Solum völlig homogen, glimmerführend; stark toniger Schluff; hellbraun 10 YR 7/4				
34-55cm	IIT-Sd	kaum durchwurzelt, schwach humos; bröckelig bis polyedrisch, skelettfrei, schwach karbonathaltig, zunehmende Akkumulation von rotem Ton in Nestern; z.T. roststichig im Aggregatinneren; stark schluffiger Ton; very pale brown				
>55cm	mCv	weißer Kalk, rotgeädert, z.T. Tontapeten in Klüften; 7,5 YR 8/2				
10.1.1 Probenentnahme:						
Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer			
RA 10/1 12.10.01	Ah+Bv	0 - 16cm	RA 10/1 (Bv1 0-16cm)			
RA 10/2 12.10.01	Bv	16 - 34cm	RA 10/2 (Bv2 16-34cm)			
RA 10/3 12.10.01	IIBv-T	34-55cm	RA 10/3 (Bv3 34-55cm)			
RA 10/4 12.10.01	mCv	>55cm	RA 10/4 (Bt (T?) 25-30cm)			
10.1.2 Bodenfarbensprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)						
Probe Nr.	Horizont	[cm]	trocken		naß	
RA 10/1	Ah+Bv	0-16	10 YR 6/3	pale brown	10 YR 4 /3	brown
RA 10/2	Bv	16-34	10 YR 7/4	very pale brown	10 YR 5/6	yellowish brown
RA 10/3	IIBv-T	34-55	10 YR 7/4	very pale brown	10 YR 5/4	yellowish brown
RA 10/4	mCv	>55	7,5 YR 8/2	pinkish white	7,5 YR 8/3	pink

## Reiteralpe Profil 10: RA\_P10, Catena 2 (Karstplateau, Schrecksattel)

### 10.2. Bodenanalytische Werte

#### 10.2.1 Korngrößenverteilung

Probe			Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)										
Nr.	Horizont	[cm]	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	S	U	T
RA 10/1	Ah+Bv	0-16	0	1,5	2,3	44,9	21,7	13,6	4,3	11,7	48,7	39,6	11,7
RA 10/2	Bv	16-34	0	0,0	1,0	9,0	20,9	28,5	20,8	19,8	10,0	70,2	19,8
RA 10/3	IIBv-T	34-55	0	1,5	1,7	4,3	10	26,5	26,2	31	7,5	62,7	31
RA 10/4	mCv	>55	Fels	0,0	0,0	0,0	0,0	27,9	40,2	31,8	0,0	68,1	31,8

#### 10.2.2 Bodenphysikalische Indices

Probe			Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)					Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S= Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm				
Nr.	Horizont	[cm]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart		Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe
RA 10/1	Ah+Bv	0-16	3,4	0,3	0,8	1,1	0,6	0,2	mi toniger S		Sandlehm	L
RA 10/2	Bv	16-34	3,5	0,3	0,9	1,1	1,4	1,0	st toniger U		Tonschluff	U
RA 10/3	IIBv-T	34-55	2,0	0,5	8,4	12,5	2,7	2,6	mi schluffiger T		Schluffton	T
RA 10/4	mCv	>55	2,1	0,5	-	-	-	-	st schluffiger T		Schluffton	T

#### 10.2.3 Bodenchemische Werte

Probe			Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR										
Nr.	Horizont	[cm]	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>o</sub>
									Al	Fe <sub>d</sub>	Mn		
RA 10/1	Ah+Bv	0-16	4,4	3,2	7,60	13,1	0,84	9,0	0,20	1,00	0,03	0,43	0,43
RA 10/2	Bv	16-34	4,2	2,2	2,92	5,0	0,25	11,7	0,26	1,20	0,02	0,51	0,42
RA 10/3	IIBv-T	34-55	5,8	4,2	1,65	2,8	0,10	16,5	0,17	0,83	0,03	0,09	0,11
RA 10/4	mCv	>55	8,2	98,7	0,05	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Probe			KAKeff [mmol/kg]											Basen-sättigung [%]		
Nr.	Horizont	[cm]	K	[%]	Na	[%]	Mg	[%]	Ca	[%]	Al	[%]	H <sup>+</sup>		[%]	Σ KAK
RA 10/1	Ah+Bv	0-16	2,93	3,9	2,38	3,1	2,77	3,7	47,35	62,7	10,13	13,4	9,90	13,1	75,45	73,5
RA 10/2	Bv	16-34	1,00	1,3	2,88	3,8	1,80	2,1	25,29	33,5	9,94	13,2	9,10	12,0	49,81	61,8
RA 10/3	IIBv-T	34-55	2,03	3,1	1,68	2,5	2,31	3,5	55,26	84,0	2,61	4,0	1,92	2,9	65,81	93,1

### 10.3 Mineralanalytische Werte

#### 10.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Hauptelementgehalte [%]																
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.	
RA 10/1 Ah+Bv 0-16cm	50,82	14,98	6,32	1,62	4,46	0,11	1,68	0,67	0,57	2,36	0,97	0,31	3,39	19,85	79,16	
RA 10/2 Bv 16-34cm	59,38	16,34	6,75	0,93	5,69	0,07	1,75	0,57	0,67	2,92	1,12	0,17	2,24	9,08	89,98	
RA 10/3 IIBv-T 34-55cm	60,17	17,48	7,05	1,35	5,52	0,113	2,41	0,63	0,64	3,57	1,06	0,08	2,03	6,27	93,41	
RA 10/4 mCv >55cm	0,16	0,14	0,07	<0,10	n.b.	<0,01	0,34	55,35	<0,20	<0,05	<0,05	<0,02	0,04	43,45	56,18	

Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
10/1 Ah+Bv	293	88	16	144	18	22	46	22	35	58	116	130	0,21	110	<10	<5	134	38	179	241
RA 10/2 Bv	381	92	14	148	14	23	49	23	36	53	31	156	<0,10	129	<10	<5	144	32	107	285
RA 10/3 IIBv-T	412	95	22	149	28	23	49	21	37	85	29	163	<0,10	125	14	<5	167	32	127	246
RA 10/4	<50	<50	<10	<5	<15	<5	<15	<5	<10	<10	<10	<15	<0,10	96	<5	<5	7	<5	11	<10



## Reiteralpe Profil 10: RA\_P10, Catena 2 (Karstplateau, Schrecksattel)

### 10.3.2 Geochemische Indices

Geochemische Indices										
Probe	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/ MgO	CaO/ K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/ Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+ MgO	Sr/Ba
RA 10/1 Ah+Bv 0-16cm	3,39	0,26	0,40	0,28	0,04	4,14	0,24	72,12	2,35	0,38
RA 10/2 Bv 16-34cm	3,63	0,14	0,33	0,20	0,04	4,36	0,25	82,47	2,32	0,34
RA 10/3 IIBv-T 34-55cm	3,44	0,19	0,26	0,18	0,04	5,58	0,28	84,70	3,04	0,30
RA 10/4 mCv >55cm	1,14	-	162,8	-	-	-	-	0,37	55,69	-

### 10.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>1)</sup>	Kornsumme
RA 10/1 Ah+Bv 0-16cm	2	2	1	0	2	2	1	0	53	29	7	242
RA 10/2 Bv 16-34cm	8	2	1	2	2	3	3	0	20	58	0	300
RA 10/3 IIBv-T 34-55cm	6	1	1	1	1	2	1	0	30	55	4	254

Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>1)</sup>	Kornsumme	
RA 10/1 Ah+Bv 0-16cm	3	1	0	3	2	1	0	54	30	7	235	
RA 10/2 Bv 16-34cm	2	1	3	2	3	3	0	22	63	0	276	
RA 10/3 IIBv-T 34-55cm	1	1	1	1	3	1	0	31	58	4	239	

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)

<sup>1)</sup> Sonstige: RA 10/1 (17 Chlorite), RA 10/2 (3 Chloritoide), RA 10/3 (10 Chlorite)

#### Beschreibung des Schwermineralspektrums

RA 10/1 Ah+Bv 0-16cm:

- mäßige SM-Menge, blaß-gelblich, Fraktion <0,1mm überwiegt stark
- hoher Zoisit-Anteil, Hornblende häufig stark gebleicht und oft fein-nadelig
- wenig Karbonatkörner, keine magnetischen Körner

RA 10/2 Bv 16-34cm:

- kaum SM, sehr wenig der Fraktion <0,1mm,
- Epidot überwiegt Zoisit-Anteil, Granat kaum angelöst, Hornblende deutlich angelöst und oft braunfleckig
- mäßiger Opakanteil
- deutlicher Gehalt an magnetischen Körnern, einige Karbonatkörner

RA 10/3 IIBv-T 34-55cm:

- geringe SM-Menge, blaß-gelblich, kaum Fraktion <0,1mm
- wenige gebleicht Hornblendes
- geringer Opakanteil
- deutlicher Gehalt an magnetischen Körnern, einige Karbonatkörner

### 10.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA) - Tonminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Probe	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]					Kommentar		
	ML <sub>Illit</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kt <sup>3)</sup>	Ct <sup>3)</sup>	∑ Kt+Ct	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit
RA 10/1 Ah+Bv 0-16cm	23	43	13	21	34	sehr klein	gut	keine
RA 10/2 Bv 16-34cm	14	66	11	9	20	mäßig	gut	keine
RA 10/3 IIBv-T 34-55cm	19	38	14	29	43	hoch	gut	keine

4) ML<sub>Illit</sub> = Mixed-layer-Material, d.h. unregelmäßige Wechsellagerungsminerale aus Illit und Smektit, reich an Illit (>60 Rel.-% Illite)

5) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar)

6) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)

## Reiteralpe Profil 11: RA\_P11, Catena 2 (Wartstein-Schrecksattel)

11.1 Profilbeschreibung																
Bodentyp:		Braunerde-Rendzina														
Klasse:		Rendzina														
Höhe / Neigung / Exposition		1700m/2° / 96°E														
Lage und Relief:		R / H ; Karrenfußnapf-Füllung / Hangfuß unterhalb Schichtkopf														
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		aufgelockertes Alpenrosen-Latschen-Gebüsch ( <i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> )														
Profilmächtigkeit:		15cm														
Horizontfolge:		Ah / Bv-T / mCv														
0 - 5cm	Ah	intensiv durchwurzelt, Graswurzelfilz, wenig Feinerde, extrem humos; krümelig, skelettfrei, schwach karbonathaltig, deutlich glimmerführend;														
5 - 15cm	Bv-T	durchwurzelt, mittel humos; subpolyedrisch nach unten plattig, z.T. steinartig verbackene Fragmente aus roten und gelben Tonnestern, skelettfrei, karbonatarm; zieht zapfenartig als Karrenfüllung in den mCv hinein; leuchtend rotgelb 5 YR 6/6														
>15cm	mCv	weißer Kalk, rotgeädert, mit Tontapeten; Fels mit Rundkarrenrelief; 7,5 YR 8/2, Schwimmende Scherben														
11.1.1 Probenentnahme:																
Probe	Horizont	Entnahmetiefe		Probennummer												
RA 11/1 03.07.02	Ah	0 - 5cm		RA 11/1 (Ah 0-5cm)												
RA 11/2 03.07.02	Bv-T	5 - 15cm		RA 11/2 (T 0-15cm)												
RA 11/3 03.07.02	mCv	>15cm		RA 11/3 (mCv>15cm)												
11.1.2 Bodenfarbansprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)																
Probe		trocken						naß								
Nr.	Horizont [cm]															
RA 11/1	Ah	0-5	10YR 3/2	very dark grayish brown		10YR 2/2	very dark brown									
RA 11/2	Bv-T	5-15	5 YR 6/6	reddish yellow		5YR 4/6	yellowish red									
RA 11/3	mCv	>15	7,5 YR 8/2	pinkish white		7,5 YR 8/3	pink									
11.2. Bodenanalytische Werte																
11.2.1 Korngrößenverteilung																
Probe		Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)														
Nr.	Horizont [cm]	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	S	U	T				
RA 11/1	Ah	0-5	0	0	17,7	40,4	20,8	12,3	8,8	17,7	74,0	8,8				
RA 11/2	Bv-T	5-15	0	0	20,0	23,6	13,4	13,4	11,9	17,6	43,6	38,7	17,6			
RA 11/3	mCv	>15	Fels	0	0	0,2	4,5	27,0	36,0	32,3	0,2	67,5	32,3			
11.2.2 Bodenphysikalische Indices																
Probe		Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)						Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; ml = mittel) S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm								
Nr.	Horizont [cm]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart		Bodenart-gruppe		Haupt-gruppe				
RA 11/1	Ah	0-5	8,4	0,1	4,2	4,6	0,5	0,3	sw toniger U		Lehmschluff		U			
RA 11/2	Bv-T	5-15	2,2	0,5	0,9	1,3	1,0	0,9	mi sandiger L		typ. Lehm		L			
RA 11/3	mCv	>15	2,1	0,5	338	499	6,0	8,0	st schluffiger T		Schluffton		T			
11.2.3 Bodenchemische Werte (keine Mineralanalysen von Profil 11)																
Probe		Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR														
Nr.	Horizont [cm]	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>s</sub>				
								Al	Fe <sub>d</sub>	Mn						
RA 11/1	Ah	0-5		2,5	13,59	23,4	0,30	45,3								
RA 11/2	Bv-T	5-15	4,3	1,8	1,43	2,5	0,29	4,9	0,17	1,25	0,01	0,12	0,01			
RA 11/3	mCv	>15	8,1	97,3	1,65	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			
Probe		KAKeff [mmol/kg]														
Nr.	Horizont [cm]	K [%]	Na [%]	Mg [%]	Ca [%]	Al [%]	H <sup>+</sup> [%]	Σ KAK	Basen-sättigung [%]							
RA 11/1	Ah	0-5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			
RA 11/2	Bv-T	5-15	4,28	3,4	3,35	2,7	15,26	12,1	91,27	72,7	5,93	4,7	5,51	4,4	125,59	90,9



## Reiteralpe Profil 12: RA\_P12, Catena 1 (Plateaurand NNW, Diensthütte)

<b>12.1 Profilbeschreibung</b>	
Bodentyp:	Äolische Braunerde über Residualton aus weißem Dachsteinkalk
Klasse:	Braunerde
Höhe / Neigung / Exposition	1564m/ 2°/ 4°N
Lage und Relief:	R / H ; Karrenfußnapf-Füllung /Hangfuß unterhalb Schichtkopf
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:	aufgelockertes Alpenrosen-Latschen-Gebüsch ( <i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> )
Profilmächtigkeit:	30cm
Horizontfolge:	Ah / Bv-T / IITCv/ II mCv
0 - 5cm	Ah intensiv durchwurzelt, Graswurzelfilz, wenig Feinerde, sehr stark humos; krümelig, skelettfrei, schwach karbonathaltig, deutlich glimmerführend; dunkelgraubraun 10 YR 4/2
5 - 28cm	Bv-T durchwurzelt, schwach humos; krümelig bis subpolyedrisch, z.T. steinartig verbackene Fragmente, skelettfrei, mittel karbonathaltig; in Taschen ausgreifend; gelb 10 YR 6/6
28-30cm	TCv kaum durchwurzelt, schwach humos; subpolyedrisch, skelettfrei, stark karbonathaltig, als Karrenfüllung taschenförmig in mCv ausgreifend, nach unten tonige gelbe, weiße und rote Schmitzen; rotbraun 2.5 YR 6/4
>30cm	mCv weißer Kalk, rot-gelb bebändert, z.T. Tontapeten; Fels mit Rundkarrenrelief; 7,5 YR 8/2, schwimmende Scherben?

### 12.1.1 Probenentnahme:

Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer
RA 12/1 03.07.02	Ah	0 - 5cm	RA 12/1 (Ah 0-5cm)
RA 12/2 03.07.02	Bv-T	5 - 28cm	RA 12/2 (Bv-T 5-28cm)
RA 12/3 03.07.02	TCv	28-30cm	RA 12/3 (TCv 28-30cm)
RA 12/4 03.07.02	mCv	>30cm	RA 12/4 (mCv >30cm)

### 12.1.2 Bodenfarbansprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)

Probe Nr.	Horizont [cm]	trocken	naß		
			10 YR	hue	chroma
RA 12/1	Ah 0-5	10 YR 4/2 dark grayish brown	10 YR 3/2	very dark grayish brown	
RA 12/2	Bv-T 5-28	10 YR 6/6 brownish yellow	10 YR 4/6	dark yellowish brown	
RA 12/3	TCv 28-30	2.5 YR 6/4 light reddish brown	2.5 YR 4/6	red	
RA 12/4	mCv >30	7,5 YR 8/2 pinkish white	7,5 YR 8/3	pink	

## 12.2. Bodenanalytische Werte

### 12.2.1 Korngrößenverteilung

Probe Nr.	Horizont [cm]	Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)										
		Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	S	U	T
RA 12/1	Ah 0-5	0	0	0	15,5	37,7	23,5	13,9	9,4	15,5	75,1	9,4
RA 12/2	Bv-T 5-28	0	1	1	11,3	23,4	26,3	15	22,0	13,3	64,7	22,0
RA 12/3	TCv 28-30	0	1	1	12,7	16	26,1	18	25,2	14,7	60,1	25,2
RA 12/4	mCvLR >30	Fels										

### 12.2.2 Bodenphysikalische Indices

Probe Nr.	Horizont [cm]	Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)							Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm		
		U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe	
RA 12/1	Ah 0-5	8,0	0,1	4,8	5,5	0,6	0,4	sw toniger U	Lehmschluff	U	
RA 12/2	Bv-T 5-28	3,0	0,3	4,7	6,2	1,1	0,6	st toniger U	Tonschluff	U	
RA 12/3	TCv 28-30	2,7	0,4	4,0	5,4	1,6	1,1	schluffiger L	Tonschluff	U	

## Reiteralpe Profil 12: RA\_P12, Catena 1 (Plateaurand NNW, Diensthütte)

12.2.3 Bodenchemische Werte																
Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR																
Probe			pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>e</sub>			
Nr. Horizont [cm]			Al	Fe <sub>d</sub>	Mn											
RA 12/1	Ah	0-5		2,4	7,94	13,7	0,30	26,5	n.b.	1,01	n.b.	0,33	0,33			
RA 12/2	Bv-T	5-28	4,3	4,8	1,26	2,2	0,29	4,3	0,25	0,97	0,03	0,21	0,22			
RA 12/3	TCv	28-30	7,0	7,7	1,44	2,5	0,28	5,1	0,18	2,16	0,04	0,11	0,05			
KAKeff [mmol/kg]																
Nr. Horizont [cm]			K [%]	Na [%]	Mg [%]	Ca [%]	Al [%]	H <sup>+</sup> [%]	Σ KAK	Basensättigung [%]						
RA 12/1	Ah	0-5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			
RA 12/2	Bv-T	5-28	0,94	1,4	2,80	4,0	2,43	3,5	56,46	81,9	3,35	4,8	3,00	4,3	68,97	90,8
RA 12/3	TCv	28-30	1,56	0,7	0,39	0,2	1,69	0,8	209,87	97,89	0,24	0,11	0,65	0,30	214,40	99,6

12.3 Mineralanalytische Werte																				
12.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)																				
Hauptelementgehalte [%]																				
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.					
RA 12/2 Bv-T, 5-15cm	58,53	17,96	8,47	1,45	7,02	0,124	2,3	0,92	0,78	2,87	0,97	0,15	2,35	7,64	91,83					
Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
RA 12/2 Bv-T, 5-15cm	330	110	21	183	12	19	49	20	45	95	27	130	<0,10	120	20	<5	153	52	103	278

12.3.2 Geochemische Indices										
Geochemische Indices										
Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba
RA 12/2 Bv-T	3,26	0,21	0,40	0,32	0,04	3,68	0,25	83,51	3,22	0,36

12.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)												
Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe <sup>2)</sup>	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>1)</sup>	Kornsumme
RA 12/2 Bv-T 5-15cm	5	6	1	6	1	1	0	0	14	64	1	304
Reslspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige <sup>1)</sup>	Kornsumme	
RA 12/2 Bv-T 5-15cm	7	1	6	1	1	0	0	15	67	1	290	

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)

1) Sonstige: 4 Spinelle  
2) Angaben gelten für Korngrößenfraktion <0,1mm

Beschreibung des Schwermineralspektrums												
geringe SM-Menge, bräunlich, nur Fraktion <0,1mm, keine Karbonatkörner, hoher Gehalt an magnetischen Körnern, mäßiger Opakanteil; Verwitterungsgrad nicht bestimmbar												

12.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA) - Tonminerale (Methode RAST 1990, 1993)									
Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]							Kommentar		
Probe	Sm <sup>4)</sup>	ML <sub>M</sub> <sup>1)</sup>	Illit <sup>2)</sup>	Kaolinit <sup>3)</sup>	Chlorit	Σ K+Ch	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit
RA 12/2 Bv-T 5-15cm	0	8	52 <sup>qu</sup>	13	26	39	mäßig	mäßig	vorhanden

1) ML<sub>M</sub> = Mixed-layer-Material, d.h. unregelmäßige Wechsellagerungsminerale aus Illit und Smektit, reich an Illit (>60 Rel.-% Illite)  
2) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar), Index zeigt randliche Aufweitung der Schichten an  
3) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)  
4) Smektit

Relative Häufigkeit sonstiger Minerale			
Probe	Hauptkomponente	Nebenkompente	Spuren / Bemerkungen
RA 12/2 Bv-T 5-15cm	Qz	Alb>KF	wenig kein Cc und Dol

Qz = Quarz; KF = Kalifeldspäte; Alb = Albit; Cc = Calcit; Dol = Dolomit



## Reiteralpe Profil 13: RA\_P13, Catena 3 (Traunsteiner Hütte- Weitschartenkopf)

13.1 Profilbeschreibung												
Bodentyp:		Autochthone Braunerde, leicht pseudovergleyt auf Gosaukalk										
Klasse:		Braunerde										
Höhe / Neigung / Exposition		1570m/ 2°/ 156°S										
Lage und Relief:		R / H ; Hangfuß unterhalb von Schichtkopf										
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:		aufgelockertes Alpenrosen-Latschen-Gebüsch ( <i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> ), Weiderasen mit Dolinen, z.T. wassergefüllt										
Profilmächtigkeit:		45cm										
Horizontfolge:		Ah / Bv / Bv-Sd / mCv										
0 - 8cm	Ah	intensiv durchwurzelt, Graswurzelfilz, wenig Feinerde, sehr stark humos; krümelig, skelettfrei, mittel karbonathaltig, deutlich glimmerführend; graubraun 10 YR 4/2										
8 - 18cm	Bv	durchwurzelt, mittel humos; krümelig bis subpolyedrisch, skelettfrei, stark karbonathaltig; braungelb 10 YR 6/6										
18-45cm	Bv-Sd	kaum durchwurzelt, schwach humos; subpolyedrisch, skelettfrei, karbonatreich, leichte Bleichmerkmale (marmoriert, Manganstiche), taschenförmig in den mCv ausgreifend; hellbraun 10 YR 6/4										
>45cm	mCv	Arkoseartiger Gosaukalk, z.T. mit Tontapeten; 7,5 YR 8/2										
13.1.1 Probenentnahme:												
Probe	Horizont	Entnahmetiefe		Probennummer								
RA 13/1 03.07.02	Ah	0 - 8cm		RA 13/1 (Ah 0-8cm)								
RA 13/2 03.07.02	Bv	8 - 18cm		RA 13/2 (Bv-T 8-18cm)								
RA 13/3 03.07.02	Bv-Sd	18-45cm		RA 13/3 (TCv 18-45cm)								
RA 13/4 03.07.02	mCv	>45cm		RA 13/4 (mCv >45cm)								
13.1.2 Bodenfarbansprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)												
Probe Nr.	Horizont	[cm]	trocken				naß					
RA 13/1	Ah	0-8	10 YR 4/2	dark grayish brown	10 YR 3/2	very dark grayish brown						
RA 13/2	Bv	8-18	10 YR 6/6	brownish yellow	10 YR 4/6	dark yellowish brown						
RA 13/3	Bv-Sd	18-45	10 YR 6/4	light yellowish brown	10 YR 4/4	dark yellowish brown						
RA 13/4	mCv	>45	7,5 YR 8/2	pinkish white	7,5 YR 8/3	pink						
13.2. Bodenanalytische Werte												
13.2.1 Korngrößenverteilung												
Probe Nr.	Horizont [cm]	Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)										
		Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T < 2	S	U	T
RA 13/1	Ah 0-8	0	0	0	1,0	14,1	41,6	33,9	9,6	1,0	89,6	9,6
RA 13/2	Bv 8-18	0	0	1,0	5,8	18,2	25,7	21,9	27,4	6,8	65,8	27,4
RA 13/3	Bv-Sd 18-45	0	3,3	3,1	11,2	14,4	19,3	16,0	32,8	17,6	49,7	32,8
RA 13/4	mCvLR >45	Fels										
13.2.2 Bodenphysikalische Indices												
Probe Nr.	Horizont [cm]	Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)							Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S= Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm			
		U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe		
RA 13/1	Ah 0-8	9,3	0,1	89,6	99,2	3,0	2,4	sw toniger U	Lehmschluff	U		
RA 13/2	Bv 8-18	2,4	0,4	9,7	13,7	1,41	1,2	st schluffiger T	Schluffton	T		
RA 13/3	Bv-Sd 18-45	1,5	0,7	2,8	4,7	1,3	1,1	mi schluffiger T	Schluffton	T		

# Reiteralpe Profil 13: RA\_P13, Catena 3 (Traunsteiner Hütte- Weitschartenkopf)

## 13.2.3 Bodenchemische Werte

Probe			Kennwerte des Feinbodens /Lösungsresiduums LR										
Nr.	Horizont	[cm]	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>o</sub>
									Al	Fe <sub>c</sub>	Mn		
RA 13/1	Ah	0-8		4,2	7,81	13,4	0,30	26,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RA 13/2	Bv	8-18	3,9	9,5	2,35	4,1	0,27	8,7	0,35	1,45	0,02	0,72	0,50
RA 13/3	Bv-Sd	18-45	6,2	14,6	1,44	2,5	0,29	5,0	0,36	1,63	0,05	0,20	0,12

Probe			KAKeff [mmol/kg]												
Nr.	Horizont	[cm]	K [%]	Na [%]	Mg [%]	Ca [%]	Al [%]	H <sup>+</sup> [%]	Σ KAK	Basensättigung [%]					
										Basensättigung [%]					
RA 13/1	Ah	0-8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.				
RA 13/2	Bv	8-18	0	2,13	3,0	1,70	2,4	9,91	13,8	29,75	41,5	28,18	39,3	71,68	19,2
RA 13/3	Bv-Sd	18-45	0	0	0	1,02	1,4	70,65	96,8	0,42	0,6	0,86	1,2	72,96	98,2

## 13.3 Mineralanalytische Werte

### 13.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Hauptelementgehalte [%]																
Probe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.	
RA 13/2 Bv 8-18cm	58,75	16,52	9,63	2,13	7,50	0,08	1,82	0,24	0,45	2,48	0,99	0,15	2,30	10,63	89,2 <sub>1</sub>	

Spurenelementgehalte [ppm]																				
Probe	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
RA 13/2 Bv 8-18cm	309	90	20	180	11	20	50	20	33	75	36	141	<0,10	112	16	5	161	31	138	253

### 13.3.2 Geochemische Indices

Geochemische Indices										
Probe	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba
RA 13/2 Bv 8-18cm	3,56	0,28	0,13	0,10	0,03	5,51	0,19	82,77	2,06	0,36

### 13.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Gesamtspektrum (Kornzahl- %); Fraktion 0,1-0,25mm <sup>2)</sup>												
Probe	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme
RA 13/2 Bv 8-18cm	1	1	2	1	1	<1	0	0	13	82	0	300

Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%); Fraktion 0,1-0,25mm												
Probe	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme	
13/2 Bv 8-18cm	1	2	1	1	<1	0	0	13	82	0	298	

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit)

#### Beschreibung des Schwermineralspektrums

- geringe SM-Menge, ockerfarben, wenig Fraktion >0,1mm
- keine Karbonatkörner, mäßiger Gehalt magnetischer Minerale
- opakreich
- wenig verwittert

### 13.3.4 Röntgendiffraktions-Analyse (RDA) - Tonminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Probe	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]						Kommentar		
	Sm <sup>5)</sup>	ML <sub>M</sub> <sup>6)</sup>	Illit <sup>7)</sup>	Kaolinit <sup>8)</sup>	Chlorit	Σ K+Ch	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit
RA 13/2 Bv 8-18cm	0	15	53	9	23	32	-	-	-

5) ML<sub>M</sub> = Mixed-layer-Material, d.h. unregelmäßige Wechsellagerungsminerale aus Illit und Smektit, reich an Illit (>60 Rel.-% Illite)

6) Illite (10 Å-Mineral, teilweise randlich aufweitbar), Index zeigt randliche Aufweitung der Schichten an

7) Kaolinit (7 Å-Mineral); Chlorit (7 Å-Mineral)

8) Smektit

RA 13/2 Bv 8-18cm	Relative Häufigkeit sonstiger Minerale	
	Hauptkomponente	Nebenkompente
	Qz	Alb > KF

wenig

Spuren / Bemerkungen

kein Cc und Dol

Qz = Quarz; KF = Kalifeldspäte; Alb = Albit; Cc = Calzit; Dol = Dolomit



## Reiteralpe Profil 14: RA\_P14, Catena 1, (Wartsteinhaus)

14.1 Profilbeschreibung		
Bodentyp:	Äolische Braunerde auf Äolium-Kolluvium über weißem Dk	
Klasse:	Braunerde	
Höhe / Neigung / Exposition	1720m/ 10°/ 156°S	
Lage und Relief:	R / H ; Unterhang	
Vegetationsgesellschaft / Bodenvegetation:	aufgelockertes Alpenrosen-Latschen-Gebüsch ( <i>Erico-Rhododendretum hirsuti</i> ) mit alpinen Rasen	
Profilmächtigkeit:	55cm	
Horizontfolge:	Ah / Bv /llmCv	
0 - 3cm	Ah	intensiv durchwurzelt, Graswurzelfilz, wenig Feinerde, sehr stark humos; krümelig, skelettfrei, mittel karbonathaltig, deutlich glimmerführend; schwach toniger Schluff; graubraun 10 YR 4/2
3 - 55cm	Bvh	durchwurzelt, mittel humos; krümelig bis subpolyedrisch, skelettfrei, stark karbonathaltig; mittel toniger Schluff; gelbbraun 2.5 Y 6/3
>55cm	mCv	weißer Dachsteinkalk mit roten Tontapeten; 7,5 YR 8/2

### 14.1.1 Probenentnahme:

Probe	Horizont	Entnahmetiefe	Probennummer
P14/1 03.07.02	Ah	0 - 3cm	P14/1 (Ah 0-3cm)
P14/2 03.07.02	Bv	3 - 15cm	P14/2 (Bv-T 3-15cm)
P14/3 03.07.02	mCv	>15cm	P14/4 (mCv >15cm)

### 14.1.2 Bodenfarbansprache nach MUNSELL Soil Color Chart (2000)

Probe Nr.	Horizont	[cm]	trocken		naß	
			Munsell	Verbal	Munsell	Verbal
14/1	Ah	0-3	10 YR 4/2	dark grayish brown	10 YR 3/2	very dark grayish brown
14/2	Bv	3-15	2.5 Y 6/3	light yellowish brown	2.5 Y 3/3	dark olive brown
14/3	mCv	>15	7,5 YR 8/2	pinkish white	7,5 YR 8/3	pink



# Reiteralpe Profil 14: RA\_P14

## 14.2. Bodenanalytische Werte; 14.2.1 Korngrößenverteilung

Probe			Korngrößen [µm] in Gew.-% (Feinboden bzw. Lösungsresiduums LR des anstehenden Gesteins)										
Nr.	Horizont	[cm]	Skelett >2000	gS 2000-630	mS 630-200	fS 200-63	gU 63-20	mU 20-6,3	fU 6,3-2	T <2	S	U	T
14/1	Ah	0-3	0	0	1,2	1,0	24,5	40,8	21,5	11,0	2,2	86,8	11,0
14/2	Bv	3-15	0	0	1,0	8,0	26,8	32,1	19,4	13,0	9,0	78,3	13,0
14/3	mCv	>15	0	0	13,5	5,7	0	29	30	21,8	19,2	59,0	21,8

## 14.2.2 Bodenphysikalische Indices

Probe			Bodenphysikalische Indices (Verhältniszahlen)					Charakterisierung Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm				
Nr.	Horizont	[cm]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart		Bodenart-gruppe	Haupt-gruppe
14/1	Ah	0-3	9,3	0,1	89,6	99,2	3,0	2,4	sw toniger U		Lehmschluff	U
14/2	Bv	3-15	6,0	0,2	8,7	10,1	1,2	0,7	mi toniger U		Lehmschluff	U
14/3	mCvLR	>15	2,7	0,4	3,1	4,2	-	-	schluffiger L		Tonschluff	U

## 14.2.3 Bodenchemische Werte

Probe			Kennwerte des Feinbodens / Lösungsresiduums LR										
Nr.	Horizont	[cm]	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	Dithionit-Extraktion [%]			Oxalat-Extr. Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>
									Al	Fe <sub>d</sub>	Mn		
14/1	Ah	0-3	5,1	5,1	7,79	13,4	0,31	25,1	n.b.		n.b.		
14/2	Bv	3-15	4,8	9,7	6,64	11,4	0,30	22,1	n.b.	0,81	n.b.	0,21	0,26
14/3	mCvLR	>15	8,1	97,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Probe			KAKEff [mmol/kg]												Basen-sättigung [%]	
Nr.	Horizont	[cm]	K	[%]	Na	[%]	Mg	[%]	Ca	[%]	Al	[%]	H <sup>+</sup>	[%]		Σ KAK
14/1	Ah	0-8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
14/2	Bv	3-15	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

## 14.3 Mineralanalytische Werte; 14.3.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Probe	Hauptelementgehalte [%]														
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Total	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Loss on ignition	sum of conc.
14/2 Bv 3-15cm	52,97	15,09	10,64	4,01	6,63	0,41	1,51	1,41	0,94	1,80	1,09	0,37	2,77	17,05	82,608

Probe	Spurenelementgehalte [ppm]																			
	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	SO <sub>3</sub>	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
14/2 Bv 3-15cm	366	117	21	122	19	19	68	20	51	50	335	105	0,16	110	19	5	122	57	263	385

## 14.3.2 Geochemische Indices

Probe	Geochemische Indices									
	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/MgO	CaO/K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	CaO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Sr/Ba
14/2 Bv 3-15cm	3,51	0,60	0,93	0,78	0,06	1,91	0,27	74,69	2,92	0,30

## 14.3.3 Schwerminerale (Methode RAST 1990, 1993)

Probe	Gesamtspektrum (Kornzahl- %): Fraktion 0,1-0,25mm											
	G	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme
14/2 Bv 3-15cm	5	2	<1	1	0	1	0	0	14	77	0	300

Probe	Restspektrum ohne Granat (bezogen auf 100%): Fraktion 0,1-0,25mm											
	Z	T	R	Ap	St	Di	And	Hbl	Ep+Zo	Sonstige	Kornsumme	
14/2 Bv 3-15cm	2	<1	1	0	1	0	0	14	81	0	286	

G = Granat; Z = Zirkon (+ Xenotim + Monazit), T = Turmalin; R = Rutil; Ap = Apatit; St = Staurolith; Di = Disthen, And = Andalusit; Hbl = Hornblende; Ep+Zo = Epidote (+ Zoisit + Klinozoisit + feinkörnige Aggregate von Pumpellyit); geringe SM-Menge, bräunlich, keine Fraktion >0,1mm; keine Karbonatkörner, hoher Gehalt magnetischer Minerale; mäßiger Opakanteil

Probe	Relative Tonmineralgehalte in der Fraktion <0,002mm [Rel.-%]						Kommentar		
	Sm <sup>(1)</sup>	ML <sub>III</sub> <sup>(1)</sup>	Illit <sup>(2)</sup>	Kaolinit <sup>(3)</sup>	Chlorit	Σ K+Ch	Gesamtmenge	Kristallisation	Quellfähigkeit
14/2 Bv 3-15cm	0	9	46	0	45	45	-	-	-
14/2 Bv 3-15cm	Relative Häufigkeit sonstiger Minerale								
	Hauptkomponente			Nebenkompente			wenig	Spuren / Bemerkungen	
	Alb			Qu			KF	kein Cc und Dol	



### 10.3 Korngrößendaten – Böden

#### Mittlere Korngrößenverteilung [Gew.-%] - Böden

Nr. 1

Zugspitzplatt / Wettersteingebirge														Daten als arithmetisches Mittel (n=4) dargestellt													
Probenbeschreibung				Skelett [%]	Korngrößen [Gew.-%] Feinboden							Bodenphysikalische Indices							Charakterisierung der Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel); U = Schluff; T = Ton; S = Sand; L = Lehm								
Profil	Probe	Horizont	Tiefe [cm]		<2000µm	gS (2000-630µm)	mS (630-200µm)	fS (200-63µm)	gU (63-20µm)	mU (20-6,3µm)	fU (6,3-2µm)	T <2µm	Summe	S [%]	U [%]	T [%]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Hauptgruppe		
<b>Lößbraunerden</b>																											
P17/ZP	17/1	Ah	0-4	0	0,6	2,1	2,6	21,3	38,1	19,6	16,0	100,3	5,3	79,0	16,0	4,9	0,2	14,9	17,9	1,8	0,9	mi toniger U	Lehmschluff	U			
	17/2	Btv1	4-25	0	0	0,4	0,2	26,2	31,8	23,6	18,1	100,3	0,6	81,6	18,1	4,5	0,2	136	166	1,2	0,9	st toniger U	Tonschluff	U			
	17/3	Btv2	25-35	0	0	0	3,7	26,4	37,4	21,0	11,7	100,2	3,7	84,8	11,7	7,2	0,1	22,9	26,1	1,4	0,8	mi toniger U	Lehmschluff	U			
	17/4	II T	35-28	2	0,0	0,0	0,0	13,8	28,1	18,3	39,8	100,0	0,0	80,2	39,8	1,5	0,7	-	-	2,0	1,3	mi schluffiger T	Schluffton	T			
	17/5	Cn	>38	Fels	0	8,3	3,7	0	23,6	35,9	28,5	100,0	12,0	59,5	39,8	1,5	0,7	5,0	8,3	-	-	- schluffiger L	Lehmschluff	U			
P18/ZP	18/1	Ah	0-8	1	1,2	2,3	3,3	28,1	20,9	19,1	25,6	100,5	6,8	68,1	25,6	2,7	0,4	10,0	13,8	0,7	0,7	st toniger U	Tonschluff	U			
	18/2	II Bvt	8-20	0	0	0	0	3,2	18,5	36,4	41,8	99,9	0,0	58,1	41,8	1,4	0,7	-	-	5,8	11,4	mi schluffiger T	Schluffton	T			
P19/ZP	19/1	Bv	0-15	1	0,0	0,0	0,0	18,1	36,7	21,1	24,0	99,9	0,0	75,9	24,0	3,2	0,3	-	-	2,0	1,2	st toniger U	Tonschluff	U			
	19/2	II Cv	>15	Fels	0,0	6,3	4,2	0,0	22,5	36,2	32,1	101,3	10,5	58,7	24,0	2,4	0,4	-	-	-	-	- schluffiger L	Lehmschluff	U			
P20/ZP	20/1	Bv	0-13		0	0	0	15,7	28,1	21,1	35,1	100,0	0,0	64,9	35,1	1,8	0,5	-	-	-	-	1,8	1,3	mi schluffiger T	Schluffton	T	
P21/ZP	21/1	II Bv	0-20	0	0	5,7	4,4	16,2	32,0	25,0	16,8	100,0	10,1	73,1	16,8	4,4	0,2	7,2	8,9	2,0	1,5	mi toniger U	Lehmschluff	U			
<b>Reife Polsterrendzina / Terra fusca-Rendzina</b>																											
P29/ZP	29/1	Oh	0-17	1	3,2	4,1	7,9	19,1	29,5	14,5	22,8	101,1	15,2	63,1	22,8	2,8	0,4	4,2	5,7	1,5	0,8	st toniger U	Tonschluff	U			
	29/2	Oh+T	17-20	0	0,8	0,9	5,4	5,1	20,6	16,3	50,9	100,0	7,1	42,0	50,9	0,8	1,2	5,9	13,1	4,0	3,2	sw schluffiger T	Lehmton	T			
	29/3	T	20-21	0	0	0	0	8,5	10,5	22,7	57,3	99,0	0,0	41,7	57,3	0,7	1,4	-	-	1,2	2,7	sw schluffiger T	Lehmton	T			
	29/4	Cn	>21	Fels	0,0	6,9	4,2	0,0	23,0	37,0	29,1	100,2	11,1	60,0	57,3	1,0	1,0	-	-	-	-	-	mi schluffiger T	Schluffton	T		
P30/ZP	30/1	Oh+T	15-19	2	0,2	0,8	1,2	15	12,8	18,3	52,3	100,6	2,2	46,1	52,3	0,9	1,1	21,0	44,7	0,9	1,2	sw schluffiger T	Lehmton	T			
	30/2	T	19-21	0	0	0	0	4,3	23,7	14,9	54,3	97,2	0,0	42,9	54,3	0,8	1,3	-	-	5,5	3,5	sw schluffiger T	Lehmton	T			
P33/ZP	33/1	T	0-12	2	1,2	0,5	11,6	10,1	13,6	22,9	41,5	101,4	13,3	46,6	41,5	1,1	0,9	3,5	6,6	1,3	2,3	mi toniger L	Schluffton	T			
P34/ZP	34/1	Bv	0-15	0	0	7,1	4,2	15,1	29,7	25,4	18,7	100,2	11,3	70,2	25,4	2,8	0,4	6,2	8,5	2,0	1,7	st toniger U	Tonschluff	U			

Die Profile der organischen, rezent-beeinflußten Böden sind der Arbeit von HUTTL (1999) zu entnehmen

#### Mittlere Korngrößenverteilung [Gew.-%] - Böden

Nr. 2

Karwendelgrube / Karwendelgebirge														Daten als arithmetisches Mittel (n=4) dargestellt													
Probenbeschreibung				Skelett [%]	Korngrößen [Gew.-%] Feinboden							Bodenphysikalische Indices							Charakterisierung der Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel); U = Schluff; T = Ton; S = Sand; L = Lehm								
Profil	Probe	Horizont	Tiefe [cm]		<2000µm	gS (2000-630µm)	mS (630-200µm)	fS (200-63µm)	gU (63-20µm)	mU (20-6,3µm)	fU (6,3-2µm)	T <2µm	Summe	S [%]	U [%]	T [%]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Hauptgruppe		
<b>Lößbraunerden auf alpinem Muschelkalk mk / Westl. Karwendelgrube</b>																											
P1/KG	1/1	Aeh	0-8	9,8	11,8	13,6	13,1	12,4	17,6	16,8	14,7	100,0	38,5	46,8	15	3,2	0,3	1,2	1,6	1,4	1,4	schluffig-lehm.S	Schlufflehm	L			
B1	1/2	Bv	8-45	12,5	11,4	12,1	10	9	18,6	20,5	18,4	100,0	33,5	48,1	18	2,6	0,4	1,4	2,0	2,1	2,3	sw sandiger L	typ. L	L			
	1/3	Bv-II Cv	45-85	50	5,3	11,5	20,1	18,1	18,9	3,9	22,1	99,9	36,9	40,9	22	1,9	0,5	1,1	1,7	1,0	0,2	typ. L	L				
	1/4	II mCv	>85	80	0	0	0	25,1	21,7	24,7	28,5	100,0	0,0	71,5	29	2,5	0,4	-	-	0,9	1,0	mi schluffiger S	Schluffsand	S			
P9/KG	2/1	AhBv	0-8	4,9	14,6	14,7	12,4	9,3	18,1	17,1	13,9	100,1	41,7	44,5	14	3,2	0,3	1,1	1,4	1,9	1,8	schluffig-lehm.S	Sandlehm	L			
B2	2/2	Bv	8-46	1,5	10,1	11,1	13,2	11,9	14,9	19,8	18,9	99,9	3,4	46,6	19	2,5	0,4	1,4	1,9	1,3	1,7	sw sandiger L	typ. L	L			
	2/3	Bv+II Cv	46-50	55	15,1	28,1	21,1	15,2	7,6	6,8	6,1	100,0	64,3	29,6	6,1	4,9	0,2	0,5	0,6	0,5	0,4	mi schluffiger S	Schluffsand	S			
	2/4	II Cv	>50	86	0	0	0	0,8	27,7	36,1	35,4	100,0	0,0	64,6	35	1,8	0,5	-	-	34,6	45,1	mi schluffiger T	Schluffton	T			
P11/KG	3/1	Bv1	0-23	7,7	10,0	10,3	13,3	13,8	15,1	23,1	14,4	100,0	33,6	52,0	14,4	3,6	0,3	1,5	2,0	1,1	1,7	sandig-lehm. U	Lehmschluff	U			
B3	3/2	Bv2	23-50	9,9	7,5	12,2	10,2	14,8	17,8	21,2	16,3	100,0	29,9	53,8	16,3	3,3	0,3	1,8	2,3	1,2	1,4	sandig-lehm. U	Lehmschluff	U			
	3/3	II mCv	>50	mk	0,0	0,0	0,0	1,0	27,0	39,0	33,0	100,0	0,0	67,0	33,0	2,0	0,5	-	-	27,0	39,0	st schluffiger T	Schluffton	T			
P13/KG	4/1	AhBv	0-8	1	5,8	12,3	23,8	18,1	19,8	12,1	7,9	99,8	42	50	7,9	6,3	0,2	1,2	1,4	1,1	0,7	st schluffiger S	Schluffsand	S			
	4/2	Bv	8-45	2	2,3	9	18	14,7	17,1	19,6	19,3	100,0	29	51,4	19	2,7	0,4	1,8	2,4	1,2	1,3	schluffiger L	Tonschluff	U			
	4/3	II mCv	>45	35	0	0	0	15,4	27,6	29,9	27,1	100,0	0	72,9	27	2,7	0,4	-	-	-	-	1,9	st schluffiger T	Schluffton	T		
<b>Terra fusca-Rendzina aus Reichenhaller Schichten rh / Östl. Karwendelgrube</b>																											
P5/ÖKG	5/1	Bvh	0-90	0	0,0	1,7	5,2	9,4	24	30,6	29,1	100,0	6,9	64,0	29,1	2,2	0,5	9,3	13,5	2,6	3,3	schluffiger L	Tonschluff	U			
B6	5/2	(Bv)-TCv	80-90	75	1	4,2	7,8	6,2	21,1	25,4	34,5	100,0	12,8	52,7	34,5	1,5	0,7	4,1	6,8	3,4	4,1	mi schluffiger T	Schluffton	T			
	5/3	ICv (LR)	>90	95	0	0	0	9,8	33,5	29,2	27,5	100,0	0	72,5	28	2,6	0,4	-	-	3,4	3,0	st schluffiger T	Schluffton	T			
P6/ÖKG	6/1	Bvh	0-5	11,2	0	1,6	4,1	11,9	25	29	28,4	100,0	5,7	65,9	28	2,3	0,4	11,6	16,5	2,1	2,4	st schluffiger T	Schluffton	T			
B7	6/2	Bv+T	5-38	7,6	0	1	3	9,1	25,8	29,8	31,4	100,1	4,0	64,7	31	2,1	0,5	16,2	24,0	2,8	3,3	st schluffiger T	Schluffton	T			
	6/3	mCv (LR)	>38	5	0	0	0	6,7	30,1	34,9	28,4	100,1	0,0	71,7	28	2,5	0,4	-	-	4,5	5,2	st schluffiger T	Schluffton	T			
P7/ÖKG	7/1	AhBv	0-5	51,2	0	0	12,1	12,1	22,1	31	22,9	100,2	12,1	65,2	33	2,8	0,4	5,4	7,3	1,8	2,6	st toniger U	Tonschluff	U			
	7/2	T	5-32	75	1,9	1	3,7	6,5	21,4	32,3	33,3	100,1	6,6	60,2	33	1,8	0,6	9,1	14,2	3,3	5,0	mi schluffiger T	Schluffton	U			
	7/3	mCv (LR)	32-40	rh	0	0	0	1,7	30	37,8	30,6	100,1	0,0	69,5	31	2,3	0,4	-	-	17,6	22,2	st schluffiger T	Schluffton	T			



Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen		Daten als arithmetisches Mittel (n=4) dargestellt																						
Probenbeschreibung				Skelett [%]	Korngrößen [Gew.-%] Feinboden							Bodenphysikalische Indices							Charakterisierung der Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel); U = Schluff; T = Ton; S = Sand; L = Lehm					
Profil	Probe	Horizont	Tiefe [cm]	<2000µm	gs (2000-630µm)	ms (630-200µm)	fs (200-63µm)	gu (63-20µm)	mu (20-6,3µm)	fu (6,3-2µm)	T <2µm	Summe	S [%]	U [%]	T [%]	UT	TU	US	U+TS	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Hauptgruppe
P4/RA	4/0 Ah	0-2			0,0	7,9	6,5	12,8	29,2	25,4	18,3	100,1	14,4	67,4	18,3	3,7	0,3	5	6	2,3	2,0	st toniger U	Tonschluff	U
	4/1 Bt	2-25			0,0	1,0	41,3	18,3	17,0	12,3	9,5	99,4	42,3	47,6	9,5	5,0	0,2	1,1	1,3	0,9	0,7	schluff-lehm. S	Sandlehm	L
	4/2 Bl(T)	25-28		Fels	0,0	1,0	21,5	21,4	24,7	17,9	13,3	99,8	22,5	64,0	13,3	4,8	0,2	2,8	3,4	1,2	0,8	sand.-lehm. U	Lehmschluff	U
	4/3 Cv	>28		Fels	0	0	0	0,1	28,6	39,2	32,1	100	0,0	67,9	32,1	2,1	0,5	-	-	286	392	st schluffiger T	Schluffton	T
P6/RA	6/1 Ahe	0-7			0,6	3,5	22,1	25,2	27,5	9,2	11,9	100,0	26,2	61,9	11,9	5,2	0,2	2,4	2,8	1,1	0,4	sand.-lehm. U	Lehmschluff	U
	6/2 Bv-(Sw)	7-40			0,0	0,0	2,8	31,5	30,3	18,2	17,5	100,3	2,8	80,0	17,5	4,6	0,2	28,5	34,7	1,0	0,6	mi toniger L	Lehmschluff	U
	6/3 Bv-(Sd)	40-50			9,3	0,0	2,3	24,7	30,8	18,8	14,1	100,0	11,6	74,3	14,1	5,3	0,2	6,4	7,6	1,2	0,8	mi toniger U	Lehmschluff	U
	6/4 Cv	>50		Fels	0,0	0,0	0,0	0,0	22,1	42,5	35,4	100,0	0,0	64,6	35,4	1,8	0,5	-	-	-	-	st schluffiger T	Schluffton	T
P14/RA	14/1 AhBv	0-15			0	1	8	26,8	32,1	19,4	13	100,3	9,0	78,3	13	6,0	0,2	8,7	10,1	1,2	0,7	mi toniger U	Lehmschluff	U
	14/2 mCv	>15		Fels	0	13,5	5,7	0	29	30	21,8	100,0	19,2	59,0	21,8	2,7	0,4	3,1	4,2	-	-	schluffiger L	Tonschluff	U
P15/RA	15/1 Ah+Bv	0-5			0,2	3,35	17,3	31,85	25,3	13,46	8,49	100,0	20,9	70,6	8,49	8,3	0,1	3,4	3,8	0,8	0,4	sandiger U	Sandschluff	U
	15/2 Bv	5-100			0	1,25	9,05	29,1	32,05	17,55	11,0	100,0	10,3	78,7	11	7,2	0,1	7,6	8,7	1,1	0,6	sw toniger U	Lehmschluff	U
	15/3 Bv2			Fels	30,2	0,95	5,85	22	23,25	11,575	6,18	100,0	37,0	56,8	6,18	9,2	0,1	1,5	1,7	1,1	0,5	sandiger U	Sandschluff	U
P17/RA	17/1 Ah	0-5			0	5,3	10,7	30,1	27,6	15	11,3	100,0	16,0	72,7	6,9	10,5	0,1	4,5	5,0	0,9	0,5	stark toniger U	Tonschluff	U
	17/2 Bsv	9-5			0	0	4,7	25,5	34,1	17,6	18,1	100,0	4,7	77,2	18,1	4,3	0,2	16,4	20,3	1,3	0,7	mi toniger U	Lehmschluff	U
	17/3 Sw	9-16			0	1,2	5,1	30,1	34,6	17,3	11,7	100,0	6,3	82,0	11,7	7,0	0,1	13,0	14,9	1,1	0,8	mi toniger U	Lehmschluff	U
	17/4 II Sd	16-38			0	2,1	13,8	25,1	32,1	16,7	10,2	100,0	15,9	73,9	10,2	7,2	0,1	4,6	5,3	1,3	0,7	sw toniger U	Lehmschluff	U
	17/5 II BvCv	38-58		Moräne	19,2	10,1	22,3	14,3	18,2	10,2	6,7	100,0	50,6	42,7	6,7	6,4	0,2	0,8	1,0	1,3	0,7	st u S	Schluffsand	S

Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen		Daten als arithmetisches Mittel (n=4) dargestellt																						
Probenbeschreibung				Skelett [%]	Korngrößen [Gew.-%] Feinboden							Bodenphysikalische Indices							Charakterisierung der Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel); U = Schluff; T = Ton; S = Sand; L = Lehm					
Profil	Probe	Horizont	Tiefe [cm]	<2000µm	gs (2000-630µm)	ms (630-200µm)	fs (200-63µm)	gu (63-20µm)	mu (20-6,3µm)	fu (6,3-2µm)	T <2µm	Summe	S [%]	U [%]	T [%]	UT	TU	US	U+TS	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Hauptgruppe
P1/RA	1/1 Bt	0-14		0	0,0	0,0	3,8	17,6	27,3	28,7	22,7	100,1	3,8	73,6	22,7	3,2	0,3	19,5	25,5	1,6	1,6	st schluffiger T	Tonschluff	U
	1/2 Cv	>14		Fels	0	24,5	16,5	7,1	18,3	18,8	14,6	99,8	41,0	44,2	14,6	3,0	0,3	1,1	1,4	2,6	2,6	st lehmiger S	Sandlehm	L
P2/RA	2/1 Bt	0-15		0	1,8	12,9	23,6	16,9	15,7	10,4	18,7	100,0	38,3	43,0	18,7	2,3	0,4	1,1	1,6	0,9	0,6	sw sandiger U	typ. Lehm	L
	2/2 Cv	>15		Fels	0,0	9,3	6,6	6,0	17,1	28,0	33,0	100,0	15,9	51,1	33,0	1,5	0,6	3,2	5,3	2,9	4,7	mi schluffiger T	Schluffton	T
P3/RA	3/1 Bt	0-15			5,3	1,9	5,7	35,2	12,6	17,5	21,6	99,8	12,9	65,3	21,6	3,0	0,3	5,1	6,7	0,4	0,5	st toniger U	Tonschluff	U
	3/2 Cv	>15		Fels	0,0	0,0	0,2	4,5	27,0	36,0	32,3	100,0	0,2	67,5	32,3	2,1	0,5	338	499	6,0	8,0	st schluffiger T	Schluffton	T
P5/RA	5/1 Bvh	0-20		0	0,5	0,0	4,8	29,0	18,5	11,9	35,2	99,9	5,3	59,4	35,2	1,7	0,6	11,2	17,8	0,6	0,4	mi schluffiger T	Schluffton	T
	5/2 Cv	>20		Fels	0,0	1,9	1,0	0,0	25,6	39,8	32,6	100,0	2,9	65,4	32,6	2,0	0,5	22,6	33,8	-	-	mi schluffiger T	Schluffton	T
P7/RA	7/0 Ah	0-2		0,5	0,0	0,0	2,9	11,0	23,1	21,0	41,5	99,5	2,9	55,1	41,5	1,3	0,8	19,0	33,3	2,1	1,9	mi schluffiger T	Schluffton	T
	7/1 T	2-30		0	0,0	0,1	4,4	10,9	14,0	22,8	47,8	100,0	4,5	47,7	47,8	1,0	1,0	10,6	21,2	1,3	2,1	sw schluffiger T	Lehmton	T
	7/2 TCv	30-60		20	0,0	0,6	1,4	11,1	32,3	19,2	35,2	99,8	2,0	62,6	35,2	1,8	0,6	31,3	48,9	2,9	1,7	mi schluffiger T	Schluffton	T
	7/3 Cv	>50		Schutt	0,0	20,1	11,7	0,0	21,7	26,1	20,4	100,0	31,8	47,8	20,4	2,3	0,4	1,5	2,1	-	-	sw sandiger L	typ. Lehm	L
P8/RA	8/1 Oh	0-3		0	0,3	1,3	32,8	29,3	20,0	8,8	7,3	99,8	34,4	58,1	7,3	8,0	0,1	1,7	1,9	0,7	0,3	sandiger U	Sandschluff	U
	8/2 Bv	3-17		0,5	0	1,0	9,8	18,1	34	14	23,7	101	10,8	66,1	23,7	2,8	0,4	6,1	8,3	1,9	0,8	st toniger U	Tonschluff	U
	8/3 Cv	>17		Fels	0,0	0,0	0,0	0,0	26,1	40,2	33,7	100,0	0,0	66,3	33,7	2,0	0,5	-	-	-	-	st schluffiger T	Schluffton	T
P9/RA	9/1 Ahe	0-7		0	1,9	2,4	34,5	20,4	18,9	3,4	18,3	99,8	38,8	42,7	18,3	2,3	0,4	1,1	1,6	0,9	0,2	schluffiger L	Schluffton	U
	9/2 Bsh	7-10		0	0,7	0,8	16,7	17,1	27,8	12,6	24,4	100,1	18,2	57,5	24,4	2,4	0,4	3,2	4,5	1,6	0,7	schluffiger L	Tonschluff	U
	9/3 Bv	10-25		0	0,0	0,0	7,2	18,5	28,4	19,5	26,2	99,8	7,2	66,4	26,2	2,5	0,4	9,2	12,9	1,5	1,1	st toniger U	Tonschluff	U
	9/4 Bl (T)	25-30		0,6	0,0	0,0	0,0	10,4	30,4	31,6	27,4	99,8	0,0	72,4	27,4	2,6	0,4	-	-	2,9	3,0	st schluffiger T	Schluffton	T
	9/5 Cv	30-45		Fels	0	0	0	14	19,8	30,7	35,4	99,9	0,0	64,5	35,4	1,8	0,5	-	-	1,4	2,2	mi schluffiger T	Schluffton	T
P10/RA	10/1 Bv1	0-16		0	1,5	2,3	44,9	21,7	13,6	4,3	11,7	100,0	48,7	39,6	11,7	3,4	0,3	0,8	1,1	0,6	0,2	mi toniger S	Sandlehm	L
	10/2 Bv2	16-34		0	0,0	0,8	9,1	20,9	28,5	20,8	19,8	99,9	60,1	70,2	19,8	3,5	0,3	0,9	1,1	1,4	1,0	st toniger U	Tonschluff	U
	10/3 Bv3	34-55		6,8	1,5	1,7	4,3	10	26,5	26,2	31	101,2	7,5	62,7	31	2,0	0,5	8,4	12,5	2,7	2,6	mi schluffiger T	Schluffton	T
	10/4 Cv	>55		Fels	0,0	0,0	0,0	0,0	27,9	40,2	31,8	99,8	0,0	68,1	31,8	2,1	0,5	-	-	-	-	st schluffiger T	Schluffton	T
P11/RA	11/1 Ah	0-5		0	0	0	17,7	40,4	20,8	12,3	8,8	100,0	17,7	73,5	8,8	8,4	0,1	4,2	4,6	0,5	0,3	sw toniger U	Lehmschluff	U
	11/2 Bl(T)	5-15		0	0	20	23,6	13,4	13,4	11,9	17,6	99,9	43,6	38,7	17,6	2,2	0,5	0,9	1,3	1,0	0,9	mi sandiger L	typ. Lehm	L
	11/3 Cv	>15		Fels	0,0	0,0	0,2	4,5	27,0	36,0	32,3	100,0	0,2	67,5	32,3	2,1	0,5	338	499	6,0	8,0	st schluffiger T	Schluffton	T

Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen		Daten als arithmetisches Mittel (n=4) dargestellt																						
Probenbeschreibung				Skelett [%]	Korngrößen [Gew.-%] Feinboden							Bodenphysikalische Indices							Charakterisierung der Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel); U = Schluff; T = Ton; S = Sand; L = Lehm					
Profil	Probe	Horizont	Tiefe [cm]	<2000µm	gs (2000-630µm)	ms (630-200µm)	fs (200-63µm)	gu (63-20µm)	mu (20-6,3µm)	fu (6,3-2µm)	T <2µm	Summe	S [%]	U [%]	T [%]	UT	TU	US	U+TS	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart-gruppe	Hauptgruppe
P12/RA	12/1 Ah	0-5		0	0	0	15,5	37,7	23,5	13,9	9,38	100,0	15,5	75,1	9,4									



### 10.4 Korngrößendaten – Staub

#### Mittlere Korngrößenverteilung [Vol.-%] - Staub von Schneeflächen (Horizonttiefe: 0cm-1cm)

Nr. 6

Zugspitzplatt / Wettersteingebirge		Daten als arithmetisches Mittel (n=4) dargestellt																			
Probenbeschreibung		Korngrößen [Vol.-%] Feinboden							Bodenphysikalische Indices							Charakterisierung der Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) U = Schluff; T = Ton; S = Sand; L = Lehm					
Profil	Probe	gs (2000-630µm)	ms (630-200µm)	fs (200-63µm)	gu (63-20µm)	mu (20-6,3µm)	fu (6,3-2µm)	T <2µm	Summe	S [%]	U [%]	T [%]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart- gruppe	Hauptgruppe
29.10.01	P1+P2	0	1	9,5	43,5	32,3	11,3	2,4	100,0	10,5	87,1	2,4	36,3	0,0	8,3	87,3	0,7	0,3	reiner U	typ. U	U
	P1+P2+P3	0	0,8	4,5	38,6	27,9	23,1	5,1	100,0	5,3	89,6	5,1	17,6	0,1	16,9	90,6	0,7	0,6	reiner U	typ. U	U
31.05.02	P1	0	13,6	11,1	21,4	26,9	16,4	10,6	100,0	24,7	64,7	10,6	6,1	0,2	2,6	65,1	1,3	0,8	sw toniger U	Lehmschluff	U
	P2	0	15,9	14,1	19,7	25,4	15	9,9	100,0	30,0	60,1	9,9	6,1	0,2	2,0	60,4	1,3	0,8	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	P3	0	11,3	9,9	21,9	28,2	17,4	11,3	100,0	21,2	67,5	11,3	6,0	0,2	3,2	68,0	1,3	0,8	sw toniger U	Lehmschluff	U
	SP, 2225m	0,0	0,0	7,9	22,4	31,7	22,8	15,2	100,0	7,9	78,9	15,2	5,1	0,2	9,7	78,8	1,4	1,0	mi toniger U	Lehmschluff	U
	SP2	0,0	0,0	5,7	24,0	32,8	22,2	15,3	100,0	5,7	79,0	15,3	5,2	0,2	13,9	81,7	1,4	0,9	mi toniger U	Lehmschluff	U
	SP1	0,0	0,0	6,8	23,2	32,3	22,5	15,3	100,0	6,8	78,0	15,3	5,1	0,2	11,5	80,2	1,4	1,0	mi toniger U	Lehmschluff	U
31.07.02	SS1 2350m, gr.Seife	0,0	1,0	36,2	50,2	11,1	0,8	0,6	99,9	37,2	62,1	0,6	104	0,0	1,7	62,1	0,2	0,0	sandiger U	Sandschluff	U
	P3	0	0	6,8	23,2	32,25	22,5	15,3	100	6,8	78,0	15,3	5,1	0,2	11,5	80,2	1,4	1,0	mi toniger U	Lehmschluff	U
03.01.03	P1+P2+P3	0	0	6,8	39,1	25,9	17,5	10,7	100,0	6,8	82,5	10,7	7,7	0,1	12,1	84,1	0,7	0,4	sw toniger U	Lehmschluff	U
11.05.03	P1+P2	0	0	4,5	25	37	20,5	13	100,0	4,5	82,5	13,0	6,3	0,2	18,3	85,4	1,5	0,8	mi toniger U	Lehmschluff	U

#### Mittlere Korngrößenverteilung [Vol.-%] - Staub von Schneeflächen (Horizonttiefe: 0cm-1cm)

Nr. 7

Karwendelgrube / Karwendelgebirge		Daten als arithmetisches Mittel (n=4) dargestellt																			
Probenbeschreibung		Korngrößen [Vol.-%] Feinboden							Bodenphysikalische Indices							Charakterisierung der Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) U = Schluff; T = Ton; S = Sand; L = Lehm					
Profil	Probe	gs (2000-630µm)	ms (630-200µm)	fs (200-63µm)	gu (63-20µm)	mu (20-6,3µm)	fu (6,3-2µm)	T <2µm	Summe	S [%]	U [%]	T [%]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart- gruppe	Hauptgruppe
17.05.02	P1/Doline	1	5,8	13,5	25,6	23,8	16,6	13,7	100	20,3	66,0	13,7	4,8	0,2	3,3	66,7	0,9	0,6	mi toniger U	Lehmschluff	U
	P2/Luv	1,4	11,4	17	23,8	19,9	14,3	12,2	100	29,8	58,0	12,2	4,8	0,2	1,9	58,4	0,8	0,6	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	P3/Lee	2,7	9,9	10,2	24,3	25,7	15	12,2	100	22,8	65,0	12,2	5,3	0,2	2,9	65,5	1,1	0,6	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
26.10.02	P2/Luv	0,0	0,0	5,0	21,1	32,3	23,5	18,1	100	5,0	76,9	18,1	4,2	0,2	15,4	80,5	1,5	1,1	stark toniger U	Tonschluff	U
	P3/Lee	0,0	0,0	0,0	24,5	33,6	24,1	17,8	100	0,0	82,2	17,8	4,6	0,2	-	-	1,4	1,0	stark toniger U	Tonschluff	U
03.01.03	P1/Doline	0,0	0,0	1,3	35,2	33,4	18,0	12,1	100	1,3	86,6	12,1	7,2	0,1	66,6	95,9	0,9	0,5	sw toniger U	Lehmschluff	U
	P2/Luv	0,4	2,7	18,3	31,9	23,8	13,7	9,2	100	21,4	69,4	9,2	7,5	0,1	3,2	69,8	0,7	0,4	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	P3/Lee	0,0	0,0	5,4	11,2	22,7	30,7	30,0	100	5,4	64,6	30,0	2,2	0,5	12,0	70,2	2,0	2,7	schluffiger L	Tonschluff	U
07.05.03	P1/Doline	1,0	1,1	11,0	28,7	30,0	17,2	11,0	100	13,1	75,9	11,0	6,9	0,1	5,8	76,7	1,0	0,6	sw toniger U	Lehmschluff	U
	P2/Luv	2,0	12,3	13,6	22,8	25,5	14,4	9,4	100	27,9	62,7	9,4	6,7	0,1	2,2	63,0	1,1	0,6	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	P3/Lee	1,7	9,1	11,0	19,4	27,0	18,7	13,1	100	21,8	65,1	13,1	5,0	0,2	3,0	65,7	1,4	1,0	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
30.05.03	P1/Doline	0,0	0,0	5,6	22,7	32,9	23,2	15,6	100	5,6	78,8	15,6	5,1	0,2	14,1	81,6	1,4	1,0	mi toniger U	Lehmschluff	U
	P3/Lee, Linder	0,3	2,4	16,3	29,6	24,0	15,9	11,5	100	19,0	69,5	11,5	6,0	0,2	3,7	70,1	0,8	0,5	sw toniger U	Lehmschluff	U
	P3/Lee Sammelpr.	1,3	12,7	22,5	20,6	18,9	13,9	10,1	100	36,5	53,4	10,1	5,3	0,2	1,5	53,7	0,9	0,7	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
20.06.03	Totalisator Doline	0,3	10,0	12,1	12,0	14,7	23,0	28,1	100	22,4	49,7	28,1	1,8	0,6	2,2	51,0	1,2	1,9	schluffiger L	Tonschluff	U

#### Mittlere Korngrößenverteilung [Vol.-%] - Staub von Schneeflächen (Horizonttiefe: 0cm-1cm)

Nr. 8

Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen		Daten als arithmetisches Mittel (n=4) dargestellt																			
Probenbeschreibung		Korngrößen [Vol.-%] Feinboden							Bodenphysikalische Indices							Charakterisierung der Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) U = Schluff; T = Ton; S = Sand; L = Lehm					
Profil	Probe	gs (2000-630µm)	ms (630-200µm)	fs (200-63µm)	gu (63-20µm)	mu (20-6,3µm)	fu (6,3-2µm)	T <2µm	Summe	S [%]	U [%]	T [%]	U/T	T/U	U/S	U+T/S	mU/gU	fU/gU	Bodenart	Bodenart- gruppe	Hauptgruppe
23.10.02	P1+P2	0	1,5	7,7	25,4	35,2	19,5	10,7	100	9,2	80,1	10,7	7,5	0,1	8,7	81,3	1,4	0,8	sw toniger U	Lehmschluff	U
	P4_Hütte	0	1	4,1	39,3	28,7	22,1	4,8	100	5,1	90,1	4,8	18,8	0,1	17,7	91,0	0,7	0,6	reiner U	typ. Schluff	U
11.05.02	P1_1700m	0	2,1	16,5	30,2	26,4	14,9	10,1	100	18,6	71,5	10,1	7,1	0,1	3,8	72,0	0,9	0,5	sw toniger U	Lehmschluff	U
	P2_1734m	0	5,6	17,8	26,5	24,7	15,1	10,6	100	23,4	65,3	10,6	6,3	0,2	2,8	66,8	0,9	0,6	sw toniger U	Lehmschluff	U
	P3_1545m	0	0	2,4	13,8	37,8	27,3	18,7	100	2,4	78,9	18,7	4,2	0,2	32,9	86,7	2,7	2,0	st toniger U	Tonschluff	U
11.12.02	P1+P2	0	0	0	15,3	48,7	29,3	6,7	100	0	93,3	6,7	13,9	0,1	-	-	3,2	1,9	reiner U	typ. Schluff	U
05.02.03	P1+P2+P3	0	0	6,3	45,6	15,8	22,3	10	100	6,3	83,7	10	8,4	0,1	13,3	85,3	0,3	0,5	sw toniger U	Lehmschluff	U
07.05.03	P1_1700m	0	6,3	14,3	18,1	28,5	27,3	5,6	100	20,6	73,9	5,6	13,2	0,1	3,6	74,2	1,6	1,5	sandiger U	Sandschluff	U
	P2_1734m	0	0	0	33,4	35,2	18,8	12,6	100	0	87,4	12,6	6,9	0,1	-	-	1,1	0,6	mi toniger U	Lehmschluff	U
	P3_1545m	0	4,8	18,8	26,6	24,7	14,8	10,3	100	23,6	66,1	10,3	6,4	0,2	-	-	0,9	0,6	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	P4_Hütte	0	0	3	30,9	35,4	18,9	12	100	3	85,2	12	7,1	0,1	26,4	89,2	1,1	0,6	sw toniger U	Lehmschluff	U



Mittlere Korngrößenverteilung [Vol.-%] von Staub aus Regenniederschlag (Auswahl)

Nr. 9

Karwendelgrube / Karwendelgebirge		Daten als arithmetisches Mittel (n=4) dargestellt															Charakterisierung der Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) U = Schluff; T = Ton; S = Sand; L = Lehm				
Probenbeschreibung		Korngrößen (Gew.-%) Feinboden							Bodenphysikalische Indices							Bodenart	Bodenart- gruppe	Hauptgruppe			
Profil	Probe	gS (2000-630µm)	mS (630-200µm)	fS (200-63µm)	gU (63-20µm)	mU (20-6,3µm)	fU (6,3-2µm)	T < 2µm	Summe	S [%]	U [%]	T [%]	U/T	T/U	U/S				U+T/S	mU/gU	fU/gU
30.05.03	Kan1/Luv/30.05.03	0	4,5	14,3	48,1	17	9,5	6,8	100	18,8	74,6	6,6	11,3	0,1	4,0	75,0	0,4	0,2	sandiger Schluff	Sandschluff	U
	K1/Luv 30.5.03	0	4,4	18,5	26,8	23,9	15,7	10,7	100	22,9	66,4	11	6,2	0,2	2,9	66,9	0,9	0,8	sw toniger U	Lehmschluff	U
	K3/Lee 30.05.03	0	0	2,4	13,8	37,8	27,3	18,7	100	2,4	78,9	19	4,2	0,2	32,9	86,7	2,7	2,0	mi toniger U	Lehmschluff	U
14.06.03	K1/Luv	0,4	5,4	15,8	19,7	23,5	19,5	15,7	100	21,6	62,7	16	4,0	0,3	2,9	63,4	1,2	1,0	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	E1/Luv/14.6.03	0	7,6	8,2	19,5	27,9	20,7	16,1	100	15,8	68,1	16	4,2	0,2	4,3	69,1	1,4	1,1	mi toniger U	Lehmschluff	U
	E3/Lee	1,2	9,7	14,8	22,2	23,5	16,5	12,1	100	25,7	62,2	12	5,1	0,2	2,4	62,7	1,1	0,7	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	K3/Lee	2	9	8	19,7	29,8	18,8	12,7	100	19	68,3	13	5,4	0,2	3,6	69,0	1,5	1,0	mi toniger U	Lehmschluff	U
	K4/Linder Lee	3,7	19,2	11	12,4	17,8	19,4	16,5	100	33,9	49,6	17	3,0	0,3	1,5	50,1	1,4	1,6	schluffig-lehmiger S	Sandlehm	L
	K5/Lee	2,9	14,3	12,3	16	21,9	18,6	14	100	29,5	56,5	14	4,0	0,2	1,9	57,0	1,4	1,2	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
20.06.03	E1/Luv/20.6.03	1,6	7,3	7	18,6	28,5	21,1	15,9	100	15,9	68,2	16	4,3	0,2	4,3	69,2	1,5	1,1	mi toniger U	Lehmschluff	U
	K3/Lee 20.6.03	2,4	10,8	10,6	20,3	28,3	16,7	10,9	100	23,8	65,3	11	6,0	0,2	2,7	65,8	1,4	0,8	sw toniger Schluff	Lehmschluff	U
	E3/Lee 20.6.03	0	0	1,1	13,5	35,6	28,8	21	100	1,1	77,9	21	3,7	0,3	70,8	97,0	2,6	2,1	st toniger U	Tonschluff	U
	K4/Linder Lee	1	7,8	9,1	14,1	26,9	23,4	17,7	100	17,9	64,4	18	3,6	0,3	3,6	65,4	1,9	1,7	schluffiger Lehm	Tonschluff	U

Mittlere Korngrößenverteilung [Vol.-%] von Staub aus Regenniederschlag (Auswahl)

Nr. 10

Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen		Daten als arithmetisches Mittel (n=4) dargestellt															Charakterisierung der Bodenart (st = stark; sw = schwach; mi = mittel) U = Schluff; T = Ton; S = Sand; L = Lehm				
Probenbeschreibung		Korngrößen [Vol.-%] Feinboden							Bodenphysikalische Indices							Bodenart	Bodenart- gruppe	Hauptgruppe			
Profil	Probe	gS (2000-630µm)	mS (630-200µm)	fS (200-63µm)	gU (63-20µm)	mU (20-6,3µm)	fU (6,3-2µm)	T < 2µm	Summe	S [%]	U [%]	T [%]	U/T	T/U	U/S				U+T/S	mU/gU	fU/gU
12.06.03	K1/1700m	0	8,9	18	24	24,7	14,6	9,8	100	27	63	9,8	6,5	0,2	2,4	63,7	1,0	0,6	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	E1/1700mm	1,2	13,2	15,2	17,6	24,1	17	11,7	100	30	59	11,7	5,0	0,2	2,0	59,1	1,4	1,0	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	K3/Nord	1	11,2	12,7	18,4	26,3	17,9	12,5	100	25	63	12,5	5,0	0,2	2,5	63,1	1,4	1,0	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	K4/Süd	0	5,3	29	23,9	20,8	12,8	8,2	100	34	58	8,2	7,0	0,1	1,7	57,7	0,9	0,5	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
14.06.03	K1/Luv	0,4	5,4	15,8	19,7	23,5	19,5	15,9	100	22	63	15,9	3,9	0,3	2,9	63,4	1,2	1,0	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	E1/1700mm	2	6,9	14,8	26,9	28,9	12,1	8	99,6	24	68	8	8,5	0,1	2,9	68,2	1,1	0,4	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	E3/Lee	0	2	23,5	31,2	22,3	9,3	12,3	101	26	63	12,3	5,1	0,2	2,5	63,3	0,7	0,3	sandig-lehmiger U	Lehmschluff	U
	K4/Süd	0	0	18,9	17,2	23,6	12,8	27,3	99,8	73	54	27,3	2,0	0,5	0,7	54,0	1,4	0,7	st toniger U	Tonschluff	U

10.5 Analysedaten – Gestein / Residuen

Verhältnis von karbonatischen und nichtkarbonatischen Anteilen im Gestein [%]										Nr. 11
Erläuterungen:										
mk = anisischer Muschelkalk; rh = anisische Reichenhaller Schichten, z.T. brekziert;										
wk = iadinischer Wettersteinkalk; dk = norischer Dachsteinkalk										
go = Oberkreide; untere bis mittlere Gosau mit Kalksteinen, z.T. sandig; häufig Mikrokalk-Brekzien + tieferer Tuffung (Eisenoxide)										
Karwendelgrube / Karwendelgebirge										
Probe	Gestein	CaCO <sub>3</sub> [%]	MgCO <sub>3</sub> [%]	Residuum [%]	Summe	Farbe trocken		Farbe naß		
KG 1/4	mk, grau	92,1	1,0	6,2	99,3	5 Y 7/1	light gray	5 Y 6/1	gray	
KG 2/3	mk, grau	97,9	0,4	3,7	102,0	5 Y 7/1	light gray	5 Y 6/1	gray	
KG 7/4	mk, weiß	95,9	0,8	4,7	101,4	7,5 YR 8/1	white	7,5 YR 8/1	white	
KG 8/4	mk, weiß	89,5	3,1	6,1	98,7	2,5 Y 8/1	white	2,5 Y 7/2	light gray	
Mittelwert	mk	93,9	1,3	5,2	100,4					
KG 4/2	rh, graubraun	92,8	0,4	5,24	98,4	2,5 Y 5/4	light olive brown	2,5 Y 7/2	light gray	
KG G1	rh, graubraun	94,7	0,2	3,1	98,0	2,5 Y 5/4	light olive brown	2,5 Y 7/2	light gray	
KG G2	rh, gelb	98,8	1,4	2,7	102,9	2,5 Y 5/4	light olive brown	2,5 Y 7/3	pale yellow	
Mittelwert	rh Kalk	95,4	0,7	3,7	99,8					
KG 5/4	rh, Brekzie, gelb	77,5	2,4	15,1	95,0	2,5 Y 8/3	pale yellow	2,5 Y 6/3	light yellowish brown	
KG 9/3	rh, Brekzie, gelb	60,2	27,2	12,1	99,5	2,5 Y 7/2	light gray	2,5 Y 6/2	light brownish gray	
KG G3	rh, Brekzie	70,1	15	14,9	100,0	2,5 Y 7/2	light gray	2,5 Y 6/2	light brownish gray	
Mittelwert	rh Brekzie	69,3	14,9	14,0	98,2					
Neokom der Jungschichtenzone / S-Rand des Wettersteingebirges										
Probe	Gestein	CaCO <sub>3</sub> [%]	MgCO <sub>3</sub> [%]	Residuum [%]	Summe	Farbe trocken		Farbe naß		
Neo G 6	Kalkmergel, grau	73,8	8,9	16,8	99,5	10 YR 8/1	white	10 YR 7/1	light grey	
Neo G 7	bunter Kalk, rot	83,5	0	16,5	100,0	7,5 YR 8/2	pinkish white	7,5 YR 7/3	pink	
Neo G 8	Aptychenmergel, rot	30,6	1,7	66,7	99,0	5 YR 7/3	pink	5 YR 5/3	reddish brown	
Mittelwert	Neokom, Trauchlet	62,6	3,5	33,3	99,5					



Verhältnis von karbonatischen und nichtkarbonatischen Anteilen im Gestein [%]										Nr. 12
Erläuterungen:		mk = anisischer Muschelkalk; rh = anisische Reichenhaller Schichten, z.T. brekziert; wk = ladinischer Wettersteinkalk; dk = norischer Dachsteinkalk go = Oberkreide; untere bis mittlere Gosau mit Kalksteinen, z.T. sandig; häufig Mikrokalk-Brekzien + tiefroter Tupfung (Eisenoxide)								
Zugspitzplatt / Wettersteingebirge										
Probe	Gestein	CaCO <sub>3</sub> [%]	MgCO <sub>3</sub> [%]	Residuum [%]	Summe	Farbe trocken		Farbe naß		
ZP 17/5	wk, weiß	97,8	0	2,2	100,0	10 YR 8/1	white	10 YR 8/1	white	
ZP 18/3	wk, grau	95,2	4,1	1,5	100,8	10 YR 7/1	light gray	10 YR 7/3	very pale brown	
ZP 19/2	wk, weiß	98,2	2,3	1,5	102,0	10 YR 8/1	white	10 YR 8/1	white	
ZP 33/2	wk, weiß	94,3	2,0	3,8	100,1	10 YR 8/1	white	10 YR 8/2	very pale brown	
ZP 34/2	wk, grau	97,0	1,5	1,5	100,0	10 YR 7/1	light gray	10 YR 7/3	very pale brown	
Mittelwert	wk, weiß	96,5	2,0	2,1	100,6					
Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen										
Probe	Gestein	CaCO <sub>3</sub> [%]	MgCO <sub>3</sub> [%]	Residuum [%]	Summe	Farbe trocken		Farbe naß		
RA 5/2	dk, weiß	87,5	2,5	9,9	99,9	7.5 YR 8/1	white	7.5 YR 8/1	white	
RA 6/4	dk, weiß	94,5	1,6	4,1	100,2	7.5 YR 8/1	white	7.5 YR 8/1	white	
RA G5	dk, weiß	93,7	0	6,3	100,0	10 YR 8/1	white	10 YR 8/2	very pale brown	
Mittelwert	dk, weiß	91,9	1,4	6,8	100,0					
RA 7/3	dk, rotgeädert	88,7	8,1	2	98,8	5 YR 8/2	pinkish white	5 YR 8/3	pink	
RA 8/3	dk, rotgeädert	84,7	12	2	98,7	7.5 YR 8/2	pinkish white	7.5 YR 8/2	pinkish white	
RA 10/4	dk, weißrot geädert	93,3	4,1	2,4	99,8	5 YR 8/2	pinkish white	5 YR 8/3	pink	
Mittelwert	dk, rotgeädert	88,9	8,1	2,1	99,1					
RA 1/2	dk, rot	87,7	1,7	10,1	99,5	5 YR 8/2	pinkish white	5 YR 8/3	pink	
RA 2/2	dk, rote Brekzie	89,6	0	10,4	100,0	5 YR 7/6	reddish yellow	5 YR 8/8	reddish yellow	
RA 3/2	dk, + roten Belägen	90,6	0	9,4	100,0	5 YR 8/4	pink	5 YR 7/8	reddish yellow	
Mittelwert	dk, rot+brekziert	89,3	0,6	10,0	99,8					
RA 9/5	go,brekziert	85,1	9,1	4,7	98,9	7.5 YR 8/3	pink	7.5 YR 8/4	pink	
RA G9	go,brekziert	87,5	6,8	6,8	101,1	7.5 YR 8/3	pink	7.5 YR 8/4	pink	
RA G10	go,brekziert	89,1	7,8	3,2	100,1	7.5 YR 8/3	pink	7.5 YR 8/4	pink	
Mittelwert	Gosaukalk	87,3	5,5	7,2	99,9					

### 10.6 Staubquantifizierung

Summen und Mittelwerte der Flugstaubmengen [mg] 2002 und 2003										Klimadaten (Niederschlag und "Windtätigkeit" 2002 und 2003										Nr. 13		
ZUGSPITZPLATT / Wettersteingebirge											Niederschlag											Summe der Windtätigkeit pro Tag, Sektor (m/s x h)
Meßintervall	Tage	Summe (mg) über alle Kästen				Mittelwert (mg) über alle Kästen				NS (mm)	1-30°	31-60°	61-90°	91-120°	121-150°	151-180°	181-210°	211-240°	241-270°	271-300°	301-331°	331-360°
	d	Feststoff	Silikat	Humus	CaCO <sub>3</sub>	Feststoff	Silikat	Humus	CaCO <sub>3</sub>													
31.5.-02.07.02	32	1886	1289	583	9	377	258	117	2	158,0	138	12,2	11,8	20,6	375,5	491,1	178,4	129,5	1483,9	832	433	672,9
02.07.-09.07.02	7	252	80	74	48	63	32	18	12	89,5	35,4	0	0	0	59	536,5	111,9	73,6	267,9	637	101,8	83,2
09.07.-16.07.02	7	462	343	115	4	92	69	23	1	70,4	0	0	4,1	69,2	441,3	157,8	124,3	34,8	70,7	12,7	0	7,5
16.07.-01.08.02	16	2903	1369	1382	152	581	274	276	30	137,1	213	4,8	11,7	40,1	233,1	43,1	17,2	18,5	481,3	291,6	224,6	637,4
01.08.-15.08.02	14	790	288	469	5	152	57	94	1	126,9	440,1	9,3	4,9	4,1	287,8	235,9	113,3	54,6	185,1	71,7	52,9	490,1
15.08.-07.09.02	23	422	279	142	2	84	56	28	0,4	96	225,2	54,4	37,3	59,8	510,1	393,1	184,4	100,4	310	74,3	65,1	99,2
28.08.-03.07.03	7	402	255	146	1	80	51	29	0,2	33,8	31,8	0	0	0	0	118,9	32,1	20,4	119,6	173,8	110,1	364,1
03.07.-31.07.03	28	1596	897	862	7	312	179	132	1,4	116,9	238	6,9	1,3	5	109,6	130	87,3	103,3	836,9	468,5	450,2	1085,9
31.07.-21.08.03	21	484	296	180	9	97	59	38	2	51,1	480,9	68,9	42,1	65,1	188,9	141,9	113,9	96,7	886,6	345,9	294,1	429,9
27.08.-18.09.03	22	390	244	137	9	78	48	27	2	169,2	399,9	45,3	25,5	15,9	328,4	380,9	148,8	70,5	456,7	318,6	237,2	667,1
KARWENDELGRUBE / Karwendelgebirge											Niederschlag											Summe der Windtätigkeit pro Tag, Sektor (m/s x h)
Meßintervall	Tage	Summe (mg) über alle Kästen				Mittelwert (mg) über alle Kästen				NS (mm)	1-30°	31-60°	61-90°	91-120°	121-150°	151-180°	181-210°	211-240°	241-270°	271-300°	301-331°	331-360°
	d	Feststoff	Silikat	Humus	CaCO <sub>3</sub>	Feststoff	Silikat	Humus	CaCO <sub>3</sub>													
30.06.-24.08.02	56	1346	753	1061	4	586	321	265	0,3	389,4	780,2	23,2	22,4	123	1121	1155	428,2	254,2	1445,8	531,2	439,8	1329,2
24.08.-02.09.02	9	319	126	179	14	80	32	45	4	41,5	112,3	41,6	30,1	46,8	257,5	117,6	120,3	27	63	15,7	4,2	0
02.09.-13.09.02	11	242	68	136	38	60	17	34	10	35,2	85,8	3,7	13,5	215,4	297	365,9	113,1	55,9	45,4	34,4	51,9	62,3
13.09.-23.09.02	10	123	15	95	13	31	4	24	3	54,4	4,5	4,1	7,6	18	2,9	3,5	10,5	329,1	306,4	258,2	255,7	0
30.05.-14.05.03	15	785	657	121	7	262	219	40	2	50,4	129,2	17,4	6,8	3,7	128,6	143,1	108,1	62,5	288,7	122,2	90,6	311,4
14.06.-20.06.03	6	594	413	213	1	149	103	53	0,1	41,1	67,7	0	0	0	0	0	0	5,1	119,6	63,3	109	489,7
20.06.-02.07.03	12	254	189	63	3	84	47	16	0,9	90,8	35,3	0	0	0	0	108,8	24,7	20,4	284,7	136,6	444,5	813,3
02.07.-09.07.03	7	44	34	4	18	11	8	1	5	18,7	10,3	0	0	0	0	13,6	12,1	13,7	101,4	210,4	228	382,2
09.07.-30.07.03	21	726	393	330	3	181	98	82	0,8	101,4	196,8	6,9	1,3	5	101,5	126,6	80	88,2	762,3	347,6	222,7	732,6
30.07.-17.08.03	18	306	160	126	0	77	45	31	0	32,8	482,3	68,9	30,7	84	163,5	48,7	10,2	20,3	317,1	153	99,2	263,6
17.08.-26.08.03	10	288	187	101	0	72	47	25	0	18,4	20,5	0	3,4	1,1	32,5	93,2	106,3	77,8	533,3	161,6	110,2	41,8
26.08.-04.09.03	9	186	127	61	1	47	32	15	0,3	55,2	48,4	0	2,2	1,1	12,8	208	82,7	49	370,7	189,1	174,1	363,1
04.09.-17.09.03	13	153	124	16	3	38	31	4	3	114	322,3	36,2	23,3	14,8	315,6	152,4	84,8	21,5	85,1	116	71	372,7
REITERALPE / Berchtesgadener Alpen											Niederschlag											Summe der Windtätigkeit pro Tag, Sektor (m/s x h)
Meßintervall	Tage	Summe (mg) über alle Kästen				Mittelwert (mg) über alle Kästen				NS (mm)	1-30°	31-60°	61-90°	91-120°	121-150°	151-180°	181-210°	211-240°	241-270°	271-300°	301-331°	331-360°
	d	Feststoff	Silikat	Humus	CaCO <sub>3</sub>	Feststoff	Silikat	Humus	CaCO <sub>3</sub>													
03.07.-17.07.02	14	1554	1041	512	1	389	260	128	0,3	118,9	0	0	30,5	10,6	10	0	1,1	0	4,9	11,4	0	0
17.07.-30.08.02	44	937	501	434	2	234	125	108	1	228	226,6	103,2	24,2	142,6	254,3	175,7	156,7	296,8	390	719,2	472,1	330,4
30.08.-06.09.02	7	328	160	159	9	82	40	40	2	38,8	10,9	4,6	24	44,2	58,5	63,4	17,3	6,8	31,6	12,7	38,1	72,6
06.09.-20.09.02	14	133	18	100	14	33	5	24	4	43,4	31,8	18,3	35	58	58,7	39,2	68,1	77,2	285,3	174,3	159,8	86,7
12.06.-26.06.03	14	249	149	97	3	62	37	24	1	45,9	78,0	0	0	0	8,5	18	8,5	5,1	377,1	163,5	480,9	1162,3
26.06.-06.07.03	11	413	351	59	3	103	88	15	1	48,2	42,2	0	0	0	0	199,9	46,5	34,1	183,9	317,2	355,8	587,4
04.07.-07.08.03	30	299	150	147	3	75	37	37	1	169,1	360,8	51,4	22	41,3	254	173,7	87,1	83,8	785,6	377,1	283,1	873,3
07.06.-16.06.03	15	78	39	38	1	19	10	9	0,3	21,4	328,8	24,4	18	27,7	11	1,6	3,1	14,7	293,8	135,2	79,3	209,1
16.06.-26.08.03	10	227	164	57	8	57	41	14	0,5	23,1	29,7	0	5,6	1,1	32,5	152,6	127,2	83,2	690,9	210,8	203,7	188,6



**Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2002**

**Zugspitzplatt / Wettersteingebirge**

**Nr. 14**

**Eintrag [mg]** 1) Kontamination durch Viehtritt

1. Gesamteintrag G [mg] - Sedimentkästen SK								1. Silikatstaubeintrag S [mg] - Sedimentkästen SK									
Meßinter-	1	2	3	4	5	6	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßinter-	1	2	3	4	5	6	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
vall MI	31.5.- 02.07.02	02.07.- 09.07.02	09.07.- 16.07.02	16.07.- 01.08.02	01.08.- 15.08.02	15.08.- 07.09.02			vall MI	31.5.- 02.07.02	02.07.- 09.07.02	09.07.- 16.07.02	16.07.- 01.08.02	01.08.- 15.08.02	15.08.- 07.09.02		
Tage	32	7	7	16	14	23			Tage	32	7	7	16	14	23		
SK1	457	73	184	607	133	121	262,5	1575	SK1	260	5	148	185	71	96	127,5	765
SK2	280	542 <sup>1)</sup>	24	576	7	22	181,8	909	SK2	157	542 <sup>1)</sup>	7	194	3	0	72,2	361
SK3	268	51	36	395	108	56	152,3	914	SK3	172	30	29	155	0	18	67,3	404
SK4	401	57	111	695	140	106	251,7	1510	SK4	313	45	77	222	9	67	122,2	733
SK5	480	71	107	630	172	117	262,8	1577	SK5	394	5	82	258	103	98	156,7	940
MW pro Intervall	377,2	63,0	92,4	580,6	112,0	84,4	Summe Tage	99	MW pro Intervall	259,2	21,3	68,6	202,8	37,2	55,8	Summe Tage	99
Summe pro Intervall	1886	252	462	2903	560	422	Summe [m] M1 bis M6	6485	Summe pro Intervall	1296	85	343	1014	186	279	Summe [m] M1 bis M6	3203

1. Humuseintrag H [mg] - Sedimentkästen SK								1. Kalkstaubeintrag K [mg] - Sedimentkästen SK									
Meßinter-	1	2	3	4	5	6	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßinter-	1	2	3	4	5	6	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
vall MI	31.5.- 02.07.02	02.07.- 09.07.02	09.07.- 16.07.02	16.07.- 01.08.02	01.08.- 15.08.02	15.08.- 07.09.02			vall MI	31.5.- 02.07.02	02.07.- 09.07.02	09.07.- 16.07.02	16.07.- 01.08.02	01.08.- 15.08.02	15.08.- 07.09.02		
Tage	32	7	7	16	14	23			Tage	32	7	7	16	14	23		
SK1	197	26	35	419	62	24	127,2	763	SK1	0	42	1	3	0	1	7,8	47
SK2	120		15	380	4	23	108,4	542	SK2	3		2	2	0	0	1,4	7
SK3	94	21	6	196	103	38	76,3	458	SK3	2	0	1	44	5	0	8,7	52
SK4	87	6	34	391	131	38	114,5	687	SK4	2	6	0	82	0	1	15,1	91
SK5	85	21	25	351	69	19	95,0	570	SK5	1	0	0	21	0	0	3,7	22
MW pro Intervall	116,6	18,5	23,0	347,4	73,8	28,4	Summe Tage	99	MW pro Intervall	1,6	12,0	0,8	30,4	1,0	0,4	Summe Tage	99
Summe pro Intervall	583	74	115	1737	369	142	Summe [m] M1 bis M6	3020	Summe pro Intervall	8	48	4	152	5	2	Summe [m] M1 bis M6	219

**Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2002**

**Zugspitzplatt / Wettersteingebirge**

**Nr. 15**

**Tagesraten [mg/d]**

1. Gesamteintrag G [mg/d] - Sedimentkästen SK								1. Silikatstaubeintrag S [mg/d] - Sedimentkästen SK									
Meßinter-	1	2	3	4	5	6	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßinter-	1	2	3	4	5	6	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
vall MI	31.5.- 02.07.02	02.07.- 09.07.02	09.07.- 16.07.02	16.07.- 01.08.02	01.08.- 15.08.02	15.08.- 07.09.02			vall MI	31.5.- 02.07.02	02.07.- 09.07.02	09.07.- 16.07.02	16.07.- 01.08.02	01.08.- 15.08.02	15.08.- 07.09.02		
Tage	32	7	7	16	14	23			Tage	32	7	7	16	14	23		
SK1	14,3	10,4	26,3	37,9	9,5	5,3	17,3	104	SK1	8,1	0,7	21,1	11,6	5,1	4,2	8,5	51
SK2	8,8		3,4	36,0	0,5	1,0	9,9	50	SK2	4,9		1,0	12,1	0,2	0,0	3,6	18
SK3	8,4	7,3	5,1	24,7	7,7	2,4	9,3	56	SK3	5,4	4,3	4,1	9,7	0,0	0,8	4,0	24
SK4	12,5	8,1	15,9	43,4	10,0	4,6	15,8	95	SK4	9,8	6,4	11,0	13,9	0,6	2,9	7,4	45
SK5	15,0	10,1	15,3	39,4	12,3	5,1	16,2	97	SK5	12,3	0,7	11,7	16,1	7,4	4,3	8,7	52
MW pro Intervall	11,8	9,0	13,2	36,3	8,0	3,7	Summe Tage	99	MW pro Intervall	8,1	3,0	9,8	12,7	2,7	2,4	Summe Tage	99
Summe pro Intervall	59	36	66	181	40	18	Summe [m] M1 bis M6	401	Summe pro Intervall	41	12	49	63	13	12	Summe [m] Gesamt	190

1. Humuseintrag H [mg/d] - Sedimentkästen SK								1. Kalkstaubeintrag K [mg/d] - Sedimentkästen SK									
Meßinter-	1	2	3	4	5	6	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßinter-	1	2	3	4	5	6	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
vall MI	31.5.- 02.07.02	02.07.- 09.07.02	09.07.- 16.07.02	16.07.- 01.08.02	01.08.- 15.08.02	15.08.- 07.09.02			vall MI	31.5.- 02.07.02	02.07.- 09.07.02	09.07.- 16.07.02	16.07.- 01.08.02	01.08.- 15.08.02	15.08.- 07.09.02		
Tage	32	7	7	16	14	23			Tage	32	7	7	16	14	23		
SK1	6,2	3,7	5,0	26,2	4,4	1,0	7,8	47	SK1	0,0	6,0	0,1	0,2	0,0	0,04	1,1	6
SK2	3,8		2,1	23,8	0,3	1,0	6,2	31	SK2	0,1		0,3	0,1	0,0	0,00	0,1	0
SK3	2,9	3,0	0,9	12,3	7,4	1,7	4,7	28	SK3	0,1	0,0	0,1	2,8	0,4	0,00	0,6	3
SK4	2,7	0,9	4,9	24,4	9,4	1,7	7,3	44	SK4	0,1	0,9	0,0	5,1	0,0	0,04	1,0	6
SK5	2,7	3,0	3,6	21,9	4,9	0,8	6,2	37	SK5	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,00	0,2	1
MW pro Intervall	3,6	2,6	3,3	21,7	5,3	1,2	Summe Tage	99	MW pro Intervall	0,05	1,7	0,11	1,9	0,07	0,02	Summe Tage	99
Summe pro Intervall	18	11	16	109	26	6	Summe [m] Gesamt	186	Summe pro Intervall	0	7	1	10	0	0	Summe [m] M1 bis M6	18



**Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2002**

**Zugspitzplatt / Wettersteingebirge**

**Nr. 16**

**Tägliche Eintragsraten [µg/d/cm²]**

1. Gesamteintrag G [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK								1. Silikatstaubeintrag S [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK									
Meßintervall MI	1	2	3	4	5	6	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	5	6	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	31.5.-02.07.02	02.07.-09.07.02	09.07.-16.07.02	16.07.-01.08.02	01.08.-15.08.02	15.08.-07.09.02					31.5.-02.07.02	02.07.-09.07.02	09.07.-16.07.02	16.07.-01.08.02	01.08.-15.08.02		
Tage	32	7	7	16	14	23			Tage	32	7	7	16	14	23		
SK1	22,1	16,1	40,7	58,7	14,7	8,1	26,8	161	SK1	12,6	1,1	32,7	17,9	7,9	6,5	13,1	79
SK2	13,5		5,3	55,7	0,8	1,5	15,4	77	SK2	7,6		1,5	18,8	0,3	0,0	5,6	28
SK3	13,0	11,3	8,0	38,2	11,9	3,8	14,4	86	SK3	8,3	6,6	6,4	15,0	0,0	1,2	6,3	38
SK4	19,4	12,6	24,5	67,2	15,5	7,1	24,4	146	SK4	15,1	10,0	17,0	21,5	1,0	4,5	11,5	69
SK5	23,2	15,7	23,7	61,0	19,0	7,9	25,1	150	SK5	19,1	1,1	18,1	25,0	11,4	6,6	13,5	81
MW pro Intervall	18,2	13,9	20,4	56,2	12,4	5,7	Summe Tage	99	MW pro Intervall	12,5	4,7	15,2	19,6	4,1	3,8	Summe Tage	99
Summe pro Intervall	91	56	102	281	62	28	Summe [m] M1 bis M6	620	Summe pro Intervall	63	19	76	98	21	19	Summe [m] M1 bis M6	295

1. Humuseintrag H [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK								1. Kalkstaubeintrag K [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK									
Meßintervall MI	1	2	3	4	5	6	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	5	6	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	31.5.-02.07.02	02.07.-09.07.02	09.07.-16.07.02	16.07.-01.08.02	01.08.-15.08.02	15.08.-07.09.02					31.5.-02.07.02	02.07.-09.07.02	09.07.-16.07.02	16.07.-01.08.02	01.08.-15.08.02		
Tage	32	7	7	16	14	23			Tage	32	7	7	16	14	23		
SK1	9,5	5,7	7,7	40,5	6,9	1,6	12,0	72	SK1	0,0	9,3	0,2	0,3	0,0	0,1	1,6	10
SK2	5,8		3,3	36,8	0,4	1,5	9,6	48	SK2	0,1		0,4	0,2	0,0	0,0	0,2	1
SK3	4,5	4,6	1,3	19,0	11,4	2,6	7,2	43	SK3	0,1	0,0	0,2	4,3	0,6	0,0	0,9	5
SK4	4,2	1,3	7,5	37,8	14,5	2,6	11,3	68	SK4	0,1	1,3	0,0	7,9	0,0	0,1	1,6	9
SK5	4,1	4,6	5,5	34,0	7,6	1,3	9,5	57	SK5	0,1	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,3	2
MW pro Intervall	5,6	4,1	5,1	33,6	8,2	1,9	Summe Tage	99	MW pro Intervall	0,1	2,7	0,2	2,9	0,1	0,03	Summe Tage	99
Summe pro Intervall	28	16	25	168	41	10	Summe [m] M1 bis M6	288	Summe pro Intervall	0	11	1	15	1	0	Summe [m] M1 bis M6	27

**Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2002**

**Westl. Karwendelgrube / Karwendelgebirge**

**Nr. 17**

**Eintrag [mg]**

1. Gesamteintrag G [mg] - Sedimentkästen SK							1. Silikatstaubeintrag S [mg] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	30.06.-24.08.02	24.08.-02.09.02	02.09.-13.09.02	13.09.-23.09.02					30.06.-24.08.02	24.08.-02.09.02	02.09.-13.09.02		
Tage	55	9	11	10			Tage	55	9	11	10		
SK1	365	54	40	24	120,8	483	SK1	172	8	11	1	48,0	192
SK2	471	143	73	46	183,3	733	SK2	300	89	15	6	102,5	410
SK3	367	105	93	25	147,5	590	SK3	239	17	29	1	71,5	286
SK4	143	17	36	28	56,0	224	SK4	42	12	13	7	18,5	74
MW pro Intervall	336,5	79,8	60,5	30,8	Summe Tage	85	MW pro Intervall	188,3	31,5	17,0	3,8	Summe Tage	85
Summe pro Intervall	1346	319	242	123	Summe [m] M1 bis M4	2030	Summe pro Intervall	753	126	68	15	Summe [m] M1 bis M4	962

1. Humuseintrag H [mg] - Sedimentkästen SK							1. Kalkstaubeintrag K [mg] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	30.06.-24.08.02	24.08.-02.09.02	02.09.-13.09.02	13.09.-23.09.02					30.06.-24.08.02	24.08.-02.09.02	02.09.-13.09.02		
Tage	55	9	11	10			Tage	55	9	11	10		
SK1	193	43	15	23	68,5	274	SK1	0	3	14	0	4,3	17
SK2	171	54	52	35	78,0	312	SK2	0	0	6	5	2,8	11
SK3	128	77	55	24	71,0	284	SK3	0	11	9	0	5,0	20
SK4	100	5	14	13	33,0	132	SK4	1	0	9	8	4,5	18
MW pro Intervall	148,0	44,8	34,0	23,8	Summe Tage	85	MW pro Intervall	0,3	3,5	9,5	3,3	Summe Tage	85
Summe pro Intervall	592	179	136	95	Summe [m] M1 bis M4	1002	Summe pro Intervall	1	14	38	13	Summe [m] M1 bis M4	66



**Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2002**

Westl. Karwendelgrube / Karwendelgebirge

Nr. 18

Tagesraten [mg/d]

1. Gesamteintrag G [mg/d] - Sedimentkästen SK							1. Silikatstaubeintrag S [mg/d] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	30.06.-24.08.02	24.08.-02.09.02	02.09.-13.09.02	13.09.-23.09.02				30.06.-24.08.02	24.08.-02.09.02	02.09.-13.09.02	13.09.-23.09.02		
Tage	55	9	11	10			Tage	55	9	11	10		
SK1	6,6	6,0	3,6	2,4	4,7	19	SK1	3,1	0,9	1,0	0,1	1,3	5
SK2	8,6	15,9	6,6	4,6	8,9	36	SK2	5,5	9,9	1,4	0,6	4,3	17
SK3	6,7	11,7	8,5	2,5	7,3	29	SK3	4,3	1,9	2,6	0,1	2,2	9
SK4	2,6	1,9	3,3	2,8	2,6	11	SK4	0,8	1,3	1,2	0,7	1,0	4
MW pro Intervall	6,1	8,9	5,5	3,1	Summe Tage	85	MW pro Intervall	3,4	3,5	1,5	0,4	Summe Tage	85
Summe pro Intervall	24	35	22	12	Summe [m] M1bis M4	94	Summe pro Intervall	14	14	6	2	Summe [m] Gesamt	35

1. Humuseintrag H [mg/d] - Sedimentkästen SK

1. Kalkstaubeintrag K [mg/d] - Sedimentkästen SK

1. Humuseintrag H [mg/d] - Sedimentkästen SK							1. Kalkstaubeintrag K [mg/d] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	30.06.-24.08.02	24.08.-02.09.02	02.09.-13.09.02	13.09.-23.09.02				30.06.-24.08.02	24.08.-02.09.02	02.09.-13.09.02	13.09.-23.09.02		
Tage	55	9	11	10			Tage	55	9	11	10		
SK1	3,5	4,8	1,4	2,3	3,0	12	SK1	0,0	0,3	1,3	0,0	0,4	2
SK2	3,1	6,0	4,7	3,5	4,3	17	SK2	0,0	0,0	0,5	0,5	0,3	1
SK3	2,3	8,6	5,0	2,4	4,6	18	SK3	0,0	1,2	0,8	0,0	0,5	2
SK4	1,8	0,6	1,3	1,3	1,2	5	SK4	0,0	0,0	0,8	0,8	0,4	2
MW pro Intervall	2,7	5,0	3,1	2,4	Summe Tage	85	MW pro Intervall	0,00	0,39	0,86	0,33	Summe Tage	85
Summe pro Intervall	11	20	12	10	Summe [m] Gesamt	53	Summe pro Intervall	0,0	1,6	3,5	1,3	Summe [m] M1bis M4	6

**Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2002**

Westl. Karwendelgrube / Karwendelgebirge

Blatt 3

Nr. 19

Tägliche Eintragsraten [µg/d/cm²]

1. Gesamteintrag G [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK							1. Silikatstaubeintrag S [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	30.06.-24.08.02	24.08.-02.09.02	02.09.-13.09.02	13.09.-23.09.02				30.06.-24.08.02	24.08.-02.09.02	02.09.-13.09.02	13.09.-23.09.02		
Tage	55	9	11	10			Tage	55	9	11	10		
SK1	10,3	9,3	5,6	3,7	7,2	29	SK1	4,8	1,4	1,5	0,2	2,0	8
SK2	13,3	24,6	10,3	7,1	13,8	55	SK2	8,4	15,3	2,1	0,9	6,7	27
SK3	10,3	18,1	13,1	3,9	11,3	45	SK3	6,7	2,9	4,1	0,2	3,5	14
SK4	4,0	2,9	5,1	4,3	4,1	16	SK4	1,2	2,1	1,8	1,1	1,5	6
MW pro Intervall	9,5	13,7	8,5	4,8	Summe Tage	85	MW pro Intervall	5,3	5,4	2,4	0,6	Summe Tage	85
Summe pro Intervall	38	55	34	19	Summe [m] M1bis M4	146	Summe pro Intervall	21	22	10	2	Summe [m] M1bis M4	55

1. Humuseintrag H [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK

1. Kalkstaubeintrag K [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK

1. Humuseintrag H [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK							1. Kalkstaubeintrag K [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	30.06.-24.08.02	24.08.-02.09.02	02.09.-13.09.02	13.09.-23.09.02				30.06.-24.08.02	24.08.-02.09.02	02.09.-13.09.02	13.09.-23.09.02		
Tage	55	9	11	10			Tage	55	9	11	10		
SK1	5,4	7,4	2,1	3,6	4,6	18	SK1	0,0	0,5	2,0	0,0	0,6	2
SK2		9,3	7,3	5,4	7,3	22	SK2		0,0	0,8	0,8	0,5	2
SK3	3,6	13,2	7,7	3,7	7,1	28	SK3	0,0	1,9	1,3	0,0	0,8	3
SK4	2,8	0,9	2,0	2,0	1,9	8	SK4	0,0	0,0	1,3	1,2	0,6	3
MW pro Intervall	3,9	7,7	4,8	3,7	Summe Tage	85	MW pro Intervall	0,0	0,6	1,3	0,5	Summe Tage	85
Summe pro Intervall	12	31	19	15	Summe [m] M1bis M4	76	Summe pro Intervall	0	2	5	2	Summe [m] M1bis M4	10



## Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2002

Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen

MW = Mittelwert

**Nr. 20**

**Eintrag [mg]**

<sup>1)</sup> = Kontamination durch Viehtritt (Kot, Erdbrocken); Wert geht nicht in Berechnung

1. Gesamteintrag G [mg] - Sedimentkästen SK							1. Silikastaubeintrag S [mg] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	03.07.-17.07.02	17.07.-30.08.02	30.08.-06.09.02	06.09.-20.09.02				03.07.-17.07.02	17.07.-30.08.02	30.08.-06.09.02	06.09.-20.09.02		
Tage	14	44	7	14			Tage	14	44	7	14		
SK1		264	139	29	144,0	432	SK1	702 <sup>1)</sup>	110	91	15	72,0	216
SK2	175	218	102	7	125,5	502	SK2	67	52	32	1	38,0	152
SK3	152	87	22	36	74,3	297	SK3	142	49	3	1	48,8	195
SK4	148	68	65	61	85,5	342	SK4	130	40	34	2	51,5	206
MW pro Intervall	158,3	159,3	82,0	33,3			MW pro Intervall	113,0	62,8	40,0	4,8		
Summe pro Intervall	475	637	328	133		1573	Summe pro Intervall	339	251	160	19		769
Summe [m] M1bis M4							Summe [m] M1bis M4						

1. Humuseintrag H [mg] - Sedimentkästen SK							1. Kalkstaubeintrag K [mg] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	03.07.-17.07.02	17.07.-30.08.02	30.08.-06.09.02	06.09.-20.09.02				03.07.-17.07.02	17.07.-30.08.02	30.08.-06.09.02	06.09.-20.09.02		
Tage	14	44	7	14			Tage	14	44	7	14		
SK1	77 <sup>1)</sup>	153	48	14	71,7	215	SK1	0	1	0	0	0,3	1
SK2	107	166	70	7	87,5	350	SK2	1	0	0	0,5	0,4	2
SK3	10	37	10	21	19,5	78	SK3	0	1	9	14	6,0	24
SK4	18	28	31	59	34,0	136	SK4	0	1	0	0	0,3	1
MW pro Intervall	45,0	96,0	39,8	25,3			MW pro Intervall	0,3	0,8	2,3	3,6		
Summe pro Intervall	135	384	159	101		779	Summe pro Intervall	1	3	9	15		28
Summe [m] M1bis M4							Summe [m] M1bis M4						

## Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2002

Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen

**Nr. 21**

**Tagesraten [mg/d]**

1. Gesamteintrag G [mg/d] - Sedimentkästen SK							1. Silikastaubeintrag S [mg/d] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	03.07.-17.07.02	17.07.-30.08.02	30.08.-06.09.02	06.09.-20.09.02				03.07.-17.07.02	17.07.-30.08.02	30.08.-06.09.02	06.09.-20.09.02		
Tage	14	44	7	14			Tage	14	44	7	14		
SK1		6,0	19,9	2,1	9,3	28	SK1		2,5	13,0	1,1	5,5	17
SK2	12,5	5,0	14,6	0,5	8,1	33	SK2	4,8	1,2	4,6	0,1	2,7	11
SK3	10,9	2,0	3,1	2,6	4,6	19	SK3	10,1	1,1	0,4	0,1	2,9	12
SK4	10,6	1,5	9,3	4,4	6,4	26	SK4	9,3	0,9	4,9	0,1	3,8	15
MW pro Intervall	11,3	3,6	11,7	2,4			MW pro Intervall	8,1	1,4	5,7	0,3		
Summe pro Intervall	34	14	47	10		105	Summe pro Intervall	24	6	23	1		54
Summe [m] M1bis M4							Summe [m] Gesamt						

1. Humuseintrag H [mg/d] - Sedimentkästen SK							1. Kalkstaubeintrag K [mg/d] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	03.07.-17.07.02	17.07.-30.08.02	30.08.-06.09.02	06.09.-20.09.02				03.07.-17.07.02	17.07.-30.08.02	30.08.-06.09.02	06.09.-20.09.02		
Tage	14	44	7	14			Tage	14	44	7	14		
SK1		3,5	6,9	1,0	3,8	11	SK1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
SK2	7,6	3,8	10,0	0,5	5,5	22	SK2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0
SK3	0,7	0,8	1,4	1,5	1,1	4	SK3	0,0	0,0	1,3	1,0	0,6	2
SK4	1,3	0,6	4,4	4,2	2,6	11	SK4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
MW pro Intervall	3,2	2,2	5,7	1,8			MW pro Intervall	0,0	0,0	0,3	0,3		
Summe pro Intervall	10	9	23	7		48	Summe pro Intervall	0	0	1	1		2
Summe [m] Gesamt							Summe [m] M1bis M4						



## Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2002

Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen

**Nr. 22**

Tägliche Eintragsraten [ $\mu\text{g}/\text{d}/\text{cm}^2$ ]

1. Gesamteintrag G [ $\mu\text{g}/\text{d}/\text{cm}^2$ ] - Sedimentkästen SK							1. Silikatstaubeintrag S [ $\mu\text{g}/\text{d}/\text{cm}^2$ ] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	03.07.-17.07.02	17.07.-30.08.02	30.08.-06.09.02	06.09.-20.09.02				03.07.-17.07.02	17.07.-30.08.02	30.08.-06.09.02	06.09.-20.09.02		
Tage	14	44	7	14			Tage	14	44	7	14		
SK1		9,3	30,7	3,2	14,4	43	SK1		3,9	20,1	1,7	8,6	26
SK2	19,3	7,7	22,6	0,8	12,6	50	SK2	7,4	1,8	7,1	0,1	4,1	16
SK3	16,8	3,1	4,9	4,0	7,2	29	SK3	15,7	1,7	0,7	0,1	4,5	18
SK4	16,4	2,4	14,4	6,7	10,0	40	SK4	14,4	1,4	7,5	0,2	5,9	24
MW pro Intervall	17,5	5,6	18,1	3,7	Summe Tage	79	MW pro Intervall	12,5	2,2	8,8	0,5	Summe Tage	79
Summe pro Intervall	53	22	73	15	Summe [m] M1bis M4	162	Summe pro Intervall	37	9	35	2	Summe [m] M1bis M4	84

1. Humuseintrag H [ $\mu\text{g}/\text{d}/\text{cm}^2$ ] - Sedimentkästen SK							1. Kalkstaubeintrag K [ $\mu\text{g}/\text{d}/\text{cm}^2$ ] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	03.07.-17.07.02	17.07.-30.08.02	30.08.-06.09.02	06.09.-20.09.02				03.07.-17.07.02	17.07.-30.08.02	30.08.-06.09.02	06.09.-20.09.02		
Tage	14	44	7	14			Tage	14	44	7	14		
SK1		5,4	10,6	1,5	5,8	18	SK1		0,0	0,0	0,0	0,0	0
SK2	11,8	5,8	15,5	0,8	8,5	34	SK2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0
SK3	1,1	1,3	2,2	2,3	1,7	7	SK3	0,0	0,0	2,0	1,5	0,9	4
SK4	2,0	1,0	6,9	6,5	4,1	16	SK4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
MW pro Intervall	5,0	3,4	8,8	2,8	Summe Tage	79	MW pro Intervall	0,04	0,0	0,5	0,4	Summe Tage	79
Summe pro Intervall	15	14	35	11	Summe [m] M1bis M4	75	Summe pro Intervall	0,1	0	2	2	Summe [m] M1bis M4	4

## Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2003

Zugspitzplatt / Wettersteingebirge

**Nr. 23**

Eintrag [mg]

1. Gesamteintrag G [mg] - Sedimentkästen SK							1. Silikatstaubeintrag S [mg] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	26.06.-03.07.03	03.07.-31.07.03	31.07.-27.08.03	27.08.-18.09.03				26.06.-03.07.03	03.07.-31.07.03	31.07.-27.08.03	27.08.-18.09.03		
Tage	7	28	27	22			Tage	7	28	27	22		
SK1	69	370	133	78	162,5	650	SK1	44	168	88	47	86,8	347
SK2	87	290	100	45	130,5	522	SK2	50	134	48	28	65,0	260
SK3	128	320	88	76	153,0	612	SK3	79	200	48	42	92,3	369
SK4	28	280	94	110	128,0	512	SK4	22	154	59	68	75,8	303
SK5	90	306	69	81	136,5	546	SK5	60	241	53	59	103,3	413
MW pro Intervall	80,4	313,2	96,8	78,0	Summe Tage	84	MW pro Intervall	51,0	179,4	59,2	48,8	Summe Tage	84
Summe pro Intervall	402	1566	484	390	Summe [m] M1 bis M4	2842	Summe pro Intervall	255	897	296	244	Summe [m] M1 bis M4	1692

1. Humuseintrag H [mg] - Sedimentkästen SK							1. Kalkstaubeintrag K [mg] - Sedimentkästen SK						
Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	26.06.-03.07.03	03.07.-31.07.03	31.07.-27.08.03	27.08.-18.09.03				26.06.-03.07.03	03.07.-31.07.03	31.07.-27.08.03	27.08.-18.09.03		
Tage	7	28	27	22			Tage	7	28	27	22		
SK1	25	199	45	29	74,5	298	SK1	0	3	0	2	1,3	5
SK2	37	155	50	12	63,5	254	SK2	0	1	2	5	2,0	8
SK3	48	118	34	34	58,5	234	SK3	1	2	6	0	2,3	9
SK4	6	125	35	40	51,5	206	SK4	0	1	0	2	0,8	3
SK5	30	65	16	22	33,3	133	SK5	0	0	1	0	0,3	1
MW pro Intervall	29,2	132,4	36,0	27,4	Summe Tage	84	MW pro Intervall	0,2	1,4	1,8	1,8	Summe Tage	84
Summe pro Intervall	146	662	180	137	Summe [m] M1 bis M4	1125	Summe pro Intervall	1	7	9	9	Summe [m] M1 bis M4	26



## Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2003

### Zugspitzplatt / Wettersteingebirge

Nr. 24

#### Tagesraten [mg/d]

1. Gesamteintrag G [mg/d] - Sedimentkästen SK							1. Silikatstaubeintrag S [mg/d] - Sedimentkästen SK						
Meßinter- vall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßinter- vall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	26.06.- 03.07.03	03.07.- 31.07.03	31.07.- 27.08.03	27.08.- 18.09.03				26.06.- 03.07.03	03.07.- 31.07.03	31.07.- 27.08.03	27.08.- 18.09.03		
Tage	7	28	27	22			Tage	7	28	27	22		
SK1	9,9	13,2	4,9	3,5	7,9	32	SK1	6,3	6,0	3,3	2,1	4,4	18
SK2	12,4	10,4	3,7	2,0	7,1	29	SK2	7,1	4,8	1,8	1,3	3,7	15
SK3	18,3	11,4	3,3	3,5	9,1	36	SK3	11,3	7,1	1,8	1,9	5,5	22
SK4	4,0	10,0	3,5	5,0	5,6	22	SK4	3,1	5,5	2,2	3,1	3,5	14
SK5	12,9	10,9	2,6	3,7	7,5	30	SK5	8,6	8,6	2,0	2,7	5,5	22
MW pro Intervall	11,5	11,2	3,6	3,5	Summe Tage	84	MW pro Intervall	7,3	6,4	2,2	2,2	Summe Tage	84
Summe pro Intervall	57	56	18	18	Summe [m] M1 bis M4	149	Summe pro Intervall	36	32	11	11	Summe [m] M1 bis M4	91

1. Humuseintrag H [mg/d] - Sedimentkästen SK							1. Kalkstaubeintrag K [mg/d] - Sedimentkästen SK						
Meßinter- vall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßinter- vall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	26.06.- 03.07.03	03.07.- 31.07.03	31.07.- 27.08.03	27.08.- 18.09.03				26.06.- 03.07.03	03.07.- 31.07.03	31.07.- 27.08.03	27.08.- 18.09.03		
Tage	7	28	27	22			Tage	7	28	27	22		
SK1	3,6	7,1	1,7	1,3	3,4	14	SK1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0
SK2	5,3	5,5	1,9	0,5	3,3	13	SK2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0
SK3	6,9	4,2	1,3	1,5	3,5	14	SK3	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0
SK4	0,9	4,5	1,3	1,8	2,1	8	SK4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0
SK5	4,3	2,3	0,6	1,0	2,0	8	SK5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
MW pro Intervall	4,2	4,7	1,3	1,2	Summe Tage	84	MW pro Intervall	0,03	0,05	0,07	0,08	Summe Tage	84
Summe pro Intervall	21	24	7	6	Summe [m] M1 bis M4	57	Summe pro Intervall	0,1	0,3	0,3	0,4	Summe [m] M1 bis M4	1

## Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2003

### Zugspitzplatt / Wettersteingebirge

Nr. 25

#### Tägliche Eintragsraten [µg/d/cm²]

1. Gesamteintrag G [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK							1. Silikatstaubeintrag S [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK						
Meßinter- vall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßinter- vall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	26.06.- 03.07.03	03.07.- 31.07.03	31.07.- 27.08.03	27.08.- 18.09.03				26.06.- 03.07.03	03.07.- 31.07.03	31.07.- 27.08.03	27.08.- 18.09.03		
Tage	7	28	27	22			Tage	7	28	27	22		
SK1	15,3	20,5	7,6	5,5	12,2	49	SK1	9,7	9,3	5,0	3,3	6,8	27
SK2	19,2	16,0	5,7	3,2	11,0	44	SK2	11,1	7,4	2,8	2,0	5,8	23
SK3	28,3	17,7	5,0	5,3	14,1	56	SK3	17,5	11,1	2,8	3,0	8,6	34
SK4	6,2	15,5	5,4	7,7	8,7	35	SK4	4,9	8,5	3,4	4,8	5,4	22
SK5	19,9	16,9	4,0	5,7	11,6	46	SK5	13,3	13,3	3,0	4,2	8,4	34
MW pro Intervall	17,8	17,3	5,5	5,5	Summe Tage	84	MW pro Intervall	11,3	9,9	3,4	3,4	Summe Tage	84
Summe pro Intervall	89	87	28	27	Summe [m] M1 bis M4	231	Summe pro Intervall	56	50	17	17	Summe [m] M1 bis M4	140

1. Humuseintrag H [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK							1. Kalkstaubeintrag K [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK						
Meßinter- vall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßinter- vall MI	1	2	3	4	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	26.06.- 03.07.03	03.07.- 31.07.03	31.07.- 27.08.03	27.08.- 18.09.03				26.06.- 03.07.03	03.07.- 31.07.03	31.07.- 27.08.03	27.08.- 18.09.03		
Tage	7	28	27	22			Tage	7	28	27	22		
SK1	5,5	11,0	2,6	2,0	5,3	21	SK1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	0
SK2	8,2	8,6	2,9	0,8	5,1	20	SK2	0,0	0,1	0,1	0,4	0,1	1
SK3	10,6	6,5	1,9	2,4	5,4	21	SK3	0,2	0,1	0,3	0,0	0,2	1
SK4	1,3	6,9	2,0	2,8	3,3	13	SK4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0
SK5	6,6	3,6	0,9	1,5	3,2	13	SK5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0
MW pro Intervall	6,5	7,3	2,1	1,9	Summe Tage	84	MW pro Intervall	0,04	0,08	0,10	0,13	Summe Tage	84
Summe pro Intervall	32	37	10	10	Summe [m] M1 bis M4	89	Summe pro Intervall	0,2	0,4	0,5	0,6	Summe [m] M1 bis M4	2



**Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2003**

Westl. Karwendelgrube / Karwendelgebirge

1) = bei Wind weggeweht

Nr. 26

Eintrag [mg]

1. Gesamteintrag G [mg] - Sedimentkästen SK											1. Silikatstaubeintrag S [mg] - Sedimentkästen SK											
Meßinter- vall MI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	30.05.- 14.06.03	14.06.- 20.06.03	20.06.- 02.07.03	02.07.- 09.07.03	09.07.- 30.07.03	30.07.- 17.08.03	17.08.- 26.08.03	26.08.- 04.09.03	04.09.- 17.09.03				30.05.- 14.06.03	14.06.- 20.06.03	20.06.- 02.07.03	02.07.- 09.07.03	09.07.- 30.07.03	30.07.- 17.08.03	17.08.- 26.08.03	26.08.- 04.09.03		
Tage	15	6	12	7	21	18	10	9	13			15	6	12	7	21	18	10	9	13		
SK1	74	33	43	33	156	85	70	31	89	68,2	614	55	23	28	23	68	55	43	25	74	43,8	394
SK2	387	183	88	0	129	66	67	55	28	111,2	1001	292	143	59	0	76	54	51	37	13	80,6	725
SK3	324	128	57	0	77	46	33	26	15	78,4	706	310	110	44	0	55	10	19	14	14	64,0	576
SK4	1	250	66	11	364	109	118	77	23	127,3	1018		137	58	11	194	61	74	51	23	76,1	609
MW pro Intervall	261,7	148,5	63,5	11,0	181,5	76,5	72,0	47,3	36,3	Summe Tage	111	219,0	103,3	47,3	8,5	98,3	45,0	46,8	31,8	31,0	Summe Tage	111
Summe je Intervall	785	594	254	44	726	306	288	189	153	Summe M1bis M9	3339	657	413	189	34	393	180	187	127	124	Summe M1bis M9	2304

1. Humuseintrag H [mg] - Sedimentkästen SK											1. Kaikstaubeintrag K [mg] - Sedimentkästen SK											
Meßinter- vall MI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	30.05.- 14.06.03	14.06.- 20.06.03	20.06.- 02.07.03	02.07.- 09.07.03	09.07.- 30.07.03	30.07.- 17.08.03	17.08.- 26.08.03	26.08.- 04.09.03	04.09.- 17.09.03				30.05.- 14.06.03	14.06.- 20.06.03	20.06.- 02.07.03	02.07.- 09.07.03	09.07.- 30.07.03	30.07.- 17.08.03	17.08.- 26.08.03	26.08.- 04.09.03		
Tage	15	6	12	7	21	18	10	9	13			15	6	12	7	21	18	10	9	13		
SK1	19	10	14	4	88	30	27	6	15	23,7	213	0	0	2	18	0	0	0	0	0	2,3	21
SK2	88	39	28	0	51	12	16	18	0	28,0	252	7	1	1	0	2	0	0	0	13	2,6	24
SK3	14	18	13	0	22	36	14	12	1	14,4	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0
SK4	1	148	8	0	169	48	44	25	0	55,0	440	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0,3	2
MW pro Intervall	40,3	53,3	15,8	1,0	82,5	31,5	25,3	15,3	4,0	Summe Tage	111	2,3	0,1	0,9	4,6	0,8	0,0	0,0	0,3	3,3	Summe Tage	111
Summe je Intervall	121	213	63	4	330	126	101	61	16	Summe M1bis M9	1035	7	1	3	18	3	0	0	1	13	Summe M1bis M9	46

**Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2003**

Westl. Karwendelgrube / Karwendelgebirge

Nr. 27

Tagesraten [mg/d]

1. Gesamteintrag G [mg/d] - Sedimentkästen SK											1. Silikatstaubeintrag S [mg/d] - Sedimentkästen SK											
Meßinter- vall MI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	30.05.- 14.06.03	14.06.- 20.06.03	20.06.- 02.07.03	02.07.- 09.07.03	09.07.- 30.07.03	30.07.- 17.08.03	17.08.- 26.08.03	26.08.- 04.09.03	04.09.- 17.09.03				30.05.- 14.06.03	14.06.- 20.06.03	20.06.- 02.07.03	02.07.- 09.07.03	09.07.- 30.07.03	30.07.- 17.08.03	17.08.- 26.08.03	26.08.- 04.09.03		
Tage	15	6	12	7	21	18	10	9	13			15	6	12	7	21	18	10	9	13		
SK1	4,9	5,5	3,6	4,7	7,4	4,7	7,0	3,4	6,8	5,4	48	3,7	3,8	2,3	3,3	3,2	3,1	4,3	2,8	5,7	3,6	32
SK2	25,8	30,5	7,3	0	6,1	3,7	6,7	6,1	2,0	9,8	88	19,5	23,8	4,9	0	3,6	3,0	5,1	4,1	1,0	7,2	65
SK3	21,6	21,3	4,8	0	3,7	2,6	3,3	2,9	1,2	6,8	61	20,7	18,3	3,7	0	2,6	0,6	1,9	1,6	1,1	5,6	50
SK4	1	41,7	5,5	1,6	17,3	6,1	11,8	8,6	1,8	11,8	94	1	22,8	4,8	1,6	9,2	3,4	7,4	5,7	1,8	7,1	57
MW pro Intervall	17,4	24,8	5,3	1,6	8,6	4,3	7,2	5,3	2,9	Summe Tage	111	14,6	17,2	3,9	1,2	4,7	2,5	4,7	3,5	2,4	Summe Tage	111
Summe je Intervall	52	99	21	6	35	17	29	21	12	Summe M1bis M9	292	44	69	16	5	19	10	19	14	10	Summe M1bis M9	204

1. Humuseintrag H [mg/d] - Sedimentkästen SK											1. Kaikstaubeintrag K [mg/d] - Sedimentkästen SK											
Meßinter- vall MI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	30.05.- 14.06.03	14.06.- 20.06.03	20.06.- 02.07.03	02.07.- 09.07.03	09.07.- 30.07.03	30.07.- 17.08.03	17.08.- 26.08.03	26.08.- 04.09.03	04.09.- 17.09.03				30.05.- 14.06.03	14.06.- 20.06.03	20.06.- 02.07.03	02.07.- 09.07.03	09.07.- 30.07.03	30.07.- 17.08.03	17.08.- 26.08.03	26.08.- 04.09.03		
Tage	15	6	12	7	21	18	10	9	13			15	6	12	7	21	18	10	9	13		
SK1	1,3	1,7	1,2	0,6	4,2	1,7	2,7	0,7	1,2	1,7	15	0,0	0,0	0,2	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	3
SK2	5,9	6,5	2,3	0	2,4	0,7	1,6	2,0	0,0	2,4	21	0,5	0,1	0,1	0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2	2
SK3	0,9	3,0	1,1	0	1,0	2,0	1,4	1,3	0,1	1,2	11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
SK4	1	24,3	0,7	0,0	8,0	2,7	4,4	2,8	0,0	5,4	43	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0
MW pro Intervall	2,7	6,9	1,3	0,1	3,9	1,8	2,5	1,7	0,3	Summe Tage	111	0,2	0,02	0,1	0,7	0,04	0,0	0,0	0,03	0,3	Summe Tage	111
Summe je Intervall	8	36	5	1	16	7	10	7	1	Summe M1bis M9	90	0,5	0,1	0,3	2,6	0,1	0,0	0,0	0,1	1,0	Summe M1bis M9	5



Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2003

Nr. 28

Westf. Karwendelgrube / Karwendelgebirge

Tägliche Eintragsraten [ $\mu\text{g}/\text{d}/\text{cm}^2$ ]

1. Gesamteintrag G [ $\mu\text{g}/\text{d}/\text{cm}^2$ ] - Sedimentkästen SK										1. Silikataubeintrag S [ $\mu\text{g}/\text{d}/\text{cm}^2$ ] - Sedimentkästen SK												
Meßinter- vall MI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	30.05.- 14.06.03	14.06.- 20.06.03	20.06.- 02.07.03	02.07.- 09.07.03	09.07.- 30.07.03	30.07.- 17.08.03	17.08.- 26.08.03	26.08.- 04.09.03	04.09.- 17.09.03			30.05.- 14.06.03	14.06.- 20.06.03	20.06.- 02.07.03	02.07.- 09.07.03	09.07.- 30.07.03	30.07.- 17.08.03	17.08.- 26.08.03	26.08.- 04.09.03	04.09.- 17.09.03		
Tage	15	6	12	7	21	18	10	9	13			15	6	12	7	21	18	10	9	13		
SK1	7,6	8,5	5,5	7,3	11,5	7,3	10,8	5,3	10,6	8,3	75	5,7	5,9	3,6	5,1	5,0	4,7	6,7	4,3	8,8	5,5	50
SK2	39,9	47,2	11,4	0	9,5	5,7	10,4	9,5	3,1	15,2	137	30,1	36,9	7,6	0	5,6	4,6	7,9	6,4	1,5	11,2	101
SK3	33,4	33,0	7,4	0	5,7	4,0	5,1	4,5	1,8	10,5	95	32,0	28,4	5,7	0	4,1	0,9	2,9	2,4	1,7	8,7	78
SK4	1	64,5	8,5	2,4	26,8	9,4	18,3	13,2	2,7	18,2	148	1	35,3	7,5	2,4	14,3	5,2	11,5	8,8	2,7	11,0	88
MW pro Intervall	27,0	38,3	8,2	2,4	19,4	6,6	11,1	8,1	4,6			22,6	26,6	6,1	1,9	7,2	3,9	7,2	5,5	3,7		
Summe je Intervall	61	153	33	10	54	26	45	33	18	Summe M1bis M9	452	68	107	24	8	29	15	29	22	15	Summe M1bis M9	316

1. Humuseintrag H [ $\mu\text{g}/\text{d}/\text{cm}^2$ ] - Sedimentkästen SK										1. Kalkstaubeintrag K [ $\mu\text{g}/\text{d}/\text{cm}^2$ ] - Sedimentkästen SK												
Meßinter- vall MI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	30.05.- 14.06.03	14.06.- 20.06.03	20.06.- 02.07.03	02.07.- 09.07.03	09.07.- 30.07.03	30.07.- 17.08.03	17.08.- 26.08.03	26.08.- 04.09.03	04.09.- 17.09.03			30.05.- 14.06.03	14.06.- 20.06.03	20.06.- 02.07.03	02.07.- 09.07.03	09.07.- 30.07.03	30.07.- 17.08.03	17.08.- 26.08.03	26.08.- 04.09.03	04.09.- 17.09.03		
Tage	15	6	12	7	21	18	10	9	13			15	6	12	7	21	18	10	9	13		
SK1	2,0	2,6	1,8	0,9	6,5	2,6	4,2	1,0	1,8	2,6	23	0,0	0,0	0,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	4
SK2	9,1	10,1	3,6	0	3,8	1,0	2,5	3,1	0,0	3,7	33	0,7	0,1	0,1	0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	3
SK3	1,4	4,6	1,7	0	1,6	3,1	2,2	2,1	0,1	1,9	17	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
SK4	1	37,7	1,0	0,0	12,5	4,1	6,8	4,3	0,0	8,3	66	1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0
MW pro Intervall	4,2	13,7	2,0	0,2	6,1	2,7	3,9	2,6	0,5			0,2	0,03	0,1	1,0	0,06	0,0	0,0	0,04	0,4		
Summe je Intervall	12	55	8	1	24	11	16	10	2	Summe M1bis M9	140	0,7	0,1	0,4	4,0	0,2	0,0	0,0	0,2	1,5	Summe M1bis M9	7

Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2003

Nr. 29

Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen

Eintrag [mg]

1. Gesamteintrag G [mg] - Sedimentkästen SK							1. Silikataubeintrag S [mg] - Sedimentkästen SK								
Meßintervall	1	2	3	4	5	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall	1	2	3	4	5	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	12.06.- 26.06.03	26.06.- 08.07.03	08.07.- 07.08.03	07.08.- 16.08.03	16.08.- 26.08.03				12.06.- 26.06.03	26.06.- 08.07.03	08.07.- 07.08.03	07.08.- 16.08.03	16.08.- 26.08.03		
Tage	14	11	30	15	10			Tage	14	11	30	15	10		
SK1	88	118	87	20	60	74,6	373	SK1	70	95	36	10	36	49,4	247
SK2	33	75	57	18	30	42,6	213	SK2	16	75	26	9	11	27,4	137
SK3	116	120	95	16	95	88,4	442	SK3	56	98	54	8	82	59,6	298
SK4	12	100	60	24	42	47,6	238	SK4	7	83	34	12	35	34,2	171
MW pro Intervall	62,3	103,3	74,8	19,5	56,8		80	MW pro Intervall	37,3	87,8	37,5	9,8	41,0		80
Summe pro Intervall	249	413	299	78	227	Summe [m] Gesamt	1266	Summe pro Intervall	149	351	150	39	164	Summe [m] Gesamt	853
1. Humuseintrag H [mg] - Sedimentkästen SK							1. Kalkstaubeintrag K [mg] - Sedimentkästen SK								
Meßintervall MI	1	2	3	4	5	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	5	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	12.06.- 26.06.03	26.06.- 08.07.03	08.07.- 07.08.03	07.08.- 16.08.03	16.08.- 26.08.03				12.06.- 26.06.03	26.06.- 08.07.03	08.07.- 07.08.03	07.08.- 16.08.03	16.08.- 26.08.03		
Tage	14	11	30	15	10			Tage	14	11	30	15	10		
SK1	18	22	50	10	22	24,4	122	SK1	0	1	1	0	2	0,8	4
SK2	15	0	31	9	13	13,6	68	SK2	2	0	0	0	6	1,6	8
SK3	59	20	41	7	13	28,0	140	SK3	1	2	0	1	0	0,8	4
SK4	5	17	25	12	9	13,6	68	SK4	0	0	2	0	1	0,6	3
MW pro Intervall	24,3	14,8	36,8	9,5	14,3		80	MW pro Intervall	0,8	0,8	0,8	0,3	2,3		80
Summe pro Intervall	97	59	147	38	57	Summe [m] Gesamt	398	Summe pro Intervall	3	3	3	1	9	Summe [m] Gesamt	19



Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen

Nr. 30

Tagesraten [mg/d]

1. Gesamteintrag G [mg/d] - Sedimentkästen SK								1. Silikatstaubeintrag S [mg/d] - Sedimentkästen SK							
Meßintervall MI	1	2	3	4	5	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	5	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	12.06.- 26.06.03	26.06.- 08.07.03	08.07.- 07.08.03	07.08.- 16.08.03	16.08.- 26.08.03				12.06.- 26.06.03	26.06.- 08.07.03	08.07.- 07.08.03	07.08.- 16.08.03	16.08.- 26.08.03		
Tage	14	11	30	15	10			Tage	14	11	30	15	10		
SK1	6,3	10,7	2,9	1,3	6,0	5,4	27	SK1	5,0	8,6	1,2	0,7	3,6	3,8	19
SK2	2,4	6,8	1,9	1,2	3,0	3,1	15	SK2	1,1	6,8	0,9	0,6	1,1	2,1	11
SK3	8,3	10,9	3,2	1,1	9,5	6,6	33	SK3	4,0	8,9	1,8	0,5	8,2	4,7	23
SK4	0,9	9,1	2,0	1,6	4,2	3,5	18	SK4	0,5	7,5	1,1	0,8	3,5	2,7	13
MW pro Intervall	4,4	9,4	2,5	1,3	5,7	Summe Tage	80	MW pro Intervall	2,7	8,0	1,3	0,7	4,1	Summe Tage	80
Summe pro Intervall	18	38	10	5	23	Summe [m]	93	Summe pro Intervall	11	32	5	3	16	Summe [m]	67
						Gesamt								Gesamt	

1. Humuseintrag H [mg/d] - Sedimentkästen SK								1. Kalkstaubeintrag K [mg/d] - Sedimentkästen SK							
Meßintervall MI	1	2	3	4	5	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	5	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	12.06.- 26.06.03	26.06.- 08.07.03	08.07.- 07.08.03	07.08.- 16.08.03	16.08.- 26.08.03				12.06.- 26.06.03	26.06.- 08.07.03	08.07.- 07.08.03	07.08.- 16.08.03	16.08.- 26.08.03		
Tage	14	11	30	15	10			Tage	14	11	30	15	10		
SK1	1,3	2,0	1,7	0,7	2,2	1,6	8	SK1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0
SK2	1,1	0,0	1,0	0,6	1,3	0,8	4	SK2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1	1
SK3	4,2	1,8	1,4	0,5	1,3	1,8	9	SK3	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0
SK4	0,4	1,5	0,8	0,8	0,9	0,9	4	SK4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0
MW pro Intervall	1,7	1,3	1,2	0,6	1,4	Summe Tage	80	MW pro Intervall	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	Summe Tage	80
Summe pro Intervall	7	5	5	3	6	Summe [m]	25	Summe pro Intervall	0,2	0,3	0,1	0,1	0,9	Summe [m]	2
						Gesamt								Gesamt	

Staub aus Regenniederschlag - Sommer 2003

Reiteralpe / Berchtesgadener Alpen

Nr. 31

Tägliche Eintragsraten [µg/d/cm²]

1. Gesamteintrag G [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK								1. Silikatstaubeintrag S [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK							
Meßintervall MI	1	2	3	4	5	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	5	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	12.06.- 26.06.03	26.06.- 08.07.03	08.07.- 07.08.03	07.08.- 16.08.03	16.08.- 26.08.03				12.06.- 26.06.03	26.06.- 08.07.03	08.07.- 07.08.03	07.08.- 16.08.03	16.08.- 26.08.03		
Tage	14	11	30	15	10			Tage	14	11	30	15	10		
SK1	9,7	16,6	4,5	2,1	9,3	8,4	42	SK1	7,7	13,4	1,9	1,0	5,6	5,9	30
SK2	3,6	10,6	2,9	1,9	4,6	4,7	24	SK2	1,8	10,6	1,3	0,9	1,7	3,3	16
SK3	12,8	16,9	4,9	1,7	14,7	10,2	51	SK3	6,2	13,8	2,8	0,8	12,7	7,3	36
SK4	1,3	14,1	3,1	2,5	6,5	5,5	27	SK4	0,8	11,7	1,8	1,2	5,4	4,2	21
MW pro Intervall	6,9	14,5	3,9	2,0	8,8	Summe Tage	80	MW pro Intervall	4,1	12,3	1,9	1,0	6,3	Summe Tage	80
Summe pro Intervall	28	58	15	8	35	Summe [m] M1bis M5	144	Summe pro Intervall	16	49	8	4	25	Summe [m] M1bis M5	103

1. Humuseintrag H [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK								1. Kalkstaubeintrag K [µg/d/cm²] - Sedimentkästen SK							
Meßintervall MI	1	2	3	4	5	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten	Meßintervall MI	1	2	3	4	5	MW [mg] pro Kasten	Summe [mg] pro Kasten
	12.06.- 26.06.03	26.06.- 08.07.03	08.07.- 07.08.03	07.08.- 16.08.03	16.08.- 26.08.03				12.06.- 26.06.03	26.06.- 08.07.03	08.07.- 07.08.03	07.08.- 16.08.03	16.08.- 26.08.03		
Tage	14	11	30	15	10			Tage	14	11	30	15	10		
SK1	2,0	3,1	2,6	1,0	3,4	2,4	12	SK1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,3	0,1	1
SK2	1,7	0,0	1,6	0,9	2,0	1,2	6	SK2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2	1
SK3	6,5	2,8	2,1	0,7	2,0	2,8	14	SK3	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1	0
SK4	0,6	2,4	1,3	1,2	1,4	1,4	7	SK4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0
MW pro Intervall	2,7	2,1	1,9	1,0	2,2	Summe Tage	80	MW pro Intervall	0,08	0,11	0,04	0,03	0,35	Summe Tage	80
Summe pro Intervall	11	8	8	4	9	Summe [m] M1bis M5	39	Summe pro Intervall	0,3	0,4	0,2	0,1	1,4	Summe [m] M1bis M5	2



In der Reihe der Forschungsberichte sind erschienen:

- Nr. 1 G. Enders  
**Theoretische Topoklimatologie**
- Nr. 2 R. Bochter, W. Neuerburg, W. Zech  
**Humus und Humusschwund im Gebirge**
- Nr. 3 Herausgeber Nationalparkverwaltung  
**Zur Situation der Greifvögel in den Alpen**
- Nr. 4 G. Enders  
**Kartenteil: Theoretische Topoklimatologie**
- Nr. 5 O. Siebeck  
**Der Königssee – Eine limnologische Projektstudie**
- Nr. 6 R. Bochter  
**Böden naturnaher Bergwaldstandorte auf carbonatreichen Substraten**
- Nr. 7 Herausgeber Nationalparkverwaltung  
**Der Funtensee**
- Nr. 8 H. Schmid-Heckel  
**Zur Kenntnis der Pilze in den Nördlichen Kalkalpen**
- Nr. 9 R. Boller  
**Diplopoden als Streuzersetzer in einem Lärchenwald**
- Nr. 10 E. Langenscheidt  
**Höhlen und ihre Sedimente in den Berchtesgadener Alpen**
- Nr. 11 Herausgeber Nationalparkverwaltung  
**Das Bärenseminar**
- Nr. 12 H. Knott  
**Geschichte der Salinenwälder von Berchtesgaden**
- Nr. 13 A. Manghabati  
**Einfluß des Tourismus auf die Hochgebirgslandschaft**
- Nr. 14 A. Spiegel-Schmidt  
**Alte Forschungs- und Reiseberichte aus dem Berchtesgadener Land**
- Nr. 15 H. Schmid-Heckel  
**Pilze in den Berchtesgadener Alpen**
- Nr. 16 L. Spandau  
**Angewandte Ökosystemforschung im Nationalpark Berchtesgaden**
- Nr. 17 W. Berberich  
**Das Raum-Zeit-System des Rotfuchses**
- Nr. 18 U. Mäck, R. Bögel  
**Untersuchungen zur Ethologie und Raumnutzung von Gänse- und Bartgeier**
- Nr. 19 B. Dittrich, U. Hermsdorf  
**Biomonitoring in Waldökosystemen**
- Nr. 20 F. Kral, H. Rall  
**Wälder – Geschichte, Zustand, Planung**
- Nr. 21 M. Klein, R.-D. Negele, E. Leuner, E. Bohl, R. Leyerer  
**Fischbiologie des Königssees: Fischereibiologie und Parasitologie**
- Nr. 22 W. Traunspurger  
**Fischbiologie des Königssees: Nahrungsangebot und Nahrungswahl, Bd. I**
- Nr. 23 R. Gerstmeier  
**Fischbiologie des Königssees: Nahrungsangebot und Nahrungswahl, Bd. II**
- Nr. 24 W. Hecht, M. Förster, F. Pirchner, R. Hoffmann, P. Scheinert, H. Rettenbeck  
**Fischbiologie des Königssees: Ökologisch-genetische Untersuchungen am Seesaibling und Gesundheitsstatus der Fische**
- Nr. 25 G. Hofmann  
**Klimatologie des Alpenparks**
- Nr. 26 K. Rösch  
**Einfluß der Beweidung auf die Vegetation des Bergwaldes**
- Nr. 27 H. Remmert, P. G. Rey, W. R. Siegfried, W. Scherzinger, S. Klaus  
**Kleinstmögliche Populationen bei Tieren**
- Nr. 28 B. Müller, W. Berberich, A. David  
**Schalenwild**
- Nr. 29 J. Köppel  
**Beitrag der Vegetation zum Wasserhaushalt**
- Nr. 30 H. Zierl et al.  
**Die Wallfahrt über das Steinerne Meer**
- Nr. 31 P. Pechacek  
**Spechte im Nationalpark Berchtesgaden**
- Nr. 32 Chr. Dommermuth  
**Beschleunigte Massenabtragung im Jennergebiet**
- Nr. 33 R. Bögel  
**Untersuchungen zur Flugbiologie und Habitatnutzung von Gänsegeiern**
- Nr. 34 A. Schuster  
**Singvögel im Biosphärenreservat Berchtesgaden**
- Nr. 35 M. Höper  
**Moose – Arten, Bioindikation, Ökologie**
- Nr. 36 T. Barthelmeß  
**Die saisonale Plankton Sukzession im Königssee**
- Nr. 37 W. Lippert, S. Springer, H. Wunder  
**Die Farn- und Blütenpflanzen des Nationalparks**
- Nr. 38 G. Gödde  
**Die Holzbringung um den Königssee**
- Nr. 39 A. Stahr  
**Bodenkundliche Aspekte der Blaikenaubildung auf Almen**
- Nr. 40 R. Braun  
**Die Geologie des Hohen Gölls**
- Nr. 41 F. Gloßner, R. Türk  
**Die Flechtengesellschaften im Nationalpark Berchtesgaden und dessen Vorfeld**
- Nr. 42 R. Türk, H. Wunder  
**Die Flechten des Nationalparks Berchtesgaden und angrenzender Gebiete**
- Nr. 43 V. Konnerth, J. Siegrist  
**Waldentwicklung im Nationalpark Berchtesgaden von 1983 bis 1997**
- Nr. 44 S. Schmidlein  
**Aufnahme von Vegetationsmustern auf Landschaftsebene**
- Nr. 45 U. Brendel, R. Eberhardt, K. Wiesmann-Eberhardt, W. d'Oleire-Oltmanns  
**Der Leitfaden zum Schutz des Steinadlers in den Alpen**
- Nr. 46 Herausgeber Nationalparkverwaltung  
**Forschung im Nationalpark Berchtesgaden von 1978 bis 2001**
- Nr. 47 Th. Rettelbach  
**Die Antagonisten des Buchdruckers im Nationalpark Berchtesgaden**
- Nr. 48 P. Pechacek, W. d'Oleire-Oltmanns  
**International Woodpecker Symposium**
- Nr. 49 V. Konnerth  
**Standortkarte Nationalpark Berchtesgaden**
- Nr. 50 K. Fischer  
**Geomorphologie der Berchtesgadener Alpen**
- Nr. 51 R. Gerecke, H. Franz  
**Quellen im Nationalpark Berchtesgaden**
- Nr. 52 Thomas Kudernatsch  
**Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Pflanzengesellschaften im Nationalpark Berchtesgaden**
- Nr. 53 U. Strasser  
**Proceedings Alpine\*Snow\*Workshop**

Zu beziehen über die Nationalparkverwaltung Berchtesgaden, Doktorberg 6, D-83471 Berchtesgaden

