



Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt

Extraordinariat für Geomorphologie und Bodenkunde

Hangsedimente und Saprolithe als grundlegende Bestandteile
der Critical Zone – Beispiele aus dem Bayerischen Wald und
der Colorado Front Range

Juliane Huber

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Axel Göttlein

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. Jörg Völkel
2. Univ.-Prof. Dr. Thomas Raab,
Brandenburgische Technische Hochschule Cottbus

Die Dissertation wurde am 18.12.2013 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 09.04.2014 angenommen.

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT	v
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	vi
TABELLENVERZEICHNIS	ix
1 Die Geosphäre und das Konzept der Critical Zone	1
1.1 Sphärenmodell und Critical Zone-Forschung	1
1.2 Aufbau der Critical Zone	5
1.3 Ausrichtung der Arbeit	9
2 Periglaziale Deckschichten und Saprolithe als wichtiger Bestandteil der Critical Zone	11
2.1 Critical Zone in den Untersuchungsgebieten	11
2.1.1 Otterbachtal	11
2.1.2 Colorado Front Range	14
2.1.3 Einfluss des Pleistozäns in den Untersuchungsgebieten	17
2.2 Hangsedimente	22
2.2.1 Allgemeines zur Definition und Genese von Hangsedimenten	23
2.2.2 Periglaziale Prozesse am Hang	24
2.2.3 Einflüsse auf die Bildung von periglazialen Hangsedimenten	27
2.3 Periglaziale Deckschichten und Saprolith	29
2.3.1 Grundlagen zu periglazialen Deckschichten	29
2.3.2 Alter periglazialer Deckschichten	32
2.3.3 Saprolith	35
2.4 Hangwasser in periglazialen Deckschichten und Saprolith	36
2.4.1 Wasser im Boden	36
2.4.2 Wasser in geschichteten Substraten	39
3 Methoden	45
3.1 Geländeaufnahme	45
3.1.1 Gebietsbeschreibende Größen	45
3.1.2 Profilaufnahme	45

3.2	Laboranalytik	47
3.2.1	Bodenphysikalische Größen	47
3.2.2	Geochemische Analysen	48
3.3	Hydrologische Größen	52
3.3.1	Infiltration	52
3.3.2	Volumetrischer Bodenwassergehalt	52
3.4	Datierungen	55
4	Aufbau, Genese und Eigenschaften der Critical Zone	59
4.1	Hangsedimente in der Colorado Front Range	59
4.2	Altersangaben zu den periglazialen Deckschichten	76
4.3	Hangwasser in den periglazialen Deckschichten und im Saprolith	82
4.3.1	Bodenwasser im Untersuchungsgebiet Otterbachtal	83
4.3.2	Bodenwasser in den periglazialen Deckschichten und im Saprolith	86
4.3.3	Laterale Flüsse als typische Folge des Schichtaufbaus	95
5	Synthese	98
6	Zusammenfassung	106
7	Literaturverzeichnis	107
8	Anhangsverzeichnis	124
9	Anhang	126
	CURRICULUM VITAE	245

VORWORT

Die Dissertation entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Extraordinariat für Geomorphologie und Bodenkunde von Prof. Dr. Jörg Völkel. Jörg Völkel gilt mein besonderer Dank für die langjährige Unterstützung meiner wissenschaftlichen Fortbildung in Form von zahlreichen Geländeaufenthalten, vielfältigen Einblicken in diverse Forschungsprojekte und Tagungsteilnahmen. Darüber hinaus danke ich für die fachliche und finanzielle Unterstützung dieser Arbeit durch die Beantragung von zwei von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierten Projekten (VO 585/14-1, 15-1).

Den ehemaligen wissenschaftlichen Mitarbeitern des Extraordinariates für Geomorphologie und Bodenkunde, PD Dr. Matthias Leopold, Dr. Kerstin Hürkamp und Dr. Jennifer Winkelbauer, danke ich für die freundschaftliche Zusammenarbeit und die anregenden Diskussionen. Matthias Leopold möchte ich im speziellen für die kreativen Ideen bei der Umsetzung der Geländearbeiten im Otterbachtal danken. Kerstin Hürkamp stand vor allem bei den Laborarbeiten mit Rat und Tat zur Seite.

Die Labor- und Geländearbeiten wurden zudem von den labortechnischen Angestellten Tanja Lutter und Alexander Forster sowie zahlreichen studentischen Hilfskräften unterstützt. Ihnen danke ich für die zuverlässige Arbeit.

Mein weiterer Dank gilt Prof. Dr. Peter W. Birkeland (University of Colorado Boulder, CO) und Prof. Dr. David Dethier (Williams College, MA), die mit ihrem umfänglichen Wissen und ihrer Kenntnis des Untersuchungsgebietes in der Colorado Front Range diese Arbeit sehr gestützt haben.

Dr. Andrew Murray (Nordic Laboratory for Luminescence Dating, Aarhus University) danke ich für seine Zeit während der Besuche in seinem Datierungslabor und seinen fachlichen Rat zur Einordnung der Ergebnisse.

Forstdirektor Peter Fritzsche von der Thurn und Taxis Forst GmbH & Co. KG ermöglichte die langjährigen Messungen zum Bodenwassergehalt und die Geländearbeiten im Otterbachtal.

Dank geht auch an die TUM Graduate School und das Graduierten Zentrum Weihenstephan (GZW) für die promotionsbegleitende Betreuung und die zahlreichen Fortbildungsmöglichkeiten.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1.1:	Aufbau der Geosphäre (nach BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1996, verändert).	1
Abb. 1.2:	Die Critical Zone im Überschneidungsbereich der Sphären (nach WILDING & LIN 2006, verändert).	2
Abb. 1.3:	Fragestellungen im Verwitterungssystem der CZ (nach ANDERSON et al. 2004, verändert).	5
Abb. 1.4:	Unterteilung des Regoliths nach Verwitterung (Begriffe aus EGGLETON 2001).	7
Abb. 1.5:	Aufbau der Critical Zone nach ANDERSON et al. (2007).	7
Abb. 2.1:	Lage und Eingrenzung des Untersuchungsgebietes in Deutschland.	11
Abb. 2.2:	Geologie im Otterbachtal (aus BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1996).	12
Abb. 2.3:	Lage und Eingrenzung des Untersuchungsgebietes in den USA.	14
Abb. 2.4:	Gliederung der Colorado Front Range sowie klimatische Durchschnittswerte (nach BIRKELAND et. al. 2003, verändert).	14
Abb. 2.5:	Geologie im Untersuchungsgebiet Colorado Front Range (aus LEOPOLD et al. 2013).	15
Abb. 2.6:	Glaziale Sedimente im Untersuchungsgebiet Colorado Front Range (nach BIRKELAND et al. 2003).	20
Abb. 2.7:	Übersicht über die Eiszeiten in den beiden Untersuchungsgebieten (Literatur zu den Zeitangaben siehe Text; Jahresangaben zu den MIS aus SHACKLETON & OPDYKE 1973).	22
Abb. 2.8:	Entstehungszeiträume der periglazialen Deckschichten nach den angegebenen Autoren (zeitliche Gliederung nach LITT et al. 2001 und Abbildung 2.7).	34
Abb. 2.9:	Profil am Straßenanschnitt mit Saprolith und Festgestein, Fourmile Creek, Colorado Front Range (eigene Aufnahme).	35
Abb. 2.10:	Schematische Darstellung des Wasserkreislaufs im Teilbereich Boden (nach SELBY 1993, DYCK & PESCHKE 1995).	37
Abb. 2.11:	Schematische Darstellung der Infiltration und der Entstehung von lateralem Abfluss an einer Schichtgrenze (nach HEILIG et al. 2003).	40
Abb. 3.1:	Mit der RFA XL3t 900 messbare Elemente (farbig markiert).	49
Abb. 3.2:	Zusammenhang zwischen Messungen im Gelände (in situ) und im Labor (ex situ), N = 364.	51
Abb. 3.3:	Aufbau und Instrumentierung der Catena im Otterbachtal; Tabelle: Tiefe der Sonden an den jeweiligen Stationen in cm; in Klammern ist die jeweilige periglaziale Lage angegeben (LH: Hauptlage, LM: Mittellage, LB: Basislage, S: Saprolith).	53
Abb. 3.4:	Int09 Kalibrationskurven der 20th International Radiocarbon Conference für terrestrische Proben (REIMER et al. 2009).	56

Abb. 3.5:	Zusammenhang zwischen dem Fehler bei Lumineszenzaltern und dem Porenwassergehalt (nach HENNIG & GRÜN 1983).	57
Abb. 4.1:	Profilgruppen in der Colorado Front Range.	59
Abb. 4.2.:	Situmetriemessungen des Profils Ward 4864 II SE 5: prozentuale Angabe der Ausrichtung der bewerteten Komponenten in den einzelnen Schichten (Tiefenangaben in cm in Klammern).	63
Abb. 4.3:	Eiskeilpseudomorphose, Profil Ward 4864 II SE 1 (eigenes Foto).	64
Abb. 4.4:	Straßenaufschluss „Saw Mill Road“ mit Rinnenstruktur (links, unten); detailliert untersuchtes Profil Gold Hill 4965 III SW 8 (rechts).	65
Abb. 4.5:	Situmetriemessungen Profil Gold Hill 4965 III SW 8: prozentuale Angabe der Ausrichtung der bewerteten Komponenten in den einzelnen Schichten (Tiefenangaben in cm in Klammern).	66
Abb. 4.6:	Situmetriemessungen des Profils Boulder 4964 III SE 14: prozentuale Angabe der Ausrichtung der bewerteten Komponenten in den einzelnen Schichten (Tiefenangaben in cm in Klammern).	69
Abb. 4.7:	Situmetriemessungen des Profils Boulder 4964 III SE 16: prozentuale Angabe der Ausrichtung der bewerteten Komponenten in den einzelnen Schichten (Tiefenangaben in cm in Klammern).	70
Abb. 4.8:	Datierte Profile aus Löß oder Schwemmlöß; Boulder 4964 III SE 10 (links), Eldorado Springs 4963 IV NE 5 (rechts).	72
Abb. 4.9:	Datiertes Profil Boulder 4964 III SE 1 (oben); Lage sowie Detailaufnahmen des verspülten Materials bzw. des fossilen humosen Horizonts (unten von links nach rechts).	73
Abb. 4.10:	OSL-Datierungen im Untersuchungsgebiet Colorado Front Range.	77
Abb. 4.11:	Zusammenhang zwischen Alter der Probe und Entnahmetiefe im Profil.	77
Abb. 4.12:	OSL-Alter der einzelnen Schichten bzw. nach dominierenden Entstehungsprozessen (A: äolische Deposition, B: fluviale oder solifluidale Reaktivierung, C: kaltzeitliche Spülprozesse, D: Solifluktion).	78
Abb. 4.13:	Zusammenhang zwischen Höhenlage des Profils und Alter der Probe, bezogen auf die Prozessgruppen (A: gelb, B: grün, C: hellblau, D: dunkelblau).	79
Abb. 4.14:	Darstellung der Datierungsergebnisse, bezogen auf Hauptlage (LH), Mittellage (LM) und Basislage (LB).	81
Abb. 4.15:	Monatsmittel über alle Sonden in den jeweiligen hydrologischen Jahren.	83

Abb. 4.16: Gegenüberstellung des mittleren Bodenwassergehalts, des Wasserstands am Pegel Hammermühle/Otterbach und die Niederschlagshöhe der Station Regensburg für den gesamten Erhebungszeitraum (Bodenwassergehalt, eigene Messung; Pegelstand Wasserwirtschaftsamt Regensburg, http://www.hnd.bayern.de , 02.07.2013; Niederschlagshöhe Deutscher Wetterdienst, www.dwd.de , 25.11.2013).	84
Abb. 4.17: Mittelwerte des Wassergehalts für die Stationen 1-6.	85
Abb. 4.18: Mittlere Wassergehalte in den periglazialen Deckschichten.	87
Abb. 4.19: Zeitlicher Verlauf der Infiltration in mm/s.	88
Abb. 4.20: Volumetrischer Wassergehalt in Haupt- und Mittellage an Station 6 (Sonde 6/1 [LH/18 cm]: schwarz; 6/2 [LH/40 cm]: grün; 6/3 [LM/80 cm]: lila), blaue Markierung weist auf möglichen Interflow hin.	89
Abb. 4.21: Unterschiede im Wassergehalt der Mittellagen [lila, blau] an den zwei Stationen im Vergleich zur Hauptlage [schwarz].	91
Abb. 4.22: Hinweise auf Interflow in der Basislage; Zunahme des Wassergehalts in der Basislage [lila], die in der Hauptlage nicht gemessen wird [schwarz, grün].	92
Abb. 4.23: Wassergehalt in der Basislage [rosa] am Hangfuß (zum Vergleich Messergebnisse der Hauptlage [schwarz]).	93
Abb. 4.24: Volumetrischer Wassergehalt im Saprolith; Beispiele für typische kleinere Ausschläge, die keine signifikanten Änderungen des Wassergehalts mit sich bringen.	94
Abb. 4.25: Schichtbezogene Wasseraustritte in der Colorado Front Range im Mai 2009 und Juni 2010 (eigene Fotos).	96
Abb. 5.1: Zeitliche Einordnung der periglazialen Prozesse in den beiden Untersuchungsgebieten.	102

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1.1: Unterschiedliche Definitionen des Regoliths (ausgewählte Beispiele).	6
Tab. 2.1: Niederschlagsvergleich von Donaustauf (D) (411 m NN) und Regensburg (R) (340 m NN), Mittelwerte aus dem Erfassungszeitraum 1931-1960 in mm (aus WITTMANN 1975).	13
Tab. 2.2: Vergleich der Untersuchungsgebiete.	21
Tab. 2.3: Arten der Denudation (nach AHNERT 1996).	23
Tab. 2.4: Benennung der einzelnen Schichtglieder (nach PFEIFFER 2002).	30
Tab. 2.5: Gliederung der Porengrößen nach Durchmesser; Zusammenhang zwischen Porengröße und Wasserspannung sowie Bodenart und Porenvolumen in % (nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998).	38
Tab. 2.6: Ausgewählte Forschungsarbeiten zum Wasserfluss in periglazialen Deckschichten (chronologisch geordnet).	42
Tab. 3.1: Übersicht über die beprobten Profile in den Untersuchungsgebieten.	46
Tab. 3.2: Ermittelte Nachweisgrenzen der RFA XL3t 900.	50
Tab. 3.3: Charakterisierung der Bodenwassermessstationen.	53
Tab. 3.4: Werte der Dielektrizitätskonstante für ausgewählte Materialien (aus NOBORIO 2001).	54
Tab. 4.1: Profilgruppe und dazugehörige Profile (genauere Angaben sowie Laborauswertungen zu den Profilen im Anhang); Markierungen: fett = Leitprofil, normal = ergänzende Profile, grau = nicht detailliert untersucht.	61
Tab. 4.2: Profilgruppe I.	62
Tab. 4.3: Typische Schichtungsphänomene in Profilgruppe III.	68
Tab. 4.4: Korngrößenverteilung der Mittellage in Gew.%.	90

1 Die Geosphäre und das Konzept der Critical Zone

1.1 Sphärenmodell und Critical Zone-Forschung

Die Erdoberfläche ist komplex und verändert sich ständig. Ihre Entstehung und Weiterentwicklung wird durch verschiedenste Prozesse getragen, die aus dem Zusammenwirken unterschiedlichster physikalischer, chemischer und biologischer Faktoren resultieren (JAMES 1954). Durch die räumliche, zeitliche und kausale Variabilität ergibt sich ein vielschichtiges System. Um dieses System erklären zu können, muss es in kleinere Ansatzpunkte gegliedert werden. Die Erde, die die Grundlage der Geographie und damit ihren Forschungsgegenstand darstellt, wird über das Modell der Geosphäre definiert. Sie ist der dreidimensionale Raum, Prozesse und Wirkungsgefüge beinhaltend, den die Geowissenschaften untersuchen (RINSCHEDÉ 2007). Mit diesem Begriff lassen sich alle Prozesse und Teilbereiche der Erde einer bestimmten oder mehreren Sphären zuordnen, die eine Gliederung der geographischen Forschung in Einzeldisziplinen vorgibt.

Die Geosphäre inkludiert verschiedene Sphären, die miteinander in Beziehung stehen und sich gegenseitig beeinflussen. Dieses System umfasst die Atmosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre, Pedosphäre und Biosphäre (Abbildung 1.1). Neben den eben genannten ist eine weitere Untergliederung je nach Betrachtungsgegenstand möglich (EICHLER 1993). Die Anthroposphäre beispielsweise beschreibt den Lebensraum des Menschen und seinen Eingriff in die Umwelt. Sie ist vor allem in den Umwelt-Mensch-Fragestellungen wesentlich.

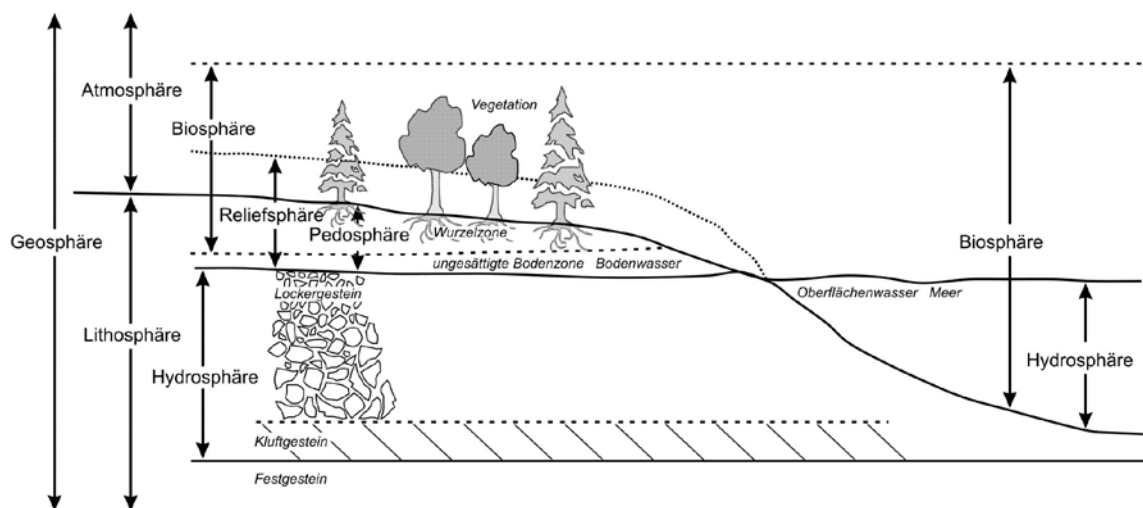


Abb. 1.1: Aufbau der Geosphäre (nach BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1996, verändert).

Die Geosphäre kommt also durch das Zusammenwirken der einzelnen Sphären zustande (NEEF 1967a), die sich überschneiden und gegenseitig beeinflussen. Es bilden sich je nach Kombination der einzelnen Komponenten verschiedene

Ökosysteme und Landschaften. Werden Eingriffe in Teilbereiche eines Ökosystems untersucht, müssen Rückkopplungs- und Wechselwirkungsprozesse beachtet werden, die eine Störung dieser komplexen Wirkungsgefüge mit sich bringen (RAAB 2005) und über den direkt betroffenen Teilbereich hinausgehen.

Forschung, die die Geosphäre oder einen Teil von ihr betrifft, bezieht immer verschiedene Sphären und folglich Fachgebiete mit ein. Projekte in diesem Rahmen erfordern daher Interdisziplinarität.

Ein relativ neues Forschungsfeld, das aus den verschiedenen Sphären abgeleitet ist und viele Disziplinen miteinbezieht, ist die Critical Zone (CZ). Zur Critical Zone gehört der heterogene oberflächennahe Untergrund, in dem viele komplexe Prozesse zwischen Gestein, Boden, Wasser, Luft und lebenden Organismen ablaufen und durch den natürlicher Lebensraum und wichtige Ressourcen bereitgestellt werden (NRC 2001). Die diversen Kompartimente Gestein, Boden, Wasser, Luft und lebende Organismen stehen hier für die entsprechenden Sphären. Die Critical Zone liegt folglich im Überschneidungsbereich der Atmo-, Hydro-, Bio-, Pedo- und Lithosphäre (WILDING & LIN 2006, Abbildung 1.2). Eine genauere räumliche Definition geben BRANTLEY et al. (2007) mit der vertikalen Begrenzung durch die größte Ausdehnung der Vegetation und der Untergrenze des Grundwassers.

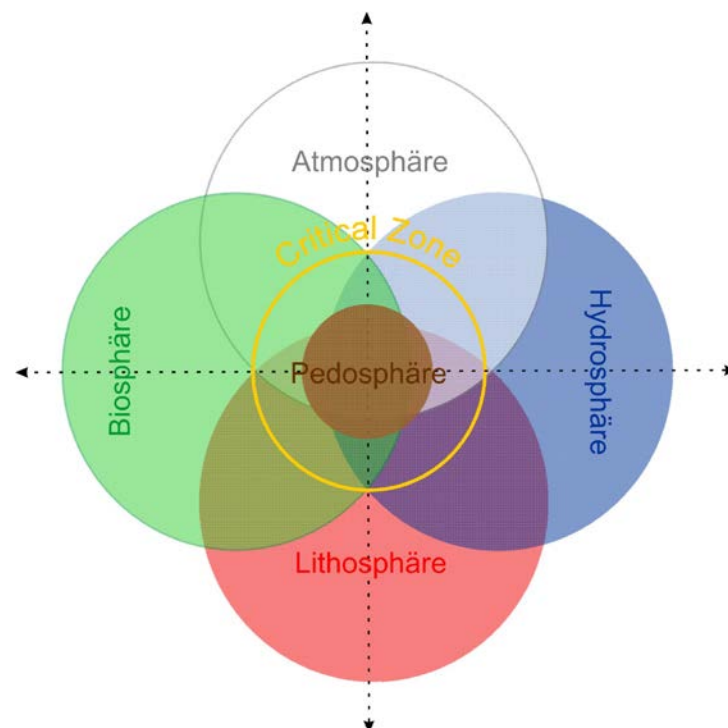


Abb. 1.2: Die Critical Zone im Überschneidungsbereich der Sphären (nach WILDING & LIN 2006, verändert).

Die zeitliche Reichweite schließt die sukzessive Entstehung genauso mit ein wie die gegenwärtigen Prozesse und die möglichen zukünftigen Veränderungen. Insgesamt ergibt sich eine hohe räumliche wie auch zeitliche Variabilität, welche die sich ständig verändernde Critical Zone schwieriger erforschbar macht (WSSC 2005).

Die Forschung in der Critical Zone geht aus dem Weathering System Science Consortium (WSSC) hervor. Dabei handelt es sich um eine von der National Science Foundation (NSF) geförderte Initiative amerikanischer Wissenschaftler zum besseren Verständnis der Prozesse, die an der Verwitterung beteiligt sind. Die Ausrichtung ist in erster Linie geochemisch. Für die Wasser- und Stoffflüsse dient die Landschaftsebene als Grundlage, deren Entstehung wiederum durch Verwitterung und Erosion geprägt ist (JIN et al. 2010). Im Mittelpunkt der Critical Zone-Forschung stehen daher meist die Verwitterung und die mit ihr zusammenhängenden Prozesse sowie deren Auswirkungen, die sich im Aufbau und den verschiedenen Ausprägungen der Landschaft zeigen. Die Untersuchung und Beschreibung der Landschaft geht auf Alexander von Humboldt zurück. Der Begriff der Landschaft und die damit einhergehende ökologische Forschung hatte in Deutschland überwiegend in den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts ihre Anfänge in landschaftsbeschreibenden (PASSARGE 1922), biogeographischen aber auch methodischen (SCHMITHÜSEN 1942), elementaren landschaftsökologischen (TROLL 1950) und anwendungsbezogenen (NEEF 1967b) Arbeiten. Diese können als Vorläufer der heutigen CZ-Forschung gesehen werden. Schon in seinen frühen Veröffentlichungen beschreibt TROLL (1939) das komplexe Wirkungsgefüge zwischen Lebensgemeinschaften und Umweltbedingungen und definiert so die Fundamente sowie den Begriff der Landschaftsökologie selbst. Die ersten grundlegenden, eher landschaftsbeschreibenden Arbeiten führten später immer öfter zu system- und prozessorientierten Studien, beispielsweise von PAFFEN (1953) und später von MOSIMANN (1984) als auch LESER (1984). In der neueren Forschung wird vermehrt Wert auf landschaftsökologische Modelle gelegt (RICHTER 1968), basierend auf GIS und geostatistischen Methoden (u.a. BRONSTERT et al. 2002 und BORK 2000). Die entsprechende Forschungsrichtung in den USA, landscape ecology, ist bis heute eher biologisch dominiert, so dass die Darstellung der Landschaft in seiner Komplexität zu wenig Beachtung findet (STEINHARDT et al. 2012). Erste Arbeiten gehen hier auch auf den Biologen TANSLEY (1935) zurück.

Die Landschaftsökologie definiert das Landschaftsökosystem als ein komplexes Wirkungsgefüge aus physiogenen, biotischen und anthropogenen Faktoren, die über verschiedenste Prozesse miteinander in Verbindung stehen und dessen Abbild die Landschaft selbst ist (LESER 1997). Damit findet die Landschaftsforschung in der Geosphäre, dem Überschneidungsbereich aller natürlichen Sphären, mit einer besonderen Betonung der Biosphäre sowie unter dem Einfluss des Menschen (Anthroposphäre) statt (ZAVEH 1998).

In den USA wird der Begriff der Critical Zone 2001 vom National Research Council definiert (NRC 2001). Durch die Einführung und nicht zuletzt die finanzielle Unterstützung durch die NSF in entsprechenden Förderprogrammen rückt dieses, eigentlich schon alte, Forschungsgebiet wieder in den Fokus. Die Critical Zone steht nicht nur in Wechselwirkung mit den eigenen natürlichen Bereichen, sondern auch mit der Anthroposphäre und erinnert so an die Definition der Landschaft. Der Mensch greift in die Entwicklung der CZ ein (ANDERSON et al. 2008), wird aber auch von ihr z.B.

durch die veränderlichen Strukturen des Lebensraums bestimmt. Dadurch treten negative als auch positive Einflüsse auf. Die Einwirkungen und möglichen Folgen, wie beispielsweise die Nutzung natürlicher Ressourcen, Umweltverschmutzung, aber auch Naturkatastrophen, machen eine genauere Erforschung sowie ein besseres Verständnis erforderlich. Aus diesem Grund unterstützt die NSF, wie in einer Veröffentlichung 2001 dargestellt (NRC 2001), bevorzugt auch Forschungsprojekte, die die Critical Zone betreffen. Seit August 2003 trifft sich das WSSC in mehreren Workshops um Fragen zur Verwitterung zu klären und die weitere Herangehensweise zur einheitlichen Forschung zu konzipieren. Seit 2007 finanziert die NSF die aus dem WSSC hervorgegangenen Critical Zone Observatories (CZO), in denen interdisziplinär Wissenschaftler Fragen zur Critical Zone in verschiedenen Untersuchungsgebieten mit gleichen Voraussetzungen, Fokus und Methodik bearbeiten. Dadurch soll ein Datenaustausch und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet werden. Durch das geschaffene Netzwerk – Critical Zone Exploration Network (CZEN) – können sich die Wissenschaftler austauschen und neue Ideen diskutieren. Bei der Auswahl der Untersuchungsgebiete gibt es vorgegebene Anforderungen, die erfüllt werden müssen. Dazu gehört neben der möglichst guten Erreichbarkeit und Infrastruktur auch eine gut entwickelte Verwitterungsschicht mit einer einheitlichen Geologie und ein ausgeprägtes, abgrenzbares Oberflächen- sowie Grundwassersystem (WSSC 2005).

Auch in Europa existieren vergleichbare Programme. Seit 2008 untersucht TERENO (Terrestrial Environmental Observatories) in vier Gebieten die Folgen eines globalen Wandels auf regionaler Ebene unter Berücksichtigung ökologischer aber auch sozialer und wirtschaftlicher Aspekte (TERENO <http://teodoor.icg.kfa-juelich.de/overview-de>, 09.12.2013). Zusätzlich werden von der Europäischen Union vier CZOs im Rahmen des Programms SoilTrEC (Soil Transformation in European Catchments) gefördert, die Fragestellungen in Skalen vom Boden bis zur Landschaft bearbeiten (BANWART et al. 2011). An der Technischen Universität München läuft seit 2011 ein neu eingerichtetes CZO, das TUM-CZO. In zwei Untersuchungsgebieten in Süddeutschland, Ammer-einzugsgebiet und Bayerischen Wald, wird interdisziplinär unter besonderer Beachtung von Klima- und Landnutzungsänderungen geforscht (VÖLKELE 2012). Ein Teil der Ergebnisse dieser Arbeit leisten einen Beitrag zu den Forschungserträgen des TUM-CZO im Bayerischen Wald.

Die einzelnen CZOs in den USA und Europa beschäftigen sich mit den in Abbildung 1.3 dargestellten Fragen. Zusammengefasst wird im Rahmen der CZ-Forschung untersucht, wie die Critical Zone aufgebaut ist, welche Prozesse zu ihrer Entstehung geführt haben und wie sie sich durch die Prozesse im Laufe der Zeit verändert. Um bei der Bearbeitung dieser Fragen die Vergleichbarkeit der ermittelten Ergebnisse zu gewährleisten, werden die zu erhebenden Parameter und die anzuwendenden Methoden vorgegeben (BANWART et al. 2011). Dies beinhaltet auch z.B. die Auswahl der eingesetzten Messgeräte. So soll ein Austausch, vor allem mit Wissenschaftlern unterschiedlicher Disziplinen, erleichtert werden.

Die wissenschaftlichen Fachrichtungen arbeiten mit den unterschiedlichsten räumlichen und zeitlichen Skalen, die für eine Kooperation in Einklang gebracht werden müssen. Dabei werden mikroskalige biochemische Phänomene mit kleiner Entstehungszeit ebenso untersucht wie beispielsweise der sedimentologische Aufbau, der über lange Zeitspannen entsteht und annähernd die gesamte Critical Zone mit einschließt.

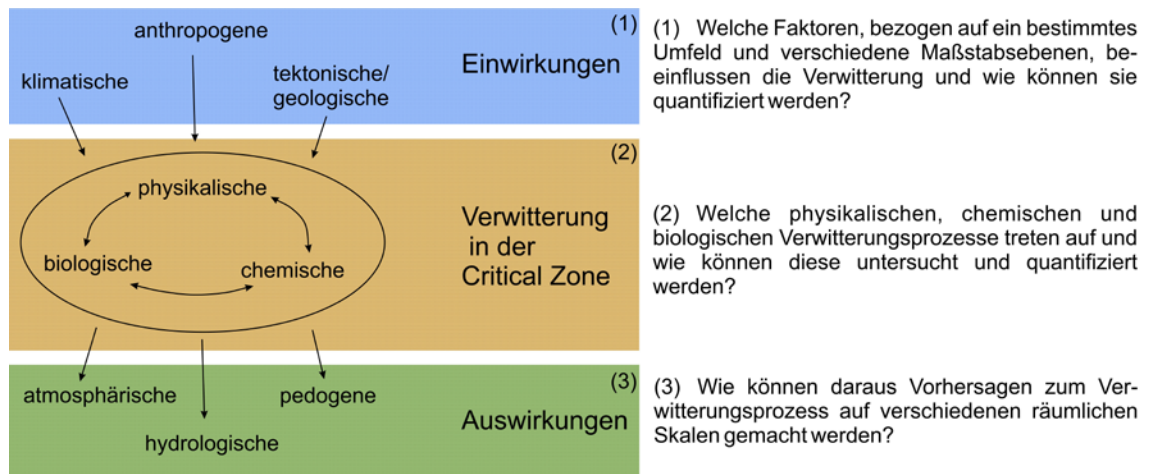


Abb. 1.3: Fragestellungen im Verwitterungssystem der CZ (nach ANDERSON et al. 2004, verändert).

Um die unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Größen genauso wie die Fachdisziplinen zu vereinen und einen Datenaustausch möglich zu machen, sind einheitliche Definitionen essentiell. Das betrifft vor allem den Aufbau den oberflächennahen Untergrundes, der die Basis vieler Prozesse ist. Es muss geklärt sein, ob eine Sedimentschicht mit bestimmten Eigenschaften bzw. Genese auch an anderer Stelle gleich benannt ist und ob folglich der gleiche Aufbau der Critical Zone in einem anderen Untersuchungsgebiet auch als gleich erkannt wird.

Die Critical Zone liegt im Überschneidungsbereich der verschiedenen Sphären und ist vor allem durch die Wechselwirkungen mit der Anthroposphäre heute mehr denn je von Bedeutung. So rückt ein langjähriges Forschungsgebiet, die Landschaftsforschung, wieder in den Fokus und erlaubt neue Erkenntnisse in diesem Bereich. Die neu entstandenen CZOs sollen durch gleiche Fragestellungen und Untersuchungsdesigns Ergebnisse für unterschiedliche Räume liefern.

1.2 Aufbau der Critical Zone

Die zentrale Fragestellung der CZ-Forschung „What controls the depth and chemistry of the earth’s regolith?“ (BRANTLEY 2008) und die Gliederung dieses Themas legen den Fokus überwiegend auf die Verwitterung des Ausgangsgesteins. In vielen Fällen ist allerdings ein Transport mit unterschiedlichem Agens und anschließender

Akkumulation der Ausgang für den heutigen Profilaufbau. Daher muss der Aufbau der CZ als Grundlage für weitere Themen und als Basis für den interdisziplinären Ansatz untersucht werden.

Forschungsprobleme ergeben sich u.a. durch fehlende langjährige Datenreihen und den mangelnden Austausch mit anderen Arbeitsgruppen. Als Basis muss eine Art Standardisierung stattfinden, die neben ähnlichem Versuchs- und Untersuchungsaufbau auch die Fachbegriffe vereinheitlicht. Bezüglich des Aufbaus des Untergrundes wird daher häufig auf den Terminus des Regoliths zurückgegriffen. Ausgehend vom Begriff Regolith folgt dann eine Aufgliederung des oberflächennahen Untergrundes. Die erste Definition des Regoliths geht zurück auf MERRILL (1904), der ihn als „...entire mantle of unconsolidated material, whatever its nature or origin...“ beschrieb. Weitere Begriffserläuterungen sind in Tabelle 1.1 aufgelistet.

Tab. 1.1: Unterschiedliche Definitionen des Regoliths (ausgewählte Beispiele).

Autor	Definition
MERRILL 1904	In places this covering is made up of material originating through rock weathering in-situ. In other instances it is of fragmental and more or less decomposed material drifted by wind, water or ice from other sources. This entire mantle of unconsolidated material, whatever its nature or origin, it is proposed to call the regolith, from the Greek words $\rho\epsilon\gamma\omicron\varsigma$ (rhegos), meaning a blanket, and $\lambda\iota\theta\omicron\varsigma$ (lithos), a stone
EGGLETON 2001	The entire unconsolidated or secondarily recemented cover that overlies more coherent bedrock, that has been formed by weathering, erosion, transport and/or deposition of the older material. The regolith thus includes fractured and weathered basement rocks, saprolites, soils, organic accumulations, volcanic material, glacial deposits, colluvium, alluvium, evaporitic sediments, aeolian deposits and ground water. Everything from fresh rock to fresh air.
BRANTLEY et al. 2007	...regolith, defined here as weathered rock material overlaying pristine bedrock...

Regolith ist demnach das Lockermaterial auf dem Festgestein, das annähernd ubiquitär vorhanden ist und verlagertes Material genauso mit einschließt wie in situ verwittertes (SCOTT & PAIN 2008). Gemein haben alle Beschreibungen, dass die Herkunft bzw. auch die Genese keine Rolle spielt. Es sind also Verwitterungsschichten und Sedimente jeder Art gemeint.

Eine genauere Differenzierung findet mit diesem Begriff nicht statt. Allerdings lässt sich die Zone des Regoliths mit Beachtung der Genese näher klassifizieren und unterteilen. Für weitergehende Fragestellungen ist das zwingend notwendig, da sich viele Eigenschaften über die Entstehung herleiten und erklären lassen. Im Forschungskonzept der Critical Zone ist die Unterteilung nach verschiedenen Sedimenten und Materialien, aus denen sich der Regolith zusammensetzt, zu wenig berücksichtigt.

Um den Wandel der Landschaft und die darin ablaufenden Prozesse besser zu verstehen, ist es wichtig den Aufbau des oberflächennahen Untergrundes insbesondere aus genetischer Sicht im Vergleich zur nutzungsorientierten, nur beschreibenden Herangehensweise zu betrachten. In der amerikanischen Literatur wird diese Unterteilung der Critical Zone häufig nicht durchgängig angewandt. Möglich ist hier eine Gliederung des Regoliths nach nur einer Eigenschaft, beispielsweise nach der Stärke der Verwitterung und folglich nach Fortschreitung eines Prozesses, wie in Abbildung 1.4 dargestellt.

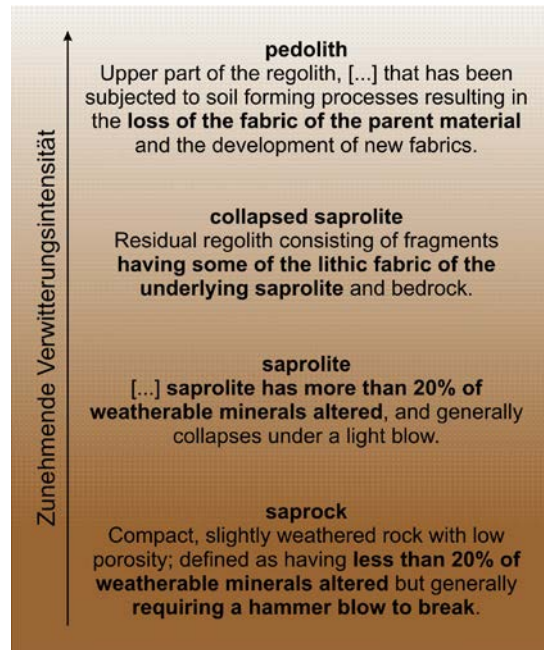


Abb. 1.4: Unterteilung des Regoliths nach Verwitterung (Begriffe aus EGGLETON 2001).

In der CZ-Forschung werden die vertikale Schichtung und die dazugehörigen Prozesse wie in Abbildung 1.5 definiert. Der Aufbau ergibt sich auch hier aus dem unterschiedlichen Verwitterungsgrad des Gesteins, der durch chemische, physikalische und biologische Prozesse an der Erdoberfläche entstand (ANDERSON et al. 2002).

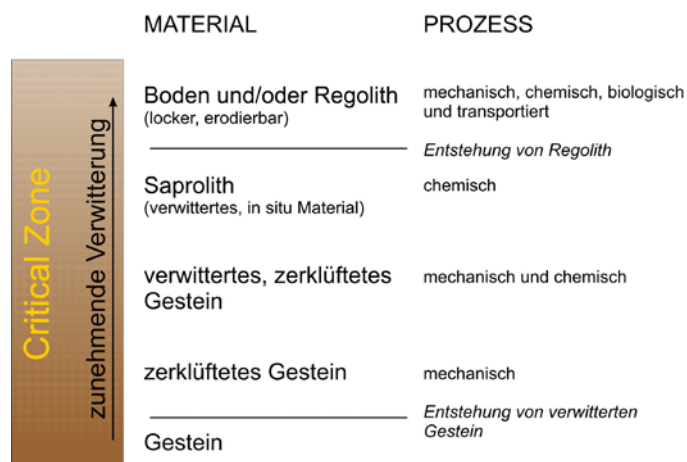


Abb. 1.5: Aufbau der Critical Zone nach ANDERSON et al. (2007).

Das typische Profil setzt sich aus Ausgangsgestein, zerklüftetem Gestein, verwittertem und zerklüftetem Gestein, Saprolith sowie Boden und/oder Regolith zusammen. Die Reihenfolge ergibt sich aus der zunehmenden Verwitterung des Materials. Es müssen dabei nicht alle hier aufgeführten Abstufungen vorhanden sein. Eine genauere Unterteilung des Regoliths findet nicht statt. Auch eventuelle Materialbewegungen und deren Ablagerungen sind, obwohl Transport als Prozess angegeben wird, nicht detaillierter untergliedert und beschrieben.

DETHIER & LAZARUS (2006) geben die Zone des Regoliths untergliedert in soil, grus, saprolite und oxidized bedrock an und verweisen auf verschiedene, verwitterte Schichten, die nicht ausschließlich durch Verwitterung sondern durch andere Prozesse entstanden sind. Es werden neben colluvium und alluvium auch Sedimente glazialer und periglazialer Herkunft genannt.

Für den Begriff colluvium gibt es je nach Sprachraum mehrere Definitionen (FUCHS & LANG 2009). Im Englischen werden alle Sedimente am Hang als colluvium bezeichnet. Im deutschen Sprachraum wird darunter ein Sediment verstanden, das durch einen zwar natürlichen, aber vom Menschen initiierten Prozess entstanden ist (LEOPOLD & VÖLKELE 2007). Dabei führt die Erosion des Bodens zu einer Ablagerung von Sediment an einer anderen Position. Die Hangsedimente, die im Deutschen nur durch ihre Lage am Hang gekennzeichnet sind, können zudem je nach Entstehungsprozess unterteilt werden. Auf die Verwitterung des Gesteins folgend, kann es demnach neben der Verlagerung (gravitativ) auch zum Transport des verwitterten Materials mittels verschiedener Agenzien kommen. Die Benennung erfolgt nach dem entsprechenden Transportmedium. So bilden sich Sedimentdecken beispielsweise fluvial, äolisch, anthropogen, glazial oder periglazial. Unter anderem treten so auch periglaziale Hangsedimente auf, definiert durch ihre periglaziale Entstehung.

Ein oder mehrere Prozesse führen zur Bildung eines komplexen Sedimentaufbaus, der die Critical Zone in einem bestimmten Gebiet beschreibt (TAYLOR 2008). Welche Prozesse ablaufen, ergibt sich aus den Bedingungen, die durch das Zusammenspiel der Sphären vorgegeben sind. Diese auf unterschiedliche Art transportierten Materialien werden im Konzept der Critical Zone nicht einzeln untersucht, treten aber sehr häufig auf und sollten, auf das jeweilige Untersuchungsgebiet zugeschnitten, mit einbezogen werden. Einige Arbeiten im Rahmen der CZOs beschäftigen sich mit Prozessen in der Critical Zone unter detaillierterer Beachtung des Bodens (SWAROWSKY et al. 2011) oder der Zusammensetzung des Regoliths (KUNTZ et al. 2011). Trotzdem fehlt eine genaue Definition der Entstehungsprozesse im Bezug auf einzelne Schichtglieder, obwohl beispielsweise BEFUS et al. (2011) die Bedeutung und den Einfluss des Aufbaus der Critical Zone betont. Aus eigenen Arbeiten im Bayerischen Wald hat sich gezeigt, dass das Vorhandensein von Sedimentschichten großen Einfluss unter anderem auf den Wasserfluss am Hang nehmen kann. Eine Berücksichtigung des genauen Aufbaus und der aus der Genese hervorgehenden Eigenschaften ist daher unerlässlich. Auch eigene Arbeiten im Boulder Creek Critical Zone Observatory (BcCZO) und angrenzenden Gebieten zeigen den geschichteten

und vielfältigen Aufbau der Critical Zone (LEOPOLD et al. 2013, VÖLKELE et al. 2011). Im BcCZO in der Colorado Front Range bei Boulder (CO, USA) ergibt sich durch die Lage in einem ehemals lokal vergletscherten Bereich der Rocky Mountains die Möglichkeit, dass neben glazialen Sedimenten durch die Verschiebung der heutigen Höhenstufen auch Sedimente periglazialer Herkunft auftreten. Eine detaillierte Beschreibung des Aufbaus der Critical Zone, vor allem hinsichtlich der Entstehungsprozesse, fehlt bislang und würde helfen, heutige Prozesse besser zu verstehen.

Der Aufbau der Critical Zone ist komplex und erklärt sich nicht allein über unterschiedliche Verwitterungsstufen des Ausgangsgesteins. Hangsedimente müssen vermehrt berücksichtigt und in eine Gliederung des Aufbaus mit einbezogen werden. Dadurch ist eine bessere Erklärung heutiger und zukünftiger Prozesse in der Critical Zone möglich.

1.3 Ausrichtung der Arbeit

Der vielfältige Aufbau der Critical Zone ist häufig nicht näher definiert, obwohl er die Grundlage für fast alle Forschungsansätze und weiterführende Untersuchungen im Bereich der CZ darstellt. Diese Arbeit beschäftigt sich daher eingehend mit dem Aufbau und der Zusammensetzung des oberflächennahen Untergrundes von zwei ehemals periglazial geprägten Gebieten. Dabei ist der Profilaufbau als Bindeglied zwischen den einzelnen Sphären zu sehen, das großen Einfluss auf viele ökologische Gegebenheiten nimmt, beispielsweise auch auf das Wasser (LIN et al. 2011).

Grundlage ist die Darstellung der sedimentologischen Unterschiede im Profilaufbau und der Prozesse, die dazu geführt haben. Die einzelnen Schichtelemente werden nach häufig auftretenden Aufbaufolgen untersucht. So sollen typische Schichtkomplexe dargestellt und ihre Lage im Untersuchungsgebiet beleuchtet werden.

Als mögliche Anwendung ergibt sich die Analyse und Bewertung der Schichten hinsichtlich ihres Einflusses auf den Wassergehalt und damit eine ganze Reihe ökologischer Faktoren, beispielsweise Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit. Das Ergebnis möchte einen Ausschnitt der Landschaft von ihrer Entstehung bis zu ihren heutigen Eigenschaften zeigen.

Angelegt ist diese Forschungsarbeit über periglaziale Deckschichten in den langjährigen Arbeiten in ehemals periglazial beeinflussten Gebieten wie dem Bayerischen Wald und der Colorado Front Range.

Eigene Studienarbeiten, die im Vorderen Bayerischen Wald seit 2005 durchgeführt werden, zeigen neben der weiten Verbreitung von periglazialen Deckschichten und Saprolith auch einen Zusammenhang zwischen Schichtaufbau und Wasserfluss. Die langjährigen Messungen zum Bodenwassergehalt in periglazialen Deckschichten im Untersuchungsgebiet Otterbachtal, die in meiner Diplomarbeit ihren Anfang fanden, sollen hier vertieft ausgewertet werden. Die Mitarbeit in einem Teilprojekt des BcCZOs

in der Colorado Front Range führte zu einer guten Gebietskenntnis und der Feststellung, dass auch hier die Critical Zone geschichtet vorzufinden ist. Das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Projekt „Jungquartäre Hangsedimente als Archive der Landschafts-genese in der Colorado Front Range, U.S.A.“ (VO 585/14-1) beschäftigt sich explizit mit dem Auftreten von Hangsedimenten, die in den USA überwiegend unerforscht sind. Diese sollen detaillierter beschrieben, ihre räumliche Verbreitung dargelegt, ihre Entstehung genetisch erfasst und zeitlich eingeordnet werden. Ein weiteres DFG-gefördertes Projekt zur „Altersstellung periglazialer Hangsedimente im Otterbachtal, Bayerischer Wald“ (VO 585/15-1) beschäftigt sich im Bayerischen Wald mit der Frage nach der Datierbarkeit der Schichten und der Präzisierung ihrer zeitlichen Einordnung. Durch die räumlich unterschiedlichen und vielfältigen Ansätze zur Erforschung der periglazialen Deckschichten soll ein besseres Bild der Critical Zone in einem ehemals periglazial geprägten Landschaftsausschnitt gezeichnet werden.

Zusammengefasst werden folgende Hypothesen überprüft:

- (1) Periglaziale Deckschichten über Saprolith zählen zum System der Critical Zone, auch in der Colorado Front Range.
 - (a) Periglaziale Deckschichten sind im ehemaligen Periglazialgebiet des Pleistozäns in der Colorado Front Range erhalten.
 - (b) Genetische Prozesse der einzelnen Schichtglieder sind in den Untersuchungsgebieten Colorado Front Range und Bayerischen Wald gleichartig.
 - (c) Einzelne Schichtglieder können anhand ihrer Genese und Eigenschaften in die deutsche Nomenklatur überführt werden.

- (2) Datierungen der einzelnen Schichtglieder weisen klar auf eine periglaziale Entstehung im letzten Glazial bis ins ausgehenden Pleistozän hin.
 - (a) Jede Schicht kann einer Entstehungsperiode zugeordnet werden.
 - (b) Die zeitliche Einordnung der verschiedenen Prozesse, die zur Entstehung der Schichten geführt hat, zeigt sich folgendermaßen: Äolische Prozesse im ausgehenden Glazial, Solifluktion in der Hochzeit des Glazials.

- (3) Periglaziale Deckschichten und Saprolith haben massiven Einfluss auf das Bodenwasser.
 - (a) Vertikale Wasserbewegungen finden in der Haupt- und Mittellage statt.
 - (b) Laterale Wasserflüsse sind charakteristisch für die Basislage.
 - (c) Wasserspeicher am Hang treten im Saprolith auf.

2 Hangedimente und Saprolithe als wichtiger Bestandteil der Critical Zone

2.1 Critical Zone in den Untersuchungsgebieten

Der Aufbau der Critical Zone ist abhängig von verschiedensten Parametern, darunter auch die zur Bodenbildung führenden Faktoren Klima, Geologie, Flora und Fauna, Zeit und Mensch. Daher sind nicht nur Boden, sondern auch die Sedimente der Critical Zone bestimmt durch ihre Lage und die dort im Zusammenspiel der Bildungsfaktoren ablaufenden Prozesse. Die Untersuchung des Aufbaus der Critical Zone muss folglich unter der Beachtung des jeweiligen Standortes und der dort vorherrschenden Bedingungen stattfinden, die auch die Veränderung der Prozesse im Laufe der Zeit mit einbeziehen.

Diese Arbeit stützt sich auf zwei Untersuchungsgebiete, das Otterbachtal im Bayerischen Wald nahe Regensburg und die Colorado Front Range nahe Boulder in den USA, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

2.1.1 Otterbachtal

Das Otterbachtal liegt im Vorderen Bayerischen Wald, hier genauer im Regensburger Wald, 20 km nordöstlich von Regensburg (Abbildung 2.1). Der Otterbach schneidet das Untersuchungsgebiet und kann als Entwässerungsbasis der angrenzenden Hänge gesehen werden. Die beiden Pegelstellen „Otterbach“ und „Hammermühle“ dienen zum Vergleich mit den erhobenen Bodenwassergehalten (A.1.1).

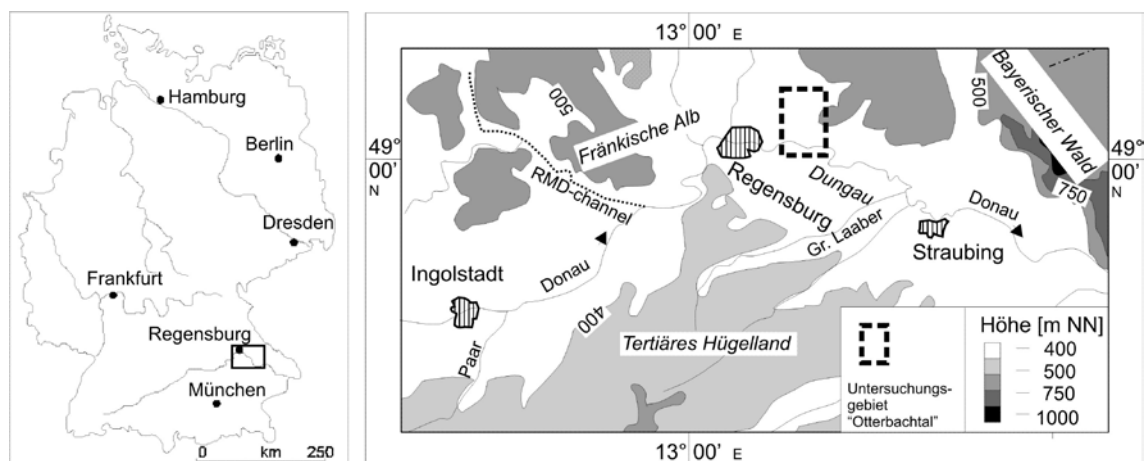


Abb. 2.1: Lage und Eingrenzung des Untersuchungsgebietes in Deutschland.

Der Otterbach entspringt nahe Brennborg und mündet nach 16,5 km in den Sulzbach, der in die Donau entwässert. Das Einzugsgebiet 3. Ordnung erstreckt sich über 91 km².

Der Naturraum des Bayerischen Waldes grenzt im Süden an das Tertiärhügelland. Die Grenze wird durch den 200 m bis 300 m hohen Steilabfall des Donaurandbruches nachgezeichnet (TROLL 1967a). Durch eine weitere tektonische Bruchstruktur, der Keilbergstörung, hebt sich der Vordere Bayerische Wald Richtung Westen mit der Übergangszone des Oberpfälzer Bruchschollenlandes zur Fränkischen Alb ab. Auch im Norden gibt die Tektonik des Bayerischen Pfahls mit der Bodenwöhrer Senke die Grenze vor (TROLL 1967b). Damit ist der Regensburger Wald der südwestlichste Teil des Bayerischen Waldes.

Die Lithologie wird durch das Moldanubische Grundgebirge bestimmt, dem westlichsten Ausläufer der Böhmisches Masse (JÜRGENS 1998). Das Gebiet besteht aus kristallinen Gesteinen, überwiegend aus Granit, aber auch Gneis (Abbildung 2.2). Durch den langen Verwitterungszeitraum ist das Gestein unter warmfeuchten Bedingungen des Tertiärs zu Saprolith verwittert.

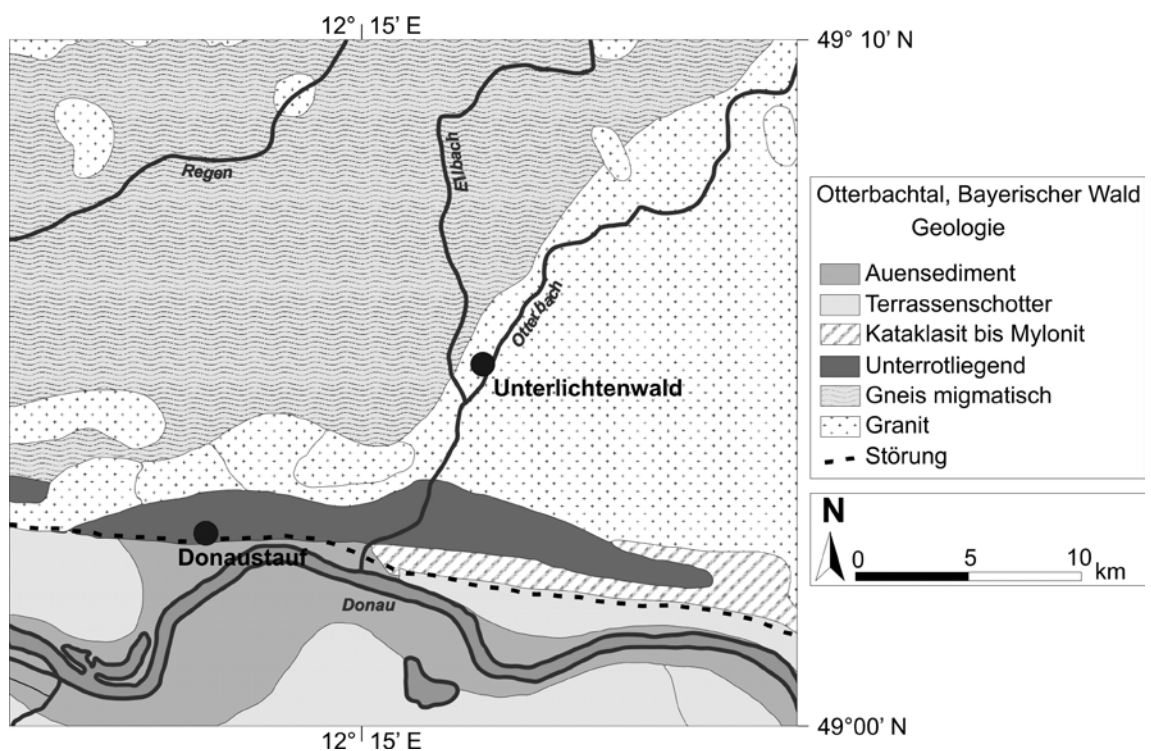


Abb. 2.2: Geologie im Otterbachtal (aus BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1996).

Während des Pleistozäns konnten sich unter nicht vergletscherten Bedingungen teils mächtige Sedimentdecken bilden (weitere Ausführungen in Kapitel 2.2.1). Bei den in diesen Sedimenten (periglazialen Deckschichten) entwickelten Böden handelt es sich überwiegend um lehmig-sandige, meist stärker grushaltige Braunerden, geprägt von den autochthonen Ausgangsgesteinen Granit und Gneis (WITTMANN 1975). Gelegentlich können Parabraunerde und Parabraunerde-Pseudogley auftreten.

Das Klima liegt mit Jahresdurchschnittswerten von 800 mm Niederschlag und 7 °C (BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSBUND 1996) im typischen Bereich der gemäßigten Breiten im Übergang zwischen maritimen und kontinentalen Einflüssen. Die

nächstgelegene Klimastation ist in Regensburg und weist auf einer Höhe von 366 m NN im langjährigen Mittel von 1961 bis 1990 einen mittleren jährlichen Niederschlag von 642 mm und eine mittlere Jahrestemperatur von 8,2 °C auf (MÜLLER-WESTERMEIER 2006).

Tab. 2.1: Niederschlagsvergleich von Donaustauf (D) (411 m NN) und Regensburg (R) (340 m NN), Mittelwerte aus dem Erfassungszeitraum 1931-1960 in mm (aus WITTMANN 1975).

	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Σ
D	49	44	38	46	64	85	107	82	56	53	42	46	712
R	46	41	33	40	59	83	93	74	52	44	39	42	646

Einen Niederschlagsvergleich zwischen der Station Regensburg und der früher in Donaustauf geführten Messstation, die südöstlich vom Untersuchungsgebiet näher an diesem liegt als die Station Regensburg, zeigen die in Tabelle 2.1 dargelegten Monats- und Jahressummen in mm im langjährigen Mittel von 1931 bis 1960. Es fällt auf, dass in allen Monaten der Niederschlag in Donaustauf höher ist. Die Niederschlagswerte steigen also zum Bayerischen Wald hin an. Für die Gebiete des Bayerischen Waldes kann deshalb von einem erhöhten Niederschlag im Vergleich zum Umland ausgegangen werden (PIETRUSKY & MOOSAUER 1985).

Für die Verteilung der Niederschläge im Jahresverlauf zeigt sich im langjährigen Mittel eine Dominanz der Niederschlagsmengen zum Sommer hin. Es zeigt sich, dass die Niederschlagssumme im Juni mit 90 mm bis 100 mm größer ist als im Februar mit 50 mm bis 60 mm (BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSBUND 1996). Niederschlagsreichster Monat ist der Juli. Allerdings müssen jahresabhängige Abweichungen berücksichtigt werden, so dass sich eine andere Niederschlagsverteilung ergeben kann, die sich im Wasserhaushalt des Bodens widerspiegelt und bei der Auswertung und Interpretation der Wassergehaltsmessungen von Bedeutung ist (Kapitel 4.3).

Das Untersuchungsgebiet liegt im Donaustauer Forst, an dessen Hängen sich ein forstwirtschaftlich genutzter Wald im Privatbesitz von Thurn und Taxis Forst GmbH & Co. KG ausbreitet.

Bei diesen Privatwäldern des Regensburger Waldes handelt es sich um Nadel- (mit Fichte, Tanne, z.T. Kiefer und Lärche), Misch- und in klimatisch günstigen Lagen Laubwälder (bestehend aus Buche, Eiche und z.T. falscher Akazie) (MANSKE 1981/82). Das Untersuchungsgebiet beschränkt sich überwiegend auf das Einzugsgebiet des Otterbaches, einzelne Profile liegen im Entwässerungsbereich des angrenzenden Eilbachtals. Im Otterbachtal wird eine Catena mit sechs Profilen genauer aufgenommen und weitere Profile in der Umgebung untersucht. Entlang der Catena finden auch die Bodenwassermessungen statt. Die zusätzlichen Profile sollen die Verbreitung sowie die zeitliche Einordnung räumlich besser widerspiegeln. Eine Übersicht über die Profile und Instrumentierung sind in Anhang A.1.1 zu sehen.

2.1.2 Colorado Front Range

Die Colorado Front Range westlich von Boulder CO (USA) liegt zwischen dem Steilanstieg von den Great Plains zu den Rocky Mountains im Osten bis hin zur Continental Divide im Westen (Abbildung 2.3). Das Untersuchungsgebiet mit dieser West-Ost-Er Streckung wird im Norden vom Lefthand Canyon und im Süden vom South Boulder Canyon begrenzt. Das Gebiet befindet sich zwischen dem 39. und 40. Breitengrad und folglich südlicher als das Otterbachtal.

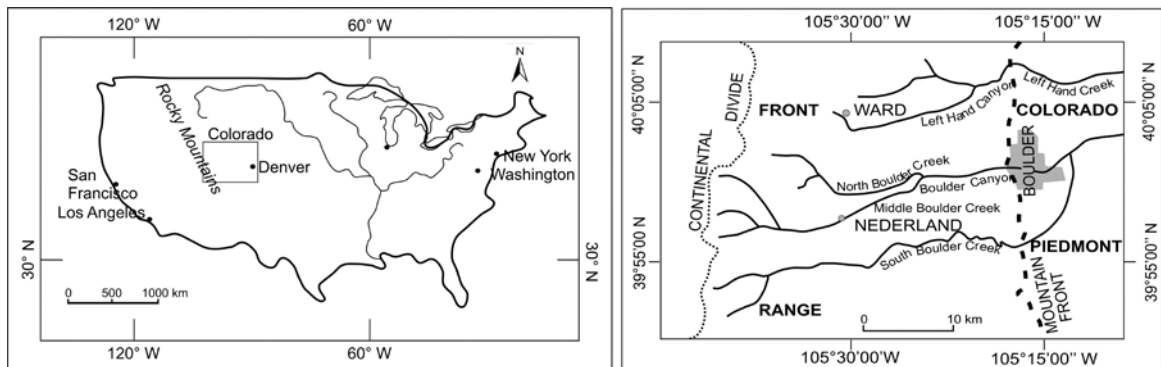


Abb. 2.3: Lage und Eingrenzung des Untersuchungsgebietes in den USA.

Die Region mit einem Höhenunterschied von knapp 2000 m über eine Strecke von 30 km (VEBLEN & LORENZ 1991) ist in verschiedene Höhenstufen gegliedert, wie Abbildung 2.4 zeigt. Die Höhen liegen nahe Boulder bei 1700 m NN und steigen auf ungefähr 2400 m NN im Old Laramide Plateau an. Von da aus erstreckt sich die obere montane, subalpine und schließlich alpine Stufe bis über 3400 m NN. Die enorme Höhe sowie die großen Höhenunterschiede sind ein wesentlicher Unterschied zum Untersuchungsgebiet im Bayerischen Wald.

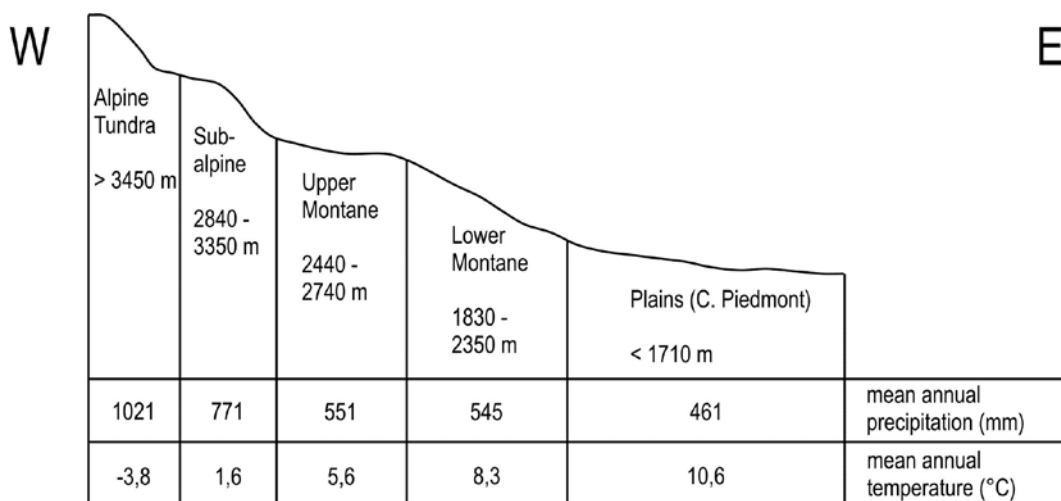


Abb. 2.4: Gliederung der Colorado Front Range sowie klimatische Durchschnittswerte (nach BIRKELAND et. al. 2003, verändert).

Durch die geographische Lage, die sich auch in einer stärkeren Kontinentalität im Gegensatz zum Bayerischen Wald zeigt, sowie die Höhe ergeben sich davon beeinflusste Klimate. Hier ist eine deutliche höhenzonale Änderung vor allem bei der Temperatur feststellbar. Obwohl es durch die südliche Lage des Untersuchungsgebietes im Jahresmittel wärmer ist, ergibt sich durch den montanen und subalpinen Bereich in den oberen Stufen eine geringere Jahresmitteltemperatur. Die Niederschläge sind in den oberen Lagen des Gebirges sehr hoch und verringern sich mit abnehmender Höhe. Die Werte für den mittleren jährlichen Niederschlag liegen zwischen 1021 mm und 461 mm (BIRKELAND et. al. 2003). In den mittleren und unteren Lagen ist die Jahres-niederschlagssumme immer noch höher als im Otterbachtal, weicht aber bezüglich der Verteilung der Niederschläge über das Jahr ab. Die Sommer sind sehr trocken, so dass sich das Klima semiarid darstellt. Die in den deutschen Mittelgebirgen auftretenden Sommerniederschläge fehlen überwiegend. In der Höhenlage über 3000 m NN sind die Niederschläge sehr hoch und fallen verhältnismäßig häufig im Winter, während in den tieferen Bereichen der größte Teil im Frühjahr, vor allem Mai, auftritt (BARRY 1973).

Die Lithologie wird auch hier von magmatischen und metamorphen präkambrischen Gesteinen geprägt (GABLE 1980, Abbildung 2.5). Die Entstehung der Rocky Mountains geht auf die laramidische Orogenese vor 80-50 Ma zurück (DICKINSON et al. 1988). Durch die Hebung des Gebirges kam es zu verstärkten Erosionsimpulsen, die zum Abtrag der auf den präkambrischen Gesteinen auflagernden Sedimentgesteine führten. Sedimentgesteine sind daher nur noch in den Randbereichen der Front Range zu finden (MADOLE et al. 1987). Eine weitere Nebenerscheinung der Hebung und Auffaltung des Gebirges sind Intrusionen (Pegmatite) in das alte Gestein.

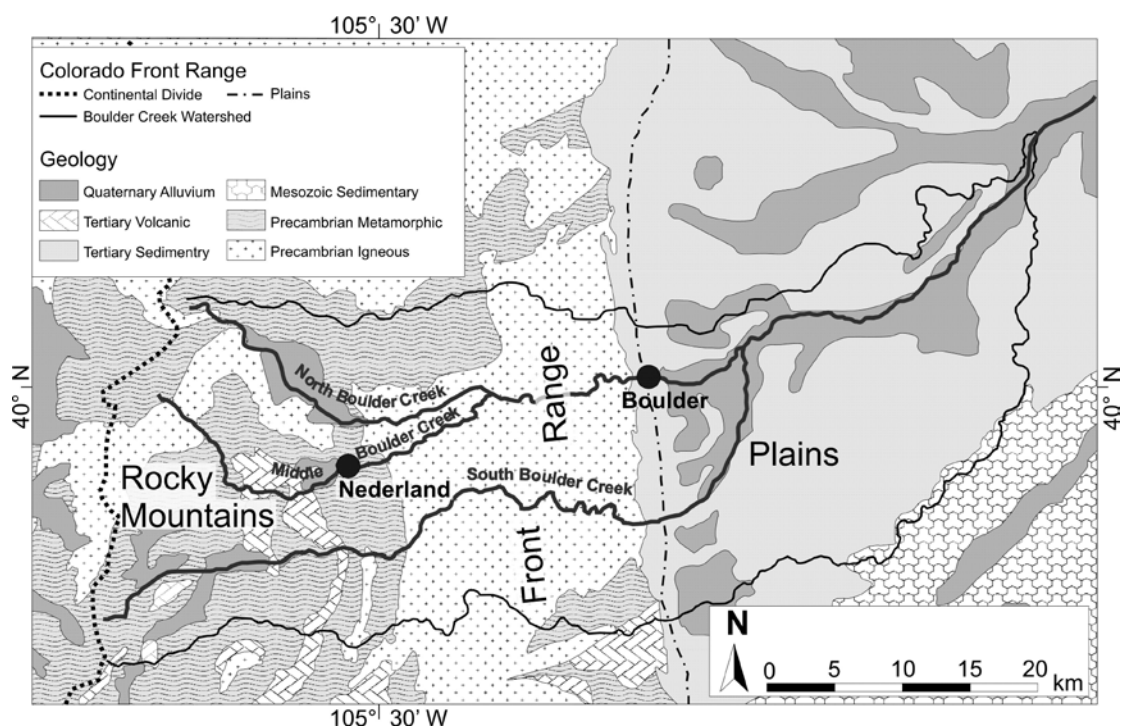


Abb. 2.5: Geologie im Untersuchungsgebiet Colorado Front Range (aus LEOPOLD et al. 2013).

Die heute an der Oberfläche liegenden Gesteine sind überwiegend präkambrisch. Dazu gehören Gneis sowie Schiefer der Idaho Springs Formation und Granit (Boulder Creek granite) (LOVERING & GODDARD 1950). Das heutige Relief ist vor allem von der post-laramidischen Phase geprägt. Im späten Tertiär entstanden regional durch Verwerfungen Grabenstrukturen (canyons) und Ebenen im Gebirge (MADOLE et al. 1987). Durch die lange und intensive Verwitterungszeit ist das Gestein stark verwittert und zerfällt entweder blockig/kantig oder ist zu Saprolith zersetzt. Vor allem der Granit im Untersuchungsgebiet verwittert zu Saprolith.

Im ehemals periglazialen Bereich finden sich mächtige Sedimente, denen vermutlich eine periglaziale Genese zuzuschreiben ist. Die mögliche Existenz von periglazialen Deckschichten stellt die für diese Arbeit wichtigste Gemeinsamkeit der Untersuchungsgebiete dar. Damit wird das Untersuchungsgebiet in seiner West-Ost-Erstreckung höhenzonal in Abhängigkeit der Bildung des periglazialen Formenschatzes während der Eiszeiten begrenzt. Im periglazialen Raum des Pleistozäns und teils auch in den angrenzenden Bereichen befinden sich die aufgenommenen Profile dieser Arbeit.

Die Böden in der Colorado Front Range werden entlang einer Catena beispielsweise von BIRKELAND et al. (2003) beschrieben. Bei den Bodentypen handelt es sich um Braunerden (in den höheren Lagen) und vor allem Parabraunerden oder Bänderparabraunerden. Die Böden sind in ihren Eigenschaften stark vom Ausgangssubstrat bzw. den verschiedenen Schichten im Profil geprägt. Daher sind sie vielfach grusig-sandig, im Fall der Parabraunerden und Bänderparabraunerden tonhaltig.

Die Vegetation steht in Abhängigkeit von den jeweiligen Höhenstufen, die sich klimatisch sehr unterschiedlich darstellen. Die winterliche Kälte in den höheren Lagen sowie die sommerliche Trockenheit in den unteren Bereichen sind, die Vegetation betreffend, limitierende Faktoren. Bis in den untersten Bereich der montanen Stufe ist die Flora geprägt durch Grasland. Daran angeschlossen bzw. in einander übergehend wachsen großflächige Waldgebiete, bestehend aus Gelb- oder Goldkiefer (*ponderosa pine*), Douglasie (*douglas fir*) sowie in den höheren Lagen der oberen montanen und subalpinen Stufe Felsengebirgstanne (*subalpine fir*) und Engelmann-Fichte (*engelmann spruce*) (BIRKELAND et al. 2003). In den tiefer gelegenen Waldgebieten, die meist, vor allem auch an den Südhängen, durch offene Wälder mit vielen Gräsern als Unterwuchs charakterisiert sind (VEBLEN & LORENZ 1991), kann es aufgrund der Trockenheit im Sommer zu Feuern kommen. Während hier mit einem Feuer alle 10-40 Jahre gerechnet werden muss, sinkt die Häufigkeit in der oberen montanen und subalpinen auf 30-100 Jahre (PLATT & SCHOENNAGEL 2009).

Die Vegetation, besonders in der montanen Stufe der Colorado Front Range, wurde seit 1880 aufgrund der Besiedlung, der Viehhaltung aber auch des Bergbaus, durch nicht natürliche Feuer und Abholzung (u.a. für Brennholz) beansprucht. Der anthropogene Einfluss nimmt mit zunehmender Höhenlage ab, ist aber in der subalpinen Zone noch deutlich sichtbar (VEBLEN & LORENZ 1991).

2.1.3 Einfluss des Pleistozäns in den Untersuchungsgebieten

Die Critical Zone, so wie sie sich heute darstellt, ist ein Resultat aus einer langen Entwicklungsgeschichte. Demnach ist die Entstehung von Hangsedimenten nicht nur von den heutigen Umweltbedingungen abhängig, sondern auch von den früheren Gegebenheiten. In Gebieten, die während der pleistozänen Eiszeiten (Abbildung 2.7) vergletschert oder vom Eis beeinflusst waren, ist das rezente Erscheinungsbild sehr stark von der Situation während der Eiszeiten und der danach ablaufenden Prozesse bestimmt. Veränderte Klimaparameter, wie beispielsweise niedrigere Temperaturen über einen längeren Zeitraum, wirken sich durch eine stark reduzierte oder fehlende Vegetation und Veränderung der physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse im Boden aus. Zudem unterscheidet sich der entstandene Formenschatz der glazialen und periglazialen Gebiete.

Aufgrund der später erfolgenden zeitlichen Einordnung der in dieser Arbeit untersuchten Sedimente soll kurz die Glazialgeschichte der Untersuchungsgebiete beleuchtet werden.

Während des Pleistozäns folgten viele Glaziale und Interglaziale mit unterschiedlicher Stärke und auch regional unterschiedlichen Auswirkungen aufeinander. Die Forschung konnte für die letzten 2,6 Millionen Jahre mindestens 20 Perioden mit starker Vergletscherung ermitteln, darunter fünf bis sechs Glaziale in den letzten 900.000 Jahren, die am stärksten waren (EHLERS & GIBBARD 2007).

Für die heute noch sichtbaren Sedimente in den Untersuchungsgebieten reicht aber eine Rückschau in die letzten zwei bis drei Eiszeiten, da die Sedimente der älteren Eiszeiten durch die Prozesse der darauf folgenden überprägt bzw. wieder abgetragen wurden. Ablagerungen älterer Eiszeiten sind meist nicht mehr zu finden. Hinzu kommt, dass es vor allem in höher gelegenen Gebieten aufgrund der intensiveren Verwitterung und Erosion schwieriger ist, ältere Überreste zu finden (EHLERS & GIBBARD 2007).

Die Vergletscherung in Deutschland stellt sich räumlich dreigegliedert dar. Das norddeutsche Tiefland wird durch den skandinavischen Eisschild beeinflusst, während im Süden die alpidischen Gletscher bis ins Alpenvorland reichen. Dazwischen liegt ein nicht vergletschertes, überwiegend periglazialer Bereich, der durch einzelne Plateau-, Tal-, und Karvergletscherungen in den Mittelgebirgen unterbrochen wird (RAAB 1999).

Die zeitliche Gliederung des Pleistozäns wurde im süddeutschen Raum entscheidend von PENCK & BRÜCKNER (1909) durch die detaillierte Beschreibung des glazialen Formenschatzes im Alpenvorland und die daraus abgeleitete Namensgebung der einzelnen Glaziale geprägt. Demnach sind die letzten vier Eiszeiten nach Flüssen des Alpenvorlandes, Würm, Riß, Mindel und Günz (von jung nach alt), benannt. Die Untersuchung der Terrassierung der Schotterflächen, welche durch die einzelnen Gletschervorstoße entstanden sind, bildet die Grundlage dieser Eiszeitengliederung. Später führte die weitere Forschung zur Erfassung der ältestpleistozänen Eiszeiten Donau und Biber. Die Eiszeitengliederung korreliert zeitlich sehr gut mit den norddeutschen Definitionen. HÄUSELMANN et al. datieren 2007 mit Hilfe von Isotopen (^{26}Al und ^{10}Be) die Flussschotter des Alpenvorlandes. Dabei ergeben sich für die

beiden letzten Eiszeiten Alter von 190 ka bis 130 ka (Riß) und von 111 ka bis 11,5 ka (Würm) (HÄUSELMANN et al. 2007). Im Bayerischen Wald sind glaziale Ablagerungen der Würmeiszeit auf 32 ka datiert, während ab 12 ka und damit ab der Jüngeren Dryas von Eisfreiheit ausgegangen werden kann (RAAB & VÖLKELE 2003). Die letzten Kälterückschläge sind mit der Ältesten Dryas (13,7-13,8 ka), der Älteren Dryas (13,4-13,5 ka) und der Jüngeren Dryas (12,7-11,6 ka) angegeben (LITT et al. 2001).

Hinweise auf die Eiszeiten sind im Bayerischen Wald überwiegend in höheren Lagen zu finden (FIEBIG et al. 2011). Während PRIEHÄUßER 1930 noch von einer weit verbreiteten Vergletscherung ausgeht, konnten Arbeiten seit den 80er Jahren diese auf lokale Gletscher reduzieren. Die regionale Schneegrenze lag im Bayerischen Wald bei 1100 m NN bis 1150 m NN (HAUNER 1980) und die weiteste Moränenausdehnung bei 760m NN bis 770 m NN (BAUBERGER 1977). In der Arbeit von RAAB (1999) ergeben sich für das Arbergebiet ähnliche Ergebnisse. Glaziale Ablagerungen und Formen sind zwischen 1250 m NN und 830 m NN zu finden bei einer ELA (Equilibrium Line Altitude; Trennlinie zwischen Akkumulation und Ablation) von 1050 m NN bis 925 m NN (RAAB & VÖLKELE 2003, RAAB 1999). In den Höhenlagen zwischen 300 m NN und 700 m NN herrschten während der Eiszeit periglaziale Bedingungen. Daraus resultiert die Entstehung teils mächtiger Deckschichten über und aus dem verwitterten Gestein. Diese periglazialen Deckschichten sind typisch für die deutschen Mittelgebirge. Ein glaziales Milieu ist stellenweise nur im Hinteren Bayerischen Wald zu finden, da hier entsprechende Höhen erreicht werden (RAAB 1999).

Klimatisch gesehen ist der Bayerische Wald aufgrund der Kontinentalität eher dem süddeutschen Vereisungsgebiet zuzuordnen (MENTLÍK et al. 2010). Deswegen bildeten sich im Bayerischen Wald auch verhältnismäßig kleine Gletscher, da die kontinentale Lage geringere Niederschläge zur Folge hatte (BAUBERGER 1977).

Während der Glaziale kam es zu einer Verschiebung der Klima- und folglich auch Vegetationszonen nach Süden (BÜDEL 1949). So hat sich im Würm kein Wald in Mitteleuropa etabliert. Im unvergletscherten Gebiet ist die Vegetation steppenähnlich mit einem spärlichen Grasbewuchs (FINK & KULKA 1977). Während der Interglaziale und -stadiale wirkten die Alpen als Barriere bei der Rückkehr der Pflanzen, so dass das Gebirge eine Wiederbewaldung erschwerte (MÜLLER et al. 2003).

In Nordamerika erreichte das laurentische Eisschild nicht die amerikanischen Rocky Mountains. Diese waren lokal vergletschert. Allerdings sind vor allem im Bereich der nördlichen Rocky Mountains Einflüsse des massiven Eisschildes auf die Vergletscherung der Gebirge gegeben, die unter anderem zu regionalen Unterschieden, hier zwischen nördlichen und südlichen Regionen, führt (GUIDO et al. 2007, LICCIARDI et al. 2004). Die großen Vereisungsphasen in Nordamerika sind vergleichbar mit den europäischen (MENOUNOS & REASONER 1997). Zeitliche Verschiebungen zwischen den größten Ausdehnungen des Eisschildes und den lokalen Vergletscherungen treten u.a. aufgrund von unterschiedlichen Reaktionszeiten der verschieden großen Eismassen auf Klimaänderungen auf (CHADWICK et al. 1997).

Zudem kann auch die Lage eines Gebietes, beispielsweise aufgrund von kontinentaleren oder maritimeren klimatischen Bedingungen, zu einer unterschiedlichen Ausdehnung der Gletscher führen (LEONARD 2007). Durch die hohe räumliche Variabilität innerhalb der USA ist es schwierig, Befunde bezüglich der Hinterlassenschaften der Eiszeiten in einen einzigen stratigraphischen Kontext einzuordnen. Eine standardisierte Chronologie des Pleistozäns für das ganze Land fehlt (RICHMOND & FULLERTON 1986). Daher wurde eine regionale Gliederung für die Eiszeiten in den Rocky Mountains notwendig. Die Bezeichnungen von BLACKWELDER (1915) konnten sich für die letzten drei Eiszeiten des Pleistozäns durchsetzen: Pinedale, Bull Lake, Buffalo. Im Untersuchungsgebiet sind ausschließlich Ablagerungen der letzten beiden Glaziale erhalten. Die Bull Lake Gletscher erreichten eine gleich weite oder größere Ausdehnung als die der älteren Eiszeiten (MEIERDING 1982). Moränen der Bull Lake sind nur noch an einigen Stellen erhalten, da die Pinedale Gletscher 90 % der zuvor vergletscherten Fläche überprägten (LEGG & BAKER 1980).

Die zeitlichen Grenzen der Eiszeiten unterscheiden sich leicht zwischen den einzelnen Gebirgszügen der Rocky Mountains (RICHMOND 1986). In der Colorado Front Range werden mit leichten Variationen für das Pinedale Alter zwischen 35 ka und 12 ka angegeben (SCHILDGEN et al. 2002, MADOLE 1986). Die in diesem Gebiet erforschten Alter sind relativ einheitlich. Im Gegensatz dazu ist die Festlegung der Bull Lake-Vereisung schwieriger. Während MADOLE (1986) 130 ka bis 40 ka angibt, legen SCHILDGEN et al. (2002) nur eine Phase von 150 ka bis 100 ka fest. Im Zeitraum zwischen 100 ka und 40 ka hat es demnach Gletschervorstöße gegeben, die Zuordnung zu einer bestimmten Eiszeit wird aber von den Autoren unterschiedlich festgelegt. Im Vergleich, mit anderen Regionen, wird häufig eine kalte Periode von 48 ka bis 26 ka angegeben (PHILLIPS et al. 1997). Diese ist, das Marine Isotopenstadium (MIS) 2 betreffend, besser dem Pinedale zuzuordnen, so dass auch BIRKELAND et al. (2003) Pinedale mit Altern von 14 ka bis 47 ka (MIS 2) und Bull Lake von 120 ka bis 160 ka (MIS 6/5e) für die Colorado Front Range angibt (siehe auch PIERCE 2003).

Das Last Glacial Maximum (LGM) wird im Untersuchungsgebiet relativ einheitlich mit 20,8 ka bis 16,1 ka angegeben (BRUGGER 2007, DETHIER & LAZARUS 2006). Die Deglaciation der Rocky Mountains, in der die Canyons eisfrei wurden, wird zwischen 15 ka bis 12 ka angesiedelt (MADOLE 1986). In einigen Untersuchungen kann auch schon ein Gletscherrückzug ab ~ 17 ka festgestellt werden (BENSON et al. 2005). Für den im Untersuchungsgebiet liegenden Boulder Canyon erforschten SCHILDGEN et al. (2002) ein Alter von 14 ka für den Rückzug des Eises. Kälterückschläge während der Deglaciation treten in der Ältesten Dryas (13,8-13,7 ka) und der Jüngeren Dryas (12,7-11,6 ka) auf (WARD et al. 2009).

Die klimatischen Veränderungen, die auch eine Änderung der ELA bzw. der Schnee- und Baumgrenze zur Folge hatte, müssen ebenfalls regional z.T. sogar lokal, betrachtet werden, denn die gebietsabhängige Topographie spielt bei der Entstehung

und Ausdehnung von Gletschern eine große Rolle (LEONARD 2007). Grundsätzlich ist das Untersuchungsgebiet in den Rocky Mountains viel südlicher gelegen als der Bayerische Wald. Durch die südliche und auch kontinentale Lage liegt ein semiarides Klima vor. Auch während der Eiszeiten wird von gemäßigten Niederschlägen ausgegangen, die dazu führten, dass die Gletscher nicht sehr weit in die Täler bzw. überhaupt nicht ins Gebirgsvorland reichten (RICHMOND 1970, Abbildung 2.6). Die Ausdehnung der Gletscher ist überwiegend einer Verringerung der Temperaturen geschuldet (HOSTETLER & CLARK 1997). Es ist von einem Temperaturrückgang im Mittel von 7,6 °C zu rechnen (BRUGGER 2006), wenn die Niederschläge annähernd den heutigen entsprachen. Weitere Szenarien zur Bestimmung der Sommertemperatur oder des Niederschlags wurden unter verschiedenen Randbedingungen von LEONARD (2007) berechnet.

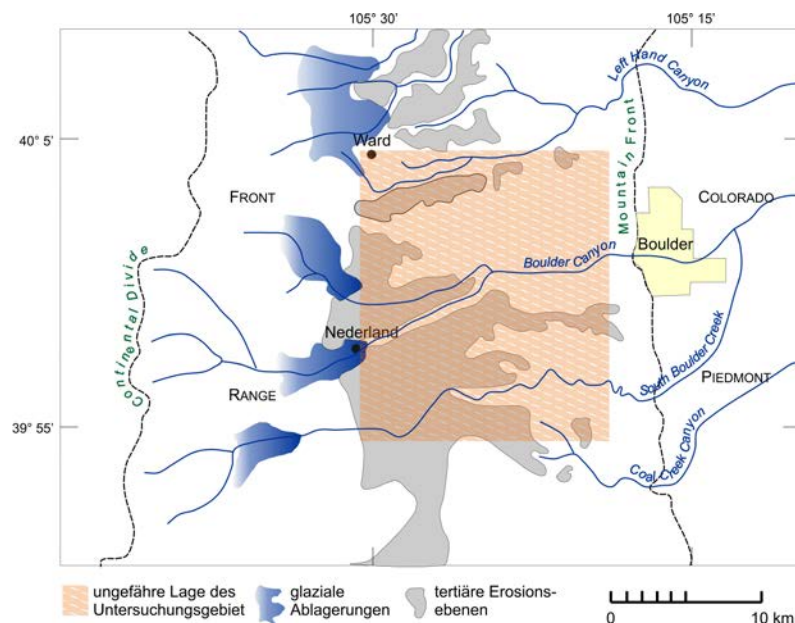


Abb. 2.6: Glaziale Sedimente im Untersuchungsgebiet Colorado Front Range (nach BIRKELAND et al. 2003).

MADOLE (1986, 1969) legt die Grenze der Pinedale Gletscherausdehnung in der Front Range zwischen 2400 m NN und 3400 m NN (MADOLE 1969) und die ELA bei 3180 m NN fest. Im Vergleich dazu liegt die heutige durchschnittliche Höhe der ELA bei 3665 m NN und damit 500 m über der pleistozänen (MEIERDING 1982). Auch die Baumgrenze lag durchschnittlich ungefähr 500 m unter der heutigen, die sich momentan auf einer Höhe von 3350 m NN abzeichnet (LEGG & BAKER 1980). Es können unterschiedlich starke Verschiebungen der ELA sowie der Baumgrenze im Untersuchungsgebiet vorgefunden werden, je nach Ausdehnung der einzelnen Gletscher, die zu kleinräumigen Unterschieden führen können. FALL (1997) gibt daher für die Verschiebung der Baumgrenze während Pinedale eine Spanne von 300 m bis 700 m an. Für das Untersuchungsgebiet muss also mit kleinräumigen Unterschieden in der Vegetation während der Eiszeiten gerechnet werden. Die Baumgrenze unterliegt

überwiegend mittel- und langfristigen Temperaturänderungen, die vor allem während der Vegetationsperiode Einfluss nehmen. Auch während des Holozäns fanden immer wieder Änderungen der Baumgrenze statt, hervorgerufen durch Klimaschwankungen (PETERSEN & MEHRINGER 1976).

Mit der Ausdehnung der glazial beeinflussten Gebiete verlagerte sich der Periglazialraum auch in tiefer liegende Bereiche, die heute nicht mehr periglazialen Prozessen unterliegen. Reliktische periglaziale Formen der letzten Kaltzeiten können in der Colorado Front Range 500 m bis 700 m tiefer als der heutige Periglazialbereich (MARKER 1990), massive Lößablagerungen betreffend sogar bis in den Great Plains gefunden werden. Heute beginnt der Periglazialbereich ab ungefähr 3000 m NN. Während der Eiszeiten kann daher ein periglazialer Formenschatz bis in einer Höhe von 2300 m NN entstanden sein. Aufgrund der kleinklimatischen Schwankungen und der damit einhergehenden unterschiedlichen Höhe der Waldgrenze kann der Übergang zwischen kontinuierlichem, diskontinuierlichem und sporadischen Permafrost sowie fehlendem Permafrost tiefer liegen. In einem Untersuchungsgebiet in Wyoming wird der periglaziale Formenschatz sogar bis in einer Höhenlage von 1340 m NN und höher gefunden (MEARS 1981). Grundsätzlich führt die starke Kontinentalität des Gebietes zu einem Fehlen der Vegetation, so dass Hangprozesse auch unter nicht periglazialen jedoch kaltklimatischen Bedingungen in den unteren Höhenstufen auftreten können.

Die beiden Untersuchungsgebiete unterscheiden sich in vielen Punkten. Die naturräumlichen Gegebenheiten, die die Gebiete charakterisieren, sind in Tabelle 2.2 gegenübergestellt. Unterschiede sind vor allem im Klima und der dadurch beeinflussten Vegetation zu sehen. Die bedeutenden Gemeinsamkeiten liegen in der Lithologie und im periglazialen Einfluss, der während der letzten Eiszeiten in den nicht vergletscherten Bereichen vorherrschte und für diese Arbeit die Voraussetzung ist.

Tab. 2.2: Vergleich der Untersuchungsgebiete.

	Bayerischer Wald/Deutschland	Colorado Front Range/USA
Lithologie	Granit, Gneis	Gneis, Schiefer, Granit
Böden	Braunerde, Pseudogley-Braunerde	Parabraunerde, Bänderparabraunerde
Klima	sommerfeucht	semiarid, humid
Vegetation	Fichte, Buche	Kiefer, Douglasie, Fichte
Höhenlage	250-500 m NN	2000-3000 m NN
Pleistozän	Gletscher nur vereinzelt im Hinteren Bayerischer Wald → Periglazialgebiet	Gletscher in den höheren Lagen → Periglazialgebiet
Sonstiges		starke höhenzonale Änderungen

Die Gliederung des Pleistozäns in Süddeutschland und den nordamerikanischen Rocky Mountains zeigt Abbildung 2.7. Die genauen Jahresangaben in ka variieren zu Teilen in der Literatur aufgrund der regionalen Unterschiede.

Grundsätzlich zeichnet sich ab, dass beide Untersuchungsgebiete in Bereichen liegen, die stark durch die Klimaschwankungen des Pleistozäns in Form einer massiven Abkühlung beeinflusst sind. Allerdings wirkten hier nicht direkt glaziale Prozesse, sondern Umweltbedingungen, die zu periglazialen Prozessen führten.

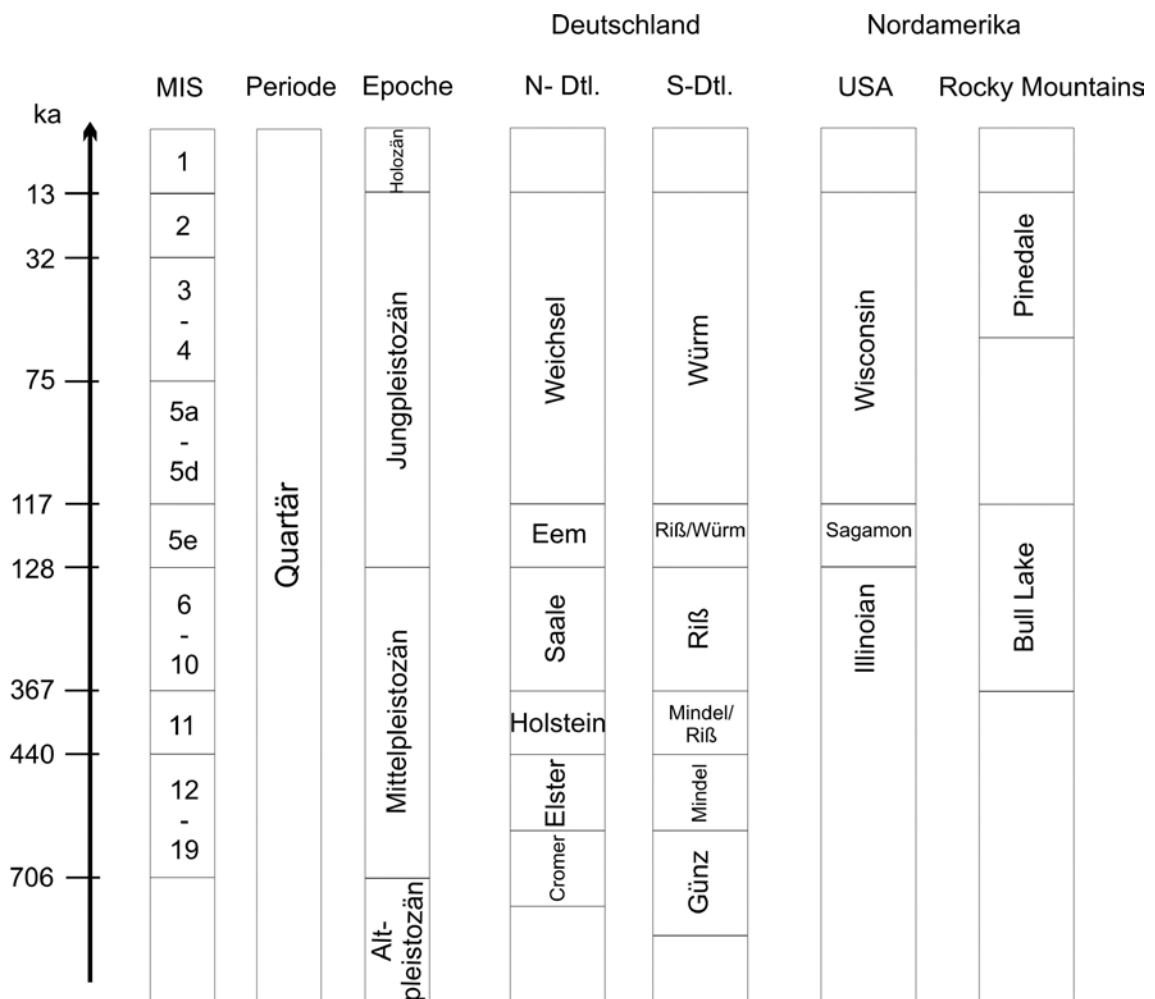


Abb. 2.7: Übersicht über die Eiszeiten in den beiden Untersuchungsgebieten (Zitate zu den Zeitangaben siehe Text; Jahresangaben zu den MIS aus SHACKLETON & OPDYKE 1973).

2.2 Hangsedimente

Eine grundlegende Fragestellung dieser Arbeit ist, worin sich die periglazialen von anderen Sedimenten am Hang unterscheiden. Die genaue genetische Zuordnung der Sedimente ist wichtig, um die Entstehungsgeschichte und Weiterentwicklung einer Landschaft darzustellen. Daraus lassen sich Eigenschaften und deren Stellung sowie die Verknüpfung mit den verschiedenen Sphären innerhalb der Critical Zone

abgeleiten. Dieses Kapitel stellt Definitionen und Grundlegendes zu Hangsedimenten im Allgemeinen und periglazialen Hangsedimenten im Besonderen vor.

2.2.1 Allgemeines zur Definition und Genese von Hangsedimenten

Grundsätzlich führt die Abtragung (Denudation, Erosion) sowie ein damit verbundener Transport- oder Verlagerungsprozess von verwittertem lockeren Material zur Ablagerung (Akkumulation) an anderer Stelle und folglich zur Entstehung von Sedimenten. Dabei können unterschiedlichste Prozesse wirken. Diese Prozesse von Abtrag und Ablagerung werden durch verschiedenste Kriterien charakterisiert, z.B. Geschwindigkeit und Art des Prozesses oder Art und Menge der Agenzien (SELBY 1993). Nach Art des Materialtransportes gliedern sich die Denudationsprozesse wie in Tabelle 2.3 dargestellt. Die korrelierten Sedimente des Abtrags weisen typische Formen auf.

Tab. 2.3: Arten der Denudation (nach AHNERT 1999).

Prozesstypen	Unterteilung	Agens/Medium	Beispiele
Schwerkraftbedingte Massenbewegungen	Fels und Schutt	Gravitation	Sturzdenudation, Blockabstürze, Fels-/Bergstürze, Rutschungen, Bergrutsche, Blockrutschungen, Schuttrutschungen in Grobmaterial
	Regoliths	Gravitation sowie Wasser, Eis oder Schnee	Muren, Abtragung durch Lawinen, Erdfließen, Kriechdenudation
Regolithbewegung unter Frosteinwirkung (periglazial)		Eis	Kryoturbation, Gelifluktion (Solifluktion), Blockgletscher, Blockströme
Fluviale Abfuhr oder Abtragung	Gelöste Stoffe im Boden- oder Grundwasser	Wasser	Entkarbonatisierung, Lessivierung
	Oberflächlicher Abfluss von Niederschlag	Wasser	Spüldenudation, Erosion
Deflation oder äolische Denudation		Wind	Löß- und Dünenbildung, Flugsand
Glaziale Abtragung		Eis, Schnee	Abtragung und Transport durch Gletschereis

Ein in Tabelle 2.3 nicht aufgeführter Prozess zur Ablagerung von Sedimenten ist die anthropogen verursachte Erosion. In besiedelten Gebieten wird durch den Menschen und die damit einhergehende Nutzung des Landes die Vegetation reduziert. Folglich wird der Boden angreifbar für Erosion durch Wasser, Wind und Gravitation. Die Art des Materialtransportes kann also auf die in Tabelle 2.3 dargestellten Prozesse zurückgeführt werden, nur der Initiator ist der Mensch. Das dadurch entstehende Sediment wird Kolluvium genannt und ist in den anthropogenen Siedlungsräumen heute weit verbreitet (siehe Kapitel 1.2).

Hangsedimente entstehen durch denudative Prozesse am Hang. Bei diesen Materialbewegungen spielt immer auch die Gravitation eine Rolle (STATHAM 1977). Es wirken häufig mehrere der oben aufgeführten Prozesse gleichzeitig oder in Abfolge. Durch die Kombination mehrerer Prozesse wird der Hangaufbau komplexer und folglich die Zuordnung der Sedimente zu einem bestimmten Prozess erschwert (VARNES 1978). Die Entstehungsgeschichte eines Hanges und der vorgefundenen Sedimente muss dann hinsichtlich der einzelnen Prozesse differenzierter betrachtet werden. Bei diesen Prozessen entstehen Oberflächenformen und Sedimentdecken. Heute sind frühere Landformen häufig nicht mehr zu erkennen bzw. von anderen Prozessen überprägt (BERTRAN & TEXIER 1999). Übrig bleiben die übereinander liegenden Sedimentschichten. Mit der Aufnahme der Stratigraphie lässt sich über die Verwitterungs- und Ablagerungsprodukte unterschiedlicher Prozesse die Entstehungsgeschichte eines Hanges bzw. einer Landschaft rekonstruieren (SELBY 1993).

Um also aus heutiger Sicht die Genese eines Hanges und seiner Sedimente zu erforschen, bleibt meist nur die Analyse der Prozesse anhand der Eigenschaften der Sedimente. Schwierigkeiten ergeben sich dadurch, dass verschiedene Prozesse zu ähnlichen oder gleichen Sedimenteigenschaften führen können (BERTRAN & TEXIER 1999). Eine zusätzliche Hilfe bei der Zuordnung der Schichten zu einem Entstehungsklima können der weitere Formenschatz im Umfeld und andere Hinweise wie numerische Datierungen sein. Allerdings dominieren zum Beispiel im ehemaligen Periglazialgebiet des Bayerischen Waldes am Hang Massenbewegungen gegenüber anderen Formen wie Steinpolygonen (HAUNER 1980), so dass ein ergänzender Formenschatz im Umfeld der Schichten weitestgehend fehlt.

Für die vorliegende Fragestellung sind Prozesse des periglazialen Milieus von Bedeutung. Die Benennung dieser Prozesse und die daraus resultierenden Ablagerungen sind die Grundlage für die Charakterisierung der periglazialen Hangsedimente. Ein typischer periglazialer Formenschatz, wie beispielsweise Eiskeilpseudomorphosen, Steinlinien und Löß, unterstützt die zeitliche Einordnung von noch undatierten Hangsedimenten (SEMMELE & TERHORST 2010).

2.2.2 Periglaziale Prozesse am Hang

Materialbewegungen am Hang treten in allen Klimaten auf, können aber unter periglazialen Bedingungen besonders gut wirken. Gründe dafür sind die Bereitstellung von Material aufgrund einer massiven physikalischen Verwitterung durch die häufigen Frostwechsel sowie das weitgehende Fehlen der Vegetation (FRENCH 2008). Zudem trägt eine Vielzahl von Prozessen zur Verwitterung und zum Abtrag des Materials bei. Neben Frosteinwirkung ist meist auch Wasser beteiligt, das sich beim Gefrieren im Gestein ausdehnt oder im flüssigen Aggregatzustand verwittertes Ausgangssubstrat verlagert.

Zum Verständnis der Genese periglazialer Hangsedimente und zum Erkennen von entsprechenden Hinweisen bei der Profilaufnahme müssen die zur Entstehung beitragenden Prozesse und deren Auswirkung auf das Sediment beachtet werden.

Für die Bereitstellung von erodierbarem Material bzw. die Zerkleinerung von Gestein ist die physikalische Verwitterung die Grundlage. Starke Temperaturunterschiede führen zu Spannungen im Gestein und als Folge zur Bildung von Rissen sowie zum Zerfall des Festgesteins. Verstärkt wird diese Form der Verwitterung durch Wasser in Hohlräumen des Gesteins, das sich beim Gefrieren ausdehnt und durch Frostsprengung den Gesteinsverband zerstört. Es entstehen kantige Skelettkomponenten, die typischerweise in den Hangsedimenten wiedergefunden werden können (DEWOLF 1988).

Eiskeile sind im periglazialen Milieu häufig und können als Eiskeilpseudomorphosen bis heute erhalten bleiben. Sie entstehen durch das Ausdehnen des in Spalten und Klüfte eingedrungenen Wassers beim Gefrieren.

Gefriert Wasser in ungesättigten Sedimenten und Böden, können sich durch Sublimation aufgrund von unterschiedlichem Sättigungsdampfdruck Eislinsen bilden, die Frosthub und damit in Verbindung stehende Formen (Pingo, Palsa) zur Folge haben (AHNERT 1999). Eislinsen bzw. feuchte Schichten, die gefrieren, verursachen Kryoturbation und Frosthub. Es entstehen Verwürgungen im Bodenprofil und so genannte Brodel- und Taschenbildungen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Solche Turbationen im Boden können bei der heutigen Betrachtung noch erhalten sein, sind aber häufig durch die Materialverlagerungen am Hang überprägt bzw. lassen sich z.T. schwer von anderen, beispielsweise bioturbaten Formen unterscheiden. Durch Rutschungen entlang von Eislinsen bildet sich ein eher plattiges Gefüge (FRENCH 2008), während Kryoturbation das Material lockert.

Kriechbewegungen entlang eines Hanges kommen grundsätzlich häufig vor. Im Zusammenhang mit Frostwechseln entsteht der Kriechvorgang durch das Ausdehnen des Wassers beim Gefrieren, das zu einer Hebung des Lockermaterials rechtwinklig zum Hang und einer mit dem Tauen einhergehenden Ablagerung hangabwärts in Richtung der Schwerkraft führt. Auf die gleiche Art werden Bodenteilchen durch die Bildung von Kammeis verlagert. Kammeis entsteht durch Sublimation von kalter, feuchter Luft in den obersten Poren des Bodens (AHNERT 1999). Folge dieser Bewegung ist das so genannte Hakenschlagen von Schichten, das bänderartig im Profilschnitt zu erkennen ist.

Einer der häufigsten Prozesse in periglazial geprägten Gebieten ist die Solifluktion, die per Definition das der Gravitation folgende, langsame Fließen von wassergesättigtem Boden bzw. Sediment ist. Die Wassersättigung kann dabei aus Niederschlag sowie Schnee- oder Eisschmelze resultieren (ANDERSON 1906). Um auf Sättigung hinzuweisen, die durch Stau des Schmelzwassers auf einem gefrorenen Unterboden entstanden ist, wird häufig auch der Name Gelifluktion verwendet. Allerdings unterscheiden sich die beiden Begriffe nur durch die Ursache der Sättigung des Materials und nicht durch den Prozess an sich. Dieser Hangprozess findet bei einer Hangneigung zwischen 2° und 30° statt (WASHBURN 1980). Die Hangneigung beeinflusst auch die Geschwindigkeit und somit die Intensität (MATSUOKA 2001).

Die Solifluktion ist nicht ausschließlich von Permafrost abhängig und damit von der jährlichen Frosttiefe, sondern auch von Faktoren wie der mittleren Wintertemperatur (GAMPER 1987) oder der Feuchte des Substrats. Sogar beim sommerlichen Auftauen des kompletten Bodens kann unter Umständen der Prozess mit genügend Wasser weiter ablaufen (JAESCHE et al. 2003). Saisonaler Frost reicht für Solifluktion und die damit einhergehende Verlagerung von Material oftmals aus. Eine der wichtigsten Einflussgrößen ist ausreichende Feuchte, vor allem in Gegenden, in denen Wasser ein limitierender Faktor ist (BENEDICT 1970).

Zum Formenschatz des Akkumulationsgebiets gehören Solifluktionsloben oder -terrassen, während hangaufwärts im denudativen Bereich Dellen entstehen können. Heute ist die Form der Loben der letzten Eiszeiten meist im Hang nicht mehr zu finden, dafür aber das mitgeführte Material in Form von Schichten, deren Mächtigkeit den entstehungszeitlichen Auftaubereich widerspiegelt. Das Material dieser Schichten entspricht dem verwitterten Ausgangssubstrat und ist charakterisiert durch ein unstratifiziertes Material mit hangparallel eingeregelteten Skelettkomponenten (FRENCH 2008), auf welchen sich häufig Schluffhauben bilden. Ebenso treten Schluff- oder Tonüberzüge an Körnern der Sandfraktion bzw. an Grus auf (BERTRAN & TEXIER 1999). Eine vorangegangene Sortierung des Substrats durch Frost kann durch Solifluktion wieder aufgehoben werden (BENEDICT 1970).

Oberflächiger Materialtransport tritt auch durch periglaziale Spüldenudation auf. Taut der Boden nur in den obersten Zentimetern auf, kann das Wasser im gefrorenen Untergrund nicht versickern und fließt auf der Bodenoberfläche ab. Dabei wird vor allem Feinmaterial abgetragen.

Ähnliche Ver- bzw. Abspülungen treten im Zusammenhang mit Nivation auf. Im Bereich von Schneeansammlungen werden beim Tauen Wassermengen frei, die zur flächenhaften Abspülung von Feinmaterial führen. Zusätzlich kann bei weiterem Auftauen des Bodens die Solifluktion verstärkt werden.

In beiden Fällen führt aufgrund von gefrorenem Boden oberflächlich abfließendes Schmelzwasser zu Spülprozessen, die Feinmaterial fluvial transportieren. Die periglaziale Spüldenudation wirkt nur in den jeweils oberen Zentimetern des Profils und führt daher eher zu flächenhafter Abtragung, weil eine tiefere erosive Einschneidung durch den gefrorenen Boden verhindert wird. Das verspülte Material ist durch die unterschiedliche Wassermenge und Auftautiefe der einzelnen Tauereignissen oftmals sortiert. Heute zeigt sich die Materialsortierung bänderartig im Profilanschnitt. Bei der Nivation können sich durch die größeren Wassermengen und den sukzessiven Rückzug des Schnees Nivationsnischen oder -terrassen bilden. Deren Entstehung resultiert aus einer Kombination von Nivationsprozessen und Solifluktion (WASHBURN 1980).

Neben den bisher dargestellten periglazial-typischen Materialverlagerungen am Hang können auch schnelle Massenbewegungen auftreten, wenn der Untergrund nicht mehr gefroren ist und genügend Lockergestein vorhanden ist. LEWKOWICZ (1988) legt die

Grenze für das Auftreten schnellerer und damit auch größere Mengen verlagernder Bewegungen bei Hangneigungen größer 15° fest.

Weitere bedeutende Prozesse an Hängen in Periglazialgebieten sind äolischer Abtrag und Ablagerung. Vor allem in kaltariden Gebieten kann es häufig zu Transport des Feinmaterials durch Wind kommen. Auch hier führen die fehlende Vegetation, das Trockenfallen von Flussbetten und die glaziale Aufbereitung von Feinmaterial im Vorfeld eines Gletschers zum verstärkten Auftreten dieses Prozesses.

Typische periglaziale äolische Ablagerungen sind Löss oder Lößlehme. Durch die Einarbeitung des äolischen Materials in die Schichten am Hang können sich je nach Herkunftsgebiet Änderungen in der chemischen Zusammensetzung im Gegensatz zu liegenden Schichten ergeben.

2.2.3 Einflüsse auf die Bildung von periglazialen Hangsedimenten

Die Hangsedimente im Periglazialgebiet sind durch unterschiedliche Prozesse entstanden. Ihre Ausprägung hängt, wie auch der gesamte periglaziale Formenschatz, zudem von zahlreichen Einflüssen ab, die mit der periglazialen Morphodynamik in Verbindung stehen und in den Untersuchungsgebieten variieren können. Einflussgrößen sind Klima, Topographie, Ausgangsgestein, Zeit und heute auch anthropogene Aktivität sowie von diesen Faktoren abhängige Parameter, wie Schnee- bzw. Eisbedeckung, verfügbares Wasser und Vegetation (WASHBURN 1979).

Die wichtigste Einflussgröße ist das Klima. Temperatur, Niederschlag und Wind sowie deren jahreszeitliche Ausprägung sind entscheidend für das Ablaufen unterschiedlicher Prozesse am Hang, die im periglazialen Gebiet auftreten und zur Bildung von Hangsedimenten führen (WASHBURN 1979).

In erster Linie entscheidet das Klima darüber, ob periglaziale Bedingungen herrschen. Nur bei entsprechend tiefen Temperaturen (Jahresmitteltemperatur unter 0 °C) in Kombination mit zu geringem Niederschlag oder ausreichend sommerlicher Wärme, so dass die Bildung von Gletschern verhindert wird, können die in Kapitel 2.2.2 beschriebenen periglazialen Prozesse ablaufen. Wie stark und lang anhaltend Frosteinwirkung stattfindet, kann die Wirkung von Denudation und Akkumulation beeinflussen. Zwischen periglazialen Prozessen und Prozessen unter Frosteinwirkung muss unterschieden werden. Erstere stehen mit der Definition des Periglazialgebietes und immer auch mit Permafrost in Verbindung. Letztere treten oft schon bei einem kaltklimatischen Milieu und periodischer Frosteinwirkung (siehe Kapitel 2.2.2) auf, allerdings mit einer geringeren Intensität (FRENCH 2008). Folglich reicht für die Bewegung von Material am Hang häufig saisonaler Bodenfrost aus, der durch das langsame Tauen im Frühjahr Wasser auf noch gefrorenem undurchlässigem Boden freisetzt und Material transportiert (DEWOLF 1988). Allerdings wird dadurch weniger Material verlagert. Der Übergang zwischen Gebieten mit Permafrost und saisonal gefrorenem Boden ist fließend.

Die geographische Lage des Gebietes und dessen Umweltbedingungen nehmen über damit in Zusammenhang stehende klimatische Parameter Einfluss auf die Bildung der

Sedimente. Die Lage wird definiert durch den Breitengrad (bzw. Längengrad) und die Höhe. Weitere Einflussgrößen sind Exposition, Topographie, Hydrologie und Vegetation. Der Breitengrad zeichnet sich durch die davon abhängige solare Einstrahlung, deren Stärke sich mit zunehmendem Breitengrad verringert, in den Gefrier-Tau-Zyklen ab. In den alpinen Bereichen können häufigere Frostwechsel bei kürzeren Wärmephasen im Winter bzw. Kälterückschläge im Frühjahr zu Aktivität führen (HARRIS 1988). Hier muss die Exposition berücksichtigt werden, die in Verbindung mit der solaren Einstrahlung steht. Daher bleibt auf Nordhängen der Bodenfrost länger erhalten (GREGORY 2010), weist aber eine geringere sommerliche Auftautiefe auf. Bei reliktschen Formen hat die Exposition eine höhere Bedeutung im Fall von randlichen Periglazialgebieten (MARKER 1990). Die Höhenlage und Topographie der Berge verstärkt die kleinklimatische Variabilität beispielsweise durch die Barrierewirkung bei der Niederschlagsverteilung (Regenschatten), Luv-Lee-Effekte oder Inversionswetterlagen. Im Allgemeinen ist das Klima im Gebirge aufgrund der oben aufgeführten Effekte kleinräumig variabler. Dieses Mikroklima beeinflusst die periglazialen Schichten, wie z.B. die Exposition zeigt (FRENCH 2008).

Neben den klimatischen Parametern spielt das Ausgangssubstrat eine Rolle. Unterschiedliche Gesteine, Fest- oder Lockergestein sowie die Verwitterungshärte prägen das Entstehen der Schichten. Art und Intensität von Verwitterung hängen ebenfalls stark von den klimatischen Bedingungen ab (PAWELEC 2011). Trotzdem bestimmen auch die Ausgangsgesteine des Gebietes, ob und wie die Prozesse ablaufen. Festgestein und gröberes Material verursachen beispielsweise mächtigere Active Layer als Torf und Feinerde, da der Wassergehalt in Zusammenhang mit den entsprechenden Eigenschaften des Substrats Tauen und Gefrieren beeinflusst (HARRIS 1988).

Eine Veränderung des Mikroklimas kann durch die Vegetation entstehen. Der größte Einfluss geht bei der Vegetation allerdings von ihrer schützenden Funktion aus. So können viele denudative Prozesse bei geschlossener Vegetationsdecke nicht angreifen.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass periglaziale Bedingungen aufgrund der fehlenden oder sehr spärlichen Vegetation, der sommerlichen Schicht des Active Layers über gefrorenem Boden bzw. bei Abwesenheit von Permafrost, Tauen des winterlich gefrorenen Bodens und Freiwerden von größeren Wassermengen zu starken Materialverlagerungen am Hang führen.

Die durch die in diesem Kapitel dargestellten Prozesse am Hang entstehenden Sedimentschichten werden periglaziale Deckschichten genannt, die im folgenden Kapitel näher definiert werden.

Hangsedimente können durch eine Vielzahl von Prozessen und durch die Mitwirkung unterschiedlicher Agenzien entstehen. Im periglazialen Umfeld bilden sich entsprechende Sedimente besonders gut, da durch die fehlende Vegetation Prozesse gut wirken können und das Substrat nicht geschützt ist. Zudem liefert die physikalische

Verwitterung unter dem Einfluss von Frost Material, das verlagert werden kann. Ein weiterer Materiallieferant sind äolische Prozesse, die vor allem feines Material, insbesondere Löß, transportieren. Charakteristisch für periglaziale Hangsedimente sind kantige Skelettkomponenten, die aufgrund der solifluidalen Verlagerung hangparallel eingeregelt sind. Damit unterscheiden sie sich grundlegend von glazialen Sedimenten. Auch Steinlinien im Profil entstehen durch Frostaktivität im Zuge der Materialsortierung. Zum heute noch erhaltenen Formenschatz ehemaliger Periglazialgebiete, der die Annahme einer periglazialen Genese von Sedimenten im direkten Umfeld stützt, gehören beispielsweise Eiskeilpseudomorphosen.

2.3 Periglaziale Deckschichten und Saprolith

Periglaziale Hangsedimente werden in der deutschen Literatur meist als periglaziale Deckschichten angesprochen. Dem folgend wird der Fachbegriff ab hier verwendet. In diesem Kapitel werden periglaziale Deckschichten und Saprolith hinsichtlich ihrer Charakteristika und unter Berücksichtigung des derzeitigen Kenntnisstandes zu Entstehung und Alter dargestellt. Periglaziale Deckschichten treten als Resultat der im vorherigen Kapitel zu Grunde gelegten Prozesse sehr häufig in ehemals periglazial geprägten Gebieten auf. Der Saprolith ist in den Untersuchungsgebieten dieser Arbeit das Ausgangssubstrat der periglazialen Deckschichten und muss vor allem bei Untersuchungen zur Critical Zone neben den auflagernden Sedimentschichten mit einbezogen werden.

2.3.1 Grundlagen zu periglazialen Deckschichten

Die periglazialen Deckschichten sind im mitteleuropäischen Forschungsumfeld ein langjährig untersuchtes sedimentologisches Phänomen. Ausgehend von den ersten Arbeiten in den deutschen Mittelgebirgen, wurden Genese, Alter, Gliederungen und Eigenschaften erarbeitet. Erste Untersuchungen wurden von SEMMEL (1964) sowie SCHILLING & WIEFEL (1962) durchgeführt. Bis heute finden Forschungsarbeiten an den periglazialen Deckschichten statt, um vor allem offene Fragen bezüglich ihres Alters und ihrer ökologischen Relevanz zu klären.

Die Benennung und Definition der einzelnen Schichtglieder variiert bei den einzelnen Autoren. PFEIFFER (2002) zeigt in einer Aufstellung die unterschiedlichen Bezeichnungen im Vergleich (Tabelle 2.4).

Die bodenkundliche Kartieranleitung schlägt zwei Möglichkeiten der Ansprache von periglazialen Deckschichten vor: faziesneutrale oder positionsgebundene Gliederung (AG BODEN 2005). Die faziesneutrale Aufteilung stellt eine Beschreibung der Eigenschaften dar. Anschließend können Anmerkungen zur Substratgenese gemacht werden, wie beispielsweise solimixtiv etc. Die positionsgebundene Substrataufnahme basiert auf der Vertikalabfolge der Schichten im Profil. Diese setzt sich zusammen aus Ober-, Haupt-, Mittel- und Basislage. Neben der bloßen Position im Profil sind mit der

Benennung auch genetische Prozesse und Eigenschaften der einzelnen Lagen verbunden. Die Bezeichnung kann als Ergebnis der zahlreichen Forschungsarbeiten zu den periglazialen Deckschichten gesehen werden und bietet bei einheitlicher Anwendung in den Geowissenschaften die Möglichkeit zum Austausch der Forschungsergebnisse zwischen den zahlreichen Untersuchungsgebieten und Forschergruppen. Daher orientiert sich diese Arbeit auch an der vorgeschlagenen Gliederung der bodenkundlichen Kartieranleitung und versucht diese auf das Untersuchungsgebiet in USA zu übertragen.

Tab. 2.4: Benennung der einzelnen Schichtglieder (PFEIFFER 2002, verändert).

Lagen	Deckschichten, Decken, Folgen							Perstruktionszonen
	AG Boden (2005)	SCHILLING & WIEFEL (1962)	SEMMELE (1968)	FIEDLER & ROTSCHE (1974)	SCHRÖDER & FIEDLER (1977)	ALTERMANN & RABITZSCH (1977)	ALTERMANN, LIEBEROTH & SCHWANECKE (1988)	
Oberlage	Deckfolge		Obere Deckschicht 1	Grobdeckschutt	Decksediment	Oberdecke		γ-Zone
Hauptlage	Hauptfolge	Deckschutt/ Decksediment	Obere Deckschicht 2	Feindeckschutt/ Oberer Skelettlöß	Mittelsediment	Hauptdecke	Mitteldecke	δ-Zone
Mittellage		Mittelschutt		Mittelschutt/ Unterer Skelettlöß	Zwischensediment		Zwischendecke	ε-Zone
Basislage	Basisfolge	Basischutt	Untere Deckschicht	Basischutt/ Basislehm	Basis sediment	Basisdecke	jüngere~ ältere~	ζ-Zone

Die einzelnen Glieder der periglazialen Deckschichten können anhand von Eigenschaften, die auf unterschiedliche Prozesse bei der Entstehung zurückzuführen sind, voneinander abgegrenzt werden. Im Idealprofil treten von oben nach unten folgende Schichten auf: Ober-, Haupt-, Mittel- und Basislage. Nicht immer sind alle Schichtglieder erhalten. Zudem besteht die Möglichkeit, dass Schichten mehrgliedrig vorhanden sind.

Die Oberlage (LO) ist als oberste Schicht selten erhalten. Daher tritt sie in vielen Arbeiten zu periglazialen Deckschichten nicht auf. Auch in den beiden Untersuchungsgebieten der vorliegenden Arbeit ist sie nicht zu finden. Nach bodenkundlicher Kartieranleitung ist sie gekennzeichnet durch das vorliegende Gestein bzw. die darunter liegende Lage (AG BODEN 2005). Ihre Entstehung und vor allem ihre zeitliche Einordnung werden kontrovers diskutiert. Aufgrund der meist spätglazialen Einordnung der tiefer liegenden Hauptlagen, bleibt nur ein kleiner Zeitraum für eine kaltzeitliche und damit periglaziale Bildung (VÖLKELE 1995a). Grundsätzlich dürften sich

Oberlagen auch nur schwer von holozänen anthropogen induzierten Kolluvien unterscheiden lassen.

Die Hauptlage (LH) ist aufgrund des Fehlens der Oberlage meist das oberste Schichtglied. Sie ist flächendeckend in allen Untersuchungsgebieten vorhanden und weist im Mittel konstante Mächtigkeiten von 40-60 cm auf. Die Hauptlage besteht aus gröberem Steinen, deren Zwischenräume mit Feinboden verfüllt sind (VÖLKELE 1995a). Größere Komponenten können parallel zum Hang liegen, aber auch durch Bio- und Kryoturbation gestört sein (KLEBER et al. 1998). Von einer hangparallelen Einregelung aller Skelettkomponenten kann demnach nicht ausgegangen werden. An der Untergrenze der Hauptlage kommen häufig Steinanreicherungen vor. Das Sediment ist aufgrund der heutigen oberflächennahen Position im Hauptwurzelhorizont sowie des Vorkommens von äolischen Komponenten locker gelagert. Die Hauptlage besteht damit aus autochthonen und allochthonen Bestandteilen. Lössleinwehungen sind typisch für diese Schicht.

Zur Entstehung der LH führen vor allem Kryoturbation und äolische Deposition. Diese solimixtiv-kryoturbaten Prozesse, wie auch die äolischen Ablagerungen, stehen mit einem kaltariden Periglazialklima in Verbindung (VÖLKELE et al. 2002a).

Im Liegenden der Hauptlage befindet sich die Mittellage (LM). Sie ist nicht in allen Schichtkomplexen erhalten, kann aber mehrgliedrig auftreten. Sie kommt häufiger in geschützten Lagen und Unterhangbereichen vor. Wie auch schon die Hauptlagen können die Mittellagen äolische Komponenten (Löß/Lößlehm) enthalten. Im Vergleich zur LH sind hier allerdings weniger größere Steine als vielmehr kleinere Steine bzw. grusige Bestandteile enthalten (VÖLKELE 1995b). Der Feinerdeanteil ist aber weiterhin sehr hoch. Ebenso ist die Mittellage eindeutig dichter gelagert und kann sogar in einigen Fällen in Abhängigkeit von Korngrößenzusammensetzung bzw. vom Ausgangsmaterial stauende Wirkung haben (SCHILLING & SPIES 1991). Für den Bayerischen Wald stellt VÖLKELE (1995a) fest, dass die Dichte im Allgemeinen höher als die der Haupt- und geringer als die der nach unten anschließenden Basislage ist. Die sedimentologischen Eigenschaften der Mittellage können regional unterschiedlich ausfallen (VÖLKELE et al. 2002b).

Die Mittellage ist aufgrund der äolischen Komponente und der damit in Zusammenhang stehenden Bodenart leicht von der Basislage zu trennen. Die Abgrenzung von der Hauptlage ist oftmals problematisch. Trotzdem weist sie im Vergleich zur LH andere, gebietstypische Merkmale aus, die eine separate Benennung rechtfertigen (VÖLKELE et al. 2002b).

Wie auch schon bei der LH sind bei der Genese Kryoturbation und äolische Deposition die Grundlage. Die Einarbeitung der äolischen Sedimente in das autochthone Material kann auch durch solifluidale Phasen geschehen (SAUER 2002).

In der Position des untersten Schichtglieds befindet sich die Basislage (LB), die ubiquitär vorhanden ist. Das Auftreten mehrerer Basislagen verschiedenen Alters ist lateral wie vertikal möglich (AG BODEN 2005). Insbesondere in Unterhangbereichen oder flacheren Hangpartien können mehrgliedrige Basislagen durch das Überfließen

von Material der steileren Bereiche entstehen (SAUER 2002). Im Gegensatz zu den hangenden Lagen enthält sie keine äolischen Bestandteile und grenzt sich signifikant von den anderen Schichten ab. Damit ist sie geprägt vom anstehenden Ausgangssubstrat und besteht ausschließlich aus autochthonem Material. Neben den oben beschriebenen Schwierigkeiten bei der Trennung von Haupt- und Mittellage ist es aufgrund von Materialähnlichkeiten gelegentlich nicht einfach, die Grenze zwischen Basislage und Ausgangsmaterial zu ziehen.

Die Skelettkomponenten in der Basislage sind weitestgehend hangparallel eingeregelt (VÖLKELE 1995a). Typischerweise findet man Steine mit Lehmhauben und blanken Unterseiten, die einen Hinweis auf die Wasserzügigkeit dieser Schicht geben. Die Basislagen sind meist dicht gelagert.

Der überwiegende Entstehungsprozess ist die Solifluktion bzw. auch Spülprozesse über oberflächlich aufgetautem Permafrost. Hier geht man eher von einem kalthumiden Klimaregime aus (VÖLKELE et al. 2002a).

Dass der Begriff und die Definition der periglazialen Deckschichten auch auf das Bearbeitungsgebiet in den USA übertragen werden kann, klärt die Auswertung der Profile in Kapitel 4.1. Sicher ist, dass auch in den heutigen wie auch ehemaligen Periglazialgebieten entsprechende denudative und akkumulative Prozesse stattfinden. In wie weit deren Ablagerungen erhalten sind und einzelnen eiszeitlichen Phasen zugeordnet werden können, ist noch nicht erforscht und zeigt Kapitel 4.2. Nachdem die Deckschichten in ihrer Entstehung von den klimatischen Bedingungen abhängig sind und diese wiederum regional variieren, können auch Unterschiede in den Eigenschaften einzelner Schichten auftreten.

KLEBER (u.a. 1994), der in den 90er Jahren periglaziale Deckschichten im nördlichen Great Basin (USA) untersucht hat, gelingt keine direkte Zuordnung an die deutsche Nomenklatur. Es werden bis zu drei Schichten vorgefunden, die in seinem Untersuchungsgebiet annähernd überall auftreten. Diese unterscheiden sich jedoch bei den Kriterien zur Definition der jeweiligen Lagen von denen in der Bodenkundlichen Kartieranleitung. Es müssen also die regionalen Prozesse und Einflüsse auf die Entstehung genau beachtet und zur Definition und Charakterisierung der auftretenden Deckschichten herangezogen werden. Direkte Vergleiche zwischen Untersuchungsgebieten unterschiedlicher Regionen sind daher oftmals schwierig.

2.3.2 Alter periglazialer Deckschichten

Für die deutschen Mittelgebirge gibt es unterschiedliche Forschungsansätze zur zeitlichen Einordnung der periglazialen Deckschichten. Relative Datierungsmethoden beziehen sich auf stratigraphische Herleitungen des Alters im Kontext der übereinander lagernden Schichten und/oder Horizonten aus Böden, Lössen, Mooren und dem geomorphologischen Formenschatz. Bei der absoluten numerischen Altersbestimmung direkt am Sediment finden beispielsweise Infrarot Stimulierte Lumineszenz (IRSL), Optisch Stimulierte Lumineszenz (OSL) und Radiokohlenstoffdatierung (^{14}C) Verwendung. Neben der Stratigraphie, die immer beachtet werden

muss, bietet sich vor allem die OSL für eine Datierung des Sediments selbst an, da sie den Ablagerungszeitpunkt bestimmt (weitere Ausführungen Kapitel 3.4).

Die periglazialen Deckschichten sind Sedimente der jüngeren Eiszeiten. Aus der Stratigraphie typischer Deckschichtenprofile zeigt sich die Einordnung der Entstehungszeit von jung nach alt in Hauptlage, Mittellage und Basislage. Die Hauptlage weist folglich auf die letzte periglaziale Aktivitätsphase der ehemals unvergletscherten Gebiete des Spätglazials hin.

Das Alter dieser Schicht wird vielfach als jungdryaszeitlich angegeben (u.a. HÜLLE et al. 2009, SAUER 2002, KLEBER 1992, SEMMEL 1964). In den meisten Fällen dient die in der LH zu findende Laacher-See Tephra (LST) als Kriterium für die Bestimmung der Entstehungszeit. Die Herkunft der zeitlichen Einordnung basiert dabei auf geomorphologischen und bodenkundlichen Geländeaufnahmen (KLEBER 1992, SEMMEL 1964). Die LST als einziges Kriterium für die zeitliche Einordnung zu sehen, ist problematisch, da eine frühere Entstehung der Lage und eine erst später folgende Einarbeitung des vulkanischen Materials nicht ausgeschlossen werden kann. Die neueren Arbeiten (HÜLLE et al. 2009, SAUER 2002) bedienen sich zusätzlicher Datierungsmethoden wie IRSL und OSL. Auch bei Methoden, die die letzte Belichtung des abgelagerten Materials datieren, müssen sehr junge Altersangaben hinterfragt werden. Aufgrund der lockeren Lagerung und der Tatsache, dass die Hauptlage als Hauptwurzelbereich dient, kann eine biomixtive Durchmischung und Belichtung des Materials weit nach der Entstehung möglich sein.

Eine Entstehung der LH im Last Glacial Maximum (LGM) liefern beispielsweise SCHILLING & WIEFEL (1962) bei ihren geomorphologischen und stratigraphischen Arbeiten im Thüringer Wald, Schiefergebirge und Harz. Ebenfalls eine ältere Hauptlage ergeben die Arbeiten von VÖLKEL, zusammengefasst in VÖLKEL & LEOPOLD (2001). Anhand von Moorbildungen, deren Datierung und der Lage der periglazialen Deckschichten in und unter den Mooren, konnten für eine Vielzahl deutscher Mittelgebirge eine präböllingzeitliche, aber doch in jedem Fall eine präallerödzeitliche Genese festgelegt werden. Die Position der Hauptlage auf hochwürmzeitlichen Moränen grenzt den Bildungszeitraum auf die Zeit nach dem LGM ein.

Auch für die Mittellage gibt es keine einheitlichen Altersvorstellungen. Datierungen liefern ein LGM-zeitliches Alter (HÜLLE et al. 2009, VÖLKEL & MAHR 1997). Auch SEMMEL (1964) ordnet diese Schicht dem Jungpleistozän zu. Aufgrund von Bodenbildungen wird aber auch in Einzelfällen auf eine mindestens rißzeitliche Entstehung geschlossen (FELIX-HENNINGSEN et al. 1991).

Die Basislage ist die älteste erhaltene Schicht. Sie tritt auch mehrgliedrig auf, was eine weite Streuung der ermittelten Alter zur Folge haben kann. Im Bereich der Datierungen mit OSL oder IRSL, führt eine unzureichende Belichtung während des Entstehungsprozesses zu zu hohen Altern. Es werden Maximalalter von 43-195 ka (HÜLLE et al. 2009) bzw. > 100 ka (VÖLKEL & MAHR 1997) angegeben. Aus den geomorphologischen und geomorphodynamischen Untersuchungen in den deutschen Mittelgebirgen leiten sich Entstehungsphasen im Mittel- oder Altwürm (SAUER 2002,

SCHILLING & WIEFEL 1962), zu Teilen auch im Riß (KLEBER 1992, FELIX-HENNINGSSEN et al. 1991) ab. SAUER (2002) schließt eine erneute Aktivierung der Basislage und Wiederaufbereitung in der Ältesten Dryas nicht aus.

Für die Rocky Mountains der USA gibt es wenige Ansätze zur Erforschung der periglazialen Schichten im Allgemeinen und zur Altersstellung im Besonderen. KLEBER (2001) hat in seinen Untersuchungen in Utah drei Schichten vorgefunden, die er zeitlich folgendermaßen einordnet. Die jüngste Lage entstand demnach in relativ kurzer Zeit gegen Ende des Pinedales überwiegend durch Solifluktion über saisonal gefrorenem Ausgangssubstrat (KLEBER 2001). Die Bildung der darunter liegenden Schicht wird in den Zeitraum nach einem frühglazialen Gletschervorstoß um 65 ka gelegt und mit ca. 50 ka eingeordnet. Die älteste Schicht geht zurück auf das Ende der Bull Lake-Eiszeit. Alle Deckschichten enthalten Löß.

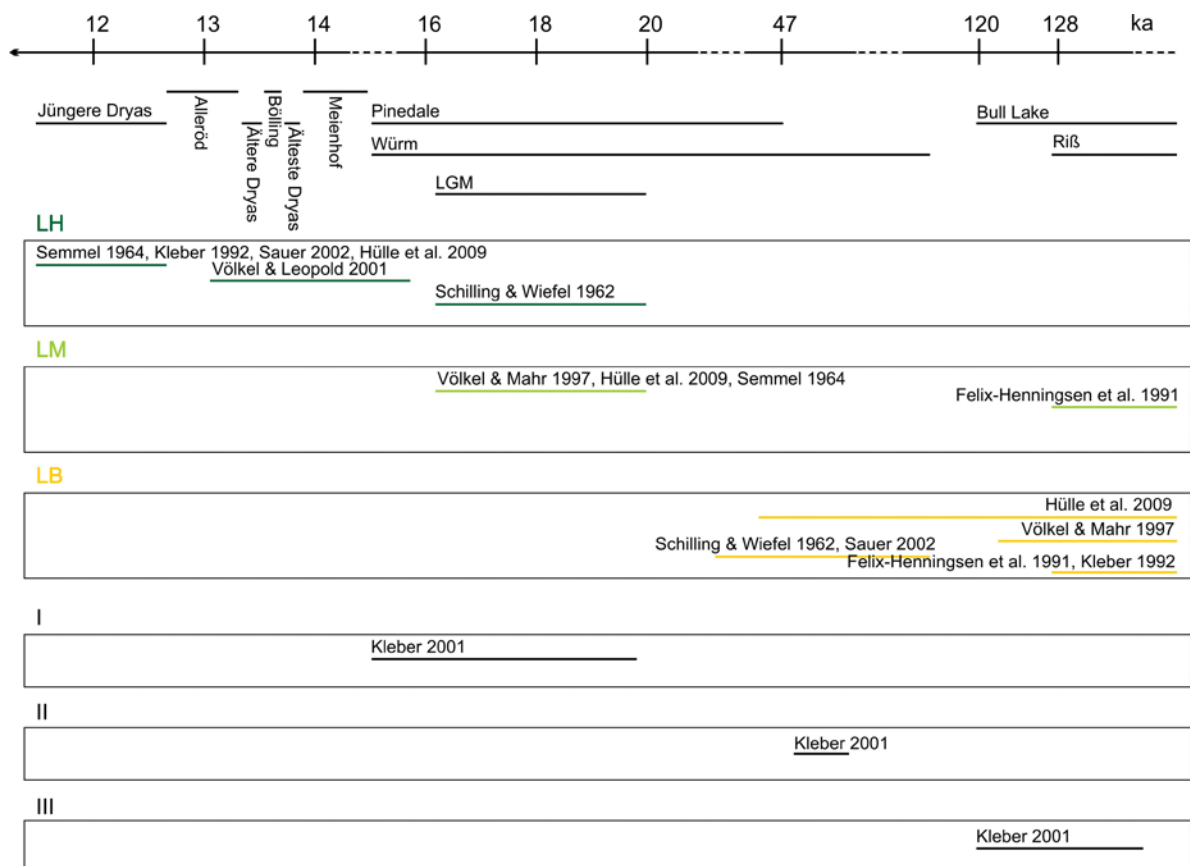


Abb. 2.8: Entstehungszeiträume der periglazialen Deckschichten nach den angegebenen Autoren (zeitliche Gliederung nach LITT et al. 2001 und Abbildung 2.7).

Die Übersicht der Entstehungszeiträume der periglazialen Deckschichten zeigt (Abbildung 2.8), dass vor allem die Haupt- und Basislage verstärkt untersucht wurden, da sie häufiger auftreten. Die Hauptlagen bildeten sich am Ende des Pleistozäns, wo ein vermehrter Wechsel von Kalt- und Warmphasen aufeinander folgte. Im Gegensatz

dazu entstanden die Basislagen frühestens im Mittelwürm. Für die Mittellagen muss ein Zeitraum dazwischen gefunden werden.

Für die USA gibt KLEBER (2001) das Alter für drei Schichten an. Vor allem die unterste Schicht stimmt gut mit den in Mitteleuropa definierten Schichten überein.

Grundsätzlich sind die in der Literatur angegebenen Zeiträume aber weit gefasst und überschneiden sich nicht immer. So kann einer Schicht nicht nur eine einzige Zeitspanne für ihre Entstehung zugeordnet werden (siehe Abbildung 2.8). Nur die Hauptlage ergibt immer spätglaziale Alter. Datierungen sollen weitere Ergebnisse zur Absicherung der bereits dargestellten Alter bringen.

2.3.3 Saprolith

In Kapitel 1.2 wurde der Begriff des Regoliths, der vor allem in der amerikanischen Literatur sehr häufig verwendet wird, definiert als das gesamte Lockermaterial über dem Festgestein. Der Saprolith, der demnach zu diesem Bereich gehört, kann hinsichtlich seiner Genese vom Regolith abgegrenzt werden. HARRASSOWITZ (1930) prägte den Begriff der Verwitterungsdecke, der den Saprolith meint, sich aber nicht durchgesetzt hat. Unter Saprolith wird chemisch tiefenverwittertes Gestein verstanden, dessen Gesteinsstruktur erhalten geblieben ist. Die intensive chemische Verwitterung geht auf ein warm-humides Klima zurück (VALETON 1983). Die Entstehung spiegelt eine alte, präquartäre, vermutlich tertiäre und mesozoische Verwitterung des kristallinen Festgesteins wider (VÖLKELE 1995a). Das Gestein ist locker und mit dem Spaten grabbar. Gefügemerkmale und Lagerung stehen mit dem jeweiligen Ausgangsgestein in Zusammenhang. Auch die chemische Zusammensetzung des Saproliths ist variabel und hängt von der Dauer und Intensität der Verwitterung sowie des vorliegenden Gesteins ab. Auch innerhalb des Saprolithprofils zeigen sich Zonen unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung, vor allem das Tonmineralspektrum betreffend (PETROV 1976). Für den Bayerischen Wald sind unterschiedliche Typen von Saprolith bei VÖLKELE (1999) näher spezifiziert.

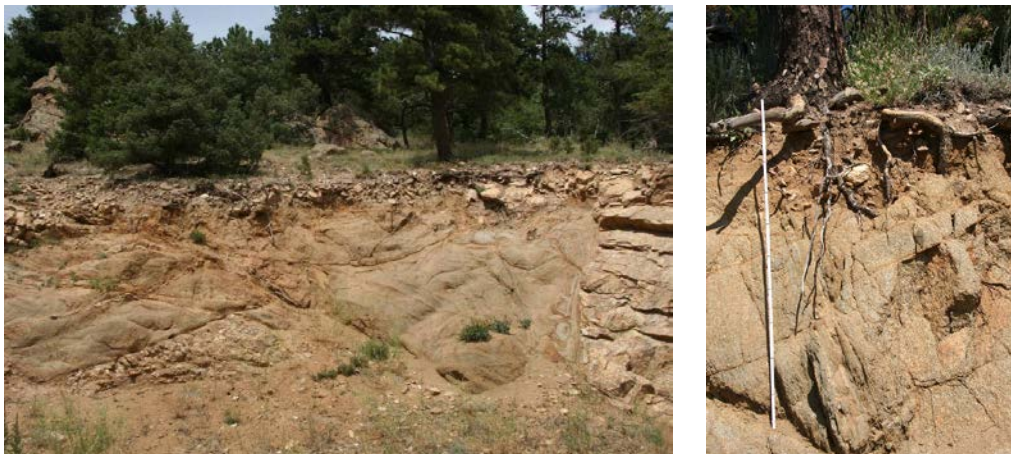


Abb. 2.9: Profil am Straßenanschnitt mit Saprolith und Festgestein, Fourmile Creek, Colorado Front Range (eigene Aufnahme).

Im deutschen Untersuchungsgebiet dieser Arbeit ist der Saprolith nahezu flächendeckend zwischen periglazialen Deckschichten und Gestein bzw. einer zusätzlichen Gesteinszersatzzone sehr mächtig vorhanden.

Auch in der Colorado Front Range ist der Saprolith häufig vorzufinden und an vielen Straßenaufschlüssen zu sehen. Liegen verschiedene Gesteine nebeneinander, kann es zu vertikalen Grenzen zwischen Festgestein und Saprolith kommen (Abbildung 2.9). Der Saprolith bildet meist das Ausgangssubstrat der hangenden periglazialen Deckschichten. So können in den Deckschichten, vor allem in der Basislage, viele stark verwitterte Minerale gefunden werden, die aus dem Saprolith stammen (RAAB et al. 2007).

Periglaziale Deckschichten haben in Deutschland eine lange Forschungsgeschichte, während sie in USA in weiten Teilen unbekannt sind. Die Gliederung in Ober-, Haupt-, Mittel- und Basislage wird durch die jeweilige Genese und den daraus resultierenden Eigenschaften untermauert. Die Entstehungszeit gegen Ende des Pleistozäns ist ebenso charakteristisch für die jeweilige Schicht und kann für Deutschland gut eingegrenzt werden. Für Untersuchungsgebiete in USA, die während der Eiszeiten nicht vergletschert waren, wie große Teile der Rocky Mountains, besteht noch Forschungsbedarf.

2.4 Hangwasser in periglazialen Deckschichten und Saprolith

Die Hydrosphäre ist im Sphärenmodell ein wichtiger Bestandteil der Critical Zone-Forschung. Dieses Kapitel beleuchtet einen Überschneidungsbereich zwischen Litho- (bzw. auch Pedo-) und Hydrosphäre als einen der zentralen Bereiche der Critical Zone. Schon während der Entstehung der periglazialen Deckschichten spielte das Wasser eine entscheidende Rolle. Eine Vielzahl von periglazialen Prozessen wird durch Wasser gesteuert oder verstärkt.

Andererseits nehmen die mit Beteiligung des Wassers entstandenen Schichten heute Einfluss auf die Infiltration und den Fluss des Wassers im Boden. Für die aktuelle Betrachtung von hydrologischen Fragestellungen, u.a. auch von Hochwasserproblematik und Wasserverschmutzung, ist die Kenntnis über die Wirkung von Böden und geschichteten Substraten essentiell.

2.4.1 Wasser im Boden

Das Wasser im Boden ist ein wichtiger Teil des Wasserkreislaufs (Abbildung 2.10). Es entspricht im Wasserkreislauf einem Verbindungsglied zwischen der Atmosphäre und dem Grundwasser (TOPP & FERRÉ 2002) und beeinflusst so, direkt und indirekt, alle Bereiche des Wasserkreislaufs.

Der Teil des Niederschlags, der in den Boden infiltriert, wird als Sickerwasserabfluss bezeichnet. Ihm gegenüber steht das auf der Bodenoberfläche abfließende Wasser,

der Oberflächenabfluss. Dieser ist in den mittleren Breiten unter Wald eher selten (LEIBUNDGUT & UHLENBROOK 1997). Das Verhältnis zwischen Oberflächen- und Sickerwasserabfluss resultiert aus Niederschlagsintensität, Oberflächenbeschaffenheit, Hangneigung und Bodeneigenschaften, wie u.a. Infiltrationskapazität (PESCHKE 2001).

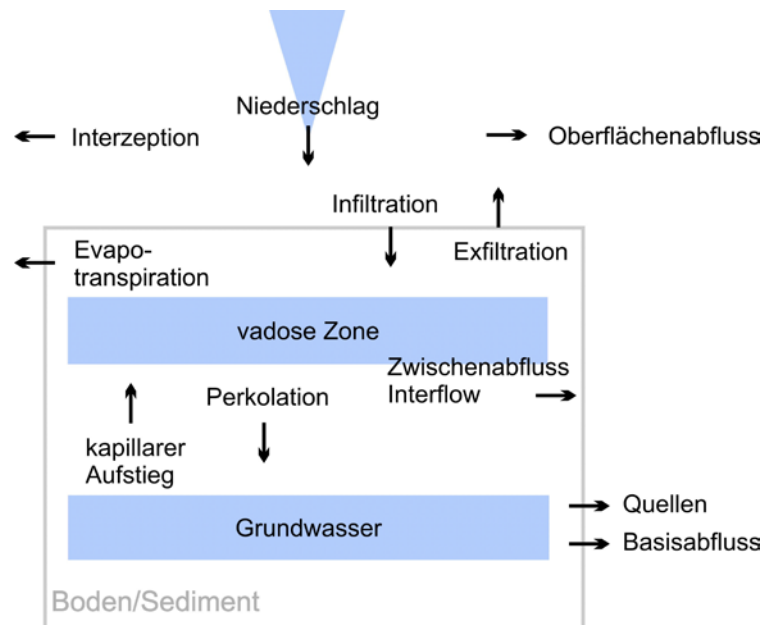


Abb. 2.10: Schematische Darstellung des Wasserkreislaufs im Teilbereich Boden (nach SELBY 1993, DYCK & PESCHKE 1995).

Das Sickerwasser befindet sich im Boden in den Poren gespeichert und folglich zumindest kurzzeitig immobilisiert, als vertikale Bewegung nach unten perkolierend oder lateral gerichtet, oberflächenparallel fließend (Interflow) wieder (BOTSCHKE 1999). Der Sickerwasserabfluss gelangt zeitlich verzögert über das Grundwasser (Basisabfluss) oder über die ungesättigte Bodenzone (Zwischenabfluss) in den jeweiligen Vorfluter (WILHELM 1997).

Die zeitliche Verzögerung des Abflusses ergibt sich durch die Funktion des Bodens als Speicher. Abhängig von der Mächtigkeit des Bodens, dessen physikalischen Eigenschaften und der damit einhergehenden Beschaffenheit des Porenraums hält der Boden unterschiedliche Mengen Wasser (WEINMEISTER 2003).

An Hängen wirkt die Gravitationskraft nicht mehr senkrecht zur Oberfläche, sondern verschiebt sich je nach Hangneigung (MIYAZAKI 2006). Trifft dieses vertikale Sickerwasser auf eine undurchlässige Schicht, wird es in Richtung des Gefälles abgelenkt und fließt lateral entlang der Schicht hangabwärts (GERMANN 1990). Dabei dominiert der gefällebedingte Abfluss (Zwischenabfluss oder Interflow) gegenüber der vertikalen Sickerbewegung (FLÜGEL 1979).

Das Bodenwasser ist definiert als das gesamte im Boden enthaltene Wasser mit Ausnahme des mineralisch gebundenen Wassers (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Je nach Bindungsart an die Bodenmatrix unterscheidet sich das ungebundene Grund- und Stauwasser vom Haftwasser. Das Haftwasser oder auch die so genannte

Bodenfeuchte wird durch die Ausbildung von Menisken in den Poren gehalten (Kapillarwasser) oder durch elektrostatische Kräfte sowie Wasserstoffbrücken an die Bodenteilchen angelagert (Adsorptionswasser). Kräfte, die im Boden auf das Wasser wirken, bestimmen neben dem Halten des Wassers in den Poren auch den Wasserfluss. Bodenwasserbewegungen resultieren aus den im Boden auf das Wasser wirkenden Kräften, die über das Potentialkonzept definiert sind. Das Potential ist als die Arbeit zu sehen, die verrichtet werden muss, um eine bestimmte Menge Wasser innerhalb eines Kraftfeldes zu bewegen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Zu den Teilpotentialen, die sich zum Gesamtpotential summieren, gehören Gravitations-, Matrix-, Gas- und osmotisches Potential. In unterschiedlichen Bereichen des Bodens herrschen häufig unterschiedlich hohe Potentiale. Aufgrund der natürlichen Anstrengung eines Gleichgewichtszustandes resultiert aus den Potentialunterschieden immer ein Wasserfluss in Richtung eines Bereichs niedrigeren Potentials.

Eine wichtige Messgröße im Bereich des Bodenwasserflusses ist die Wasserspannung (auch Saugspannung oder pF-Wert), die als negativer Logarithmus des Matrixpotentials definiert ist. Wasserspannung und Bodenwassergehalt sind häufige Kennwerte zur Beschreibung des Wassers im Boden.

Der Bodenwassergehalt θ ist definiert als die Wassermenge eines bestimmten Bodenbereichs. Dieser Bereich und damit das Bezugssystem basiert auf unterschiedlichen Einheiten. Demnach ist als Bezugsgröße entweder ein erfasstes Volumen (m^3/m^3) oder eine bestimmte Masse (kg/kg) möglich (TOPP & FERRÉ 2002). Der Bodenwassergehalt wird ohne Einheit als Verhältnis oder Prozentsatz angegeben. Die Einheit der Kräfte, unter deren Einfluss das Bodenwasser steht, und damit die Saugspannung, ist hPa.

Die Korrelation von Bodenwassergehalt und der Bindung des Wassers an die Bodenmatrix (Saugspannung) kann in einer Wasserspannungskurve ausgedrückt werden. Durch die kombinierte Darstellung zeigt sich auch deutlich die Abhängigkeit dieser Größen von der Bodenart. Aus der Korngrößenzusammensetzung ergibt sich das mögliche Porenvolumen sowie die Größe der Poren und damit der Raum, in dem Wasser auftreten kann (Tabelle 2.5).

Tab. 2.5: Gliederung der Porengrößen nach Durchmesser; Zusammenhang zwischen Porengröße und Wasserspannung sowie Bodenart und Porenvolumen in % (nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998).

	Porendurchmesser [μm]	pF/ Wasserspannung	Sande [%]	Schluffe [%]	Tone [%]
Porenvolumen			46 \pm 10	47 \pm 9	50 \pm 15
Grobporen	> 50 - 10	< 1,8 - 2,5	30 \pm 10	15 \pm 10	8 \pm 5
Mittelporen	10 - 0,2	2,5 - 4,2	7 \pm 5	15 \pm 7	10 \pm 5
Feinporen	< 0,2	> 4,2	5 \pm 3	15 \pm 5	35 \pm 10

Die Porengröße legt fest, ob Wasser gehalten werden kann oder in andere Bodenbereiche fließt. Die Struktur und Größe der Hohlräume entscheidet über die Speicherung oder Beweglichkeit des Wassers. Während in Feinporen das Wasser gespeichert wird und nicht pflanzenverfügbar vorliegt, sichern die größeren Poren die Wasserversorgung der Pflanzen. Grobporen enthalten vorwiegend im gesättigten Zustand des Bodens Wasser (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Die dort herrschenden Kräfte erzeugen eine Wasserbewegung, die eine längerfristige Wasserfüllung der Poren verhindert.

Neben diesen langsamen Wasserbewegungen in den Bodenporen kann auch ein Fluss entlang von präferenziellen Fließwegen in Makroporen, sichtbaren Rissen und Röhren auftreten. Der Einfluss der Bodenmatrix und damit der Kapillarkräfte auf das Wasser ist aufgrund der Größe der Hohlräume geringer (BRONSTERT 1994), so dass Makroporen im Bezug auf die Wasserbewegung einen geringen Fließwiderstand und eine hohe Leitfähigkeit besitzen (TINDALL 1999). Daraus folgt die Möglichkeit eines schnelleren und mengenmäßig größeren Wassertransports (MIYAZAKI 2006) sowie die Verstärkung des Abflusses bei entsprechend systematischen Verbindungen der Makroporen im Boden (UHLENBROOK 1999, MANIAK 1997). Makroporensysteme sind wegen der biologischen Aktivität unter Wald besonders häufig (BUCHTER et al. 1997). Im Fall von kurz und diskontinuierlich ausgebildeten Makroporensystemen schaffen Überbrückungen, beispielsweise mittels des umgebenden Bodens, Wurzeln, grundwasserfernen Wasserspeichern und Rissen im Gestein, ein durchgängiges Netzwerk (NOGUCHI et al. 1999). Präferenzielle Fließsysteme verändern das zu erwartende gleichmäßige Sickerwasserbild im Substrat und erschweren eine Erfassung des Abflusses.

Eine Änderung der Bodenart, wie auch die Ausbildung präferenzialer Fließwege, können in Verbindung mit Schichtungsphänomenen im Profil stehen. Die damit verbundene Veränderung des Sickerwasserflusses führt zu einem weit reichenden Einfluss auf die Wasserbewegungen im Substrat selbst und im Einzugsgebiet.

2.4.2 Wasser in geschichteten Substraten

Bei unterschiedlichen übereinander liegenden Schichten in einem Bodenprofil ändern sich mit dem Wechsel der Schicht auch die Zusammensetzung der Bodenmatrix sowie die hydrologischen Eigenschaften und folglich der Wasserfluss im Substrat.

Durch einen Wasserstau an der Schichtgrenze bzw. im Übertritt zur liegenden Schicht kann ein lateraler Zwischenabfluss initiiert werden (BUCHTER et al. 1997). Dabei wirkt eine wenig durchlässige Schicht als hydrologische Barriere, die eine Aufsättigung des Profils von unten her zur Folge hat (KUTILEK 1994). Durch den erhöhten Wassergehalt verringert sich das Matrixpotential, wobei die Gravitationskraft stärker auf das Wasser wirkt und den lateralen Abfluss begünstigt. Damit geht eine Verlangsamung der Bodenwasserausbreitung im Bezug auf das Gesamtprofil und eine verminderte Infiltrationskapazität einher.

Die Ablenkung des Sickerwassers an einer Schichtgrenze kann unabhängig von der Bodenart der beiden Schichten geschehen, so lange sie unterschiedlich sind. Kleinere Poren können ein Aufstauen verursachen, wenn sie die Menge des durch größere Poren eindringenden Wassers nicht schnell genug aufnehmen können. Nach dem Kapillarsperrenprinzip kann aber auch eine Schicht mit größeren Poren als Stauer wirken, wenn das Wasser in den feineren Poren kapillar gehalten wird und aufgrund zu großer Spannkraft nicht in die größeren Poren fließen kann. Das ist vor allem bei trockenen Bedingungen der Fall. Ein feuchter oder sogar gesättigter Zustand würde die Durchlässigkeit erhöhen (MONTENEGRO FERRIGNO 1995). Durch den lateralen Abfluss entlang der Schichtgrenze und die Akkumulation von Wasser verringert sich im Grenzbereich das Matrixpotential in der gröberen Schicht, wobei sich gleichzeitig die hydraulische Leitfähigkeit erhöht (HEILIG et al. 2003). Es kommt hangabwärts zusätzlich zum lateralen Fluss zur langsamen Infiltration in die untere Schicht, wie in Abbildung 2.11 zu sehen ist.

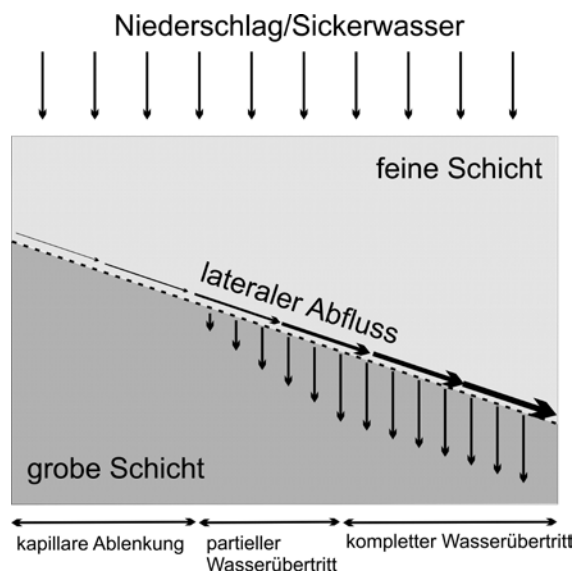


Abb. 2.11: Schematische Darstellung der Infiltration und der Entstehung von lateralem Abfluss an einer Schichtgrenze (nach HEILIG et al. 2003, verändert).

Inwieweit eine Schicht eine Barriere darstellt, hängt also auch von der anfänglichen Feuchteverteilung ab, da hohe Saugspannungswerte in trockenen Substraten der Gravitation entgegen wirken und den Wasserfluss hemmen (MONTENEGRO FERRIGNO 1995). Durch eine zunehmende Bodenfeuchte wird die hydraulische Leitfähigkeit erhöht und der Abfluss im Boden erleichtert (MCNAMARA et al. 2005). Vor allem präferenzielle Fließwege, die im Zusammenhang mit größeren Hohlräumen im Boden stehen, können bei entsprechender Vorfeuchte besser für den Wasserfluss genutzt werden. Daher ist es sinnvoll, die Gebietsvorfeuchte bei der Bewertung einzelner Abflussereignisse zu berücksichtigen, wie auch in der Arbeit von HELLER (2012), die ihre Untersuchungen zum Abfluss in geschichteten Substraten in unterschiedliche Vorfeuchtestufen einteilt.

Weitere Faktoren, die auf die Nutzbarkeit der präferentiellen Fließwege für den Wasserfluss wirken, sind neben der Vorfeuchte, Niederschlagsintensität, Topographie sowie Substrat, dessen Mächtigkeit und Substrateigenschaften (LIN & ZHOU 2008).

Ehemals periglazial beeinflusste Hänge, die als ein typisches und häufig anzutreffendes Schichtungsphänomen periglaziale Deckschichten aufweisen, haben durch die Änderung der physikalischen Eigenschaften von Schicht zu Schicht einen Einfluss auf das Abflussverhalten am Hang.

Aus den in Kapitel 2.4.1 beschriebenen charakteristischen Eigenschaften der Lagen lassen sich Hinweise auf deren Einfluss auf den Wasserhaushalt und die hydrologischen Prozesse im Boden ableiten. Die Hauptlage wird als überwiegend locker gelagert und gut durchwurzelt beschrieben (VÖLKELE et al. 2002b). Ein gut nutzbares Porenvolumen führt dazu, dass sie für die Sickerwasserbewegung sehr durchlässig ist (BRAUKÄMPER 1990). Das Wasser kann infiltrieren, versickern sowie gegebenenfalls durch präferenzielle Fließwege entlang von Wurzeln und Störungen des Oberbodens in tiefere Schichten geleitet werden. Die Mittellagen stellen sich in verschiedenen Mittelgebirgen unterschiedlich dar. KLEBER et al. (1998) folgern aus der variierenden Dichte dieser Schicht eine Abhängigkeit vom Ausgangssubstrat. Je nach Lagerungsdichte und Wasserleitfähigkeit werden der Mittellage stauende oder durchlässige Eigenschaften zugeschrieben (VÖLKELE et al. 2002b), so dass es im Fall einer stauenden Schicht zu einer Ablenkung des infiltrierten Wassers an der Grenze zwischen Haupt- und Mittellage kommen kann. Im Bayerischen Wald liegen die Mittellagen, obwohl schon dichter gelagert als die Hauptlagen, überwiegend wasserdurchlässig vor (VÖLKELE 1994). Trotzdem variieren die Eigenschaften und das grundsätzliche Vorkommen der Mittellage gelegentlich auch innerhalb eines Untersuchungsgebietes, weswegen die Charakterisierung im Bezug auf ihre hydrologischen Einflüsse schwierig und ebenso veränderlich ist. Auch die Basislagen wirken unterschiedlich auf das Auftreten hanghydrologischer Prozesse. Durch die dichte Lagerung der Bodenmatrix treten Staueffekte an der Grenze zur hangenden Schicht oder im Fall von mehrgliedrigen Basislagen auch innerhalb des Schichtkomplexes auf (KLEBER 1997). Andererseits verursachen die hangparallel in Richtung des Gefälles angeordneten Skelettkomponenten eine Umlenkung des Sickerwassers hangabwärts hin zum Interflow (VÖLKELE et al. 2002b). Die Basislage wird damit nicht nur als hydrologische Barriere, sondern auch als wasserleitende Schicht vorgefunden, in der sich die bevorzugten Wege des Hangwassers befinden (VÖLKELE & RAAB 1998). Die charakteristischen Schluffkappen und blanken Unterseiten der Skelettbestandteile weisen sich als Indiz für den Interflow in dieser Schicht aus. Zusätzlich besteht bei stärkeren Niederschlägen die Möglichkeit, dass sich auf der teilweise undurchlässigen Basislage, bzw. auch auf Saprolith, aufgesetzte Grundwasserkörper oder Hangwasserspeicher bilden (UHLENBROOK 1999). Damit stellt vor allem die Zersatzzone einen großen Wasserspeicher oberhalb des Grundwassers dar (MICHL 1999). Solche Stauwasserkörper am Hang speichern Wasser und geben dieses bei weiterer verstärkter Wasserzufuhr ab.

Mit der Bildung von Hangwasserspeichern und -abflüssen stehen auch Quellhorizonte bzw. Quellaustritte an Weganschnitten in Zusammenhang, die mit austreichenden wasserführenden Schichten in Beziehung zu setzen sind. Diese treten im Bereich der Basislage (MICHL 1999) oder unterhalb des Deckschichtenkörpers auf (BRAUKÄMPER 1990).

Neben den Eigenschaften des jeweiligen Substrats spielen auch die Mächtigkeit und Lage der Schichten zueinander eine Rolle. Untersuchungen zum Wasserhaushalt der Hänge müssen also unter Beachtung der sedimentologischen und geologischen Gegebenheiten im Allgemeinen sowie hier der periglazialen Deckschichten und deren Ausgangssubstrat im Speziellen geführt werden. Dem anstehenden Gestein sowie dessen Verwitterungsprodukt kommt nicht nur aus Gründen des eigenen Wirkens hinsichtlich hydrologischer Prozesse Bedeutung zu. Die Lithologie prägt entscheidend die Schichten, in besonderem Maße die Basislage, die überwiegend aus autochthonem Material besteht. Aber auch Haupt- und Mittellage bestehen zu großen Teilen aus autochthonem Material, mit Ausnahme äolischer Beimengungen.

Forschungsarbeiten zu den periglazialen Deckschichten, die den Wasserfluss in ihnen betreffen, liegen für einige mitteleuropäische Mittelgebirge und sind in Tabelle 2.6 zusammengefasst. In den hier aufgeführten Arbeiten zeigt sich, dass eine liegende stauende Schicht zu einer Ablenkung in Richtung des Hanggefälles führt und folglich ein Zwischenabfluss bzw. Interflow entsteht. Bei der stauenden Schicht handelt es sich überwiegend um die Basislage, z.T. auch die Mittellage, so dass der laterale Wasserfluss in der Mittellage oder in der Hauptlage (bei stauender oder fehlender LM) stattfindet.

Tab. 2.6: Ausgewählte Forschungsarbeiten zum Wasserfluss in periglazialen Deckschichten (chronologisch geordnet).

Autor	Lage und Lithologie	Hydrologische Eigenschaften		
		Hauptlage (LH)	Mittellage (LM)	Basislage (LB)
FLÜGEL & SCHWARZ (1988)	Kleiner Odenwald Sandstein			Interflow über präferenzielle Fließwege
SEEGER et al. (1989)	Nördlicher Schwarzwald, Buntsandstein	Interflow über Ortsteinbildungen in der LH	-	Interflow an der Grenze zum Anstehenden
KÖRNER (1996)	Süddeutsches Keuperbergland, Sandstein	Zwischenabfluss an der Grenze zur LB (bei fehlender LM)	-	stauend
KLEBER et al. (1998)	Frankenwald, Tonschiefer	Niederschlag gering: Zwischenabfluss	Niederschlag gering: Zwischenabfluss	Niederschlag gering: stauend Niederschlag hoch: Zwischenabfluss

Fortsetzung Tab. 2.6

Autor	Lage und Lithologie	Hydrologische Eigenschaften		
		Hauptlage (LH)	Mittellage (LM)	Basislage (LB)
SCHOLTEN et al. (1999)	Ostharz, Tonschiefer, Granit	Zwischenabfluss	stauend	Niederschlag hoch: Zwischenabfluss über präferenzielle Fließwege in die LB
TILCH et al. (2002)	Schwarzwald, Gneis	Mäßig durchlässig, schneller Zwischenabfluss nur bei Hangneigung > 30°	-	stauend
CHAPLOT & WALTER (2003)	Armorikanisches Massiv, Schiefer, Granit	Gut durchlässig	-	Zwischenabfluss (Saprolith stauend)
CHIFFLARD et al. (2008)	Sauerland, geschichtete Siltsteine des Unter- und Mitteldevons	Ungesättigt: Zwischenabfluss	Ungesättigt: Zwischenabfluss	Ungesättigt: stauend Gesättigt, sobald Wasser infiltriert: Zwischenabfluss
SCHOBEL (2008)	Trier-Bitburger Mulde (Untersuchungsgebiet Idenheim), Muschelkalk	Zwischenabfluss an der Grenze zur LB (bei fehlender LM)		stauend
HELLER (2012)	Erzgebirge, Gneis	Geringe Vorfeuchte: Vertikaler Wasserfluss, Speicher Mittlere Vorfeuchte: Vertikaler Wasserfluss Hohe Vorfeuchte: Vertikaler Wasserfluss	Geringe Vorfeuchte: Vertikaler Wasserfluss, Speicher Mittlere Vorfeuchte: Kleinräumig lateraler Wasserfluss Hohe Vorfeuchte: Vertikaler Wasserfluss	Geringe Vorfeuchte: Vertikaler Wasserfluss obere LB, Speicher Mittlere Vorfeuchte: stauend Hohe Vorfeuchte: Lateraler Wasserfluss in der oberen LB, untere LB stauend

Erst bei hoher Gebietsvorfeuchte (HELLER 2012) oder wenn präferenzielle Fließwege das Wasser schnell in tiefere Bereiche bringt (FLÜGEL & SCHWARZ 1988), kann sich durch den Übertritt des Wassers in die Basislage Zwischenabfluss in derselben bilden. Aufgrund des Einflusses der Vorfeuchte wurden diese vor allem in den letzten Jahren verstärkt bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt.

Welche Schicht letztendlich stauende Eigenschaften hat, hängt meist vom Ausgangsgestein der Deckschichtenbildung ab. Daher ist es notwendig, für Gebiete unterschiedlicher Lithologie entsprechende Analysen zum Wasserfluss durchzuführen (HELLER 2012). Der massive Einfluss der Vorfeuchte muss ebenso bei Untersuchungsgebieten unterschiedlicher Klimate gesondert bewertet werden.

Nicht in allen Forschungsarbeiten wird das Ausgangssubstrat der Deckschichtenbildung direkt mit einbezogen. Einige Ergebnisse zeigen allerdings, dass Saprolith (CHAPLOT & WALTER 2003) oder Anstehendes (SEEGER et al. 1989) stauende Wirkung ausüben und Interflow induzieren kann. Ebenso kann der Basislage oder dem Saprolith eine Speicherfunktion zugesprochen werden (UHLENBROOK 1999). Daher ist neben den periglazialen Deckschichten auch der Einfluss des Saproliths zu bewerten.

Wasser im Boden oder Sediment ist eine wichtige, den Gebietsabfluss bestimmende Komponente. Vor allem in geschichteten Substraten mit unterschiedlichen hydrologischen Eigenschaften, wie den periglazialen Deckschichten, ist der Wasserfluss in Menge, Richtung und zeitlicher Verzögerung von den Schichten beeinflusst. Typisch ist der durch die Schichtung entstehende Zwischenabfluss, der einen großen Teil des Gesamtabflusses darstellt. Untersuchungen zum Wasserfluss müssen die Vorgeuchte (Klima, Witterung) sowie die Lithologie (Ausgangssubstrat der Deckschichten, Liegendes der Deckschichten) berücksichtigen.

3 Methoden

3.1 Geländeaufnahme

Die Geländeaufnahmen fanden im Otterbachtal im Herbst 2005 sowie im Frühjahr 2010 und mit einer abschließenden Beprobung im Herbst 2011 statt. In der Colorado Front Range wurden in mehreren Geländeaufenthalten Daten gesammelt: August 2008, Mai 2009, August 2009, Juli 2010, Juni 2011 und Juli 2012.

3.1.1 Gebietsbeschreibende Größen

Die klimatischen Kenngrößen liegen über die Jahresklimatabeln und die Mittelwerte vor. Genauere Hinweise zum Niederschlag liefern indirekt die im Untersuchungsgebiet Otterbachtal im Bereich der Hammermühle erfassten Pegelstände. Diese korrelieren mit den Daten der Bodenwassermessstationen.

Die klimatischen Hintergründe spielen vor allem bei der Bodenbildung und für die typische Vegetation der Region eine Rolle. Genauere witterungsbedingte Unterschiede (ersichtlich über die Pegelstände) helfen bei der Auswertung der Bodenwassergehaltsmessungen als Grundlage für die hydrologische Interpretation.

Im Untersuchungsgebiet Otterbachtal gibt zusätzlich die Aufnahme der Humusform bzw. Mächtigkeiten der einzelnen Auflagehorizonte L, Of, Oh sowie des mineralischen Ah Auskunft über den Einfluss der Pflanzen. Dazu wurden auf 20 x 20 m großen abgesteckten Bereichen pro Fläche 100 mal die Mächtigkeit der einzelnen Horizonte gemessen und gemittelt. Die vier Flächen liegen jeweils entweder unter Nadel- oder Laubwald auf steilerem oder flacherem Gelände.

3.1.2 Profilaufnahme

Die Profile werden unter besonderer Beachtung der Stratigraphie aufgenommen. Die bodenkundliche Beschreibung erfolgt nach KA 5 (Bodenkundliche Kartieranleitung, AG BODEN 2005). Hinweise auf hydrologische und stoffliche Besonderheiten werden ebenfalls notiert. Die Profilaufnahme ist damit die Grundlage für die Untersuchungen und Interpretation der Schichtzusammensetzung und essentiell für die Bewertung der Ergebnisse der Laboranalytik.

Im Otterbachtal befinden sich sechs Profile entlang einer Catena sowie drei im erweiterten Untersuchungsgebiet, die die Neuaufnahme des Profils 6939-4 aus VÖLKELE (1995a) beinhalten. Im größeren Untersuchungsgebiet in der Colorado Front Range wurden in unterschiedlichen Höhenstufen 47 Profile erfasst, davon 29 beschrieben und beprobt. Die Beprobung der Profile orientierte sich nach dem jeweiligen Schichtaufbau. Die Profilbenennung, genauso wie die Nummerierung der entnommenen Proben, setzen sich aus den jeweiligen Blattnummern der topographischen Karten (in Deutschland Maßstab 1:25000 [Meter], in den USA 1:24000 [Meilen]), der Profil- (chronologisch) und der Probennummer (von oben nach unten) zusammen. Eine

Auflistung der bearbeiteten Profile sowie deren Proben zeigt Tabelle 3.1. Die Lage der Profile ist in den Karten A.1.1 und A.1.2 im Anhang angegeben. Anhang A.2 enthält alle Profilbeschreibungen und Laborergebnisse.

Tab. 3.1: Übersicht über die beprobten Profile in den Untersuchungsgebieten.

Topographische Karte	Blatt Nr.	Profil Nr.	Proben Nr.	Anzahl der Datierungsproben	
				OSL	¹⁴ C
USA					
Eldorado Springs	4963 IV NE	1	/1-/5	-	-
		2	/1-/4, /10-/22	2	-
		3	/1-/15	3	-
		4	/1-/5	-	2
		5	/1-/3	2	-
Boulder	4964 III SE	12	/1-/6	3	-
		1-4	/1-/4, /1, /1	5	2
		5	/1-/4	-	-
		7	/1-/7	3	-
		8, 9	/1, /1	-	-
		10	/1-/3	3	-
		14	/1-/10	3	-
Gold Hill	4965 III SW	16	/1-/9	3	-
		5	/1-/3	4	-
		6	/1-/6	2	1
		7	/1-/6	1	-
		8	/1-/6	5	-
		9	/1-/8	3	-
		10	/1-/7	2	1
		12	/1-/4	-	-
		14	/1-/4	3	-
		20	/1-/4	2 (ausstehend)	-
Ward	4864 II SE	1	/1-/6	3	-
		2	/1-/15	-	-
		3	/1-/4	1 (ausstehend)	-
		4	/1-/3	-	-
		5	/1-/12	6 (ausstehend)	-
		8	/1-/5	2 (ausstehend)	-
Deutschland					
Donaustauf	6939	4	/1-/10	4	-
		21	/1-/10	2	-
		22	/1-/4	2	-
		23	/1-/11, /B1-/B3	3	-
		24	/1-/9, /B1-/B7	3	-
		25	/1-/9	2	-
		26	/1-/8	-	-
		29	/1-/7	2	-
		30	/1-/7	4	-

Im Untersuchungsgebiet Colorado Front Range wurden als Ergänzung der Profilbeschreibung Einregelungsmessungen des Bodenskeletts (Situmetrie) zur Untermuerung der periglazialen Genese des Sediments durchgeführt. Dies geschieht, wie auch bei RAAB (1999), nach der Methode von POSER & HÖVERMANN (1951). Hierbei wird ein Halbkreis in 30° Sektoren unterteilt, so dass sechs Teilflächen entstehen. Das Situmeter, wie eben beschrieben, wird in Richtung des Hanggefälles am Profil

ausgerichtet und jeweils 100 Steine der Größe 2-12 cm aus jeder Schicht nach den sechs Sektoren klassifiziert. Steine, deren Längsachse nicht in Richtung des Hanggefälles ausgerichtet ist, zählen zu einer weiteren Gruppe und werden auch zu den 100 Steinen addiert. Für eine solifluidale Verlagerung sprechen Ergebnisse, deren Maximum bei den dem Hanggefälle folgenden Steinen liegt (POSER & HÖVERMANN 1951).

Die Geländeaufnahme ist die Grundlage der bodenkundlich-geomorphologischen Arbeit und hilft weitere Ergebnisse im räumlichen Kontext zu sehen. Während die Profile im Otterbachtal gezielt zur Untersuchung des Wassergehalts in den Schichten und zur weiteren zeitlichen Einordnung der periglazialen Deckschichten in Deutschland dienen soll, wird in den USA eine Vielzahl von Profilen in einem größeren Gebiet benötigt, um das Auftreten der periglazialen Deckschichten vor Ort erstmalig und in einer breiteren Form analysieren zu können.

3.2 Laboranalytik

Alle Proben werden im Labor, nach der Trocknung der Proben im Trockenschrank bei 40 °C, gemörsert und durch ein 2 mm-Sieb gegeben, um Fein- von Grobboden zu trennen. Die Durchführung der im Folgenden beschriebenen Analysen erfolgte am Feinboden (< 2 mm). Die in der Arbeitsgruppe üblichen Methoden werden in diesem Kapitel kurz erläutert und sind bei VÖLKEL (1995a) als auch MAHR (1998) zu finden.

3.2.1 Bodenphysikalische Größen

Die Bodenfarbe wird an feuchten Proben im Labor unter gleich bleibenden Lichtbedingungen durch Vergleich mit der Munsell-Farbtafel angegeben. Dabei können beispielsweise farbige Oxidanreicherungen chemische Inhaltsstoffe der Schichten anzeigen.

Die Korngrößenanalyse wird mittels eines kombinierten Schlämm- und Siebverfahren nach KÖHN & KÖTTGEN, wie bei MAHR (1998) beschrieben, durchgeführt. Die prozentualen Angaben beziehen sich beim Skelett auf das Gewicht der Gesamtprobe und bei den anderen Unterteilungen auf das Feinbodengewicht. Die Bodenart wird nach Abbildung 17 der Bodenkundlichen Kartieranleitung aus der Korngrößenzusammensetzung abgeleitet (AG BODEN 2005).

Die Bodenart ist eine mögliche Eigenschaft, die typisch für die jeweilige Schicht ist und die zur Abgrenzung von anderen dienen könnte. Des Weiteren gibt sie Aufschluss über die Porenverteilung und damit den Raum, in dem das Bodenwasser fließt.

3.2.2 Geochemische Analysen

Der pH-Wert wird in einer Lösung mit CaCl_2 zweifach (nach 30 Minuten und nach 24 Stunden) bestimmt. Das Ergebnis kann Aufschluss über das Ausgangsgestein und eventuelle äolische Komponenten (z.B. Löß) geben.

Ob Karbonat enthalten ist, wird zuerst bei der Vorbestimmung mit 10%iger HCl überprüft. Karbonat ist in den meisten Proben nicht zu erwarten, da die Ausgangsgesteine in beiden Untersuchungsgebieten nicht carbonathaltig sind. Daher wird keine weitere Karbonatbestimmung durchgeführt.

Der organische Kohlenstoff (C_{org}) wird durch Oxidation mittels Kaliumdichromat in einer schwefelsauren Lösung, der so genannten nassen Veraschung, bestimmt. Das dabei gebildete Cr(III) kann das Spektralphotometer (UV/VIS-Spektrophotometer Lambda 2, Perkin Elmer, Wellenlänge 578 nm) quantitativ erfassen.

Die Gesamtgehalte an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel werden an gemahlene Proben mit dem universellen CHNOS-Elementaranalysator vario EL III (Elementar Analysensysteme GmbH) gemessen. Der quantitative Hochtemperaturaufschluss überführt feste Substanzen in gasförmige Verbindungen. Die einzelnen Komponenten des Gasgemisches werden durch spezifische Adsorptionssäulen getrennt und mit Wärmeleitfähigkeitsdetektoren relativ bestimmt. Das Gerät gibt die Mengen der Elemente in % an. Aus den Ergebnissen lässt sich das C/N-Verhältnis errechnen, das als Indikator für die Stickstoffverfügbarkeit gilt und damit auch für die Bodenfruchtbarkeit. Ein enges C/N-Verhältnis bzw. ein Wert unter 20 weist auf eine ausreichende Versorgung der meisten Pflanzen mit Stickstoff hin.

Für die Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK) werden die Proben, wie von MAHR (1998) beschrieben, aufbereitet und mit dem Atomabsorptionsspektrometer (AAS) der Firma Thermo Fisher gemessen. Erfasste Elemente sind Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, wobei sich die KAK aus der Summe der gemessenen Elemente in mmol zusammensetzt und die Basensättigung (BS) die Summe der Elemente K, Na, Mg und Ca in Prozent ist.

Die bei der Bodenbildung entstehenden pedogenen Oxide Eisen, Aluminium und Mangan werden nach ihrer Bindungsform und damit Löslichkeit mit sequentieller Extraktion und Messung mit dem Atomabsorptionsspektrometer (Thermo Fisher) ermittelt. Die Unterteilung der Oxide geschieht mit Hilfe von Pyrophosphat, Oxalat und Dithionit, anhand derer sich metallorganische Verbindungen, schlecht kristallisierte und kristalline Oxide unterscheiden. Die genaue Durchführung ist bei MAHR (1998) ausführlich beschrieben.

Die qualitative Bestimmung silikatischer Tonminerale erfolgt mit der Messung am Röntgendiffraktometer (D 5000, Siemens). Die vorherige Aufbereitung beinhaltet die Entfernung von Carbonat, organischer Substanz und Sesquioxiden, die Abtrennung der Tonfraktion im Atterbergzylinder sowie die Herstellung verschiedener Präparate. Das Normalpräparat ergibt sich durch die Belegung mit Magnesium. Eine Weiterbearbeitung zur Unterscheidung der Minerale im Diffraktogramm findet durch Ethylenglykol (geweitetes Präparat), Kalium (Kontraktionspräparat) und wenn nötig

Erhitzen (getempertes Präparat) statt. Die genauen Arbeitsschritte sind bei MAHR (1998) hinterlegt. Die qualitative Auswertung geschieht mit der Software MacDiff, die es ermöglicht, Hintergrundwerte abzuziehen, die Linien zu Glätten und die einzelnen Minerale einzuordnen. Eine quantitative Erhebung findet nicht statt.

Die stoffliche Zusammensetzung der Proben wird zudem mit der feldportablen Röntgenfluoreszenzanalyse (FPRFA) dargestellt. Bei der Röntgenfluoreszenzanalyse kann durch die Messung der spezifischen Energien, die bei der Anregung von Atomen durch Röntgenstrahlung frei wird, auf die Art und Menge der jeweiligen Elemente geschlossen werden (KALNICKY & SINGHVI 2001). Für das hier verwendete Gerät Niton XL3t 900 der Firma Thermo Fisher Scientific sind die in Abbildung 3.1 dargestellten Elemente kalibriert, die unter Verwendung unterschiedlicher Filter gemessen werden können. Die vorgeschaltete Heliumspülung erlaubt es, zusätzliche Elemente zu erfassen, die sonst durch die Luft zwischen Probe und Gerät absorbiert werden würden. Dieses Zusatzmodul kam in der vorliegenden Arbeit nicht zur Anwendung. Insgesamt sind 31 Elemente, bzw. 37 mit He-Spülung, ermittelbar (Abbildung 3.1). Alle 31 Elemente wurden standardmäßig gemessen, wobei aufgrund geringer Mengen der restlichen Elemente überwiegend Zr, Sr, Rb, Th, Pb, Zn, Fe, Mn, V, Ti, Ca und K angegeben sind.

Filter																													
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> main He-Spülung </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> low high </div>												1																	2
H																	He												
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne								
Na	Mg	Nebengruppenelemente														Al	Si	P	S	Cl	Ar								
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe												
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn												
Fr	Ra	Ac	Rf	Ha	Sg	Ns	Hs	Mt	Unn	Unu																			
Übergangsmetalle																													
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																

Abb. 3.1: Mit der RFA XL3t 900 messbare Elemente (farbig markiert).

Um eine größere Genauigkeit zu erlangen, wird das getrocknete Material gemörsert, anschließend gemahlen und in Probencups im Labormodus gemessen. Die Messzeit pro Probe beträgt 360 Sekunden. Die gemessenen Werte gibt das Gerät in ppm an.

Von den so ermittelten Elementgehalten muss bei der Datenauswertung der Blindwert subtrahiert und die Nachweisgrenzen (Tabelle 3.2) der einzelnen Elemente berücksichtigt werden.

Tab. 3.2: Ermittelte Nachweisgrenzen der RFA XL3t 900

Nachweisgrenzen [ppm]																
Mo	Zr	Sr	U	Rb	Th	Pb	Se	As	Hg	Zn	W	Cu	Ni	Co	Fe	Mn
4,62	5,05	4,56	5,10	2,11	4,29	5,30	2,37	4,34	4,83	7,65	31,16	15,12	34,39	23,65	31,15	34,54
Cr	V	Ti	Sc	Ca	K	S										
21,96	11,44	47,05	7,91	98,18	20,90	29,39										
Ba	Cs	Te	Sb	Sn	Cd	Ag	Pd									
38,15	29,06	47,33	29,51	19,33	9,58	4,60	4,88									

Erste Versuche zur Genauigkeit der Messungen an Bodenproben im Feld (Colorado Front Range, August 2008) zeigen im Mittel eine gute Übereinstimmung. Hierfür wurden pro später beprobten Profilibereich zehn Messungen à 90 Sekunden zu einem Mittelwert gerechnet. Ein Vergleich ist so an insgesamt 26 Proben, verteilt auf fünf Profile im Gelände und im Labor, mit dem feldportablen RFA erfolgt. Es zeigen sich teilweise große Streuungen der Werte bei der zehnfachen Messung im Gelände.

In die Auswertung der Vergleichbarkeit von Gelände- und Laborergebnissen konnten nicht alle Elemente mit einbezogen werden, da viele Elemente nur in wenigen Proben nachweisbar waren (Cr, Co, Ni, Cu, As, Se, Mo, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Ba, W, Hg, U). Bei diesen Elementen ist auffällig, dass sie zu Teilen in den in situ Proben vorzufinden sind, allerdings nicht im Labor. Erklären lässt sich dies durch eine evtl. Überschätzung des Elements durch ein punktuell Vorkommen, das im Gelände durch Zufall erfasst wird, in der Gesamtprobe aber aufgrund der Homogenisierung des Materials nicht repräsentativ ist. Für die in die Auswertung mit einbezogenen Elemente (K, Ca, Sc, Ti, V, Mn, Fe, Zn, Rb, Sr, Zr, Cs, Pb, Th) ergibt sich der in Abbildung 3.2 dargestellte Zusammenhang zwischen der Anwendung im Gelände und der im Labor.

Die Regressionsgerade, deren Steigung annähernd 1 ist, weist darauf hin, dass die Ergebnisse von Feldmessung und Labor sich gleichen. Zudem zeigt das Bestimmtheitsmaß, dass 89,27 % der Punkte durch die Regressionsgerade erklärt werden. Insgesamt funktioniert die Methode unter den angegebenen Bedingungen in situ und ex situ, es können allerdings Unterschiede bei den Elementen festgestellt werden. Während K, Ca, Rb, Sr und Th sich durch eine lineare Regression sehr gut erklären lassen ($R_K^2 = 0,79$, $R_{Ca}^2 = 0,86$, $R_{Rb}^2 = 0,81$, $R_{Sr}^2 = 0,91$, $R_{Th}^2 = 0,81$; $N = 26$), können beispielsweise Fe und Mn weniger gut linear abgebildet werden ($R_{Fe}^2 = 0,65$, $R_{Mn}^2 = 0,35$; $N = 26$).

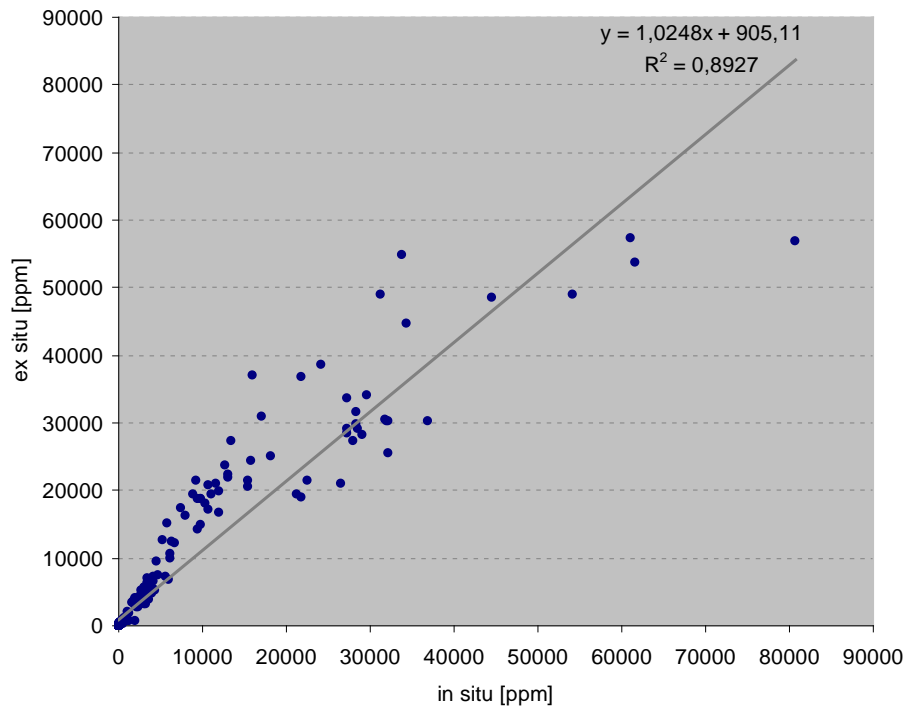


Abb. 3.2: Zusammenhang zwischen Messungen im Gelände (in situ) und im Labor (ex situ), N = 364.

Ursächlich für den schlechteren Zusammenhang können punktuelle Elementanreicherungen sein, die zu Extremwerten bei den Messungen im Feld und somit zu einer mengenmäßigen Über- oder auch Unterschätzung führen können. Durch die Homogenisierung der Probe im Labor wird der repräsentativere Wert ermittelt. Grundsätzlich sind die Messergebnisse im Labor verlässlicher, da Größen, die auf die Methode Einfluss nehmen, ausgeschaltet oder vereinheitlicht werden können. Auswirkungen auf die RFA haben die Eigenschaften der Bodenprobe, u.a. Feuchte, Körngröße, Substratinhomogenitäten sowie Probengeometrie und -position (KALNICKY & SINGHVI 2001). Durch die Aufbereitung des Probenmaterials im Labor, die Verwendung von einheitlichen Probencups und Arretierung von Gerät und Probe in einem geeigneten Gestell, können das Ergebnis beeinflussende Größen minimiert werden.

Die bodenkundliche Standardanalytik liefert die Basis für die Interpretation der Profile, vor allem auch im hydrologischen Kontext. Neben der typischen Laboranalytik soll die feldportable Röntgenfluoreszenzanalyse ein weiteres Anwendungsgebiet dieser Methode zeigen und auf Unterschiede in der Zusammensetzung der Schichtglieder hinweisen.

3.3 Hydrologische Größen

3.3.1 Infiltration

Infiltrationsmessungen wurden mit einem Doppelringinfiltrimeter (Höhe: 25 cm, davon 11 cm im Boden, Durchmesser: 54 cm außen, 29 cm innen) im Untersuchungsgebiet Otterbachtal durchgeführt, um die Versickerung an der Oberfläche zu quantifizieren. Die Erfassung der Infiltration erfolgte an vier Stellen mit unterschiedlicher Vegetation und folglich verschiedenen organischen Auflagen im Herbst 2006 (28.09.06 und 12.10.06) unter trockenen Ausgangsbedingungen. Annähernd gleiche Feuchtebedingungen sind von Bedeutung, da der schon vorhandene Wassergehalt des Bodens Einfluss auf die Infiltrationsrate nimmt (SCHRÖDER 2000). Ebenso wichtig ist eine möglichst ebene Fläche um laterale Flüsse zu verhindern. Seitlicher Wasserfluss führt zu einer zu hohen Infiltrationsrate (SCHIFFLER 1992). Allerdings ist bei der erwarteten hohen Durchlässigkeit der oberen Schichten und der Auswahl von relativ wenig geneigten Flächen ein lateraler Abfluss in den oberen Bodenschichten nicht zu erwarten. Der äußere Ring des Infiltrimeters soll zusätzlich eine seitliche Ausbreitung der Infiltrationsfront verhindern.

Die Messung der Infiltration erfolgte alle fünf Minuten bis über einen längeren Zeitraum von mindestens 30 Minuten die Werte stabil blieben. Dazu war eine Dauer von 95 bis maximal 160 Minuten notwendig. Die Infiltrationsrate resultiert aus der Zeit, die benötigt wird, den Wasserstand ohne weitere Zufuhr im inneren Ring um 2 cm sinken zu lassen.

Die Messung der Infiltration gibt Hinweise auf die Durchlässigkeit der obersten Schichten. Die ökologische Bedeutung wird im Hinblick auf Wasseraufnahme bzw. Oberflächenabfluss sowie Wasserverfügbarkeit in tieferen Bereichen des Profils besser dargestellt.

3.3.2 Volumetrischer Bodenwassergehalt

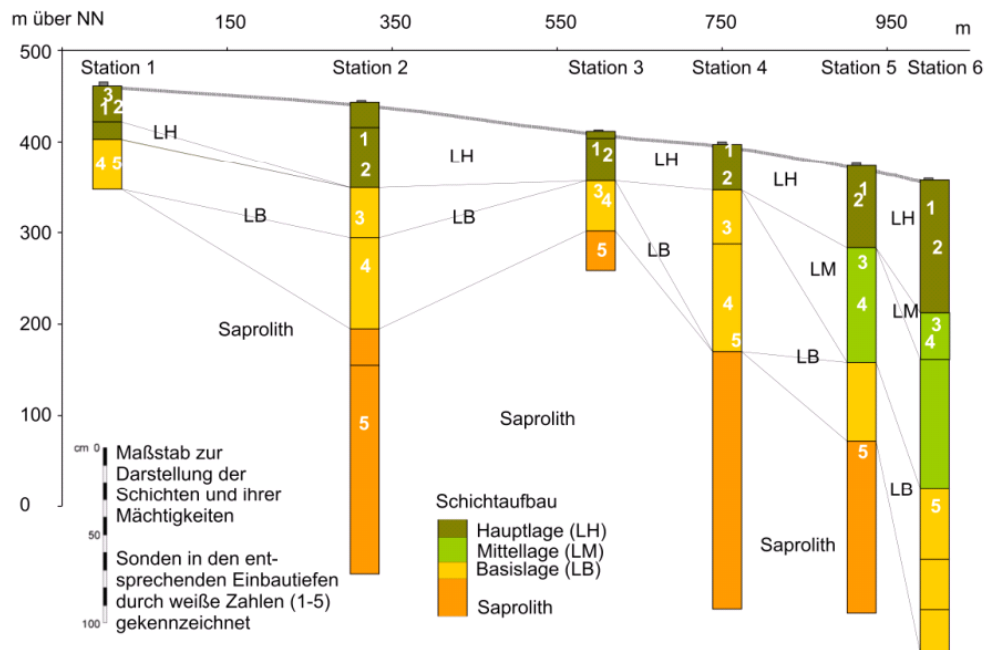
Im Untersuchungsgebiet Otterbachtal sind entlang einer knapp 1 km langen Catena 30 FD-Sonden (Frequency Domain Sonden), aufgeteilt auf sechs Messstationen (Tabelle 3.3) mit jeweils einem EM50 Datenlogger und fünf Ech₂o-EC20 Sonden (beides Firma Decagon Devices), in verschiedenen Tiefen eingebaut. Die Lage der Sonde im Profil ist immer auf eine Schicht genau zuzuordnen, damit Aussagen über das Bodenwasser schichtbezogen möglich sind. In unmittelbarer Nähe zu den Messstationen befindet sich pro Station ein Bodenprofil, um die hydrologischen Messungen mit den Laborergebnissen verbinden zu können.

Der Einbau der Messgeräte erfolgte mit Hilfe von Bohrungen in die entsprechenden Tiefen und der nach dem Einsetzen der Sonde stattfindenden Verfüllung mit dem schichtweise getrennten Material. Im direkten Kontakt zur Sonde wurde das Substrat eingeschlämmt, um Hohlräume zu vermeiden. Die Installation von Sonden, die nicht tiefer als 40 cm liegen, fand mit dem Spaten statt.

Tab. 3.3: Charakterisierung der Bodenwassermessstationen.

	Profilnummer	Hanglage	Höhenlage (ü. NN)	Hangneigung
Station 1	6939-22	Kuppe	461 m	1 °
Station 2	6939-23	Oberhang	440 m	15 °
Station 3	6939-21	Mittelhang	408 m	8 °
Station 4	6939-25	Mittelhang	395 m	17 °
Station 5	6939-26	Unterhang	371 m	12 °
Station 5	6939-24	Hangfuß	355 m	12 °

Der Versuchsaufbau zur Erfassung des volumetrischen Wassergehalts in den periglazialen Deckschichten ist in Abbildung 3.3 dargestellt. Angegeben ist die Tiefenlage der einzelnen Sonden sowie die genaue Einordnung zu einer der periglazialen Deckschichten bzw. zum Saprolith.



Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6
17 (LH)	20 (LH)	13 (LH)	16 (LH)	12 (LH)	18 (LH)
17 (LH)	40 (LH)	15 (LH)	21 (LH)	19 (LH)	40 (LH)
14 (LH)	65 (LB)	35 (LB)	50 (LB)	55 (LM)	80 (LM)
45 (LB)	90 (LB)	41 (LB)	90 (LB)	75 (LM)	90 (LM)
45 (LB)	180 (S)	70 (S)	110 (LB)	160 (S)	190 (LB)

Abb. 3.3: Aufbau und Instrumentierung der Catena im Otterbachtal; Tabelle: Tiefe der Sonden an den jeweiligen Stationen in cm; in Klammern ist die jeweilige periglaziale Lage angegeben (LH: Hauptlage, LM: Mittellage, LB: Basislage, S: Saprolith).

Die FD-Sonden vom Typ Ech₂o-EC20 der Firma Decagon Devices funktionieren nach dem Prinzip unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeiten von im Boden enthaltenen Materialien, wiedergegeben durch die stoffspezifische Dielektrizitätskonstante (ϵ). Der an den Boden abgegebene Strom kann je nach Zusammensetzung des Drei-Phasen-

Mediums Boden, bestehend aus Feststoff, Wasser und Luft, unterschiedlich gut aufgenommen werden. Für die kapazitive Methode ist von Bedeutung, dass sich die elektrischen Eigenschaften, dargestellt durch die Dielektrizitätskonstante, von Wasser (~ 80) und dem Bodensubstrat (~ 4) stark unterscheiden (GASKIN & MILLER 1996). Auch wenn die festen Bodenbestandteile verschiedenen hohe Dielektrizitätskonstanten aufweisen können, liegen sie doch immer deutlich unter der von Wasser (Tabelle 3.4). Aufgrund dieses signifikanten Unterschieds lässt sich der prozentuale Anteil an Wasser im Sediment, bezogen auf ein Volumen, berechnen.

Tab. 3.4: Werte der Dielektrizitätskonstante für ausgewählte Materialien (aus NOBORIO 2001).

Material	Dielektrizitätskonstante (ϵ)
Luft	1
Wasser	80 (bei 20 °C)
Eis	3 (bei -5 °C)
Basalt	12
Granit	7-9
Sandstein	9-11
Lehm, trocken	3,5
Sand, trocken	2,5

Der Zusammenhang zwischen der Dielektrizitätskonstante und dem Wassergehalt errechnet sich über die empirisch erhobene Gleichung (1) von TOPP et al. (1980).

$$(1) \quad \theta = -5,3 \cdot 10^{-2} + 2,9 \cdot 10^{-2} \epsilon - 5,5 \cdot 10^{-4} \epsilon^2 + 4,3 \cdot 10^{-6} \epsilon^3$$

Um bei der Messung die Dielektrizitätskonstante zur Berechnung des Wassergehalts zu erhalten, speist die Sonde Strom (V_i initiale Spannung, V_f zugeführte Spannung, V gesamte Spannung) in den Boden und misst anschließend den Scheinwiderstand (R) des umgebenden Mediums (SCHERZER et al. 1996). Unter Berücksichtigung der Einflussgröße Zeit (t) und der festen Größen zur Sondengeometrie, Messfläche der Sonde (A) und Abstand der Flächen (S), ergibt sich ϵ durch Gleichung (2) (DECAGON DEVICES 2002a).

$$(2) \quad 1/\epsilon = 1/t \{ RA/S \ln [(V-V_f) / (V_i-V_f)] \}$$

Die Werte werden, da sie auf der elektromagnetischen Reaktion des Materials basieren und diese immer als ein Phänomen im Raum zu sehen ist, als volumetrischer Wassergehalt mit den Einheiten Volumenprozent (Vol.%) oder Volumen Wasser pro Volumen Boden ($m^3 m^{-3}$) angegeben (BRANDELIK & HÜBNER 1997).

Zur Verbesserung der Ergebnisse ist es hilfreich, eine sedimentspezifische Kalibrierung durchzuführen (COBOS & CHAMBERS 2009). In diesem Fall wurde für jede Sonde ein ausreichend großer Zylinder, der das Messvolumen übersteigt, mit

Sedimentproben aus der entsprechenden Schicht im direktem Umfeld der eingebauten Sonden befüllt. Durch regelmäßige Wasserzugabe erzeugte unterschiedliche Wassergehalte werden, wie auch bei COBOS & CHAMBERS (2009) beschrieben, gleichzeitig kapazitiv (mit den Sonden) und gravimetrisch ermittelt. Durch den Vergleich der mit beiden Methoden erfassten Werte lassen sich Kalibrationsgleichungen berechnen und im Computerprogramm DataTrac 2.0 auswerten. Die Gleichungen erklären die Werte mit einem Bestimmtheitsmaß im Mittel von 95 %.

Die Datenaufnahme im Otterbachtal läuft seit November 2005, beginnend mit dem hydrologischen Jahr. Ein Messwert pro Minute wird als gemittelter Stundenwert im Datenlogger gespeichert. Bis Ende Oktober 2011 sind die Werte stündlich, von da an nur noch zweimal täglich erfasst. Das Auslesen, Speichern und Anzeigen der Messwerte geschieht über die Software DataTrac 2.0. Da das Programm keine Berechnungen erlaubt, laufen die Ermittlung von Tageswerten und die Darstellungen des Wassergehalts in den einzelnen Schichten über das Programm Excel.

Die sechsjährigen Datenreihen zum Bodenwassergehalt liefern eine gute Übersicht zur Bedeutung der einzelnen Schichten und des Saproliths für die Hydrologie eines Hanges.

Die Messung des Bodenwassergehalts im Bezug auf die jeweiligen periglazialen Deckschichten anhand eines kleinen Einzugsgebietes zeigt deren Bedeutung für den Landschaftswasserhaushalt. Viele anwendungsbezogene Problemstellungen, welche die Wasserverfügbarkeit im Wald, das Auftreten von Hochwasser oder die Wasserverschmutzung betreffen, benötigen das Wissen um deren Einfluss.

3.4 Datierungen

Um die Entstehung der Sedimente im Untersuchungsgebiet zeitlich einordnen und auch die Möglichkeit einer periglazialen Genese belegen zu können, kamen die Radiokohlenstoffdatierung (^{14}C) sowie die Optisch Stimulierte Lumineszenz-Datierung (OSL) zur Anwendung. Letztere bietet sich besonders an, da sie den Zeitpunkt, an dem das Sediment zuletzt dem Sonnenlicht ausgesetzt war, und damit den Beginn einer weiteren Akkumulationphase belegt (HUNTLEY et al. 1985).

Die Radiokohlenstoffdatierung findet Einsatz zur Bestimmung des Alters von kohlenstoffhaltigen Materialien, wie zum Beispiel Torf, Holz, organische Paläobodenhorizonte, und eignet sich gut zur Untersuchung spätquartärer Klimaschwankungen. Die Datierungsmethode basiert darauf, dass lebende C-haltige Organismen durch den ständigen Austausch mit der Atmosphäre einen immer gleichen relativen ^{14}C -Gehalt aufweisen, der nach dem Absterben langsam abnimmt (BRADLEY 1999). So verhält sich der ^{14}C -Anteil nach dem Absterben, beispielsweise einer Pflanze, negativ exponentiell zur Zeit. Während früher der ^{14}C -Anteil über die Strahlungsemission des Isotops

ermittelt wurde, kann heute bei der AMS-Datierung durch einen Beschleuniger und ein Massenspektrometer eine direkte Messung stattfinden. Ein Problem bei dieser Datierung stellt die Umrechnung der ^{14}C -Jahre in kalibrierte ^{14}C -Jahre oder Kalenderjahre dar. Durch die Schwankungen des ^{14}C -Gehalts in der Atmosphäre und damit in den zu datierenden Materialien, ist eine entsprechende Umrechnung nicht linear (Suess 1970). Durch den Abgleich mit anderen Datierungsmethoden, vor allem mit dendrochronologischen Arbeiten (Reimer et al. 2004), wird eine Kalibrierungskurve ermittelt, die die ^{14}C -Jahre möglichst gut in Kalenderjahren abbildet (Abbildung 3.4). Trotzdem können, vor allem bei älteren Proben, oftmals mehrere Intervalle ermittelt werden, die das mögliche Kalenderjahr beinhalten.

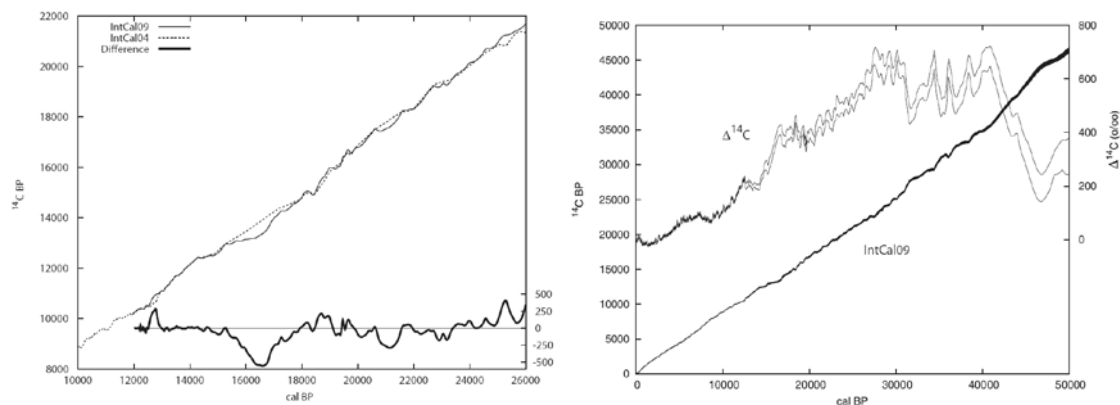


Abb. 3.4: IntCal09 Kalibrationskurven der 20th International Radiocarbon Conference für terrestrische Proben (Reimer et al. 2009).

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss neben den möglichen Zeitintervallen auch in Betracht gezogen werden, dass es sich unter Umständen bei dem Probenmaterial um jüngere, abgestorbene Wurzeln oder im Nachhinein eingetragenes Material handelt.

Schwierig bei dieser Methode ist zudem, dass nicht in allen Profilen C-haltige, datierbare Bestandteile enthalten sind. Nur in einzelnen Horizonten konnte entsprechendes Material gefunden werden. Daher eignet sich für die Fragestellung nach dem Bildungszeitraum der periglazialen Deckschichten die OSL besser, da ausreichend Probenmaterial vorhanden ist. Ein zusätzlicher Abgleich der beiden Methoden ist allerdings in jedem Fall sinnvoll, um die Signifikanz der Ergebnisse zu untermauern.

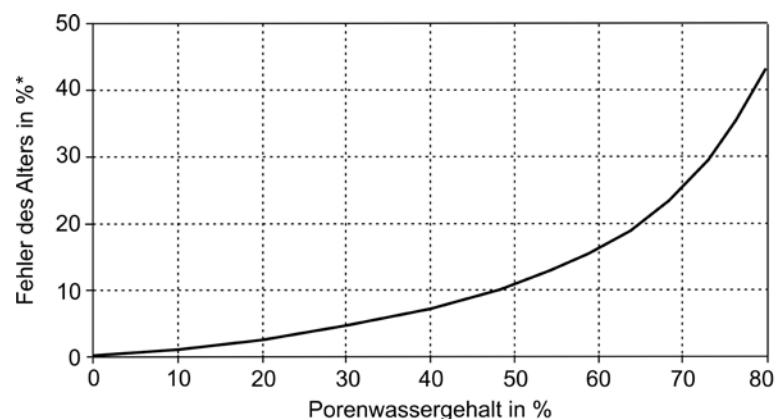
Die sechs ^{14}C -Proben wurden von Beta Analytic Inc. in Florida, USA, datiert.

Die Optisch Stimulierte Lumineszenz (OSL) basiert auf der Grundlage, dass die Strahlung, die beim Zerfall von instabilen Radionukliden entsteht, Schäden im Kristallgitter von Mineralkörnern, wie zum Beispiel Quarz und Feldspat, hinterlässt. Zwischen der Zeit, die das Sediment bedeckt ist und den Strahlungsschäden besteht ein messbarer und berechenbarer Zusammenhang (Murray & Olley 2002). Die Energie des Sonnenlichts kann diese Schäden ausheilen. Diesen Vorgang nutzt man

bei der Datierung aus, indem man durch den gezielten Lichteinsatz die Strahlungsschäden heilt und das dabei abgegebene Lumineszenzsignal misst. Dieses Lichtsignal, als Maß für die akkumulierte Strahlungsmenge, wird Paläodoses [Gy = J/kg] genannt und ergibt, dividiert durch die Dosisleistung [Gy/ka] der Umgebungsstrahlung im Sediment, das Lumineszenzalter [ka] (HILGERS 2007).

Die mit OSL ermittelten Alter liegen zwischen einigen Dekaden bis zu mehr als 500 ka (MURRAY & OLLEY 2002) und umfassen damit den für diese Arbeit notwendigen Zeitraum vollständig. Einschränkungen der Methode können durch Sättigung der Probe bei niedrigen Dosen hervorgerufen werden (GEYH 2005). Das ist v.a. bei Quarz ein Problem, weniger aber bei Feldspat. Letzterer hingegen kann Fehler durch Anomalien beim Ausheilen der Schäden verursachen (GEYH 2005), so dass eine Doppelbestimmung von Quarz und Feldspat zielführend sein kann.

Ein großer Einflussfaktor ist der Wassergehalt, der in die Berechnung der Dosisleistung mit eingeht. Dazu zählt auch Eis, das z.B. im Permafrost vorzufinden ist (HILGERS 2007). Wasser absorbiert einen Teil der Strahlung, der sonst auch zu den Strahlungsschäden führen würde, so dass es die Dosisleistung verringert (AITKEN 1998). Bei einem zu geringen Wert für den Wassergehalt oder gar keiner Berücksichtigung desselben, kann es zur Unterschätzung des Alters kommen. Dabei muss in die Berechnung der mittlere Wassergehalt für den nicht belichteten Gesamtzeitraum eingehen. Vor allem in feuchteren Gebieten mit wechselnden Klimaten über den Zeitraum seit der Ablagerung, kann es zu einer Fehleinschätzung des Alters kommen. Wie Abbildung 3.5 zeigt, wirkt sich mit zunehmendem Gesamtwassergehalt der Fehler bei der Altersbestimmung bei gleich bleibender Falscheinschätzung des Wassergehalts stärker aus. Demnach ist der Einfluss des Bodenwassers in feuchteren Gebieten größer als in trockenen. Vor allem die Änderung des Bodenfeuchteregimes von glazialem zu interglazialem oder von humidem zu aridem Klima ist daher zu beachten (GEYH 2005).



*bezogen auf einer Falscheinschätzung des Wassergehalts um $\pm 10\%$

Abb. 3.5: Zusammenhang zwischen dem Fehler bei Lumineszenzalthern und dem Porenwassergehalt (nach HENNIG & GRÜN 1983).

Für diese Arbeit wurden in der Colorado Front Range 21 Profile (61 Proben) und im Bayerischen Wald acht Profile (22 Proben) mit lichtdichten Rohren beprobt und zur OSL-Datierung ins Nordic Laboratory for Luminescence Dating, Aarhus University, geschickt. Die Probenaufbereitung und Vorgehensweise bei der Messung von Lumineszenzsignal und Dosisleistung sind bei MURRAY & WINTLE (2000) sowie bei WINTLE & MURRAY (2006) beschrieben. Aufgrund von Sättigungswerten bei der Paläodosis (> 200 Gy) von Quarzproben, überwiegend aufgrund von hohen Dosisleistungen (~ 11 Gy/ka) und den Fortschritten auf dem Gebiet der Datierung von K-Feldspat, wird bei unsicheren Ergebnissen der Datierung von Quarz, K-Feldspat gemessen, um durch den Vergleich der Ergebnisse diese abzusichern (pers. Mitteilung A.S. MURRAY, 2013). Zudem gleicht eine parallele Analyse der Lumineszenz von Quarz und K-Feldspat Schwankungen der Dosisleistung aus (VOGEL et al. 1999).

Die OSL-Datierung von periglazialen Deckschichten ist nicht immer problemlos. Die Hauptlage entspricht meist dem Hauptwurzelschicht, so dass durch Windwurf und biologische Aktivität eine Belichtung nach Ablagerung von oberflächennahen Proben möglich ist. Daher sollte eine Probennahme möglichst tief in der zu datierenden Schicht ansetzen bzw. müssen eventuelle Störungen Beachtung finden. Ansonsten konnte die Hauptlage z.B. von HÜLLE et al. (2009) schon datiert werden. Auch die Mittellage ist häufig datierbar. Bei der Basislage können sich aufgrund einer zu geringen Belichtung bei der Bildung durch Solifluktion unter Umständen zu hohe Alter ergeben, so dass nur ein Maximalalter angegeben wird (HÜLLE et al. 2009). Trotzdem können heute Sedimente mit begrenzter Sonnenexposition vor und während der Ablagerung datiert werden (FUCHS & LANG 2009). Auch hier kann der Vergleich von unterschiedlichen Mineralen (Quarz, Feldspat) und deren unterschiedlichen Bleichungsgeschwindigkeiten hilfreich sein (KLASEN et al. 2007, KADEREIT et al. 2006). Grundsätzlich müssen die Ergebnisse im geomorphologischen Kontext gesehen werden, so dass die stratigraphische Plausibilität der Alter sowie der Vergleich mit anderen Methoden als Absicherung dienen.

Die Datierung der Sedimente hilft bei der zeitlichen Einordnung und zeigt, ob eine periglaziale Genese möglich ist. Der abschließende Abgleich von sedimentologisch-bodenkundlicher Profilaufnahme, Kenntnis des Profilumfelds sowie mehrerer Datierungsmethoden stützt das Ergebnis.

4 Aufbau, Genese und Eigenschaften der Critical Zone

4.1 Hangsedimente in der Colorado Front Range

Die Critical Zone und ihr Aufbau finden in der Colorado Front Range u.a. im Rahmen des Boulder Creek Critical Zone Observatory große Beachtung, allerdings fehlt eine ausreichende Berücksichtigung von Sedimenten an den Hängen. Es wird zwar zu Teilen von bewegtem Regolith gesprochen, der aber nicht weiter klassifiziert ist.

Bei der sedimentologisch-bodenkundlichen Aufnahme von Profilen fällt auf, dass diese durchweg geschichtet und demnach nicht ausschließlich durch Verwitterung entstanden sind. Ebenso können die Schichten aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften nicht durch einen einzigen Prozess entstanden sein. Die Mächtigkeit der Profile sowie die darin enthaltenen Paläoböden sprechen außerdem für einen längeren Entstehungszeitraum, der durch einen Wechsel aus Aktivitäts- und Stabilitätsphasen zur Entstehung vielfältiger Schichtkomplexe geführt hat.

Neben dem bloßen Auftreten der mächtigen Schichtkomplexe sind Unterschiede zwischen den Profilen zu erkennen, die abhängig von ihrer Ausprägung und der Höhenstufe im Folgenden untersucht werden. Die Einteilung der unterschiedlichen Profile in einzelne Profilgruppen wurde während der Voruntersuchungen zum DFG-Antrag „Jungquartäre Hangsedimente als Archive der Landschaftsgenese in der Colorado Front Range, U.S.A.“ (VO 585/14-1) vorgenommen und entspricht dessen Ansatz zur detaillierten Untersuchung der Critical Zone.

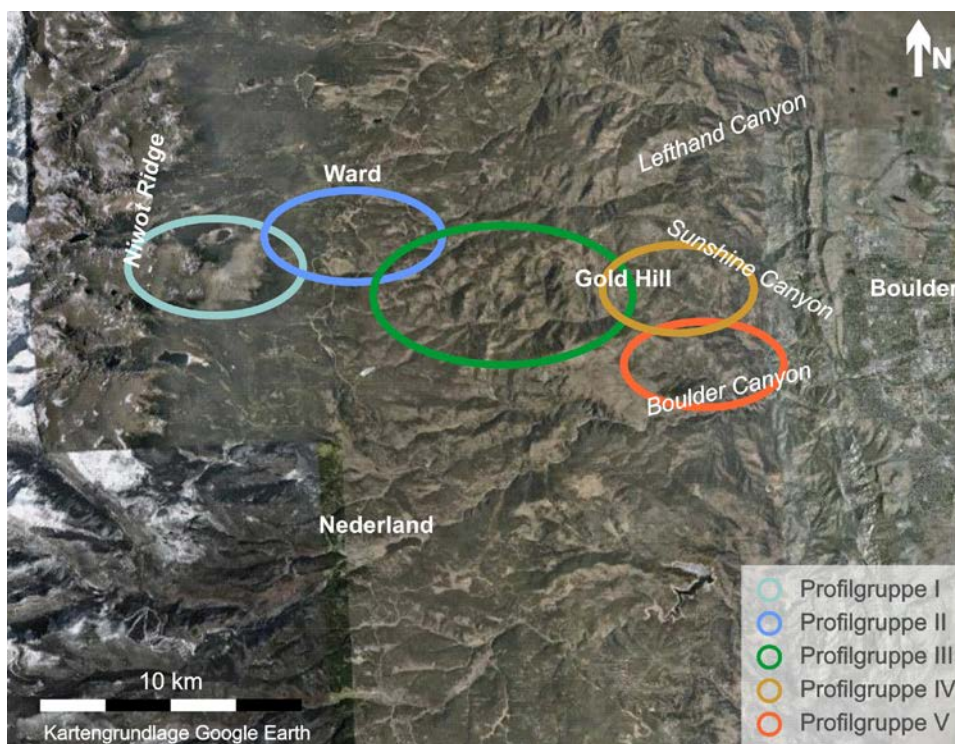


Abb. 4.1: Profilgruppen in der Colorado Front Range.

Während der Vorarbeiten fielen fünf charakteristische Schichtkomplextypen auf. Alle Profile lassen sich Profilgruppe I bis V zuordnen, die für die fünf Schichtkomplextypen stehen. Die jeweiligen Gruppen werden durch mindestens ein repräsentatives Profil detailliert beschrieben. Die Profilgruppen entstehen höhenabhängig, da höhenzonal unterschiedliche Bedingungen herrschen, die zu einer Vielzahl verschiedener Entstehungsprozesse führen (Abbildung 4.1).

Profilgruppe I liegt in der subalpinen Stufe in einer Höhe von ca. 3700 m NN bis 3350 m NN. Hier finden, anders als in der oberhalb angrenzenden alpinen Stufe des Gebietes, heute keine periglazialen Prozesse mehr statt, so dass Sediment-eigenschaften, die aus solchen Prozessen resultieren, nicht rezent sein können. Auch während des Pleistozäns war beispielsweise die Niwot Ridge (3744 m NN) aufgrund starker Winde und der trockenen Bedingungen (Kontinentalität bzw. Regenschatten) nicht vergletschert. Hier fehlen glaziale Ablagerungen gänzlich. Folglich herrschten zu dieser Zeit periglaziale Bedingungen vor. Allerdings konnten in dieser Höhenstufe einzelne Talgletscher auftreten, so dass eine Überschneidung von glazialen und periglazialen Ablagerungen möglich ist. Typisch für diese Gruppe sind Ward 4864 II SE 3 (nahe Martinelli Snowfield) und Ward 4864 II SE 5 (auf dem Weg zwischen Mountain Research Station der CU Boulder und Niwot Ridge).

Profilgruppe II liegt in der oberen montanen Stufe (in Höhen von 3350 m NN bis 2800 m NN), die nur noch partiell durch die Pinedale-Vereisung beeinflusst ist und demnach überwiegend periglazialer Morphodynamik unterlag. Durch die Untersuchung der Profile soll hier die Erfassung eines Überschneidungsbereichs von glazialen und periglazialen Prozessen möglich sein, die unter Umständen auch abhängig vom Relief analysiert werden müssen. Typische Profile sind in den bewaldeten Hängen unterhalb der Niwot Ridge zu finden, beispielsweise Ward 4864 II SE 2 (Peak-to-Peak Highway) und Ward 4864 II SE 8 (Sourdough Trail).

Profile der Gruppe III befinden sich in der oberen montanen Stufe zwischen 2800 m NN und 2250 m NN zu großen Teilen im Bereich des Old Laramide Plateau. Überreste kaltzeitlicher Vereisungen sind in diesem Gebiet nicht vorzufinden. Aufgrund der Lage im Anschluss an ehemals partiell glazial beeinflusste Höhenstufen, ist von massiven periglazialen Einflüssen auszugehen. Damit handelt es sich um das Gebiet der am stärksten durch periglaziale Prozesse überformten Hänge. Hier sind gut ausgeprägte Schichtungsphänomene zu erwarten. Aus der abwärtsgerichteten Verlagerung der Waldgrenze wird in der Literatur von möglichen periglazialen Bedingungen bis zu einer Tiefe von ungefähr 2300 m NN ausgegangen. Eine lineare Grenze nach unten hin ist aber aufgrund kleinklimatischer Unterschiede nicht zu vermuten. Typische Profile sind Gold Hill 4965 III SW 5, Gold Hill 4965 III SW 8 (Saw Mill Road) und Eldorado Springs 4963 IV NE 3 (Nineteen Gulch).

Profilgruppe IV schließt an das ehemalige Periglazialgebiet der Profilgruppe III an. Sie stellt den Bereich des Steilabfalls des Old Laramide Plateaus zu den Plains im Übergang von der oberen zur unteren montanen Stufe da. Die Höhen liegen zwischen 2250 m NN und 1800 m NN. Durch das Auftreten von periglazialen Deckschichten und

deren Datierung kann eine Maximalausdehnung der periglazialen Prozesse während des Pleistozäns datiert werden. Eine äolische Beeinflussung der Hänge durch Löß und damit auch einzelner Schichten im Profil kann hier verstärkt vorgefunden werden. So ist das Auftreten einer Mittellage möglich. Entsprechende Profile sind Gold Hill 4965 III SW 10 (Sunshine Canyon) sowie die niedrigere Höhenlage betreffend Boulder 4964 III SE 14 (Lee Hill Road nahe Boulder) und Boulder 4964 III SE 16 (Lee Hill Drive, Verbindung Lefthand Canyon).

Im Zusammenhang mit den lößbeeinflussten Profilen der Profilgruppe IV steht auch Profilgruppe V, die sich in annähernd gleicher Höhe befindet und sich durch äolische Sedimentation als auch Spülprozesse in den autochthonen und allochthonen Substraten auszeichnet. Profilgruppe V liegt mit Höhen unter 2000 m NN in der unteren montanen Stufe im Übergang zu den Foot Hills und den Plains. Hier können mächtige löß- bzw. lößlehmhaltige Profile gefunden werden, deren Substrat zu Teilen fluvial transportiert ist. An Positionen, an denen sich kein Löß abgelagert hat, kann der anstehende Saprolith verspült sein. Die Datierungen dieser Profile liefern Belege für trockene Phasen, vermutlich auch des frühen Holozäns, und runden so das Bild der Hangsedimente in der Colorado Front Range ab. Typische Profile befinden sich an den Hängen des Boulder Creek und an denen der anschließenden Seitentäler. Verspülter Saprolith ist in Betasso (Boulder 4964 III SE 1, 4, 5, 7, 8 und 9) zu sehen, Löss in Bummers Gulch (Boulder 4964 III SE 10) und entlang der Magnolia Road (Eldorado Springs 4963 IV NE 4 und 5).

Tab. 4.1: Profilgruppe und dazugehörige Profile (Profilbeschreibung und Laborauswertungen im Anhang); Markierungen: fett = Leitprofil, normal = ergänzende Profile, grau = nicht detailliert untersucht.

Profilgruppe	Profile
Profilgruppe I	Ward 4864 II SE 3 // Ward 4864 II SE 4 // Ward 4864 II SE 5
Profilgruppe II	Ward 4864 II SE 1 // Ward 4864 II SE 2 // Ward 4864 II SE 6 // Ward 4864 II SE 7 // Ward 4864 II SE 8
Profilgruppe III	Gold Hill 4965 III SW 1-2 // Gold Hill 4965 III SW 3-4 // Gold Hill 4965 III SW 5 // Gold Hill 4965 III SW 6 // Gold Hill 4965 III SW 7 // Gold Hill 4965 III SW 8 // Gold Hill 4965 III SW 11 // Gold Hill 4965 III SW 12 // Gold Hill 4965 III SW 14 // Gold Hill 4965 III SW 13 // Gold Hill 4965 III SW 15 // Gold Hill 4965 III SW 16 // Gold Hill 4965 III SW 17 // Gold Hill 4965 III SW 18 // Gold Hill 4965 III SW 19 // Gold Hill 4965 III SW 20 // Gold Hill 4965 III SW 21 // Gold Hill 4965 III SW 22 // Eldorado Springs 4963 IV NE 1 // Eldorado Springs 4963 IV NE 3
Profilgruppe IV	Gold Hill 4965 III SW 9 // Gold Hill 4965 III SW 10 // Boulder 4964 III SE 12 // Boulder 4964 III SE 13 // Boulder 4964 III SE 14 // Boulder 4964 III SE 16 // Eldorado Springs 4963 IV NE 12
Profilgruppe V	Boulder 4964 III SE 1-4 // Boulder 4964 III SE 5 // Boulder 4964 III SE 7 // Boulder 4964 III SE 8-9 // Boulder 4964 III SE 10 // Boulder 4964 III SE 11 // Eldorado Springs 4963 IV NE 2 // Eldorado Springs 4963 IV NE 4 // Eldorado Springs 4963 IV NE 5

Anhand der fünf Profilgruppen soll die Vielfältigkeit der Critical Zone im Folgenden detailliert beschrieben werden. Die Datierungen liefern die zeitliche Einordnung der Entstehung der heutigen Landschaft. Alle untersuchten Profile können, wie Tabelle 4.1 zeigt, in die entsprechenden Gruppen eingegliedert werden. Die detaillierten Profilbeschreibungen und Laborergebnisse befinden sich in Anhang A.2.2, die dazugehörigen Datierungen in Anhang A.3.

Profilgruppe I

Die Profile Ward 4864 II SE 3 und Ward 4864 II SE 5 liegen an der Niwot Ridge und sind typisch für das Gebiet der Gruppe I (Tabelle 4.2). In beiden Profilen zeigen sich vier verschiedene Schichten, wovon die obersten zwei feinmaterialreicher sind. Während Profil Ward 4864 II SE 3 nur 95 cm tief geöffnet ist, reicht Ward 4864 II SE 5 bis 280 cm Tiefe. Letzteres weist bei gleicher Schichtanzahl mächtigere Schichten auf, was der jeweiligen Position am Hang geschuldet sein könnte.

Tab. 4.2 : Profilgruppe I (siehe auch A.1.2 bzw. A.2.2.1 bis A.2.2.21).

Profil	Ward 4864 II SE 3 (Martinelli Snowfield)	Ward 4864 II SE 5 (Niwot Ridge)
Koordinaten	N 40° 03,049', W 105° 35,735'	N 40° 02,858', W 105° 34,741'
Höhe	3448 m NN	3358 m NN
Exposition	S	SE
Hangneigung	-	15°
Position	Oberhang	Mittelhang, oberhalb einer Reliefverflachung

Das geringmächtigere Profil Ward 4864 II SE 3 weist eine starke Verbraunung in allen Schichten auf. Zusätzlich beinhaltet das Material viel organische Substanz (A.2.2.3) und ist vor allem in den oberen 65 cm stark durchwurzelt (A.2.2.1). Während die oberste Schicht feinmaterialreich ist und nur wenige größere Komponenten enthält, schließt sich nach unten eine locker gelagerte Blocklage an, die auf periglaziale Materialsortierungsprozesse zurückzuführen ist. Auch die darunter liegenden Schichten III und IV sind steinreich. Die Einregelung der Skelettkomponenten in Schicht IV zeigt Basislagencharakter auf.

Detaillierter beschrieben und datiert ist Profil Ward 4864 II SE 5, da hier die typischen Merkmale periglazialer Deckschichten stärker ausgeprägt sind. Die oberste Schicht enthält viele Charakteristika einer Hauptlage. Sie ist sehr locker gelagert, dient als Hauptwurzelhorizont, enthält viel Feinmaterial (A.2.2.16) und die Skelettkomponenten sind nicht eingeregelt. Diese erste Schicht schließt, wie im oben kurz beschriebenen Profil, mit einer flächenhaften Steinanreicherung ab. Die Merkmale der Schichten II bis IV weisen aufgrund der eingeregelteten Skelettkomponenten sowie der dichten Lagerung auf Solifluktion hin und haben damit Basislagencharakter. Auch die typischen Schluff-

kappen auf den Steinen und entsprechend blanke Unterseiten sind deutlich zu erkennen. Die Situmetrie zeigt eine Einregelung des Skeletts in Richtung des Hanggefälles besonders gut in Schicht III (Abbildung 4.2).

Die unterste Schicht enthält massive Tonanreicherungen von 10,8 % bis zu 22,5 % (A.2.2.16), die aus der Bodenbildung resultieren (Parabraunerde). Ansonsten ist das Substrat sehr sandig und unterscheidet sich, bezogen auf die Bodenart, wenig zwischen den Schichten.

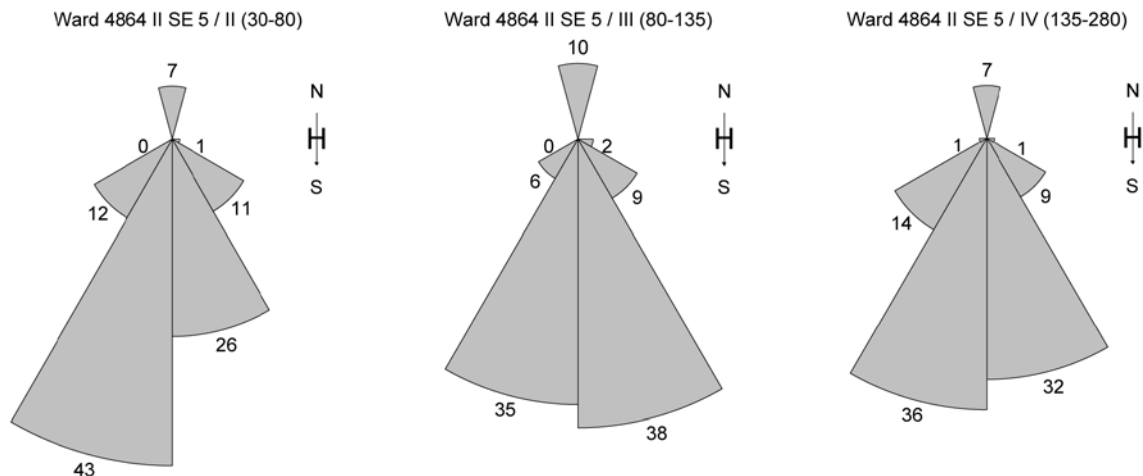


Abb. 4.2.: Situmetriemessungen des Profils Ward 4864 II SE 5: prozentuale Angabe der Ausrichtung der bewerteten Komponenten in den einzelnen Schichten (Tiefenangaben in cm in Klammern).

Eine periglaziale Entstehung dieser Sedimente kann bei der Profilsprache aufgrund der kantigen, eingeregelteten Skelettkomponenten, inklusive der Ausbildung von Schluffkappen und blanken Unterseiten, dem Auftreten von Steinlinien oder sogar -horizonten, der teils sehr dichten Lagerung sowie dem vermutlich äolischen Material (locker gelagertes, feines Material) in den oberen Bereichen des Profils angenommen werden. Diese Kriterien lassen Solifluktion, Materialsortierungsprozess und äolische Dynamik erkennen.

Datierungen liegen, trotz einer Beprobung im Sommer 2012, indes noch nicht vor. Diese können die Annahme eines periglazialen Bereichs stützen und die zeitliche Einordnung der Schichten in die einzelnen Kälteperioden möglich machen. Grundsätzlich ist aufgrund der Profilsbefunde aber auch der geringen Vergletscherung im Untersuchungsgebiet (RICHMOND 1970) sowie der fehlenden Vegetation (FALL 1997) gerade in dieser Höhenstufe ein periglaziales Milieu sicher.

Profilgruppe II

Für Profilgruppe II steht beispielsweise Ward 4864 II SE 2. Dabei handelt es sich um ein bis zu 315 cm aufgeschlossenes Profil, das in dieser Tiefe auf zerklüftetem Festgestein endet. Darüber befinden sich sieben Schichten. In den beiden obersten Schichten, in denen sich auch die rezente Bodenbildung in Form einer Bänderparabraunerde zeigt, weisen die erhöhten Schluffgehalte mit bis zu 27 % (A.2.2.23) auf

eine äolische Deposition hin. Diese Annahme wird auch von der lockeren Lagerung und der damit einhergehenden starken Durchwurzelung gestützt. Schicht III bis VI bestehen aus kompakterem Material mit variierendem Skelettgehalt und unterschiedlicher Größe der Komponenten. Innerhalb dieser Schichten wirkt das Material verspült, so dass es im Profilschnitt bänderartig, teils mit Sortierung nach Korngrößen, sichtbar wird. Davon beeinflusst ist auch die Entstehung der fossilen Bänderparabraunerde mit stellenweise massiven Tonanreicherungen (A.2.2.23) entlang der Materialbänderungen. Nach unten schließt Ward 4864 II SE 2 mit unterschiedlich stark verwittertem Ausgangsgestein (Zerfallszone, zerklüftetes Festgestein) ab. Prozessual sind die zwei obersten Schichten durch die Deposition von äolischem Material sowie dessen Einarbeitung in den Grobboden bestimmt, während alle tiefer liegenden Bereiche durch Solifluktion oder flächenhafte Denudation mit Wasser auf eventuell gefrorenem oder wassergesättigtem Material charakterisiert sind. Alle Prozesse können in einem periglazialen Milieu aufgrund der Vegetationsfreiheit, der verstärkten Bereitstellung von Material durch physikalische Verwitterung sowie des Oberflächenabflusses von Tauwasser oder Niederschlag auf gefrorenem Unterboden besonders gut wirken.

Einen Beweis für ehemals periglaziale Bedingungen in dieser Höhenstufe liefert auch die in unmittelbarer Nähe zu Ward 4864 II SE 2 befindliche Eiskeilpseudomorphose (Abbildung 4.3). Datierungen des Materials, in dem der Eiskeil sich gebildet hatte, ergeben bei 60 cm Tiefe 24 ± 2 ka und in 125 cm Tiefe 74 ± 6 ka. Das Füllmaterial datiert auf $10,9 \pm 0,6$ ka. Damit taute das Eis im Eiskeil erst am Ende der Jüngeren Dryas, so dass eine Verfüllung zum Beginn des Holozäns stattfand. Weitere Datierungen dieser Profilgruppe stehen zu Teilen noch aus und werden in Kapitel 4.2 diskutiert.

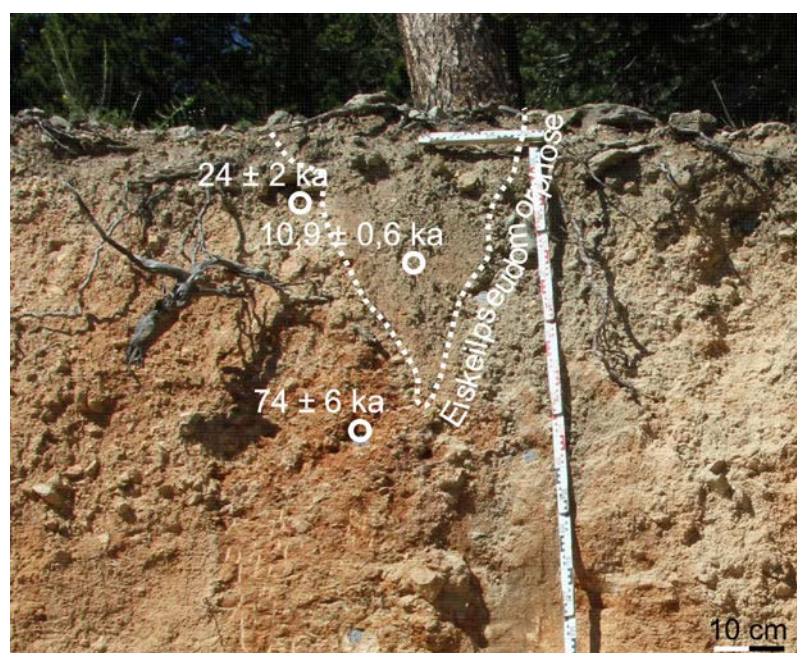


Abb. 4.3: Eiskeilpseudomorphose, Profil Ward 4864 II SE 1 (eigenes Foto).

Hinweise auf eine glaziale Genese von Sedimenten, beispielsweise in Form von zugerundeten, wirr gelagerten Skelettkomponenten, konnten in einem Profil einige Kilometer weiter Richtung Ward gefunden werden. Grundsätzlich ist eine Überschneidung von glazialen und periglazialen Sedimenten in dieser Höhenstufe vorhanden.

Profilgruppe III

Für Profilgruppe III stehen eine Vielzahl von gut untersuchten Profilen zur Verfügung. Im Bereich dieser Profilgruppe treten an sehr vielen Stellen, häufig auch gut sichtbar an Straßenaufschlüssen, massive Sedimentablagerungen auf. Aufgrund der Höhenlage ist eine periglaziale Genese während des Pleistozäns anzunehmen.

An einem großen Aufschluss (an zwei Stellen mit den Profilen Gold Hill 4965 III SW 7 und 8 aufgenommen) können die Schichtungsphänomene auf einer Länge von ungefähr 800 m untersucht werden. Es fällt auf, dass die Grenze zwischen den Sedimentschichten und dem Saprolith Rinnen und Mulden enthält, die von den Sedimenten verfüllt sind. Vor der Akkumulation der Sedimente lag eine wellige Oberfläche an den Hängen vor, die durch die reliefausgleichende Wirkung periglazialer Sedimente geglättet wurde. Einschnitte in die heutige Oberfläche zerteilen die Schichten und sind daher später entstanden. Die Schichten des Profils Gold Hill 4965 III SW 8 kleiden eine dieser ehemaligen Mulden aus. Die Aufschlussituation ist in Abbildung 4.4 dargestellt.



Abb. 4.4: Straßenaufschluss „Saw Mill Road“ mit Rinnenstruktur (links, unten); detailliert untersuchtes Profil Gold Hill 4965 III SW 8 (rechts).

Profil Gold Hill 4965 III SW 8 besteht aus vier Schichten und ist bis zur Zerfallszone des Gesteins, beginnend ab 180 m, aufgegraben. Schon im Bild zeigen sich die einzelnen Schichtglieder markant verschieden. Die oberste Schicht enthält sehr große Steine und Blöcke. Diese sind wirr gelagert. Aufgrund der Größe der Skelettkomponenten (> 12 cm) sind sie in der Situmetrie nicht erfasst. Kleinere Steine sind allerdings, wie Abbildung 4.5 zeigt, überwiegend dem Hanggefälle folgend vorzufinden.

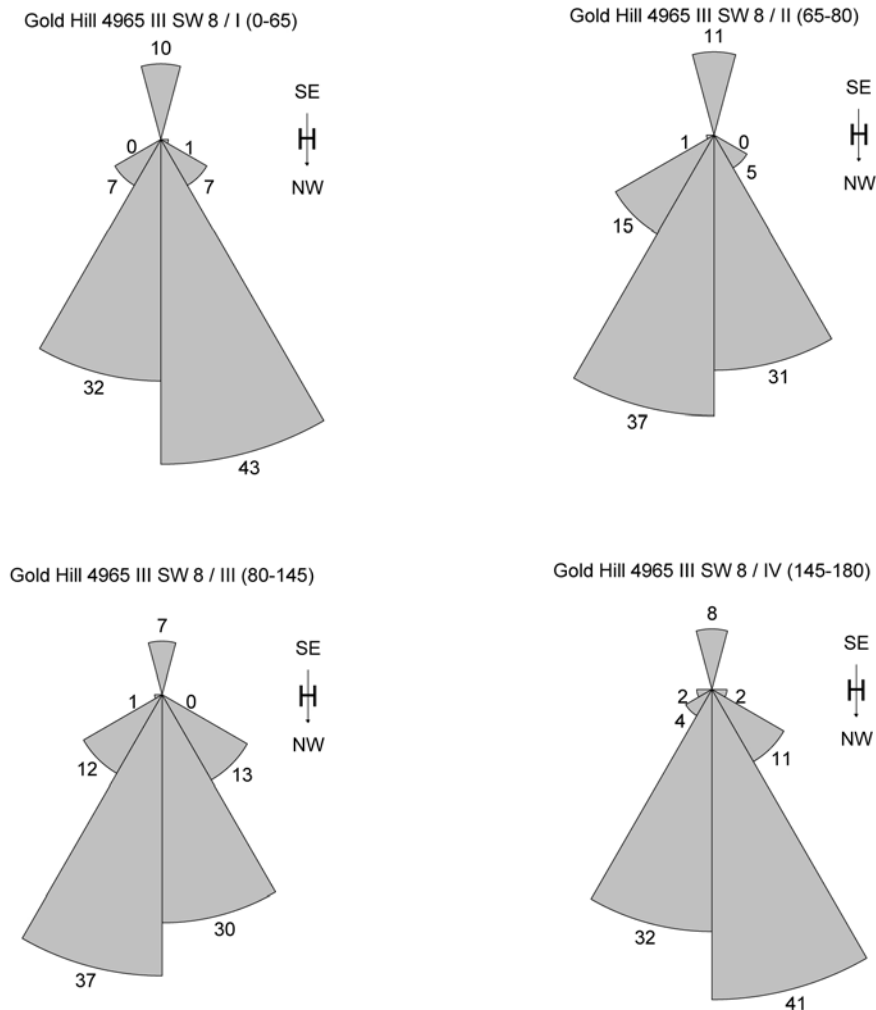


Abb. 4.5: Situmetriemessungen Profil Gold Hill 4965 III SW 8: prozentuale Angabe der Ausrichtung der bewerteten Komponenten in den einzelnen Schichten (Tiefenangaben in cm in Klammern).

Das Feinmaterial ist sehr locker gelagert und gut durchwurzelt. Basislagentypische Lehmhauben, zusammen mit blanken Steinunterseiten, sind hier nicht vorhanden. Aufgrund der lockeren Lagerung und der damit einhergehenden guten Durchlässigkeit wird das Bodenwasser nicht an den Skelettkomponenten abgelenkt, so dass sich Ablagerungen an den Skelettkomponenten nicht bilden können. Obwohl die Bodenart einen Maximalwert im Mittelsand (29,1 %, A.2.2.57) und nicht in kleineren Korngrößen aufweist, ist wegen der lockeren Lagerung ein äolischer Einfluss unter der Annahme hoher Windgeschwindigkeiten denkbar. Schicht II weist einige Merkmale der liegenden

Schicht auf, enthält beispielsweise Beimengungen des dort entwickelten Paläobodens, und ist durch eine Reaktivierung eines Teils von Schicht III entstanden. Der höhere Skelettgehalt ist in der Reaktivierungsphase entweder durch periglaziale Materialsortierungsprozesse entstanden oder von angrenzenden Hangbereichen in die Schicht gelangt. Es ist zu diskutieren, inwieweit diese Schicht einer Mittellage entspricht. Eine äolische Komponente kann nicht eindeutig ermittelt werden. Zwar sprechen die lockere Lagerung und die Bodenart nicht dagegen, jedoch ist der Unterschied zur liegenden Schicht hinsichtlich ihrer Zusammensetzung nicht sehr groß. Auch die Mittellagen im Bayerischen Wald sind in ihren Eigenschaften oftmals sehr verschieden, so dass eine Anlehnung der Eigenschaften an die liegende Schicht nicht gegen eine Mittellage spricht. Aufgrund der Eigenschaften liegt daher hier eine Mittellage vor. Die Bodenmatrix der Schicht III besteht überwiegend aus grusigem Material, während Skelettkomponenten weitestgehend fehlen. Hierbei handelt es sich um kaltzeitlich verspülten Saprolith. Eine flächenhafteerspülung des Sediments wäre auf bewachsenen Flächen nicht möglich, so dass von einer kaltzeitlichen Genese ausgegangen wird. Wie auch schon bei Ward 4864 II SE 2 (Profilgruppe II) lehnt sich die Bodenbildung in Form einer Bänderparabraunerde (A.2.2.56) an die Sedimenteigenschaften an. Bei der untersten Schicht dieses Profils handelt es sich um sehr dicht gelagertes Material, das einen hohen Skelettanteil (A.2.2.57) aufweist. An den Skelettkomponenten zeigen sich die basislagentypischen Lehmhauben in Kombination mit blanken Unterseiten. Im oberen Bereich der nach unten anschließenden Gesteinzerfallszone setzt sich dieses Phänomen fort. In dieser Schicht, wie auch in den darüber liegenden, sind die Skelettkomponenten mehrheitlich eingeregelt (Abbildung 4.5).

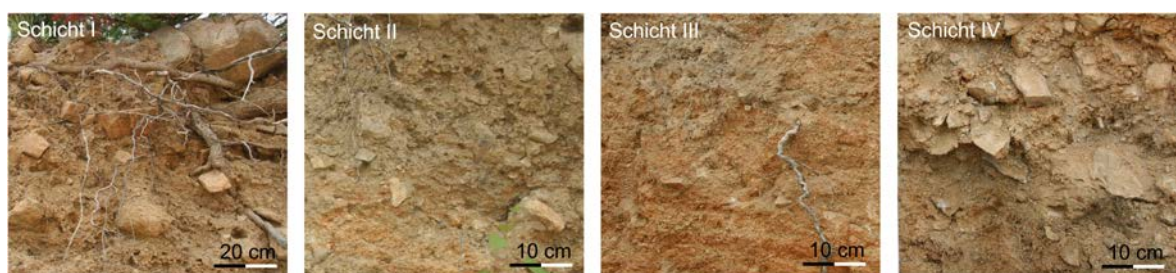
Die Alter der Schichten sind im Profil stimmig (Abbildung 4.4). Nur die oberste Schicht weist ein zu hohes Alter auf, das auf eine zu geringe Bleichung des Materials zurückzuführen ist. Die Mittellage sowie das Spülsediment zeigen eine Entstehung während des LGM oder kurz danach der Mittellage auf. Solifluidale Prozesse werden vor dem LGM eingeordnet. Detailliertere Ausführungen zum Alter der Schichten sind in Kapitel 4.2 dargelegt.

Die Profilaufnahme zeigt die Vielschichtigkeit der Critical Zone in diesem Bereich. Es können vier Schichten vorgefunden werden, die aufgrund ihrer unterschiedlichen Ausprägungen von verschiedenen Prozessen beeinflusst sind. Während die oberste Schicht aufgrund des lockeren Feinmaterials sowie der wirren Lagerung größerer Skelettkomponenten eher durch äolische Deposition und kryptoturbate Prozesse geprägt ist, werden die tiefer liegenden Bereiche verstärkt durch kaltzeitliche Spülprozesse und Solifluktion beeinflusst. Der Schichtaufbau in dieser Profilgruppe ist demnach durch eine locker gelagerte Schicht mit teils sehr großen nicht eingeregelten Blöcken und kleineren eingeregelten Skelettkomponenten charakterisiert. Die Genese wird entsprechend der Eigenschaften als äolische Deposition sowie kryptoturbate Vermischung des Materials angenommen, so dass eine Ähnlichkeit zu den mitteleuropäischen Hauptlagen besteht. Darunter können zwei Arten von

Schichtphänomenen vorgefunden werden, von denen entweder eine oder beide auftreten können. Die erste, im Profil höher liegende Schicht, weist bänderartige Strukturen einer flächenhaften Materialverspülung auf, die aufgrund der Flächenhaftigkeit sowie der Mächtigkeit in eine vegetationslose Phase gelegt und demnach als ein kaltzeitlicher Prozess interpretiert wird. Sie tritt auch verstärkt in den tieferen Höhenlagen und im Zusammenhang mit saprolithischer Verwitterung des Gesteins auf. Eine zweite Schicht enthält meist viele eingeregelte Skelettkomponenten, die Lehmhauben und blanke Unterseiten erkennen lassen, und ist durch eine hohe Lagerungsdichte charakterisiert. Diese Eigenschaften können durch Solifluktion entstehen und gehören auch zu den Kriterien der mitteleuropäischen Basislagen. Unterhalb der obersten Lage kann zusätzlich eine Schicht eingeschaltet sein, die eine Reaktivierung eines Teils der darunter liegenden darstellt. Diese ist sehr locker gelagert und beinhaltet Beimengungen eines in der tieferen Schicht entstandenen Paläobodens, wie in Profil Gold Hill 4965 III SW 8. Dieses Profil enthält auch alle der hier aufgezeigten Schichten, während beispielsweise bei Profil Eldorado Springs 4963 IV NE 3 die stark durch Solifluktion beeinflusste fehlt und bei Gold Hill 4965 III SW 5 das verspülte Material nicht vorkommt. Die typischen Schichten sind zusammenfassend in Tabelle 4.3 dargestellt.

Tab. 4.3: Typische Schichtungsphänomene in Profilgruppe III.

Schicht	Eigenschaften	Prozess	Prozessgruppe
I	lockere Lagerung viele große Blöcke nicht eingeregelt	äolische Deposition Kryoturbation	A
II	sehr lockere Lagerung Beimengungen liegender Paläoböden	kurzzeitige Reaktivierung durch Solifluktion	B
III	dichtere Lagerung bänderartige, flächenhafte, dünne Schichtungen	kaltzeitige Spülprozesse im Auftaubereich	C
IV	sehr dichte Lagerung eingeregelt Skelettkomponenten mit Lehmhauben und blanken Unterseiten	Solifluktion	D



Hinweise auf eine periglaziale Formung dieser Höhenstufe geben auch Nivationsterrassen in Upper Gordon Gulch (N 40° 01' 23,5", W 105° 28' 36,6",

2700 m NN) und ein erhaltener Solifluktionslobus oberhalb des Gross Reservoirs (N 39° 57' 04,1", W 105° 21' 14,2", 2298 m NN).

Profilgruppe IV

Auch in der Höhenstufe der Profilgruppe IV, die sich mit jener der Profilgruppe V überschneidet, ist die Critical Zone vielfältig und geschichtet. Hier werden Profile vorgefunden, die hinsichtlich ihrer Eigenschaften einer periglazialen Entstehung zugeordnet werden können. Das tiefste Profil, Boulder 4964 III SE 14, liegt bei 1822 m NN. In der Literatur geht MARKER (1990) in der Colorado Front Range von einer Verschiebung des Periglazialbereichs um 500 m bis 700 m nach unten aus. Das entspräche einer Höhe von ca. 2300 m NN. Grundsätzlich können aber Hinweise auf kaltzeitliche Prozesse, vor allem im Bezug auf Löß in noch tieferen Lagen gefunden werden (Great Plains), so dass periglaziale Profile auch in dieser Profilgruppe zu erwarten sind.

Das Profil Boulder 4964 III SE 14 ist, bei einer Gesamtmächtigkeit von 300 cm, aus fünf Schichten aufgebaut. Die obersten 25 cm müssen als Kolluvium angesprochen werden und sind damit rezent. Die darunter liegenden Schichten unterscheiden sich hauptsächlich über die Menge und die Größenzusammensetzung des Skeletts (A.2.2.120).

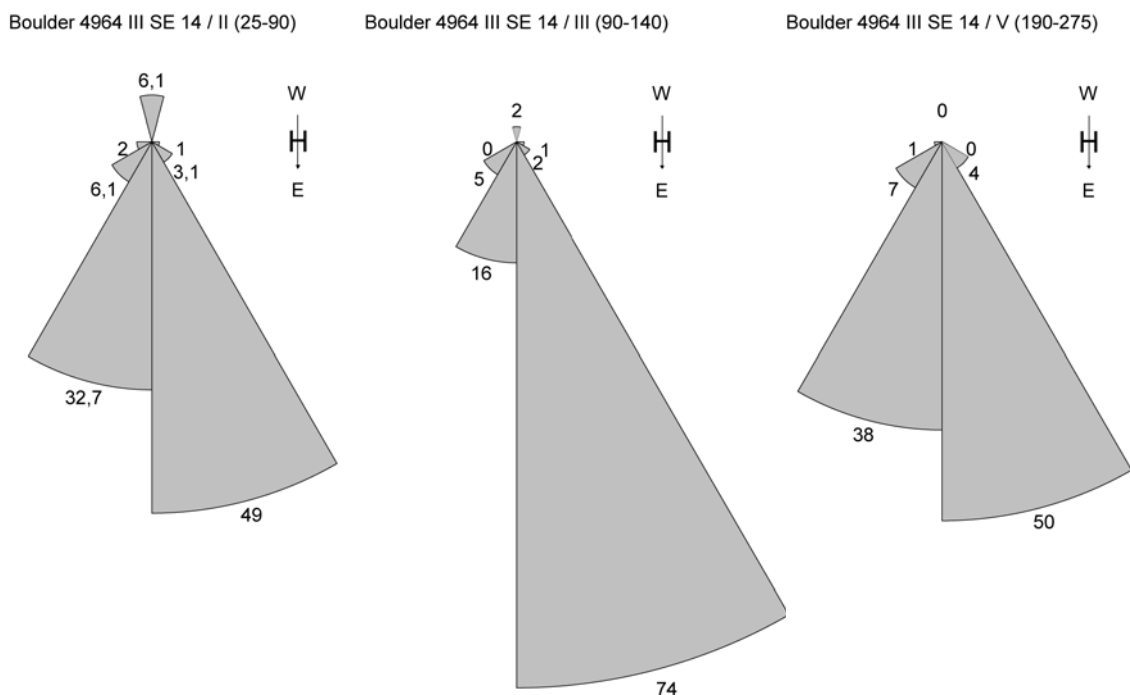


Abb. 4.6: Situmetriemessungen des Profils Boulder 4964 III SE 14: prozentuale Angabe der Ausrichtung der bewerteten Komponenten in den einzelnen Schichten (Tiefenangaben in cm in Klammern).

Aufgrund des wechselnden lithologischen Ausgangsmaterials ist das Skelett, im Vergleich zum restlichen Untersuchungsgebiet, in diesem Profil sehr kantig, z.T. scherbilig in den einzelnen Schichten enthalten. Ebenso ist es nach unten hin nicht

durch Saprolith begrenzt, wie in den meisten Profilen des Untersuchungsgebiets, sondern durch das verwitterte Anstehende. Entsprechend ist der Feinboden, im Gegensatz zu den sonst sandig dominierten Profilen, durch den höheren Schluffanteil lehmig (A.2.2.120). Das Skelett ist sehr gut eingeregelt, wie Abbildung 4.6 zeigt, allerdings liegt ein Großteil der verwendeten Steine leicht abweichend vom heutigen Hanggefälle. Ein Grund dafür ist die Lage der Schichten in einer ehemaligen Mulde, die durch diese ausgekleidet wurden, so dass die heutige Oberfläche nicht der damaligen entspricht. An den Oberseiten der Skelettkomponenten befinden sich die basislagen-typischen Schluffhauben bei gleichzeitigen blanken Unterseiten. Die Schichten sind durchweg dicht gelagert. Aufgrund dieser Eigenschaften ist von einer solifluidalen Genese der Sedimente auszugehen. Charakteristika einer Hauptlage konnten nicht gefunden werden. Diese könnten allerdings im Zusammenhang mit der Bildung des Kolluviums erodiert worden sein.

Das Profil Boulder 4964 III SE 16 ist im Vergleich zum eben beschriebenen Profil ungefähr 240 m höher gelegen. Hier sind Schichten über Saprolith beschrieben, so dass damit eine ähnliche Lithologie wie im Großteil des Untersuchungsgebietes auftritt. Auch dieses Profil besteht aus fünf Schichten. Hier ist ein locker gelagertes ca. 40 cm mächtiges oberstes Schichtglied erhalten. Die darin befindliche Menge an Grobboden ist sehr gering. Eine Einregelung kann nicht festgestellt werden. Während die zweite Schicht der ersten ähnlich ist, sind die darunter liegenden steinreicher, dicht gelagert und beinhalten eingeregelt Skelettkomponenten mit Schluffhauben und blanken Unterseiten (Abbildung 4.7). Ab 170 cm folgt auf die Schichtungsphänomene gut verwitterter Saprolith.

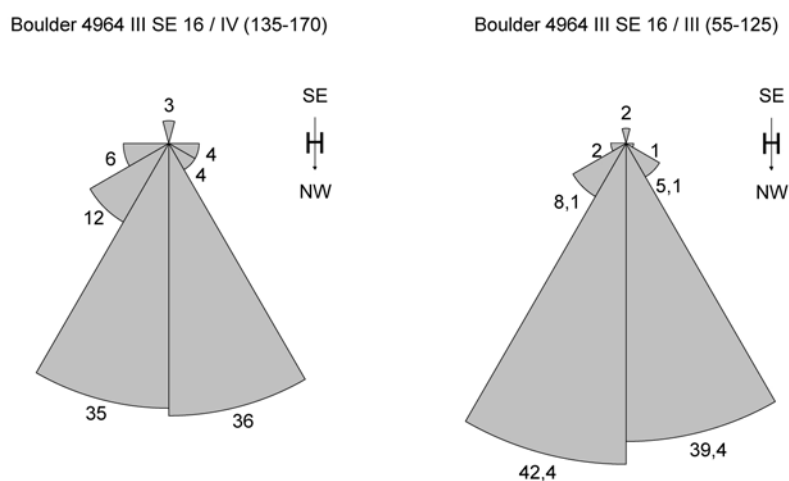


Abb. 4.7: Sitimetriemessungen des Profils Boulder 4964 III SE 16: prozentuale Angabe der Ausrichtung der bewerteten Komponenten in den einzelnen Schichten (Tiefenangaben in cm in Klammern).

In den Schichten hat sich eine Parabraunerde gebildet. Das zeigen auch die sehr hohen Tongehalte im Bt-Horizont (A.2.2.127), der massiv in Schicht III auftritt. Aufgrund des hohen pH-Wertes (A.2.2.128) muss von einer rezenteren Dynamik ausgegangen werden. Eventuelle äolische Einwehungen von Feinmaterial in der obersten Schicht könnten

durch die Lessivierung nicht mehr sichtbar sein. So ist eine durch äolische Deposition und Kryoturbation beeinflusste erste und zweite Schicht wahrscheinlich, während die tiefer liegenden durch Solifluktion geprägt sind.

Die Datierungen von Schichten dieser Profilgruppe zeigen, dass aufgrund der anthropogenen Einflüsse in dieser Höhenlage zu Teilen Kolluvien holozänen Alters auftreten. Oftmals fehlen aufgrund der holozänen Reaktivierung des Materials die sonst obersten, äolische beeinflussten Schichtglieder. Die tiefer liegenden periglazialen Schichten sind meist älter als im restlichen Untersuchungsgebiet, da von einer früheren Erwärmung und damit Enden der periglazialen Dynamik in den unteren Höhenstufen auszugehen ist. Weitere detaillierte Auswertungen der Datierungen sind in Kapitel 4.2 zu finden.

Grundsätzlich sind die periglazialen Schichten in dieser Höhenstufe überwiegend in geschützten Positionen bzw. in Rinnen und Mulden erhalten. Ein flächenhaftes Vorkommen, wie in Profilgruppe III, ist hier weniger zu finden. Eine Ursache liegt eventuell darin, dass mit abnehmender Höhe der Permafrost nur noch diskontinuierlich oder sporadisch auftrat, so dass die damit verbundenen Prozesse und Ablagerungen nur kurzzeitig flächenhaft wirkten. Zudem könnte der zunehmende anthropogene Einfluss und die damit einhergehende Öffnung der Landschaft mit abnehmender Höhe sowie die weniger dichte Bewaldung aufgrund der sommerlichen Aridität ein Grund für späteren Abtrag sein.

Profilgruppe V

Die letzte Profilgruppe entspricht zwar von der Höhe in etwa der von Profilgruppe IV, allerdings sind hier Profile beschrieben, die nicht dem typischen Aufbau periglazialer Deckschichten entsprechen und überwiegend durch äolische Deposition entstanden sind. Da Löss ein Sediment kaltzeitlicher Entstehung ist, ergänzt er gut das Bild der periglazial überprägten Critical Zone. Entsprechende Aufschlüsse sind in Bummers Gulch (Boulder 4964 III SE 10) und entlang der Magnolia Road (Eldorado Springs 4963 IV NE 4 und 5) in einer Höhenlage von 2002 m NN bzw. 2045 m NN zu finden. Diese Lössablagerungen können eine sehr große Mächtigkeit erreichen, sind aber zu Teilen synsedimentär verspült und demnach als Schwemmlöss vorzufinden. Im Profil Eldorado Springs 4963 IV NE 5 ist eine 180 cm mächtige Lössaufwehung über Saprolith zu sehen. Der Löss ist nicht umgelagert, da die Feinporen sehr gut sichtbar ausgebildet sind. Karbonatische Ausfällungen weisen auf eine Entkarbonatisierung zum Lösslehm hin (A.2.2.190). Die Korngrößenverteilung zeigt auch deutlich eine Zusammensetzung, die so in anderen Profilen, aufgrund der hohen Anteile an eingearbeitetem Saprolith, nicht zu finden ist: 41,4 % Sand, 33,9 % Schluff und 24,7 % Ton (A.2.2.189). Die Schicht grenzt sich eindeutig vom verwitterten Ausgangssubstrat (autochthoner Saprolith: 82,8 % Sand, 7,0 % Schluff und 10,3 % Ton, A.2.2.189) ab. Die Datierungen in diesem Profil liegen in 80 cm sowie 180 cm Tiefe, an der Untergrenze der Lössaufwehung. Die Alter ergeben $18,5 \pm 5$ ka oben bzw. $20,0 \pm 1,3$ ka unten im Profil,

so dass ein zeitlich sehr enger Raum im Spätglazial für diese massive Ablagerung angegeben werden kann (Abbildung 4.8).

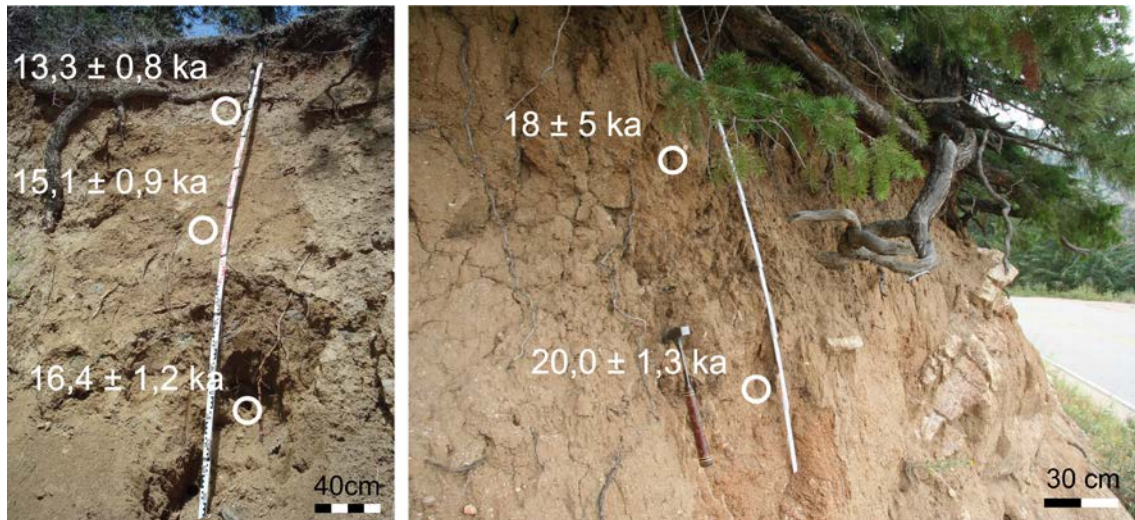


Abb. 4.8.: Datierte Profile aus Löss oder Schwemmlöss; Boulder 4964 III SE 10 (links), Eldorado Springs 4963 IV NE 5 (rechts).

In einem weiteren Lössprofil, Boulder 4964 III SE 10, können verschiedene Schichten vorgefunden werden. Hier ist der Löss synsedimentär verschwemmt und enthält Beimengungen von grusigem Material (Saprolith) und vereinzelt Skelettkomponenten (A.2.2.168). Das Profil ist bis 340 cm aufgeschlossen und besteht in diesem Bereich aus sechs Schichten. OSL-Datierungen finden in drei Tiefen statt, 90 cm, 200 cm sowie 320 cm. Die resultierenden Alter sind von oben nach unten im Profil mit $13,3 \pm 0,8$ ka, $15,1 \pm 0,9$ ka und $16,4 \pm 1,2$ ka angegeben (Abbildung 4.8). Demnach liegt auch der Zeitpunkt der Ablagerung und der Verlagerung des Lösses an dieser Stelle im Spätglazial, in der Phase der Deglaciation. Im Zusammenhang mit dem freiwerdenden Tauwasser kann auch die Verschwemmung des Materials erklärt werden.

Die Datierung des vorgefundenen Schwemmlösses des Profils Boulder 4964 III SE 10 stimmt mit den Altern des nicht verlagerten Lösses in Profil Eldorado Springs 4963 IV NE 5 sehr gut überein, so dass von einer Phase mit Wechseln zwischen äolischer Aktivität in einem eher trocken-ariden Milieu und Spülprozessen in einem feuchteren Umfeld gesprochen werden kann.

Die Verspülung von Material, in diesem Fall überwiegend Saprolith, zeigt auch ein Profil in Betasso. Boulder 4964 III SE 1 besteht aus einem ca. 4 m mächtigen, komplexen Aufschluss mit einer Vielzahl an Schichten und einem Paläoboden. Letzterer wird bei LEOPOLD et al. (2011) ausführlich diskutiert. Aufgrund der Vielzahl an Schichten, wurden vor allem diejenigen im Bereich des Paläobodens und darunter detaillierter beschrieben. Grundsätzlich handelt es sich um sehr sandig-grusiges Material mit Sandanteilen von bis zu 92 % und Maximalwerten beim Grobsand (A.2.2.141). Einzige Ausnahme ist die fossile Parabraunerde, in deren Tiefe hohe

Schluff- und vor allem Tongehalte ermittelt wurden. Die Skelettanteile sind gering (< 25 %, A.2.2.141). So kann das Sediment als transportierter Saprolith definiert werden. Saprolith ist in der näheren Umgebung auch heute noch sehr häufig zu finden. Innerhalb der Schichten zeigen sich einzelne feinere Materialbänder, die auf eine langsame, nicht-turbulente Verspülung des Materials hinweisen (Abbildung 4.9).

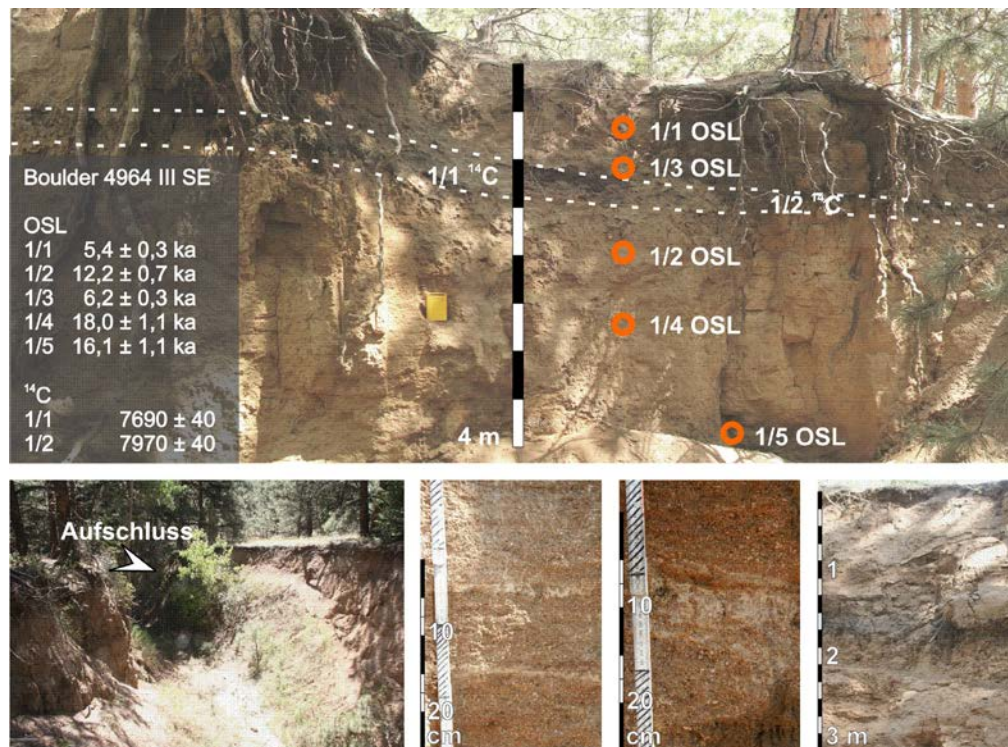


Abb. 4.9: Datedes Profil Boulder 4964 III SE 1 (oben); Lage sowie Detailaufnahmen des verspülten Materials bzw. des fossilen humosen Horizonts (unten von links nach rechts).

Aufgrund der Mächtigkeit des Profils muss so von einem längeren Ablagerungszeitraum ausgegangen werden. Das bestätigen auch die Datierungen (Abbildung 4.9). Der Beginn der Sedimentation liegt zwischen $18,0 \pm 1,1$ ka und $16,1 \pm 1,1$ ka und dauerte bis $12,2 \pm 0,7$ ka an. Hier konnte unter den vegetationsfreien Bedingungen des Spätglazials der Materialtransport bis ca. 140 cm unter der heutigen Geländeoberkante stattfinden und der Großteil des Profils entstehen. Der Bereich ab 180 cm Tiefe konnte auf $12,2 \pm 0,7$ ka datiert werden und entspricht der Zeit, in der auch eine starke äolische Dynamik im Gebiet vorherrschte (vgl. Profil Eldorado Springs 4963 IV NE 5). Der Eintrag von äolischen Komponenten, direkt oder indirekt (fluvial, solifluidal), kann auch bei Betrachtung der Körngrößenverteilung erkennbar sein, da sehr hohe Ton-, aber auch Schluffgehalte in dieser Tiefe vorliegen, die eventuell nicht nur auf die Lessivierung zurückzuführen sind. Während zwischen 12 ka und 8,5 ka durch die Wiederbewaldung eine stabile Phase herrschte und Bodenbildung ermöglichte, löste ein Brand um 8,5 ka (¹⁴C-Datierung) einen erneuten Transport aus (LEOPOLD et al. 2011). Nach diesem Brand konnte zwischen $6,2 \pm 0,3$ ka und $5,4 \pm 0,3$ ka saprolithisches Material aufgrund der Vegetationsfreiheit nach dem Abbau und der

Einarbeitung der organischen Brandüberreste bis zur heutigen Geländeoberfläche akkumuliert werden (LEOPOLD et al. 2011). Das Profil zeigt besonders gut den komplexen Aufbau der Critical Zone und die Tatsache, dass Profile, so wie sie heute vorzufinden sind, auf eine Entstehung während und gegen Ende des Pleistozäns zurückgehen.

Charakteristische Schichten bestehen in dieser Profilgruppe überwiegend aus Löß sowie Saprolith, die beide durch oberflächlich aufgetauten Permafrost und das dabei frei werdende Wasser in feinen Bändern verspült sein können. Ein Einfluss von Niederschlägen beim Transport des Materials ist hier nicht auszuschließen. Ein Wechsel von kaltariden Phasen und episodischen Niederschlägen führte demnach zur Entstehung der Profile der Profilgruppe V.

In den Profilgruppen I bis V sind unterschiedliche Profile anzutreffen, die aufgrund der Dominanz diverser Prozesse zustande kommen. Das Auftreten und die Intensität dieser Prozesse hängen überwiegend von der Höhe bzw. den dort vorherrschenden kleinräumigen klimatischen Einflüssen ab. Ebenso werden die klimatischen Gegebenheiten von der Dauer, also den jeweiligen klimatischen Schwankungen des Pleistozäns, verursacht.

In der subalpinen und oberen montanen Höhenstufe spielt Solifluktion eine große Rolle. Hier finden sich oftmals mehrere Schichten, die durch diesen Materialtransportprozess entstanden sind. Ebenso sprechen Steinlinien im Profil für eine starke periglaziale Wirkung in Form von Materialsortierungsprozessen. Neben der nahezu ubiquitär vorhandenen obersten, äolisch beeinflussten Schicht, die den Eigenschaften nach einer Hauptlage entspricht, können vor allem in der subalpinen Stufe viele solifluidale Schichten vorgefunden werden. Im Übergang zur oberen montanen Höhenstufe kommen im Zuge von Tauprozessen entstehende verspülte Sedimente dazu. Hier können dann auch, wie Profilgruppe III beschreibt, alle im Untersuchungsgebiet auftretenden Entstehungsprozesse in den Schichten wieder gefunden werden. In Richtung der unteren montanen Stufe machen sich, neben einer Zunahme von periglazial verspülten Sedimenten, auch verstärkt äolische Einflüsse bemerkbar.

Der Einfluss der Solifluktion auf die Entstehung der Profile lässt demnach mit der abnehmenden Höhe nach, während die äolischen Ablagerungen und durch kaltzeitliche Spüldenudation beeinflusste Sedimente in den Vordergrund rücken. Die Solifluktion als einer der häufigsten Prozesse in Periglazialgebieten kann in den oberen Bereichen des Untersuchungsgebietes während des Pleistozäns aufgrund der sukzessiven Verschiebung der Höhenstufen länger wirken.

Die äolische Deposition zeigt sich in der obersten Schicht in allen Profilen, allerdings ist ihr Einfluss in der unteren montanen Stufe am größten. Nur hier treten mächtige Lößprofile auf. In der Literatur wird überwiegend von Nordwestwinden ausgegangen (MADOLE 1995). Als Quelle für den Löß im Vorland der Colorado Front Range gelten das Flussbett bzw. die angrenzenden Auengebiete des Boulder Creeks, der in seinem

obersten Bereich vergletschert war (REHEIS 1980). Auch in den Untersuchungen dieser Arbeit zeigt sich, dass vor allem die an den Boulder Creek angrenzenden Hänge und Täler massive Lößablagerungen aufweisen.

Durch das Auftreten aller Prozesse und demnach auch aller charakteristischer Schichten in Profilgruppe III kann hier eine gute Zusammenstellung abgeleitet werden. Die hier vorkommenden Schichten sind in leicht unterschiedlichen Ausprägungen und Häufigkeiten in den anderen Profilgruppen entsprechend zu finden. Eine Übersicht über mögliche Schichten im Untersuchungsgebiet zeigt Tabelle 4.3.

Die Aufteilung in überwiegend höhenzonale Profilgruppen liefert eine gute Basis für die Auswertung von einer Vielzahl an Profilen über einen großen Landschaftsausschnitt. Grundsätzlich können auch Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Schwierig ist eine genaue Abgrenzung der Gruppen, da die Übergänge zwischen den dominierenden Prozessen, wie oben beschrieben, fließend sind.

Für die Einordnung des Profilaufbaus bzw. des Aufbaus der Critical Zone in der Colorado Front Range im Vergleich zum deutschen Untersuchungsgebiet zeigen sich Unterschiede, aber auch viele Übereinstimmungen. Die oberste Schicht stellt, wie auch in Mitteleuropa, ein durch äolische Ablagerung beeinflusstes Sediment da. Die Kriterien für eine Hauptlage (siehe Kapitel 2.4.1) werden erfüllt.

Eine Mittellage kann im Untersuchungsgebiet nicht häufig gefunden werden. Allerdings treten in der oberen montanen Stufe an einigen Stellen reaktivierte Schichten unterhalb der Hauptlage auf, die äolische Komponenten aufweisen können und prozessual entweder durch Kryoturbation oder z.T. auch Solifluktion entstanden sind. Diese kommen in ihrer Entstehung einer Mittellage gleich. Die Eigenschaften derselben können grundsätzlich sehr variabel sein.

Alle darunter liegenden Schichten sind entweder durch Spülprozesse auf Permafrost oder durch Solifluktion entstanden. Ihre Eigenschaften, wie dichte Lagerung, hangparallel eingeregelttes Skelett, fehlendes äolisches Material bei gleichzeitiger Zusammensetzung aus autochthonen Bestandteilen, weisen durchweg auf eine Basislage hin. In einzelnen Fällen können allerdings nicht die typischen Schluffhauben und blanken Unterseiten an den Skelettkomponenten vorgefunden werden. Hier zeigt sich, vermutlich aufgrund der höheren Mächtigkeit einzelner Schichten bzw. des Gesamtprofils, eine Wasserzügigkeit nur in bestimmten Schichten. Im Vergleich zum Untersuchungsgebiet Otterbachtal fällt zudem auf, dass in Colorado viel größere Bereiche durch periglaziale Spülprozesse beeinflusst sind als im Bayerischen Wald, wo die Solifluktion bei der Entstehung der Basislagen dominiert. Ursächlich könnten die größeren Hanglängen in den Rocky Mountains sein. Durch das gleichzeitige Freiwerden von Tauwasser des obersten Bodenbereichs kann über eine längere Hangstrecke mehr Wasser akkumulieren und abfließen, als auf einem relativ kurzen Hang. Außerdem verhindern möglicherweise die im Vergleich höheren Anteile an grusigen und sandigen Korngrößen in der Colorado Front Range, dass das oberflächlich aufgetaute Material weniger Wasser aufnimmt und dadurch verspült wird,

während die feineren Sedimente bei Wasseraufnahme breiigere Konsistenz aufweisen und zur Solifluktion neigen. Zudem ist eine geringere sommerliche Auftautiefe des Permafrosts denkbar, die den Transport von Material auf die obersten Zentimeter beschränkt.

Die höhenzonale Änderung des Aufbaus der Critical Zone an den Hängen kann in der Colorado Front Range anhand von fünf Profilgruppen dargestellt werden. Sehr verbreitet sind hier periglaziale Schichten, die während des Pleistozäns entstanden sein müssen. Während in Profilgruppe I und II in der subalpinen Stufe Solifluktion ein vorherrschender Prozess war, bildeten sich Sedimente in der unteren montanen Stufe, dargestellt durch Profilgruppe IV und V, verstärkt durch periglaziale Spülprozesse und äolische Deposition. In der oberen montanen Stufe (Profilgruppe III) überschneiden sich diese Prozesse. Für den Profilaufbau kann im Vergleich mit den mitteleuropäischen periglazialen Deckschichten festgestellt werden, dass neben einer Hauptlage meist mehrere Basislagen auftreten. Eine Mittellage nach den Kriterien der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 2005) ist selten zu finden.

4.2 Altersangaben zu den periglazialen Deckschichten

Die in Kapitel 4.1 beschriebenen Schichten können aufgrund ihrer Eigenschaften sowie dem Vorkommen eines periglazialen Formenschatzes im direkten Umfeld einer periglazialen Entstehung zugeordnet werden. Der Bildungszeitraum ist demnach auf die letzten zwei Glazialen des Pleistozäns, Pinedale und Bull Lake, begrenzt. Sie sind folglich vergleichbar mit den periglazialen Deckschichten in Mitteleuropa. Anhand von numerischen Datierungen der Sedimentschichten in der Colorado Front Range wie auch im Bayerischen Wald mit Optisch Stimulierter Lumineszenz (OSL) sollen die Schichten genauer in einen zeitlichen Kontext gestellt und die Methode hinsichtlich der Datierbarkeit von periglazialen Deckschichten bewertet werden. Eine detaillierte Tabelle mit allen in dieser Arbeit verwendeten OSL-Datierungen sowie Abbildungen zu einzelnen Profilen mit Altersangaben zu den periglazialen Deckschichten, finden sich im Anhang A.3.1 und A.3.2.

Im Überblick (Abbildung 4.10) zeigt sich, dass die Akkumulation der Schichten in der Colorado Front Range überwiegend während des Pinedales sowie der Phase der Deglaciation in den Kälterückschlägen der Ältesten Dryas (13,7-13,8 ka), der Älteren Dryas (13,4-13,5 ka) und der Jüngeren Dryas (12,7-11,6 ka) stattfand. Einzelne Schichten weisen ältere Datierungsergebnisse auf und können in einem Fall auch der Bull Lake Eiszeit zugeordnet werden. Sieben Alter liegen im Holozän (< 11,6 ka). Bei einem Großteil dieser Proben handelt es sich um Material aus einer Tiefe kleiner 50 cm, so dass eine Belichtung nach Entstehung der Sedimentschichten, beispielsweise durch Windwurf, nicht auszuschließen ist. Auch Brandereignisse, die in den niedrigeren

Höhenstufen häufiger vorkommen, sowie Landnutzung können eine Rolle bei der Remobilisierung der oberen Schichten spielen. Mit der Probe Ward 4864 II SE 1/3 wurde die Verfüllung des in Kapitel 4.1 beschriebenen Eiskeils mit $10,9 \pm 0,6$ ka datiert. Damit gibt das Alter der Füllmaterials den Zeitpunkt kurz nach dem Austauen des Eises an.

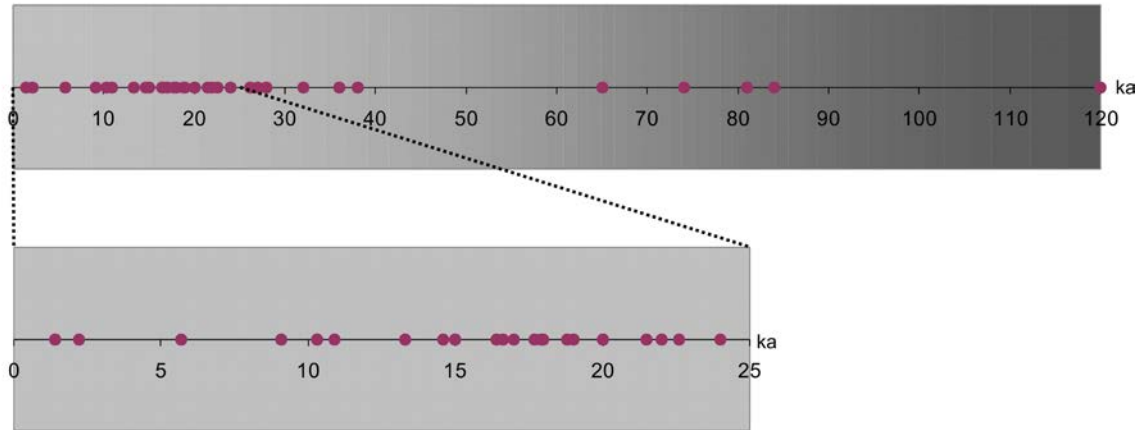


Abb. 4.10: OSL-Datierungen im Untersuchungsgebiet Colorado Front Range.

Um die unterschiedlichen Ablagerungszeiträume genauer zu erklären, werden im Folgenden die Datierungsergebnisse detaillierter dargestellt.

Eine Gegenüberstellung zwischen dem Alter der Probe und der Entnahmetiefe im Profil zeigt, dass mit zunehmender Tiefe die Sedimente tendenziell älter sind (Abbildung 4.11).

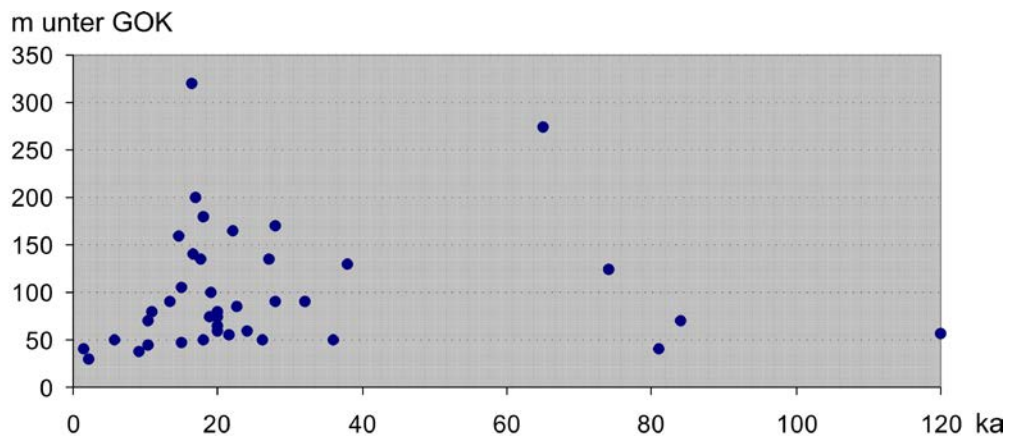


Abb. 4.11: Zusammenhang zwischen Alter der Probe und Entnahmetiefe im Profil.

Allerdings gibt es hier viele Ausreißer sowie eine breite Streuung der Tiefenstufen pro Alter, so dass keine besonders gute Korrelation vorliegt. Es muss deshalb von einer Scheinkorrelation ausgegangen werden, da die übereinander lagernden Schichten nacheinander entstanden sind. Folglich müssen die Alter bezüglich der Schichten bzw. auch hinsichtlich ihrer Entstehungsprozesse analysiert werden.

Eine Einordnung der Proben in die einzelnen in Kapitel 4.1 beschriebenen und in Tabelle 4.3 zusammengefassten Prozessgruppen gibt Abbildung 4.12. Der Bildungs-

Zeitraum für die überwiegend durch äolische Einflüsse entstandenen Schichten (A) kann grundsätzlich für die Zeit nach dem LGM angegeben werden. Nur zwei Proben, Gold Hill 4965 III SW 7/1 und 8/1, weisen ältere Ergebnisse auf, die aber aufgrund der relativ hohen Dosis unter Umständen unzureichend gebleicht sind. Es handelt sich um Probennahmestellen im Abstand von einigen Metern in annähernd gleicher Tiefe und derselben Schicht, so dass die Alter konsistent sind. Die Prozessgruppe A beinhaltet zudem neben äolisch beeinflussten Schichten auch solche, die komplett aus äolischem Material bestehen, das fallweise nach der Ablagerung verspült sein kann. Letztere sind tendenziell älter, mit einer äolischen Deposition in einem Zeitraum zwischen 20 ka und 14 ka. Eingearbeitetes äolisches Material ergibt Alter um 10 ka.

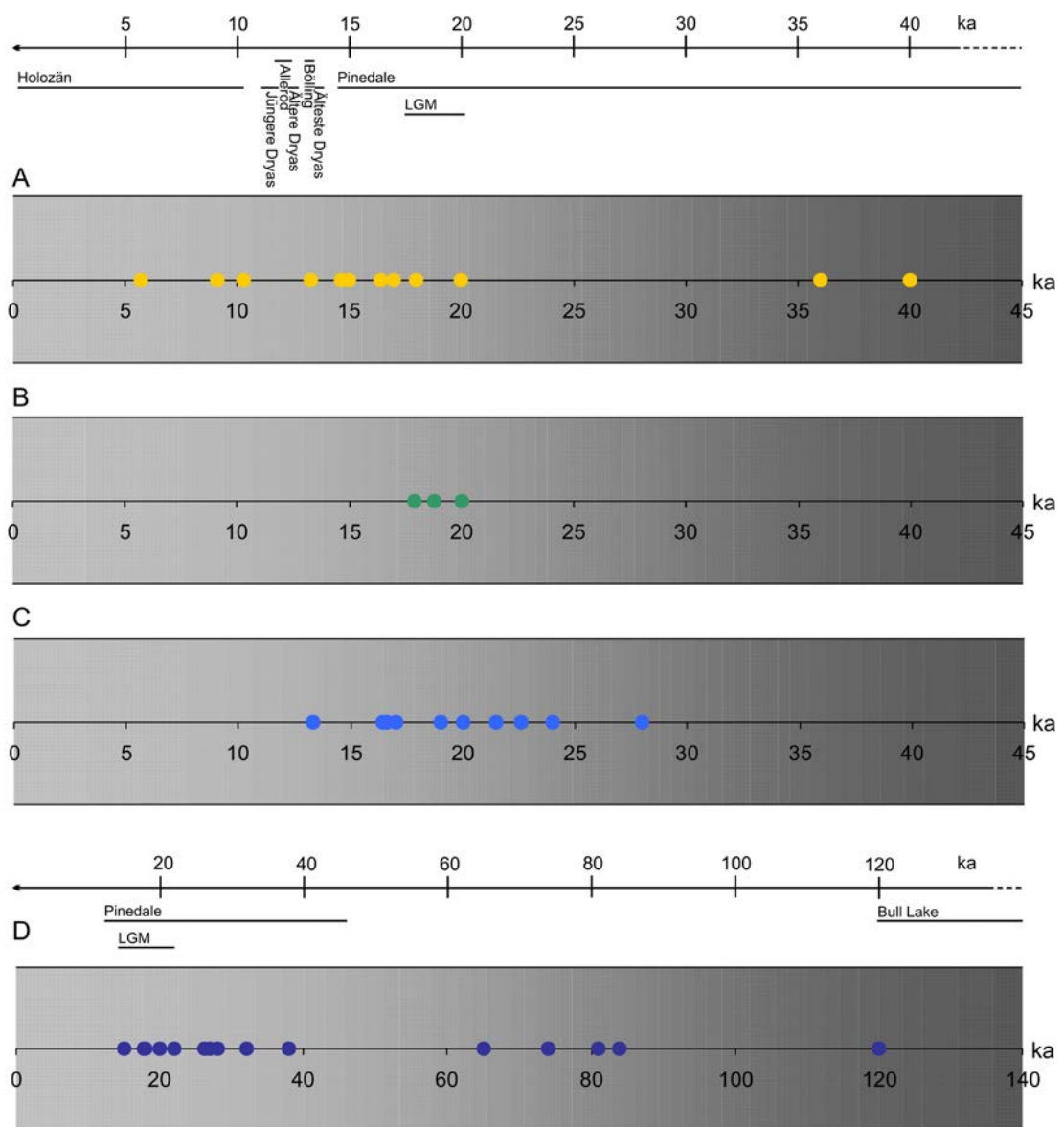


Abb. 4.12: OSL-Alter der einzelnen Schichten bzw. nach dominierenden Entstehungsprozessen (A: äolische Deposition, B: fluviale oder solifluidale Reaktivierung, C: kaltzeitliche Spülprozesse, D: Solifluktion).

Die Prozessgruppe B kann nur in wenigen Profilen beobachtet werden und trat während des LGM auf.

Schichten, die Hinweise auf kaltzeitliche Spülprozesse zeigen, wie in Prozessgruppe C beschrieben, können eindeutig dem Pinedale zugeordnet werden. Im Fall von verspültem Löß, finden diese Prozesse erst nach oder während der äolischen Deposition und somit in einem Zeitraum ab 17 ka statt. Die kaltzeitlicheerspülung von Saprolith, wie sie beispielsweise in den Profilen Eldorado Springs 4963 IV NE 3, Gold Hill 4965 III SW 8 und Boulder 4964 III SE 7 auftritt, erfolgte kurz vor dem LGM.

Die ältesten periglazialen Sedimente im Untersuchungsgebiet Colorado Front Range sind durch Solifluktion entstanden (Prozessgruppe D). Da dies einer der charakteristischen Prozesse der Periglazialgebiete ist, tritt er sehr häufig auf und bietet somit die Möglichkeit zur Datierung an einer Vielzahl von Profilen. Solifluktion kann für drei verschiedene Perioden des Pleistozäns nachgewiesen werden. Besonders häufig sind solifluidale Sedimente des Pinedales in einem Zeitraum zwischen 18 ka und 38 ka erhalten. Auch im Zeitraum zwischen 65 ka und 84 ka sowie in einem Fall auch für die Bull Lake Vereisung zeigen sich durch Solifluktion entstandene Schichten im Gebiet.

Da die einzelnen Schichten bzw. die zu ihrer Entstehung führenden Prozesse unterschiedlich stark in den jeweiligen Höhestufen auftreten, zeigt Abbildung 4.13 den Zusammenhang zwischen Höhe und Alter innerhalb der Prozessgruppen. Grundsätzlich liegen keine starken Korrelationen zwischen Höhe und Alter vor. Die Bestimmtheitsmaße liegen bei 15 %, 18%, 0,1 % und 0,6 %.

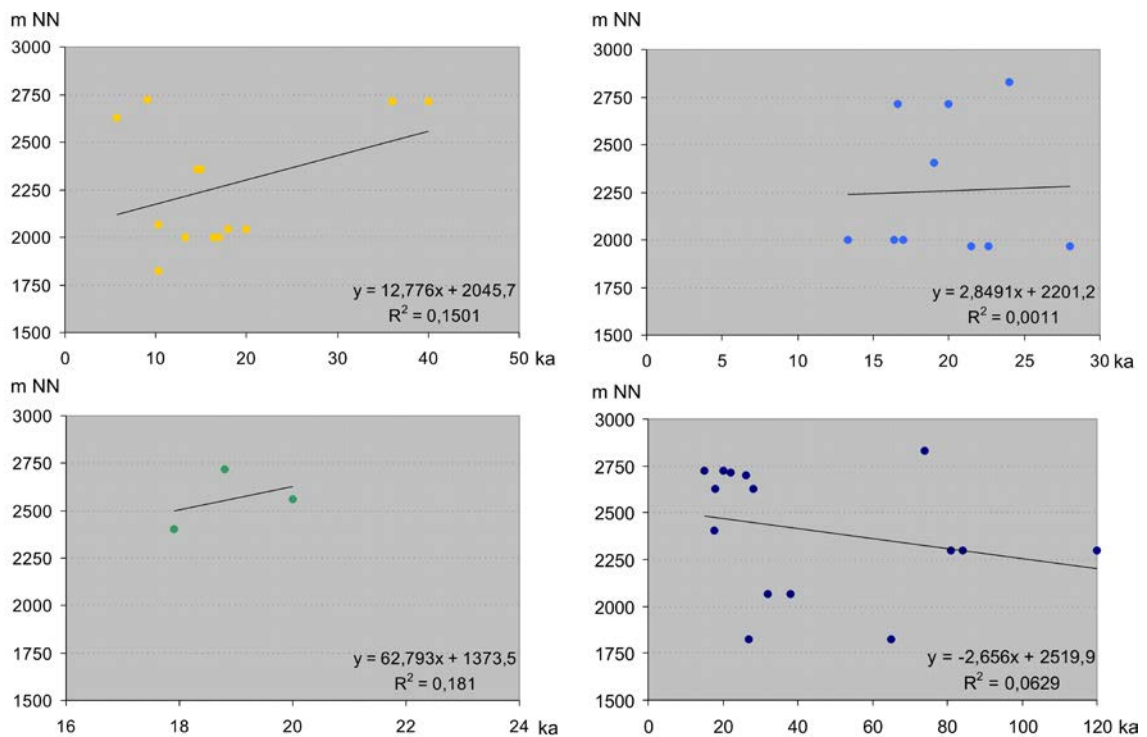


Abb. 4.13: Zusammenhang zwischen Höhenlage des Profils und Alter der Probe, bezogen auf die Prozessgruppen (A: gelb, B: grün, C: hellblau, D: dunkelblau).

Die Diagramme veranschaulichen, in welchen Höhenstufen welche Prozesse verstärkt auftreten. Während äolische Einflüsse im Bereich um 2000 m NN dominant sind, gilt für die Solifluktion vor allem eine Höhe zwischen 2500 m NN und 2750 m NN. Zusätzlich steigt bei allen Prozessen – Ausnahme bildet die Solifluktion – die Regressionsgerade an, d.h. mit zunehmender Höhe werden die Sedimente tendenziell älter. Bei den solifluidal beeinflussten Schichten sind die im Relief tiefer liegenden Sedimente höheren Alters. Das zeigt, dass starke solifluidale Einflüsse die unteren Höhenstufen gegen Ende der Eiszeit nicht mehr erreichten und folglich die äolischen und fluvialen Prozesse überwogen.

Für die Colorado Front Range konnten eine Vielzahl von Proben aus Schichten unterschiedlicher Entstehung datiert werden. Die Kombination von Ergebnissen aus der Datierung von Quarz- und Feldspat (unstabiles und stabiles Signal) verifizieren die Resultate. Die Datierung der periglazialen Deckschichten und Löss mit OSL funktioniert in diesem Untersuchungsgebiet sehr gut. Die Alter sind innerhalb der Profile und Prozessgruppen konsistent.

Im Vergleich dazu sollen die bekannten periglazialen Deckschichten im Bayerischen Wald ebenfalls mit OSL datiert werden. 26 Proben verteilt auf neun Profile zeigen, dass die Datierung, sowie folglich die Interpretation der Ergebnisse, in diesem Untersuchungsgebiet schwieriger ist. Häufig sind die Proben nicht ausreichend gebleicht bzw. das Material gesättigt. Das betrifft vor allem die Datierung des Quarzes, aber in einigen Fällen sogar den Feldspat, der leicht zu bleichen ist. Bezogen auf die Schichten gibt es insbesondere bei den Basislagen Schwierigkeiten. Hier treten zu hohe Dosen beim Quarz über 200 Gy und bei Feldspat über 1000 Gy auf.

Die Ergebnisse der OSL-Altersbestimmung bezogen auf die jeweiligen periglazialen Deckschichten im Untersuchungsgebiet Otterbachtal sind in Abbildung 4.14 dargestellt. In der Hauptlage fand die Altersbestimmung an sieben Proben in Tiefenstufen von 24 cm bis 60 cm statt. Es tritt eine Häufung der Ergebnisse zwischen 7 ka und 10 ka sowie weitere Alter um das LGM auf. Ein Wert liegt mit 65 ka weit von den restlichen entfernt und müsste zudem aufgrund der hohen Dosis als Minimalalter oder zu geringe Bleichung interpretiert werden. Die holozänen Alter könnten allerdings auf eine Belichtung nach Ablagerung zurückzuführen sein, da sie durchweg in den oberen Bereichen der Hauptlage (< 40 cm) liegen. Die Entstehung der Hauptlage fand demnach während des LGM sowie gegen Ende des Pleistozäns und zu Beginn des Holozäns vor der Wiederbewaldung statt. Dabei sind die Alter um das LGM aufgrund der möglichen Belichtung der jüngeren Proben wahrscheinlicher. Eine Entstehung in der Jüngeren Dryas, wie häufig in der Literatur angegeben, kann nicht bestätigt werden.

Da die Mittellage nicht besonders häufig im Untersuchungsgebiet auftritt, liegen nur vier Datierungsergebnisse vor, die sehr weit streuen. Aufgrund der unterschiedlichen Probtiefen sowie der sehr differierenden Eigenschaften der Mittellage sind Alter von $23,5 \pm 1,5$ ka, 47 ± 7 ka und mehr als 95 ± 5 ka möglich. Eine Probe in 40 cm Tiefe

liefert bei den drei OSL-Datierungsmethoden sehr unterschiedliche Werte von $3,8 \pm 0,6$ ka, 71 ± 12 ka und 165 ± 10 ka. Da eine Störung des Sediments nach Ablagerung in dieser Tiefe nicht auszuschließen ist, muss der erste Wert in Betracht gezogen werden.

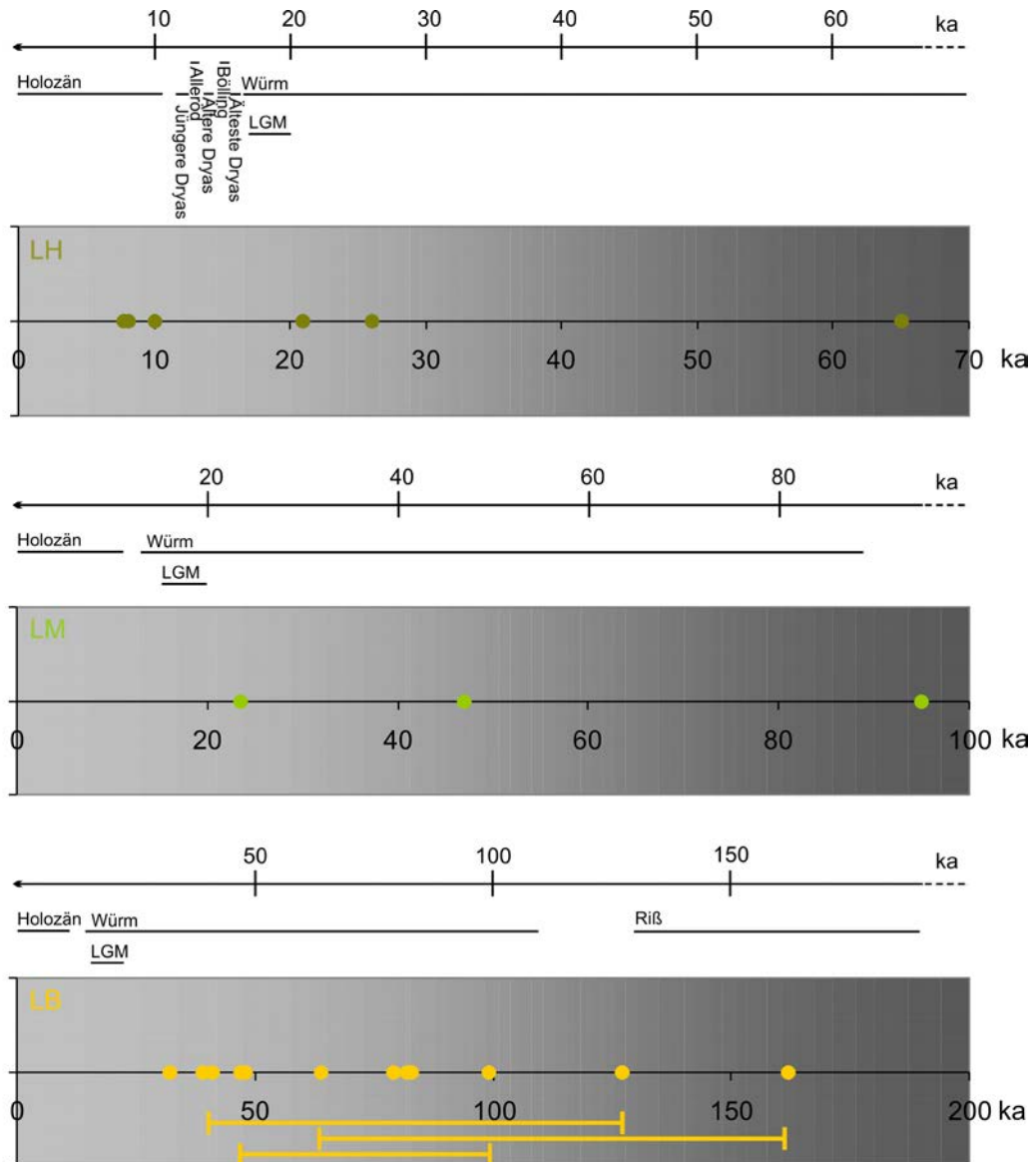


Abb. 4.14: Darstellung der Datierungsergebnisse, bezogen auf Hauptlage (LH), Mittellage (LM) und Basislage (LB).

Die meisten Proben wurden in der Basislage analysiert. Hier gab es überwiegend Probleme bei der Datierung bezüglich der hohen Dosen. Daher ist ein Großteil der Proben als Minimalwert zu interpretieren. Bei einigen Proben entsteht durch die zusätzliche Messung des Feldspats eine Spanne, in der die Ablagerung des Sediments erfolgte. Die Basislagen im Bayerischen Wald bildeten sich demnach nicht vor 32 ka, sondern tendenziell ab 40 ka oder später ab 80 ka. Eine Entstehung im Würm ist sehr wahrscheinlich, da nur wenige Werte ins Riß zurückgehen, und diese dann eher Maximalwerte des Alters signalisieren. Grundsätzlich zeigt sich auch hier, dass die

solifluidal gebildete Basislage aufgrund der Häufigkeit dieses Prozesses einen breiten Entstehungszeitraum haben könnte. In der Literatur spiegelt sich der lange Bildungszeitraum in den variierenden Altersangaben wider.

Im Vergleich ist festzustellen, dass die OSL-Datierung in Colorado verlässlichere Werte liefert und dort gut einsetzbar ist. Die äolisch beeinflussten Schichten, wie auch die Hauptlage, weisen trotzdem einen ähnlichen Bildungszeitraum auf, beginnend zur Zeit des LGM, verstärkt gegen Ende des Pleistozäns bis zum Beginn des Holozäns. Solifluktion als dominierender Prozess, der auch zur Entstehung der Basislage führt, findet meist vor dem LGM statt und geht zurück bis ca. 120 ka. Diese Schichten können dem Würm bzw. Pinedale und nur in seltenen Fälle dem Bull Lake zugeordnet werden.

Es zeigt sich, dass äolische Prozesse im ausgehenden Glazial, Solifluktion im Hochglazial vorherrschen.

4.3 Hangwasser in den periglazialen Deckschichten und im Saprolith

Die periglazialen Deckschichten haben, wie auch grundsätzlich der Aufbau der CZ, einen Einfluss auf das Verhalten des Wassers im Boden. Wie schon in Kapitel 2.5.2 ausgeführt, wird den einzelnen Schichtgliedern teils unterschiedliches Wirken zugeschrieben, das im Zusammenhang mit deren Eigenschaften steht und von den örtlichen Gegebenheiten, wie den Gesteinen, zusätzlich beeinflusst wird. Daher findet die Auswertung der Bodenwassermessungen im Untersuchungsgebiet Otterbachtal vor dem Hintergrund des charakteristischen Aufbaus der Critical Zone dieses Gebietes statt. Für das zweite Untersuchungsgebiet können nur anhand der Profilaufnahmen und der Auswertung der Messungen im Bayerischen Wald Rückschlüsse hinsichtlich des Verhaltens des Wassers im Boden gezogen werden.

Den Zusammenhang zwischen dem Niederschlag bzw. dem Gebietsabfluss und dem Bodenwasser zeigt der Vergleich mit den Werten der Pegelmessstelle „Hammermühle“. Der Wassergehalt im gesamten Profil soll hinsichtlich des Jahresgangs des Niederschlags sowie einzelner Abweichungen vom typischen Niederschlagsgeschehen für dieses Gebiet aufgezeigt werden. Schließlich gibt die Auswertung und Darstellung des Wassergehalts in den jeweiligen Schichten Hinweise auf das Verhalten des Wassers im Boden bzw. den Einfluss der einzelnen Schichten auf das Bodenwasser.

Durch die Kombination des Aufbaus der Critical Zone und dem in ihr befindlichen Wasser kann eine konkrete Fragestellung der Critical Zone-Forschung bearbeitet werden. Die Relevanz des Themas und dessen Einfluss auf unterschiedliche, den Menschen betreffende Bereiche, wie Hochwasser, Wasserverfügbarkeit sowie Wasserverunreinigungen, stellen einen Anwendungsbezug dieser Arbeit vor.

4.3.1 Bodenwasser im Untersuchungsgebiet Otterbachtal

Im Otterbachtal kann entlang der Hundshänge auf eine siebenjährige Datenreihe aufgenommen mit 30 FD-Sonden zurückgegriffen werden. Der genaue Versuchsaufbau sowie die Funktionsweise der Sonden sind in Kapitel 3.3.2 detailliert dargestellt. In die folgende Auswertung gehen stündliche Messungen im Zeitraum November 2005 bis März 2012 mit ein. Aufgrund des Ausfalls mehrerer Sonden sowie eines Loggers werden spätere Daten nicht berücksichtigt.

Das Klima des Untersuchungsgebietes spiegelt sich in den Bodenwassermesswerten wieder, so dass grundlegende Tendenzen in allen Jahren gleich sind (Abbildung 4.15). Während das hydrologische Jahr mit einer spätherbstlichen bis frühwinterlichen Wiederbefeuchtung sehr trockener Böden beginnt, kann ein Niederschlagsmaximum im Winter verzeichnet werden. Dieses wird durch steigende Wassergehalte im November und meist auch noch im Dezember angezeigt, allerdings weisen rückläufige oder stagnierende Werte im Winter auf gefrorenen Niederschlag hin, der nur zu einzelnen Tauereignissen infiltrieren kann. Besonders kalte Winter mit viel Schneefall, wie z.B. der Winter 2008/09, haben trotz Niederschlagsmaxima tendenziell niedrige Messwerte im Winter, dafür aber stark erhöhte Werte im Frühjahr zur Schneeschmelze. Frühjahrsniederschläge, gepaart mit Tauwetter, führen zu den höchsten Bodenwassergehalten des Jahres im März und April, teilweise mit leichter Verzögerung im Vergleich zum Witterungsverlauf. Meist sinken die Werte ab Mai durch geringere Niederschläge im Frühsommer ab und können trotz eines zweiten Niederschlagsmaximums im Sommer nur selten steigende Bodenwassergehalte verzeichnen. Zu dieser Zeit spielen die stärkere strahlungsbedingte Austrocknung an weniger bewachsenen Stellen, der erhöhte Wasserverbrauch der Pflanzen sowie die Interzeption eine bedeutende Rolle.

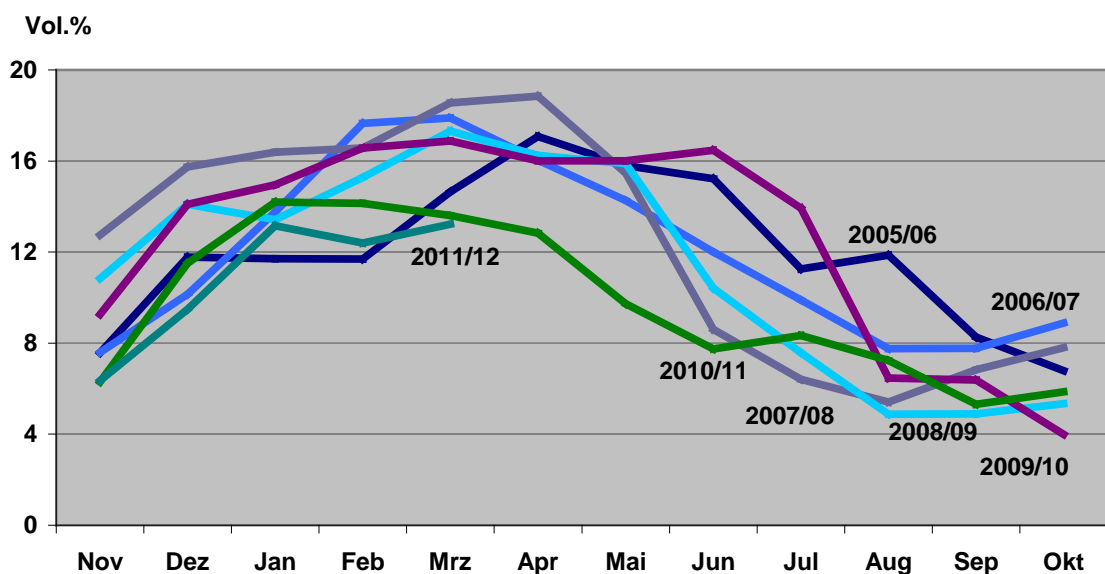


Abb. 4.15: Monatsmittel über alle Sonden in den jeweiligen hydrologischen Jahren.

Neben dem Klima des Untersuchungsgebietes in den gemäßigten Breiten, das eine Basis der Wassergehaltswerte vorgeben, werden witterungs- und wetterbedingte Einflüsse deutlich sichtbar. Ein Beispiel ist das hydrologische Jahr 2006/07, das sich durch einen niederschlagsreichen, aber auch relativ warmen Winter ohne lange Frostperiode auszeichnet. Hier fehlt die durch Frost verzögerte Infiltration des Wassers in den Boden, erkennbar durch den stetigen, steilen Anstieg des Bodenwassergehalts bis in den Februar. Es findet eine Aufsättigung der winterlichen Niederschläge statt. Der fehlende Peak im März und April des Jahres 2007 beweist die ausbleibende Schneeschmelze. Auch tritt in diesem Jahr durch einen trockenen Frühsommer keine Verzögerung der Austrocknung des Bodens auf.

Zusammengefasst liegen die Monatsmittel über alle Sonden bei 11,6 Vol.%. Maximalwerte treten im Frühjahr durch die Kombination von Niederschlag und Schneeschmelze auf. Der höchste Mittelwert wurde dabei im April 2008 mit 18,9 Vol.% ermittelt. Der niedrigste mittlere Wassergehalt liegt bei 4,0 Vol.% im Oktober 2010. Grundsätzlich sind die geringsten Werte im Spätsommer und Herbst nach der sommerlichen Austrocknung zu finden.

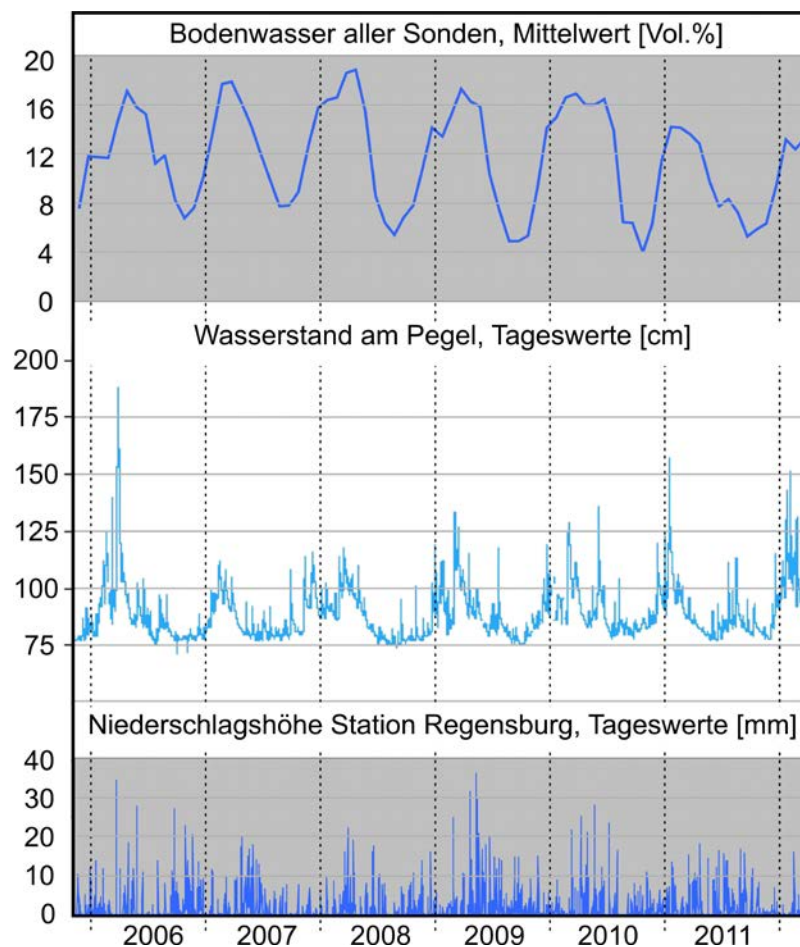


Abb. 4.16: Gegenüberstellung des mittleren Bodenwassergehalts, des Wasserstands am Pegel Hammermühle/Otterbach und die Niederschlagshöhe der Station Regensburg für den gesamten Erhebungszeitraum (Bodenwassergehalt, eigene Messung; Pegelstand Wasserwirtschaftsamt Regensburg, <http://www.hnd.bayern.de>, 02.07.2013; Niederschlagshöhe Deutscher Wetterdienst, www.dwd.de, 25.11.2013).

Dass zwischen dem Niederschlag und dem Bodenwasser ein Zusammenhang besteht, zeigen die Werte sehr deutlich. Die Verbindung zwischen dem Wassergehalt im Boden und den Wasserständen im angrenzenden Otterbach ergibt sich im Jahresverlauf nicht zuletzt über die gemeinsame Komponente des Niederschlags, wie in Abbildung 4.16 dargestellt. Beide Vergleiche – Bodenwasser und Niederschlag bzw. Bodenwasser und Pegelstand – validieren tendenziell die Richtigkeit der Messwerte an den Sonden. Zudem beschreiben sie einen Zusammenhang der Komponenten Niederschlag, Bodenwasser und Vorfluter im hydrologischen Kreislauf.

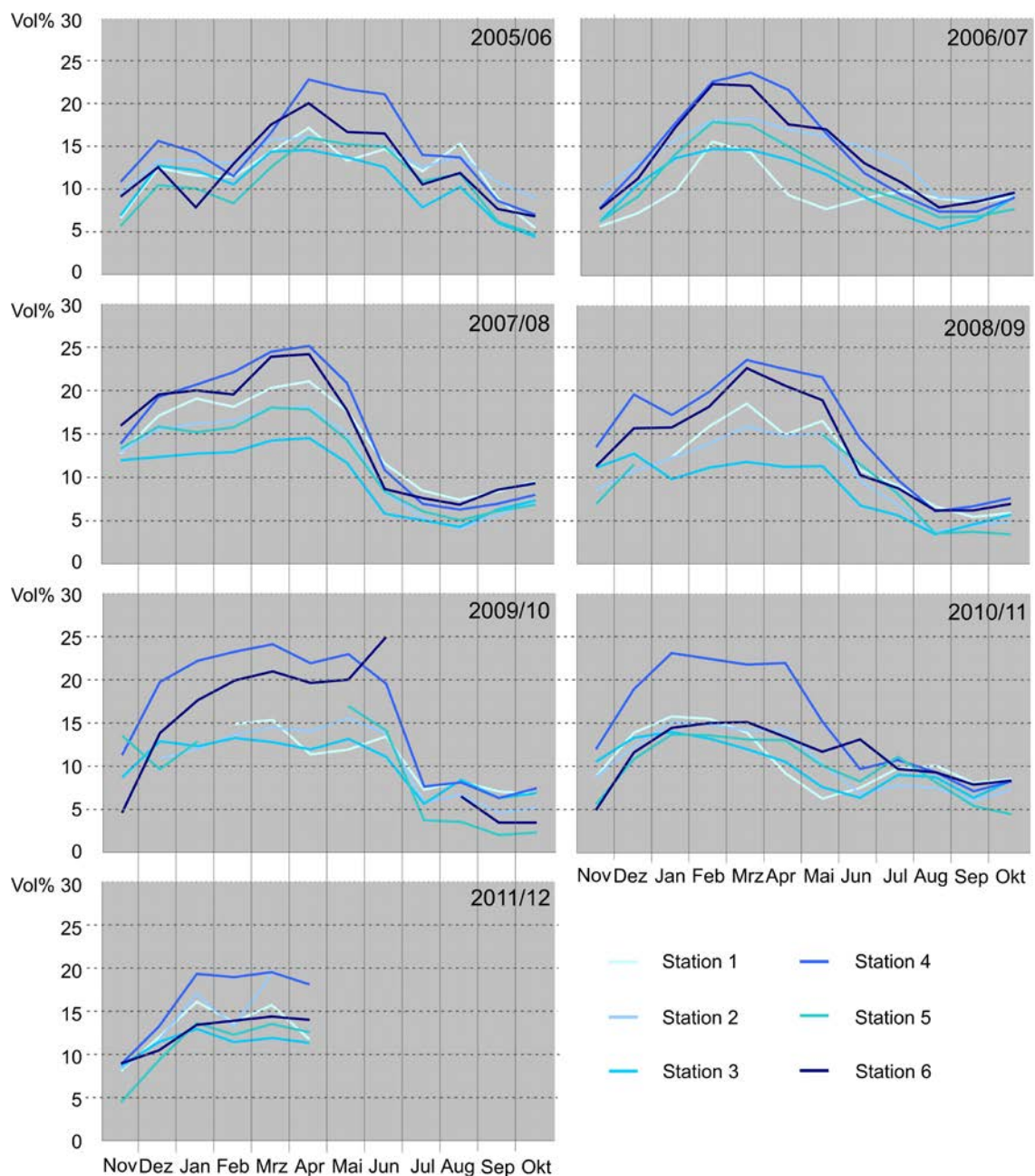


Abb. 4.17: Mittelwerte des Wassergehalts für die Stationen 1-6.

Die genauere Betrachtung der sechs Messstationen, die entlang einer Catena liegen, sollen Unterschiede dokumentieren, die gegebenenmaßen nicht nur von den periglazialen Deckschichten herrühren, sondern von ihrer Lage am Hang und damit verbundenen Wirkgrößen. Allerdings muss beachtet werden, dass profilbedingt nicht jede Station die gleiche Anzahl an Sonden in einer bestimmten Schicht aufweist, so dass verschieden hohe mittlere Wassergehalte auch durch die Deckschichten entstehen können. Trotzdem zeigt Abbildung 4.17 neben Unterschieden an den einzelnen Stationen auch die Schwankungsbreite der hydrologischen Jahre.

Abbildung 4.17 zeigt die Mittelwerte des Wassergehalts für die Stationen 1-6 über den gesamten Messzeitraum. Grundsätzlich spiegeln diese Daten auch den Jahresgang im Untersuchungsgebiet wider. Es fällt auf, dass Station 4 im Mittelhang und Station 6 am Hangfuß im Mittel die höchsten Werte aufweisen. Allerdings lässt sich eine direkte Abhängigkeit zwischen Lage am Hang und Höhe der Messergebnisse nicht erkennen. Beispielsweise zeigt die oberste Station größere Mittelwerte als Station 3 im Mittelhang. Auch ein Zusammenhang zwischen Hangneigung und Wassergehalt ist nicht ersichtlich, obwohl an Station 4 auch die höchste Hangneigung mit 17° zu finden ist. Im Gegensatz dazu weist z.B. Station 1 mit 1° die geringste Hangneigung auf, zeigt aber höhere mittlere Wassergehalte als andere Stationen.

Daraus ergibt sich, dass Stationen mit mehreren Sonden in der Basislage tendenziell höhere Mittelwerte aufweisen, während die Messergebnisse der Sonden im Saprolith sehr gering sind (Mittelwerte zwischen 1 Vol.% und 8,5 Vol.%, Maximalwerte von nicht mehr als 23 Vol.%). Da an Station 4 drei von fünf Sonden in der Basislage installiert sind, kann ein Zusammenhang zwischen dem Schichtaufbau und dem Wassergehalt im Untersuchungsgebiet angenommen werden. Dieser soll im Folgenden näher ausgeführt werden.

4.3.2 Bodenwasser in den periglazialen Deckschichten und im Saprolith

Grundsätzlich ist aus der Literatur bekannt, dass der geschichtete Aufbau der Critical Zone eine Wirkung auf den Wasserfluss im Boden hat (u.a. HEILIG et al. 2003). Die Richtung des Einflusses hängt allerdings von einer Vielzahl von Größen ab, so dass für die entsprechende Schicht bzw. auch für die Bedingungen im jeweiligen Untersuchungsgebiet, andere Auswirkungen auf den Wasserfluss auftreten können (siehe Tabelle 2.6). Da die periglazialen Deckschichten durch ihre jeweils sehr unterschiedlichen Schichteigenschaften den Aufbau bedeutend beeinflussen, sollen für jede Schicht die Charakteristika herausgearbeitet werden. Der Saprolith, der die untere Grenze der Deckschichten im gesamten Untersuchungsgebiet Otterbachtal darstellt und ein wesentlicher Bestandteil der Critical Zone ist, geht in diese Auswertung ein.

In einem ersten Überblick zeigt Abbildung 4.18, dass der Saprolith die geringsten Wassergehaltswerte aufweist und im Mittel immer unter 15 Vol.% liegt. Die Kurve stellt sich sehr ausgeglichen da und folgt den tendenziellen Feuchtebedingungen des Untersuchungsgebiets ohne größere Ausschläge. Basis- und Mittellage weisen meist die höchsten Werte vor. Der mittlere Bodenwassergehalt steigt in diesen Schichten auf

knapp 22 Vol.% an. Die Hauptlage kann bei einem mittleren Maximum von 21,0 Vol.% ähnlich hohe Werte erreichen, schwankt aber im Jahresgang stärker als Mittel- und Basislage.

In diesem Kapitel sollen der Einfluss der einzelnen Schichten auf den Wassergehalt im Boden sowie dessen Änderung als Hinweis für den Wasserfluss beleuchtet werden. Die Mittelwerte des Wassergehalts der jeweiligen Schicht geben einen guten ersten Überblick, lassen aber nur wenige detaillierte Aussagen zu und bilden etwaige Reaktionen auf einzelne Niederschlagsereignisse in unterschiedlichen Feuchtereimes nicht ab.

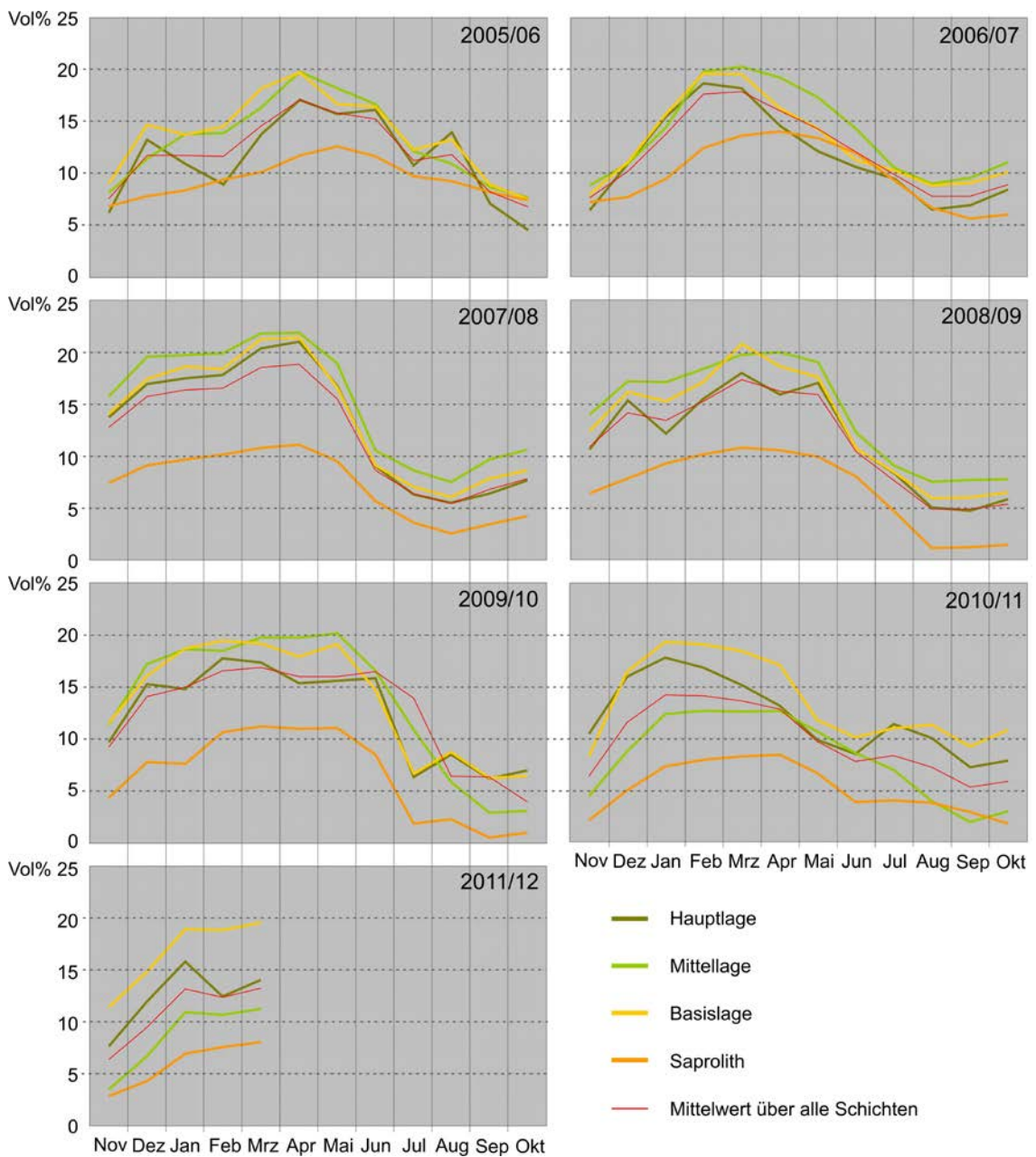


Abb. 4.18: Mittlere Wassergehalte in den periglazialen Deckschichten.

Hauptlage

Die Hauptlage als oberste Schicht beeinflusst die Infiltration des Wassers und gibt damit vor, wie viel Wasser in den Boden gelangt. Um dies näher fassen zu können, zeigen Infiltrationsmessungen mit Hilfe eines Doppelringinfiltrometers im näheren Umfeld von vier Stationen mit unterschiedlichem Bewuchs die Infiltrationsraten im Untersuchungsgebiet (Abbildung 4.19). Diese pendeln sich nach einiger Zeit auf Werte zwischen 0,38 mm/s und 0,54 mm/s ein. An Station 3 bleibt die Rate nach anfänglich sehr hohen Werten bei 1,00 mm/s konstant. Die Messungen zeigen durchweg hohe Infiltrationsraten, die die Wasserwegsamkeit der Hauptlage belegen.

Die Hauptlagen nehmen das Wasser also sehr schnell auf. Die Messergebnisse an den 13 in dieser Schicht eingebauten Sonden zeigen einen großen Wertebereich von durchschnittlich 25,2 Vol.% (A.4.2). Ein häufiger Wechsel von hohen und niedrigen Werten charakterisiert diese Schicht. Bei jedem Niederschlag zeichnen die Sensoren hohe Ausschläge auf, die sehr schnell wieder auf das Ausgangsniveau oder auf einen leicht erhöhten Wert zurückfallen. Da das Niederschlagswasser nur relativ kurz in dieser Schicht gehalten wird, was häufig zur Austrocknung führt, ist der Mittelwert im Vergleich zu den anderen Schichten mit 11,3 Vol.% relativ gering (siehe auch Abbildung 4.18).

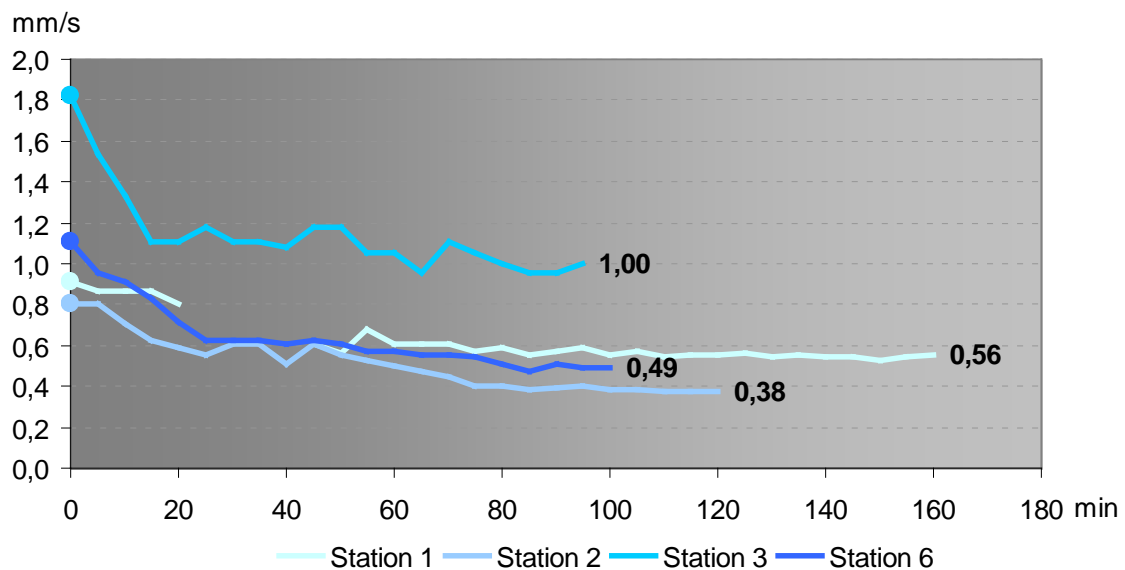


Abb. 4.19: Zeitlicher Verlauf der Infiltration in mm/s.

Es zeigt sich, dass das Wasser gut in die Hauptlagen infiltriert und durch eine schnelle vertikale Sickerwasserbewegung in tiefere Bereiche weitergegeben wird. Dafür verantwortlich ist vor allem die lockere Lagerung dieser Schicht. Die Eindringwiderstände liegen zwischen 0,96 kg/cm² und 3,39 kg/cm², im Mittel bei 2,08 kg/cm² (A.4.1.2). Da die Hauptlage als oberste Schicht (44 cm mittlere Mächtigkeit) auch den Hauptwurzelhorizont bildet, führen Bioturbation durch Wurzeln sowie Windwurf gemeinsam mit der äolischen, kryptoturbaten Entstehung zur lockeren

Ausprägung des Sediments. Die Korngrößenzusammensetzung begünstigt aufgrund der eher geringen Tongehalte (durchschnittlich 16 %, A.4.1) die Wasserdurchlässigkeit. Abgestorbene Wurzeln können zudem präferenzielle Fließwege verursachen.

Bei der genaueren Betrachtung der LH an den einzelnen Stationen fällt auf, dass die überwiegend in den obersten 20 cm eingebrachten Sonden, bezogen auf den mittleren volumetrischen Wassergehalt, sehr ähnliche Werte aufweisen. Der direkte Einfluss des Niederschlags charakterisiert diesen Bereich und führt zu einem ähnlichen Ergebnis bei den Wassergehalten. Ausnahmen sind die leicht erhöhten Werte an Station 4, die sich aber an allen Sonden dieser Station widerspiegeln sowie die häufig sehr hohen Messergebnisse in der Hauptlage der Station 6. Diese befindet sich am Hangfuß und ist mit 76 cm sehr mächtig. Die LH an dieser Position schließt im Liegenden an eine dichte (Eindringwiderstand von 5 kg/cm², A.4.1.2), stark schluffig-tonige (16,8 % Sand, 58,2 % Schluff, 25,0 % Ton, A.2.1.32) Mittellage an. Daher besteht die Möglichkeit eines Wasserstaus im unteren Bereich der Hauptlage, der Interflow zur Folge haben könnte. Im Diagramm (Abbildung 4.20) werden teils starke Ausschläge in der unteren Hauptlage sichtbar, die die oberhalb und unterhalb installierten Sonden nicht aufzeichnen. Die Zunahme des Wassergehalts in einem Bodenbereich, die in den liegenden und hangenden Bereichen nicht oder erst später erfolgt, wird als präferentieller Fluss oder Interflow interpretiert (LIN & ZHOU 2008).

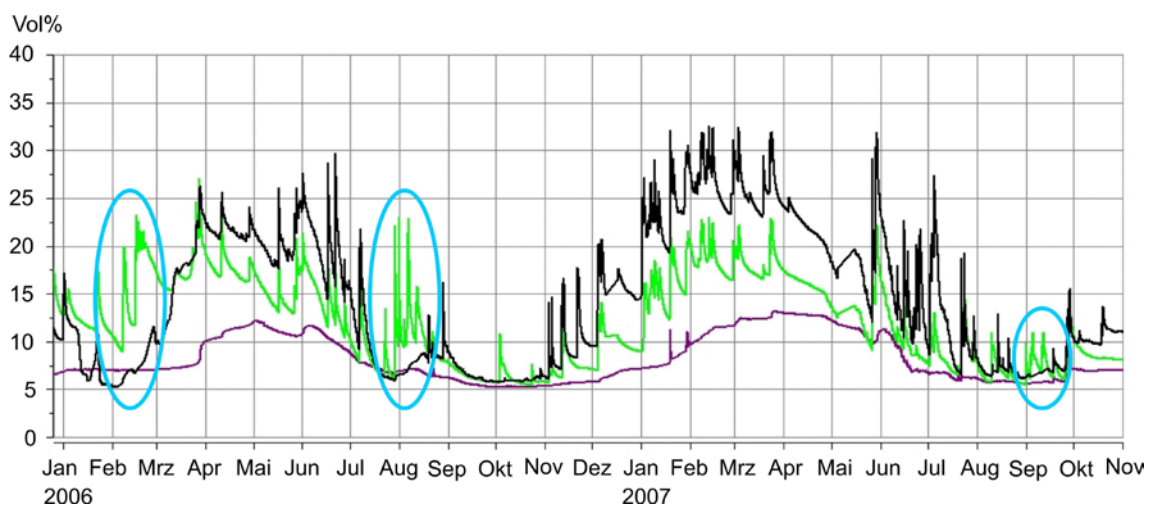


Abb. 4.20: Volumetrischer Wassergehalt in Haupt- und Mittellage an Station 6 (Sonde 6/1 [LH/18 cm]: schwarz; 6/2 [LH/40 cm]: grün; 6/3 [LM/80 cm]: lila), blaue Markierung weist auf möglichen Interflow hin.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Hauptlage die Infiltration und Versickerung des Wassers begünstigt. Je nach liegender Schicht kann ein Stau mit der Folge eines lateralen Abflusses möglich sein. In den meisten Fällen wird das Bodenwasser aber schnell an die tiefer liegenden Schichten weitergegeben.

Mittellage

Die Mittellage findet sich nur an den beiden untersten Stationen und präsentiert sich an diesen zwei Hangpositionen sehr unterschiedlich. Während die Eindringwiderstände

gleich sind (5 kg/cm², A.4.1.2), variieren die Korngrößen dieser Schicht deutlich (Tabelle 4.4, A.2.1.26, A.2.1.32).

Tab. 4.4: Korngrößenverteilung der Mittellage in Gew. %.

Station	Tiefe	Skelett	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T
5	48-113	23,8	16,6	8,3	6,0	30,9	22,1	21,9	10,2	54,2	14,9
6	76-103	6,3	8,9	4,5	3,4	16,8	25,4	24,0	8,8	58,2	25,0

Auffällig sind die großen Unterschiede im Skelettgehalt sowie in den Anteilen an Sand und Ton. Erklärt werden kann diese Differenz im Tongehalt durch die verschieden stark ausgeprägte Paläobodenbildung zu einer Parabraunerde, die im Bereich der Station 6 einen sehr tonhaltigen Bt-Horizont aufweist, der heute Merkmale eines Pseudogleys (Sd) zeigt. Die Bodenbildung orientiert sich an den Schichtgrenzen.

Die Charakterisierung der Mittellage hinsichtlich des Wassergehalts muss unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bodenbildung, die sich in der Bodenart widerspiegelt, stattfinden. Da nur am Unterhang bzw. Hangfuß eine Mittellage auftritt, konnten nur zwei Stationen (insgesamt vier Sonden) Messwerte für diese Schicht liefern.

An Station 5 stellt sich der Verlauf des Wassergehalts ähnlich dem der Hauptlage dar. Hier können schnelle kurze Anstiege mit entsprechendem Rückgang auf annähernd das Niveau vor dem Niederschlagsereignis beobachtet werden. In einigen Fällen sind eine leichte Zeitverzögerung im Vergleich zur Hauptlage sowie ein stärkeres Ansteigen des Wassergehalts festzustellen. Das Sickerwasser erreicht mit einer kleinen Verzögerung über die Hauptlage die Mittellage. Hier können laterale Flüsse die Zunahme des Wassergehalts vergrößern. Daher weist die Mittellage tendenziell einen höheren Mittelwert mit 14,3 Vol. % (A.4.2) auf. Allerdings tragen vor allem auch ein besseres Wasserspeichervermögen durch die größere Anzahl an kleineren Poren sowie die geringere Austrocknung zu dem höheren Mittelwert bei. Die Wassergehalte sind meist höher als in der Hauptlage (durchschnittlicher Minimalwert LH 2,4 Vol. %, LM 5,8 Vol. %, A.4.2).

An Station 6 führen die Unterschiede in der Korngrößenzusammensetzung zu einem erschwerten Übertritt des Wassers von der Hauptlage in die Mittellage. Während es sich in der locker gelagerten Hauptlage im unteren Bereich um lehmig-schluffigen Sand (42,1 % Sand, 42,4 % Schluff, 15,5 % Ton) handelt, schließt daran die dichte Mittellage mit schluffigem Lehm (16,8 % Sand, 58,2 % Schluff, 25,0 % Ton) an (A.2.1.32). Die verringerte Versickerung des Wasser am Schichtübergang zeigt sich an einem niedrigen Mittelwert in der Mittellage mit 9,5 Vol. % sowie einem sehr kleinen Wertebereich von 12,2 Vol. % (Minimum 5,2 Vol. %; Maximum 17,4 Vol. %, A.4.2). Auch die Kurven der dort eingebauten Sonden zeigen ein relativ geglättetes Bild, das nur wenige Extremwerte aufweist. Durch die Unterschiede in der Korngrößenzusammensetzung zwischen Haupt- und Mittellage verringert sich die Eindringgeschwindigkeit

aufgrund der geringeren Wasserleitfähigkeit der undurchlässigeren Schicht. Es kommt zum Aufstauen des Wassers im unteren Bereich der Hauptlage und einem daraus resultierenden lateralen Abfluss.

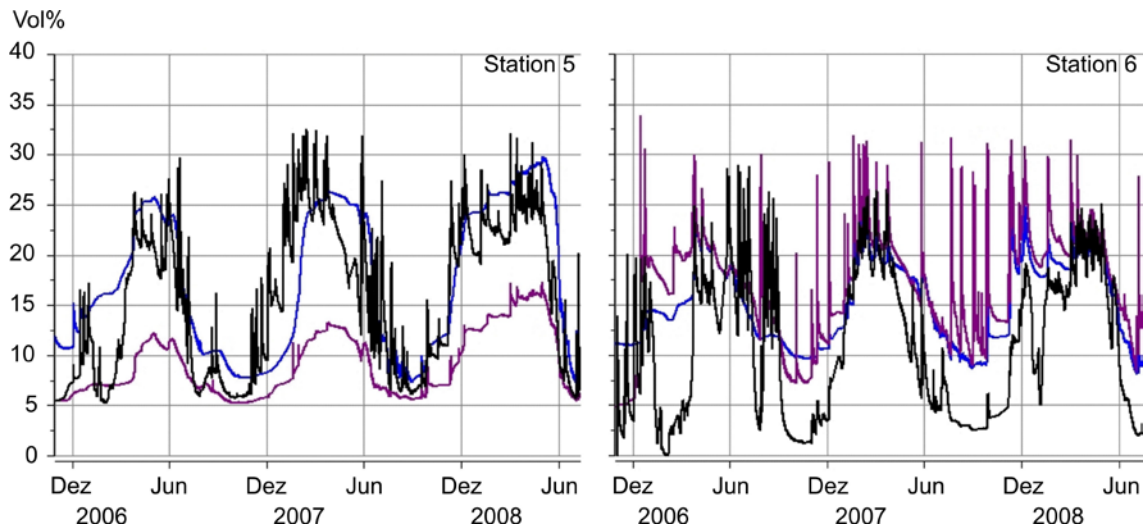


Abb. 4.21: Unterschiede im Wassergehalt der Mittellagen [lila, blau] an den zwei Stationen im Vergleich zur Hauptlage [schwarz]).

Hinsichtlich der Wirkung der Mittellage auf den Wasserfluss ergibt sich, dass vor allem in Abhängigkeit von der Bodenart, aber auch anderen bodenkundlich-sedimentologischen Eigenschaften, entweder eine schnelle Versickerung in tiefere Bodenschichten begünstigt oder bei dichter Lagerung das Aufstauen von Wasser in der darüber liegenden Schicht und ein daraus resultierender lateraler Abfluss verursacht wird (Abbildung 4.21).

Basislage

Die Basislage tritt in allen Profilen des Untersuchungsgebietes auf. Die Mächtigkeit schwankt stark zwischen 28 cm (Kuppe/flacher Mittelhang) und 289 cm (Hangfuß) bei einer mittleren Mächtigkeit von 96 cm. Bei der Hälfte der Profile ist sie mehrgliedrig vorhanden. Im Großteil des Untersuchungsgebietes schließt die Basislage direkt an die darüber liegende Hauptlage an. Nur im Unterhang ist die Mittellage zwischen diese beiden Schichten geschaltet.

Hinsichtlich ihres Wassergehaltes wird die Basislage an fünf Stationen mit insgesamt zehn Sonden erfasst. Der in der Basislage gemessene mittlere Wassergehalt liegt bei 14,8 Vol.% (A.4.2). Das ist der höchste Mittelwert im Vergleich zu den anderen Schichten. Auch der Wertebereich ist mit 26,3 Vol.% (A.4.2) der größte, ähnlich dem der Hauptlage. Das durchschnittliche Minimum und Maximum kann mit 3,7 Vol.% und 30,0 Vol.% (A.4.2) angegeben werden. Im Unterschied zur Hauptlage ist die Schwankungshäufigkeit zwischen den Extremwerten aber geringer, so dass der hohe Mittelwert eher über lang anhaltende Bodenfeuchte erreicht wird.

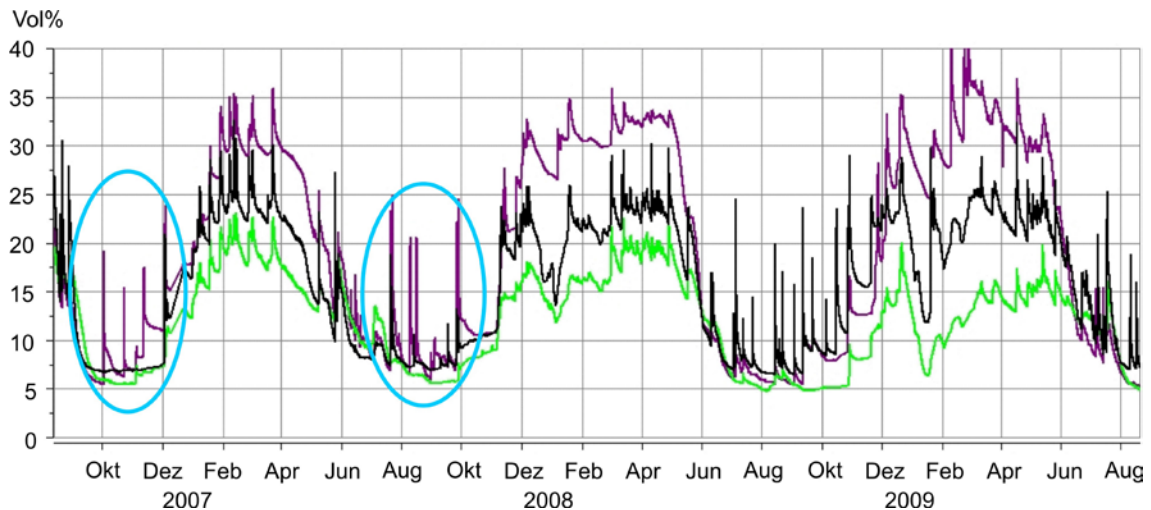


Abb. 4.22: Hinweise auf Interflow in der Basislage; Zunahme des Wassergehalts in der Basislage [lila], die in der Hauptlage nicht gemessen wird [schwarz, grün].

An Station 4 weist die Sonde in der oberen Basislage besonders hohe Werte auf, die in den darunter liegenden Bereichen nicht auftreten. Während die Korngrößenverteilung der Schichten an allen drei Sonden der Basislage dieser Station ähnlich ist, zeichnet sich eine Erhöhung des Eindringwiderstandes von $2,75 \text{ kg/cm}^2$ auf 5 kg/cm^2 (A.4.1.2) mit der Tiefe ab. Zusätzlich kann das typische Charakteristikum dieser Schicht, hangparallel eingeregelter Skelettkomponenten, zu einer Hinderung der vertikalen Sickerwasserbewegung führen. Folglich ist im oberen Bereich der Basislage ein lateraler Wasserfluss möglich, wie Abbildung 4.22 zeigt.

Grundsätzlich bietet die Basislage vor allem in Kombination mit einer auflagernden Hauptlage gute Bedingungen für das Auftreten von lateralen Flüssen. Während die Hauptlage das infiltrierte Niederschlagswasser sehr gut in die Tiefe leitet, kann die dichtere Lagerung der Basislage sowie der hohe Anteil an hangparallel eingeregelter Skelettkomponenten zu einer Ablenkung des Sickerwassers führen. Diese Eigenschaften erfüllen im Messhang bei mächtigen, mehrgliedrigen Basislagen insbesondere die Bereiche dieser Schichten, die sich in einer Tiefe von 50 cm bis 90 cm befinden. An den hier eingebauten Sensoren treten höhere Messwerte auf als an weiter oben oder unten im Profil liegenden Sonden. Der Mittelwert über die Messergebnisse in dieser feuchteren Zone ergibt $15,8 \text{ Vol.}\%$, während die restlichen bei nur $10,2 \text{ Vol.}\%$ liegen (Sonde 6/5 findet hierbei keine Beachtung, weil sie getrennt analysiert werden muss; siehe unten). Diese Zone innerhalb der Basislage kann als Bereich angesehen werden, der die Voraussetzungen für das Auftreten von Interflow besonders gut erfüllt. Meist kann das Wasser gut in die Basislage übertreten und wird erst in ihr abgelenkt. Das steht mit der tendenziell zunehmenden Dichte in der Basislage (beispielsweise an Station 4 von $2,75 \text{ kg/cm}^2$ auf 5 kg/cm^2 , A.4.1.2) in Zusammenhang und der Einregelung des Skeletts, welches die Ablenkung des Sickerwassers unterstützt.

Eine Ausnahme, bezogen auf alle anderen Messsensoren, bildet die Sonde 6/5, die am Hangfuß in einer Tiefe von 190 cm in der Basislage eingebaut ist. An dieser

Messstation sind die Schichten besonders mächtig und zeigen insgesamt hohe Wassergehalte. Diese werden auch durch teils hydromorphe Bodenbildungsmerkmale wiedergegeben. An der untersten Messsonde 6/5 treten sehr hohe Wassergehaltswerte auf (~ 36 Vol.%), die zu Teilen auch länger auf diesem Niveau bleiben (Abbildung 4.23). Die Auftretenshäufigkeit des Maximalwerts zeigt sich auch in der deskriptiven Statistik mit einem sehr hohen Mittelwert von 33,6 Vol.% bei einem gleichzeitig ebenso hohen Wertebereich 33,5 Vol.% (Minimalwert von 2,8 Vol.% und Maximalwert von 36,5 Vol.%, A.4.2).

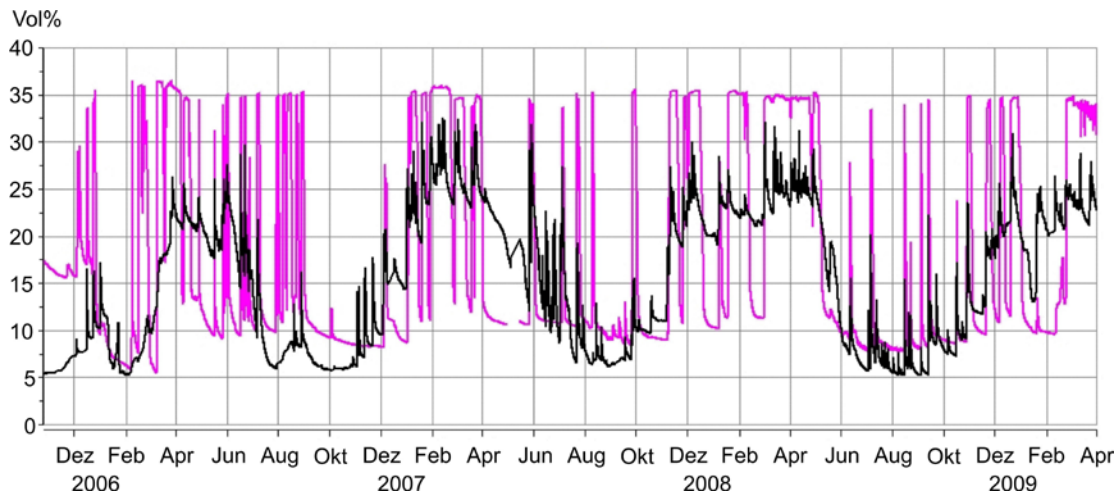


Abb. 4.23: Wassergehalt in der Basislage [rosa] am Hangfuß (zum Vergleich Messergebnisse der Hauptlage [schwarz]).

Sinken die Wassergehalte wieder ab, fallen sie von diesen feuchten Bedingungen oftmals sehr schnell auf geringe Werte zurück. Diese Schwankungen korrelieren nicht immer mit dem Niederschlag im Untersuchungsgebiet und den Messergebnissen der in der Hauptlage befindlichen Sonden. Neben dem Auftreten von Interflow wäre auch ein Einfluss der Auedynamik an dieser Position denkbar. Vor allem die gleich bleibend hohen Werte sprechen eher für ein Ansteigen des Grundwasserspiegels bzw. eines Rückstaus des Wassers aus Richtung des nahen Otterbaches, da sich der laterale Fluss an den anderen Messstellen meist über kürzere Ausschläge bemerkbar macht. Dass die Werte überwiegend einen Wassergehalt um die 36 Vol.% annehmen und diesen nicht übersteigen, könnte für eine Sättigung des Materials und für eine Wirkung der Aue sprechen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Basislage im Vergleich zu den anderen periglazialen Deckschichten und dem Saprolith eine sehr feuchte Schicht ist (Abbildung 4.18), die aber aufgrund ihrer Mächtigkeit und unterschiedlichen Lage zu anderen Schichten (Hauptlage oder Mittellage) differenzierter betrachtet werden muss. In einigen Bereichen der Basislage zeichnet sich eine länger gleich bleibende, hohe Bodenfeuchte ab, die nur geringe Schwankungen aufweist. Hier ist aufgrund der geringen Änderungen des Wassergehalts nicht von lateralen Flüssen auszugehen. An anderen Stellen können allerdings große Schwankungen innerhalb der Basislage ohne

direkten Zusammenhang zu den hangenden Schichten und demnach dem Niederschlagsgeschehen aufgezeichnet werden. Daher ist hier von lateralem Fluss auszugehen, der sich auch durch sedimentologische Unterschiede zu den anderen Schichten und den typischen Eigenschaften der Basislage erklären lässt.

Saprolith

Der Saprolith als ubiquitär im Untersuchungsgebiet vorhandenes Ausgangsmaterial der Deckschichtenbildung, konnte nur an drei Positionen mit Sonden instrumentiert werden. An Station 2, 3 und 5 in den Tiefen 180 cm, 70 cm und 160 cm erfolgten Wassergehaltsmessungen im Saprolith. Da die Saprolithverwitterung im Untersuchungsgebiet tiefer greift, werden nur die oberen Bereiche messtechnisch erfasst. Die Wassergehalte im Saprolith sind mit einem Mittelwert von 8,0 Vol.% sehr gering. Auch die Schwankung der Messergebnisse von 18,1 Vol.% liegt zwischen sehr niedrigen Werten von 0,6 Vol.% und 18,8 Vol.% (A.4.2). Bei der graphischen Darstellung der Messwerte fällt auf, dass höhere Wassergehalte und starke Ausschläge eher selten sind (Abbildung 4.23). Der typische hydrologische Jahresgang des Untersuchungsgebietes zeigt sich auch im Saprolith. Eine direkte Reaktion auf das kurzfristige Niederschlagsgeschehen ist nur in Einzelfällen und dann überwiegend an der obersten der drei Sonden (3/5) in 70 cm Tiefe erkennbar. Die mächtigen Schichten über dem Saprolith dämpfen demnach direkte Einflüsse ab.

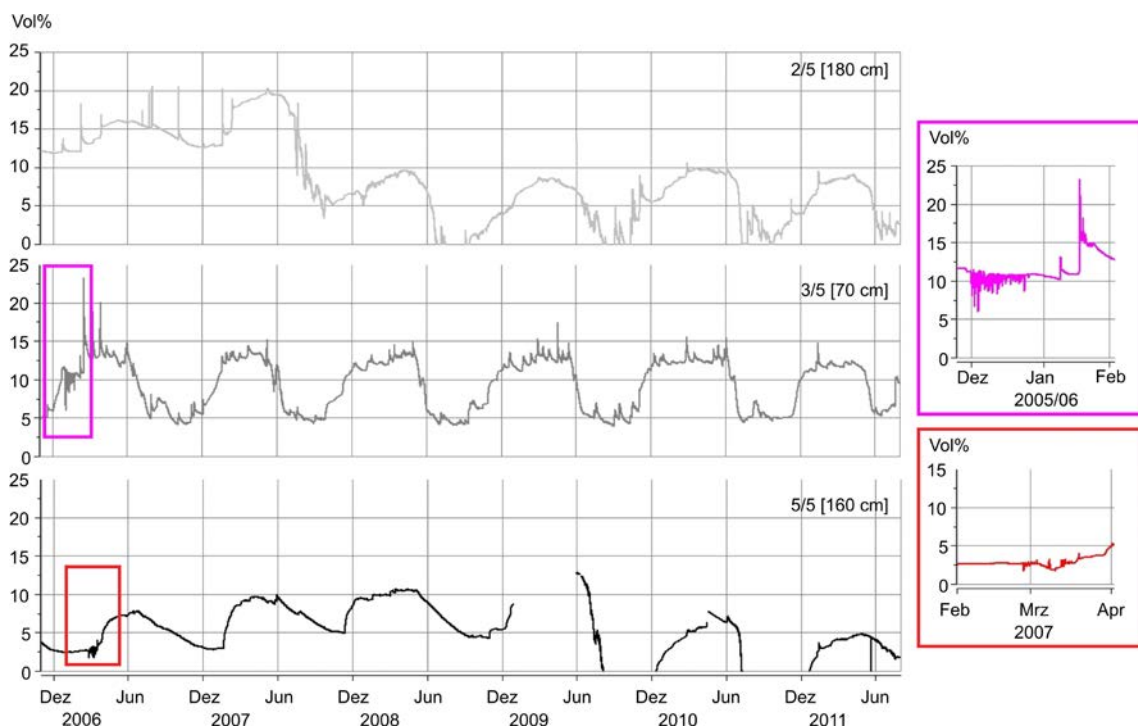


Abb. 4.24: Volumetrischer Wassergehalt im Saprolith; Beispiele für typische kleinere Ausschläge, die keine signifikanten Änderungen des Wassergehalts mit sich bringen.

Kleinere Ausschläge, die in den Diagrammkurven vorliegen, führen zu keiner signifikanten Änderung des Wassergehalts in deren Folge. Eine größerer Zufluss bzw.

eine schnelle Aufsättigung des Saproliths zeigt sich nicht. Meist erreicht der Wassergehalt innerhalb kurzer Zeit wieder den Ausgangswert. Kleinste Schwankungen, die den Ausgangswert wiederherstellen, sind in Abbildung 4.24 in der Vergrößerung am Rand zu sehen. Dieses Verhalten könnte eine Speicherfunktion des Saproliths belegen, der nur bei Zufluss in einen gesättigten Speicher gleiche Mengen Wasser abgibt und somit ausgleichend auf das hydrologische Geschehen am Hang wirkt.

Der Saprolith stellt sich hydrologisch ausgeglichen dar. Laterale Flüsse, wie beispielsweise in der Basislage, treten hier nicht auf. Die gleich bleibenden Wassergehaltswerte sprechen auch für eine Speicherwirkung des Materials. Einzelne Ausschläge, die auf eine Änderung des Wassergehalts hinweisen, zeigen eine Aufnahme bei gleichzeitiger Abgabe des Wassers aus dem Speicher des Saproliths.

4.3.3 Laterale Flüsse als typische Folge des Schichtaufbaus

Geschichtetes Substrat wirkt besonders häufig mit der Ablenkung des Sickerwassers hin zu lateralen Flüssen auf das Bodenwasser. Diese typische Folge soll für das Untersuchungsgebiet genauer ausgewertet werden. Da eine Änderung des Wassergehalts in tieferen Schichten, die an den darüber liegenden nicht aufgezeichnet werden, als Hinweis für Interflow gewertet wird (LIN & ZHOU 2008), sollen entsprechende Berechnungen Aufschluss über die Häufigkeit und das zeitliche und räumliche Auftreten von lateralen Flüssen geben.

Hinweise auf Interflow konnten schon bei der Auswertung der Wassergehalte der periglazialen Deckschichten gefunden werden. Die Änderungen des Wassergehalts an den einzelnen Sonden zeigen im Vergleich ein ähnliches Bild. Besonders häufig treten laterale Flüsse in der Basislage auf. Hier fallen auch Sonden (z.B. 2/3 und 4/3) auf, die im Bereich zwischen 50 cm und 90 cm Tiefe bevorzugt von Interflow beeinflusst sind.

Je nach Profilaufbau und Zusammensetzung der jeweiligen Schichtglieder kann Interflow in Einzelfällen auch außerhalb der Basislage auftreten. Das kommt vor allem dort zum Tragen, wo die Mittellage erhalten ist. Während an Station 5 laterale Flüsse in der Mittellage (5/3) zu messen sind, führt die sehr dichte Mittellage an Station 6 zu einem Abfluss in der unteren Hauptlage (6/2).

Darüber hinaus ist festzustellen, dass Interflow kein flächenhaftes Phänomen ist, da Sonden in gleicher Tiefe und Schicht nicht zwangsläufig gleiche Wassergehalte bzw. Änderungen aufweisen. Das zeigt, dass einige Sonden vom lateralen Fluss erreicht werden, andere nicht. Ein Beispiel hierfür sind die Sonden 1/4 und 1/5 der Basislage, die in gleicher Tiefe liegen. Hier zeigt nur 1/5 Anzeichen für Interflow.

Zeitlich häuft sich das Vorkommen von Interflow in den spätwinterlichen als auch spätsommerlichen und frühherbstlichen Monaten. HELLER (2012) beschreibt eine Abhängigkeit des Auftretens von Interflow von der Vorfeuchte. Die im Untersuchungsgebiet analysierten Interflowereignisse folgen den feuchten Phasen der mittleren Breiten, die mit den Niederschlagsmaxima im Winter und Sommer zeichnen. Im Otterbachtal scheinen zudem starke Schneeschmelzereignisse sowie intensive

sommerliche Konvektionsniederschläge lateralen Abfluss zu fördern. Dadurch erklärt sich die zeitliche Verzögerung hinsichtlich des Niederschlagsmaximums im Gebiet. Der laterale Abfluss in den Sedimenten zeigt sich auch in den Profilanschnitten. Im Frühjahr mit der Schneeschmelze weisen die Profile Muster auf, die feuchtere Bereiche, also Bereiche des Wasserflusses, sichtbar werden lassen. Diese können stellenweise unterhalb größerer Schneeansammlungen zu fleckenförmigen Ausprägungen führen. Im Normalfall sind die feuchteren Zonen im Profil aber an bestimmten Schichten festzumachen, so gut wie immer an den Basislagen. In diesen Lagen deuten auch Steine mit Lehmhauben und blanken Unterseiten auf die Wasserzügigkeit hin.

Auch im Untersuchungsgebiet der Colorado Front Range sind im Frühjahr im Zusammenhang mit der hier später einsetzenden Schneeschmelze laterale Wasserflüsse im Profilanschnitt sichtbar (Abbildung 4.25). Auch die detailliert untersuchten Profile Gold Hill 4965 III SW 8 und Eldorado Springs 4963 IV NE 3 zeigen diese Muster.

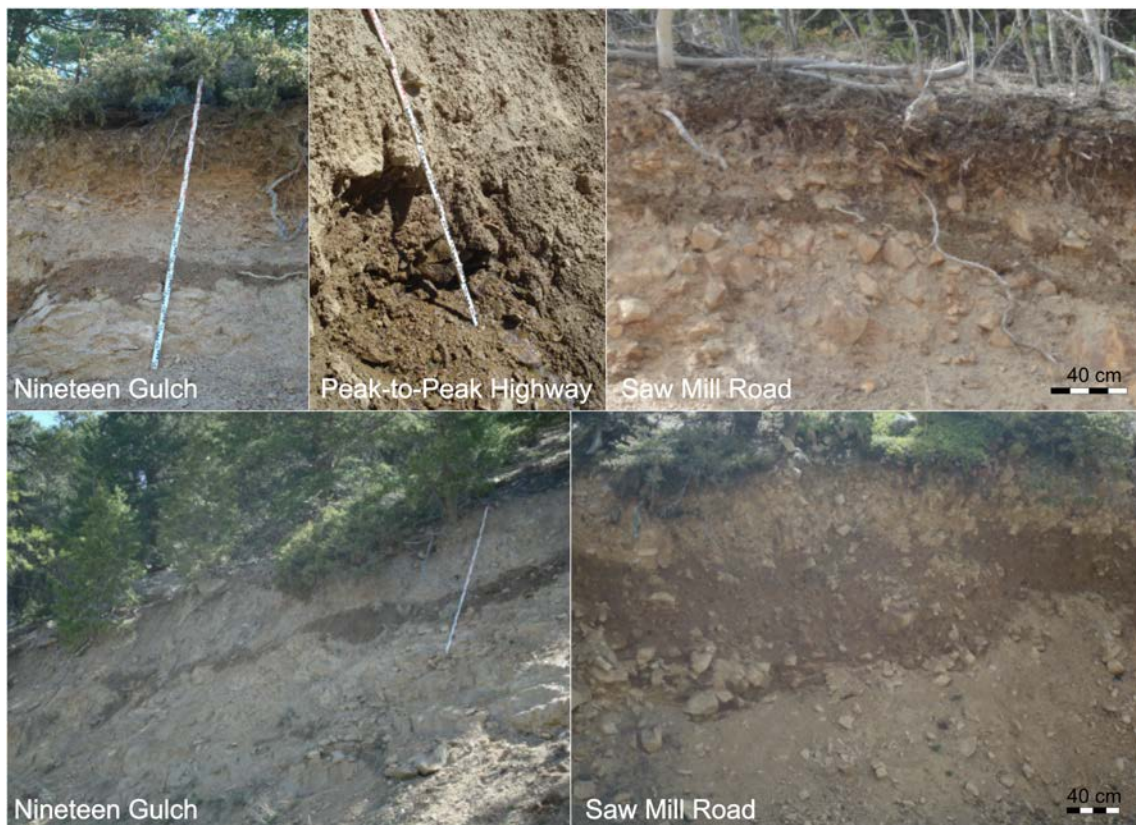


Abb. 4.25: Schichtbezogene Wasseraustritte in der Colorado Front Range im Mai 2009 und Juni 2010 (eigene Fotos).

Aus den Fotos wird ersichtlich, dass der untere Bereich des verspülten Sediments an der Grenze zur Basislage bzw. die Basislage selbst betroffen sind. In diesen beiden Schichten, vor allem in der Basislage, weisen auch hier die Lehmhauben und blanken Unterseiten der Steine auf den lateralen Wasserfluss hin. Zusätzlich stützen die sedimentologischen Eigenschaften (dichtere Lagerung, eingeregelttes Skelett etc.) das

angenommene Auftreten von Interflow. Diese Beobachtung deckt sich mit den Messungen im Otterbachtal.

Der Aufbau der Critical Zone, hier in Form von periglazialen Deckschichten und Saprolith, hat einen massiven Einfluss auf verschiedenste Prozesse, die in ihr ablaufen. Jede der periglazialen Deckschichten wirkt auf den Wasserfluss im Boden. Während die Hauptlage eine schnelle vertikale Sickerwasserbewegung ermöglicht, können schon in der Mittellage durch ihre variablen Eigenschaften entweder Staueffekte zurück in die Hauptlage bzw. laterale Ablenkung des Wasserflusses auftreten. Die Basislagen sind die Hauptbereiche des Interflows. Hier kommt es sehr häufig zur Ablenkung des Sickerwassers, vor allem wenn unter feuchten Bedingungen zusätzlich intensive Niederschlagsereignisse stattfinden. Der Saprolith wirkt durch seine Speichermechanismen ausgleichend auf den Wasserhaushalt.

Anhand von Wasseraustritten im Profilschnitt zeigt sich ein entsprechender Einfluss der Schichten auch für die Colorado Front Range.

5 Synthese

Die Auswertung der drei Themenkomplexe zum Auftreten von periglazialen Hangsedimenten in der Colorado Front Range (1), dem Alter von periglazialen Deckschichten in den beiden Untersuchungsgebieten (2) und deren Einfluss auf das in ihnen befindliche Wasser (3) stellt sich bezüglich der Beantwortung der zu Beginn aufgestellten Thesen wie folgt dar.

(1) Periglaziale Deckschichten über Saprolith zählen zum System der Critical Zone, auch in der Colorado Front Range.

Die Untersuchung der Profile in der Colorado Front Range zeigt, dass periglaziale Prozesse zu mächtigen Schichtkomplexen geführt haben. Somit sind periglaziale Deckschichten, vergleichbar den in Mitteleuropa bekannten, Bestandteil der Critical Zone dieses Gebietes. Auch die Verwitterung des Gesteins zum Saprolith bildet überwiegend das Ausgangssubstrat der Deckschichtengenese.

(a) Periglaziale Deckschichten sind im ehemaligen Periglazialgebiet des Pleistozäns in der Colorado Front Range erhalten.

Im ehemaligen Periglazialgebiet des Pleistozäns der Colorado Front Range (~ 3350 m NN bis 2300 m NN) sind mächtige Sedimente an nahezu allen Hängen zu finden. Diese lassen sich aufgrund ihrer Eigenschaften einer periglazialen Genese zuordnen. Grundsätzlich erleichtert die verringerte Vegetation das Angreifen der Prozesse, so dass diese verstärkt wirken. Folglich können sich Sedimentdecken dieses Ausmaßes bilden.

Locker gelagerte Schichten mit größeren Gehalten an Feinmaterial und mit nur einzelnen Skelettkomponenten sprechen für eine äolische Ablagerung und krypturbate Prozesse. An einigen Stellen treten mächtige Löß- bzw. Lößlehmprofile auf. Die Lößablagerungen wie auch saprolitisches Material können durch periglaziale Spüldenudation transportiert worden sein. Zu erkennen ist dieser Prozess an den dünnen flächenhaften Ablagerungen, die eine Materialsortierung des Feinbodens aufweisen. In den Spülsedimenten sind nur wenige größere Skelettkomponenten enthalten. Einer der häufigsten periglazialen Prozesse, die Solifluktion, wird in sehr vielen Profilen vorgefunden. Merkmale, die bei der Profilbeschreibung auffallen, sind ein autochthones, unstratifiziertes Material, das eingeregelt Skelettkomponenten enthält (FRENCH 2008). Auf diesen, wie auch auf Körnern der Sand- und Grusfraktion, bilden sich häufig Schluffhauben oder -überzüge (BERTRAN & TEXIER 1999).

Diese Eigenschaften sowie das Auftreten von Eiskeilpseudomorphosen, Solifluktionloben und Nivationsterrassen im direkten Umfeld der Profile sprechen für eine periglaziale Entstehung der Sedimente und können demnach als periglaziale

Deckschichten angesprochen werden. Für das Untersuchungsgebiet ist eine differenziertere Betrachtung unter besonderer Berücksichtigung der Genese der Critical Zone neu. Aus den Ergebnissen einer genetischen Erforschung lassen sich hilfreiche Grundlagen erarbeiten, die zur Interpretation spezieller Fragestellungen, beispielsweise auch den Wasserhaushalt betreffend, hilfreich sind.

(b) Genetische Prozesse der einzelnen Schichtglieder sind in den Untersuchungsgebieten Colorado Front Range und Bayerischen Wald gleichartig.

Im Vergleich der beiden Untersuchungsgebiete fallen bei den Sedimenten einige Gemeinsamkeiten auf. Das oberste Glied besteht immer aus einer lockeren, lößbeeinflussten Schicht. Sie ist in annähernd allen Profilen erhalten und aus äolischer Deposition, Kryoturbation sowie nachträgliche Bioturbation entstanden.

Ebenso kann in beiden Gebieten mindestens eine solifluidal entstandene Schicht mit den typischen Merkmalen (dichte Lagerung, eingeregelt, kantiges Skelett etc.) vorgefunden werden.

Im Bayerischen Wald tritt an einigen Hangpositionen zusätzlich eine meist stark lößbeeinflusste, dritte Schicht auf, die zwischen der lößbeeinflussten und der solifluidalen Schicht zu finden ist. In der Colorado Front Range zeigt sich in einzelnen Fällen eine Schicht, die als Remobilisierung der darunter liegenden Schicht autochthone, aber auch allochthone Bestandteile der äolischen Deposition aufweist. Nach SAUER (2002) kann die Vermengung der beiden Komponenten in diesem Schichtglied neben Kryoturbation auch durch solifluidal beeinflusste Phasen geschehen. Auch deren Auftreten an nur einigen wenigen Stellen gleicht sich in den Untersuchungsgebieten.

Weitaus häufiger kommen in der Colorado Front Range in den Profilen Schichten vor, die durch periglaziale Spüldenudation entstanden sind. Diese fehlen im Untersuchungsgebiet im Bayerischen Wald völlig.

Typische Prozesse im periglazialen Milieu, wie äolische Deposition, Kryoturbation und Solifluktion traten in beiden Untersuchungsgebieten auf und haben die Bildung der dafür charakteristischen Schichtglieder zur Folge. Andere Prozesse, vor allem die periglaziale Spüldenudation, sind nur in der Colorado Front Range zu finden. Ursächlich dafür könnten die hier größeren Hanglängen sein, die eine großflächigere Ausbreitung des Tauwassers ermöglichen. Zusätzlich kann geringerer Bewuchs aufgrund der Höhenlage der Rocky Mountains diesen Effekt verstärken. Eine möglicherweise geringere Auftautiefe unterstützt diesen Prozess. Darüber hinaus könnte gröberes Material mit weniger Feinsedimentanteilen zu einer schnelleren Auf- bzw. Übersättigung des Active Layers beitragen, so dass das Tauwasser eher auf der geringeren Auftauschicht abfließt und das Sediment verteilt. Da dieser Prozess häufig in den unteren Höhenstufen und gegen Ende des Pleistozäns zu finden ist, besteht die Möglichkeit, dass saisonaler Frost ausreicht und der Materialtransport bei mäßig kaltem Klima sowie gleichzeitig noch fehlender Vegetation auftritt.

(c) Einzelne Schichtglieder können anhand ihrer Genese und Eigenschaften in die deutsche Nomenklatur überführt werden.

Auch in der Colorado Front Range werden aufgrund der Genese und der daraus resultierenden Eigenschaften eine Hauptlage und eine Basislage definiert. Während die lößbeeinflusste, kryoturbat entstandene Hauptlage auch hier die oberste Schicht darstellt, kann die Basislage als unterste Schicht über dem Ausgangssubstrat anhand der charakteristischen, unter solifluidaler Einwirkung gebildeten, Merkmale ausgemacht werden. Letztere ist auch mehrgliedrig denkbar. Dazwischen geschaltet ist an einigen Stellen eine Mittellage zu finden, sehr häufig aber eine oder mehrere Schichten, die durch periglaziale Spüldenudation entstanden und so in den deutschen Mittelgebirgen nicht beschrieben sind.

Beide Untersuchungsgebiete weisen Hauptlage, Mittellage und Basislage auf, die je nach Profil bzw. auch Lage des Profils ein- oder mehrfach vorkommen oder wie im Fall der Mittellage fehlen kann. In der Colorado Front Range ist häufig eine zusätzliche Schicht zwischen Mittel- bzw. bei deren Fehlen zwischen Hauptlage und Basislage eingeschaltet, die auf periglaziale Spüldenudation zurückzuführen ist.

Im Untersuchungsgebiet Otterbachtal bestehen die Profile aus einer Hauptlage und mindestens einer, häufig aber mehreren Basislagen. An den Unterhängen bzw. Hangfüßen ist zusätzlich die Mittellage erhalten.

In der Colorado Front Range sind Unterschiede aufgrund der größeren Höhenausdehnung festzustellen. In den oberen Höhenstufen dominiert Solifluktion, so dass mehrere Basislagen auftreten. Im typischen Periglazialgebiet (~ 3350 m NN bis 2300 m NN) sind die Profile am mächtigsten. Hier können alle beschriebenen Prozesse und daraus resultierenden Schichtglieder vorgefunden werden. Auch die periglaziale Spüldenudation ist weit verbreitet. Diese zieht sich weit in die unteren Höhenstufen hinein, in denen mit verstärktem Auftreten von äolischer Deposition auch Schwemmlöß entsteht. In dieser Höhe kommen sehr mächtige Sedimente vor, die nicht den typischen periglazialen Deckschichten zugeordnet werden können, aber dennoch unter periglazialen Bedingungen in der Zeit des ausgehenden Pleistozäns entstanden sind. Sie bestehen aus Löß, Schwemmlöß und verspültem Saprolith. Auch in den tieferen Gebieten treten periglaziale Deckschichten auf. Diese sind ein Hinweis auf eine größere Ausdehnung des Periglazialgebiets als in der Literatur bisher angenommen wurde. Diese Arbeit kann auf periglazial entstandene Hangsedimente bis auf eine Höhe von 1822 m NN verweisen und damit den ehemals periglazial beeinflussten Raum um knapp 500 m weiter nach unten ausdehnen.

(2) Datierungen der einzelnen Schichtglieder weisen klar auf eine periglaziale Entstehung im letzten Glazial bis ins ausgehende Pleistozän hin.

Die Datierungen zeigen fast ausschließlich Alter des letzten Glazials, Pinedale bzw. Würm. Die Entstehung einzelne Sedimente geht in das vorletzte Glazial, Bull Lake

bzw. Riß, zurück. Bei besonders hohen Altern besteht die Möglichkeit, dass nicht der Prozess, der zur heutigen Schichtausprägung geführt hat, sondern ein früherer für das Datierungsergebnis verantwortlich ist. In diesem Fall hätte beispielsweise die Solifluktion keine ausreichende Belichtung des Materials mit sich gebracht. Holozäne Datierungsergebnisse müssen unter der Berücksichtigung möglicherweise nachträglich bioturbat gestörter Proben interpretiert werden.

(a) Jede Schicht kann einer Entstehungsperiode zugeordnet werden.

Durch äolische Ablagerung entstandene bzw. beeinflusste Sedimente sind tendenziell die jüngsten, mit einem Zeitraum vom Holozän über das endende Pleistozän bis zurück ins Pinedale bzw. Würm. Äolische Deposition fand also immer wieder seit 65 ka, aber verstärkt während und nach dem LGM statt. Dabei ist festzustellen, dass löß-beeinflusste Hauptlagen in beiden Untersuchungsgebieten entweder kurz vor bzw. während des LGM entstanden sind oder ins Holozän datiert werden. Bei den sehr jungen Altern ist eine nachträgliche Störung durch beispielsweise Windwurf nicht auszuschließen. Profile, die ganz aus Löß oder z.T. aus Schwemmlöß bestehen, bildeten sich nach dem LGM und im ganzen Spätglazial.

Eine kryoturbate Einarbeitung des Materials und folglich die Bildung von Hauptlagen kann in beiden Untersuchungsgebieten nur auf die Zeit vor dem LGM datiert werden. Die Entstehung von Hauptlagen in der Jüngeren Dryas, wie es vielfach in der Literatur zu lesen ist (zuletzt bei HÜLLE et al. 2009), bestätigt sich für diese Untersuchungsgebiete nicht.

Die Mittellagen, die durch eine teilweise Remobilisierung der liegenden Schicht, zusammen mit der Vermischung von äolischen, Komponenten entstanden sind, differieren ihr Alter betreffend stark zwischen den Untersuchungsgebieten. Während sich die Genese der Mittellagen in der Colorado Front Range auf einen kleinen Zeitraum zwischen dem LGM und kurz danach (20 ± 2 ka bis $17,9 \pm 1,7$ ka) konzentriert, streuen die Werte im Bayerischen Wald beträchtlich von $23,5 \pm 1,5$ ka über 47 ± 7 ka zu 95 ± 5 ka. Demnach kommt als Bildungsraum nur das Würm in Frage. Allerdings lassen sich genauere Aussagen wegen der geringen Probenanzahl und des seltenen Auftretens dieser Schicht nicht treffen. Die in der Literatur vorgefundenen, ebenfalls variierenden Angaben – LGM, Jungpleistozän bzw. Riß – können auch hier nicht genauer verifiziert werden.

Periglaziale Spülprozesse fanden in der Colorado Front Range gegen Ende des letzten Glazials zwischen 28 ± 3 ka und $13,3 \pm 0,8$ ka statt. Während die Verspülung von Saprolith schon früh in dieser Zeitspanne begann, wurde Löß nach dem LGM verlagert und damit auch erst nach der Entstehung der Hauptlagen. Der Transport bzw. die Einarbeitung von äolischem Material nach dessen Akkumulation war zuerst von Kryoturbation und später von Verspülung geprägt.

Solifluktion und die damit einhergehende Bildung von Basislagen an den Hängen zeigt sich in beiden Gebieten als der typische Prozess der Eiszeiten. Die vorgefundenen Schichten gehen vor allem auf die Würm- bzw. Pinedale-Vereisung zurück. Eine

Eingrenzung des Entstehungszeitraums ist nicht möglich. Da der Prozess der Solifluktion sehr häufig in den Periglazialgebieten vorkommt, was sich auch in den meist mehrgliedrig auftretenden Basislagen widerspiegelt, ist die Annahme eines langen Entstehungszeitraums sehr wahrscheinlich. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit den Angaben in der Literatur (siehe Kapitel 2.4.2). Tendenziell sind die Basislagen im Bayerischen Wald und in den unteren Höhenstufen der Colorado Front Range früher als die in den höheren Gebieten des Gebirges entstanden. Dort konnte die Solifluktion noch bis zum LGM wirken.

Jede Schicht kann einer Entstehungsperiode zugeordnet werden, allerdings überschneiden sich diese Bildungszeiträume. Aufgrund der hohen räumlichen und v.a. höhenzonalen Variabilität spielen mittel- bis kleinklimatische Unterschiede eine große Rolle, die wiederum das Auftreten der schichtbildenden Prozesse steuert.

(b) Die zeitliche Einordnung der verschiedenen Prozesse, die zur Entstehung der Schichten geführt hat, zeigt sich folgendermaßen: Äolische Prozesse im ausgehenden Glazial, Solifluktion in der Hochzeit des Glazials.

Die pleistozäne Entstehung der Hangsedimente in den Untersuchungsgebieten weist klar auf ein periglaziales Bildungsmilieu hin. Die einzelnen Schichtglieder sowie die dazugehörigen Prozesse lassen sich Entstehungszeiträumen zuordnen, die sich auch überschneiden (Abbildung 5.1).

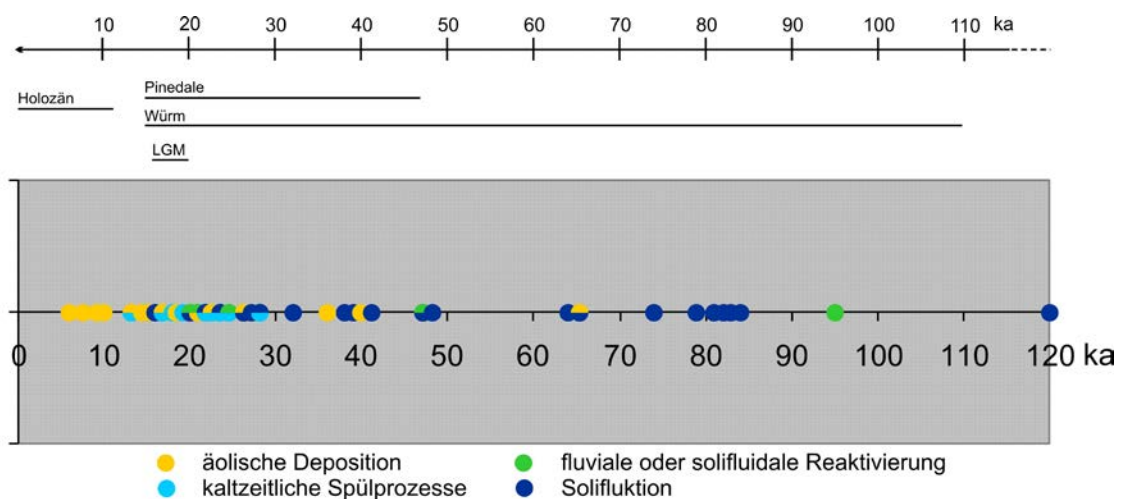


Abb. 5.1: Zeitliche Einordnung der periglazialen Prozesse in den beiden Untersuchungsgebieten.

Grundsätzlich ist die äolische Deposition im Wechsel mit periglazialen Spülprozessen verstärkt als Folge der spätglazialen Klimaschwankungen zu sehen. Kryoturbation tritt zur Zeit des LGM und in einzelnen Phasen der letzten Kaltzeit in Zusammenhang mit sehr kalten klimatischen Bedingungen in Erscheinung. Solifluidale Prozesse können während des gesamten Würms bzw. Pindales ablaufen.

(3) Periglaziale Deckschichten und Saprolith haben massiven Einfluss auf das Bodenwasser.

Die Messungen des Bodenwassergehaltes im Otterbachtal, wie auch die frühjährlichen Wasseraustritte in den Profilen in der Colorado Front Range, zeigen einen Einfluss der periglazialen Deckschichten und des Saproliths auf das Bodenwasser. Die aus der Literatur und den Eigenschaften der Schichtglieder abgeleiteten Thesen zum Verhalten des Wassers in den Sedimenten (siehe auch Kapitel 2.4.2) können nur zum Teil bestätigt werden.

(a) Vertikale Wasserbewegungen finden in der Haupt- und Mittellage statt.

In der Hauptlage finden eine schnelle Infiltration und überwiegend eine vertikale Sickerwasserbewegung statt. Aufgrund der lockeren Lagerung und dem Auftreten von präferenziellen Fließwegen entlang von Wurzelbahnen in dieser als Hauptwurzelhorizont dienenden Schicht, kann Niederschlagswasser entsprechend gut in tiefere Bereiche geleitet werden. Nur im Fall einer sehr mächtigen Hauptlage mit darunter anschließender dichter Mittellage wird durch einen Rückstau ein lateraler Abfluss in der unteren Hauptlage erzeugt. In Arbeiten zum Wasserfluss in periglazialen Deckschichten wird häufig auf einen Zwischenabfluss in der Hauptlage verwiesen (siehe Tabelle 2.6). Im Otterbachtal ist das die Ausnahme.

Die Mittellage stellt sich an den Stationen 5 und 6 aufgrund der unterschiedlich stark entwickelten Bodenbildung verschieden dar. Die tonige, dichtere Mittellage, die einen Abfluss in der Hauptlage hervorruft, führt selbst nur wenig Wasser. Durch den langsamen, abgeschwächten Übertritt werden Extremwerte in dieser Schicht abgeschwächt, so dass der allgemeine Jahresgang des Bodenwassers erkennbar ist, aber keine größeren Ausschläge. Eine stauende Wirkung der Mittellage und ein daraus resultierender Zwischenabfluss ist auch bei SCHOLTEN et al. (1999) beschrieben. Die durchlässigere Mittellage verhält sich ähnlich wie die Hauptlage. Hier wird das Sickerwasser schnell an darunter liegende Bereiche abgegeben.

Mit Ausnahme der dichten Mittellage, die die vertikale Wasserbewegung stört, treten in der Haupt- und Mittellage der Gravitation folgende Sickerwasserbewegungen auf.

(b) Laterale Wasserflüsse sind charakteristisch für die Basislage.

Grundsätzlich zeigen sich laterale Wasserflüsse häufig im Zusammenhang mit Sedimentschichten, da durch die Änderung der Zusammensetzung der Bodenmatrix und in Folge dessen der hydrologischen Eigenschaften, das Wasser gestaut und abgelenkt werden kann.

Durch die massiven Änderungen der Eigenschaften zwischen Hauptlage und Basislage, die in den meisten Fällen im Untersuchungsgebiet direkt übereinander liegen, sind die Voraussetzungen für eine Ablenkung des Sickerwassers gegeben. Zusätzlich wird dieser Prozess durch die hangparallel eingeregelter Skelettkomponenten verstärkt. Vor allem in den oberen bis mittleren Bereichen der Basislage,

in 50 cm bis 90 cm Tiefe, findet verstärkt Interflow statt. Es zeigt sich, dass die lateralen Wasserflüsse nicht flächenhaft an allen Sonden gleicher Schicht und Tiefe auftreten und tendenziell eher in Verbindung mit den feuchten Bedingungen der Winter- bzw. Sommermonate stehen, gepaart mit intensiver Wasserzufuhr aus Schneeschmelze oder konvektiven Niederschlägen.

Auch in der Colorado Front Range weisen die Profile im Bereich der Basislagen oder im Spülsediment direkt darüber Wasseraustritte auf, die einen lateralen Wasserfluss anzeigen.

Der laterale Wasserfluss in der Basislage wird in der Literatur sehr unterschiedlich dargestellt. Neben einer stauenden Wirkung, kann auch Zwischenabfluss auftreten. Das erklärt sich durch die Abhängigkeit der Eigenschaften dieser Schicht vom Ausgangssubstrat. In den Untersuchungsgebieten der vorliegenden Arbeit bietet die Basislage keine stauende Wirkung, so dass eine Ablenkung des Sickerwassers erst innerhalb der Schicht mit zunehmender Dichte und entlang der eingeregelter Skelettkomponenten stattfindet.

(c) Wasserspeicher am Hang treten im Saprolith auf.

Der Wassergehalt im Saprolith zeigt den allgemeinen Jahresverlauf ohne größere Ausschläge. Darüber liegende Schichtkomplexe dämpfen Niederschlagsereignisse ab. Bei Sickerwasserzufuhr führen gelegentliche starke kurzzeitige Änderungen des Wassergehalts dazu, das Ausgangsniveau wieder herzustellen. Daher ist von einer Speicherfunktion auszugehen, die eine ausgleichende Wirkung auf die Wasserflüsse am Hang haben.

Grundsätzlich führt der komplexe Aufbau der Critical Zone dazu, dass keine einfache direkte Verbindung zwischen Niederschlag und Abfluss im Vorfluter vorliegt. Große Wassermengen können je nach Verweildauer im Sediment bzw. Länge der Fließwege über die Hänge zeitverzögert in den Vorfluter gelangen. Die Haupt- und Mittellagen ermöglichen meist eine rasche Infiltration und Versickerung. Dies verhindert einen Oberflächenabfluss und ein schnelles Abfließen des Wassers in den Vorfluter. Je nach Vorfeuchte des Bodens und Niederschlagsintensität erreicht über laterale Flüsse überwiegend in den Basislagen Niederschlagswasser nur mit geringer zeitlicher Verzögerung den Vorfluter. Zusätzlich kann der Saprolith durch seine Speichereigenschaften Wasser aufnehmen und eine mögliche Hochwasserentstehung verhindern, allerdings bei annähernd gesättigten Bedingungen auch in kürzerer Zeit viel Wasser abgeben.

Die Beantwortung der Thesen aus Kapitel 1.3 zeigt die Bedeutung des Aufbaus der Critical Zone, aber auch die lange Entstehungsgeschichte, die zu ihrem heutigen Erscheinungsbild geführt hat. Die Zusammensetzung aus Saprolith und den mächtigen auflagernden periglazialen Deckschichten weisen auf sehr alte, v.a. bis ins Pleistozän zurück gehende Prozesse hin. Sehr junge holozäne Bildungen sind nur ein geringer

Teil der Critical Zone und treten in Form von rezenter Bodengenese auf. Aufgrund der großen Zeitspanne, der Vielzahl an verschiedenen Prozessen und den daraus resultierenden Eigenschaften, die das aktuelle Bild der Critical Zone prägen, ist die detaillierte Untersuchung, wie in dieser Arbeit, Grundlage für weitere Fragestellungen. Eine vereinfachte Darstellung der Critical Zone, die häufig weiterführenden Forschungsansätzen zu Grunde liegt, reicht nicht aus. Am Beispiel des Wassergehalts und seiner Veränderung in den unterschiedlichen Schichten wird der Zusammenhang zwischen Entstehungsprozessen, heutigen Eigenschaften und resultierender Wirkung auf den Wasserfluss deutlich.

In beiden Untersuchungsgebieten, Bayerischer Wald und Colorado Front Range, besteht die Critical Zone überwiegend aus Saprolith und mächtigen Hangsedimenten, genauer periglazialen Deckschichten. Am Beispiel der Hanghydrologie zeigt sich, wie bedeutend der Aufbau der CZ für eine ganze Reihe von in ihr ablaufenden Prozessen ist. Daher ist es notwendig, den Aufbau der CZ zu kennen und genau zu definieren. Zu diesem Zweck spielt auch die prozessuale Entstehung sowie die Entstehungsgeschichte eine große Rolle, da sie die Eigenschaften maßgeblich vorgibt.

6 Zusammenfassung

Die Critical Zone zeichnet sich durch einen vielfältigen Aufbau aus. Ihr heutiges Aussehen und ihre Eigenschaften stehen in Abhängigkeit der über einen langen Entstehungszeitraum wirkenden Kräfte und Prozesse. In den beiden Untersuchungsgebieten, Otterbachtal (Bayerischen Wald) und Colorado Front Range (USA), zeigen sich die Profile geschichtet. Die detaillierte Analyse der Sedimente in diesen Gebieten lässt eine periglaziale Entstehung erkennen. Für den Bayerischen Wald ist die periglaziale Überprägung während des Pleistozän in Form von periglazialen Deckschichten bekannt, während für die Colorado Front Range eine Unterteilung der Critical Zone hinsichtlich der typischen Ausprägung der Deckschichten ein Novum darstellt. Ein Vergleich zeigt, dass vor allem die Haupt- und Basislage in beiden Untersuchungsgebieten häufig, die Mittellage in einigen geschützten Positionen gelegentlich auftreten. Darüber hinaus kommen in der Colorado Front Range verspülte Sedimente vor.

Die zeitliche Einordnung der Schichten geschieht durch die Aufnahme der vorgefundenen Eigenschaften, die für ein periglaziales Milieu sprechen und demnach eine Entstehung im Pleistozän vorgeben. Numerische Datierungen bestätigen und präzisieren die Ergebnisse. Die Altersbestimmungen zeigen, dass äolische Prozesse und damit verbunden die Bildung von Hauptlagen im Spätglazial stattfanden. In den gleichen Zeitraum können periglaziale Spülprozesse eingeordnet werden, die vor allem in den unteren Höhenstufen der Colorado Front Range im Wechsel mit der äolischen Dynamik auftreten. Solifluidale Prozesse und folglich die Entstehung von Basislagen sind während der gesamten Würm- bzw. Pinedale-Kaltzeit häufig.

Die Auswertung von Bodenwassergehalten der einzelnen Schichtglieder zeigt einen starken Einfluss der Schichtung auf den Wasserfluss. Folgt eine dichtere Schicht (gelegentlich die Mittellage, meist die Hauptlage) einer locker gelagerten, kommt es zur Ablenkung des Wassers hin zu einem lateralen Fluss. Dieser tritt beispielsweise in der Haupt- oder Mittellage auf. Typisch ist auch, dass die nach unten dichter werdenden Basislagen gepaart mit ihren charakteristischen hangparallel eingeregelteten Skelettkomponenten zu einem lateralen Abfluss in der Basislage selbst führen. Der unter dem Deckschichtenkomplex liegende Saprolith wird teils vom Niederschlagsgeschehen nicht direkt erreicht und wirkt durch Aufnahme und Abgabe von Wasser kompensatorisch auf den Hangwasserabfluss.

Die Arbeit beleuchtet den langen Entstehungszeitraum der Critical Zone, ihre heutige Ausprägung durch den geschichteten Aufbau sowie die daraus resultierenden Einflüsse am Beispiel des Bodenwassers. Sie zeigt damit auch die Notwendigkeit einer detaillierten Untersuchung der Critical Zone als Grundlage für alle weiterführenden Fragestellungen.

7 Literaturverzeichnis

- AG BODEN (2005⁵): Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe & Staatliche Geologische Dienste der Bundesrepublik Deutschland, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 438 p.
- AHNERT, F. (1999²): Einführung in die Geomorphologie. UTB, Ulmer Verlag, Stuttgart, 440 p.
- AITKEN, M.J. (1998): An Introduction to Optical Dating. The Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-stimulated Luminescence. Oxford University Press, Oxford, 267 p.
- ALTERMANN, M., LIEBEROTH, I. & W. SCHWANECKE (1988): Gliederung der Lockergesteinsdecken der Mittelgebirge. – Zeitschrift für angewandte Geologie 34: 302-306.
- ALTERMANN, M. & K. RABITZSCH (1977): Zur Gliederung und Dokumentation der wichtigsten Lockersedimente der Mittelgebirge. - Zeitschrift für angewandte Geologie 23: 130-135.
- ANDERSON, J.G. (1906): Solifluction, a Component of Subaërial Denudation. - The Journal of Geology 14(2): 91-112.
- ANDERSON, S.P., BALES, R.C. & C.J. DUFFY (2008): Critical Zone Observatories: Building a network to advance interdisciplinary study of Earth surface processes. - Mineralogical Magazine 72(1): 7-10.
- ANDERSON, S.P., VON BLANKENBURG, F. & A.F. WHITE (2007): Physical and Chemical Controls on the Critical Zone. - Elements 3: 315-319.
- ANDERSON, S.P., BLUM, J., BRANTLEY, S.L., CHADWICK, O., CHOROVER, J., DERRY, L.A., DREVER, J.I., HERING, J.G., KIRCHNER, J.W., KUMP, L.R., RICHTER, D. & A.F. WHITE (2004): Proposed initiative would study earth's weathering engine. - EOS 85(28): 265-272.
- ANDERSON, S.P., DIETRICH, W.E. & G.H. BRIMHALL (2002): Weathering profiles, mass-balance analysis, and rates of solute loss: Linkages between weathering and erosion in a small, steep catchment. - GSA Bulletin 114(9): 1143-1158.
- BANWART, S., BERNASCONI, S.M, BLOEM, J., BLUM, W., BRANDAO, M., BRANTLEY, S., CHABAUX, F., DUFFY, C., KRAM, P., LAIR, G., LUNDIN, L., NIKOLAIDIS, N., NOVAK, M., PANAGOS, P., RAGNARSDOTTIR, K.V., REYNOLDS, B., ROUSSEVA, S., DE RUITER, P., VAN GAANS, P., VAN RIEMSDIJK, W., WHITE, T. & B. ZHANG (2011): Soil Processes and Functions in Critical Zone Observatories: Hypotheses and Experimental Design. - Vadose Zone Journal 10: 974-987.

- BARRY, R.G. (1973): A Climatological Transect on the East Slope of the Front Range, Colorado. - *Arctic and Alpine Research* 5(2): 89-110.
- BAUBERGER, W. (1977): Geologische Karte von Bayern. Nationalpark Bayerischer Wald. Bayerisches Geologisches Landesamt, München, 183 p.
- BAUMGARTNER, A. & H.-J. LIEBSCHER (1996²): Allgemeine Hydrologie – Quantitative Hydrologie. (Lehrbuch der Hydrologie, Bd. 1). Borntraeger, Berlin/Stuttgart, 694 p.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (ed.) (1996⁴): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500.000. München, 329 p.
- BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSBUND (1996): Erläuterungen zur digitalen Version des Klimaatlas von Bayern. München.
- BEFUS, K.M., SHEEHAN, A.F., LEOPOLD, M., ANDERSON, S.P. & R.S. ANDERSON (2011): Seismic Constraints on Critical Zone Architecture, Boulder Creek Watershed, Front Range, Colorado. - *Vadose Zone Journal* 10: 915-927.
- BENEDICT, J.B. (1970): Downslope soil movement in a Colorado alpine region: rates, processes, and climatic significance. - *Arctic and Alpine Research* 2(3): 165-226.
- BENSON, L., MADOLE, R., LANDIS, G. & J. GOSSE (2005): New data for Late Pleistocene Pinedale alpine glaciation from southwestern Colorado. - *Quaternary Science Reviews* 24: 49-65.
- BERTRAN, P. & J.-P. TEXIER (1999): Facies and microfacies of slope deposits. - *Catena* 35: 99-121.
- BIRKELAND, P.W., SHROBA, R.R., BURNS, S.F., PRICE, A.B. & P.J. TONKIN (2003): Integrating soils and geomorphology in mountains - an example from the Front Range of Colorado. - *Geomorphology* 55: 329-344
- BLACKWELDER, E. (1915): Post-Cretaceous history of the mountains of central western Wyoming. - *Journal of Geology* 23: 307-340.
- BORK, H.R. (2000): Landschaftsökologische Modelle. In: BARSCH, H., BILLWITZ, K. & H.R. BORK (eds.): *Arbeitsmethoden in Physiogeographie und Geoökologie*, 537-546.
- BOTSCHEK, J. (1999): Zum Bodenerosionspotential von Oberflächen- und Zwischenabfluß. *Bonner Bodenkundliche Abhandlungen* Bd. 29, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, 174 p.
- BRADLEY, R.S. (1999²): *Paleoclimatology. Reconstructing Climates of the Quaternary.* Academic Press, San Diego, 613 p.
- BRANDELIK, A. & C. HÜBNER (1997): Soil moisture determination – accurate, large and deep. - *Physics and Chemistry on the Earth* 21: 157-160.
- BRANTLEY, S.L. (2008): Understanding Soil Time. - *Science* 321: 1454-1455.

- BRANTLEY S.L., GOLDHABER, M.B. & K.V. RAGNARSDOTTIER (2007): Crossing disciplines and scales to understand the Critical Zone. - *Elements* 3: 307-214.
- BRAUKÄMPER, K. (1990): Zur Verbreitung periglazialer Deckschichten in Deutschland. Dissertation an der Ruhr-Universität, Bochum, 156 p.
- BRONSTERT, A. (1994): Modellierung der Abflussbildung und der Bodenwasserdynamik von Hängen. Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 192 p.
- BRONSTERT, A., NIEHOFF, D. & G. BÜRGER (2002): Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities. - *Hydrological Processes* 16(2): 509-529.
- BRUGGER, K.A. (2007): Cosmogenic ^{10}Be and ^{36}Cl ages from Late Pleistocene terminal moraine complexes in the Taylor River drainage basin, central Colorado, USA. - *Quaternary Science Reviews* 26: 494-499.
- BRUGGER, K.A. (2006): Late Pleistocene climate inferred from the reconstruction of the Taylor River glacier complex, southern Sawatch Range, Colorado. - *Geomorphology* 75(3-4): 318-329.
- BUCHTER, B., HINZ, C. & J. LEUENBERGER (1997): Tracer transport in a stony hillslope under forest. - *Journal of Hydrology* 192: 314-320.
- BÜDEL, J. (1949): Die räumliche und zeitliche Gliederung des Eiszeitenklimas. - *Die Naturwissenschaften* 5: 133-139.
- CHADWICK, O.A., HALL, R.D. & F.M. PHILLIPS (1997): Chronology of Pleistocene glacial advances in the central Rocky Mountains. - *GSA Bulletin* 109(11): 1443-1452.
- CHAPLOT, V. & C. WALTER (2003): Subsurface topography to enhance the prediction of the spatial distribution of soil wetness. - *Hydrological Processes* 17: 2567-2580.
- CHIFFLARD, P., DIDSZUN, J. & H. ZEPP (2008): Skalenübergreifende Prozess-Studien zur Abflussbildung in Gebieten mit periglazialen Deckschichten (Sauerland, Deutschland). - *Grundwasser* 13: 27-41.
- COBOS, D.R. & C. CHAMBERS (2009): Calibrating ECH₂O Soil Moisture Sensors. Application note. Decagon Devices, Pullman, 7 p.
- DECAGON DEVICES (2002): Ech2o Dielectric Probes vs. Time Domain Reflectometers (TDR). Application note. Decagon Devices, Pullman, 3 p.
- DETHIER, P.D. & E.D. LAZARUS (2006): Geomorphic inferences from regolith thickness, chemical denudation and CRN erosion rates near the glacial limit, Boulder Creek catchment and vicinity, Colorado. - *Geomorphology* 75: 384-399.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2013), <http://www.dwd.de>, 25.11.2013.

- DEWOLF, Y. (1988): Stratified Slope Deposits. In: Clark, M.J. (ed.): Advances in Periglacial Geomorphology. John Wiley & Sons, Chichester, 91-110.
- DICKINSON, W.R., KLUTE, M.A., HAYES, M.J., JANECKE, S.U., LUNDIN, E.R., MCKITTRICK, M.A. & M.D. OLIVARES (1988): Paleogeographic and paleotectonic setting of Laramide sedimentary basins in the central Rocky-Mountain region. - Geological Society of America Bulletin 100(7): 1023-1039.
- DYCK, S. & G. PESCHKE (1995³): Grundlagen der Hydrologie. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 408 p.
- EGGLETON R.A. (2001): The Regolith Glossary. Surficial geology, soils and landscapes. Cooperative Research Centre for Landscape Evolution and Mineral Exploration, Canberra, 144 p.
- EHLERS, J. & P.L. GIBBARD (2007): Glaciations - Overview. In: ELIAS, S.A. (ed.): Encyclopedia of Quaternary Science. Volume 2. Elsevier, Oxford, 1023-1031.
- EICHLER, H. (1993): Ökosystem Erde. Der Störfall Mensch – eine Schadens- und Vernetzungsanalyse. Meyers Forum 14, B.I. Taschenbuchverlag, Mannheim, 128 p.
- FALL, P.L. (1997): Timberline fluctuations and late Quaternary paleoclimates in the Southern Rocky Mountains, Colorado. - GSA Bulletin 109(10): 1306-1320.
- FELIX-HENNINGSSEN, P., SPIES, E.-D. & H. ZAKOSEK (1991): Genese und Stratigraphie periglazialer Deckschichten auf der Hochfläche des Ost-Hunsrücks (Rheinisches Schiefergebirge). - Eiszeitalter und Gegenwart 41: 56-69.
- FIEBIG, M., ELLWANGER, D. & G. DOPPLER (2011): Chapter 14 – Pleistocene Glaciations of Southern Germany. - Developments in Quaternary Science 15: 163-173
- FIEDLER, H.-J. & J. ROTSCHE (1974): Periglazialsedimente im Buntsandstein-Hügelland Ostthüringens als Substrat der Bodenbildung. - Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden 23: 287-294.
- FINK, J. & G.J. KULKA (1977): Pleistocene Climates in Central Europe: At Least 17 Interglacials after the Olduvai Event. - Quaternary Research 7: 363-371.
- FLÜGEL, W.-A. (1979): Untersuchungen zum Problem des Interflow. Messungen der Bodenfeuchte, der Hangwasserbewegung, der Grundwassererneuerung und des Abflussverhaltens im Versuchsgebiet Hollmuth/Kleiner Odenwald. Selbstverlag des Geographischen Institutes der Universität Heidelberg, Heidelberg, 170 p.
- FLÜGEL, W.A. & O. SCHWARZ (1988): Berechnungsversuche zur Erzeugung von Oberflächenabfluss, Interflow und Grundwassererneuerung. In: BARSCH, D. & W.A. FLÜGEL (eds.): Niederschlag, Grundwasser, Abfluss-Ereignisse aus dem hydrologisch-geomorphologischen Versuchsgebiet „Hollmuth“. Heidelberger Geographische Arbeiten 66, Heidelberg, 169-200.

- FRENCH, H.M. (2008³): The periglacial environment. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 458 p.
- FUCHS, M. & A. LANG (2009): Luminescence dating of hillslope deposits: A review. - *Geomorphology* 109: 17-26
- GABLE, D.J. (1980): Geologic Map of the Gold Hill Quadrangle, Boulder County, Colorado. U.S. Geological Survey.
- GAMPER, M. (1987): Mikroklima und Solifluktion: Resultate von Messungen im schweizerischen Nationalpark in den Jahren 1975-1985. - *Göttinger Geographische Abhandlungen* 84: 31-44.
- GASKIN, G.J. & J.D. MILLER (1996): Measurement of soil water content using a simplified impedance measuring technique. - *Journal of Agricultural Engineering Research* 63: 153-160.
- GERMANN, P.F. (1990): Macropores and hydrological hillslope processes. In: ANDERSON, M.G. (ed.): *Process studies in hillslope hydrology*. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, 327-364.
- GEYH, M.A. (2005): *Handbuch der physikalischen und chemischen Altersbestimmung*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 211 p.
- GREGORY, K.J. (2010): *The earth's land surface*. Sage Publications Ltd., Los Angeles, 348 p.
- GUIDO, Z.S., WARD, D.J. & R.S. ANDERSON (2007): Pacing the post-Last Glacial Maximum demise of the Animas Valley glacier and the San Juan Mountain ice cap, Colorado. - *Geology* 35(8): 739-742.
- HARRASSOWITZ, H. (1930): Fossile Verwitterungsdecken. In: BLANCK, E., GIESECKE, F., HARRASSOWITZ, H., NIKLAS, H. & B. TACKE (eds.): *Aklimatische Bodenbildung und Fossile Verwitterungsdecken*. *Handbuch der Bodenlehre* 4, 225-305.
- HARRIS, S.A. (1988): The alpine periglacial zone. In: CLARK, M.J. (ed.): *Advances in Periglacial Geomorphology*. John Wiley & Sons, Chichester, 369-414.
- HAUNER, U. (1980): *Eiszeitliche Formen und Ablagerungen*. Nationalpark Bayerischer Wald 6, Verlag Morsak oHG, Grafenau, 198 p.
- HÄUSELMANN, P., FIEBIG, M., KUBIK, P.W. & H. ADRIAN (2007): A first attempt to date the original "Deckenschotter" of Penck and Brückner with cosmogenic nuclides. - *Quaternary International* 164/165: 33-42.
- HEILIG, A., STEENHUIS, T.S., WALTER, M.T. & S.J. HERBERT (2003): Funnelled flow mechanisms in layered soil: field investigations. - *Journal of Hydrology* 279: 210-223.

- HELLER, K. (2012): Einfluss periglazialer Deckschichten auf die oberflächennahen Fließwege am Hang – eine Prozessstudie im Osterzgebirge, Sachsen. Dissertation, TU Dresden, 221 p.
- HENNIG, G.J. & R. GRÜN (1983): ESR Dating in Quaternary Geology. - *Quaternary Science Reviews* 2: 157-238.
- HILGERS, A. (2007): The chronology of Late Glacial and Holocene dune development in the northern Central European lowland reconstructed by optically stimulated luminescence (OSL) dating. Dissertation, Universität zu Köln, 353 p.
- HOSTETLER, S.W. & P.U. CLARK (1997): Climatic controls of the Western U.S. glaciers at the last glacial maximum. - *Quaternary Science Reviews* 16: 505-511.
- HÜLLE, D., HILGERS, A., KÜHN, P. & U. RADTKE (2009): The potential of optically stimulated luminescence for dating periglacial slope deposits – A case study from the Taunus area, Germany. - *Geomorphology* 109: 66-78.
- HUNTLEY, D.J., GODFREY-SMITH, D.I. & M.L.W. THEWALT (1985): Optical dating of sediments. - *Nature* 313: 105-107.
- JAESCHE, P., VEIT, H. & B. HUWE (2003): Snow Cover and Soil Moisture Controls on Solifluction in an Area of Seasonal Frost, Eastern Alps. - *Permafrost and Periglacial Processes* 14: 399-410.
- JAMES, P.E. (1954): The field of geography. In: JAMES P.E. & C.F. JONES (eds.): *American geography – inventory and prospect*. Association of American Geographers, Syracuse University Press, 590 p.
- JIN, L., RAVELLA, R., KETCHUM, B., BIERMAN, P.R., HEANEY, P., WHITE, T. & S.L. BRANTLEY (2010): Mineral weathering and elemental transport during hillslope evolution at the Susquehanna/Shale Hills Critical Zone Observatory. - *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74: 3669-3691.
- JÜRGENS, C. (1998): Der Falkensteiner Vorwald – Untersuchungsgegenstand zur Hochwasserproblematik. In: HARTL, M. & M. HUBER (eds.): *Regensburg und Ostbayern mit Nachbarregionen*. Geographische Streifzüge. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 41-45.
- KADEREIT, A., SPONHOLZ, B., RÖSCH, M., SCHIER, W., KROMER, B. & G.A. WAGNER (2006): Chronology of Holocene environmental changes at the tell site of Uivar, Romania, and its significance for late Neolithic tell evolution in the temperate Balkans. In: EITEL, B. (ed.): *Holocene Landscape Development and Geoarchaeological Research*. Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Bd. 142, Gebrüder Borntraeger, Berlin, 19-45.
- KALNICKY, D.J. & R. SINGHVI (2001): Field portable XRF analysis of environmental samples. - *Journal of Hazardous Materials* 83: 93-122.

- KLASEN, N., FIEBEIG, M., PREUSSER, F., REITNER, J.M. & U. RADTKE (2007): Luminescence dating of proglacial sediments from the Eastern Alps. - *Quaternary International* 164/165: 21-32.
- KLEBER, A. (2001): Jungquartäre Entwicklung von Hängen, Böden und Klima im Westen der USA (Nördliches Great Basin und Randgebirge). *Bayreuther Geowissenschaftliche Arbeiten* 21, Naturwissenschaftliche Gesellschaft Bayreuth e.V., Bayreuth, 237 p.
- KLEBER, A. (1997): Cover-beds as soil parent materials in midlatitude regions. - *Catena* 30: 197-213.
- KLEBER, A. (1994): On the paleoenvironment of the northern Great Basin and adjacent Rocky Mountains. - *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 38(4): 421-434.
- KLEBER, A. (1992): Periglacial slope deposits and their pedogenic implications in Germany. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 99: 361-371.
- KLEBER, A., LINDEMANN, J., SCHELLENBERGER, A., BEIERKUHNEIN, C., KAUPENJOHANN, M. & PEIFFER, S. (1998): Slope deposits and water paths in a spring catchment, Frankenwald, Bavaria, Germany. - *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 50: 119-126.
- KOPP, D. (1970): Periglaziäre Umlagerungs-(Perstruktions-)zonen im nordmitteleuropäischen Tiefland und ihre bodengenetische Bedeutung. - *Tagungsberichte der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften* 102: 55-81.
- KÖRNER (1996): Abflussbildung, interflow und Stoffbilanzierung im Schönbuch Waldgebiet. *Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten C/27*, 251 p.
- KUNTZ, B.W., RUBIN, S., BERKOWITZ, B. & K. SINGHA (2011): Quantifying Solute Transport at the Shale Hill Critical Zone Observatory. - *Vadose Zone Journal* 10: 843-857.
- KUTILEK, M. (1994): *Soil hydrology: textbook for students of soil science, agriculture, forestry, geoecology, hydrology, geomorphology or other related disciplines.* Catena-Verlag, Cremlingen-Destedt, 370 p.
- LEGG, T.E. & R.G. BAKER (1980): Palynology of Pinedale sediments, Devils Park, Boulder County, Colorado. - *Arctic and Alpine Research* 12(3): 319-333.
- LEIBUNDGUT, C. & S. UHLENBROOK (1997): Abflussbildung bei Hochwasser. *Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein*, Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, Freiburg, 81 p.
- LEONARD, E. (2007): Modelled patterns of Late Pleistocene glacier inception and growth in the Southern and Central Rocky Mountains, USA: sensitivity to climate change and paleoclimatic implications. - *Quaternary Science Reviews* 26: 2152-2166.

- LEOPOLD, M., VÖLKEL, J., HUBER, J. & D. DETHIER (2013): Subsurface Architecture of the Boulder Creek Critical Zone Observatory from Electrical Resistivity Tomography. - *Earth Surface Processes and Landforms* 38(12): 1417-1438.
- LEOPOLD, M., VÖLKEL, J., DETHIER, D., HUBER, J. & M. STEFFENS (2011): Characteristics of a paleosol and its implication for the Critical Zone development, Rocky Mountain Front Range of Colorado, USA. - *Applied Geochemistry* 26: S72-S75.
- LEOPOLD, M. & J. VÖLKEL (2007): Colluvium: definition, differentiation, and possible suitability for reconstructing Holocene climate data. - *Quaternary International* 162/163: 133-140.
- LESER, H. (1997⁴): *Landschaftsökologie. Ansatz, Modelle, Methodik, Anwendung.* Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 644 p.
- LESER, H. (1984): Zum Ökologie-, Ökosystem- und Ökotypbegriff. - *Natur und Landschaft* 59(9): 351-357.
- LEWKOWICZ, A.G. (1988): Slope Processes. In: CLARK, M.J. (ed.): *Advances in Periglacial Geomorphology.* John Wiley & Sons, Chichester, 325-368.
- LICCIARDI, J.M., CLARK, P.U., BROOK, E.J., ELMORE, D. & P. SHARMA (2004): Variable responses of western U.S. glaciers during the last deglaciation. - *Geology* 32(1): 81-84.
- LIN, H., HOPMANS, J.W. & D. DEB RICHTER (2011): Interdisciplinary Sciences in a Global Network of Critical Zone Observatories. - *Vadose Zone Journal* 10: 781-785.
- LIN, H. & X. ZHOU (2008): Evidence of subsurface preferential flow using soil hydrologic monitoring in the Shale Hills catchment. - *European Journal of Soil Science* 59: 34-49.
- LITT, T., BRAUER, A., GOSLAR, T., MERKT, J., BALAGA, K., MÜLLER, H., RALSKA-JASIEWICZOWA, M., STEBICH, M. & J.F.W. NEGENDANK (2001): Correlation and synchronisation of Lateglacial continental sequences in northern central Europe based on annually laminated lacustrine sediments. - *Quaternary Science Reviews* 20: 1233-1249.
- LOVERING, T.S. & E.N. GODDARD (1950): *Geology and Ore Deposits of the Front Range Colorado.* Geological Survey Professional Paper 223, United States Government Printing Office, Washington, 319 p.
- MADOLE, R.F. (1995): Spatial and temporal patterns of Late Quaternary eolian deposition, Eastern Colorado, U.S.A. - *Quaternary Science Reviews* 14: 155-177.
- MADOLE, R.F. (1986): Lake Devlin and Pinedale Glacial History, Front Range, Colorado. - *Quaternary Research* 25: 43-54.
- MADOLE, R.F. (1969): Pinedale and Bull Lake Glaciation in upper St. Vain drainage basin, Boulder County, Colorado. - *Arctic and Alpine Research* 1(4): 279-287.

- MADOLE, R.F., BRADLEY, W.C., LOEWENHERZ, D.S., RITTER, D.F., RUTTER, N.W. & C.E. THORN (1987): Rocky Mountains. In: GRAF, W.L. (ed.): Geomorphic systems of North America. Centennial Special Volume 2. Geological Society of America, Boulder, Colorado, 211-257.
- MAHR, A. (1998): Lockerbraunerden und periglaziale Hangsedimente im Bayerischen Wald. Untersuchungen zu Paläoumwelt und Geomorphodynamik im Spätglazial und ihrem Einfluss auf die Pedogenese. Regensburger Geographische Schriften 30, Institut für Geographie an der Universität Regensburg, Selbstverlag, Regensburg, 326 p.
- MANIAK, U. (1997⁴): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 650 p.
- MANSKE, D.J. (1981/82): Die Naturräumlichen Einheiten auf Blatt 164 Regensburg. In: BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDESKUNDE UND RAUMORDNUNG (ed.): Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Selbstverlag, Bonn, Bad Godesberg, 64 p.
- MARKER, M.E. (1990): Minimum altitudes for former periglacial landforms adjacent to longitude 106°W in Colorado and New Mexico, USA, between latitudes 33°N and 40°N. - Arctic and Alpine Research 22(4): 366-374.
- MATSUOKA, N. (2001): Solifluction rates, processes and landforms: a global review. - Earth-Science Reviews 55: 107-134.
- MCMAMARA, J.P., CHANDLER, D., SEYFRIED, M. & S. ACHET (2005): Soil moisture states, lateral flow, and streamflow generation in a semi-arid, snowmelt-driven catchment. - Hydrological Processes 19(20): 4023-4038.
- MEARS, B. (1981): Periglacial Wedges and the Late Pleistocene Environment of Wyoming's Intermontane Basins. - Quaternary Research 15: 171-198.
- MEIERDING, T.C. (1982): Late Pleistocene Glacial Equilibrium-Line Altitudes in the Colorado Front Range: A Comparison of Methods. - Quaternary Research 18: 289-310.
- MENOUNOS, B. & M.A. REASONER (1997): Evidence for Cirque Glaciation in the Colorado Front Range during the Younger Dryas Chronozone. - Quaternary Research 48: 38-47.
- MENTLÍK, P., MINÁR, J., BŘÍZOVÁ, E., LISÁ, L., TÁBOŘÍK, P. & V. STACKE (2010): Glaciation in the surroundings of Prášílské Lake (Bohemian Forest, Czech Republic). - Geomorphology 117: 181-194.
- MERRILL, G.P. (1904²): A Treatise on rocks, rock-weathering and soils. MacMillan & CO., Ltd., New York, 411 p.

- MICHL, C. (1999): Prozessorientierte Modellierung des Wasserhaushalts zweier Quelleinzugsgebiete im Thüringer Wald. Dissertation an der Universität Jena, Jena, 190 p.
- MIYAZAKI, T. (2006): Water flow in soils. Taylor & Francis Group LLC, Boca Raton, 418 p.
- MONTENEGRO FERRIGNO, H. (1995): Parameterbestimmung und Modellierung der Wasserbewegung in heterogenen Böden. Forschungsberichte VDI, Reihe 15: Umwelttechnik, Nr. 134, VDI Verlag, Düsseldorf, 161 p.
- MOSIMANN, T. (1984): Landschaftsökologische Komplexanalyse. Steiner Verlag, Wiesbaden, 116 p.
- MÜLLER, U.C., PROSS, J. & E. BIBUS (2003): Vegetation response to rapide climate change in Central Europe during the past 140,000 yr based on evidence from the Füramoos pollen record. - Quaternary Research 59: 235-245.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. (2006⁴): Wetter und Klima in Deutschland. S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 174 p.
- MURRAY, A.S. & J.M. OLLEY (2002): Precision and accuracy in the Optically Stimulated Luminescence Dating of sedimentary quartz: a status review. - Geochronometria 21: 1-16.
- MURRAY, A.S. & A.G. WINTLE (2000): Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. - Radiation Measurements 32: 57-73.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2001): Basic Research Opportunities in Earth Science. National Academy Press, Washington, D.C., 154 p.
- NEEF, E. (1967a): Entwicklung und Stand der landschaftsökologischen Forschung in der DDR. - Wissenschaftliche Abhandlungen der Geographischen Gesellschaft der DDR 5: 22-34
- NEEF, E. (1967b): Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre. VEB Haack, Gotha/Leipzig, 152 p.
- NOBORIO, K. (2001): Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. - Computers and Electronics in Agriculture 31: 213-237.
- NOGUCHI, S., TSUBOYAMA, Y., SIDLE, R.C. & I. HOSODA (1999): Morphological characteristics of macropores and the distribution of preferential flow pathways in a forested slope segment. - Soil Science Society of America Journal 63: 1413-1423.
- PAFFEN, K.-H. (1953): Die natürliche Landschaft und ihre räumliche Gliederung - Eine methodische Untersuchung am Beispiel der Mittel- und Niederrheinlande. Forschungen zur deutschen Landeskunde 68, 196 p.

- PASSARGE, S. (1922): Landschaft und Kulturentwicklung in unseren Klimabreiten. L. Friedrichsen & Co., Hamburg, 165 p.
- PAWELEC, H. (2011): Periglacial evolution of slopes - Rock control versus climate factors (Cracow Upland, S. Poland). - *Geomorphology* 132: 139-152.
- PENCK, A. & E. BRÜCKNER (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. Bd I-III. Tauchnitz Verlag, Leipzig, 1199 p.
- PESCHKE, G. (2001): Bodenwasserhaushalt und Abflussbildung. - *Geographische Rundschau* 2001(5): 18-23.
- PETERSEN, K.L. & P.J. MEHRINGER, JR. (1976): Postglacial Timberline Fluctuations, La Plata Mountains, Southwestern Colorado. - *Arctic and Alpine Research* 8(3): 275-288.
- PETROV, V.P. (1976): Natur und Alter der alten mächtigen Verwitterungskruste. Verwitterung und Mächtigkeit der Verwitterungsfolge. – Schriftenreihe für geologische Wissenschaften 5: 147-154.
- PFEIFFER, M. (2002): Periglaziale Lagen – ihre Zuordnung zum Relief und ihre sedimentologisch-pedologische Differenzierung sowie ihre Auswirkung auf Standortqualitäten anhand ausgewählter Beispiele aus dem Steigerwald. Dissertation, LMU München, 290 p.
- PHILLIPS, F.M., ZREDA, M.G., GOSSE, J.C., KLEIN, J., EVENSON, E.B., HALL, R.D., CHADWICK, O.A. & P. SHARMA (1997): Cosmogenic ^{36}Cl and ^{10}Be ages of Quaternary glacial and fluvial deposits of the Wind River Range, Wyoming. - *GSA Bulletin* 109(11): 1453-1463.
- PIETRUSKY, U. & D. MOOSAUER (1985): Der Bayerische Wald – im Fluge neu entdeckt. Morsak Verlag, Grafenau, 357 p.
- PIERCE, K.L. (2003): Pleistocene glaciations of the Rocky Mountains. - *Development in Quaternary Science* 1: 63-76.
- PLATT, R.V. & T. SCHOENNAGEL (2009): An object-oriented approach to assessing changes in tree cover in the Colorado Front Range 1938-1999. - *Forest Ecology and Management* 258: 1342-1349
- POSER, H. & J. HÖVERMANN (1951): Untersuchungen zur pleistozänen Harz-Vergletscherung. - *Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft* 3: 61-115.
- PRIEHÄÜBER, G. (1930): Die Eiszeit im Bayerischen Wald. *Abhandlungen der Geologischen Landesuntersuchung des Bayerischen Oberbergamtes* 2, Bayerisches Oberbergamt, München, 46 p.

- RAAB, T. (2005): Erfassung und Bewertung von Landschaftswandel in (prä-) historischen Montangebieten am Beispiel Ostbayerns. Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung, Bd. 7, 236 p.
- RAAB, T. (1999): Würmzeitliche Vergletscherung des Bayerischen Waldes im Arbergebiet. Regensburger Geographische Schriften 32, Institut für Geographie an der Universität Regensburg, Regensburg, 327 p.
- RAAB, T., LEOPOLD, M. & J. VÖLKEL (2007): Character, age, and ecological Significance of Pleistocene Periglacial Slope Deposits in Germany. - *Physical Geography* 28: 451-473.
- RAAB, T. & J. VÖLKEL (2003): Late Pleistocene glaciation of the Kleiner Arbersee area in the Bavarian Forest, South Germany. - *Quaternary Science Reviews* 33: 581-593.
- REHEIS, M.C. (1980): Loess sources and loessial soil changes on downwind transect, Boulder Lavayette Area, Colorado. – *The Mountain Geologist* 17(1): 7-12.
- REIMER, P.J., BAILLIE, M.G. L., BARD, E., BAYLISS, A., BECK, J.W., BLACKWELL, P.G., BRONK RAMSEY, C., BUCK, C.E., BURR, G.S., EDWARDS, R.L., FRIEDRICH, M., GROOTES, P.M., GUILDERSON, T.P., HAJDAS, I., HEATON, T.J., HOGG, A.G., HUGHEN, K.A., KAISER, K.F., KROMER, B., MCCORMAC, F.G., S W MANNING, S.W., REIMER, R.W., RICHARDS, D.A., SOUTHON, J.R., TALAMO, S., TURNEY, C.S.M., VAN DER PLICHT, J. & C.E. WEYHENMEYER (2009): IntCal09 and Marine09 Radiocarbon Age Calibration Curves. 0-50,000 years cal BP. - *Radiocarbon* 51(4): 1111-1150.
- REIMER, P.J., BAILLIE, M.G. L., BARD, E., BAYLISS, A., BECK, J.W., BERTRAND, C.J.H., BLACKWELL, P.G., BUCK, C.E., BURR, G.S., CUTLER, K.B., DAMON, P.E., EDWARDS, R.L., FAIRBANKS, R.G., FRIEDRICH, M., GUILDERSON, T.P., HOGG, A.G., HUGHEN, K.A., KROMER, B., MCCORMAC, G., MANNING, S., RAMSEY, C.B., REIMER, R.W., REMMELE, S., SOUTHON, J.R., STUIVER, M., TALAMO, S., TAYLOR, V.W., VAN DER PLICHT, J. & C.E. WEYHENMEYER (2004): IntCal04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0-26 cal. kyr BP. - *Radiocarbon* 46(3): 1029-1058.
- RICHMOND, G.M. (1986): Stratigraphy and correlation of glacial deposits of the Rocky Mountains, the Colorado Plateau and the Ranges of the Great Basin. - *Quaternary Science Reviews* 5: 99-127
- RICHMOND, G.M. (1970): Comparison of the Quaternary Stratigraphy of the Alps and Rocky Mountains. - *Quaternary Research* I: 3-28.
- RICHMOND, G.M. & D.S. FULLERTON (1986): Introduction to Quaternary Glaciations in the United States of America. - *Quaternary Science Reviews* 5: 3-10.
- RICHTER, H. (1968): Beitrag zum Modell des Geokomplexes. In: Barthel, H. (ed.): *Landschaftsforschung*, 39-48.
- RINSCHÉDE, G. (2007³): *Geographiedidaktik. Grundriss Allgemeine Geographie*. UTB, Paderborn, 545 p.

- SAUER, D. (2002): Genese, Verbreitung und Eigenschaften periglaziärer Lagen im Rheinischen Schiefergebirge, anhand von Beispielen aus Westerwald, Hunsrück und Eifel. *Boden und Landschaft* 36, Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen, 294 p.
- SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1998¹⁴): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 494 p.
- SCHERZER, J., SCHAAF, W. & R.F. HÜTTL (1996): Eignung von FDR- und TDR-Sonden zur Erfassung der Bodenfeuchte in Kippsubstraten mit erhöhter elektrischer Leitfähigkeit. - *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 80: 279-282.
- SCHIFFLER, G.R. (1992): Experimentelle Erfassung und Modellierung der Infiltration stärkerer Niederschläge unter realen Feldbedingungen. *Mitteilungen des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft (IHW)* 40, Selbstverlag, Karlsruhe, 217 p.
- SCHILDGEN, T., DETHIER, D.P., BIEMAN, P. & M. CAFFEE (2002): ²⁶Al and ¹⁰Be dating of late Pleistocene and Holocene fill terraces: a record of fluvial deposition and incision, Colorado Front Range. - *Earth Surface Processes and Landforms* 27: 773-787.
- SCHILLING, B. & E.D. SPIES (1991): Die Böden Mittel- und Oberfrankens. - *Bayreuther Bodenkundliche Berichte* 17: 68-82.
- SCHILLING, W. & H. WIEFEL (1962): Jungpleistozäne Periglazialbildungen und ihre regionale Differenzierung in einigen Teilen Thüringens und des Harzes. - *Geologie* 11(4): 428-460.
- SCHMITHÜSEN, J. (1942): Vegetationsforschung und ökologische Standortlehre in ihrer Bedeutung für die Geographie der Kulturlandschaft. Gesellschaft für Erdkunde, Berlin, 45 p.
- SCHOBEL, S. (2008): Infiltrations- und Bodenabflussprozesse in Abhängigkeit von der Landnutzung in der Trier-Bitburger Mulde. Dissertation, Universität Trier, 186 p.
- SCHOLTEN, T., ALTERMANN, M., SCHWANECKE, W. & P. FELIX-HENNINGSSEN (1999): Die Bedeutung periglazialer Lagen für die Funktionen des Bodens im Ostharz. - *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 91(2): 1096-1099.
- SCHRÖDER, R. (2000): Modellierung von Verschlammung und Infiltration in landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten. *Bonner Geographische Abhandlungen* 101, Asgard Verlag, Sankt Augustin, 175 p.
- SCHRÖDER, H. & H.-J. FIEDLER (1977): Beitrag zur Kenntnis der periglazialen Deckschichten des östlichen Harzes. Teil 1: Gliederung, Lithologie und Verbreitung der periglazialen Deckschichten. - *Zeitschrift für geologische Wissenschaften* 5: 51-81.

- SCHWANECKE, W. (1970): Die periglaziären Umlagerungszonen im Hügelland und Mittelgebirge der DDR und ihre bodenkundliche Bedeutung. - Tagungsberichte der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften 102: 83-107.
- SCOTT, K.M. & C.F. PAIN (2008): Regolith Science. Springer, Heidelberg, 461 p.
- SEEGER, T., KASPAR, E., KLAIBER, B. & G. EISELE (1989): Periglaziale Deckschichten in Kammlagen des Bundsandstein-Schwarzwaldes und ihre hydrogeologische Bedeutung. Jahreshefte des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg 31: 197-213.
- SELBY, M.J. (1993²): Hillslope Materials and Processes. Oxford University Press, Oxford, 451 p.
- SEMMELE, A. (1964): Junge Schuttdecken in hessischen Mittelgebirgen. - Notizblatt des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zu Wiesbaden 92: 275-285.
- SEMMELE, A. (1968): Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. – Frankfurter Geographische Hefte 45, 133 p.
- SEMMELE, A. & B. TERHORST (2010): The concept of the Pleistocene periglacial cover beds in central Europe: A review. - Quaternary International 222: 120-128.
- SHACKLETON, N.J. & N.D. OPDYKE (1973): Oxygen Isotope and Palaeomagnetic Stratigraphy of Equatorial Pacific Core V28-238: Oxygen Isotope Temperatures and Ice Volumes on a 105 Year and 106 Year Scale - Quaternary Research 3: 39-55.
- STATHAM, I. (1977): Earth Surface Sediment Transport. Oxford University Press, Oxford, 184 p.
- STEINHARDT, U., BLUMENSTEIN, O. & H. BARSCH (2012²): Lehrbuch der Landschaftsökologie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 295 p.
- SUESS, H.E. (1970): The three causes of the secular ¹⁴C fluctuations, their amplitudes and time constants. In: OLSSON, I.U. (ed.): Radiocarbon Variations and Absolute Chronology. Proceedings of the Twelfth Nobel Symposium, John Wiley & Sons, Inc., New York, 595-605.
- SWAROWSKY, A., DAHLGREN, R.A., TATE, K.W., HOPMANS, J.W. & A.T. O'GEEN (2011): Catchment-Scale Soil Water Dynamics in a Mediterranean-Type Oak Woodland. - Vadose Zone Journal 10: 800-815.
- TANSLEY, A.G. (1935): The use and abuse of vegetational concepts and terms. - Ecology 16(3): 284-307.
- TAYLOR, G. (2008): Landscape and regolith. In: SCOTT, K.M. & C.F. PAIN (eds.): Regolith Science, 31-43.
- TAYLOR, G. & R.A. EGGLETON (2001): Regolith Geology and Geomorphology. John Wiley & Sons, Chichester, 375 p.

- TERENO (2013), <http://teodoor.icg.kfa-juelich.de/overview-de>, 09.12.2013.
- TILCH, N., UHLENBROOK, S. & C. LEIBUNDGUT (2002): Regionalisierungsverfahren zur Ausweisung von Hydrotopen in von periglazialen Hangschutt geprägten Gebieten. - Grundwasser 4: 206-216.
- TINDALL, J.A. (1999): Unsaturated zone hydrology for scientists and engineers. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, 624 p.
- TOPP, G.C. & P.A. FERRÉ (2002): The Soil Solution Phase. Water Content. In: DANE, J.H. & G.C. TOPP (eds.): Methods of Soil Analysis. Part 4 Physical Methods (Soil Science Society of America Book Series). Madison, Wisconsin, 417-446.
- TOPP, G.C., DAVIES, J.L. & A.P. ANNAN (1980): Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. - Water Resources Research 16: 574-582.
- TROLL, C. (1950): Die geographische Landschaft und ihre Erforschung. - Studium Generale 3: 163-181.
- TROLL, C. (1939): Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. - Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 7/8: 241-298.
- TROLL, G. (1967a): Bau und Bildungsgeschichte des Bayerischen Waldes. In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (ed.): Führer zu geologisch-petrographischen Exkursionen im Bayerischen Wald, Teil I: Aufschlüsse im Mittel- und Ostteil. Akademische Buchdruckerei F. Staub, München, 15-21.
- TROLL, G. (1967b): Einleitung. In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (ed.): Führer zu geologisch-petrographischen Exkursionen im Bayerischen Wald, Teil I: Aufschlüsse im Mittel- und Ostteil. Akademische Buchdruckerei F. Staub, München, 13-14.
- UHLENBROOK, S. (1999): Untersuchung und Modellierung der Abflussbildung in einem mesoskaligen Einzugsgebiet. Freiburger Schriften zur Hydrologie 10, Institut für Hydrologie, Freiburg i. Br., 190 p.
- VALETON, I. (1983): Klimaperioden lateritischer Verwitterung und ihr Abbild in den synchronen Sedimentationsräumen. - Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 134: 413-452.
- VARNES, D.J. (1978): Slope Movement, types and processes. In: SCHUSTER, R.L. & R.J. KRIZEK (eds.): Landslides. Analysis and Control. National Academy of Science, Washington, 11-33.
- VEBLEN, T.T. & D.C. LORENZ (1991): The Colorado Front Range. A Century of Ecological Change. University of Utah Press, Salt Lake City, 186 p.
- VÖLKEL, J. (2012): Critical Zone Exploration Networks and integrated long-term ecosystem-atmosphere observatories. - iLEAPS Newsletter 12: 21-23.

- VÖLKELE, J. (1999): Charakterisierung saprolithischer Verwitterung im südwestlichen Moldanubikum durch röntgendiffraktometrische Untersuchungen. - Zentralblatt für Geologie und Paläontologie I(5-6): 289-304.
- VÖLKELE, J. (1995a): Periglaziale Deckschichten und Böden im Bayerischen Wald und seinen Randgebieten – als geogene Grundlagen landschaftsökologischer Forschung im Bereich naturnaher Waldstandorte. Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl. Bd. 96, Gebrüder Bornträger, Berlin, 301 p.
- VÖLKELE, J. (1995b): Zur Darstellung von Schichtwechselln in periglazialen Decklagen des Bayerischen Waldes unter besonderer Berücksichtigung der Mittellage und ihrer Eigenschaften. - Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 158: 177-186.
- VÖLKELE, J. (1994): Zur Frage der Merkmalcharakteristik und Gliederung periglazialer Deckschichten am Beispiel des Bayerischen Waldes. - Petermanns Geographische Mitteilungen 138: 207-217.
- VÖLKELE, J., HUBER, J. & M. LEOPOLD (2011): Significance of slope sediments layering on physical characteristics and interflow within the Critical Zone – Examples from the Colorado Front Range, USA. - Applied Geochemistry 26: S143-S145.
- VÖLKELE, J., LEOPOLD, M., MAHR, A. & T. RAAB (2002a): Zur Bedeutung kaltzeitlicher Hangsedimente in zentraleuropäischen Mittelgebirgslandschaften und zu Fragen der Terminologie. - Petermanns Geographische Mitteilungen 146: 50-59.
- VÖLKELE, J., ZEPP, H. & A. KLEBER (2002b): Periglaziale Deckschichten in Mittelgebirgen – ein offenes Forschungsfeld. - Berichte zur deutschen Landeskunde 76(2/3): 101-114.
- VÖLKELE, J. & M. LEOPOLD (2001): Zur zeitlichen Einordnung der jüngsten periglazialen Aktivitätsphase im Hangrelief zentraleuropäischer Mittelgebirge. - Zeitschrift für Geomorphologie 45(3): 273-294.
- VÖLKELE, J. & T. RAAB (1998): Zur Differenzierung periglazialer, glazialer und kolluvialer Sedimente im Hangrelief von Mittel- und Hochgebirgen. - Zentralblatt Geologische Paläontologie Teil I (5-6): 305-318.
- VÖLKELE, J. & A. MAHR (1997): Neue Befunde zum Alter der periglazialen Deckschichten im Vorderen Bayerischen Wald. - Zeitschrift für Geomorphologie 41(1): 131-137.
- VOGEL, J.C., WINTLE, A.G. & S.M. WOODBORNE (1999): FOCUS: Luminescence Dating of Coastal Sands: Overcoming Changes in Environmental Dose Rate. - Journal of Archaeological Science 26: 729-733.
- WASSERWIRTSCHAFTSAMT REGENSBURG (2013), <http://www.hnd.bayern.de>, 02.07.2013.

- WARD, D.J., ANDERSON, R.S., GUIDO, Z.S. & J.P. BRINER (2009): Numerical modelling of cosmogenic deglaciation records, Front Range and San Juan mountains, Colorado. - *Journal of Geophysical Research* 114: 1-21.
- WASHBURN, A.L. (1980): Permafrost features as evidence of climatic change. - *Earth-Science Reviews* 15: 327-402.
- WASHBURN, A.L. (1979): *Geocryology. A survey of periglacial processes and environments.* Edward Arnold Ltd., London, 406 p.
- WEATHERING SYSTEM SCIENCE CONSORTIUM (WSSC) (2005): Critical Zone Exploration Network. Draft Science Plan. <http://www.czen.org/content/critical-zone-exploration-network>, 24.11.2010
- WEINMEISTER, W. (2003): Fähigkeiten des Waldes zur Verminderung von Hochwasser und Erosionsschäden. In: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD- UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF) (ed.): *Hochwasserschutz im Wald. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft* 40, Selbstverlag, Freising, 15-29.
- WILDING L.P. & H. LIN (2006): Advancing the frontiers of soil science towards a geoscience. - *Geoderma* 131: 257-274.
- WILHELM, F. (1997³): *Hydrogeographie. Grundlagen der Allgemeinen Hydrogeographie.* In: LESER, H. & K. ROTHER (eds.): *Das Geographische Seminar.* Westermann Schulbuchverlag GmbH, Braunschweig, 225 p.
- WINTLE, A.G. & A.S. MURRAY (2006): A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. - *Radiation Measurements* 41: 369-391.
- WITTMANN, O. (1975): *Bodenkarte von Bayern 1:25 000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 6938 Regensburg.* Bayerisches Geologisches Landesamt, München, 110 p.
- ZAVEH, Z. (1998): Culture and landscape conservation: a landscape-ecological perspective. In: GOPAL, B.P., PATHAK, P. & K.G. SAYENA (eds.): *Ecology Today: an anthology of contemporary ecological research.* International Science Publications, New Delhi, 19-48.

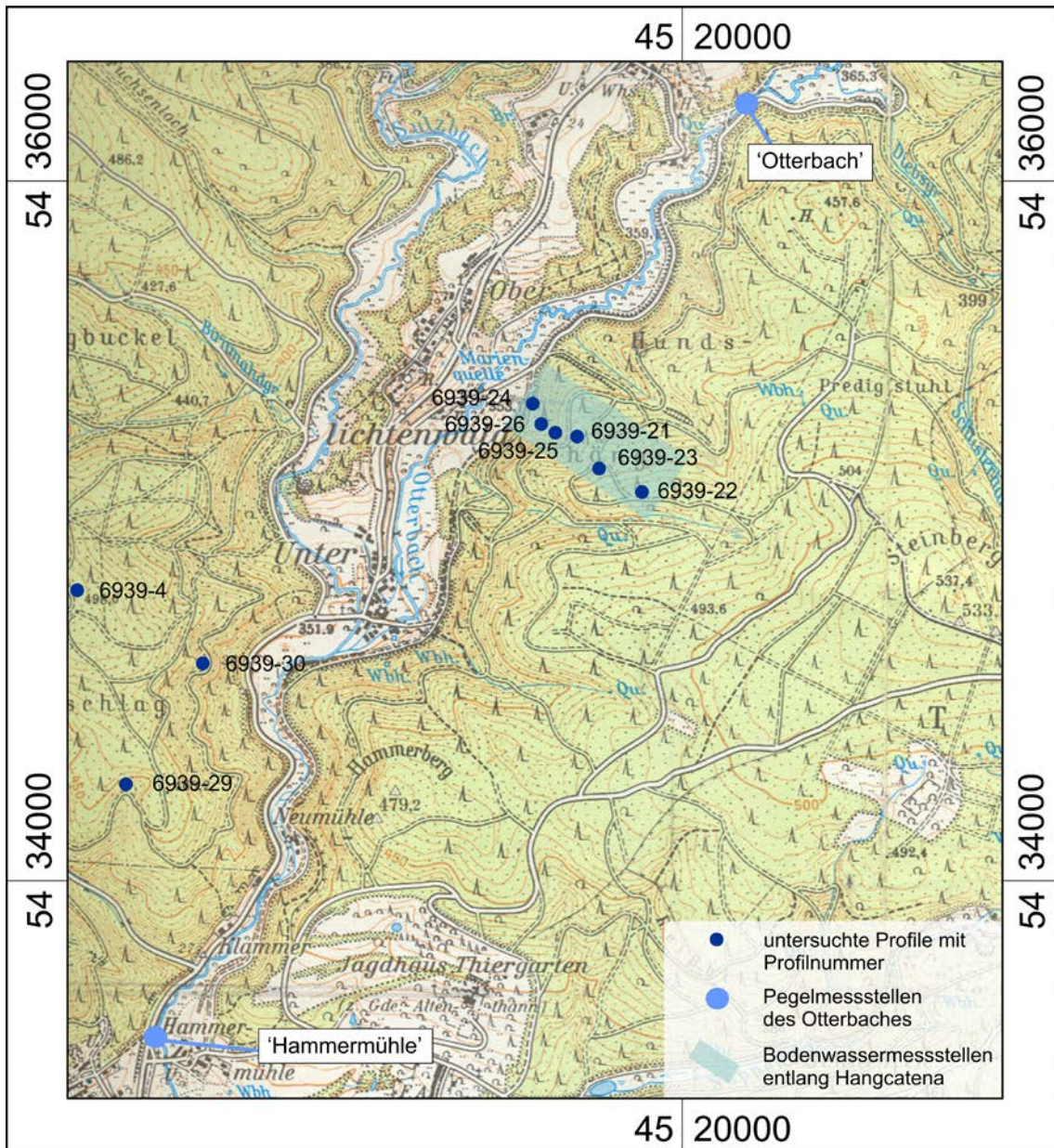
8	Anhangsverzeichnis	
A.1	Karten und Lage der Profile	126
A.1.1	Otterbachtal	126
A.1.2	Colorado Front Range	127
A.2	Profilaufnahme und Laborergebnisse	128
A.2.1	Otterbachtal	128
A.2.1.1-A.2.1.6	6939-22 (Station 1)	128
A.2.1.7-A.2.1.12	6939-23 (Station 2)	130
A.2.1.13-A.2.1.13	6939-21 (Station 3)	132
A.2.1.19-A.2.1.24	6939-25 (Station 4)	134
A.2.1.25-A.2.1.30	6939-26 (Station 5)	136
A.2.1.31-A.2.1.36	6939-24 (Station 6)	139
A.2.1.37-A.2.1.42	6939-29	142
A.2.1.43-A.2.1.48	6939-30	144
A.2.1.49-A.2.1.52	6939-4	146
A.2.2	Colorado Front Range	147
	Profilgruppe I	
A.2.2.1-A.2.2.7	Ward 4864 II SE 3	148
A.2.2.8-A.2.2.14	Ward 4864 II SE 4	150
A.2.2.15-A.2.2.21	Ward 4864 II SE 5	153
	Profilgruppe II	
A.2.2.22-A.2.2.28	Ward 4864 II SE 2	158
A.2.2.29-A.2.2.35	Ward 4864 II SE 8	164
	Profilgruppe III	
A.2.2.36-A.2.2.41	Gold Hill 4965 III SW 5	167
A.2.2.42-A.2.2.48	Gold Hill 4965 III SW 6	168
A.2.2.49-A.2.2.55	Gold Hill 4965 III SW 7	171
A.2.2.56-A.2.2.62	Gold Hill 4965 III SW 8	174
A.2.2.63-A.2.2.69	Gold Hill 4965 III SW 12	177
A.2.2.70-A.2.2.76	Gold Hill 4965 III SW 14	180
A.2.2.77-A.2.2.83	Gold Hill 4965 III SW 20	183
A.2.2.84-A.2.2.90	Eldorado Springs 4963 IV NE 1	185
A.2.2.91-A.2.2.97	Eldorado Springs 4963 IV NE 3	188
A.2.2.98-A.2.2.104	Boulder 4864 II SE 22	194

Profilgruppe IV		
A.2.2.105-A.2.2.111	Gold Hill 4965 III SW 9	197
A.2.2.112-A.2.2.118	Gold Hill 4965 III SW 10	201
A.2.2.119-A.2.2.125	Boulder 4964 III SE 14	204
A.2.2.126-A.2.2.132	Boulder 4964 III SE 16	208
A.2.2.133-A.2.2.139	Eldorado Springs 4963 VI NE 12	212
Profilgruppe V		
A.2.2.140-A.2.2.146	Boulder 4964 III SE 1-4	215
A.2.2.147-A.2.2.153	Boulder 4964 III SE 5	218
A.2.2.154-A.2.2.160	Boulder 4964 III SE 7	220
A.2.2.161-A.2.2.166	Boulder 4964 III SE 8-9	224
A.2.2.167-A.2.2.173	Boulder 4964 III SE 10	225
A.2.2.174-A.2.2.180	Eldorado Springs 4963 IV NE 2	228
A.2.2.181-A.2.2.187	Eldorado Springs 4963 IV NE 4	231
A.2.2.188-A.2.2.194	Eldorado Springs 4963 IV NE 5	234
A.3	Datierungen	237
A.3.1	Tabellarische Übersicht	237
A.3.1.1	Optisch Stimulierte Lumineszenz (Colorado Front Range)	237
A.3.1.2	Radiokohlenstoffdatierung (Colorado Front Range)	238
A.3.1.3	Optisch Stimulierte Lumineszenz (Otterbachtal)	239
A.3.2	Profilfotos mit Entnahmestellen und OSL-Altern	239
A.3.2.1	Colorado Front Range	239
A.3.1.2	Otterbachtal	242
A.4	Bodenwassergehalt	243
A.4.1	Beeinflussende Größen	243
A.4.1.1	Organische Auflagen	243
A.4.1.2	Eindringwiderstände in kg/cm ²	243
A.4.2	Statistische Übersicht zum Bodenwassergehalt	244

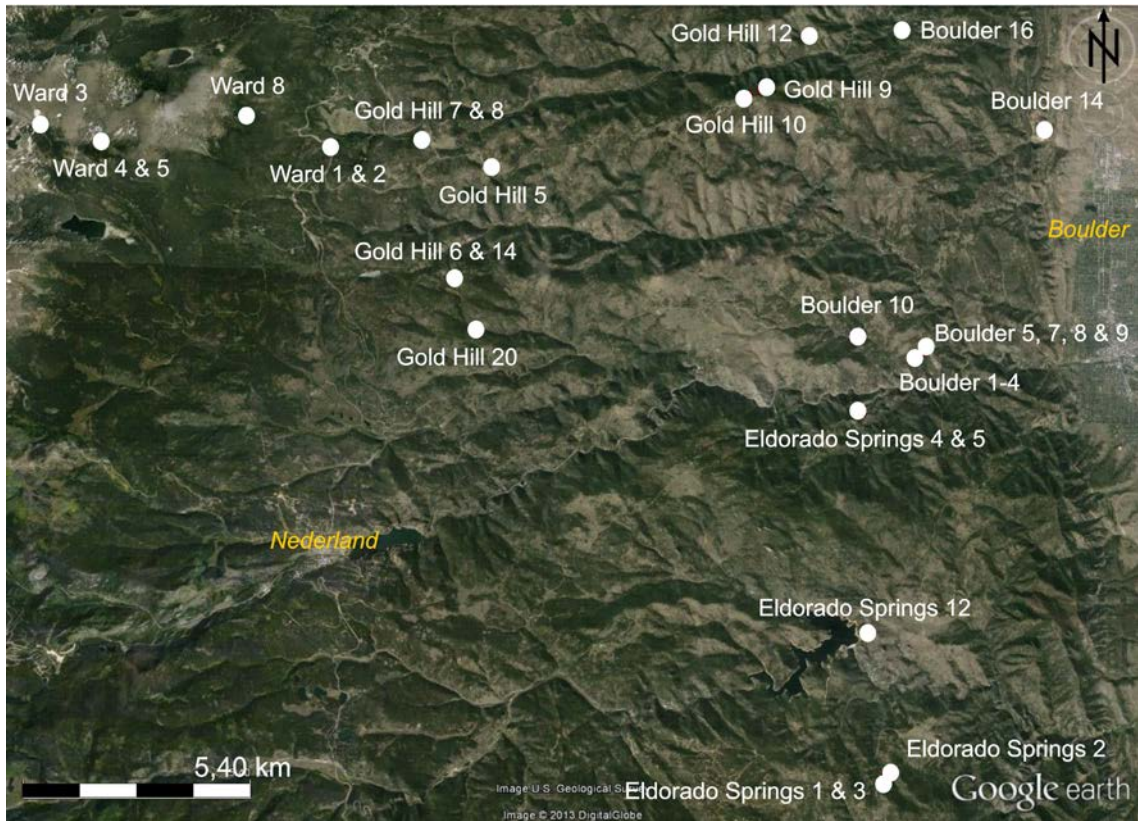
9 Anhang

A.1 Karten und Lage der Profile

A.1.1 Otterbachtal



A.1.2 Colorado Front Range



A.2 Profilaufnahme und Laborergebnisse

A.2.1 Otterbachtal

6939-22 (Station 1)

R: 4519800 H: 5435250, 461 m NN

A.2.1.1 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
L	+5-+4			Buchenblätter / Zweige / Nadeln
Of	+4-+2			lagig abhebbar, Makroreste erkennbar, dunkelbraun variieren, Hyphen, Übergang fließend
Oh	+2-0			zum Teil kornpodsolig → Übergang zum Ah, schwarzbraun, Schnupftabakhorizont, locker, feinkrümelig, homogen
LH Ah	0-0,5			kaum erkennbar aus Of übergehend
LH Bv	0,5-22	1 2 20	0,5-11 11-22 0-32	schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach bis schwach grobgrusiger, schwach mittelgrusiger, mittel feingrusiger, mittel lehmiger Sand, hautfarben, subpolyedrisches Gefüge, sandig, höherer Feinanteil als Profil 21, schwach durchwurzelt, kantig bis kantengerundet, keine Einregelung, Übergang fließend durch Skelettanteil erkennbar
LH Bv-ICv	22-32	3 OSL 1	22-32 25	schwach humoser, carbonatfreier, mittel grob-, mittel- und feingrusiger, stark lehmiger Sand, Feinboden wie oben, Grobgrus- und Feinanteil stark erhöht, deutlich dichter, Farbe ähnlich oben, keine Wurzeln, Schluffkappen auf Steinen, durch Farbe deutliche Grenze
LB II ICv	32-60+	4 21 OSL 2	32-60 32-62 60	stark humoser, carbonatfreier, mittel grob-, mittel- und feingrusiger, sandig-toniger Lehm, intensiv rot, Skelettanteil > 90%, dichter, Skelett stark verwittert, sehr schwach bis schwach durchwurzelt, rötlicher, schluffiger Lehm auf den Skelettaußenseiten, unten eher blank

A.2.1.2 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w . %									Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
6939-22/1	LH Bv	0,5-11	41,7	33,1	15,7	9,6	58,4	12,5	13,9	6,8	33,1	8,5	Sl3
6939-22/2	LH Bv	11-22	38,6	29,5	17,1	10,0	56,5	12,7	13,8	7,2	33,8	9,7	Sl3
6939-22/3	LH Bv-ICv	22-32	63,7	30,5	15,4	9,5	55,4	11,8	12,2	7,8	31,7	12,8	Sl4
6939-22/4	LB II ICv	32-60	75,2	21,4	14,7	7,9	44,0	7,7	8,6	7,0	23,3	32,7	Lts

A.2.1.3 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
6939-22/1	LH Bv	0,5-11	3,01	-	5 YR 3/4	-	0,9	0,06	16	-
6939-22/2	LH Bv	11-22	3,09	-	5 YR 4/6	-	0,7	0,05	15	-
6939-22/3	LH Bv-ICv	22-32	3,26	-	5 YR 4/6	-	0,6	0,05	13	-
6939-22/4	LB II ICv	32-60	3,37	-	2,5 YR 4/6	-	2,4	0,10	24	-

A.2.1.4 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
6939-22/20	LH Bv	0-32	0,12	2,24	0,00	0,00	0,12	2,34	0,39	7,45	4,59	87,17	0,04	0,80	0,00	0,00	5,27	12,03
6939-22/21	II LB ICv	32-62	0,12	3,61	0,03	1,01	0,06	1,89	0,20	6,25	2,85	87,11	0,00	0,03	0,00	0,10	3,27	12,76

* (mmol/100 g Boden)

A.2.1.5 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
6939- 22/20	LH Bv	0-32	0,16	0,39	0,000	0,17	0,07	0,000	0,41	0,16	0,000	0,74	0,61	0,000
6939- 22/21	II LB ICv	32-62	0,11	0,28	0,002	0,46	0,02	0,000	0,04	0,03	0,000	0,61	0,33	0,002

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
6939- 22/20	LH Bv	0-32	0,40	21	23	56	63	11	26	0	100	0
6939- 22/21	II LB ICv	32-62	10,93	19	75	7	85	6	10	84	0	16

A.2.1.6 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
6939 22/20	189,63	n.n.	496,84	6,07	5,95	40,85	7088,90	n.n.	22,75	1491,05	81,43	37083,85

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

6939-23 (Station 2)

R: 4520000 H: 5435300, 440 m NN

A.2.1.7 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
L	+6-+5			Buchen- und Eichenstreu, Ästchen
Of	+5-+4			deutlich ausgeprägt, Makroreste deutlich erkennbar, lagig abhebbar
Oh	+4-0			deutlich ausgeprägt, Makroreste kaum erkennbar, braunschwarz, sehr stark durchwurzelt, sehr locker, krümelig, homogen, fließender Übergang
Ah	0-2	1 20	0-2 0-8	stark humos, carbonatfrei, schwach mittelgrusig, mittel feingrusig, grauschwarz, violettstichig, schwach ausgeprägt, aber vorhanden, sehr stark durchwurzelt, nach unten durch Farbe scharf abgegrenzt
Bv	2-16	2 21	2-16 8-25	mittel humoser, carbonatfreier, schwach mittelgrusiger, mittel feingrusiger, mittel sandiger Lehm, markanter Lößlehmanteil, leicht kantengerundet, stark durchwurzelt, braun, violettstichig, leicht gebleicht, Untergrenze fließend, durch Farbe und Wurzeln nachgezeichnet
LH II Bv	16-50	3 4 22	16-33 33-50 25-55	schwach bis mittel humoser, carbonatfreier, schwach bis mittel mittelgrusiger, mittel feingrusiger, mittel bis stark sandiger Lehm, tief rotbraun, markanter Lößlehmanteil, leicht kantengerundet, mittel durchwurzelt, Skelette an der Basis hochkant gestellt, Untergrenze durch Farbe, Wurzeln und Skelettanteil scharf nachgezeichnet
LB III ICv	50-78	5 6 23 OSL 1	50-64 64-78 55-82 60	sehr schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach bis schwach grobgrusiger, mittel- und feingrusiger, mittel lehmiger Sand, deutlich sandiger, sonst wenig Feinboden, Skelette teils eingeregelt, gelbbraun, glimmerhaltig, bröseln leicht aus Profil, scharfkantig, Struktur und Farbe des Granits erkennbar, Wurzelgrenze, Untergrenze wellig, durch Farbe nachgezeichnet, <u>Steinanreicherung an der Untergrenze</u>
LB IV fBt	78-130	7 8 9 24 OSL 2 OSL 3	78-95 95-112 112-130 82-130 90 115	sehr schwach humoser, carbonatfreier, schwach grobgrusiger, schwach bis mittel mittelgrusiger, mittel feingrusiger, mittel bis stark lehmiger Sand, nach unten zunehmender Tonanteil, im oberen Teil graubraun, unten weinrotbraun mit gelblichen Partien, scharfkantig, keine Wurzeln, Skelett eingeregelt mit Schluffhauben, Schicht mit Bändern durchzogen, Toncutane schwach ausgeprägt, Untergrenze diffus durch Skelettanteil nachgezeichnet
V ICv	130-150	10 25	130-150 130-157	sehr schwach humoser, carbonatfreier, schwach grobgrusiger, mittel- und feingrusiger, stark lehmiger Sand, sandiger werdend, Skelett eingeregelt mit Schluffhauben, weinrotbraun mit gelben Bändern, Dichte nach unten hin zunehmend, stark glimmerhaltig, scharfkantig, stark verwitterter Granit, Haken schlagend, Untergrenze durch Skelettanteil nachgezeichnet
ICv	150-280+	11 B1 B2 B3	150-180 180-185 185-254 254-280	humusfreier bis sehr schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach bis mittel grob- und mittelgrusiger, mittel bis stark feingrusiger, mittel bis stark lehmiger Sand, feinerdearm, kaum mehr grabbar, Saprolith, je nach Mineral gelbe (180-185 cm), violettgraue (185-254 cm) und rostrote (254-280 cm) Verwitterungsfarben

A.2.1.8 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w . %									Boden- art	
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
6939-23/1	Ah	0-2	47,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6939-23/2	LH Bv	2-16	40,0	29,3	13,4	5,4	48,1	9,9	13,8	8,9	32,5	19,4	Ls3	
6939-23/3	LH II Bv	16-33	35,9	29,3	10,8	6,1	46,2	10,1	12,2	8,0	30,3	23,5	Ls3	
6939-23/4	LH II Bv	33-50	47,4	30,2	13,1	7,0	50,3	9,3	11,4	7,6	28,3	21,4	Ls4	
6939-23/5	LB III ICv	50-64	72,4	51,2	14,4	5,8	71,4	4,8	7,0	5,4	17,2	11,4	SI3	
6939-23/6	LB III ICv	64-78	73,8	48,7	18,4	3,7	70,8	6,8	7,1	5,9	19,7	9,5	SI3	
6939-23/7	LB IV fBvt	78-95	59,8	35,8	15,0	9,3	60,1	10,6	11,4	6,8	28,8	11,1	SI3	
6939-23/8	LB IV fBvt	95-112	63,2	36,3	16,7	9,0	62,0	10,7	10,8	6,7	28,2	9,8	SI3	
6939-23/9	LB IV fBvt	112-130	56,1	36,6	13,2	8,3	58,1	9,7	11,3	8,3	29,2	12,7	SI4	
6939-23/10	V ICv	130-150	62,2	39,3	17,1	8,2	64,6	8,4	6,9	6,9	22,1	13,3	SI4	
6939-23/11	ICv	150-180	84,3	45,2	16,9	10,2	72,3	5,7	8,2	3,9	17,9	9,9	SI3	
6939-23/B1	ICv	180-185	42,2	38,4	12,7	6,1	57,3	9,0	9,8	9,0	27,8	14,9	SI4	
6939-23/B2	ICv	185-254	47,1	36,1	18,8	9,3	64,2	8,4	10,6	5,9	24,9	10,9	SI3	
6939-23/B3	ICv	254-280	50,2	45,8	16,7	7,0	69,6	7,0	8,3	5,2	20,5	9,9	SI3	

A.2.1.9 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
6939-23/1	Ah	0-2	3,73	-	10 YR 2/3	-	4,206	0,252	17	-
6939-23/2	LH Bv	2-16	3,51	-	5 YR 3/6	-	1,927	0,114	17	-
6939-23/3	LH II Bv	16-33	3,69	-	5 YR 4/8	-	1,57	0,083	19	-
6939-23/4	LH II Bv	33-50	3,82	-	5 YR 4/8	-	0,94	0,056	17	-
6939-23/5	LB III ICv	50-64	3,91	-	5 YR 4/8	-	0,213	0,023	9	-
6939-23/6	LB III ICv	64-78	3,79	-	5 YR 5/8	-	0,261	0,023	11	-
6939-23/7	LB IV fBvt	78-95	3,73	-	5 YR 4/6	-	0,148	0,021	7	-
6939-23/8	LB IV fBvt	95-112	3,60	-	5 YR 4/6	-	0,097	0,019	5	-
6939-23/9	LB IV fBvt	112-130	3,67	-	5 YR 4/6	-	0,081	0,015	5	-
6939-23/10	V ICv	130-150	3,74	-	5 YR 4/6	-	0,087	0,012	7	-
6939-23/11	ICv	150-180	3,79	-	5 YR 4/8	-	0,133	0,014	10	-
6939-23/B1	ICv	180-185	3,77	-	7,5 YR 7/4	-	0,053	0,027	2	-
6939-23/B2	ICv	185-254	3,90	-	2,5 YR 4/4	-	0,032	0,024	1	-
6939-23/B3	ICv	254-280	4,02	-	2,5 YR 4/4	-	0,026	0,016	2	-

A.2.1.10 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
6939-23/20	Ah	0-8	0,32	5,74	0,00	0,00	0,33	5,91	1,37	24,73	3,08	55,70	0,03	0,59	0,40	7,33	5,52	36,38
6939-23/21	LH Bv	8-25	0,18	2,50	0,03	0,49	0,09	1,29	0,49	6,92	6,06	86,20	0,08	1,18	0,10	1,42	7,02	11,20
6939-23/22	LH II Bv	25-55	0,12	1,97	0,01	0,11	0,10	1,59	0,19	3,03	5,68	92,62	0,04	0,61	0,01	0,09	6,14	6,69
6939-23/23	LB III Bv (ICv)	55-82	0,13	2,30	0,00	0,00	0,07	1,21	0,13	2,28	5,34	93,82	0,02	0,29	0,01	0,10	5,69	5,79
6939-23/24	LB IV fBvt	82-130	0,14	3,14	0,00	0,00	0,08	1,76	0,13	2,81	4,08	91,31	0,03	0,65	0,01	0,33	4,47	7,71
6939-23/25	V ICv	130-157	0,18	3,21	0,08	1,38	0,16	2,99	0,39	7,18	4,66	84,75	0,00	0,00	0,03	0,50	5,50	14,75

* (mmol/100 g Boden)

A.2.1.11 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
6939-23/20	Ah	0-8	0,10	0,09	0,011	0,12	0,05	0,021	0,35	0,05	0,002	0,58	0,19	0,033
6939-23/21	LH Bv	8-25	0,13	0,13	0,000	0,20	0,05	0,015	0,48	0,08	0,023	0,81	0,26	0,037
6939-23/22	LH II Bv	25-55	0,06	0,22	0,000	0,32	0,11	0,001	0,70	0,14	0,002	1,08	0,47	0,004
6939-23/23	LB III Bv (ICv)	55-82	0,02	0,11	0,000	0,13	0,08	0,002	0,63	0,09	0,003	0,78	0,27	0,005
6939-23/24	LB IV fBvt	82-130	0,01	0,06	0,000	0,09	0,01	0,015	0,74	0,07	0,021	0,85	0,14	0,036
6939-23/25	V ICv	130-157	0,02	0,04	0,001	0,46	0,03	0,000	0,01	0,01	0,001	0,50	0,08	0,001

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
6939-23/20	Ah	0-8	0,35	18	21	61	48	26	26	32	62	6
6939-23/21	LH Bv	8-25	0,42	16	25	59	49	19	32	0	40	60
6939-23/22	LH II Bv	25-55	0,47	6	30	64	46	23	30	0	42	58
6939-23/23	LB III Bv (ICv)	55-82	0,21	2	17	81	39	28	33	0	44	56
6939-23/24	LB IV fBvt	82-130	0,13	2	11	87	41	10	49	0	42	58
6939-23/25	V ICv	130-157	32,54	4	93	3	53	38	9	57	0	43

A.2.1.12 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
6939 23/20	353,46	n.n.	368,04	12,87	56,82	24,86	8749,53	526,79	25,09	2835,59	735,99	29319,34
6939 23/21	365,84	n.n.	366,94	11,19	22,95	27,21	10044,04	213,45	19,50	2925,64	560,99	30820,24
6939 23/22	299,15	n.n.	418,66	19,12	11,06	55,96	18468,97	116,40	25,44	2639,11	1413,35	30305,76
6939 23/23	345,19	n.n.	496,77	15,59	15,21	62,13	20077,21	103,97	35,23	2716,58	1957,89	31925,58
6939 23/24	241,01	n.n.	469,73	13,35	13,44	45,67	16975,70	268,34	36,72	1989,02	703,32	38271,93
6939 23/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

6939-21 (Station 3)

R: 4519550 H: 5435500, 408 m NN

A.2.1.13 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
L	+5-+4	1	+5-+4	Laubstreu, Ästchen, kaum Unterwuchs
Of	+4-+3	2	+4-+3	lagig, Makroreste deutlich erkennbar, teils Hyphen
Oh-Ah	+3-1	3	+3-1	äußerst humos, carbonatfrei, deutlich ausgeprägt, tiefschwarz, sehr stark bis extrem stark durchwurzelt, Kornpodsoligkeit schwach, teils in Ah übergehend, schwer trennbar
Ahe	1-4	4 20	1-4 0-6	stark humoser, carbonatfreier, schwach mittelgrusiger, mittel feingrusiger, stark sandiger Lehm, violettstichig, aufgebleicht, sehr stark durchwurzelt, Untergrenze fließend
Bh	4-5	5	4-5	stark humoser, carbonatfreier, schwach mittelgrusiger, mittel feingrusiger, stark sandiger Lehm, dunkelbraun, teils violettstichig, Humusanreicherung, nicht als durchgängiges Band, sondern fleckig ausgeprägt, deutliche Farbänderung nach oben, Untergrenze undulierend und diffus
LH Bv	5-30	6 7 21 OSL 1	5-17 17-30 6-37 24	mittel bis stark humoser, carbonatfreier, mittel mittel- und feingrusiger, stark sandiger Lehm bis stark lehmiger Sand, sehr stark bis extrem stark durchwurzelt, braun, sehr feucht, unterhalb der Basis Stein eingeregelt mit Schluffhauben, unten blank, zu LB gehörend, Lößlehmbeimengung erkennbar, Skelett an der Basis eingeregelt, Untergrenze durch Farbe und Wurzeln deutlich nachgezeichnet
LB II Bv-ICv	30-58	8 9 22 OSL 2	30-44 44-58 37-50 42	schwach humoser, carbonatfreier, schwach bis mittel grob- und mittelgrusiger, mittel feingrusiger, mittel lehmiger Sand, deutlicher Farbwechsel, hellbraun, schwächer lößlehmbeeinflusst, Mittelgrus- und Grobgrusanteil steigt, nach unten hin sandiger-grusiger werdend, mittel durchwurzelt, Skelett zum Teil eingeregelt, typische Schluffkappen, unten blank; weniger feucht als oben, Untergrenze scharf, durch Farbe und Wurzeln nachgezeichnet
ICv	58-80+	10 23	58-80+ 50-110	sehr schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach grobgrusiger, mittel mittelgrusiger, stark feingrusiger stark lehmiger Sand, Saprolith, grabbar, mit zunehmender Verfestigung nach unten, ziemlich sicher in situ, keine Wurzeln, Grobskelettanteil gegenüber Basislage steigt, zum Teil Steine, grau-rot-braun mit gelben Partien, sandiger Grus, kaum Feinboden, hohe Lagerungsdichte

A.2.1.14 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden-art	
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
6939-21/1	L	+5-+4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6939-21/2	Of	+4-+3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6939-21/3	Oh-Ah	+3-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6939-21/4	Ahe	1-4	49,0	36,2	11,5	6,1	53,8	7,6	11,5	7,6	26,7	19,5	Ls4	
6939-21/5	Bh	4-5	48,6	39,3	11,0	5,9	56,2	7,1	10,3	7,6	24,9	18,9	Ls4	
6939-21/6	LH Bv	5-17	51,2	39,0	10,8	6,0	55,8	7,9	10,1	8,4	26,4	17,8	Ls4	
6939-21/7	LH Bv	17-30	57,5	42,9	10,8	4,7	58,3	7,3	11,5	8,6	27,3	14,3	Sl4	
6939-21/8	LB II Bv-ICv	30-44	51,7	41,1	11,7	5,6	58,4	10,2	11,7	8,7	30,6	10,9	Sl3	
6939-21/9	LB II Bv-ICv	44-58	72,7	36,8	11,8	6,8	55,3	9,5	13,0	10,1	32,7	12,0	Sl3	
6939-21/10	ICv	58-80+	65,8	41,4	12,0	6,7	60,0	7,7	9,8	9,7	27,2	12,8	Sl4	

A.2.1.15 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
6939-21/1	L	+5-+4	4,92	-	-	-	47,8	0,84	57	-
6939-21/2	Of	+4-+3	3,92	-	10 YR 3/4	-	43,1	2,03	21	-
6939-21/3	Oh-Ah	+3-1	3,11	-	7,5 YR 3/2	-	14	0,66	21	-
6939-21/4	Ahe	1-4	3,42	-	7,5 YR 3/4	-	3,125	0,13	23	-
6939-21/5	Bh	4-5	3,62	-	10 YR 3/4	-	4,562	0,21	22	-
6939-21/6	LH Bv	5-17	3,82	-	10 YR 3/4	-	3,666	0,15	24	-
6939-21/7	LH Bv	17-30	3,92	-	10 YR 4/6	-	2,147	0,10	21	-
6939-21/8	LB II Bv-ICv	30-44	3,87	-	7,5 YR 4/4	-	1,091	0,06	17	-
6939-21/9	LB II Bv-ICv	44-58	3,73	-	7,5 YR 4/4	-	0,806	0,06	15	-
6939-21/10	ICv	58-80+	3,71	-	7,5 YR 4/4	-	0,301	0,04	8	-

A.2.1.16 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK	BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
6939-21/20	Ahe	0-6	0,26	2,87	0,09	1,05	0,27	2,96	1,14	12,70	6,74	75,31	0,28	3,14	0,18	1,96	8,95	19,59
6939-21/21	LH Bv	6-37	0,10	2,87	0,04	1,22	0,10	2,80	0,13	3,73	2,99	86,44	0,07	2,06	0,03	0,89	3,46	10,61
6939-21/22	LB II Bv-ICv	37-50	0,13	2,45	0,02	0,39	0,08	1,55	0,19	3,74	4,64	90,58	0,05	0,94	0,02	0,34	5,13	8,13
6939-21/23	ICv	50-110	0,16	2,86	0,09	1,57	0,08	1,45	0,15	2,66	5,21	91,04	0,02	0,32	0,01	0,12	5,72	8,53

* (mmol/100 g Boden)

A.2.1.17 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
6939-21/20	Ahe	0-6	0,17	0,11	0,000	0,19	0,03	0,007	0,41	0,11	0,006	0,78	0,24	0,013
6939-21/21	LH Bv	6-37	0,17	0,24	0,003	0,47	0,06	0,001	0,17	0,07	0,007	0,80	0,36	0,011
6939-21/22	LB II Bv-ICv	37-50	0,03	0,13	0,000	0,13	0,04	0,000	0,65	0,10	0,001	0,81	0,27	0,001
6939-21/23	ICv	50-110	0,01	0,08	0,000	0,05	0,03	0,000	0,44	0,06	0,000	0,50	0,17	0,000

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
6939-21/20	Ahe	0-6	0,47	22	25	53	44	12	44	0	53	47
6939-21/21	LH Bv	6-37	2,79	21	58	21	67	15	18	25	12	63
6939-21/22	LB II Bv-ICv	37-50	0,20	4	16	80	50	14	36	0	27	73
6939-21/23	ICv	50-110	0,10	2	9	89	48	17	35	0	0	0

A.2.1.18 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
6939 21/20	394,30	n.n.	260,19	16,67	46,87	45,25	14330,33	221,22	41,69	4160,69	1710,20	19997,51
6939 21/21	335,09	n.n.	275,45	19,58	n.n.	47,53	16824,94	340,11	25,95	2266,62	2077,37	21329,16
6939 21/22	327,73	n.n.	394,40	18,45	15,48	58,80	15770,53	83,82	n.n.	2292,22	1713,93	30997,01
6939 21/23	261,39	n.n.	445,15	15,07	13,39	54,21	14530,97	70,76	21,58	1834,72	1435,58	32877,66

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

6939-25 (Station 4)

R: 4519500 H: 5435450, 395 m NN

A.2.1.19 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
L	+6-+3			Buchenstreu, Moose, Ästchen
Of	+3-+1			deutlich ausgeprägt, Of dominant, Makroreste deutlich erkennbar, fließender Übergang zum Oh
Oh	+1-0			sehr schwach ausgeprägt, schwarzbraun, extrem stark durchwurzelt, fließender Übergang
Ah	0-4	20	0-9	unterschiedlich stark ausgeprägt, extrem stark durchwurzelt, sehr stark humos, schwach feingrusig, Untergrenze wellig durch Farbe nachgezeichnet
LH Bv	4-27	1 21	4-27 9-37	mittel humoser, carbonatfreier, schwach mittelgrusiger, mittel feingrusiger stark lehmiger Sand, ockerbraun, feucht, sehr stark durchwurzelt, lößlehmhaltig, lehmig, kantengerundet, bröseln leicht aus Profil, allmählich in ICv übergehend
LB II ICv	27-68	2 22 OSL 1	27-68 37-94 50	sehr schwach humoser, carbonatfreier, schwach mittelgrusiger, stark feingrusiger, stark lehmiger Sand, mittel durchwurzelt; Skelett nicht eingeregelt, bröseln leicht aus Profil, scharfkantig, Struktur und Farbe des Granits erkennbar, taschenförmig durchfeuchtet, Untergrenze fließend, durch Wurzeln nachgezeichnet
LB III ICv	68-132	3 4 23 OSL 2 5	68-100 100-132 94-124 110 110-120	sehr schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach bis schwach grobgrusiger, schwach mittelgrusiger, mittel bis stark feingrusiger, mittel lehmiger Sand, fast wie oben, im unteren Bereich rote Bänder (vgl. Profil 23), weniger Grobboden, Untergrenze durch Skelettanteil und Dichte scharf nachgezeichnet rote Bänder
ICv	132-265+	6 7 8 9 24	132-165 165-198 198-231 231-265 124-174	sehr schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach bis mittel grobgrusiger, schwach bis mittel mittelgrusiger, mittel bis stark feingrusiger, schwach lehmiger bis reiner Sand, deutlich dichter, verwitterter Saprolith in situ, kaum Feinboden, sehr schwach durchwurzelt, scharfkantig, keine Einregelung, schwer bis kaum grabbar, nach unten hin dichter, feuchter und weniger Wurzeln

A.2.1.20 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden-art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
6939-25/1	LH Bv	4-27	42,0	37,6	12,1	7,1	56,8	9,5	11,0	8,3	28,8	14,3	SI4
6939-25/2	LB II ICv	27-68	58,8	47,6	12,7	5,6	66,0	5,0	9,7	7,2	22,0	12,0	SI4
6939-25/3	LB III ICv	68-100	55,5	50,4	16,0	7,4	73,8	6,3	6,2	5,1	17,6	8,6	SI3
6939-25/4	LB III ICv	100-132	50,7	46,9	18,7	8,8	74,4	5,5	6,7	4,5	16,8	8,9	SI3
6939-25/5	LB III ICv	110-120	63,4	41,3	16,2	9,4	67,0	10,3	6,7	6,1	23,1	9,9	SI3
6939-25/6	ICv	132-165	75,7	50,7	17,4	9,8	77,9	6,9	5,3	3,7	15,9	6,2	SI2
6939-25/7	ICv	165-198	62,8	50,4	23,7	9,4	83,5	5,2	5,8	1,2	12,1	4,4	Su2
6939-25/8	ICv	198-231	63,1	58,5	21,8	8,5	88,8	4,1	1,8	1,4	7,2	4,0	Ss
6939-25/9	ICv	231-265	55,1	54,2	20,8	9,2	84,2	4,4	3,3	2,8	10,5	5,3	SI2

A.2.1.21 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
6939-25/1	LH Bv	4-27	3,71	-	10 YR 4/6	-	1,5	0,07	20	-
6939-25/2	LB II ICv	27-68	3,73	-	7,5 YR 4/4	-	0,3	0,03	9	-
6939-25/3	LB III ICv	68-100	4,00	-	7,5 YR 5/6	-	0,1	0,02	6	-
6939-25/4	LB III ICv	100-132	3,95	-	7,5 YR 4/6	-	0,1	0,02	7	-
6939-25/5	LB III ICv	110-120	3,78	-	7,5 YR 4/4	-	0,1	0,02	6	-
6939-25/6	ICv	132-165	4,02	-	7,5 YR 5/8	-	0,1	0,01	5	-
6939-25/7	ICv	165-198	4,14	-	10 YR 5/8	-	0,1	0,01	6	-
6939-25/8	ICv	198-231	4,77	-	10 YR 5/6	-	0,0	0,01	6	-
6939-25/9	ICv	231-265	4,49	-	10 YR 4/6	-	0,1	0,01	9	-

A.2.1.22 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
6939-25/20	Ah	0-9	0,26	3,09	0,01	0,09	0,31	3,58	1,37	16,08	6,22	72,90	0,22	2,59	0,14	1,67	8,53	22,84
6939-25/21	LH Bv	9-37	0,08	2,10	0,07	2,01	0,11	2,92	0,16	4,36	3,23	87,52	0,03	0,80	0,01	0,30	3,69	11,38
6939-25/22	LB II ICv	37-94	0,11	2,81	0,00	0,00	0,13	3,44	0,16	4,11	3,45	88,36	0,04	0,97	0,01	0,32	3,91	10,35
6939-25/23	LB III	94-124	0,18	2,21	0,00	0,00	0,52	6,60	0,49	6,23	6,69	84,33	0,04	0,47	0,01	0,17	7,94	15,04
6939-25/24	ICv	124-174	0,10	3,58	0,02	0,71	0,27	9,91	0,20	7,17	2,14	77,59	0,03	0,99	0,00	0,05	2,76	21,37

* (mmol/100 g Boden)

A.2.1.23 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
6939-25/20	Ah	0-9	0,22	0,14	0,000	0,14	0,04	0,001	0,42	0,09	0,002	0,79	0,27	0,003
6939-25/21	LH Bv	9-37	0,14	0,22	0,001	0,46	0,04	0,000	0,12	0,07	0,002	0,72	0,33	0,004
6939-25/22	LB II ICv	37-94	0,02	0,08	0,000	0,07	0,03	0,001	0,39	0,07	0,000	0,48	0,18	0,001
6939-25/23	LB III	94-124	0,02	0,03	0,003	0,75	0,05	0,000	0,02	0,01	0,001	0,78	0,09	0,004
6939-25/24	ICv	124-174	0,00	0,05	0,000	0,07	0,03	0,003	0,44	0,06	0,000	0,52	0,14	0,003

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
6939-25/20	Ah	0-9	0,34	28	18	54	52	16	32	0	31	69
6939-25/21	LH Bv	9-37	3,76	19	64	17	67	13	20	36	11	53
6939-25/22	LB II ICv	37-94	0,18	4	14	81	44	16	39	0	100	0
6939-25/23	LB III	94-124	49,37	2	96	2	37	50	13	57	9	33
6939-25/24	ICv	124-174	0,15	1	13	86	36	20	44	0	100	0

A.2.1.24 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
6939 25/20	549,21	n.n.	279,92	16,16	48,30	39,68	12465,67	131,54	28,64	3451,78	1614,16	21129,81
6939 25/21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6939 25/22	368,05	n.n.	327,30	19,84	28,12	58,26	23165,24	140,97	37,23	2731,90	4370,75	23958,97
6939 25/23	421,31	n.n.	425,44	18,47	12,51	71,75	24901,00	352,71	34,56	3265,56	1728,54	30873,94
6939 25/24	426,53	n.n.	284,49	19,66	21,81	48,36	20492,33	227,27	33,06	2791,59	5464,85	24685,00

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

6939-26 (Station 5)

R: 4519450 H: 5435450, 371 m NN

A.2.1.25 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
L	+3-+2			Laub- und Nadelstreu, Ästchen, wenig Unterwuchs
Of	+2-+1			Wurzelfilz, Makroreste erkennbar
Oh	+1-0			schwach ausgeprägt, tiefschwarz, kornpodsolig, locker
Ah	0-4	20	0-3	graubraun, gebleicht, stark humos, schwach feingrusig, sehr stark durchwurzelt, Untergrenze undulierend
M	0-20	1 21	4-26 3-19	mehr Steine als LH
LH II Bv	4-48	2 22	26-48 19-38	mittel humoser carbonatfreier sehr schwach bis schwach grobgrusiger mittel mittel- und feingrusiger schluffig-lehmiger Sand, deutlich verbraunt, hellbraun, sehr stark durchwurzelt, markanter Lößlehmanteil, tonreicher als oben, kantengerundet, leicht feucht, Skelette mit Schluffhauben, unten blank, hoher Humusgehalt von Krotowine, Untergrenze durch Wurzeln, Tongehalt und Lagerungsdichte nachgezeichnet
LM III fBt	48-113	3 4 5 23	48-70 70-92 92-113 38-114	sehr schwach humoser carbonatfreier schwach mittelgrusiger mittel feingrusiger sandig-lehmiger Schluff bis schluffig-lehmiger Sand, Tonanreicherung, viel Schluff und Ton, leicht kantengerundet, schwach durchwurzelt, hellbraun, dichter als oben, Einregelung nicht nachweisbar, Untergrenze durch Skelettanteil nachgezeichnet
LB IV ICtv	113-157	6 24	113-157 114-169	sehr schwach humoser, carbonatfreier, mittel mittel- und feingrusiger, stark lehmiger Sand, sandiger und grusiger, wurzelfrei, Tonanreicherungen, Skelette nicht eingeregelt, bröseln leicht aus Profil, scharfkantig
V ICv	157-255+	7 8 25	157-206 206-255 169-170+	sehr schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach grobgrusiger, mittel mittel- und feingrusiger, schwach bis mittel lehmiger Sand, Spülprozesse, in situ, geringerer Skelettgehalt, feingrusiger, sandiger

A.2.1.26 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden-art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
6939-26/1	M	4-26	50,2	23,1	10,1	6,0	39,2	15,8	18,5	10,2	44,5	16,3	Slu
6939-26/2	LH II Bv	26-48	40,4	19,4	10,3	5,8	35,5	18,4	19,7	10,0	48,1	16,4	Slu
6939-26/3	LM III fBt	48-70	32,6	19,6	7,8	5,8	33,2	20,6	22,0	10,3	52,9	14,0	Uls
6939-26/4	LM II fBt	70-92	23,8	16,6	8,3	6,0	30,9	22,1	21,9	10,2	54,2	14,9	Uls
6939-26/5	LM III fBt	92-113	27,9	21,2	10,1	7,1	38,5	17,1	21,2	7,5	45,9	15,6	Slu
6939-26/6	LB IV ICtv	113-157	56,1	39,1	19,8	9,0	67,9	7,5	6,2	5,4	19,1	13,0	Sl4
6939-26/7	V ICv	157-206	54,0	50,4	17,1	7,8	75,3	5,4	6,5	2,8	14,7	10,0	Sl3
6939-26/8	V ICv	206-255	57,6	48,1	22,1	10,2	80,4	5,7	3,2	3,1	11,9	7,7	Sl2

A.2.1.27 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
6939-26/1	M	4-26	3,40	-	10 YR 3/4	-	2,2	0,12	19	-
6939-26/2	LH II Bv	26-48	3,55	-	7,5 YR 4/6	-	1,5	0,08	19	-
6939-26/3	LM III fBt	48-70	3,64	-	7,5 YR 5/6	-	0,4	0,03	13	-
6939-26/4	LM II fBt	70-92	3,51	-	7,5 YR 5/6	-	0,3	0,03	10	-
6939-26/5	LM III fBt	92-113	3,50	-	7,5 YR 5/6	-	0,2	0,03	8	-
6939-26/6	LB IV ICtv	113-157	3,88	-	5 YR 4/8	-	0,1	0,02	3	-
6939-26/7	V ICv	157-206	3,92	-	7,5 YR 5/6	-	0,1	0,02	4	-
6939-26/8	V ICv	206-255	4,16	-	7,5 YR 4/6	-	0,0	0,01	4	-

A.2.1.28 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Probtiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK	BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
6939-26/20	Ah	0-3	0,24	3,16	0,02	0,29	0,30	3,86	1,13	14,63	5,50	71,41	0,31	4,01	0,20	2,65	7,71	21,93
6939-26/21	M	3-19	0,15	2,30	0,00	0,00	0,09	1,34	0,28	4,22	5,84	88,53	0,19	2,81	0,05	0,80	6,60	7,86
6939-26/22	LH II Bv	19-38	0,07	2,07	0,05	1,41	0,09	2,68	0,11	3,07	3,18	90,12	0,01	0,37	0,01	0,26	3,53	9,24
6939-26/23	LM III Bv	38-114	0,09	1,51	0,07	1,11	0,02	0,36	0,09	1,52	5,78	94,68	0,04	0,73	0,01	0,08	6,11	4,51
6939-26/24	LB IV fBt	114-169	0,15	2,23	0,10	1,45	0,20	2,93	0,35	5,13	6,00	87,36	0,02	0,30	0,04	0,60	6,86	11,74
6939-26/25	V ICv	169-170+	0,15	2,33	0,19	3,03	2,26	35,82	2,73	43,29	0,96	15,14	0,01	0,23	0,01	0,16	6,31	84,47

* (mmol/100 g Boden)

A.2.1.29 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
6939-26/20	Ah	0-3	0,23	0,10	0,000	0,10	0,04	0,000	0,34	0,06	0,002	0,67	0,20	0,002
6939-26/21	M	3-19	0,18	0,15	0,000	0,36	0,03	0,006	0,48	0,09	0,010	1,02	0,28	0,016
6939-26/22	LH II Bv	19-38	0,09	0,17	0,002	0,46	0,05	0,004	0,13	0,06	0,006	0,67	0,28	0,012
6939-26/23	LM III Bv	38-114	0,05	0,11	0,000	0,32	0,05	0,006	0,68	0,13	0,012	1,05	0,28	0,018
6939-26/24	LB IV fBt	114-169	0,02	0,08	0,000	0,16	0,04	0,016	0,75	0,10	0,011	0,93	0,21	0,027
6939-26/25	V ICv	169-170+	0,00	0,01	0,000	0,06	0,03	0,008	0,50	0,09	0,000	0,56	0,13	0,008

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
6939-26/20	Ah	0-3	0,30	34	15	51	51	18	31	0	0	100
6939-26/21	M	3-19	0,75	17	36	47	55	11	34	0	36	64
6939-26/22	LH II Bv	19-38	3,64	13	68	19	62	17	21	17	35	49
6939-26/23	LM III Bv	38-114	0,47	5	30	65	37	18	45	0	34	66
6939-26/24	LB IV fBt	114-169	0,22	2	18	81	36	17	47	0	60	40
6939-26/25	V ICv	169-170+	0,12	1	11	88	11	23	66	0	100	0

A.2.1.30 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
6939 26/20	587,81	n.n.	232,92	19,94	91,62	34,11	10336,99	127,58	42,12	4266,97	1428,34	20145,64
6939 26/21	607,07	n.n.	252,60	17,74	17,73	39,61	12569,67	283,92	37,96	3715,43	1361,76	21631,10
6939 26/22	620,05	n.n.	241,57	19,37	14,07	34,96	14818,96	196,02	29,00	3860,09	1197,17	20290,15
6939 26/23	518,29	n.n.	255,38	17,38	13,57	50,47	18605,07	250,72	39,90	3436,27	1152,98	22287,14
6939 26/24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6939 26/25	484,57	n.n.	185,45	17,39	46,00	38,59	10698,71	162,61	33,72	3594,21	1530,96	18433,64

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

6939-24 (Station 6)

R: 4519450 H: 5435450, 355 m NN

A.2.1.31 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
L	+3-+2			Buchen-Eichen-Mischstreu, Moose, Ästchen, kein Unterwuchs
Of	+2-+1			deutlich ausgeprägt, Makroreste deutlich erkennbar, lagig abhebbar
Oh	+1-0			deutlich ausgeprägt, braunschwarz, Makroreste kaum erkennbar, Schnupftabakhorizont, locker
Ah	0-1	20	0-3	nur teils vorhanden, dunkelbraun, sehr stark durchwurzelt, stark humos, sehr schwach fein- und mittelgrusig
M	1-4	21	3-8	hellbraun, Lößlehmenteil, schwach fein- und mittelgrusig, leicht, kantengerundet, stark durchwurzelt, krümelig, schwach humos, Untergrenze wellig, durch Farbe deutlich nachgezeichnet
II Ah	4-5			sehr staubig, grauschwarz, wellig, durch Farbe deutlich zu erkennen, sehr stark durchwurzelt, leicht gebleicht, sehr stark humos, schwach fein- und mittelgrusig
LH Sw-Bv	5-76	1 2 3 22 OSL 1	5-27 27-52 52-76 8-72 60	sehr schwach bis mittel humoser, carbonatfreier, sehr schwach bis schwach grobgrusiger, schwach mittelgrusiger, mittel feingrusiger, schluffig-lehmiger bis mittel lehmiger Sand, Skelett bioturbat bedingt nicht eingeregelt, ockerbraun, gebleicht, Lößlehmenteile, mittel feinsteinig, nach unten hin gröber und grusiger werdend, Steine an der Sohle, leicht kantengerundet, im oberen Teil sehr stark, darunter mittel durchwurzelt, krümelig, oben grusiger und weniger schluffig als unten, ab ca. 27 cm definitiv Sw-Bv, Untergrenze durch Farbe, Wurzeln und Skelett nachgezeichnet
LM III fBt-Sd	76-103	4 23 OSL 2	76-103 72-106 85	sehr schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach mittelgrusiger, schwach feingrusiger, schluffiger Lehm, bei starkem Regen Wasseraustritt an den Bleichflecken, Verbraunungsmerkmale erkennbar, Toncutane, viel Feinboden, kaum Sand, mittel durchwurzelt, Bleichungsmerkmale und Rostflecken, Untergrenze fließend, aber mehr Feinboden als unten
LM IV fBt-Sd	103-176	5 6 24 OSL 3	103-140 140-176 106-179 110	sehr schwach humoser, carbonatfreier, schwach grob- und mittelgrusiger, mittel feingrusiger, mittel sandiger Lehm bis stark lehmiger Sand, deutlich tonärmer, stark feinsteinig, schwach durchwurzelt, leicht kantengerundet, keine Einregelung nachweisbar, Untergrenze durch Skelettanteil nachgezeichnet
LB V ICv	176-217	7 25	176-217 179-215+	sehr schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach grobgrusiger, schwach mittelgrusiger, mittel feingrusiger, mittel lehmiger Sand, feuchter, starke Marmorierung von Rost- und Bleichflecken, keine Steine, deutlich sandiger, scharfkantig, schwach durchwurzelt, keine Einregelung erkennbar, hydromorph überprägt, Untergrenze fließend, durch Farbe nachgezeichnet
LB VI ICv	217-244	8	217-244	sehr schwach humoser, carbonatfreier, schwach grob- und mittelgrusiger, mittel feingrusiger, stark lehmiger Sand, wurzelfrei, keine Einregelung erkennbar, violettstichig, scharfkantig, Untergrenze durch Feinboden- bzw. Tonanteil nachgezeichnet
VII fBt	244-305	9	244-268	sehr schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach mittelgrusiger, schwach feingrusiger, schwach sandiger Lehm, braun mit Bleichflecken, stark tonig, kaum Skelett, schwach durchwurzelt
VIII fSw	305-327	B1	305-327	sehr schwach humoser, carbonatfreier, schwach feingrusiger, mittel lehmiger Sand, sandiger, weniger Skelett, glimmerreich, Skelette kantengerundet, Untergrenze fließend
IX fSw	327-344	B2	327-344	sehr schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach mittelgrusiger, mittel feingrusiger, schluffig-lehmiger Sand, Redoxmerkmale, schluffig, feingrusig, grau-hellbraun, Granitgrus bis 1,5 cm, Untergrenze deutlich durch Korngröße abgrenzbar
X fSd	344-360	B3	344-360	sehr schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach mittelgrusiger, mittel feingrusiger, schluffig-lehmiger Sand, Tonband mit mittelgrusigen Granitbröckchen, stark verwittert, zerbrechen beim Herausnehmen, Reduktionsbahnen
fSw	360-387	B4	360-387	sehr schwach humoser, carbonatfreier, schwach mittelgrusiger, mittel feingrusiger, schluffig-lehmiger Sand, zunehmend grusiger, grau-hellbraun, Redoxmerkmale nicht offensichtlich, Untergrenze durch Korngröße, Feuchtigkeit und Farbe erkennbar
XI aGro	387-450	B5	387-450	sehr schwach humoser, carbonatfreier, schwach grob- und mittelgrusiger, mittel feingrusiger, stark lehmiger Sand, violettstichig, feuchter, lehmig, feingrusig, orangestichig, Minerale v.a. Feldspäte
XII aGor	450-465	B6	450-465	sehr schwach humoser, carbonatfreier, sehr schwach mittelgrusiger, schwach feingrusiger schluffiger Lehm, mehr grau als rot, stark glimmerhaltig, feinsandig, schluffig
XIII aGro	465-487			mittel feingrusig, lehmig, ähnlich XI aGro
XIV ICv	487-610+	B7	487-610	Humusfreier, carbonatfreier, schwach mittelgrusiger, mittel feingrusiger, stark lehmiger Sand, Minerale v.a. Feldspat, stark zersetzter Granit, schwefelfarbene Flecken

A.2.1.32 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-Tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden-art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
6939-24/1	LH II Sw-Bv	5-27	29,4	23,7	10,8	5,4	40,0	16,8	18,0	8,5	43,3	16,7	Slu
6939-24/2	LH II Sw-Bv	27-52	31,1	25,2	11,2	5,7	42,1	16,2	17,6	8,6	42,4	15,5	Slu
6939-24/3	LH II Sw-Bv	52-76	43,4	36,0	12,0	6,4	54,3	14,0	14,8	6,0	34,7	10,9	Sl3
6939-24/4	LM III fBt-Sd	76-103	6,3	8,9	4,5	3,4	16,8	25,4	24,0	8,8	58,2	25,0	Lu
6939-24/5	LM IV fBt-Sd	103-140	36,2	30,7	11,0	5,3	47,0	16,3	13,4	5,9	35,6	17,4	Ls3
6939-24/6	LM IV fBt-Sd	140-176	43,5	32,4	10,8	6,5	49,7	16,2	11,9	6,2	34,3	16,0	Sl4
6939-24/7	LB V ICv	176-217	48,8	38,2	16,6	9,8	64,7	8,4	8,9	6,1	23,4	11,9	Sl3
6939-24/8	LB VI ICv	217-244	54,1	38,5	17,7	8,3	64,5	7,4	7,0	5,4	19,8	15,7	Sl4
6939-24/9	VII fBt	244-268	6,3	16,4	7,7	5,2	29,3	22,4	19,4	8,1	49,9	20,7	Ls2
6939-24/B1	VIII fSw	305-327	3,4	26,9	20,6	8,0	55,5	14,1	13,3	6,4	33,8	10,7	Sl3
6939-24/B2	IX fSw	327-344	21,1	23,7	12,7	6,1	42,5	19,6	19,3	7,5	46,4	11,1	Slu
6939-24/B3	X fSd	344-360	24,8	22,6	9,5	4,9	37,1	22,0	20,7	7,0	49,7	13,2	Slu
6939-24/B4	fSwd	360-387	23,6	24,4	10,4	5,8	40,6	19,7	18,6	7,2	45,5	13,9	Slu
6939-24/B5	XI aGro	387-450	49,4	38,3	14,4	7,5	60,2	10,3	9,8	6,1	26,2	13,6	Sl4
6939-24/B6	XII aGor	450-465	11,1	7,9	4,4	16,6	28,9	29,5	17,9	5,0	52,4	18,7	Lu
6939-24/B7	XIV ICv	487-610	33,3	34,3	18,8	10,4	63,5	8,7	7,4	6,8	23,0	13,5	Sl4

A.2.1.33 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
6939-24/1	LH II Sw-Bv	5-27	3,60	-	7,5 YR 4/4	-	2,1	0,16	13	-
6939-24/2	LH II Sw-Bv	27-52	3,76	-	7,5 YR 5/6	-	0,9	0,06	17	-
6939-24/3	LH II Sw-Bv	52-76	3,71	-	10 YR 5/6	-	0,3	0,03	12	-
6939-24/4	LM III fBt-Sd	76-103	3,56	-	7,5 YR 5/6	-	0,2	0,03	7	-
6939-24/5	LM IV fBt-Sd	103-140	3,69	-	7,5 YR 5/6	-	0,1	0,02	7	-
6939-24/6	LM IV fBt-Sd	140-176	3,71	-	7,5 YR 4/6	-	0,2	0,02	9	-
6939-24/7	LB V ICv	176-217	3,61	-	7,5 YR 4/6	-	0,2	0,02	7	-
6939-24/8	LB VI ICv	217-244	4,19	-	7,5 YR 5/6	-	0,1	0,02	4	-
6939-24/9	VII fBt	244-268	4,27	-	10 YR 5/6	-	0,2	0,03	7	-
6939-24/B1	VIII fSw	305-327	4,35	-	10 YR 6/6	-	0,1	0,02	4	-
6939-24/B2	IX fSw	327-344	4,24	-	10 YR 6/6	-	0,1	0,02	5	-
6939-24/B3	X fSd	344-360	4,29	-	10 YR 6/6	-	0,1	0,02	4	-
6939-24/B4	fSwd	360-387	4,46	-	10 YR 6/8	-	0,1	0,02	4	-
6939-24/B5	XI aGro	387-450	4,83	-	10 YR 6/6	-	0,1	0,02	4	-
6939-24/B6	XII aGor	450-465	4,90	-	10 YR 6/6	-	0,1	0,03	4	-
6939-24/B7	XIV ICv	487-610	5,59	-	5 YR 5/4	-	0,0	0,02	1	-

A.2.1.34 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK	BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
6939-24/20	Ah	0-3	0,26	2,29	0,13	1,16	0,55	4,84	2,11	18,51	7,74	67,89	0,42	3,71	0,18	1,60	11,39	26,80
6939-24/21	M	3-8	0,17	1,60	0,07	0,66	0,14	1,29	1,09	10,38	8,63	82,22	0,31	2,95	0,09	0,89	10,49	13,93
6939-24/22	LH II Sw-Bv	8-72	0,08	3,29	0,03	1,48	0,09	3,73	0,09	4,02	2,04	86,41	0,00	0,00	0,03	1,07	2,36	12,52
6939-24/23	LM III fBt-Sd	72-106	0,17	2,46	0,11	1,63	0,17	2,47	0,47	6,90	5,86	85,50	0,04	0,55	0,03	0,49	6,86	13,46
6939-24/24	LM IV Sd-fBt	106-179	0,17	2,38	0,11	1,58	1,47	20,81	2,36	33,30	2,92	41,24	0,02	0,21	0,03	0,48	7,07	58,07
6939-24/25	LB V ICv	179-215+	0,13	3,09	0,12	2,86	1,04	24,19	1,82	42,36	1,16	27,07	0,00	0,00	0,02	0,43	4,30	72,50

* (mmol/100 g Boden)

A.2.1.35 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
6939-24/20	Ah	0-3	0,28	0,16	0,000	0,19	0,04	0,002	0,28	0,07	0,008	0,74	0,27	0,011
6939-24/21	M	3-8	0,21	0,13	0,000	0,34	0,05	0,010	0,35	0,08	0,014	0,90	0,26	0,024
6939-24/22	LH II Sw-Bv	8-72	0,08	0,10	0,003	0,43	0,06	0,005	0,14	0,06	0,017	0,64	0,21	0,025
6939-24/23	LM III fBt-Sd	72-106	0,06	0,08	0,000	0,52	0,04	0,001	0,68	0,10	0,005	1,26	0,23	0,007
6939-24/24	LM IV Sd-fBt	106-179	0,02	0,04	0,000	0,25	0,04	0,006	0,67	0,12	0,003	0,93	0,20	0,009
6939-24/25	LB V ICv	179-215+	0,03	0,02	0,002	0,56	0,05	0,000	0,08	0,03	0,005	0,67	0,10	0,007

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
6939-24/20	Ah	0-3	0,67	37	25	38	59	15	25	0	23	77
6939-24/21	M	3-8	0,99	23	38	39	52	18	30	0	42	58
6939-24/22	LH II Sw-Bv	8-72	3,11	12	67	21	47	26	28	12	21	67
6939-24/23	LM III fBt-Sd	72-106	0,76	5	41	54	37	19	44	0	17	83
6939-24/24	LM IV Sd-fBt	106-179	0,37	2	27	71	19	21	60	0	65	35
6939-24/25	LB V ICv	179-215+	6,62	4	83	13	22	52	26	28	6	66

A.2.1.36 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
6939 24/20	531,77	n.n.	227,03	18,28	24,74	45,15	12586,31	251,77	19,51	3603,72	1451,19	21018,96
6939 24/21	471,31	n.n.	226,42	15,71	14,12	36,95	12841,90	393,72	40,83	3460,46	1091,74	21936,69
6939 24/22	545,08	n.n.	215,99	18,06	14,22	53,20	21068,65	220,05	54,20	3389,82	1106,69	20980,98
6939 24/23	375,37	n.n.	296,47	20,22	15,18	42,66	17935,54	193,60	44,24	2941,61	1478,43	27270,12
6939 24/24	347,22	n.n.	355,37	18,67	13,72	68,21	25613,65	172,56	52,38	3276,85	1525,70	28070,74
6939 24/25	531,77	n.n.	227,03	18,28	24,74	45,15	12586,31	251,77	19,51	3603,72	1451,19	21018,96

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

6939-29

GPS: N 49° 2' 41,59", E 12° 15' 4,43", 455 m NN

A.2.1.37 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah	0-4			
LH I Bv	0-38	1 2 OSL 1	5-15 25-35 33	hellbraun, schluffig, locker gelagert, mit mittleren Steinen durchsetzt, gut durchwurzelt, subpolyeder Gefüge
LM II	38-65	3	45-55	sehr steinreich, auch mit größeren Blöcken, sehr feines schluffig-toniges Material als Matrix, gräulichbraun, mäßig durchwurzelt, Lehmhauben, blanke Unterseiten, dichter gelagert
LB III	65-120	4 5	75-85 105-115	viele Steine, Matrix sandiger als LM, z.T. grusig, leicht durchwurzelt, Lehmhauben, gelb-braun
LB IV	120-144	6 OSL 2	130-140 140	rot-gelb, überwiegend rot, Toncutane, Hydromorphiemerkmale (grau), sandig-grusiges Material, weniger Steine, gröbere Komponenten
ICv	144+	7	165-175	Saprolith, sehr grusig, gräulich, gut grabbar, an einer Stelle großer Stein im Verbund, aber gut verwittert (Klüfte)

A.2.1.38 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- Tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
6939-29/1	LH Bv	5-15	39,30	20,0	10,7	5,4	36,1	16,9	20,8	10,7	48,4	15,6	Slu	
6939-29/2	LH Bv	25-25	57,14	19,8	10,5	5,8	36,1	19,6	22,1	10,3	52,0	11,9	Uls	
6939-29/3	LM II	45-55	66,51	28,7	16,7	6,0	51,4	16,1	15,5	9,6	41,2	7,4	Su4	
6939-29/4	LB III	75-85	59,99	41,4	24,1	10,4	75,9	8,0	7,2	4,3	19,4	4,6	Su2	
6939-29/5	LB III	105-115	52,58	24,8	17,0	12,8	54,6	11,6	14,8	7,9	34,4	11,0	Sl3	
6939-29/6	LB IV	130-140	50,44	26,2	21,7	11,3	59,1	8,7	7,5	7,7	23,8	17,0	Ls4	
6939-29/7	ICv	165-175	58,62	26,5	10,8	4,9	42,3	19,6	17,5	9,4	46,5	11,2	Slu	

A.2.1.39 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
6939-29/1	LH Bv	5-15	4,35	0,00	7,5YR 4/4	3,55	2,587	0,126	21	0,004
6939-29/2	LH Bv	25-25	4,14	0,00	10YR 5/4	1,43	1,029	0,092	11	0,002
6939-29/3	LM II	45-55	3,98	0,00	10YR 6/6	0,40	0,374	0,061	6	0,000
6939-29/4	LB III	75-85	4,00	0,00	10YR 6/6	0,00	0,091	0,061	1	0,000
6939-29/5	LB III	105-115	3,74	0,00	10YR 5/6	0,10	0,126	0,058	2	0,000
6939-29/6	LB IV	130-140	4,00	0,00	5YR 6/8	0,01	0,059	0,051	1	0,000
6939-29/7	ICv	165-175	4,18	0,00	10YR 5/8	0,04	0,054	0,045	1	0,000

A.2.1.40 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK	BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
6939-29/1	LH Bv	5-15	0,06	1,66	0,16	4,68	0,08	2,31	0,16	4,89	2,80	84,42	0,07	2,04	0,00	0,00	3,32	13,54
6939-29/2	LH Bv	25-25	0,04	2,26	0,26	16,40	0,05	2,93	0,13	8,00	1,13	70,41	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	29,59
6939-29/3	LM II	45-55	0,05	2,10	0,17	7,18	0,06	2,64	0,12	4,98	1,93	83,10	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	16,90
6939-29/4	LB III	75-85	0,11	4,60	0,19	7,95	0,05	1,98	0,15	6,42	1,88	79,05	0,00	0,00	0,00	0,00	2,38	20,95
6939-29/5	LB III	105-115	0,11	3,09	0,10	2,68	0,13	3,61	0,18	4,97	3,16	85,65	0,00	0,00	0,00	0,00	3,69	14,35
6939-29/6	LB IV	130-140	0,19	3,83	0,21	4,06	1,82	35,99	1,02	20,22	1,81	35,70	0,00	0,00	0,01	0,20	5,06	64,10
6939-29/7	ICv	165-175	0,13	3,63	0,16	4,51	1,52	42,96	1,12	31,61	0,61	17,29	0,00	0,00	0,00	0,00	3,54	82,71

* (mmol/100 g Boden)

A.2.1.41 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan									Gesamtgehalt		
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			% Fe	% Al	% Mn
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d			
6939-29/1	LH Bv	5-15	0,13	0,37	0,001	0,17	0,07	0,006	0,26	0,09	0,003	0,56	0,53	0,010
6939-29/2	LH Bv	25-25	0,07	0,29	0,002	0,07	0,07	0,007	0,04	0,07	0,003	0,19	0,43	0,011
6939-29/3	LM II	45-55	0,02	0,06	0,002	0,04	0,02	0,009	0,38	0,06	0,004	0,44	0,14	0,016
6939-29/4	LB III	75-85	0,01	0,02	0,002	0,02	0,00	0,006	0,57	0,06	0,002	0,59	0,08	0,011
6939-29/5	LB III	105-115	0,02	0,04	0,002	0,09	0,02	0,008	0,71	0,07	0,005	0,81	0,12	0,015
6939-29/6	LB IV	130-140	0,01	0,00	0,003	0,02	0,01	0,007	0,31	0,06	0,002	0,34	0,07	0,012
6939-29/7	ICv	165-175	0,01	0,00	0,004	0,02	0,01	0,011	0,52	0,08	0,004	0,54	0,09	0,019

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
6939-29/1	LH Bv	5-15	0,63	24	29	47	69	13	17	11	58	31
6939-29/2	LH Bv	25-25	1,58	38	38	24	67	16	17	17	61	23
6939-29/3	LM II	45-55	0,11	5	9	86	41	18	42	15	56	28
6939-29/4	LB III	75-85	0,03	1	3	96	23	3	74	19	59	22
6939-29/5	LB III	105-115	0,13	2	11	87	32	13	54	11	54	35
6939-29/6	LB IV	130-140	0,07	2	7	91	2	10	88	22	59	19
6939-29/7	ICv	165-175	0,04	1	3	96	0	10	90	19	57	23

A.2.1.42 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
6939-29/1	564,94	n.n.	169,51	14,20	18,30	34,26	11253,63	52,64	27,48	3442,81	1078,80	11727,96
6939-29/2	531,42	n.n.	174,41	12,70	13,04	39,17	11998,44	68,27	12,54	3237,49	1041,16	12650,52
6939-29/3	361,50	n.n.	218,53	14,71	8,70	31,49	14377,76	86,54	12,19	2799,50	947,17	14808,26
6939-29/4	163,18	n.n.	284,96	12,40	19,46	27,89	14029,15	43,65	19,16	1969,85	644,76	21846,67
6939-29/5	281,17	n.n.	362,84	16,66	17,59	39,46	21442,11	143,63	33,61	2452,77	586,06	21820,58
6939-29/6	191,62	n.n.	349,33	20,01	88,57	23,85	10137,91	55,74	17,03	1422,73	632,07	22884,46
6939-29/7	150,64	n.n.	371,91	11,24	36,63	52,56	17265,03	192,10	18,50	1370,67	1738,10	25297,23
6939-29/7	564,94	n.n.	169,51	14,20	18,30	34,26	11253,63	52,64	27,48	3442,81	1078,80	11727,96

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

6939-30

GPS: N 49° 2,911' , E 12° 15,253', 424 m NN

A.2.1.43 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
Of	+5-+2			
Oh	+2-0			
Ah	0-4			
LH Bv	5-40	1 2 OSL 1 OSL 2	10-15 30-40 24 37	braun, schluffig-sandig, enthält größere Steine, locker gelagert
II LM	40-55	3	40-50	braun-grau, skelettreich, löß- und schluffreich, sehr kantige Steine, Steinschicht/-lage trennt LM von LB kalt-feuchtes Klima → Spülprozesse
III LB	55-120	4 5 6 OSL 3 OSL 4	70-75 85-95 100-110 61 92	gelb-braun, Tonanreicherung, gestreift, rote und gelbe Bänder v.a. im unteren Bereich, gut verwittert, relativ dicht gelagert, Wasserstau an der unteren Schichtgrenze → daher Hydromorphie Merkmale, sehr feine Spülbeläge, im oberen Bereich stärker durchwurzelt und humos
Cv	120+	7	140-150	kein Saprolith, kantiges, verwittertes Gestein

A.2.1.44 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- Tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w . %								Boden- art	
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U		T
6939-30/1	LH Bv	10-15	62,64	34,0	20,1	11,0	65,1	9,1	8,4	5,8	23,3	11,6	SI3
6939-30/2	LH Bv	30-40	59,75	37,7	20,9	12,0	70,5	6,8	8,3	5,7	20,8	8,7	SI3
6939-30/3	LM II	40-50	63,80	35,8	23,4	12,0	71,2	10,3	7,5	5,0	22,9	5,9	SI2
6939-30/4	LB III	70-75	36,73	26,3	21,8	15,1	63,2	10,2	11,0	7,2	28,5	8,4	SI3
6939-30/5	LB III	85-95	22,86	19,0	24,0	15,4	58,3	9,7	11,1	8,2	29,0	12,7	SI4
6939-30/6	LB III	100-110	71,08	23,7	23,5	14,3	61,5	8,2	9,4	8,7	26,3	12,2	SI4
6939-30/7	Cv	140-150	67,56	34,4	23,2	14,6	72,2	8,6	7,4	5,0	21,0	6,8	SI2

A.2.1.45 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
6939-30/1	LH Bv	10-15	3,49	0,00	10YR 4/4	3,07	2,611	0,148	18	0,000
6939-30/2	LH Bv	30-40	3,59	0,00	10YR 4/4	1,66	1,481	0,110	13	0,000
6939-30/3	LM II	40-50	3,75	0,00	10YR 6/4	0,34	0,414	0,060	7	0,000
6939-30/4	LB III	70-75	3,62	0,00	10YR 5/6	0,45	0,401	0,065	6	0,000
6939-30/5	LB III	85-95	3,71	0,00	10YR 7/6	0,11	0,199	0,059	3	0,000
6939-30/6	LB III	100-110	3,82	0,00	10YR 6/8	0,24	0,225	0,055	4	0,000
6939-30/7	Cv	140-150	3,79	0,00	10YR 6/8	0,12	0,177	0,050	4	0,000

A.2.1.46 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK		BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	
6939-30/1	LH Bv	10-15	0,07	1,37	0,16	2,91	0,13	2,41	0,55	10,27	4,33	81,46	0,08	1,45	0,01	0,14	5,32	16,95	
6939-30/2	LH Bv	30-40	0,05	0,96	0,18	3,42	0,10	2,03	0,30	5,91	4,49	87,01	0,03	0,68	0,00	0,00	5,16	12,32	
6939-30/3	LM II	40-50	0,11	2,36	0,14	3,08	0,07	1,56	0,19	4,24	4,03	88,76	0,00	0,00	0,00	0,00	4,54	11,24	
6939-30/4	LB III	70-75	0,12	2,12	0,17	3,02	0,15	2,64	0,45	7,98	4,75	83,78	0,00	0,00	0,03	0,47	5,67	15,75	
6939-30/5	LB III	85-95	0,10	1,95	0,21	4,00	0,30	5,53	0,68	12,71	4,03	75,46	0,00	0,00	0,02	0,35	5,33	24,19	
6939-30/6	LB III	100-110	0,14	1,91	0,14	1,82	0,79	10,50	1,55	20,60	4,88	64,70	0,00	0,00	0,04	0,48	7,54	34,83	
6939-30/7	Cv	140-150	0,10	1,95	0,18	3,29	0,40	7,46	0,90	16,74	3,77	70,31	0,00	0,00	0,01	0,24	5,36	29,45	

* (mmol/100 g Boden)

A.2.1.47 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
6939-30/1	LH Bv	10-15	0,09	0,11	0,003	0,06	0,03	0,006	0,35	0,06	0,001	0,51	0,20	0,011
6939-30/2	LH Bv	30-40	0,06	0,19	0,002	0,04	0,02	0,006	0,49	0,09	0,003	0,59	0,30	0,011
6939-30/3	LM II	40-50	0,02	0,08	0,002	0,03	0,01	0,005	0,43	0,06	0,001	0,48	0,14	0,009
6939-30/4	LB III	70-75	0,01	0,07	0,002	0,01	0,00	0,006	0,38	0,06	0,002	0,40	0,14	0,009
6939-30/5	LB III	85-95	0,01	0,06	0,002	0,01	0,00	0,005	0,24	0,05	0,001	0,25	0,11	0,008
6939-30/6	LB III	100-110	0,01	0,06	0,003	0,01	0,00	0,006	1,09	0,08	0,003	1,11	0,14	0,012
6939-30/7	Cv	140-150	0,00	0,03	0,002	0,02	0,00	0,009	0,35	0,06	0,001	0,37	0,09	0,013

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
6939-30/1	LH Bv	10-15	0,18	18	12	69	56	13	31	28	58	14
6939-30/2	LH Bv	30-40	0,08	11	7	83	63	8	29	19	55	26
6939-30/3	LM II	40-50	0,06	4	6	90	55	5	40	22	61	17
6939-30/4	LB III	70-75	0,03	3	3	94	55	0	45	19	63	18
6939-30/5	LB III	85-95	0,04	2	4	94	53	0	47	23	66	11
6939-30/6	LB III	100-110	0,01	1	1	98	42	0	58	24	50	25
6939-30/7	Cv	140-150	0,07	1	6	93	36	0	64	18	73	9

A.2.1.48 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
6939-30/1	200,63	n.n.	206,56	9,05	13,51	42,67	16190,45	80,97	22,72	2706,68	1290,95	14945,21
6939-30/2	217,52	n.n.	243,38	14,31	14,17	48,20	19496,16	64,88	26,68	2841,31	1269,69	16898,14
6939-30/3	178,31	n.n.	269,30	5,36	9,62	42,80	17454,14	67,44	16,64	2297,96	1173,30	17747,00
6939-30/4	120,70	n.n.	267,36	6,63	7,52	54,91	13547,92	57,21	22,67	1869,74	870,40	22966,86
6939-30/5	136,88	n.n.	274,51	6,95	9,57	73,12	12411,58	0,00	n.n.	1534,45	935,25	22301,49
6939-30/6	148,54	n.n.	304,62	14,98	25,72	36,05	23193,65	82,60	19,26	1279,09	1430,06	23504,54
6939-30/7	169,35	n.n.	265,47	8,95	24,13	62,15	15455,19	0,00	27,98	1544,80	1701,14	24313,40

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

6939-4

GPS: N 49°02' 56,7" E 12° 13' 51,9", 513 m, ± 7 m

A.2.1.49 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
L	<1			Genauere Aufnahme bei VÖLKE (1995)
LH Ah	0-4			
LH Al	4-30	4/1	4-30	
LM II Bt	30-55(53)	4/2 OSL 1	30-55 40	
LB III fBt	55(53)-90(80)	4/3 4/4 4/5 OSL 2 OSL 3	58-68 70-80 80-90 55 78	
LB IV ICv	90(80)- 105(108)	4/6 OSL 4	95-105 98	
LB V fBvt	105(108)-140	4/7 4/8	105-110 110-140	
VI fCv-Bv	140-150	4/9	140-150	
mCv	150-200+	4/10	155-170 (Gefüge)	

A.2.1.50 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- Tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
6939-4/1	LH Al	4-30	4,0	8,4	8,6	7,3	24,3	28,1	23,8	9,2	61,1	14,6	Uls
6939-4/2	LM II Bt	30-55	2,8	15,0	12,5	14,0	41,5	17,8	13,8	6,3	37,9	20,6	Ls3
6939-4/3	LB III fBt	58-68	1,1	31,0	21,3	13,4	65,7	8,9	6,0	3,8	18,7	15,6	Sl4
6939-4/4	LB III fBt	70-80	1,9	19,7	25,0	20,3	65,0	13,0	6,7	3,0	22,7	12,3	Sl4
6939-4/5	LB III fBt	80-90	14,7	19,7	19,1	18,0	56,8	14,2	6,9	2,9	24,0	19,2	Ls4
6939-4/6	LB IV ICv	95-105	2,5	3,7	9,6	23,3	36,6	25,8	11,4	4,1	41,3	22,1	Ls2
6939-4/7	LB V fBvt	105-110	6,9	16,6	21,8	18,7	57,1	15,5	7,1	2,0	24,6	18,3	Ls4
6939-4/8	LB V fBvt	110-140	53,7	21,6	24,3	18,3	64,2	12,8	4,4	1,7	18,9	16,9	Sl4
6939-4/9	VI fCv-Bv	140-150	0,9	11,3	14,3	19,5	45,1	13,8	10,1	5,3	29,2	25,7	Lts
6939-4/10	mCv	155-170	2,0	12,2	15,3	18,4	45,9	15,9	9,8	5,2	30,9	23,2	Ls3

A.2.1.51 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
6939-4/1	LH Al	4-30	3,8	-	-	-	0,4	0,04	10	-
6939-4/2	LM II Bt	30-55	3,8	-	-	-	0,1	0,02	5	-
6939-4/3	LB III fBt	58-68	4,1	-	-	-	0,0	-	-	-
6939-4/4	LB III fBt	70-80	4,1	-	-	-	0,0	-	-	-
6939-4/5	LB III fBt	80-90	4,1	-	-	-	0,0	-	-	-
6939-4/6	LB IV ICv	95-105	4,1	-	-	-	0,2	-	-	-
6939-4/7	LB V fBvt	105-110	4,2	-	-	-	0,0	-	-	-
6939-4/8	LB V fBvt	110-140	4,2	-	-	-	0,3	-	-	-
6939-4/9	VI fCv-Bv	140-150	4,5	-	-	-	0,6	-	-	-
6939-4/10	mCv	155-170	4,7	-	-	-	0,6	-	-	-

A.2.1.52 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
6939-4/1	LH AI	4-30	0,11	3,7	0,01	0,3	0,05	1,7	-	-	2,83	94,3	Sp.	-	-	-	3,00	5,7
6939-4/2	LM II Bt	30-55	0,25	3,8	0,06	0,9	1,66	25,0	0,95	14,3	3,71	56,0	Sp.	-	-	-	6,63	44,0
6939-4/3	LB III fBt	58-68	0,22	3,0	0,05	0,7	2,86	39,0	2,13	29,1	2,07	28,2	Sp.	-	-	-	7,33	71,8
6939-4/4	LB III fBt	70-80	0,16	2,2	0,06	0,8	2,55	34,8	2,64	36,1	1,91	26,1	0,00	-	-	-	7,32	73,9
6939-4/5	LB III fBt	80-90	0,22	1,5	0,07	0,5	3,86	26,0	8,96	60,3	1,74	11,7	Sp.	-	-	-	14,85	88,3
6939-4/6	LB IV ICv	95-105	0,21	0,9	0,15	0,6	4,83	19,6	17,57	71,2	1,92	7,8	0,00	-	-	-	24,68	92,2
6939-4/7	LB V fBt	105-110	0,17	1,8	0,09	1,0	2,38	25,2	5,69	60,2	1,12	11,9	0,00	-	-	-	9,45	88,1
6939-4/8	LB V fBt	110-140	0,21	1,6	0,08	0,6	3,02	22,7	8,69	65,4	1,29	9,7	0,00	-	-	-	13,29	90,3
6939-4/9	VI fCv-Bv	140-150	0,26	1,1	0,19	0,8	4,46	19,3	17,38	75,4	0,77	3,3	0,00	-	-	-	23,06	96,7
6939-4/10	mCv	155-170	0,23	1,3	0,24	1,4	3,38	19,2	13,29	75,6	0,44	2,5	0,00	-	-	-	17,58	97,6

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2 Colorado Front Range

Profilgruppe I

Ward 4864 II SE 3

GPS: N 40° 03,049', W 105° 35,735', 3448 m NN, ± 5 m

A.2.2.1 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
Al	0-15			kein Auflagehorizont, stark durchwurzelt (Tundravegetation), viele Feinwurzeln, feinmaterialreich, weitestgehend frei von groben Steinen, etwas Grus und kleine Steine, z.T. Blöcke
Ah-Bv	15-40	3/1	15-35	
II Bv	40-65	3/2	45-55	Blocklage, locker gelagert, aber dicht gepackt, Blöcke fast ausschließlich in dieser Schicht, viel Feinerde dazwischen, auch gut durchwurzelt
III Bv	65-75	3/3 OSL 3/1	65-75 75	sehr steinreich, keine Schluffkappen, braun, verbraunt, nur noch wenige Wurzeln
IV Bv	75-95+	3/4	80-90	sehr dicht gepackt, steinreich, Basislagencharakter, viel Feinmaterial, sehr braun, keine Wurzeln

A.2.2.2 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4864 II SE 3/1	Ah-Bv	15-35	24,63	19,6	25,9	18,7	64,2	10,5	5,0	6,1	21,5	14,2	SI4
4864 II SE 3/2	II Bv	45-55	40,38	25,6	30,5	17,6	73,7	6,8	4,8	3,1	14,7	11,6	SI3
4864 II SE 3/3	III Bv	65-75	37,59	21,6	32,6	20,9	75,1	7,8	5,4	2,5	15,7	9,3	SI3
4864 II SE 3/4	IV Bv	80-90	34,78	19,0	27,0	20,1	66,0	11,7	8,6	3,8	24,0	9,9	SI3

A.2.2.3 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4864 II SE 3/1	Ah-Bv	15-35	4,01	0,00	7,5YR 2,5/3	2,25	2,230	0,228	10	0,000
4864 II SE 3/2	II Bv	45-55	4,03	0,00	10YR 3/6	1,06	1,152	0,123	9	0,000
4864 II SE 3/3	III Bv	65-75	4,04	0,00	10YR 3/6	0,57	0,771	0,080	10	0,000
4864 II SE 3/4	IV Bv	80-90	4,14	0,00	10YR 3/6	0,61	0,786	0,096	8	0,000

A.2.2.4 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK	BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4864 II SE 3/1	Ah-Bv	15-35	0,21	3,62	0,00	0,00	0,48	8,48	2,89	50,92	2,08	36,67	0,01	0,14	0,01	0,16	5,68	63,03
4864 II SE 3/2	II Bv	45-55	0,04	0,99	0,00	0,00	0,30	7,46	1,43	35,66	2,22	55,42	0,02	0,38	0,00	0,08	4,01	44,12
4864 II SE 3/3	III Bv	65-75	0,01	0,34	0,00	0,00	0,17	4,38	1,18	30,97	2,44	63,86	0,01	0,37	0,00	0,08	3,82	35,69
4864 II SE 3/4	IV Bv	80-90	0,01	0,18	0,00	0,00	0,08	2,63	0,46	15,38	2,43	81,68	0,00	0,00	0,00	0,14	2,97	18,18

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.5 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan									Gesamtgehalt		
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			% Fe	% Al	% Mn
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d			
4864 II SE 3/1	Ah-Bv	15-35	0,07	0,10	0,001	0,78	0,12	0,023	0,51	0,12	0,004	1,37	0,34	0,029
4864 II SE 3/2	II Bv	45-55	0,05	0,09	0,000	0,84	0,16	0,011	0,58	0,06	0,005	1,47	0,30	0,016
4864 II SE 3/3	III Bv	65-75	0,04	0,08	0,000	0,90	0,16	0,009	0,37	0,06	0,004	1,32	0,31	0,013
4864 II SE 3/4	IV Bv	80-90	0,03	0,10	0,000	0,72	0,23	0,016	0,45	0,04	0,005	1,20	0,37	0,021

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4864 II SE 3/1	Ah-Bv	15-35	1,53	5	57	37	28	36	36	3	82	15
4864 II SE 3/2	II Bv	45-55	1,43	4	57	40	29	52	19	1	69	30
4864 II SE 3/3	III Bv	65-75	2,40	3	68	28	28	52	20	0	72	28
4864 II SE 3/4	IV Bv	80-90	1,60	3	60	38	26	62	12	0	76	24

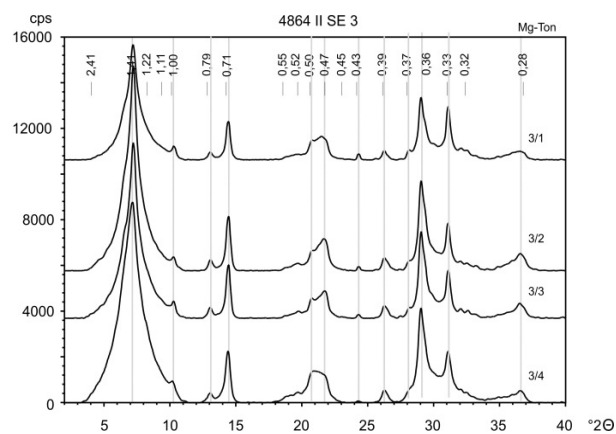
A.2.2.6 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4864 II SE 3/1	287,46	1873,39	132,17	26,72	65,59	97,05	33941,33	719,37	64,40	2701,91	6917,33	13245,47
4864 II SE 3/2	235,56	1585,95	117,45	22,34	69,45	83,29	36492,88	579,86	69,60	2624,75	6997,49	13029,74
4864 II SE 3/3	303,84	1557,84	122,50	26,71	74,70	77,75	32954,88	555,93	60,45	2294,08	7531,78	15107,30
4864 II SE 3/4	211,84	1516,08	129,51	37,56	112,18	67,65	26867,57	521,72	51,27	2084,94	6340,46	14532,01

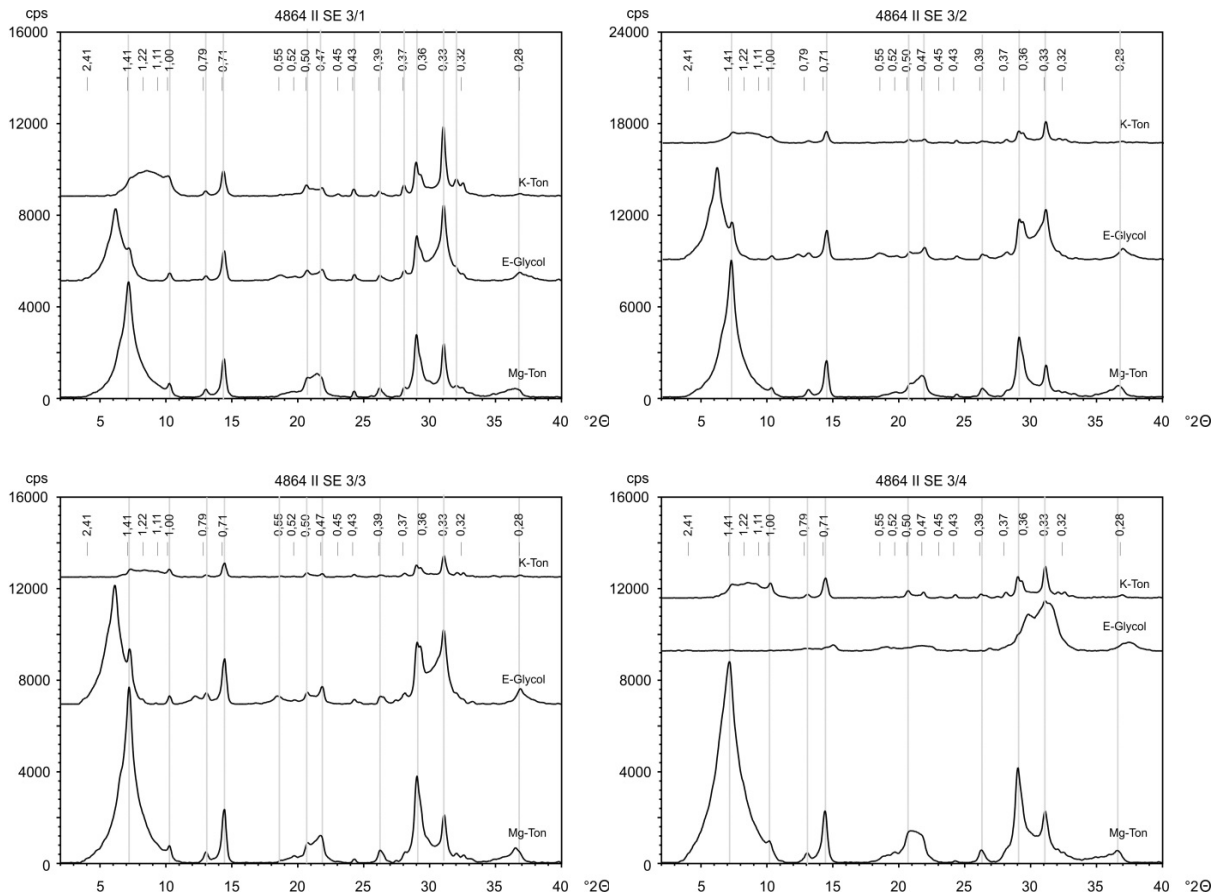
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.7 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben



Ward 4864 II SE 4

GPS: N 40° 02,858', W 105° 34,741', 3358 m NN, ± 4 m

A.2.2.8 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
I	0-40 (50)	4/1	20-30	große Steine und Blöcke in feiner Matrix, evtl. lößlehmhaltig, locker gelagert, leicht gräulichbraun, stark durchwurzelt; Probe unterhalb des humosen Horizonts im hellen Bereich
II	40-130	4/2	90-100	immer noch viele Steine (keine/kaum Blöcke), gelbbraune Matrix, sandig-schluffig, dichter gelagert, vereinzelt Wurzeln
III	130-170	4/3	150-160	sehr steinreich, feine Matrix, dicht gelagert, Schluffkappen auf den Steinen, rötlichbrauner Horizont, evtl. Bt, allerdings keine Toncutane bei Aufnahme sichtbar, kaum bis keine Wurzeln

→ nach unten hin nicht weiter geöffnet/mehr Schichten wahrscheinlich

A.2.2.9 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	Korngrößen Gew. %									Bodenart
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4864 II SE 4/1	I	20-30	22,64	19,4	23,1	15,2	57,8	15,9	10,0	4,5	30,5	11,8	SI3
4864 II SE 4/2	II	90-100	36,31	18,8	21,2	16,1	56,1	19,8	14,7	4,9	39,4	4,5	Su3
4864 II SE 4/3	III	150-160	42,72	34,1	20,2	8,2	62,5	9,4	8,5	5,8	23,7	13,8	SI4

A.2.2.10 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4864 II SE 4/1	I	20-30	3,80	0,00	7,5YR 3/4	1,15	1,308	0,127	10	0,000
4864 II SE 4/2	II	90-100	4,28	0,00	10YR 3/6	0,27	0,337	0,026	13	0,000
4864 II SE 4/3	III	150-160	3,92	0,00	7,5YR 4/4	0,22	0,302	0,063	5	0,001

A.2.2.11 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4864 II SE 4/1	I	20-30	0,10	1,91	0,33	6,24	0,14	2,66	0,46	8,82	4,14	79,19	0,05	1,05	0,01	0,12	5,23	19,64
4864 II SE 4/2	II	90-100	0,13	11,88	0,00	0,00	0,12	10,43	0,14	12,90	0,71	64,23	0,00	0,00	0,01	0,56	1,11	35,21
4864 II SE 4/3	III	150-160	0,06	2,48	0,00	0,00	0,11	4,43	0,25	10,18	2,01	82,44	0,00	0,00	0,01	0,46	2,43	17,10

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.12 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4864 II SE 4/1	I	20-30	0,06	0,08	0,000	0,42	0,12	0,004	0,47	0,06	0,001	0,95	0,25	0,005
4864 II SE 4/2	II	90-100	0,02	0,03	0,000	0,24	0,07	0,010	0,47	0,03	0,001	0,74	0,13	0,011
4864 II SE 4/3	III	150-160	0,02	0,01	0,000	0,08	0,01	0,006	0,39	0,02	0,001	0,49	0,04	0,007

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4864 II SE 4/1	I	20-30	0,89	6	44	50	30	46	23	6	72	22
4864 II SE 4/2	II	90-100	0,51	3	33	64	24	55	21	0	95	5
4864 II SE 4/3	III	150-160	0,19	5	15	80	28	14	59	0	90	10

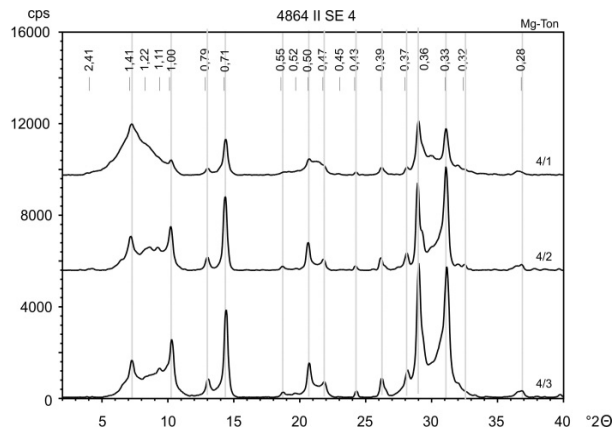
A.2.2.13 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4864 II SE 4/1	367,34	123,01	152,58	18,78	19,64	48,97	28048,96	183,49	61,28	3146,04	2085,09	15237,33
4864 II SE 4/2	464,64	154,49	158,68	25,34	18,13	32,27	29924,91	316,62	53,56	3022,00	2423,69	20592,96
4864 II SE 4/3	311,70	160,47	162,62	20,20	24,49	44,72	37390,96	499,68	75,14	3292,94	2054,53	16640,47

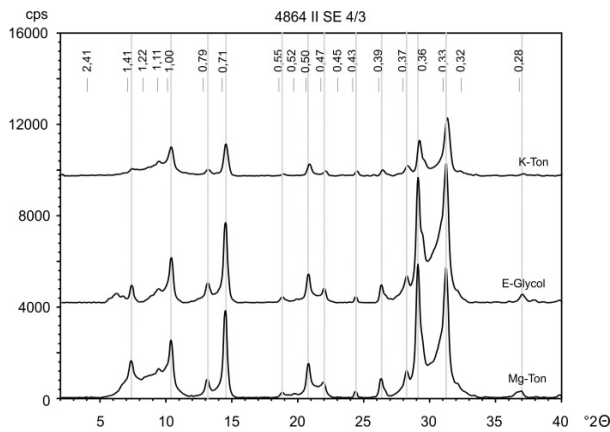
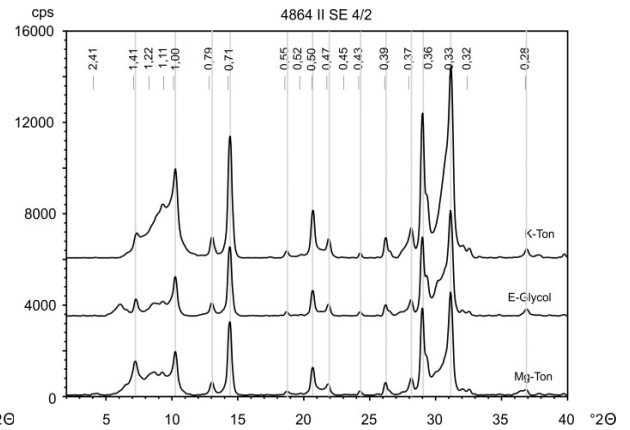
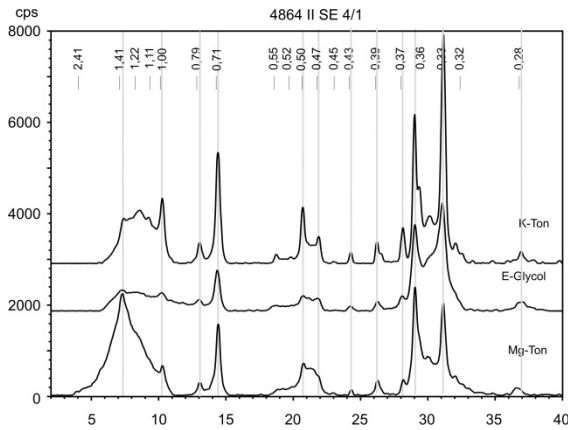
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.14 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben



Ward 4864 II SE 5

GPS: N 40° 02,858', W 105° 34,741', 3358 m NN, ± 4 m

A.2.2.15 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
I	0-30	5/1	0-30	sehr locker gelagert, Steine, grusig-sandige Anteile durchmischt mit viel Feinmaterial, äolische Komponente, Skelettkomponenten nicht eingeregelt, keine Schluffhauben, gelblich-gräulich, stark durchwurzelt, größere Wurzeln, aber auch viele Feinwurzeln, auf der obersten Schicht flächenhafte Steinablagerung, Anreicherung der Steine durch Auswaschung des Feinmaterials
II	30-80	5/2 5/3 OSL 5/1	30-55 55-80 66	etwas dichter gelagert, sehr steinreich, große Steine und Blöcke, Matrix sandig-grusig, feuchter, Steine eingeregelt, Schluffkappen und blanke Unterseiten, bräunlich, kaum mehr durchwurzelt, äolische Komponente
III Bvt	80-135	5/4 5/5 OSL 5/2 OSL 5/3	80-105 105-135 80 130	dichter gelagert, kleinere Steine und Blöcke als in II, steinreich, aber mehr Feinboden, Skelettkomponenten mit Schluffhauben und blanken Unterseiten, Tonüberzüge auf Steinen, sandig-lehmig, braun, Subpolyedergefüge, kaum Wurzeln
IV Bt ₁	135-190	5/6 5/7 5/8 OSL 5/4	135-150 150-170 170-190 150	dicht gelagert (Dichte nimmt nach unten hin zu, evtl. auch aufgrund des zunehmenden Tongehalts), größere Steine und Blöcke, eingeregelt, Schluffkappen und blanke Unterseiten, nicht durchwurzelt, schwache Lessivierung, wenig Ton, bänderartig oder fleckig, Subpolyedergefüge, Toncutane, sandig-grusig
IV Bt ₂	190-280+	5/9 5/10 5/11 5/12 OSL 5/5 OSL 5/6	190-215 215-240 240-260 260-280 200 260	lessiviert, sehr tonig, Toncutane, Polyedergefüge, rötlich, dicht gelagert

A.2.2.16 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4864 II SE 5/1	I	0-30	36,43	22,0	24,4	15,8	62,2	17,7	11,7	3,5	32,9	4,9	Su3
4864 II SE 5/2	II	30-55	32,65	27,9	24,8	15,0	67,7	12,5	11,4	3,6	27,5	4,8	Su3
4864 II SE 5/3	II	55-80	22,38	21,9	25,5	16,9	64,3	17,4	11,8	2,9	32,1	3,6	Su3
4864 II SE 5/4	III Bvt	80-105	27,18	29,7	25,4	14,3	69,4	14,9	8,4	3,2	26,5	4,1	Su3
4864 II SE 5/5	III Bvt	105-135	38,39	28,0	23,6	14,6	66,2	18,1	8,9	3,2	30,1	3,7	Su3
4864 II SE 5/6	IV Bt ₁	135-150	20,90	22,2	25,4	15,5	63,1	15,8	11,0	4,2	30,9	6,0	Su3
4864 II SE 5/7	IV Bt ₁	150-170	38,05	19,9	24,3	15,2	59,4	14,4	9,1	6,4	29,8	10,8	Sl3
4864 II SE 5/8	IV Bt ₁	170-190	51,88	19,6	19,9	13,4	52,9	15,6	10,7	6,2	32,4	14,6	Sl4
4864 II SE 5/9	IV Bt ₂	190-215	45,45	19,9	19,0	11,9	50,9	13,9	10,2	5,2	29,3	19,8	Ls4
4864 II SE 5/10	IV Bt ₂	215-240	48,52	21,8	21,1	11,6	54,6	12,3	10,7	5,7	28,8	16,6	Sl4
4864 II SE 5/11	IV Bt ₂	240-260	43,38	20,7	19,0	10,6	50,3	13,4	9,2	4,5	27,2	22,5	Ls4
4864 II SE 5/12	IV Bt ₂	260-280	48,81	23,0	18,9	9,8	51,7	12,7	8,4	4,8	25,9	22,3	Ls4

A.2.2.17 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4864 II SE 5/1	I	0-30	4,33	0,00	10YR 5/8	0,42	0,307	0,170	2	0,112
4864 II SE 5/2	II	30-55	4,46	0,00	10YR 4/6	0,27	0,225	0,189	1	0,021
4864 II SE 5/3	II	55-80	4,52	0,00	10YR 5/8	0,19	0,166	0,171	1	0,010
4864 II SE 5/4	III Bvt	80-105	4,48	0,00	10YR 5/6	0,29	0,149	0,167	1	0,008
4864 II SE 5/5	III Bvt	105-135	4,52	0,00	10YR 5/6	0,18	0,143	0,172	1	0,008
4864 II SE 5/6	IV Bt ₁	135-150	4,51	0,00	10YR 5/8	0,29	0,147	0,169	1	0,006
4864 II SE 5/7	IV Bt ₁	150-170	4,60	0,00	10YR 6/8	0,33	0,153	0,138	1	0,005
4864 II SE 5/8	IV Bt ₁	170-190	4,72	0,00	10YR 4/6	0,55	0,191	0,115	2	0,005
4864 II SE 5/9	IV Bt ₂	190-215	4,74	0,00	10YR 5/8	0,25	0,284	0,107	3	0,007
4864 II SE 5/10	IV Bt ₂	215-240	4,79	0,00	10YR 5/8	0,23	0,236	0,092	3	0,005
4864 II SE 5/11	IV Bt ₂	240-260	4,79	0,00	10YR 5/8	0,31	0,289	0,094	3	0,007
4864 II SE 5/12	IV Bt ₂	260-280	4,91	0,00	10YR 5/8	0,39	0,321	0,088	4	0,008

A.2.2.18 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4864 II SE 5/1	I	0-30	0,01	0,68	0,07	7,46	0,00	0,00	0,21	22,85	0,62	69,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	30,98
4864 II SE 5/2	II	30-55	0,01	0,83	0,02	2,88	0,00	0,00	0,29	38,90	0,43	57,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	42,61
4864 II SE 5/3	II	55-80	0,01	1,08	0,03	4,32	0,00	0,00	0,24	38,50	0,34	56,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	43,91
4864 II SE 5/4	III Bvt	80-105	0,01	1,23	0,02	3,30	0,00	0,00	0,35	50,38	0,31	45,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	54,91
4864 II SE 5/5	III Bvt	105-135	0,01	1,13	0,04	3,24	0,00	0,00	0,85	76,09	0,22	19,54	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	80,46
4864 II SE 5/6	IV Bt ₁	135-150	0,02	0,74	0,05	1,62	0,06	1,98	2,75	88,92	0,21	6,74	0,00	0,00	0,00	0,00	3,10	93,26
4864 II SE 5/7	IV Bt ₁	150-170	0,04	0,78	0,05	1,06	0,18	3,58	4,54	91,96	0,13	2,63	0,00	0,00	0,00	0,00	4,94	97,37
4864 II SE 5/8	IV Bt ₁	170-190	0,05	0,76	0,04	0,57	0,33	5,10	6,06	93,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,48	100,00
4864 II SE 5/9	IV Bt ₂	190-215	0,08	0,93	0,04	0,43	0,55	6,63	7,62	92,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,28	100,00
4864 II SE 5/10	IV Bt ₂	215-240	0,06	0,83	0,06	0,83	0,49	6,39	7,08	91,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,70	100,00
4864 II SE 5/11	IV Bt ₂	240-260	0,09	0,95	0,07	0,77	0,67	7,43	8,20	90,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,02	100,00
4864 II SE 5/12	IV Bt ₂	260-280	0,08	0,94	0,03	0,35	0,64	7,42	7,92	91,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,68	100,00

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.19 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan									Gesamtgehalt		
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			% Fe	% Al	% Mn
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d			
4864 II SE 5/1	I	0-30	0,04	0,06	0,004	0,07	0,05	0,000	0,35	0,03	0,000	0,45	0,14	0,004
4864 II SE 5/2	II	30-55	0,02	0,03	0,003	0,06	0,09	0,000	0,35	0,04	0,000	0,42	0,16	0,003
4864 II SE 5/3	II	55-80	0,02	0,02	0,004	0,07	0,08	0,000	0,31	0,03	0,000	0,40	0,13	0,004
4864 II SE 5/4	III Bvt	80-105	0,02	0,02	0,003	0,08	0,08	0,000	0,35	0,02	0,000	0,44	0,12	0,003
4864 II SE 5/5	III Bvt	105-135	0,02	0,02	0,004	0,06	0,04	0,000	0,21	0,02	0,000	0,29	0,08	0,004
4864 II SE 5/6	IV Bt ₁	135-150	0,01	0,01	0,003	0,13	0,07	0,000	0,36	0,04	0,000	0,50	0,12	0,003
4864 II SE 5/7	IV Bt ₁	150-170	0,02	0,01	0,004	0,17	0,06	0,000	0,35	0,04	0,000	0,54	0,11	0,004
4864 II SE 5/8	IV Bt ₁	170-190	0,02	0,01	0,002	0,17	0,06	0,000	0,44	0,06	0,002	0,63	0,13	0,003
4864 II SE 5/9	IV Bt ₂	190-215	0,02	0,01	0,003	0,19	0,08	0,000	0,40	0,09	0,001	0,61	0,18	0,004
4864 II SE 5/10	IV Bt ₂	215-240	0,02	0,01	0,004	0,17	0,06	0,000	0,36	0,06	0,000	0,55	0,13	0,004
4864 II SE 5/11	IV Bt ₂	240-260	0,02	0,01	0,003	0,22	0,09	0,000	0,39	0,11	0,000	0,63	0,21	0,003
4864 II SE 5/12	IV Bt ₂	260-280	0,03	0,01	0,003	0,22	0,08	0,000	0,33	0,10	0,000	0,57	0,19	0,003

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

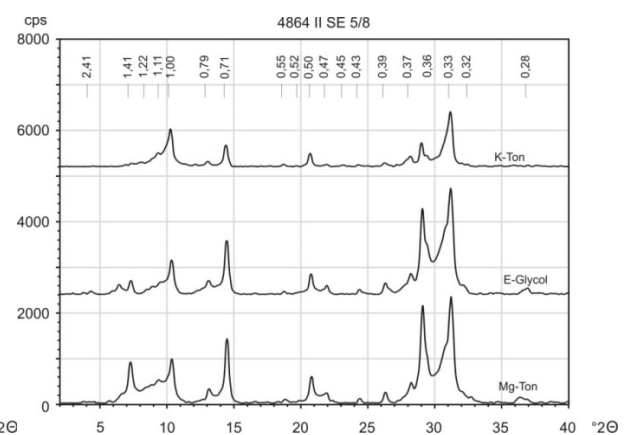
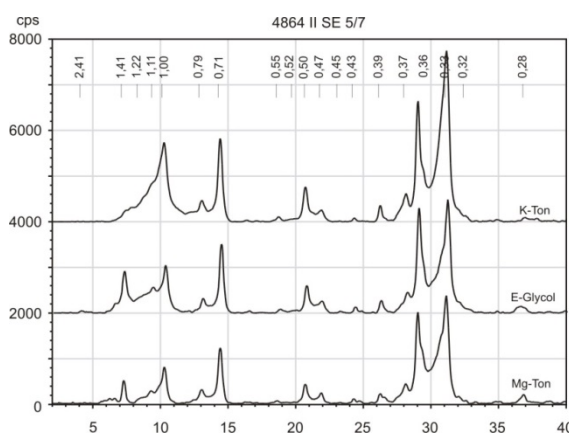
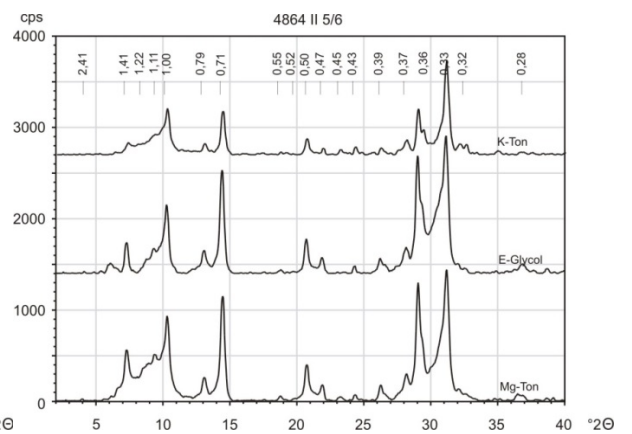
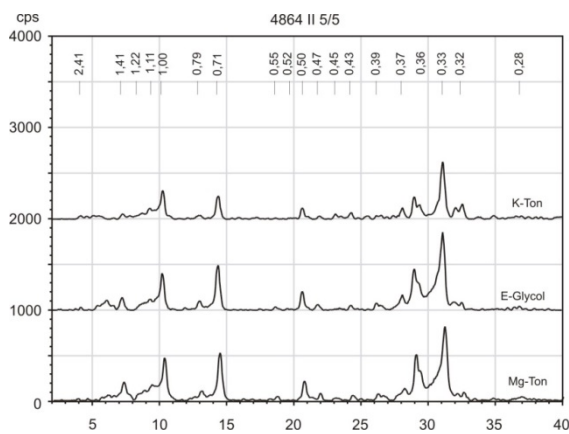
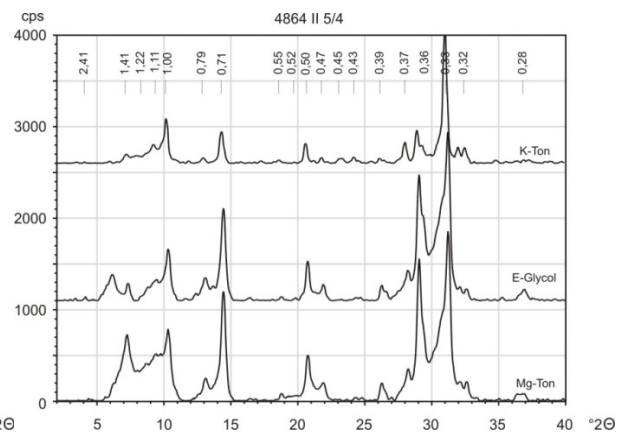
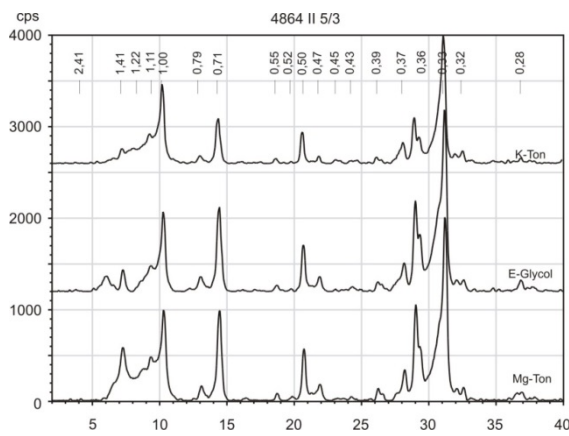
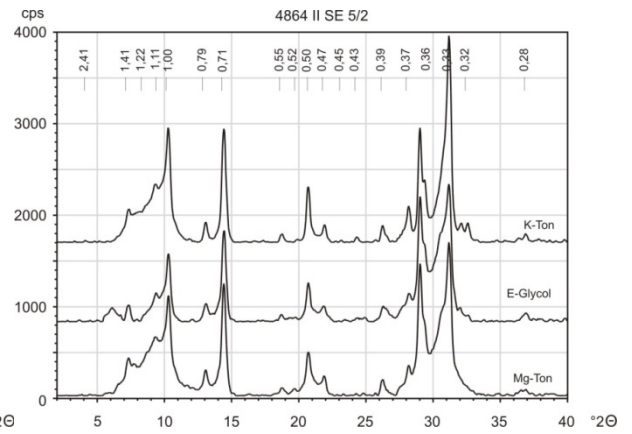
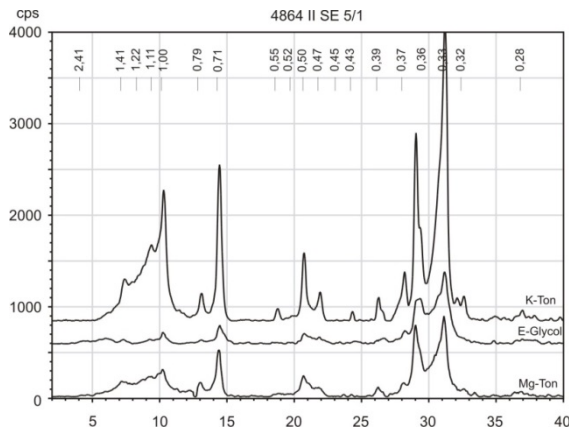
Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _p /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4864 II SE 5/1	I	0-30	0,20	8	15	77	44	36	20	100	0	0
4864 II SE 5/2	II	30-55	0,18	4	15	81	21	56	24	100	0	0
4864 II SE 5/3	II	55-80	0,23	4	18	77	17	58	25	100	0	0
4864 II SE 5/4	III Bvt	80-105	0,22	4	18	79	13	67	20	100	0	0
4864 II SE 5/5	III Bvt	105-135	0,28	7	20	73	26	52	22	100	0	0
4864 II SE 5/6	IV Bt ₁	135-150	0,35	2	25	72	9	59	32	100	0	0
4864 II SE 5/7	IV Bt ₁	150-170	0,50	4	32	64	10	55	35	100	0	0
4864 II SE 5/8	IV Bt ₁	170-190	0,38	4	27	70	7	47	46	51	0	49
4864 II SE 5/9	IV Bt ₂	190-215	0,47	4	31	65	7	45	48	80	0	20
4864 II SE 5/10	IV Bt ₂	215-240	0,47	4	30	65	7	48	46	100	0	0
4864 II SE 5/11	IV Bt ₂	240-260	0,56	4	34	62	3	44	54	91	0	9
4864 II SE 5/12	IV Bt ₂	260-280	0,65	5	38	58	5	43	51	100	0	0

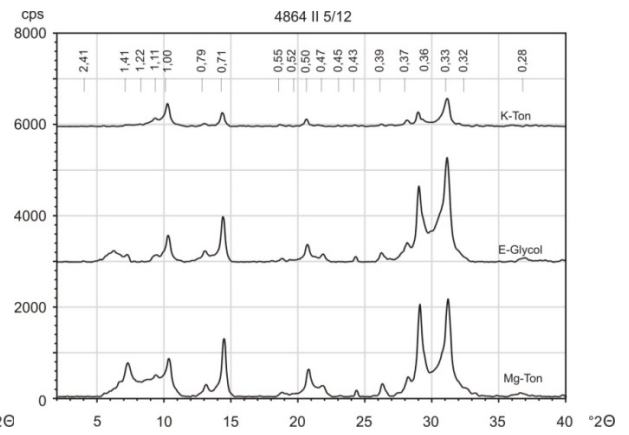
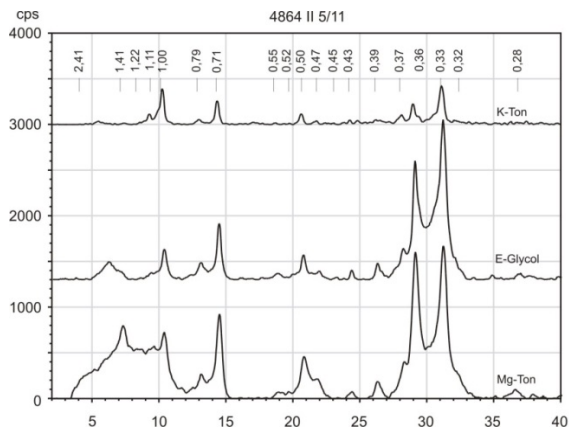
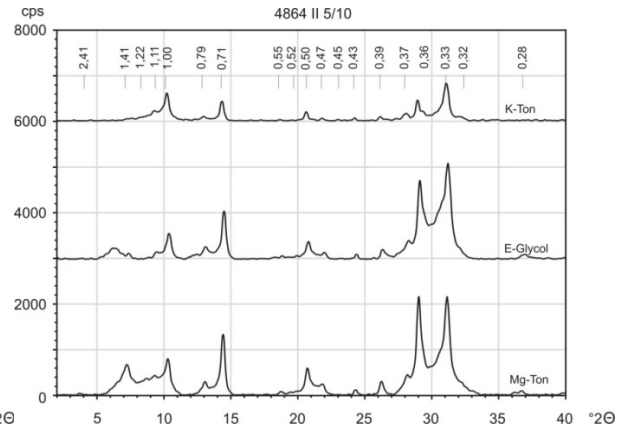
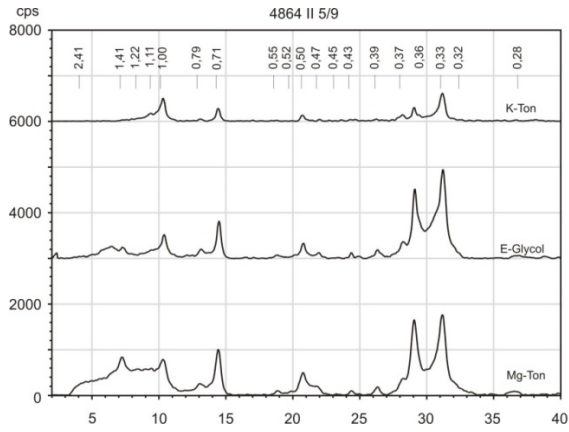
A.2.2.20 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4864 II SE 5/1	349,99	225,59	155,34	19,82	20,46	32,36	26089,12	298,62	44,02	2828,46	2471,43	17872,69
4864 II SE 5/2	365,12	111,06	131,18	20,13	13,77	27,65	24506,50	239,69	35,08	2551,91	2214,35	17121,72
4864 II SE 5/3	482,96	165,14	151,80	21,89	22,53	31,43	26246,78	324,71	38,50	2754,16	2490,45	17648,49
4864 II SE 5/4	377,70	202,54	151,82	21,89	37,52	31,74	25986,44	1030,14	30,00	2755,61	2320,15	17238,76
4864 II SE 5/5	438,72	234,18	162,11	21,53	21,34	37,25	29377,08	446,68	47,70	2785,58	2376,43	17126,52
4864 II SE 5/6	373,44	201,47	158,11	18,99	24,81	38,06	34231,20	426,44	52,25	2497,34	2405,76	16848,65
4864 II SE 5/7	314,98	142,04	169,47	18,33	17,82	44,86	35241,08	495,47	31,53	2652,81	2026,65	13814,63
4864 II SE 5/8	359,11	102,04	167,27	21,86	16,09	46,52	40919,41	506,05	41,11	2223,23	1984,12	11864,70
4864 II SE 5/9	342,94	142,52	164,88	21,19	17,94	50,24	38153,14	509,94	61,84	2899,60	2317,28	14410,16
4864 II SE 5/10	355,94	135,42	159,70	20,91	21,00	37,88	33836,08	497,39	48,67	2472,53	2219,68	13548,11
4864 II SE 5/11	286,03	153,62	147,87	13,62	18,29	46,10	33768,44	398,50	44,54	2553,54	2455,13	13706,73
4864 II SE 5/12	297,79	119,14	154,12	21,16	25,30	40,57	31371,63	441,77	32,46	2484,62	2662,01	13908,80

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.21 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion





Profilgruppe II

Ward 4864 II SE 2

GPS: N 40° 03' 06,6'', W 105° 30' 55,6'', 2830 m NN, ± 4 m

A.2.2.22 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
I	0-30	2/1 2/2	0-15 15-30	stark blockig, steinreich, gestört, Wurzelverlauf an der Schichtgrenze, hellgrau, lösslehmhaltig
II AI	30-55	2/3 2/4	30-40 40-55	dichter gelagert, kräftig durchwurzelt, viele Feinwurzeln, grobe Steine nur vereinzelt
II Bbt	55-90	2/5 2/6	60-75 75-90	fast wie oben, aber skelettreicher, Bbt sehr gut ausgeprägt, rezent, Feinwurzeln, Grobsteine an der Schichtgrenze nach unten
III fBt	90-125	2/7 2/8	90-100 100-120	Erosionsdiskordanz (der dazugehörige fAI fehlt), sehr gut ausgebildeter Bt, aktuelle Bt-Dynamik greift in fBt über (Komplexboden), rotbraun, tonreich, markant weniger Grobsteine, sehr dicht gelagert
IV fBbt	125-165	2/9	130-150	helle Bahnen, sehr steinreich, kaum feine Matrix, aber dicke Bt-Beläge in Bändern, definitiv Fließsediment
V fBbt	165-220	2/10 2/11	170-185 200-215	wie vorher, etwas heller, noch gröber mit kleinen Blöcken
VI fBbt	220-270	2/12 2/13 OSL 2/1	225-235 245-255 245	nahezu blockfrei, markanter Farbwechsel zu graubraun, lockerer, feine Matrix, sehr viele Tonbänder, allerdings Matrix um die Tonbänder viel grauer
VII fBbt	270-295	2/14	270-295	markant steinreicher, Steine im Verband, Bodenbildung in der Zerfallszone (evtl. auch hier noch mal Fließerde entwickelt), geht daher vermutlich ohne Schichtwechsel in den ICv über
ICv	295-315+	2/15	295-305	Festgestein zerklüftet

A.2.2.23 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w . %									Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4864 II SE 2/1	I	0-15	43,92	26,9	23,1	13,5	63,5	11,3	10,7	5,0	27,0	9,5	SI3
4864 II SE 2/2	I	15-30	46,41	35,3	22,4	10,5	68,2	7,4	10,2	7,1	24,8	7,0	SI2
4864 II SE 2/3	II AI	30-40	46,66	36,1	20,1	9,7	65,9	10,5	10,5	5,5	26,4	7,7	Su3
4864 II SE 2/4	II AI	40-55	42,68	34,5	22,9	9,7	67,0	8,6	8,9	7,3	24,8	8,1	SI3
4864 II SE 2/5	II Bbt	60-75	46,03	26,3	22,0	12,5	60,7	9,7	7,9	5,1	22,7	16,6	SI4
4864 II SE 2/6	II Bbt	75-90	48,63	35,1	17,0	8,6	60,7	4,9	6,1	6,3	17,3	22,0	Ls4
4864 II SE 2/7	III fBt	90-100	44,99	27,3	21,7	10,1	59,2	5,0	3,0	3,5	11,5	29,4	Ts4
4864 II SE 2/8	III fBt	100-120	51,96	22,8	21,4	10,0	54,2	6,7	5,9	1,8	14,5	31,3	Ts4
4864 II SE 2/9	IV fBbt	130-150	64,09	23,5	22,4	11,0	56,9	4,6	5,8	5,6	16,1	27,0	Lts
4864 II SE 2/10	V fBbt	170-185	62,22	24,2	24,5	9,7	58,3	6,7	4,3	6,0	17,1	24,6	Ls4
4864 II SE 2/11	V fBbt	200-215	61,66	29,3	24,0	10,8	64,0	6,0	6,8	6,2	18,9	17,1	Ls4
4864 II SE 2/12	VI fBbt	225-235	55,66	31,3	25,0	12,2	68,5	8,7	6,1	4,5	19,2	12,3	SI4
4864 II SE 2/13	VI fBbt	245-255	57,69	26,0	27,6	15,8	69,4	8,2	6,9	4,2	19,3	11,2	SI3
4864 II SE 2/14	VII fBbt	270-295	53,43	32,9	28,2	11,5	72,7	4,9	5,4	4,0	14,3	13,1	SI4
4864 II SE 2/15	ICv	295-305	70,36	48,4	21,8	7,1	77,3	3,9	4,2	3,8	11,9	10,8	SI3

A.2.2.24 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4864 II SE 2/1	I	0-15	4,34	0,00	2,5Y 3/3	1,93	1,806	0,085	21	0,000
4864 II SE 2/2	I	15-30	3,93	0,00	10YR 5/4	0,93	0,645	0,059	11	0,000
4864 II SE 2/3	II AI	30-40	4,36	0,00	10YR 4/6	0,72	0,689	0,056	12	0,000
4864 II SE 2/4	II AI	40-55	4,32	0,00	10YR 5/6	0,69	0,585	0,050	12	0,000
4864 II SE 2/5	II Bbt	60-75	4,41	0,00	7,5YR 5/6	0,25	0,218	0,038	6	0,000
4864 II SE 2/6	II Bbt	75-90	4,43	0,00	7,5YR 5/8	0,21	0,270	0,045	6	0,000
4864 II SE 2/7	III fBt	90-100	4,41	0,00	5YR 5/8	0,08	0,090	0,034	3	0,000
4864 II SE 2/8	III fBt	100-120	4,29	0,00	5YR 5/8	0,14	0,120	0,042	3	0,000
4864 II SE 2/9	IV fBbt	130-150	4,22	0,00	7,5YR 5/6	0,12	0,145	0,044	3	0,000
4864 II SE 2/10	V fBbt	170-185	4,53	0,00	5YR 5/6	0,17	0,077	0,039	2	0,000
4864 II SE 2/11	V fBbt	200-215	4,71	0,00	7,5YR 5/6	0,15	0,079	0,041	2	0,000
4864 II SE 2/12	VI fBbt	225-235	5,18	0,00	10YR 4/6	0,00	0,081	0,031	3	0,000
4864 II SE 2/13	VI fBbt	245-255	5,16	0,00	10YR 5/4	0,07	0,065	0,037	2	0,000
4864 II SE 2/14	VII fBbt	270-295	5,26	0,00	7,5YR 5/8	0,00	0,066	0,038	2	0,000
4864 II SE 2/15	ICv	295-305	5,33	0,00	10YR 4/6	0,00	0,082	0,041	2	0,000

A.2.2.25 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4864 II SE 2/1	I	0-15	0,31	5,05	0,49	7,98	0,71	11,59	4,07	66,02	0,34	5,59	0,00	0,00	0,23	3,77	6,16	90,64
4864 II SE 2/2	I	15-30	0,14	3,21	0,39	9,06	0,54	12,63	2,37	55,62	0,82	19,22	0,00	0,00	0,01	0,26	4,26	80,51
4864 II SE 2/3	II AI	30-40	0,20	5,41	0,43	11,45	0,41	10,97	2,39	63,23	0,33	8,61	0,00	0,00	0,01	0,32	3,78	91,07
4864 II SE 2/4	II AI	40-55	0,21	4,64	0,30	6,71	0,73	16,53	2,96	67,03	0,22	5,07	0,00	0,00	0,00	0,01	4,42	94,91
4864 II SE 2/5	II Bbt	60-75	0,22	3,94	0,31	5,69	1,29	23,42	3,41	62,01	0,26	4,74	0,00	0,00	0,01	0,19	5,50	95,06
4864 II SE 2/6	II Bbt	75-90	0,28	3,83	0,41	5,70	2,18	30,05	4,15	57,17	0,21	2,89	0,00	0,00	0,03	0,36	7,26	96,75
4864 II SE 2/7	III fBt	90-100	0,29	2,64	1,75	15,76	3,93	35,33	5,04	45,31	0,05	0,48	0,00	0,00	0,05	0,47	11,12	99,04
4864 II SE 2/8	III fBt	100-120	0,33	2,80	1,66	13,91	4,22	35,44	5,43	45,57	0,19	1,60	0,00	0,00	0,08	0,67	11,91	97,72
4864 II SE 2/9	IV fBbt	130-150	0,29	2,65	1,03	9,60	3,85	35,74	5,21	48,34	0,28	2,55	0,00	0,00	0,12	1,12	10,77	96,33
4864 II SE 2/10	V fBbt	170-185	0,23	1,63	1,60	11,12	5,54	38,54	6,62	46,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	2,65	14,37	97,35
4864 II SE 2/11	V fBbt	200-215	0,15	0,74	1,68	8,14	9,01	43,60	9,75	47,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,31	20,65	99,69
4864 II SE 2/12	VI fBbt	225-235	0,19	2,15	0,70	7,91	2,80	31,56	5,15	58,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,24	8,87	99,76
4864 II SE 2/13	VI fBbt	245-255	0,16	2,05	0,17	2,16	2,68	33,31	5,00	62,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,18	8,03	99,82
4864 II SE 2/14	VII fBbt	270-295	0,20	2,83	0,00	0,00	2,66	38,05	4,12	58,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,14	6,98	99,86
4864 II SE 2/15	ICv	295-305	0,18	2,54	0,53	7,35	2,27	31,25	4,26	58,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,19	7,26	99,81

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.26 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4864 II SE 2/1	I	0-15	0,02	0,02	0,018	0,06	0,05	0,030	0,64	0,06	0,018	0,72	0,14	0,066
4864 II SE 2/2	I	15-30	0,02	0,01	0,004	0,34	0,02	0,001	0,82	0,02	0,005	1,18	0,05	0,010
4864 II SE 2/3	II Al	30-40	0,03	0,02	0,004	0,06	0,01	0,003	0,48	0,04	0,003	0,57	0,08	0,010
4864 II SE 2/4	II Al	40-55	0,01	0,00	0,002	0,03	0,01	0,000	0,51	0,01	0,003	0,55	0,02	0,005
4864 II SE 2/5	II Bbt	60-75	0,01	0,00	0,004	0,02	0,03	0,006	0,62	0,01	0,005	0,65	0,03	0,015
4864 II SE 2/6	II Bbt	75-90	0,00	0,00	0,004	0,01	0,03	0,004	0,61	0,00	0,004	0,62	0,03	0,012
4864 II SE 2/7	III fBt	90-100	0,00	0,00	0,005	0,01	0,04	0,002	0,71	0,00	0,005	0,72	0,04	0,012
4864 II SE 2/8	III fBt	100-120	0,00	0,00	0,004	0,02	0,05	0,003	0,74	0,00	0,006	0,76	0,05	0,013
4864 II SE 2/9	IV fBbt	130-150	0,01	0,00	0,007	0,03	0,05	0,013	1,17	0,00	0,006	1,21	0,05	0,027
4864 II SE 2/10	V fBbt	170-185	0,03	0,00	0,002	1,48	0,12	0,019	0,76	0,10	0,002	2,28	0,22	0,024
4864 II SE 2/11	V fBbt	200-215	0,02	0,00	0,003	0,17	0,06	0,027	1,10	0,09	0,003	1,29	0,16	0,033
4864 II SE 2/12	VI fBbt	225-235	0,01	0,00	0,000	2,49	0,12	0,020	0,46	0,04	0,001	2,96	0,17	0,021
4864 II SE 2/13	VI fBbt	245-255	0,01	0,00	0,000	2,18	0,11	0,028	0,51	0,04	0,001	2,69	0,16	0,030
4864 II SE 2/14	VII fBbt	270-295	0,01	0,00	0,000	0,17	0,05	0,024	0,48	0,05	0,001	0,66	0,10	0,026
4864 II SE 2/15	ICv	295-305	0,01	0,00	0,000	1,70	0,10	0,019	0,45	0,05	0,001	2,17	0,14	0,020

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4864 II SE 2/1	I	0-15	0,10	3	8	89	16	37	47	27	45	28
4864 II SE 2/2	I	15-30	0,42	2	29	70	10	42	49	38	11	50
4864 II SE 2/3	II Al	30-40	0,12	5	10	85	29	19	53	40	26	34
4864 II SE 2/4	II Al	40-55	0,05	3	5	93	6	63	31	41	0	59
4864 II SE 2/5	II Bbt	60-75	0,04	1	4	95	0	79	21	25	43	32
4864 II SE 2/6	II Bbt	75-90	0,02	1	2	98	0	100	0	34	30	36
4864 II SE 2/7	III fBt	90-100	0,02	0	2	98	8	92	0	40	21	39
4864 II SE 2/8	III fBt	100-120	0,02	1	2	97	0	100	0	34	21	46
4864 II SE 2/9	IV fBbt	130-150	0,03	0	3	97	3	95	2	28	48	24
4864 II SE 2/10	V fBbt	170-185	1,94	2	65	33	0	55	45	10	81	9
4864 II SE 2/11	V fBbt	200-215	0,16	1	13	85	3	40	57	8	83	9
4864 II SE 2/12	VI fBbt	225-235	5,37	0	84	16	0	74	26	0	95	5
4864 II SE 2/13	VI fBbt	245-255	4,30	0	81	19	0	73	27	0	95	5
4864 II SE 2/14	VII fBbt	270-295	0,34	2	25	73	0	47	53	0	95	5
4864 II SE 2/15	ICv	295-305	3,75	1	79	21	0	66	34	2	95	3

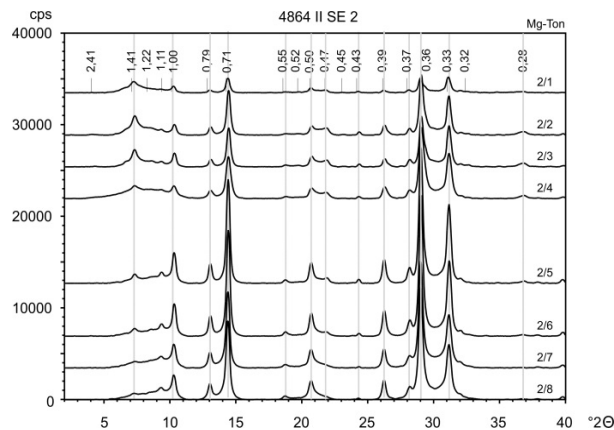
A.2.2.27 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4864 II SE 2/1	340,32	18,21	160,30	20,02	20,21	122,74	42161,93	840,42	65,15	3876,57	3183,06	14264,20
4864 II SE 2/2	392,66	n.n.	164,21	17,31	n.n.	92,27	39130,83	138,75	55,88	3310,78	1996,74	15066,12
4864 II SE 2/3	227,76	45,09	173,42	5,72	17,73	62,07	28489,70	112,93	45,28	3005,75	2652,42	15723,00
4864 II SE 2/4	224,24	51,12	170,03	7,03	21,86	74,22	28597,05	94,32	44,31	2978,08	2614,92	15575,41
4864 II SE 2/5	248,01	n.n.	185,79	8,07	16,95	87,35	41406,13	212,62	46,42	2954,12	1871,18	16475,44
4864 II SE 2/6	33,59	33,55	181,58	5,99	36,90	50,83	15466,43	59,06	29,21	1300,96	2655,25	17242,15
4864 II SE 2/7	83,69	110,81	179,58	17,21	37,07	46,84	17297,06	162,11	29,76	1158,17	3268,99	16075,77
4864 II SE 2/8	11,39	76,33	157,80	n.n.	35,15	47,84	15824,49	129,98	33,97	1529,71	3044,37	14289,28
4864 II SE 2/9	231,02	n.n.	240,97	11,16	33,18	131,66	50055,09	475,26	69,16	2462,67	1611,63	17099,71
4864 II SE 2/10	355,48	n.n.	246,17	11,26	20,82	140,94	53305,61	656,98	62,04	3736,96	2087,80	17532,01
4864 II SE 2/11	405,93	n.n.	187,48	12,78	25,23	141,91	47138,78	581,58	62,63	3137,03	2839,41	17160,18
4864 II SE 2/12	369,09	n.n.	201,52	9,43	9,27	136,28	52515,37	510,41	70,93	2912,30	1815,82	16370,39
4864 II SE 2/13	402,33	n.n.	185,30	14,72	11,27	110,18	46802,30	610,44	59,29	3150,97	1803,62	14873,09
4864 II SE 2/14	122,54	70,27	180,81	7,54	45,36	61,83	18834,85	382,69	39,78	1332,47	1762,54	19434,29
4864 II SE 2/15	277,09	n.n.	172,17	7,99	22,82	108,65	40804,50	652,72	51,14	2145,23	1598,33	14006,50

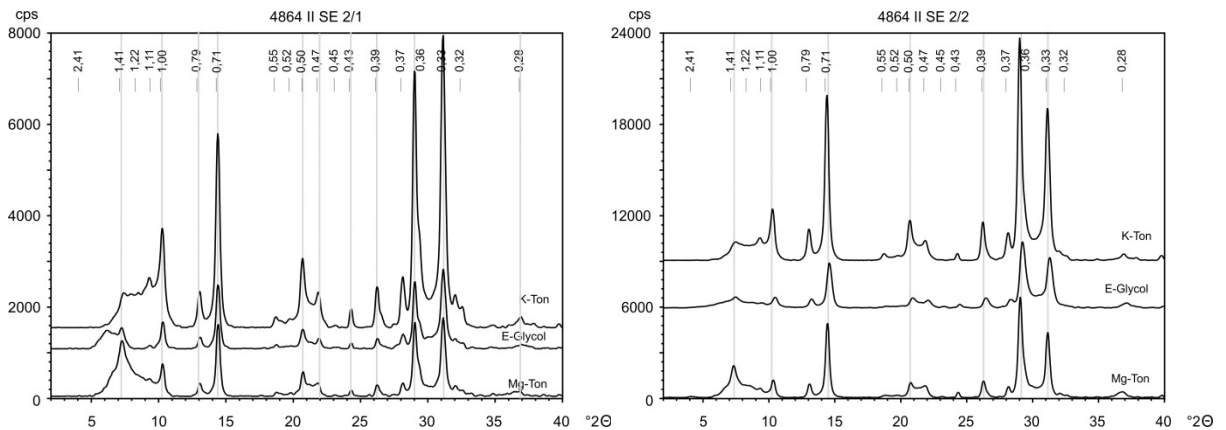
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

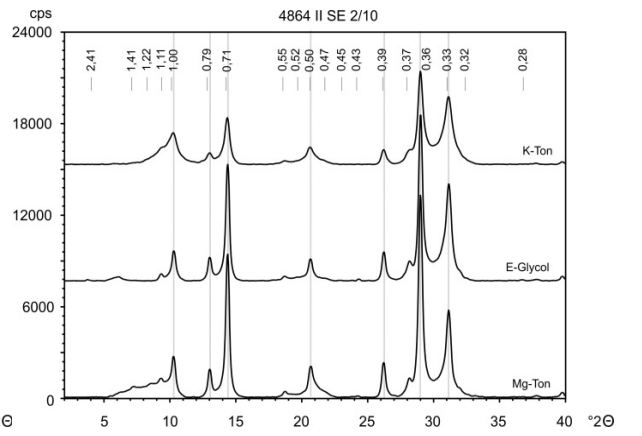
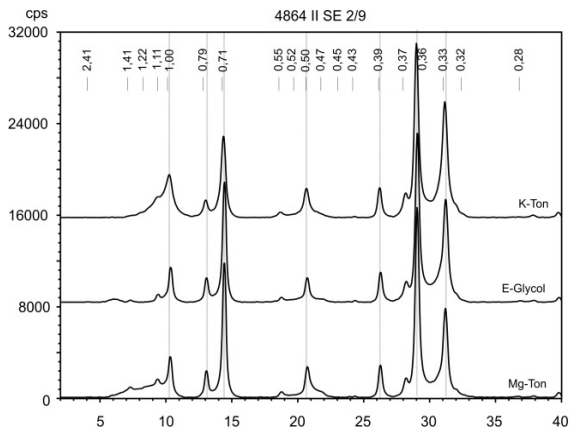
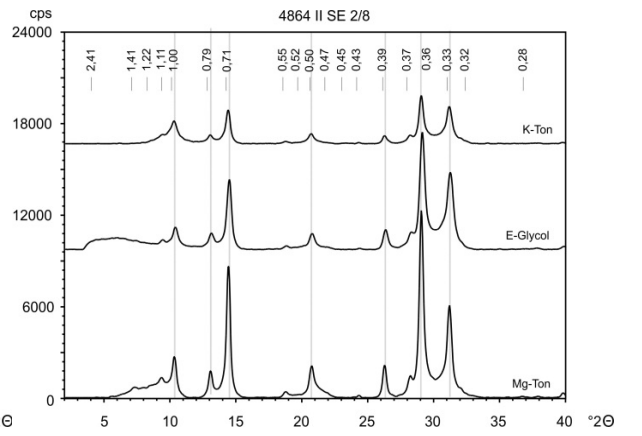
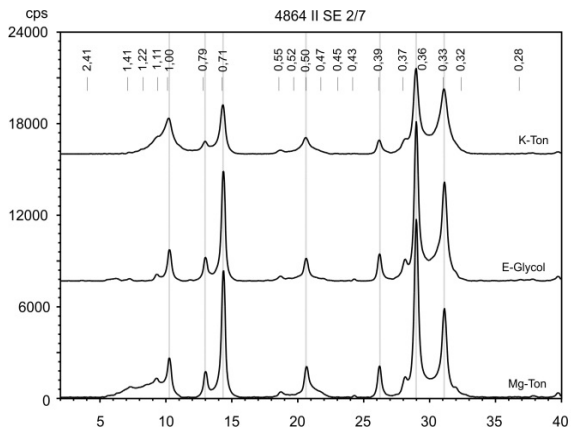
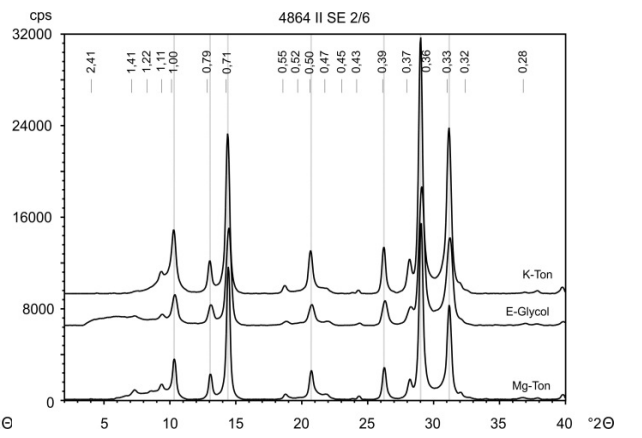
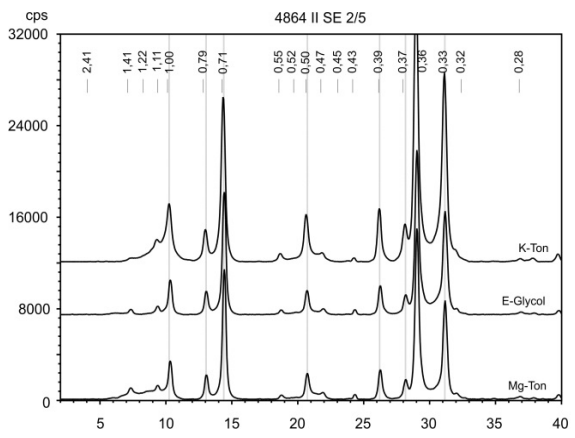
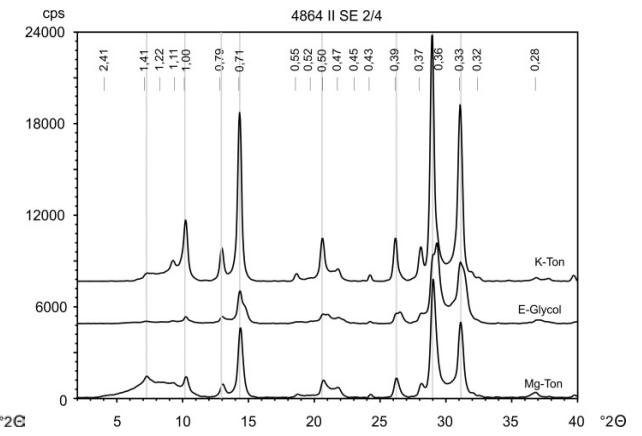
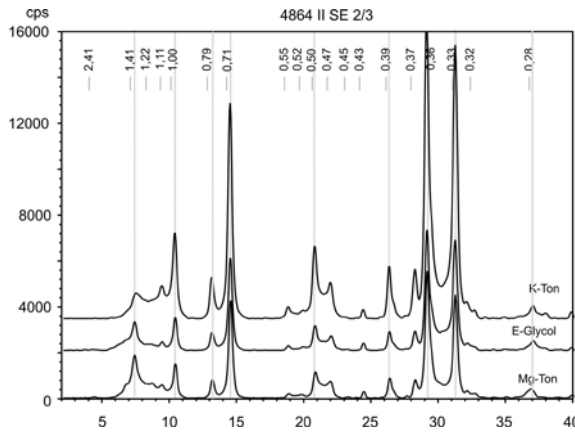
A.2.2.28 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

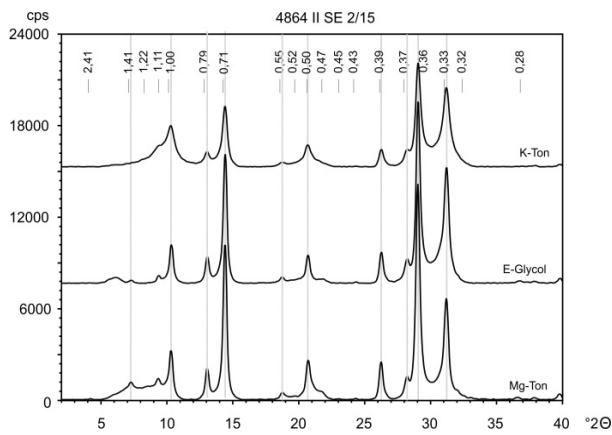
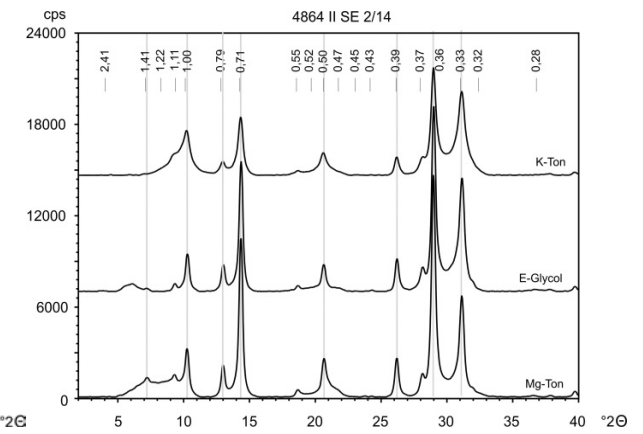
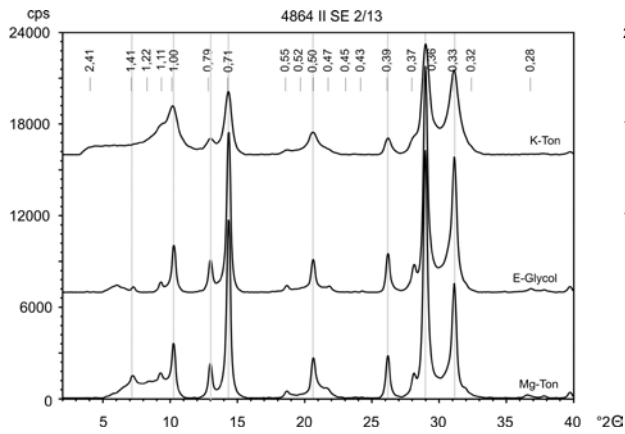
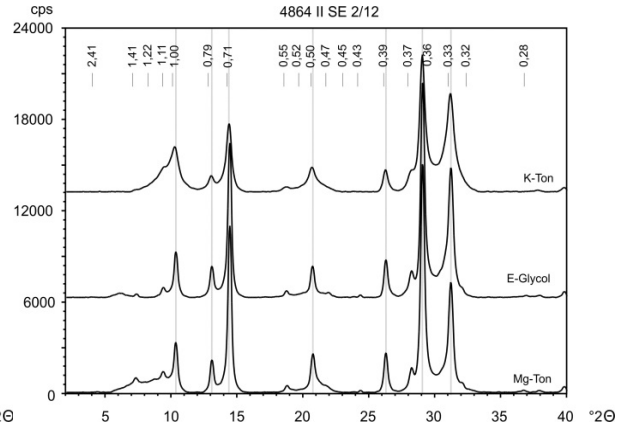
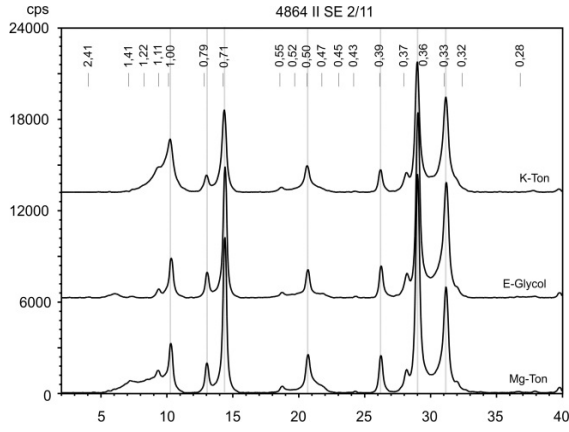
Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben







Ward 4864 II SE 8

GPS: N 40° 03' 21,4'', W 105° 32' 21,2'', 3150 m NN, ± 5 m

A.2.2.29 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
M	0-25			Aufwurf des Miners Pit, aktuelle Bodenbildung, grülich braun, viel Feinmaterial, einige Steine und kleiner Blöcke, locker gelagert, gut durchwurzelt
II	25-40	8/1	25-40	sehr viel Feinmaterial, kaum Skelett, Schluffhauben wenig ausgebildet, allerdings blanke Unterseiten, rötlich braun, beginnende Lessivierung, einzelne polyedrische Aggregate, wenig durchwurzelt
III	40-70	8/2 OSL 8/1	40-70 70	locker gelagert, sandig-grusig, wenig feines Material, viele Steine und Blöcke, Skelett scheint wenig eingeregelt, Schluffhauben auch hier wenig ausgebildet, blanke Unterseiten, rötlich braun, stark durchwurzelt
IV	70-130	8/3 OSL 8/2	70-130 120	stark kompaktierte Schicht, dicht gelagert, gröbere Steine und Blöcke, Feinmaterial, sandig-lehmig, Steine eingeregelt, blanke Unterseiten, rötlich braun, fleckenweise stark durchwurzelt
V	130-180	8/4	130-180	etwas lockerer gelagert, sehr große Steine und Blöcke, Schluffhauben und blanke Unterseiten, Steine z.T. mit Ton überzogen, wenig Feinmaterial zwischen dem Skelett, Feinmaterial sandig-lehmig, rötlich braun, im Feinmaterial Wurzeln
VI	180-200+	8/5	180-200	weniger Steine und Blöcke, nur noch vereinzelt, sandig-grusige Matrix, grülich braun, mäßig locker gelagert, auch hier noch Wurzeln

A.2.2.30 Korngrößenanalyse

Probe	Hori- zont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4864 II SE 8/1	II	25-40	46,97	20,8	17,5	9,9	48,2	14,0	12,6	6,1	32,7	19,2	Ls3
4864 II SE 8/2	III	40-70	65,68	53,2	25,8	4,0	82,9	2,5	4,5	2,1	9,1	8,0	St2
4864 II SE 8/3	IV	70-130	48,77	28,0	21,8	10,7	60,6	12,5	9,3	6,8	28,6	10,8	Sl3
4864 II SE 8/4	V	130-180	53,32	23,1	25,9	13,3	62,2	12,7	9,3	5,1	27,2	10,6	Sl3
4864 II SE 8/5	VI	180-200	48,77	23,7	23,7	12,0	59,4	12,3	11,6	7,7	31,7	8,9	Sl3

A.2.2.31 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4864 II SE 8/1	II	25-40	4,29	0,00	7,5YR 5/8	0,68	0,635	0,085	7	0,004
4864 II SE 8/2	III	40-70	4,31	0,00	10YR 5/6	0,49	0,512	0,080	6	0,003
4864 II SE 8/3	IV	70-130	4,32	0,00	10YR 5/6	0,54	0,526	0,078	7	0,004
4864 II SE 8/4	V	130-180	4,23	0,00	10YR 5/6	0,54	0,525	0,079	7	0,002
4864 II SE 8/5	VI	180-200	4,29	0,00	10YR 5/6	0,55	0,534	0,076	7	0,003

A.2.2.32 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4864 II SE 8/1	II	25-40	0,06	1,12	0,05	0,98	0,14	2,57	3,86	70,80	1,32	24,19	0,02	0,35	0,00	0,00	5,46	75,46
4864 II SE 8/2	III	40-70	0,02	0,74	0,06	2,43	0,04	1,38	2,12	79,47	0,43	15,98	0,00	0,00	0,00	0,00	2,66	84,02
4864 II SE 8/3	IV	70-130	0,02	0,93	0,05	2,06	0,04	1,56	2,47	95,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,59	100,00
4864 II SE 8/4	V	130-180	0,02	0,91	0,05	2,13	0,07	2,96	2,17	94,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,31	100,00
4864 II SE 8/5	VI	180-200	0,02	2,75	0,07	8,96	0,00	0,00	0,69	88,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	100,00

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.33 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan									Gesamtgehalt		
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			% Fe	% Al	% Mn
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d			
4864 II SE 8/1	II	25-40	0,10	0,14	0,002	0,72	0,24	0,000	0,26	0,14	0,000	1,08	0,53	0,002
4864 II SE 8/2	III	40-70	0,03	0,05	0,003	0,50	0,10	0,000	0,10	0,13	0,000	0,63	0,27	0,003
4864 II SE 8/3	IV	70-130	0,05	0,12	0,004	0,61	0,15	0,000	0,14	0,12	0,000	0,80	0,39	0,004
4864 II SE 8/4	V	130-180	0,04	0,10	0,003	0,73	0,13	0,000	0,13	0,12	0,000	0,90	0,36	0,003
4864 II SE 8/5	VI	180-200	0,03	0,09	0,004	0,58	0,21	0,000	0,16	0,12	0,000	0,77	0,42	0,004

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

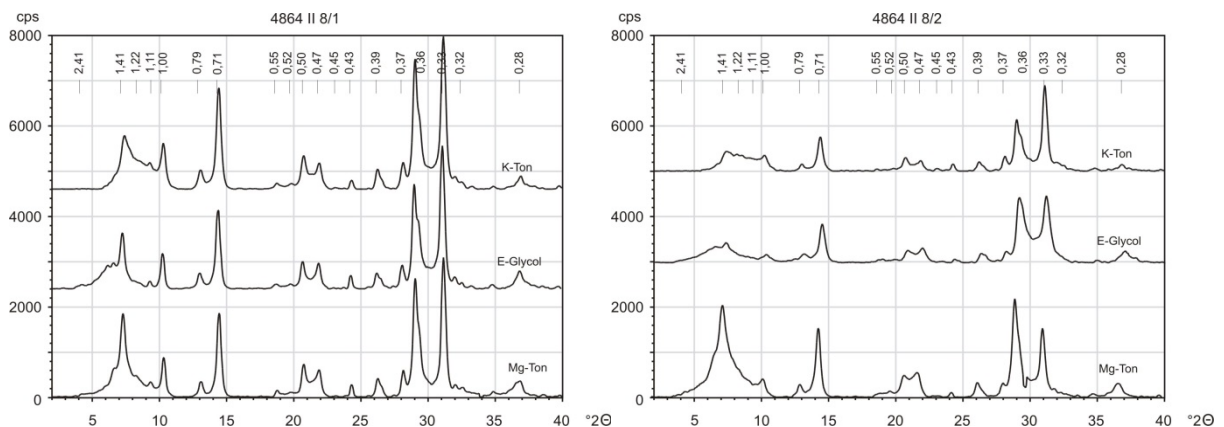
Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _p /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4864 II SE 8/1	II	25-40	2,76	10	66	24	27	46	26	100	0	0
4864 II SE 8/2	III	40-70	5,19	5	79	15	18	35	47	100	0	0
4864 II SE 8/3	IV	70-130	4,30	6	76	18	30	39	31	100	0	0
4864 II SE 8/4	V	130-180	5,86	4	82	14	28	37	34	100	0	0
4864 II SE 8/5	VI	180-200	3,75	4	76	20	22	49	28	100	0	0

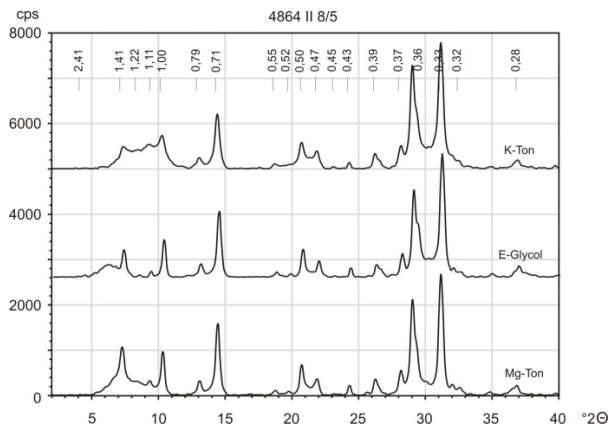
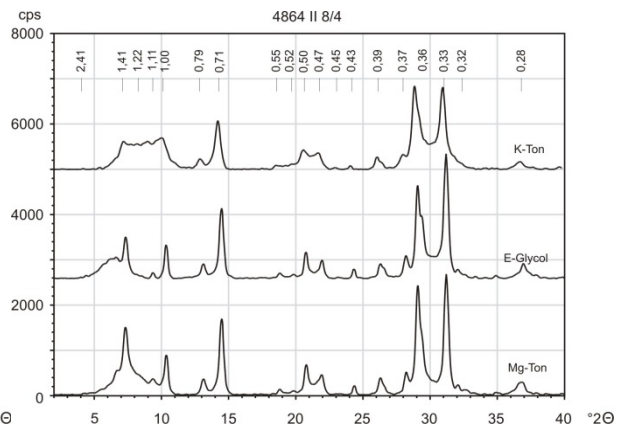
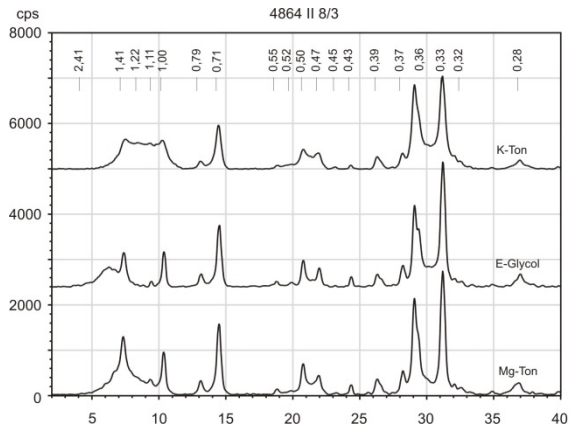
A.2.2.34 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4864 II SE 8/1	249,17	19,16	139,81	11,91	8,48	42,18	30762,76	183,92	40,98	1991,39	1583,48	11854,17
4864 II SE 8/2	153,21	17,80	150,74	6,88	16,64	33,63	21825,43	129,77	23,13	1830,21	1414,70	12533,24
4864 II SE 8/3	221,43	n.n.	115,89	14,81	7,95	30,29	28174,43	127,96	29,70	2029,43	1637,94	11874,45
4864 II SE 8/4	274,00	20,51	138,35	15,91	10,10	33,68	21831,74	139,60	20,08	1682,18	1633,07	11380,43
4864 II SE 8/5	265,49	23,42	136,48	14,63	16,76	37,37	27357,64	229,29	31,91	2123,73	1603,76	13432,73

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.35 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion





Profilgruppe III

Gold Hill 4965 III SW 5

GPS: N 40° 02' 56,6'', W 105° 28' 09,6'', 2628 m NN, ± 5 m

A.2.2.36 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah	0-70	5/1 OSL 5/1	0-70	Blöcke und grobe Steine, absolut schlagfest, schluffig-sandige Matrix, lößlehmhaltig, humusreich, grauschwarz (nass) bzw. grauweißlich (trocken), sehr locker gelagert, stark durchwurzelt, v.a. auch viele Versorgungswurzeln, Haltewurzeln zeichnen teils Schichtwechsel nach
II	70-80			Übergangsbereich zwischen I und III, 10 cm stark, aus Material des liegenden, heller gefärbt, typische Zwischenschicht
III Bv(t)	80-170	5/2 OSL 5/2	80-170	massiver Materialwechsel, stark kompaktiert, vergleichsweise hochporös, wenn auch schwer abzustecken für Beprobung, jedoch viele alte Wurzelbahnen (verrottet), sonst eher gering durchwurzelt, markanter Materialwechsel zu gelbbraun (trocken), Steine in sandig-grusiger Matrix, sehr homogen; Oxidationsfarben oder Verbraunung mit teilweise Toneintrag (Bänder angedeutet, aber nicht klar sichtbar), allerdings kein Gefüge mit Farbwechsel
Cv	170+	5/3	170-180	Festgestein, stark klüftig, zerfällt in grobe, aber absolut schlagfeste und unverwitterte Steine, Feinmaterial im Profil vermutlich reingerieselt, Schichtwechsel III/Cv wird wieder von massenhaft Feinwurzeln begleitet, frische Lehmdecken auf den Oberseiten, blanke Unterseiten

A.2.2.37 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %								Boden- art	
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U		T
4965 III SW 5/1	Ah	0-70	34,7	30,6	25,5	11,8	67,9	10,8	8,4	5,7	24,9	7,2	Sl2
4965 III SW 5/2	III Bv(t)	80-170	29,4	27,8	18,3	11,6	57,7	9,6	10,0	8,2	27,8	14,5	Sl4

A.2.2.38 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4965 III SW 5/1	Ah	0-70	6,22	0,00	7,5YR 4/3	-	0,01	0,46	0	0,00
4965 III SW 5/2	III Bv(t)	80-170	6,19	0,00	7,5YR 5/6	-	0,15	0,15	0	0,01

A.2.2.39 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4965 III SW 5/1	Ah	0-70	0,01	0,01	0,000	0,14	0,03	0,006	0,52	0,06	0,002	0,66	0,10	0,007
4965 III SW 5/2	III Bv(t)	80-170	0,00	0,01	0,000	0,15	0,04	0,038	0,64	0,04	0,008	0,79	0,09	0,046

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

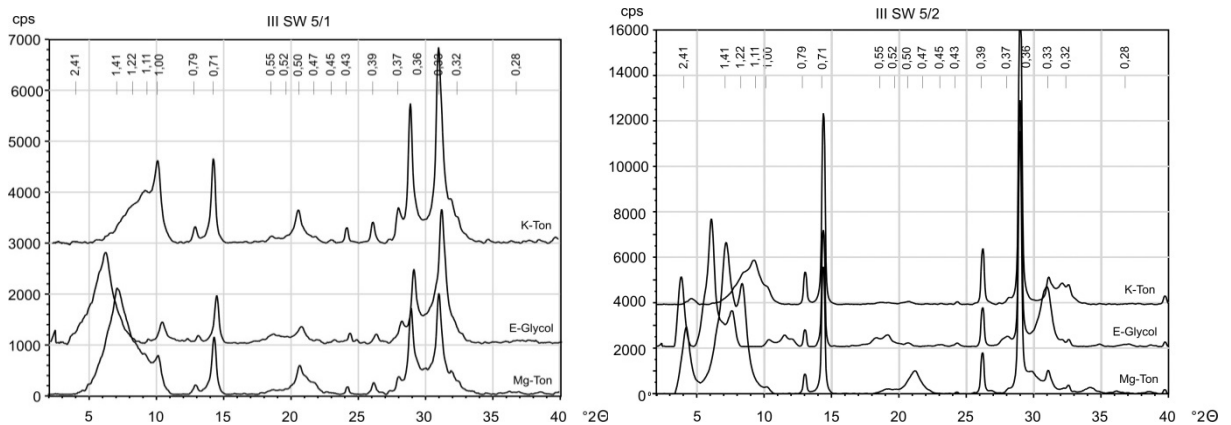
Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4965 III SW 5/1	Ah	0-70	0,26	1	20	78	7	32	61	0	76	24
4965 III SW 5/2	III Bv(t)	80-170	0,23	0	19	81	10	47	43	0	83	17

A.2.2.40 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Gelände in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4965 III SW 5/1	324,23	1083,08	158,03	20,62	24,71	49,55	21362,64	187,27	32,93	2288,79	3634,27	15751,12
4965 III SW 5/2	259,99	859,39	108,48	37,74	18,74	51,91	22629,36	518,23	30,07	1131,18	2684,76	8972,40
4965 III SW 5/3	249,61	2166,11	109,10	35,60	27,48	62,15	26468,55	1912,81	72,69	1291,77	4080,08	13432,57
RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4965 III SW 5/1	337,52	991,82	163,05	19,97	25,73	57,07	19483,93	245,20	45,04	2724,19	3860,72	24280,54
4965 III SW 5/2	253,18	942,35	115,96	37,45	12,70	48,37	21329,38	551,79	68,85	2038,46	3504,82	19351,70
4965 III SW 5/3	251,80	2717,75	129,43	33,32	34,48	73,92	20933,19	679,32	68,54	1809,55	4916,46	27283,55

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.41 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion



Gold Hill 4965 III SW 6

GPS: N 40° 01' 23,5'', W 105° 28' 36,6'', 2700 m NN

A.2.2.42 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
L Of Oh	+0,5-1 +0,5 +1-1,5	n.b. n.b. n.b.		Kiefernadeln gut fermentiert
Ah	0-4	6/1	0-4	scharf begrenzt, schwarz
Bhv	4-30	6/2 6/3	4-15 15-30	violettstichig im oberen Bereich des Bhv, sonst dunkelbraun, sehr stark durchwurzelt, bei Beprobung keine Steine oder Skelett verworfen (Skelettbestimmung macht Sinn), an Schichtgrenze Grobsteine, kleine Blöcke (46x20x14 cm), Wurzelgrenze, zeichnen gut nach, schluffiger Sand, Krümelgefüge
II fBv	30-60	6/4 6/5 6/6 OSL 6/1 OSL 6/2	30-45 45-60 35-40 30 40-60	stark lehmig, feucht, gelbbraun, charakteristischer Farbwechsel, Polyedergefüge, daher in jedem Fall B-Horizont, mehr Grus und feste Steine, Skelett hat blanke Unterseiten, Basislagencharakter, grusiger, nicht äolisch beeinflusst
ICv	60-70+	n.b.		Zerfallszone schlagfestes Festgestein, siehe geologische Karte Blatt Gold Hill

A.2.2.43 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden-art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4965 III SW 6/1	Ah	0-4	41,02	34,2	20,0	11,5	65,7	10,8	7,8	5,4	24,1	10,2	SI3
4965 III SW 6/2	Bhv	4-15	31,50	30,5	22,4	11,1	64,1	10,8	8,9	5,7	25,4	10,5	SI3
4965 III SW 6/3	Bhv	15-30	28,83	28,9	23,6	12,4	64,9	8,9	10,1	5,5	24,4	10,7	SI3
4965 III SW 6/4	II fBv	30-45	38,18	26,8	23,9	12,8	63,5	11,4	8,2	6,9	26,6	9,9	SI3
4965 III SW 6/5	II fBv	45-60	40,66	24,8	22,6	13,3	60,6	10,9	9,1	6,7	26,7	12,6	SI4

A.2.2.44 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4965 III SW 6/1	Ah	0-4	5,54	0,00	10YR 3/2-3	2,02	0,225	0,023	10	0,005
4965 III SW 6/2	Bhv	4-15	4,90	0,00	10YR 4/3	1,10	0,151	0,022	7	0,015
4965 III SW 6/3	Bhv	15-30	4,85	0,00	10YR 4/4	0,59	0,384	0,037	10	0,034
4965 III SW 6/4	II fBv	30-45	5,14	0,00	10YR 4-5/6	0,29	1,940	0,107	18	0,043
4965 III SW 6/5	II fBv	45-60	5,06	0,00	10YR 5/6	0,37	0,991	0,063	16	0,054

A.2.2.45 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK	BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4965 III SW 6/1	Ah	0-4	0,40	6,62	0,07	1,20	0,92	15,42	4,52	75,82	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,89	5,97	99,06
4965 III SW 6/2	Bhv	4-15	0,19	3,76	0,09	1,82	0,85	17,16	3,78	76,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,06	1,18	4,97	98,77
4965 III SW 6/3	Bhv	15-30	0,14	3,03	0,11	2,33	1,04	22,98	3,20	70,74	0,00	0,00	0,00	0,07	0,04	0,85	4,53	99,07
4965 III SW 6/4	II fBv	30-45	0,15	2,72	0,13	2,24	1,53	27,27	3,78	67,48	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,24	5,60	99,71
4965 III SW 6/5	II fBv	45-60	0,17	2,56	0,14	2,13	1,81	26,99	4,56	68,11	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,19	6,70	99,79

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.46 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4965 III SW 6/1	Ah	0-4	0,03	0,02	0,010	0,24	0,04	0,030	0,86	0,04	0,005	1,13	0,11	0,045
4965 III SW 6/2	Bhv	4-15	0,03	0,00	0,007	0,19	0,03	0,019	0,96	0,07	0,004	1,18	0,11	0,030
4965 III SW 6/3	Bhv	15-30	0,02	0,00	0,004	0,15	0,01	0,014	0,91	0,08	0,005	1,08	0,09	0,022
4965 III SW 6/4	II fBv	30-45	0,02	0,00	0,003	0,19	0,02	0,010	1,53	0,09	0,006	1,74	0,11	0,019
4965 III SW 6/5	II fBv	45-60	0,02	0,00	0,004	0,17	0,01	0,010	1,56	0,09	0,006	1,74	0,10	0,020

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _p /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4965 III SW 6/1	Ah	0-4	0,28	3	21	76	18	41	42	22	67	12
4965 III SW 6/2	Bhv	4-15	0,20	3	16	81	4	31	65	22	64	14
4965 III SW 6/3	Bhv	15-30	0,16	2	14	84	0	15	85	18	61	21
4965 III SW 6/4	II fBv	30-45	0,13	1	11	88	0	18	82	15	51	33
4965 III SW 6/5	II fBv	45-60	0,11	1	9	89	0	12	88	19	49	31

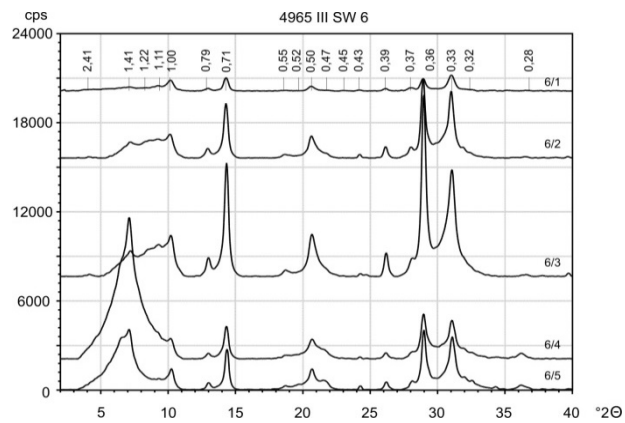
A.2.2.47 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4965 III SW 6/1	363,49	116,49	164,82	18,89	41,73	47,12	27351,27	576,26	56,70	3181,50	3657,56	21891,24
4965 III SW 6/2	342,21	123,03	173,34	15,78	18,65	51,88	26753,13	332,85	57,01	3245,27	2573,07	22471,75
4965 III SW 6/3	399,84	116,58	173,88	19,38	19,53	47,12	25632,45	241,67	50,05	3127,78	2148,61	23347,68
4965 III SW 6/4	388,11	187,59	179,14	19,56	15,47	50,53	33223,87	207,17	71,99	3771,93	2055,33	23124,46
4965 III SW 6/5	423,86	153,97	172,92	27,04	19,90	58,77	35390,85	171,12	72,92	4156,68	2439,57	22468,53

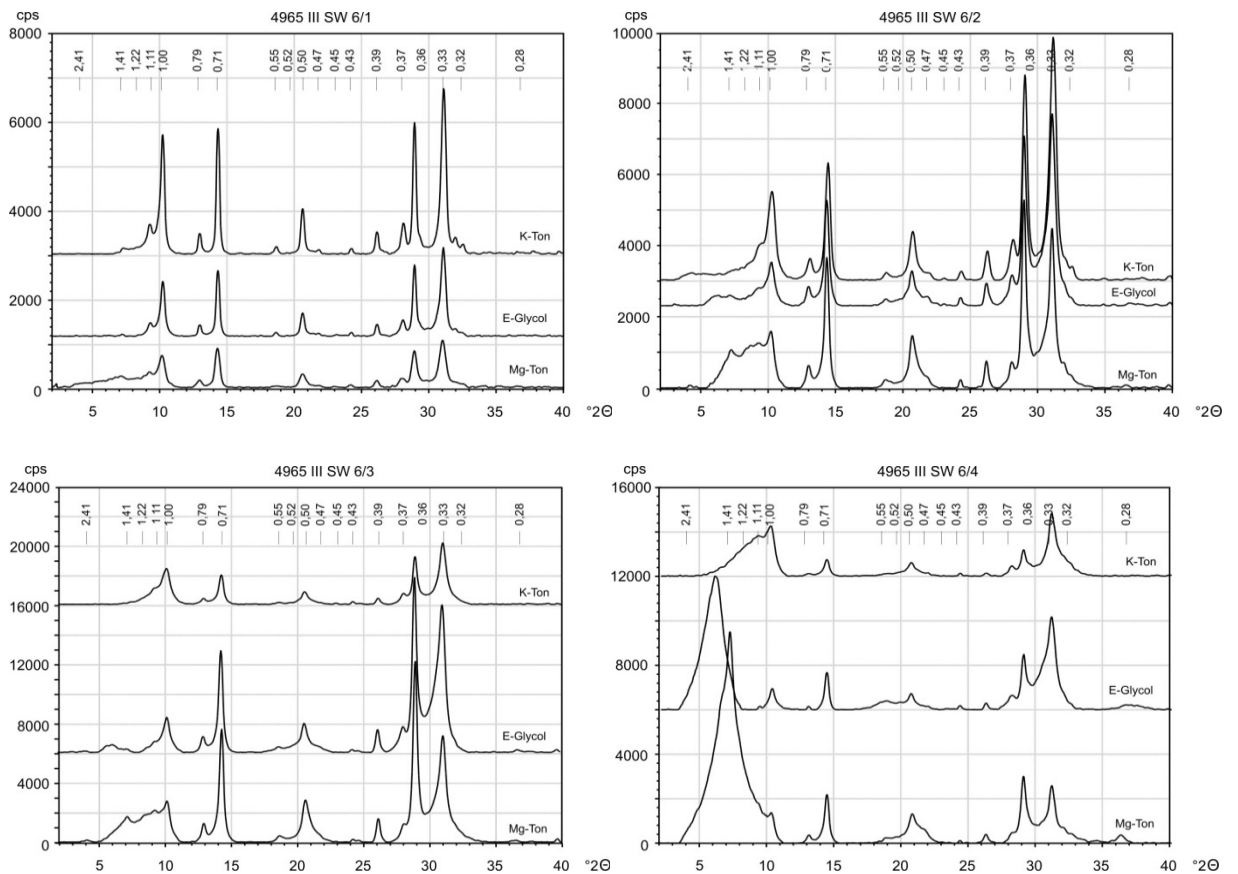
*nicht nachweisbar: Se, As, Hg, W, Ni, Co, S, Ba, Cs, Te, Sn; nicht dargestellt: Mo, U, Cu, Cr, Sc, Sb, Cd, Ag, Pd

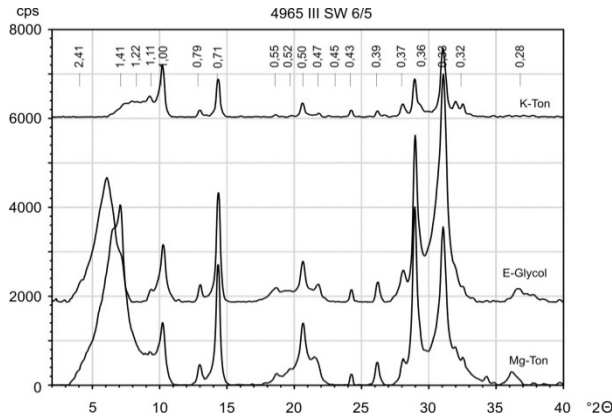
A.2.2.48 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben





Gold Hill 4965 III SW 7

GPS: N 40° 03' 13,7'', W 105° 29' 22,3'', 2716 m NN, ± 5 m

A.2.2.49 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
Bv	0-40	7/1 7/2 OSL7/1	0-25 25-40 35	Hauptlagencharakter, wirt eingelagerte Fein-, Mittel- und Grobsteine, locker gelagert, porenreich, stark durchwurzelt, viele Feinwurzeln, hoher äolischer Anteil
II	40-65	7/3	40-65	Basislagencharakter, Schluffkappen, stark von Feinwurzeln durchzogen, grau-schwarz, vermutlich vom Wurzeldestritus, wasserzünftig, locker gelagert, Skelett eingeregelt
III	65-100	7/4	65-100	Wechsel von hellem und rötlich gelben Bereichen, solifluidal verzogen, ohne äolische Beimengungen, Teile des liegenden Paläoboden in dieser Schicht eingearbeitet, schwach durchwurzelt, Wurzeluntergrenze am Schichtwechsel zum Paläoboden
IV fBvt	100-110 (125)	7/5	100-110	charakteristisch rotbraun verlehmt, gekappter Boden, liegt im Profil auf schlagfesten Gestein, stark zerrüttet, weiter links im Profil liegt der Paläoboden direkt auf dem vergrusten Saprolith, dicht gelagert
mC	115-135			schlagfestes Gestein, nur hier im Profil, Stelle mit Gestein, nicht an anderen Stelle zu finden
ICv	135-180+	7/6	110-180	Saprolith, typisch rötlich braun, mit einzelnen großen Steinen, sandig-grusig, deutlich lockerer gelagert

A.2.2.50 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
4965 III SW 7/1	Bv	0-25	34,22	34,7	24,4	11,2	70,2	10,0	7,7	5,0	22,7	7,1	Sl2	
4965 III SW 7/2	Bv	25-40	43,55	34,3	23,8	13,6	71,8	9,0	5,9	6,0	20,9	7,4	Sl2	
4965 III SW 7/3	II	40-65	60,83	35,0	26,2	14,3	75,5	8,2	4,8	4,5	17,6	6,9	Sl2	
4965 III SW 7/4	III	65-100	53,90	27,2	22,9	13,9	64,0	7,9	6,0	4,2	18,1	17,9	Ls4	
4965 III SW 7/5	IV fBvt	100-110	47,24	28,9	18,1	9,3	56,2	5,4	5,0	4,8	15,2	28,5	Lts	
4965 III SW 7/6	ICv	110-180	79,01	57,1	18,0	4,3	79,4	3,3	3,1	3,2	9,5	11,1	St2	

A.2.2.51 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4965 III SW 7/1	Bv	0-25	4,52	0,00	10YR 4/4	0,57	0,451	0,054	8	0,021
4965 III SW 7/2	Bv	25-40	4,62	0,00	10YR 5/6	0,33	0,251	0,042	6	0,017
4965 III SW 7/3	II	40-65	4,61	0,00	10YR 5/4	0,41	0,168	0,034	5	0,025
4965 III SW 7/4	III	65-100	4,45	0,00	10YR 5/6	0,28	0,212	0,033	6	0,012
4965 III SW 7/5	IV fBvt	100-110	3,97	0,00	7,5YR 5/8	0,11	0,098	0,034	3	0,021
4965 III SW 7/6	ICv	110-180	4,14	0,00	10YR 6/8	0,07	0,051	0,017	3	0,008

A.2.2.52 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4965 III SW 7/1	Bv	0-25	0,19	4,65	0,13	3,10	0,67	16,64	2,78	68,53	0,29	7,04	0,00	0,00	0,00	0,03	4,06	92,93
4965 III SW 7/2	Bv	25-40	0,17	3,23	0,16	2,92	1,24	22,93	3,58	66,07	0,25	4,70	0,00	0,00	0,01	0,16	5,42	95,13
4965 III SW 7/3	II	40-65	0,21	4,20	0,15	3,13	1,35	27,36	3,04	61,59	0,18	3,71	0,00	0,00	0,00	0,01	4,94	96,29
4965 III SW 7/4	III	65-100	0,26	3,18	0,17	2,01	2,99	36,06	4,37	52,78	0,48	5,81	0,00	0,00	0,01	0,16	8,28	94,03
4965 III SW 7/5	IV fBvt	100-110	0,28	2,54	0,14	1,21	4,12	36,76	3,47	30,93	3,19	28,47	0,00	0,00	0,01	0,09	11,22	71,44
4965 III SW 7/6	ICv	110-180	0,14	2,94	0,09	2,02	1,93	41,63	1,64	35,45	0,83	17,87	0,00	0,00	0,00	0,09	4,62	82,05

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.53 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan									Gesamtgehalt		
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			% Fe	% Al	% Mn
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d			
4965 III SW 7/1	Bv	0-25	0,03	0,02	0,003	0,02	0,01	0,000	0,71	0,07	0,003	0,77	0,09	0,006
4965 III SW 7/2	Bv	25-40	0,02	0,01	0,003	0,01	0,01	0,000	0,66	0,05	0,004	0,69	0,07	0,008
4965 III SW 7/3	II	40-65	0,01	0,01	0,003	0,01	0,01	0,001	0,74	0,04	0,003	0,76	0,05	0,007
4965 III SW 7/4	III	65-100	0,01	0,02	0,003	0,01	0,02	0,006	0,79	0,14	0,004	0,82	0,17	0,013
4965 III SW 7/5	IV fBvt	100-110	0,01	0,03	0,004	0,02	0,03	0,006	0,89	0,16	0,006	0,92	0,22	0,016
4965 III SW 7/6	ICv	110-180	0,01	0,01	0,004	0,00	0,01	0,009	0,70	0,10	0,012	0,71	0,11	0,025

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4965 III SW 7/1	Bv	0-25	0,03	4	3	93	19	7	75	47	8	45
4965 III SW 7/2	Bv	25-40	0,01	3	1	96	18	11	71	45	4	51
4965 III SW 7/3	II	40-65	0,01	2	1	97	11	10	79	38	20	42
4965 III SW 7/4	III	65-100	0,02	2	2	97	9	11	80	23	44	33
4965 III SW 7/5	IV fBvt	100-110	0,02	1	2	96	14	16	70	26	37	37
4965 III SW 7/6	ICv	110-180	0,00	1	0	98	9	4	86	17	36	47

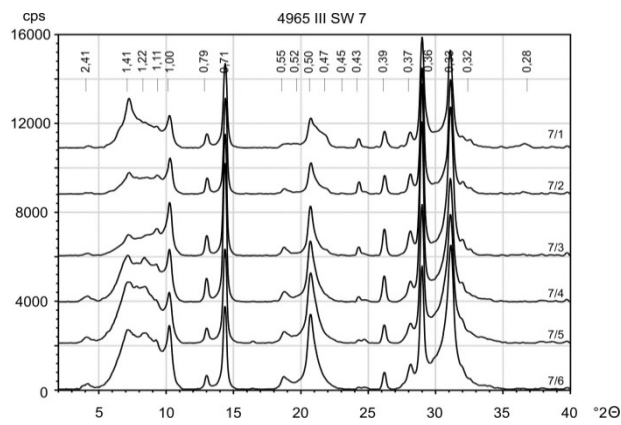
A.2.2.54 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4964 III SE 7/1	437,40	509,56	143,96	9,68	27237,88	58,04	442,43	67,16	3119,01	8601,03	22399,30	437,40
4964 III SE 7/2	505,95	512,94	139,85	12,43	28699,47	52,65	495,75	63,92	2953,43	8039,73	20351,81	505,95
4964 III SE 7/3	291,49	496,22	137,04	18,58	32563,12	50,07	425,96	62,03	3320,34	8208,74	18293,21	291,49
4964 III SE 7/4	246,28	532,30	138,72	6,75	29925,33	52,03	489,63	56,96	3232,07	8202,77	19207,47	246,28
4964 III SE 7/5	293,41	570,42	138,89	9,53	29329,55	50,04	468,33	58,86	3113,36	8618,20	19974,06	293,41
4964 III SE 7/6	286,70	595,63	143,36	8,54	26725,10	49,57	448,33	55,11	2974,97	8172,78	21902,57	286,70
4964 III SE 7/7	386,18	591,94	143,96	13,27	25459,99	45,40	392,06	64,75	2828,28	8107,25	21161,45	386,18

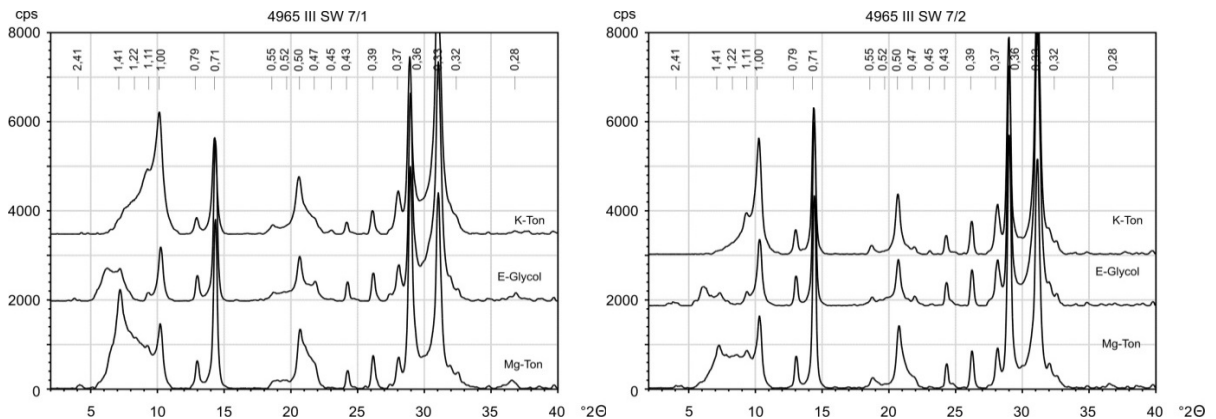
*nicht nachweisbar: Se, As, Hg, W, Ni, Co, S, Ba, Cs, Te, Sn; nicht dargestellt: Mo, U, Cu, Cr, Sc, Sb, Cd, Ag, Pd

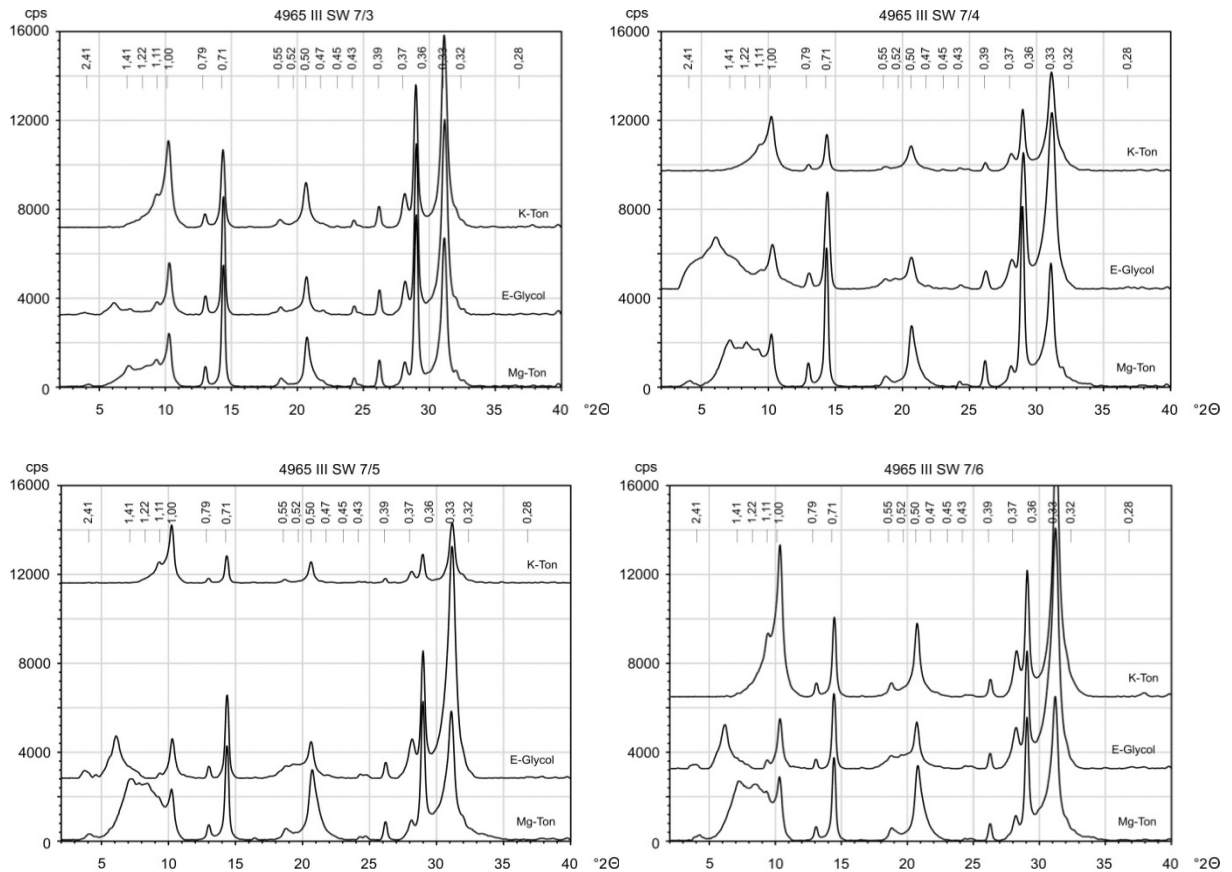
A.2.2.55 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben





Gold Hill 4965 III SW 8

GPS: N 40° 03' 13,7", W 105° 29' 22,3", 2716 m NN, ± 5 m

A.2.2.56 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
I	0-65	8/1 8/2 OSL8/1	0-30 30-65 40	grusiger und kompakter als in Profil 7, sonst gleichartig, keine Lehmhauben, wirre Lagerung
II	65-80	8/3 OSL 8/2	65-80 75	Beimengungen des Paläobodens enthalten, aber graue Farbe überwiegt, lockerer gelagert als I, gut durchwurzelt, Schichtgrenze unterhalb keine Wurzeluntergrenze
III	80-145	8/4 8/5 OSL 8/3 OSL 8/4 OSL 8/6	90-110 120-140 105 140 75 (neben Profil aber in dieser Schicht)	verglichen mit II auffällig skelettarm, deutlich weniger als in allen anderen Schichten, LB-Merkmale, Bänderung, die mit dem Sedimentationsgeschehen übereinstimmt, verlagertes Solum vermischt mit Saprolith (Paläoboden), Bänder-Bt
IV	145-180	8/6 OSL 8/5	145-180 165	grau-schwarze Basislage, vergrust, Skelett schlagfest, am Schichtwechsel teils Steinlage, Lehmkappen auf den Steinen, wasserzünftig, dicht gelagert, von Feinwurzeln durchzogen
C	180-200+			Zerrüttungs-/Zerfallszone, im Verband zerfallene Steine, typisch für Lithotyp, Steine: Lehmhauben und nasse Unterseiten im sonst trockenen Profil

A.2.2.57 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden-art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4965 III SW 8/1	I	0-30	27,79	26,1	29,9	18,7	74,8	7,7	6,9	4,1	18,7	6,5	SI2
4965 III SW 8/2	I	30-65	28,77	20,6	29,1	23,2	72,9	10,6	9,2	0,2	20,0	7,1	SI2
4965 III SW 8/3	II	65-80	38,72	28,8	23,6	15,2	67,6	8,6	7,3	4,9	20,8	11,6	SI3
4965 III SW 8/4	III	90-110	45,55	34,8	21,5	10,2	66,6	6,4	6,7	4,9	18,0	15,4	SI4
4965 III SW 8/5	III	120-140	45,73	33,7	22,0	10,7	66,5	5,7	6,6	5,5	17,8	15,8	SI4
4965 III SW 8/6	IV	145-180	62,01	31,2	28,2	14,5	73,9	7,5	5,3	4,0	16,8	9,3	SI3

A.2.2.58 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4965 III SW 8/1	I	0-30	5,68	0,00	10YR 3/4	0,60	0,457	0,040	11	0,001
4965 III SW 8/2	I	30-65	4,75	0,00	10YR 5/6	0,36	0,200	0,045	4	0,027
4965 III SW 8/3	II	65-80	4,52	0,00	10YR 3/4	0,30	0,154	0,023	7	0,007
4965 III SW 8/4	III	90-110	4,43	0,00	10YR 5/8	0,20	0,085	0,032	3	0,025
4965 III SW 8/5	III	120-140	4,02	0,00	10YR 5/8	0,14	0,081	0,022	4	0,022
4965 III SW 8/6	IV	145-180	4,41	0,00	10YR 5/6	0,10	0,049	0,023	2	0,029

A.2.2.59 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4965 III SW 8/1	I	0-30	0,38	8,61	0,16	3,65	1,09	24,94	2,73	62,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12	4,36	99,88
4965 III SW 8/2	I	30-65	0,30	7,19	0,14	3,27	1,15	27,30	2,37	56,35	0,24	5,76	0,00	0,00	0,01	0,14	4,21	94,11
4965 III SW 8/3	II	65-80	0,20	3,60	0,15	2,80	2,25	40,85	2,50	45,37	0,31	5,62	0,00	0,00	0,10	1,77	5,51	92,61
4965 III SW 8/4	III	90-110	0,22	2,89	0,17	2,20	3,61	47,86	3,18	42,04	0,36	4,79	0,00	0,00	0,02	0,22	7,55	94,99
4965 III SW 8/5	III	120-140	0,17	1,70	0,27	2,62	4,02	39,65	3,54	34,86	2,09	20,61	0,00	0,00	0,06	0,56	10,15	78,83
4965 III SW 8/6	IV	145-180	0,11	2,61	0,10	2,26	1,78	41,91	2,06	48,57	0,18	4,34	0,00	0,00	0,01	0,31	4,24	95,35

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.60 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4965 III SW 8/1	I	0-30	0,02	0,01	0,004	0,03	0,03	0,001	0,55	0,06	0,001	0,61	0,10	0,007
4965 III SW 8/2	I	30-65	0,01	0,01	0,003	0,01	0,01	0,000	1,08	0,08	0,004	1,10	0,10	0,007
4965 III SW 8/3	II	65-80	0,01	0,01	0,003	0,02	0,00	0,008	0,85	0,05	0,006	0,88	0,06	0,017
4965 III SW 8/4	III	90-110	0,01	0,01	0,003	0,01	0,01	0,003	0,58	0,12	0,002	0,59	0,14	0,008
4965 III SW 8/5	III	120-140	0,01	0,02	0,004	0,00	0,00	0,007	0,59	0,03	0,004	0,61	0,05	0,015
4965 III SW 8/6	IV	145-180	0,00	0,00	0,005	0,01	0,00	0,046	0,76	0,02	0,005	0,78	0,02	0,056

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion								
				Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4965 III SW 8/1	I	0-30	0,06	3	5	92	10	26	64	63	17	20
4965 III SW 8/2	I	30-65	0,01	1	1	98	14	13	73	38	2	61
4965 III SW 8/3	II	65-80	0,02	1	2	97	14	5	81	16	48	36
4965 III SW 8/4	III	90-110	0,01	2	1	97	9	8	82	36	39	25
4965 III SW 8/5	III	120-140	0,00	2	0	98	40	5	55	26	48	26
4965 III SW 8/6	IV	145-180	0,02	1	2	97	0	0	100	8	83	9

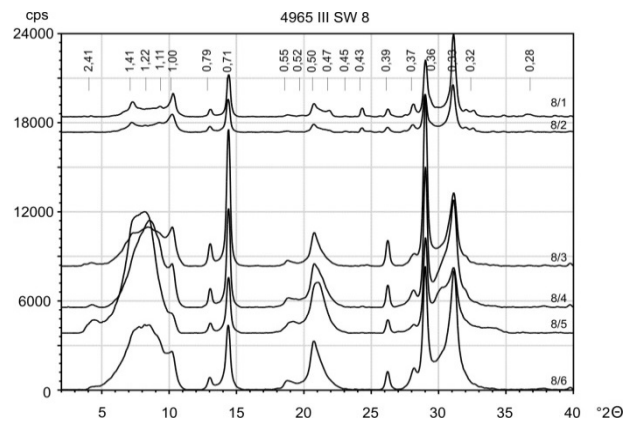
A.2.2.61 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4965 III SW 8/1	346,28	336,37	212,84	32,24	24,01	104,79	34287,39	185,64	70,64	3931,69	7772,51	20272,23
4965 III SW 8/2	482,86	322,91	254,74	58,73	13,26	136,28	52388,08	223,38	94,08	4872,11	8143,12	20707,00
4965 III SW 8/3	338,31	n.n.	323,49	41,43	7,94	130,43	46118,64	443,57	80,76	4323,91	1700,32	29887,14
4965 III SW 8/4	292,26	72,20	334,10	56,61	36,07	79,89	16813,76	81,02	45,97	1865,69	1033,68	40687,40
4965 III SW 8/5	371,36	29,81	297,71	54,75	28,83	92,65	21066,43	200,49	46,57	1887,21	1953,42	33523,13
4965 III SW 8/6	155,88	n.n.	346,85	13,11	20,42	92,76	34256,38	632,40	42,60	2740,40	1035,42	30099,09

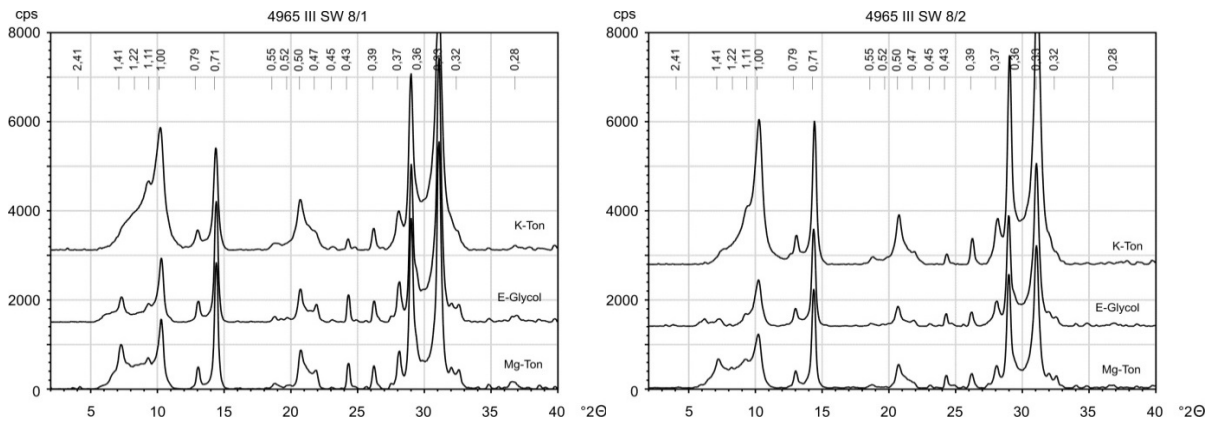
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

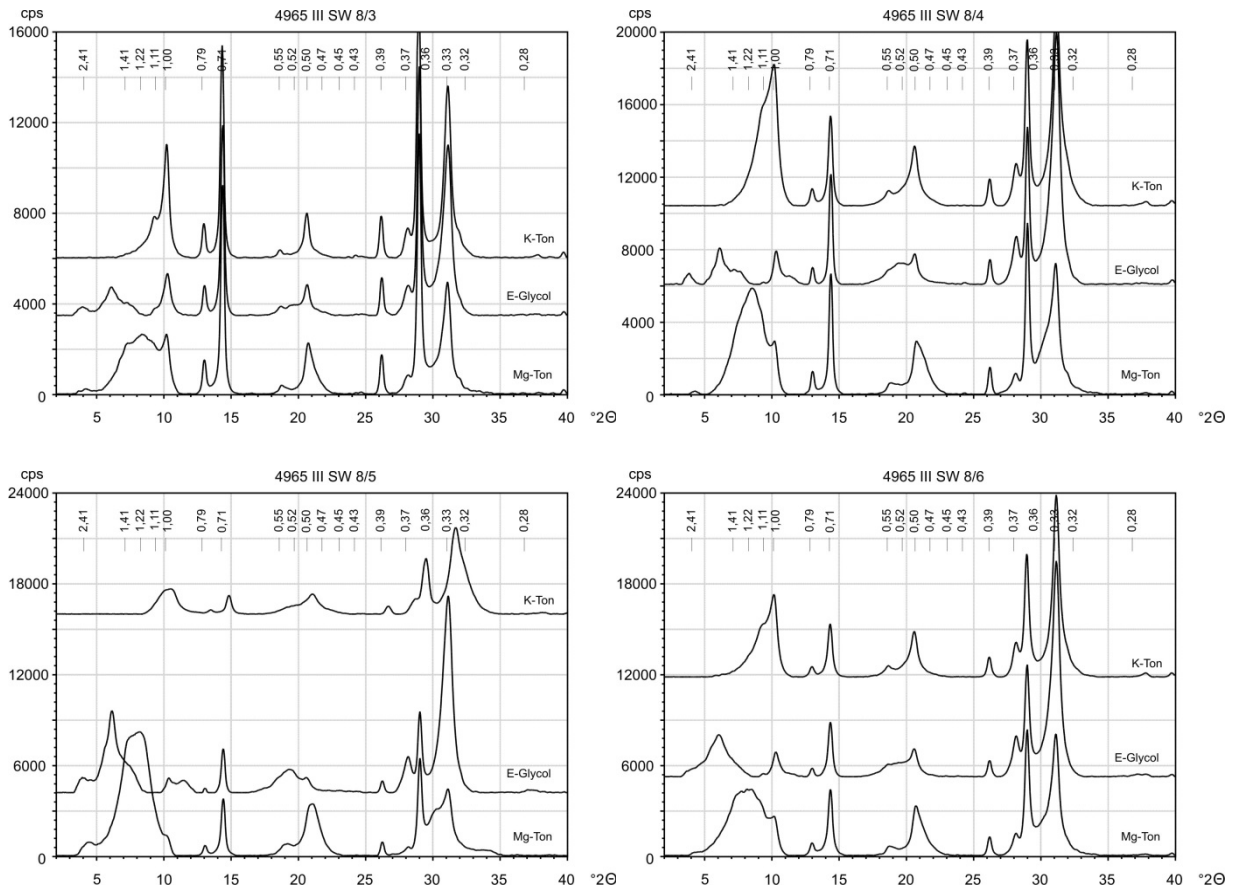
A.2.2.62 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben





Gold Hill 4965 III SW 12

GPS: N 40° 05' 04,89'', W 105° 22' 38,72'', 2281 m NN

A.2.2.63 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
I	0-30	12/1	0-30	Hauptlagencharakter, sehr steinreich in feiner Matrix, locker gelagert, gut durchwurzelt (Versorgungswurzeln), allerdings starker im Saprolith, gräulich
II Bv	30-60	12/2	30-60	Bv im Saprolith entwickelt, braune Farbe, dicht gelagert, stark durchwurzelt, sandig-schluffig, wenig Grus
ICv	60-200+	12/3 12/4	60-90 90-110	Saprolith, grusig-sandig, stark durchwurzelt von Feinwurzeln (Versorgung), v.a. entlang der Klüfte, rötliche Klüftflächen in grau-weißbrauner Matrix, dichte Lagerung

A.2.2.64 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	Korngrößen Gew. %										Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
4965 III SW 12/1	I	0-30	38,12	25,1	22,3	17,0	64,4	8,3	7,4	7,9	23,5	12,1	SI4	
4965 III SW 12/2	II Bv	30-60	34,31	24,5	18,9	14,8	58,1	8,5	9,7	5,3	23,5	18,5	Ls4	
4965 III SW 12/3	ICv	60-90	47,91	28,1	26,9	17,1	72,1	6,5	6,5	4,8	17,8	10,1	SI3	
4965 III SW 12/4	ICv	90-110	39,95	34,9	29,5	16,7	81,1	5,7	4,2	3,1	13,0	5,8	SI2	

A.2.2.65 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4965 III SW 12/1	I	0-30	5,92	0,00	10YR 3/3	1,34	1,220	0,136	9	0,049
4965 III SW 12/2	II Bv	30-60	5,92	0,00	10YR 4/3	0,59	0,570	0,077	7	0,021
4965 III SW 12/3	ICv	60-90	5,99	0,00	2,5Y 4/4	0,15	0,243	0,036	7	0,007
4965 III SW 12/4	ICv	90-110	6,01	0,00	2,5Y 4/3	0,12	0,061	0,028	2	0,015

A.2.2.66 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4965 III SW 12/1	I	0-30	0,35	3,17	0,06	0,52	1,55	14,15	9,00	81,95	0,00	0,00	0,01	0,08	0,01	0,12	10,99	99,80
4965 III SW 12/2	II Bv	30-60	0,29	1,12	0,10	0,37	3,71	14,52	21,47	83,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,56	100,00
4965 III SW 12/3	ICv	60-90	0,14	0,61	0,10	0,44	3,16	13,88	19,39	85,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,79	100,00
4965 III SW 12/4	ICv	90-110	0,11	0,73	0,13	0,88	1,73	11,53	12,99	86,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	14,97	99,93

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.67 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4965 III SW 12/1	I	0-30	0,00	0,01	0,000	0,00	0,03	0,013	0,58	0,03	0,001	0,59	0,07	0,014
4965 III SW 12/2	II Bv	30-60	0,00	0,00	0,000	0,00	0,06	0,011	0,93	0,07	0,007	0,93	0,13	0,018
4965 III SW 12/3	ICv	60-90	0,00	0,00	0,000	0,00	0,03	0,015	0,66	0,04	0,005	0,66	0,07	0,021
4965 III SW 12/4	ICv	90-110	0,00	0,00	0,000	0,00	0,01	0,013	0,32	0,01	0,001	0,32	0,02	0,014

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4965 III SW 12/1	I	0-30	0,01	0	1	99	9	45	46	0	91	9
4965 III SW 12/2	II Bv	30-60	0,00	0	0	100	1	46	53	0	59	41
4965 III SW 12/3	ICv	60-90	0,00	0	0	100	0	47	53	0	74	26
4965 III SW 12/4	ICv	90-110	0,00	0	0	100	0	50	50	0	92	8

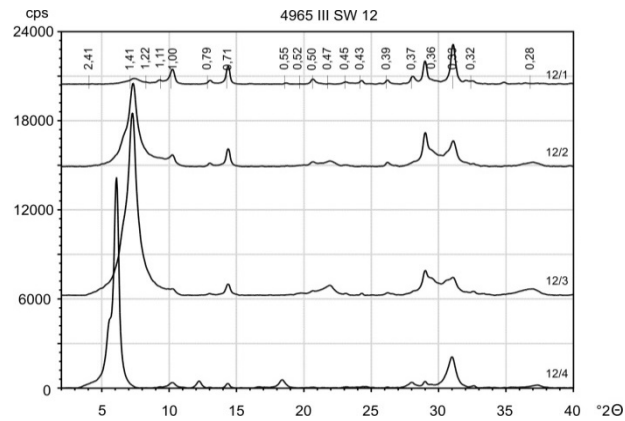
A.2.2.68 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4965 III SW 12/1	302,75	367,98	181,99	12,27	28,26	50,69	27823,83	372,75	70,86	3157,57	6948,47	21920,81
4965 III SW 12/2	333,49	555,07	149,03	n.n.	7,69	68,70	51169,01	686,34	105,46	4602,20	10709,59	16279,99
4965 III SW 12/3	321,28	655,52	155,49	n.n.	n.n.	73,50	47810,59	689,34	102,92	4569,43	12702,85	14328,13
4965 III SW 12/4	430,91	942,17	256,97	6,41	n.n.	91,06	54296,64	818,21	104,80	6043,81	15379,19	20229,28

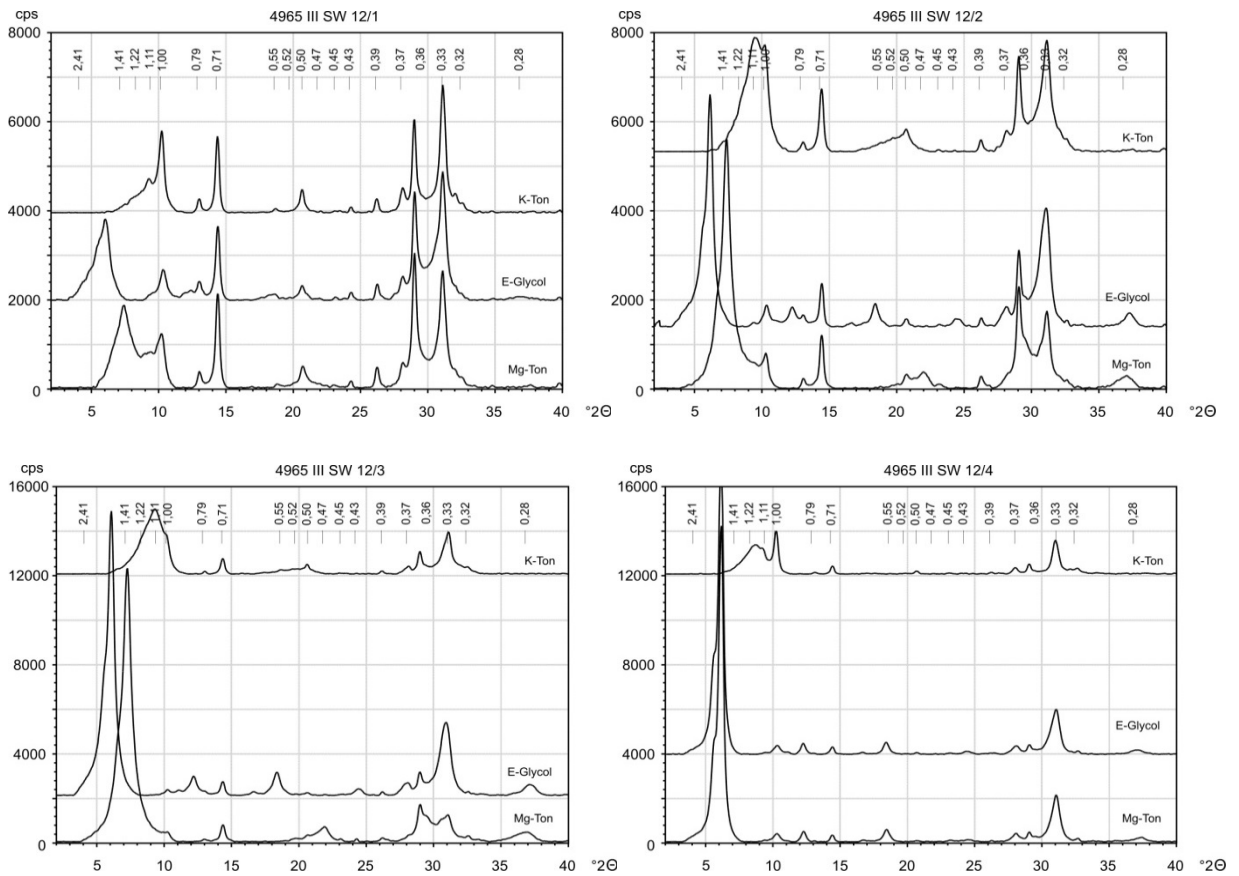
*nicht nachweisbar: Se, As, Hg, W, Ni, Co, S, Ba, Cs, Te, Sn; nicht dargestellt: Mo, U, Cu, Cr, Sc, Sb, Cd, Ag, Pd

A.2.2.69 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben



Gold Hill 4965 III SW 14

GPS: N 40° 01,422', W 105° 28,697', 2725 m NN, ± 5 m

A.2.2.70 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
L Of Oh	+ 3,5-1,5 + 1,5-0,5 + 0,5-0			Kiefernadeln
Bhv	0-35	14/1 14/2 OSL 14/1	5-15 20-30 20	verspültes Material, rezente Spülprozesse, Akkumulationsbereich auf der Terrasse, braun, intensiv durchwurzelt (Halte- und Feinwurzeln), relativ viel grobes Material, Sand (Grobsand), wenig Feinmaterial, kaum Steine/Blöcke
II fAh	35-47	14/3 OSL 14/2	35-45 38	hellgelb, markant heller als Liegendes und Hangendes, relativ wenig Steine, krümeliges Gefüge, sandig-grusig, kleine Steine, schon mehr Feinmaterial als oberhalb, gut durchwurzelt, etwas weniger als oberhalb
III fBt	47-70	14/4 14/5 OSL 14/3 OSL 14/4	50-60 60-70 48 60	gelb-rötlich, rötlich marmoriert, Tonanreicherungen in Flecken, Toncutane, Subpolyeder, viel feines Material, allerdings auch noch viel sandig-grusiges Material mit kleinen Steinen, zunehmend nach untenhin große Steine/kleine Blöcke, gut durchwurzelt, viele Feinwurzeln, Basislagencharakter (Lehmhauben/blanke Unterseiten, evtl. auch eingeregelt)
ICv	70-80+			Zerfallszone, immer noch gut durchwurzelt, Bt-Dynamik greift in C über, grobe Steine der Zerfallszone mit relativ feiner Matrix (Tonverlagerung), fast keine sandigen Anteile mehr

A.2.2.71 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4965 III SW 14/1	Bhv	5-15	31,53	45,1	20,2	6,9	72,2	7,4	9,3	4,5	21,3	6,5	SI2
4965 III SW 14/2	Bhv	20-30	35,30	36,6	24,7	9,8	71,1	9,6	8,6	5,5	23,7	5,2	SI2
4965 III SW 14/3	II fAh	35-45	39,86	36,2	22,9	9,3	68,4	9,8	9,1	5,9	24,8	6,8	SI2
4965 III SW 14/4	III fBt	50-60	68,82	27,6	17,9	10,5	56,1	8,6	8,5	7,5	24,7	19,2	Ls4
4965 III SW 14/5	III fBt	60-70	69,56	22,7	18,5	12,3	53,5	8,0	9,7	8,5	26,2	20,3	Ls4

A.2.2.72 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4965 III SW 14/1	Bhv	5-15	4,31	0,00	10YR 4/4	0,87	0,971	0,049	20	0,063
4965 III SW 14/2	Bhv	20-30	4,04	0,00	7,5YR 4/4	0,57	0,647	0,042	15	0,012
4965 III SW 14/3	II fAh	35-45	4,26	0,00	10YR 5/6	0,25	0,262	0,032	8	0,000
4965 III SW 14/4	III fBt	50-60	4,26	0,00	7,5YR 5/8	0,19	0,285	0,042	7	0,000
4965 III SW 14/5	III fBt	60-70	4,04	0,00	7,5YR 5/6	0,45	0,442	0,039	11	0,000

A.2.2.73 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4965 III SW 14/1	Bhv	5-15	0,14	3,69	0,09	2,49	0,37	10,13	1,99	54,29	0,98	26,71	0,00	0,00	0,10	2,69	3,67	70,59
4965 III SW 14/2	Bhv	20-30	0,12	4,18	0,07	2,42	0,35	12,04	1,91	66,10	0,39	13,48	0,00	0,00	0,05	1,78	2,89	84,74
4965 III SW 14/3	II fAh	35-45	0,11	3,64	0,11	3,52	0,67	21,30	1,96	62,42	0,28	8,98	0,00	0,00	0,00	0,13	3,14	90,89
4965 III SW 14/4	III fBt	50-60	0,24	3,89	0,11	1,85	1,83	30,10	3,46	57,02	0,41	6,77	0,00	0,00	0,02	0,37	6,07	92,86
4965 III SW 14/5	III fBt	60-70	0,23	3,71	0,11	1,78	1,80	28,53	3,42	54,29	0,69	10,97	0,00	0,00	0,04	0,71	6,30	88,32

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.74 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan									Gesamtgehalt		
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			% Fe	% Al	% Mn
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d			
4965 III SW 14/1	Bhv	5-15	0,03	0,02	0,006	0,02	0,01	0,002	0,44	0,00	0,004	0,48	0,03	0,013
4965 III SW 14/2	Bhv	20-30	0,02	0,00	0,005	0,02	0,01	0,003	0,44	0,00	0,006	0,48	0,01	0,014
4965 III SW 14/3	II fAh	35-45	0,01	0,00	0,003	0,01	0,01	0,003	0,42	0,02	0,005	0,44	0,03	0,011
4965 III SW 14/4	III fBt	50-60	0,00	0,00	0,005	0,01	0,03	0,006	0,89	0,06	0,008	0,91	0,09	0,019
4965 III SW 14/5	III fBt	60-70	0,01	0,00	0,005	0,01	0,01	0,005	0,70	0,08	0,007	0,72	0,10	0,017

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4965 III SW 14/1	Bhv	5-15	0,05	6	4	90	53	47	0	49	18	33
4965 III SW 14/2	Bhv	20-30	0,05	3	5	92	0	100	0	37	20	44
4965 III SW 14/3	II fAh	35-45	0,02	2	2	96	0	43	57	26	28	46
4965 III SW 14/4	III fBt	50-60	0,02	0	2	98	3	34	64	27	29	44
4965 III SW 14/5	III fBt	60-70	0,02	1	2	97	0	14	86	32	30	39

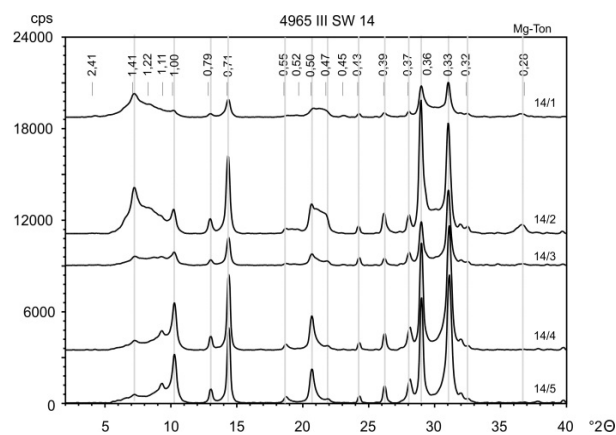
A.2.2.75 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4965 III SW 14/1	286,46	112,28	147,73	18,07	39,96	38,24	16649,95	222,98	38,00	2613,86	2619,79	13530,09
4965 III SW 14/2	389,18	97,23	145,99	27,95	26,11	41,01	20357,18	134,06	43,61	3033,18	2780,31	14961,10
4965 III SW 14/3	368,57	82,50	174,22	17,95	47,10	37,95	20225,84	68,24	32,61	2485,79	1872,16	18029,00
4965 III SW 14/4	297,08	34,91	189,96	20,67	64,03	50,24	23463,09	103,24	40,76	2499,15	1563,08	19904,41
4965 III SW 14/5	396,28	48,52	237,72	48,69	61,57	62,58	35630,80	243,96	61,74	3574,04	1832,06	24376,51

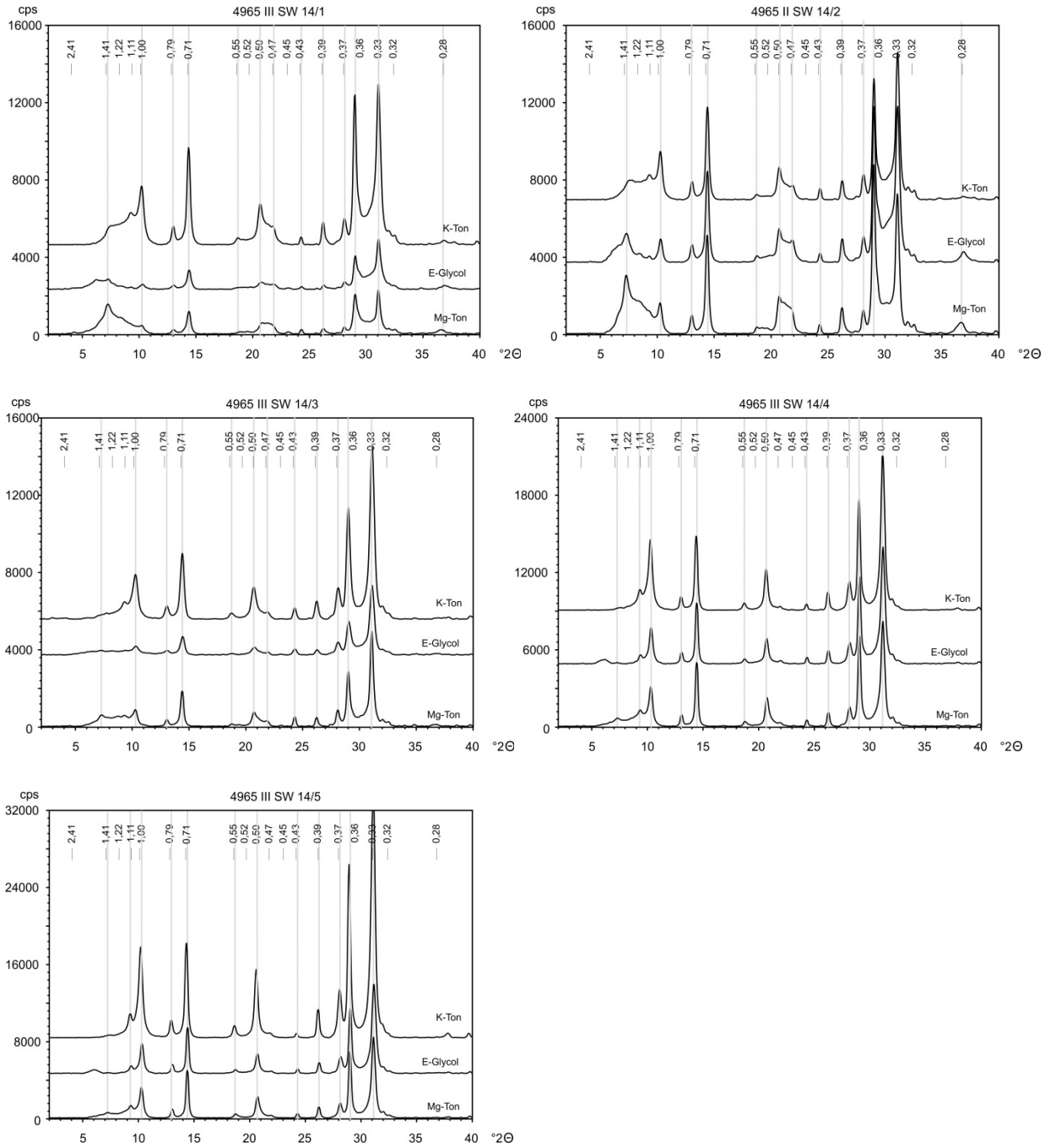
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.76 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben



Gold Hill 4965 III SW 20

GPS: N 40° 0' 45,8'', W 105° 28' 14,4'', 2547 m, ± 6 m

A.2.2.77 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
I	0-30	20/1	10-25	humose Schicht, vermutlich jung, verspült, Krümelgefüge, sandig-lehmige Matrix, vereinzelt Steine, sehr gut durchwurzelt, dunkelbraun, locker gelagert
II	30-80	20/2 OSL 20/1	40-60 50	hellbraun-graue Schicht, sandig-grusig mit kleinen Steinen, vereinzelt größere Steine mit Lehmhauben/blanke Unterseite, gut durchwurzelt, mäßig dicht
III Bt	80-120	20/3 OSL 20/2	90-110 100	hellbraun-grau, sandig-grusig mit kleinen Steinen, viele größere Steine und Blöcke, hangparallel eingeregelt, gut ausgeprägte Lehmhauben/blanke Unterseiten, mäßig stark durchwurzelt, dicht gelagert
IV	120-140+	20/4	120-140	ähnlich wie III, aber dichter gelagert, Steine noch besser eingeregelt und kompaktiert

A.2.2.78 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w . %									Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4965 III SW 20/1	I	10-25	20,36	22,6	28,5	10,9	62,0	10,8	9,3	5,0	25,2	12,8	Sl4
4965 III SW 20/2	II	40-60	34,53	44,7	33,8	6,1	84,6	3,4	3,7	2,3	9,4	6,0	St2
4965 III SW 20/3	III Bt	90-110	41,85	40,2	37,3	7,7	85,3	3,9	3,0	2,5	9,5	5,3	St2
4965 III SW 20/4	IV	120-140	46,59	12,1	17,9	17,8	47,9	14,4	9,2	7,3	30,8	21,3	Ls3

A.2.2.79 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4965 III SW 20/1	I	10-25	5,44	0,00	10R 2,5/1	0,68	0,853	0,085	10	0,190
4965 III SW 20/2	II	40-60	5,86	0,00	10YR 4/6	0,10	0,174	0,048	4	0,046
4965 III SW 20/3	III Bt	90-110	5,94	0,00	7,5YR 4/4	0,29	0,259	0,050	5	0,038
4965 III SW 20/4	IV	120-140	6,09	0,00	10YR 4/6	0,05	0,122	0,050	2	0,029

A.2.2.80 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4965 III SW 20/1	I	10-25	0,16	0,75	0,02	0,08	0,45	2,11	20,77	97,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,02	21,41	99,95
4965 III SW 20/2	II	40-60	0,06	0,52	0,03	0,27	0,21	1,71	11,75	97,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,05	100,00
4965 III SW 20/3	III Bt	90-110	0,06	0,49	0,02	0,15	0,27	2,24	11,68	97,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,03	100,00
4965 III SW 20/4	IV	120-140	0,06	0,55	0,02	0,18	0,25	2,22	11,12	97,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,45	100,00

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.81 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan									Gesamtgehalt		
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			% Fe	% Al	% Mn
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d			
4965 III SW 20/1	I	10-25	0,02	0,00	0,006	0,12	0,06	0,024	0,29	0,10	0,000	0,43	0,17	0,031
4965 III SW 20/2	II	40-60	0,00	0,00	0,005	0,03	0,00	0,000	0,24	0,05	0,000	0,26	0,06	0,005
4965 III SW 20/3	III Bt	90-110	0,00	0,00	0,005	0,03	0,00	0,000	0,22	0,03	0,000	0,24	0,03	0,005
4965 III SW 20/4	IV	120-140	0,00	0,00	0,006	0,03	0,00	0,000	0,28	0,05	0,000	0,30	0,05	0,006

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

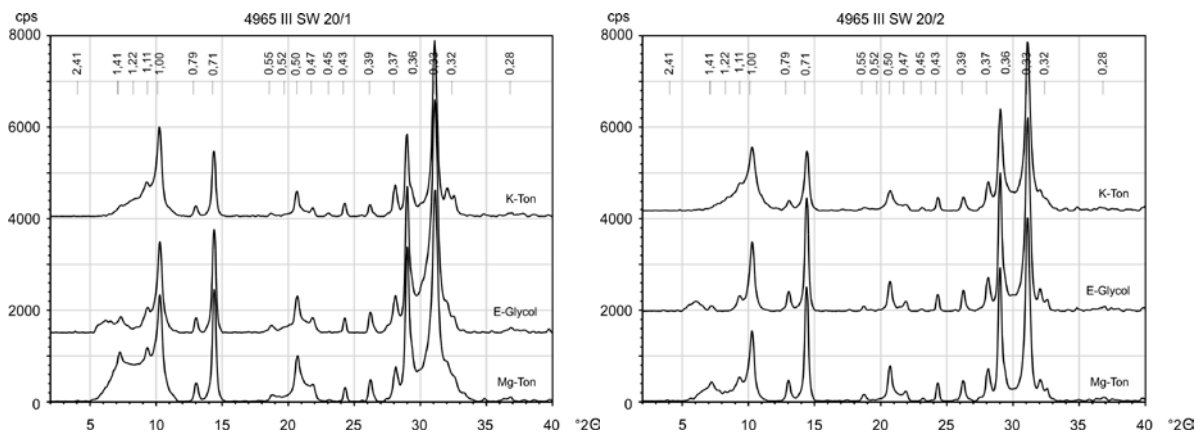
Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4965 III SW 20/1	I	10-25	0,42	4	29	68	0	38	62	20	79	0
4965 III SW 20/2	II	40-60	0,12	0	11	89	0	4	96	100	0	0
4965 III SW 20/3	III Bt	90-110	0,11	0	10	90	0	0	100	100	0	0
4965 III SW 20/4	IV	120-140	0,10	0	9	91	0	8	92	100	0	0

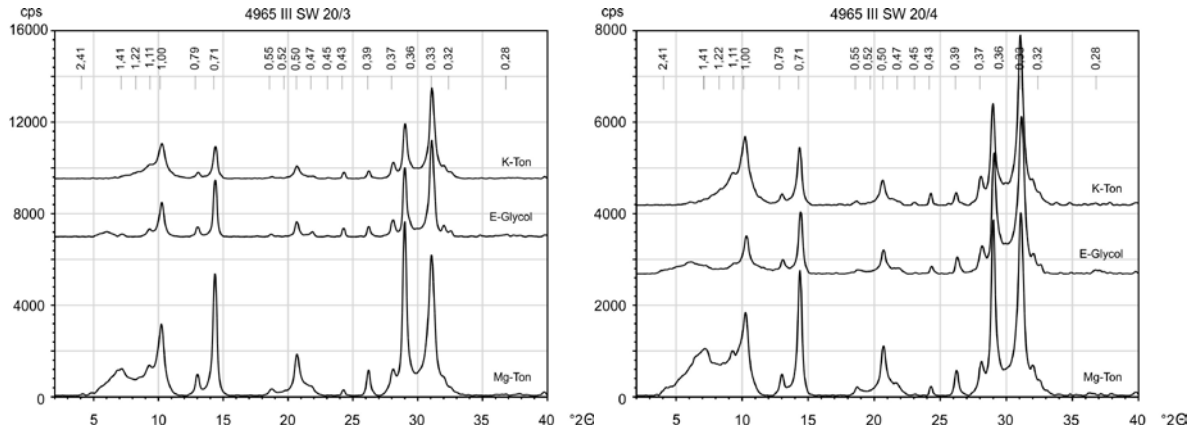
A.2.2.82 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4965 III SW 20/1	332,81	178,82	132,84	13,86	12,31	76,71	24024,51	602,35	44,72	2796,22	3740,84	14121,22
4965 III SW 20/2	248,58	203,56	139,35	7,66	20,39	22,28	19629,21	98,07	37,06	2586,39	2623,67	18017,38
4965 III SW 20/3	274,68	120,04	141,13	15,02	22,17	29,73	21943,52	151,60	36,73	3621,74	2467,44	19101,68
4965 III SW 20/4	231,27	210,44	175,99	26,32	20,81	35,92	24863,59	314,37	52,44	3453,13	3211,06	20543,33

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.83 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion





Eldorado Springs 4963 IV NE 1

GPS: N 39° 55' 02,3'', W 105° 21' 55,6'', 2405 m NN, ± 4 m

A.2.2.84 Profilbeschreibung

Horizont/Schicht	Tiefe [cm]	Proben-Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
I	0-30	1/1	0-30	Hauptlagencharakter, skeletthaltig, keine Steinanreicherungen an der Oberfläche oder am Schichtwechsel → nicht aus dem Liegenden entstanden
II	30-140	1/2	30-140	nicht differenzierbare periglaziale Schuttlage, keine Schluffkappen oder Ähnliches, das haften würde (→ Ursache Trockenheit oder grobes Material)
ICv	140-240+	1/3 1/4 1/5	140-150 150-200 200-240	Saprolith, Schichtwechsel nach oben hin von Steinanreicherungen begleitet, charakteristischer rot gefärbter/rostbrauner Bereich (Probe 1/3) 1-5 cm stark/im Mittel 3 cm an der Obergrenze dieser Schicht (zur Schicht gehörig), der gesamte Saprolith ist am Hang verzogen, Pseudoschichtung (analog: Hakenschlagen), oxidierte und reduzierte Bereiche, Klüfte von vielen Wurzeln durchzogen → Wasserzügigkeit

A.2.2.85 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %								Boden-art	
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U		T
4963 IV NE 1/1	I	0-30	37,1	33,4	25,7	12,7	71,8	10,7	7,4	5,0	23,2	5,1	SI2
4963 IV NE 1/2	II	30-140	52,8	35,3	21,8	14,3	71,5	8,1	4,3	5,2	17,6	10,9	SI3
4963 IV NE 1/3	ICv	140-150	86,5	29,3	20,2	13,8	63,2	8,2	7,5	6,4	22,1	14,6	SI4
4963 IV NE 1/4	ICv	150-200	39,8	26,6	17,7	11,9	56,2	8,5	7,7	8,7	24,9	18,9	Ls4
4963 IV NE 1/5	ICv	200-240+	27,8	20,9	15,1	0,1	36,1	9,7	11,5	12,7	33,9	18,0	Ls3

A.2.2.86 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4963 IV NE 1/1	I	0-30	6,25	0,00	10YR 3/3	-	2,21	0,08	27	0,00
4963 IV NE 1/2	II	30-140	5,91	0,00	10YR 4/4	-	0,12	0,02	7	0,01
4963 IV NE 1/3	ICv	140-150	5,02	0,00	7,5YR 4/4	-	0,06	0,01	5	0,01
4963 IV NE 1/4	ICv	150-200	4,98	0,00	10YR 5/6	-	0,09	0,02	5	0,01
4963 IV NE 1/5	ICv	200-240+	5,39	0,00	10YR 4/4	-	0,07	0,01	9	0,00

A.2.2.87 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK	BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4963 IV NE 1/1	I	0-30	0,37	4,97	0,10	1,39	0,80	10,74	6,11	82,49	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,35	7,41	99,59
4963 IV NE 1/2	II	30-140	0,35	3,89	0,24	2,66	2,01	22,63	6,27	70,59	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,19	8,88	99,78
4963 IV NE 1/3	ICv	140-145	0,37	4,18	0,21	2,30	1,86	20,90	6,38	71,53	0,00	0,00	0,00	0,04	0,09	1,04	8,92	98,92
4963 IV NE 1/4	ICv	145-240	0,42	3,62	0,17	1,43	2,53	21,69	8,47	72,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,55	11,65	99,45
4963 IV NE 1/5	ICv	145-240	0,41	3,42	0,28	2,34	1,84	15,14	9,58	78,93	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,16	12,14	99,83

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.88 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4963 IV NE 1/1	I	0-30	0,06	0,02	0,005	0,19	0,04	0,011	0,36	0,01	0,002	0,60	0,06	0,018
4963 IV NE 1/2	II	30-140	0,00	0,01	0,000	0,14	0,03	0,009	0,89	0,06	0,003	1,03	0,09	0,012
4963 IV NE 1/3	ICv	140-150	0,00	0,00	0,000	0,11	0,01	0,016	1,30	0,06	0,002	1,42	0,07	0,018
4963 IV NE 1/4	ICv	150-200	0,00	0,01	0,000	0,09	0,02	0,016	0,83	0,07	0,004	0,93	0,09	0,020
4963 IV NE 1/5	ICv	200-240+	0,00	0,00	0,000	0,09	0,01	0,021	0,63	0,05	0,003	0,72	0,06	0,024

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4963 IV NE 1/1	I	0-30	0,53	10	31	59	35	55	10	28	61	11
4963 IV NE 1/2	II	30-140	0,15	0	13	86	12	28	60	0	75	25
4963 IV NE 1/3	ICv	140-150	0,09	0	8	92	1	19	80	0	87	13
4963 IV NE 1/4	ICv	150-200	0,11	0	10	89	8	17	74	0	80	20
4963 IV NE 1/5	ICv	200-240+	0,14	0	12	88	0	20	80	0	89	11

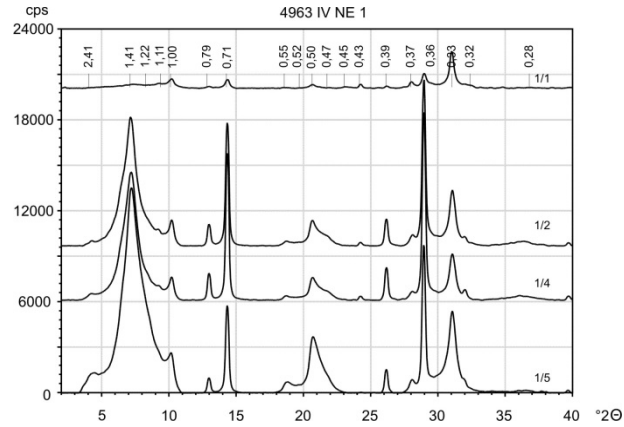
A.2.2.89 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Gelände in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4963 IV NE 1/1	395,63	523,47	195,80	23,31	29,91	64,41	21891,47	531,54	39,79	3043,89	5937,03	18214,86
4963 IV NE 1/2	359,25	408,57	235,63	29,94	28,91	66,89	31963,60	311,16	42,32	2006,49	3485,15	16007,99
4963 IV NE 1/3	480,32	602,95	281,08	55,23	25,10	44,91	36822,92	563,11	58,66	3337,98	4153,81	24226,74
4963 IV NE 1/4	482,39	472,45	213,21	44,91	21,76	59,16	29045,33	480,34	59,17	2961,22	3944,61	21757,52
4963 IV NE 1/5	423,90	645,69	206,21	58,54	23,99	51,23	27960,18	475,72	43,43	2322,47	3485,27	17064,09
RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4963 IV NE 1/1	391,33	495,41	197,85	19,76	42,25	51,57	19016,50	416,64	49,42	3199,80	6845,63	24971,06
4963 IV NE 1/2	470,43	437,77	244,87	47,48	23,33	67,81	30230,65	364,62	94,72	3799,27	6421,35	36960,83
4963 IV NE 1/3	551,52	661,68	287,00	69,42	23,72	47,22	30298,65	409,95	82,44	4355,08	5469,33	38576,30
4963 IV NE 1/4	569,61	722,87	218,37	49,21	26,15	61,10	28109,06	353,71	71,28	4076,91	5221,91	36806,84
4963 IV NE 1/5	514,63	773,97	230,64	51,56	19,28	48,52	27351,94	312,83	65,37	3266,95	4876,59	30980,13

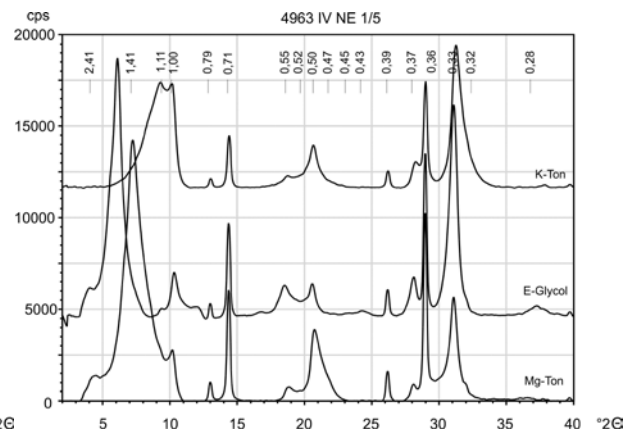
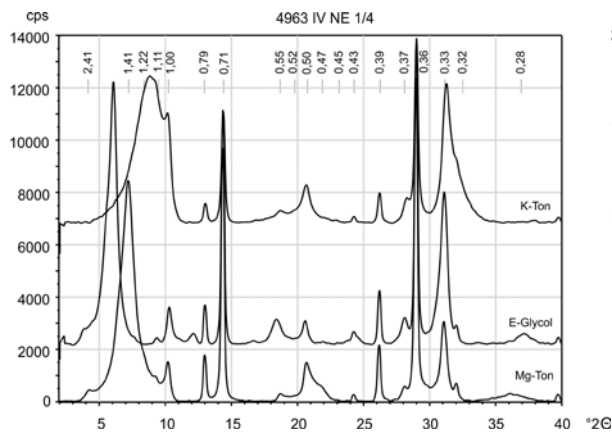
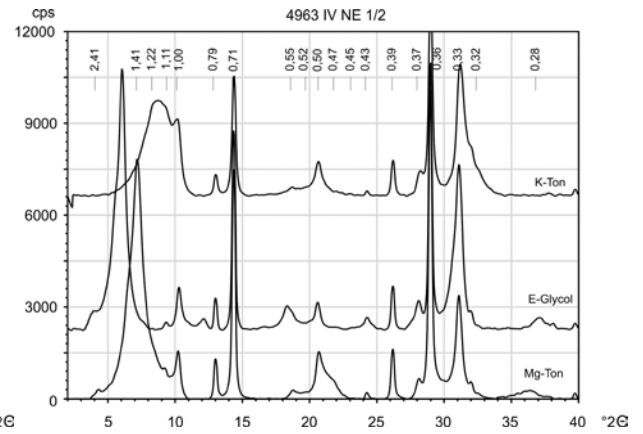
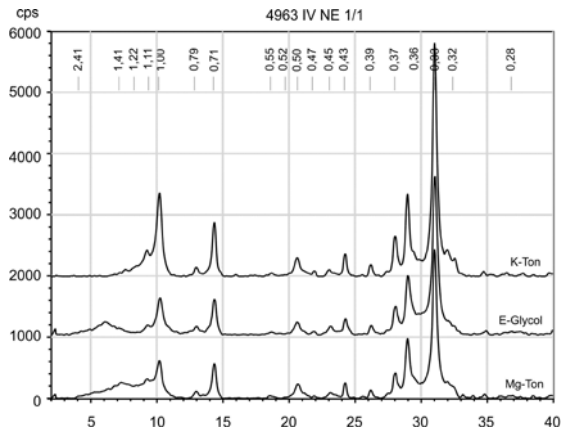
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.90 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben



Eldorado Springs 4963 IV NE 3

GPS: N 39° 55' 02,3'', W 105° 21' 55,6'', 2405 m NN, ± 4 m

A.2.2.91 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
L Of Oh		- - -		Es sind Of-Lagen entwickelt, darunter sehr kräftige Oh-Lage sowie bestens entwickelte Ah-Horizonte. Aber: das variiert stark und Abspülvorgänge haben teils mit > 5 cm Sediment die rezenten Oh-Horizonte fossilisiert. Kann mit dem Holzeinschlag in Verbindung gebracht werden. Hangneigung und schütterere Bodenvegetation bedingen hohe Bedeutung von Spüleffekten zumindest nach Störungen wie Feuer oder Holzeinschlag.
Ah	0-0,5	-		hier nur sehr schwach entwickelt
Alh	0,5-30	3/1	5-25	Hauptlagencharakter, keine Steinanreicherungen an der Bodenoberfläche, keine Spüleffekte, ungestörtes Bodenprofil, keine Skelettanreicherungs-effekte am Schichtwechsel, hauptsächlich äolische Materialgenese postuliert, hohe C-Gehalte verwundern
II Bbt	30-70	3/2 3/3	30-50 50-70	OSL-Beprobung 40-60 cm, senkrecht, streuende Tongehalte führen wir auf Beprobung innerhalb Bbt zurück
ICv		3/4	70-90	
III ICv	90(105)-120	3/5	100-120	Schichtwechsel sicher, hellbraune bis gelbe Matrix, bindiger als Hangendes, steinreich, zum Hangenden hin Grobsteine, kleine Blöcke innerhalb dieser Schicht
IV fBt	120-130	3/6	120-130	steinreiche Schicht im Übergang zwischen saprolithischem Komplex und dem Hangenden, intensive Pedogenese, Paläoboden, gekappter Bt-Horizont
V fBbt	130-230			mächtiger Komplex verspülten bzw. verlagerten Saprolithmaterials, massiv pedogen überprägt, Feingliederung in unterschiedliche Linsen bzw. Bänder nicht vornehmbar, stark differenziert, pseudovergleyte Bänderparabraunerde, zahlreiche Bbt-Horizonte entwickelt, horizontale Farbwechsel von unten nach oben jeweils von gelbbraun zu grau zu rostbraun, Matrix insgesamt schwach bis mäßig bindig, Farbwechsel vom verlagerten Material belegen eine Pseudovergleyung
		3/7	130-145	hellbrauner Bereich mit feinen Bbt-Bänderungen
		3/8	160-165	Bbt-Band, typische Abfolge rotes Band, gelbbraunes Band (Bbt), marmorierter hellgrauer Bereich, Sd/Sw-Dynamik
		3/9	170-185	hellgelbes, sandig und kaum bindiges saprolithisches Material
		3/10	210-230	braunes bis gelbes, mäßig bindiges saprolithisches Material, aber Bbt-Bändchen enthalten
		3/11	208-210	unterstes, sehr gut entwickeltes rostrotes Band (haben stets weniger Ton)
		3/12	210-230	hell- bis gelbbrauner Saprolith unter rostrotem Band
VI	230-250	3/13	238-240	dunkles Band direkt über rostroter Saprolithvariante, 1-2 cm stark, viele feine Wurzeln, Spüleffekt vor Aufsedimentation, was den Transport des Hangenden und nicht des reinen Verzugs belegen würde, klare Stratifizierung des Hangenden macht Transport sehr wahrscheinlich, auch die Materialwechsel und der gegenüber dem liegenden Saprolith teils viel bindigere Materialcharakter
ICv	250-280+	3/14 3/15	250-260 260-280	Saprolith, teils im Verband mit Steinen, sonst völlig zersetzt bzw. aufgesandet, links im Profil eine rostrote Saprolithvariante (3/14), ansonsten hellgrau gefärbter Saprolith des granitischen Anstehenden, markant durchwurzelt auch von größeren Wurzeln, Funktion als Wasserversorger belegt

A.2.2.92 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden-art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4963 IV NE 1/1	I	0-30	37,1	33,4	25,7	12,7	71,8	10,7	7,4	5,0	23,2	5,1	SI2
4963 IV NE 3/2	II Bbt	30-50	51,65	33,7	24,4	14,5	72,6	8,8	6,1	4,3	19,3	8,1	SI3
4963 IV NE 3/3	II Bbt	50-70	48,09	35,1	27,4	13,3	75,9	4,4	4,9	2,7	12,0	12,1	SI4
4963 IV NE 3/4	II ICv	70-90	62,57	25,6	24,5	14,6	64,7	7,0	4,4	5,4	16,8	18,5	Ls3
4963 IV NE 3/5	III ICv	100-120	54,34	28,6	20,0	12,6	61,2	7,2	5,4	6,0	18,6	20,1	Ls4
4963 IV NE 3/6	IV fBt	120-130	55,60	20,4	27,9	19,1	67,3	8,2	4,3	4,9	17,4	15,3	SI4
4963 IV NE 3/7	V fBbt	130-145	38,27	21,0	18,8	13,4	53,2	8,9	7,9	7,8	24,7	22,2	Ls4
4963 IV NE 3/8	V fBbt	160-165	4,42	20,6	26,6	17,5	64,7	9,0	7,0	6,0	22,0	13,3	SI4
4963 IV NE 3/9	V fBbt	170-185	44,34	23,9	22,9	14,0	60,8	8,2	7,3	6,6	22,0	17,2	Ls4
4963 IV NE 3/10	V fBbt	210-230	28,45	20,6	19,1	12,1	51,8	7,3	8,6	10,6	26,4	21,8	Ls4
4963 IV NE 3/11	V fBbt	208-210	10,92	27,3	17,0	10,7	55,0	8,1	7,6	9,8	25,6	19,4	Ls4
4963 IV NE 3/12	V fBbt	210-230	55,25	27,4	21,1	13,5	62,0	7,2	5,9	7,1	20,2	17,9	Ls4
4963 IV NE 3/13	VI	238-240	23,14	31,8	37,8	13,4	83,0	4,0	2,2	2,2	8,4	8,7	St2
4963 IV NE 3/14	ICv	250-260	29,00	32,1	25,2	10,8	68,0	5,2	4,9	7,1	17,2	14,8	SI4
4963 IV NE 3/15	ICv	260-280	53,32	35,3	24,3	12,0	71,6	5,8	4,8	5,4	16,1	12,4	SI4

A.2.2.93 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4963 IV NE 1/1	I	0-30	6,25	0,00	10YR 3/3	-	2,21	0,08	27	0,00
4963 IV NE 3/2	II Bbt	30-50	5,95	0,00	10YR 4/4	0,53	0,473	0,031	15	0,047
4963 IV NE 3/3	II Bbt	50-70	5,66	0,00	10YR 4/6	0,20	0,196	0,020	10	0,040
4963 IV NE 3/4	II ICv	70-90	5,50	0,00	10YR 4/4	0,25	0,283	0,021	13	0,035
4963 IV NE 3/5	III ICv	100-120	5,33	0,00	7,5YR 5/6	0,12	0,120	0,021	6	0,020
4963 IV NE 3/6	IV fBt	120-130	5,45	0,00	7,5YR 4/6	0,09	0,110	0,016	7	0,016
4963 IV NE 3/7	V fBbt	130-145	5,37	0,00	10YR 4/6	0,08	0,131	0,018	7	0,027
4963 IV NE 3/8	V fBbt	160-165	5,79	0,00	5YR 4/6	0,05	0,053	0,021	3	0,018
4963 IV NE 3/9	V fBbt	170-185	5,34	0,00	10YR 4/6	0,09	0,089	0,018	5	0,025
4963 IV NE 3/10	V fBbt	210-230	5,33	0,00	10YR 4/6	0,06	0,089	0,013	7	0,013
4963 IV NE 3/11	V fBbt	208-210	5,67	0,00	5YR 4/6	0,03	0,055	0,009	6	0,005
4963 IV NE 3/12	V fBbt	210-230	5,57	0,00	10YR 4/6	0,08	0,061	0,014	4	0,012
4963 IV NE 3/13	VI	238-240	5,50	0,00	10YR 3/3	0,08	0,074	0,014	5	0,016
4963 IV NE 3/14	ICv	250-260	5,62	0,00	5YR 4/6	0,06	0,033	0,009	4	0,020
4963 IV NE 3/15	ICv	260-280	5,61	0,00	10YR 5/6	0,05	0,026	0,008	3	0,027

A.2.2.94 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK	BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4963 IV NE 1/1	I	0-30	0,37	4,97	0,10	1,39	0,80	10,74	6,11	82,49	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,35	7,41	99,59
4963 IV NE 3/2	II Bbt	30-50	0,32	6,21	0,13	2,52	0,80	15,28	3,95	75,77	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01	0,12	5,21	99,79
4963 IV NE 3/3	II Bbt	50-70	0,34	4,78	0,14	1,99	1,35	19,25	5,18	73,87	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,10	7,02	99,90
4963 IV NE 3/4	II ICv	70-90	0,40	3,59	0,15	1,38	2,11	18,75	8,57	76,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12	11,25	99,88
4963 IV NE 3/5	III ICv	100-120	0,36	2,95	0,17	1,39	2,37	19,56	9,19	75,79	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,30	12,13	99,69
4963 IV NE 3/6	IV fBt	120-130	0,25	3,26	0,13	1,62	1,51	19,36	5,90	75,52	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,22	7,81	99,77
4963 IV NE 3/7	V fBbt	130-145	0,31	2,66	0,17	1,45	2,30	19,68	8,87	75,96	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,23	11,68	99,75
4963 IV NE 3/8	V fBbt	160-165	0,28	4,12	0,17	2,47	1,16	17,32	5,06	75,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	6,68	99,71
4963 IV NE 3/9	V fBbt	170-185	0,28	2,64	0,19	1,76	1,83	17,22	8,33	78,24	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,13	10,64	99,86
4963 IV NE 3/10	V fBbt	210-230	0,26	2,27	0,18	1,57	1,92	16,59	9,18	79,42	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,13	11,56	99,86
4963 IV NE 3/11	V fBbt	208-210	0,33	3,00	0,18	1,69	1,87	17,06	8,54	78,09	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,14	10,94	99,84
4963 IV NE 3/12	V fBbt	210-230	0,27	2,18	0,22	1,80	1,94	15,76	9,87	80,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,17	12,32	99,83
4963 IV NE 3/13	VI	238-240	0,22	1,73	0,38	3,07	1,41	11,24	10,48	83,79	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,17	12,51	99,82
4963 IV NE 3/14	ICv	250-260	0,25	1,97	0,29	2,22	1,28	9,99	11,01	85,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	12,84	99,94
4963 IV NE 3/15	ICv	260-280	0,19	1,83	0,22	2,13	0,93	9,15	8,85	86,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12	10,19	99,88

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.95 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4963 IV NE 1/1	I	0-30	0,06	0,02	0,005	0,19	0,04	0,011	0,36	0,01	0,002	0,60	0,06	0,018
4963 IV NE 3/2	II Bbt	30-50	0,03	0,00	0,005	0,14	0,05	0,001	0,53	0,03	0,000	0,70	0,08	0,006
4963 IV NE 3/3	II Bbt	50-70	0,01	0,00	0,005	0,14	0,07	0,003	0,59	0,04	0,000	0,73	0,12	0,009
4963 IV NE 3/4	II ICv	70-90	0,01	0,00	0,005	0,21	0,08	0,005	0,63	0,05	0,000	0,85	0,13	0,010
4963 IV NE 3/5	III ICv	100-120	0,00	0,00	0,007	0,31	0,06	0,018	0,92	0,03	0,003	1,23	0,09	0,027
4963 IV NE 3/6	IV fBt	120-130	0,01	0,00	0,005	0,34	0,06	0,029	1,33	0,04	0,005	1,68	0,10	0,039
4963 IV NE 3/7	V fBbt	130-145	0,00	0,00	0,005	0,26	0,05	0,013	0,92	0,03	0,004	1,19	0,08	0,022
4963 IV NE 3/8	V fBbt	160-165	0,00	0,00	0,005	0,16	0,03	0,014	0,61	0,01	0,004	0,78	0,05	0,022
4963 IV NE 3/9	V fBbt	170-185	0,00	0,00	0,004	0,46	0,05	0,022	0,68	0,01	0,003	1,14	0,06	0,029
4963 IV NE 3/10	V fBbt	210-230	0,01	0,00	0,004	0,47	0,03	0,016	0,67	0,01	0,002	1,15	0,05	0,022
4963 IV NE 3/11	V fBbt	208-210	0,00	0,00	0,004	0,34	0,02	0,029	1,12	0,02	0,003	1,47	0,04	0,036
4963 IV NE 3/12	V fBbt	210-230	0,00	0,00	0,004	0,31	0,04	0,028	0,78	0,03	0,004	1,10	0,06	0,036
4963 IV NE 3/13	VI	238-240	0,01	0,00	0,004	0,29	0,04	0,023	0,59	0,02	0,002	0,88	0,06	0,030
4963 IV NE 3/14	ICv	250-260	0,00	0,00	0,004	0,16	0,02	0,012	0,81	0,02	0,001	0,97	0,04	0,016
4963 IV NE 3/15	ICv	260-280	0,00	0,00	0,003	0,28	0,03	0,019	0,29	0,01	0,002	0,57	0,04	0,024

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion								
				Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4963 IV NE 1/1	I	0-30	0,53	10	31	59	35	55	10	28	61	11
4963 IV NE 3/2	II Bbt	30-50	0,27	4	20	76	0	57	43	88	12	0
4963 IV NE 3/3	II Bbt	50-70	0,23	1	19	80	0	63	37	60	36	4
4963 IV NE 3/4	II ICv	70-90	0,33	1	25	74	0	64	36	48	49	3
4963 IV NE 3/5	III ICv	100-120	0,34	0	25	74	0	63	37	25	65	10
4963 IV NE 3/6	IV fBt	120-130	0,26	0	20	79	0	57	43	12	75	13
4963 IV NE 3/7	V fBbt	130-145	0,28	0	22	78	0	61	39	24	58	18
4963 IV NE 3/8	V fBbt	160-165	0,26	1	21	79	0	69	31	21	62	17
4963 IV NE 3/9	V fBbt	170-185	0,68	0	40	59	0	77	23	13	77	10
4963 IV NE 3/10	V fBbt	210-230	0,70	1	41	58	0	70	30	18	74	8
4963 IV NE 3/11	V fBbt	208-210	0,30	0	23	77	0	57	43	12	80	8
4963 IV NE 3/12	V fBbt	210-230	0,40	0	29	71	0	60	40	12	78	11
4963 IV NE 3/13	VI	238-240	0,49	1	33	67	0	73	27	14	78	8
4963 IV NE 3/14	ICv	250-260	0,19	0	16	83	0	52	48	22	74	4
4963 IV NE 3/15	ICv	260-280	0,94	0	48	52	0	71	29	11	81	8

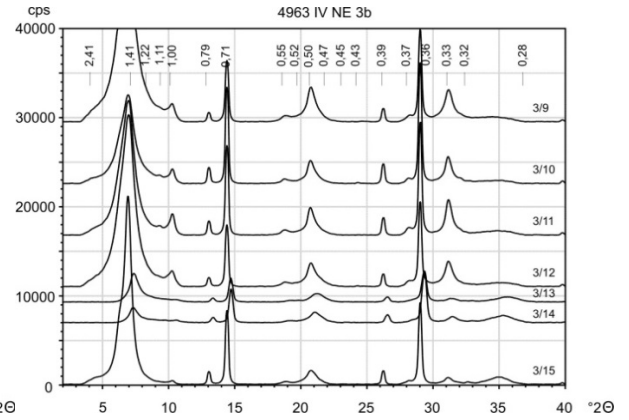
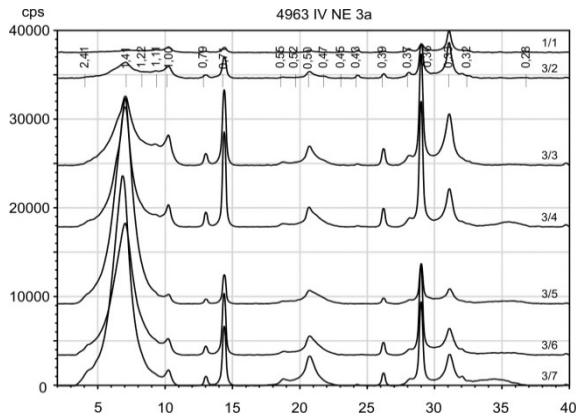
A.2.2.96 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4969 NE IV 1/1	391,33	495,41	197,85	19,76	42,25	51,57	19016,50	416,64	49,42	3199,80	6845,63	24971,06
4969 NE IV 3/2	476,91	422,93	235,07	45,00	25,40	47,50	24702,49	176,28	52,32	3802,64	5553,94	28523,27
4969 NE IV 3/3	504,85	559,96	255,44	51,46	27,24	58,28	33054,80	310,33	63,87	4436,26	6407,47	27396,93
4969 NE IV 3/4	464,42	429,88	240,43	41,67	23,93	63,62	31660,63	201,91	77,58	3923,35	5594,68	30040,71
4969 NE IV 3/5	490,79	422,62	241,55	58,81	21,11	61,79	32024,08	345,64	82,63	4253,03	5043,67	37518,64
4969 NE IV 3/6	534,29	507,61	261,35	49,67	33,30	41,97	34899,22	493,36	76,08	4113,61	4624,75	50254,81
4969 NE IV 3/7	541,33	505,79	216,56	49,93	24,98	45,56	26055,90	292,32	89,61	4028,17	4424,67	42742,22
4969 NE IV 3/8	652,51	807,67	310,32	56,38	38,36	26,61	21486,04	271,89	72,40	4398,49	4653,34	56154,32
4969 NE IV 3/9	570,26	463,76	234,39	51,77	27,61	65,23	31144,86	360,21	104,50	4448,04	5564,89	31840,78
4969 NE IV 3/10	591,21	524,09	228,82	49,02	22,32	60,89	29648,76	326,84	89,21	4686,53	5471,13	30571,39
4969 NE IV 3/11	493,88	318,72	198,09	249,60	17,51	39,74	35485,50	517,97	88,91	4838,27	4977,85	27732,96
4969 NE IV 3/12	619,94	369,53	245,78	28,02	12,95	65,12	32696,77	515,98	80,80	4353,84	6327,30	30110,09
4969 NE IV 3/13	1731,47	277,72	448,00	217,18	n.n.	143,05	104531,21	1249,45	149,14	10384,33	17748,06	25042,77
4969 NE IV 3/14	489,57	329,02	309,84	111,05	n.n.	77,26	55292,57	639,17	127,59	5067,11	8352,35	27813,15
4969 NE IV 3/15	531,84	349,37	219,92	11,84	9,98	58,52	27612,43	401,85	65,57	3163,59	7269,14	23595,04

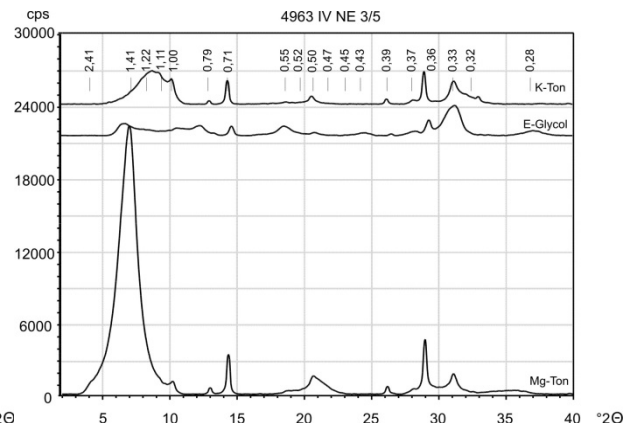
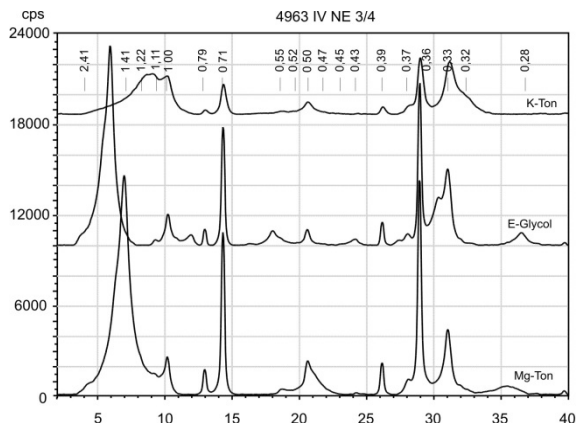
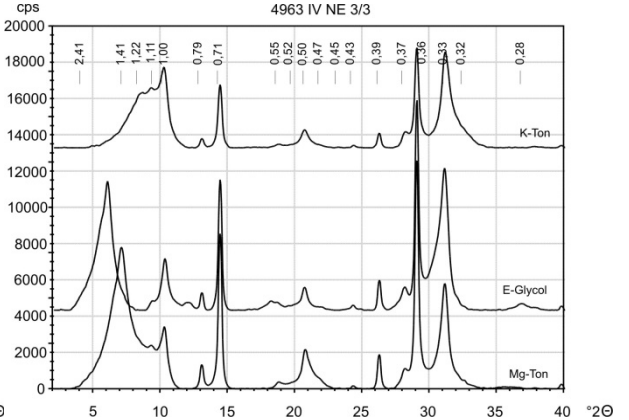
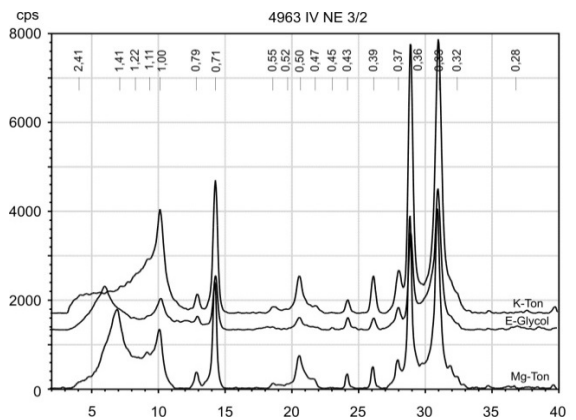
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

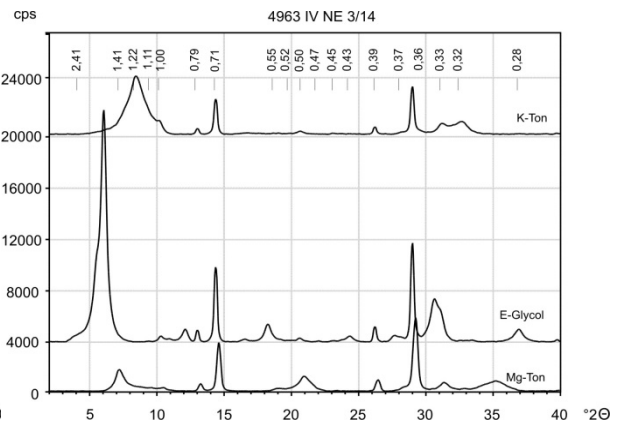
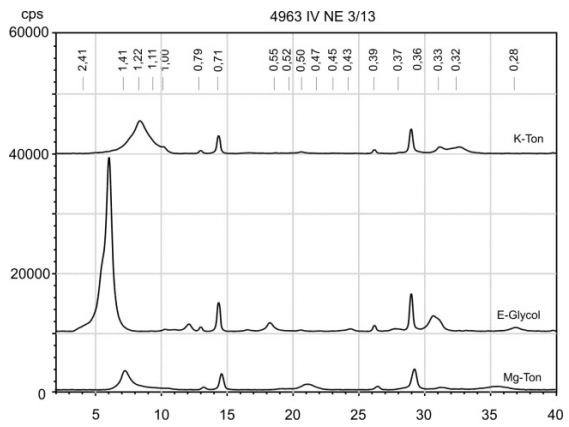
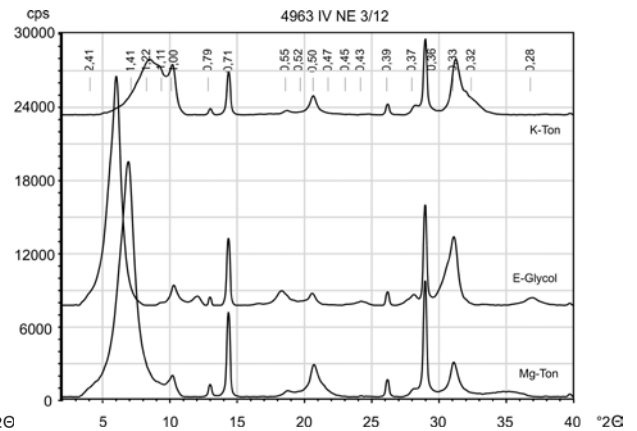
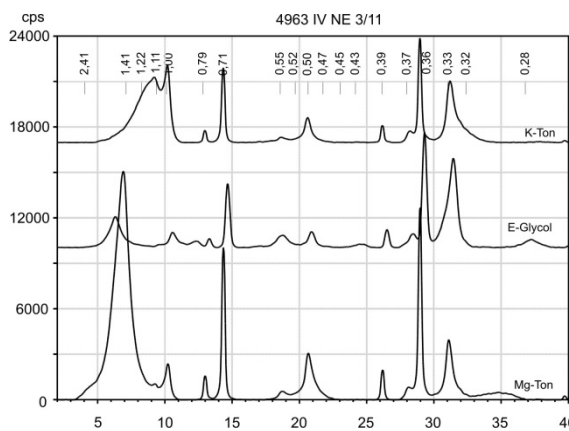
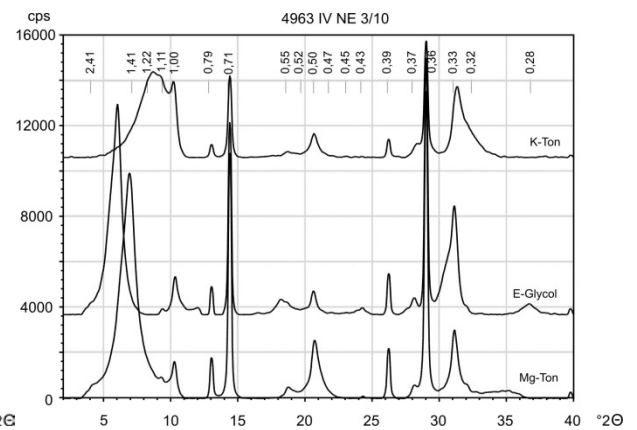
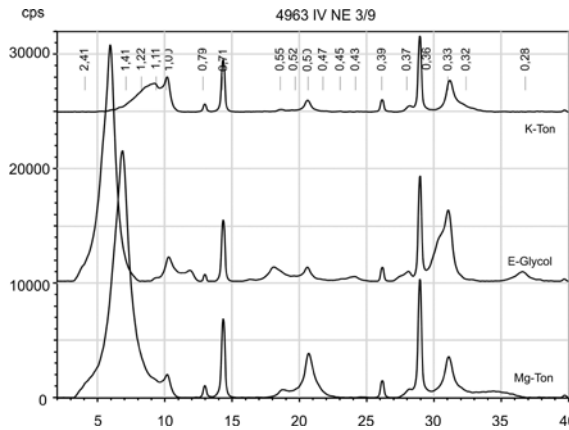
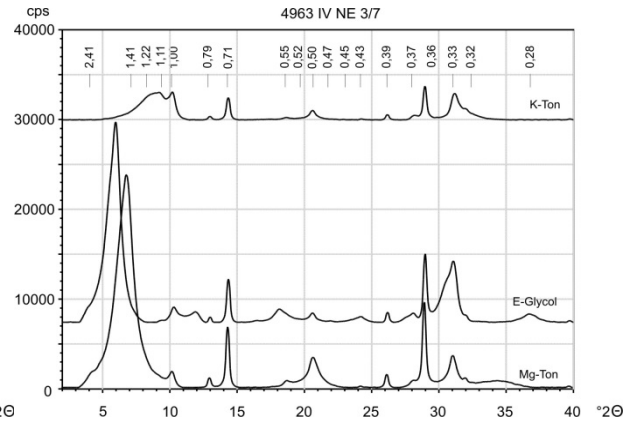
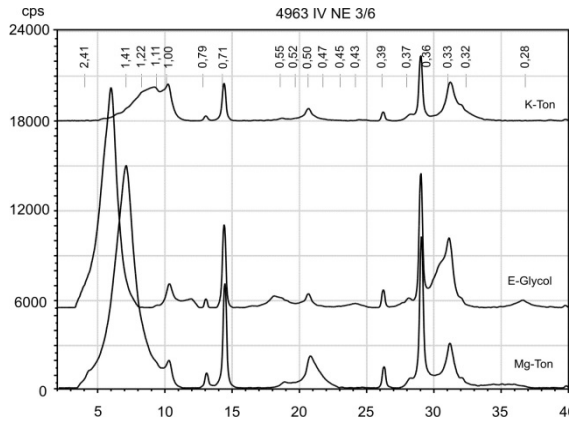
A.2.2.97 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

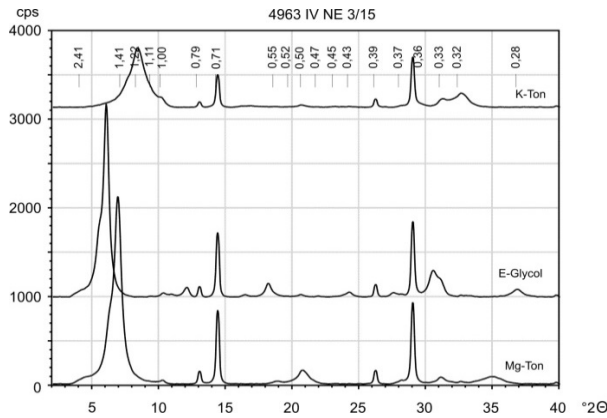
Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben







Boulder 4864 II SE 22

GPS: N 40° 00' 44,8859", W 105° 27' 57,7352", 2505 m NN

A.2.2.98 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah	0-37	22/1	0-37	sandig-grusig, aber auch mit viel Feinmaterial, nur vereinzelt Steine, stark durchwurzelt, Ah: schwarz-braun, Bv: gelblich
Bv	37-80	22/2	37-80	
II	80-155	22/3 22/4	80-115 115-155	sehr steinreich, Steine mit Schluffhaube und blanker Unterseite, Skelett eingeregelt, Matrix sandig-grusig, gräulich-braun, durchwurzelt, auch größere Wurzeln
III	155-230	22/5	155-230	grobe Steine und Blöcke, Zwischenräume zwischen den Blöcken mit Feinmaterial verfüllt, das auch sehr tonreich ist, evtl. Lessivierung, Blöcke mit Ton überzogen, blanke Unterseiten, Steine/Blöcke eingeregelt, gelblich-rötlich, auch hier noch Wurzeln

A.2.2.99 Korngrößenanalyse

Probe	Hori- zont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4964 II SE 22/1	Ah	0-37	35,47	19,7	23,2	12,5	55,4	14,0	11,6	6,9	32,4	12,2	SI4
4964 II SE 22/2	Bv	37-80	25,41	26,8	39,6	10,9	77,3	7,9	6,2	3,3	17,4	5,3	SI2
4964 II SE 22/3	II	80-115	33,81	36,0	36,3	10,9	83,2	3,9	4,7	3,1	11,8	5,0	SI2
4964 II SE 22/4	II	115-155	52,62	29,3	32,0	11,0	72,4	6,6	6,4	6,2	19,2	8,4	SI3
4964 II SE 22/5	III	155-230	50,84	30,8	36,3	11,1	78,2	5,5	4,9	3,8	14,2	7,6	SI2

A.2.2.100 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4964 II SE 22/1	Ah	0-37	4,83	0,00	10YR 2/1	0,93	2,347	0,160	15	0,006
4964 II SE 22/2	Bv	37-80	5,14	0,00	10YR 4/3	0,32	0,328	0,074	4	0,004
4964 II SE 22/3	II	80-115	5,27	0,00	10YR 5/6	0,25	0,247	0,070	4	0,001
4964 II SE 22/4	II	115-155	5,32	0,00	10YR 5/6	0,23	0,267	0,072	4	0,001
4964 II SE 22/5	III	155-230	5,48	0,00	10YR 6/6	0,17	0,168	0,059	3	0,002

A.2.2.101 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4964 II SE 22/1	Ah	0-37	0,13	1,19	0,15	1,41	0,28	2,61	10,13	94,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,45	10,74	99,55
4964 II SE 22/2	Bv	37-80	0,06	1,04	0,05	0,89	0,14	2,41	5,50	95,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,75	100,00
4964 II SE 22/3	II	80-115	0,04	0,71	0,07	1,38	0,22	4,48	4,64	93,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,97	100,00
4964 II SE 22/4	II	115-155	0,05	0,87	0,07	1,17	0,43	7,35	5,27	90,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,82	100,00
4964 II SE 22/5	III	155-230	0,04	0,73	0,05	0,88	0,35	6,64	4,86	91,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,29	100,00

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.102 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4964 II SE 22/1	Ah	0-37	0,10	0,06	0,015	0,27	0,14	0,038	0,30	0,15	0,000	0,66	0,35	0,053
4964 II SE 22/2	Bv	37-80	0,03	0,00	0,004	0,59	0,07	0,000	0,25	0,10	0,000	0,87	0,18	0,004
4964 II SE 22/3	II	80-115	0,02	0,00	0,003	0,15	0,03	0,000	0,50	0,10	0,000	0,67	0,13	0,003
4964 II SE 22/4	II	115-155	0,02	0,00	0,004	0,17	0,04	0,000	0,84	0,11	0,000	1,03	0,16	0,004
4964 II SE 22/5	III	155-230	0,02	0,00	0,003	0,12	0,00	0,000	0,61	0,11	0,000	0,75	0,11	0,003

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

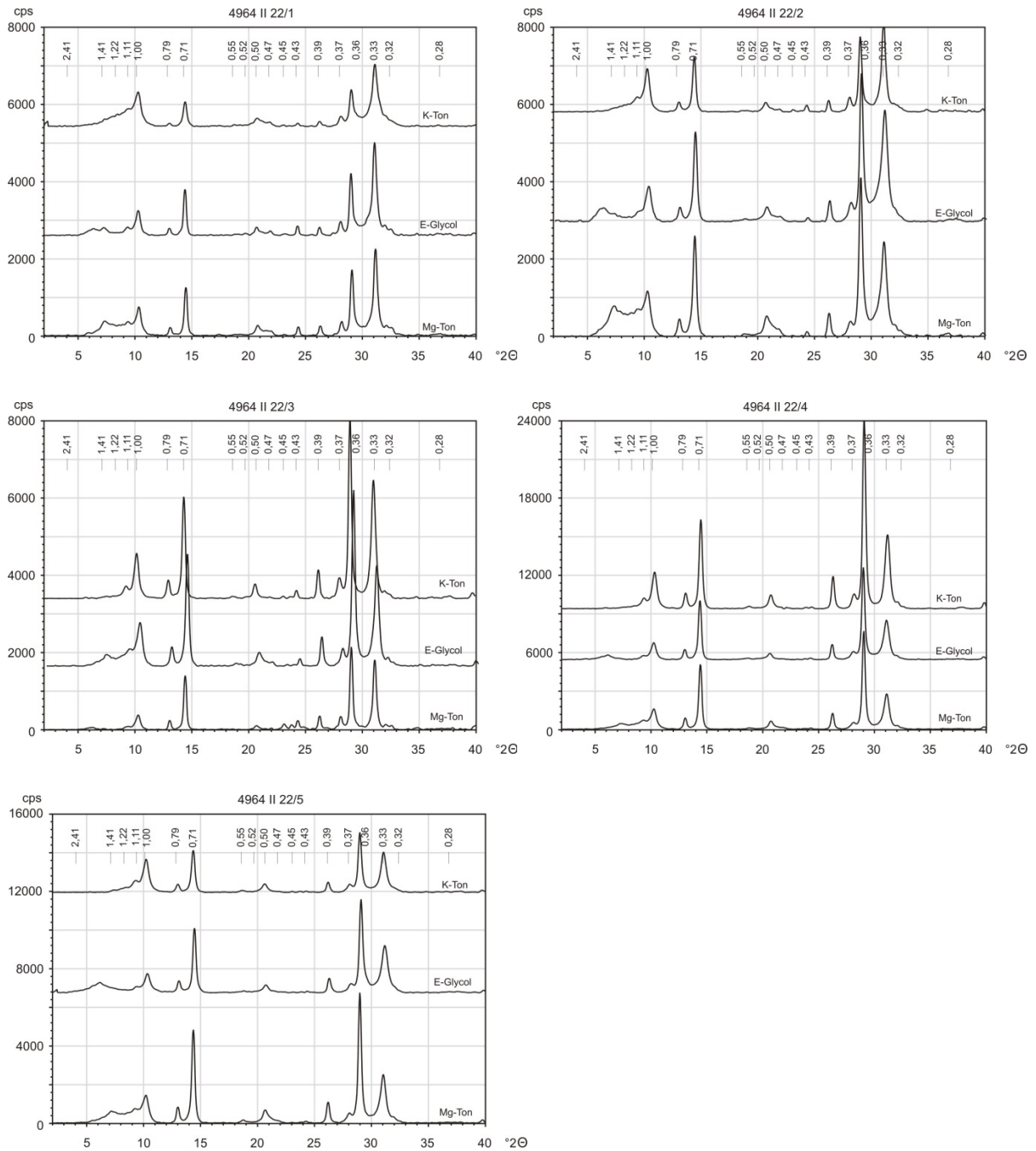
Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _p /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4964 II SE 22/1	Ah	0-37	0,89	14	40	45	17	39	44	28	72	0
4964 II SE 22/2	Bv	37-80	2,40	4	68	28	0	42	58	100	0	0
4964 II SE 22/3	II	80-115	0,31	3	23	74	1	22	77	100	0	0
4964 II SE 22/4	II	115-155	0,20	2	16	82	0	28	72	100	0	0
4964 II SE 22/5	III	155-230	0,20	2	16	82	1	0	99	100	0	0

A.2.2.103 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4964 II SE 22/1	334,33	213,17	153,07	21,44	28,89	87,42	23509,66	1079,99	16,02	2062,18	4193,29	12128,85
4964 II SE 22/2	376,69	227,68	159,33	24,79	20,00	56,56	28173,34	230,17	22,41	2482,60	2625,84	13883,42
4964 II SE 22/3	363,17	243,48	140,55	31,01	25,51	29,95	23772,46	n.n.	23,27	2194,65	2579,63	12400,50
4964 II SE 22/4	355,23	117,20	121,02	25,11	16,70	23,67	24048,74	197,84	18,75	2163,01	2148,40	13329,13
4964 II SE 22/5	464,43	149,07	144,92	17,41	15,42	36,61	31194,13	221,10	30,29	3248,74	2387,28	13597,36

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.104 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion



Profilgruppe IV

Gold Hill 4965 III SW 9

GPS: N 40° 04,126', W 105° 22,814', 2472 m NN, ± 5 m

A.2.2.105 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ahl	0-70	9/1 9/2 9/3 OSL 9/1	0-25 25-50 50-70 50	locker gelagert, große Steine, teilweise Blöcke, gelblicher als nachfolgender Horizont, sonst grau-weißlich, sehr gut durchwurzelt, hoher Feinwurzelanteil, grugst mit Fein-, Mittel- und Grobsteinen durchsetzt, Skelett scharfkantig
II Ael	70-90	9/4 OSL 9/2	70-90 80	am Schichtwechsel Steinlinie mit Grobsteinen, Wurzelhorizont, kein erkennbarer Materialwechsel (dichter gelagert, Tonanreicherung), noch heller, Fahlerdecharakter, gut durchwurzelt
III Bbt ₁	90-110	9/5	90-110	viel dichter gelagert als I und II, vermehrt Wurzeln an der Schichtgrenze, in III schlagfeste Steine enthalten, im Saprolith nicht, besonders gut entwickelte, massige Bänder, vor allem am Schichtwechsel 3-4 cm breite Bänder, rotbraune Bänder, graue Matrix, Bänder folgen sonst nicht erkennbarer Pseudoschichtung
Bbt ₂	110-130	9/6 OSL 9/3	110-130 115	letzteres gilt auch für Bbt ₂ , nur weniger Bänder, sehr viele Feinwurzeln und daher auch relativ feucht
ICv	130-200+	9/7 9/8	130-150 150-170	Saprolith, große Steine aufgründend im Profil enthalten, sonst sehr sandig-grugise Matrix, rotbraun, dicht gelagert, grabbar, sehr stark von Wurzeln, vor allem auch Feinwurzeln (Versorgungswurzeln), durchzogen, Saprolith daher auch noch relativ feucht im Vergleich zur gesamten Durchfeuchtung des Profils

A.2.2.106 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4965 III SW 9/1	Ahl	0-25	36,46	27,0	26,4	17,7	71,2	8,7	7,7	4,9	21,3	7,4	SI2
4965 III SW 9/2	Ahl	25-50	55,49	33,1	25,6	15,8	74,5	6,8	5,7	4,6	17,2	8,3	SI3
4965 III SW 9/3	Ahl	50-70	52,64	33,1	25,6	15,8	74,5	6,8	5,7	4,6	17,2	8,3	SI3
4965 III SW 9/4	II Ael	70-90	49,68	18,6	13,5	11,7	43,8	19,4	13,5	8,5	41,4	14,8	SIu
4965 III SW 9/5	III Bbt ₁	90-110	51,46	21,7	20,1	14,8	56,6	8,4	6,9	4,8	20,1	23,3	Ls4
4965 III SW 9/6	Bbt ₂	110-130	42,94	28,8	33,1	21,2	83,1	5,3	2,0	1,4	8,7	8,2	St2
4965 III SW 9/7	ICv	130-150	53,92	28,1	34,8	22,9	85,8	5,4	2,2	1,3	8,9	5,3	St2
4965 III SW 9/8	ICv	150-170	46,68	28,9	32,9	24,1	86,0	6,9	2,6	0,8	10,3	3,7	Su2

A.2.2.107 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4965 III SW 9/1	Ahl	0-25	5,55	0,00	10YR 4/3	0,61	0,556	0,062	9	0,129
4965 III SW 9/2	Ahl	25-50	5,74	0,00	10YR 5/4	0,28	0,345	0,041	8	0,315
4965 III SW 9/3	Ahl	50-70	5,95	0,00	10YR 5/6	0,18	0,161	0,038	4	0,195
4965 III SW 9/4	II Ael	70-90	5,82	0,00	10YR 5/8	0,21	0,296	0,040	7	0,149
4965 III SW 9/5	III Bbt ₁	90-110	5,35	0,00	10YR 5/6	0,44	0,373	0,029	13	0,050
4965 III SW 9/6	Bbt ₂	110-130	5,37	0,00	2,5Y 4/4	0,15	0,137	0,021	7	0,013
4965 III SW 9/7	ICv	130-150	4,94	0,00	10YR 3/4	0,19	0,117	0,010	12	0,012
4965 III SW 9/8	ICv	150-170	4,75	0,00	2,5Y 4/4	0,11	0,100	0,027	4	0,026

A.2.2.108 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4965 III SW 9/1	Ahl	0-25	0,26	4,99	0,14	2,62	1,68	31,92	3,19	60,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	5,27	99,98
4965 III SW 9/2	Ahl	25-50	0,22	3,95	0,10	1,86	1,44	26,09	3,75	68,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,51	100,00
4965 III SW 9/3	Ahl	50-70	0,21	3,46	0,16	2,72	1,60	26,95	3,98	66,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,95	100,00
4965 III SW 9/4	II Ael	70-90	0,28	3,67	0,14	1,84	2,26	29,55	4,93	64,53	0,03	0,40	0,00	0,00	0,00	0,01	7,64	99,59
4965 III SW 9/5	III Bbt ₁	90-110	0,50	3,78	0,25	1,90	4,44	33,72	7,95	60,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	13,16	99,84
4965 III SW 9/6	Bbt ₂	110-130	0,22	3,37	0,18	2,71	1,84	28,28	4,28	65,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	6,52	99,97
4965 III SW 9/7	ICv	130-150	0,15	1,05	0,23	1,66	3,59	25,35	9,94	70,11	0,25	1,75	0,00	0,00	0,01	0,08	14,18	98,17
4965 III SW 9/8	ICv	150-170	0,09	0,71	0,21	1,58	3,33	24,96	9,51	71,19	0,18	1,35	0,00	0,00	0,03	0,21	13,35	98,44

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.109 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan									Gesamtgehalt		
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			% Fe	% Al	% Mn
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d			
4965 III SW 9/1	Ahl	0-25	0,04	0,00	0,002	0,06	0,01	0,001	0,53	0,05	0,002	0,63	0,06	0,005
4965 III SW 9/2	Ahl	25-50	0,02	0,00	0,002	0,05	0,00	0,010	1,48	0,05	0,020	1,55	0,06	0,031
4965 III SW 9/3	Ahl	50-70	0,01	0,00	0,002	0,02	0,00	0,001	0,74	0,06	0,002	0,78	0,06	0,006
4965 III SW 9/4	II Ael	70-90	0,01	0,00	0,003	0,04	0,01	0,023	1,01	0,09	0,033	1,06	0,10	0,060
4965 III SW 9/5	III Bbt ₁	90-110	0,01	0,01	0,003	0,01	0,02	0,022	1,18	0,21	0,036	1,20	0,24	0,061
4965 III SW 9/6	Bbt ₂	110-130	0,01	0,00	0,003	0,00	0,02	0,004	0,33	0,12	0,003	0,35	0,14	0,010
4965 III SW 9/7	ICv	130-150	0,01	0,00	0,002	0,06	0,01	0,003	0,28	0,07	0,002	0,35	0,08	0,008
4965 III SW 9/8	ICv	150-170	0,01	0,00	0,004	0,04	0,01	0,003	0,33	0,08	0,003	0,38	0,10	0,010

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4965 III SW 9/1	Ahl	0-25	0,11	6	9	84	8	8	84	47	14	39
4965 III SW 9/2	Ahl	25-50	0,03	1	3	96	5	7	88	5	31	63
4965 III SW 9/3	Ahl	50-70	0,03	2	2	96	0	4	96	41	15	44
4965 III SW 9/4	II Ael	70-90	0,04	1	4	95	2	9	90	5	39	56
4965 III SW 9/5	III Bbt ₁	90-110	0,01	1	1	98	4	7	90	6	36	59
4965 III SW 9/6	Bbt ₂	110-130	0,01	3	1	96	0	13	86	27	43	30
4965 III SW 9/7	ICv	130-150	0,21	4	17	80	2	17	81	30	44	26
4965 III SW 9/8	ICv	150-170	0,12	3	10	87	4	10	86	38	36	26

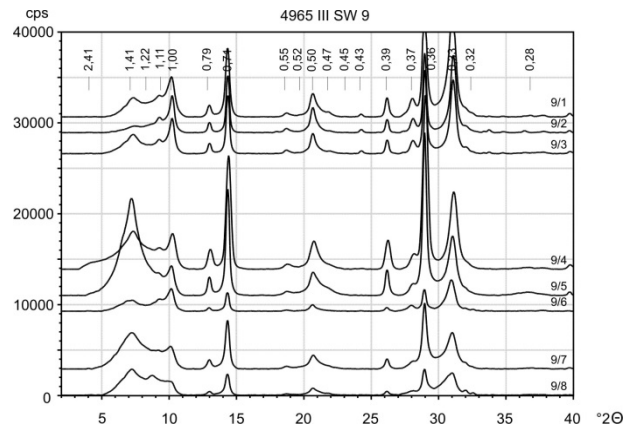
A.2.2.110 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4965 III SW 9/1	413,60	581,20	212,35	11,61	45,24	52,10	28132,61	218,30	74,90	4903,30	7880,24	25997,20
4965 III SW 9/2	479,30	213,96	294,17	6,09	91,23	50,99	24671,47	294,20	71,96	4427,00	1468,95	36299,78
4965 III SW 9/3	391,07	446,74	247,28	12,26	47,27	62,60	29173,79	203,91	78,16	3876,93	6264,79	30342,08
4965 III SW 9/4	406,90	280,37	298,52	6,47	40,10	76,55	28333,60	738,00	84,42	4548,83	1537,96	35109,31
4965 III SW 9/5	300,81	399,34	185,00	8,67	n.n.	84,51	47774,98	1457,07	84,32	4101,41	8386,29	19287,37
4965 III SW 9/6	207,98	674,32	136,77	11,73	8,70	48,57	28916,25	317,59	47,00	3260,83	13564,32	16725,16
4965 III SW 9/7	361,88	713,72	110,35	5,81	n.n.	52,84	39341,95	526,73	67,94	4412,95	18414,41	15692,26
4965 III SW 9/8	417,25	706,20	143,31	9,11	n.n.	54,65	37853,68	430,27	74,55	3944,36	16971,42	15518,29

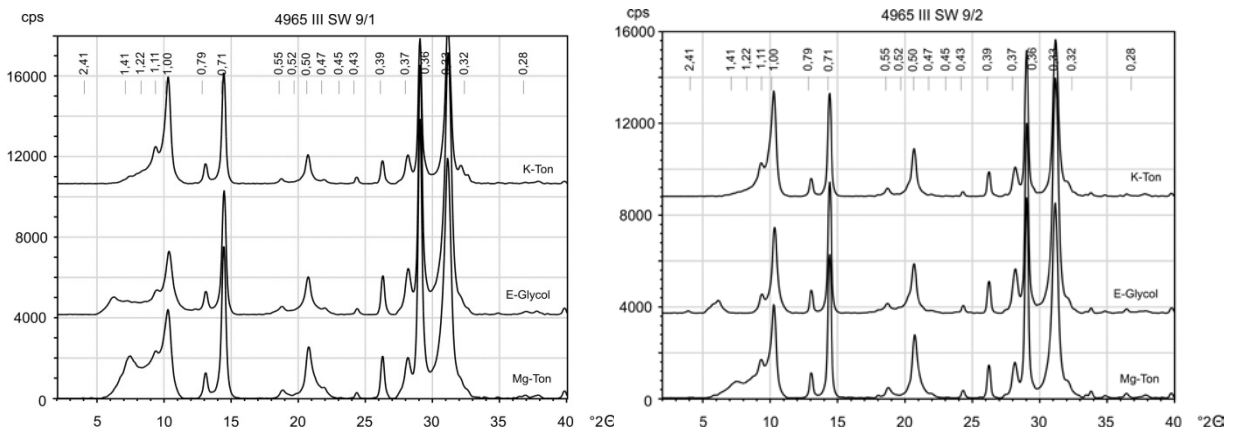
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

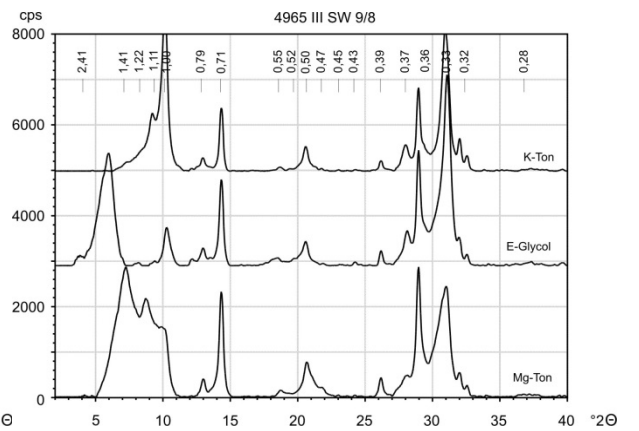
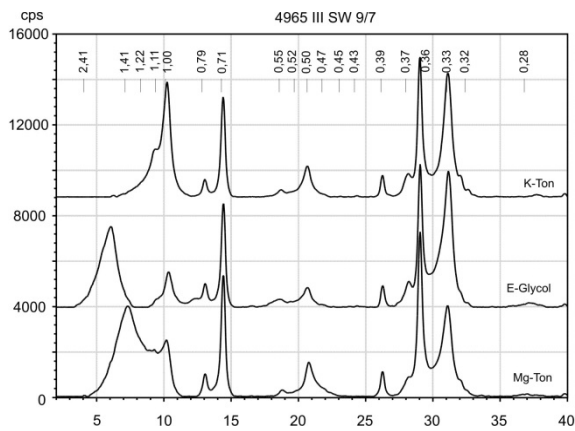
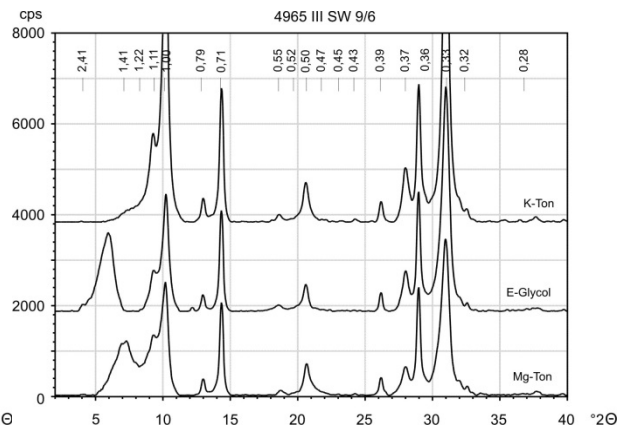
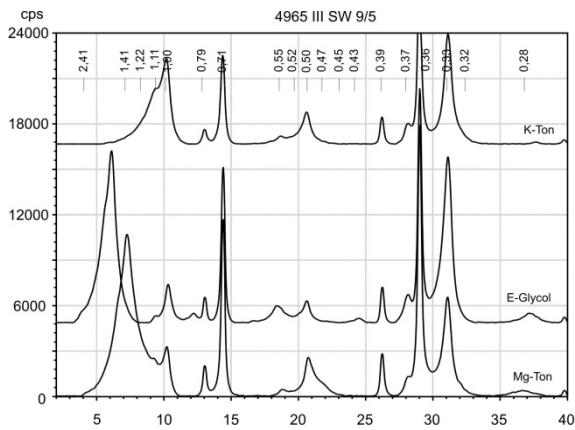
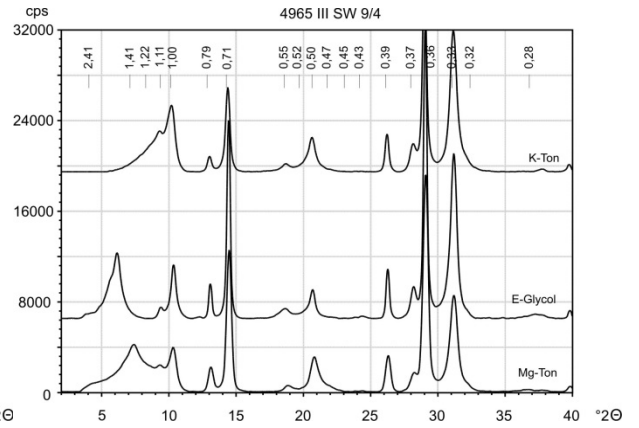
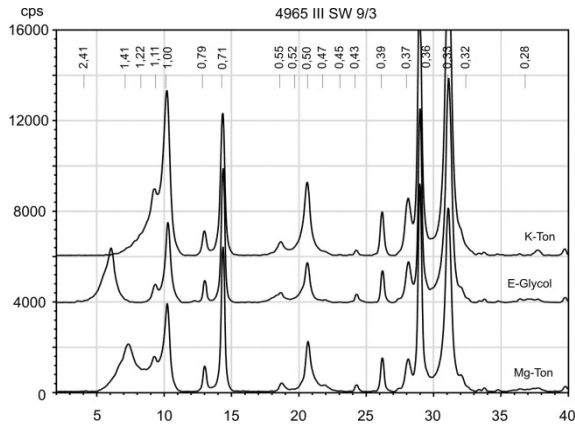
A.2.2.111 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben





Gold Hill 4965 III SW 10

GPS: N 40° 04' 10,0'', W 105° 23' 42,1'', 2560 m NN, ± 3 m

A.2.2.112 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
I	0-45	10/1 10/2 OSL10/1	0-20 20-45 40	sehr skelettreiche Lage, große Steine und Blöcke in feiner Matrix, Skelett nicht eingeregelt, locker gelagert, intensiv durchwurzelt, graugelbe Farbe, sehr großer Block (90 x 20 cm) auf dünnem schluffig-tonigem Material, genetisch zur Schicht zählend
II	45-80	10/4 10/5 OSL10/2	50-60 60-70 65	skelettarm, Steine nur sehr vereinzelt am Schichtwechsel, vor allem im Bereich des Brandhorizonts als Steinlage, feine, lehmige Matrix,
	45-50	10/3	45-50	Brandhorizont, rötlich braun, Holzkohle (Probe ¹⁴ C)
→ Basislage fehlt hier komplett				
ICv	80-140+	10/6 10/7	80-130 130-140	Saprolith, viele Klüfte seiger/senkrecht verlaufend, werden von den Wurzeln intensiv genutzt, auch von den Versorgungswurzeln, Wasserfluss in den Klüften denkbar (Eisenausfällungen, rote Klüfftflächen), Saprolith in zwei unterschiedlichen Proben: gräulich-weiß 80-130 cm, rötlichbraun vererdet 130-140 cm

A.2.2.113 Korngrößenanalyse

Probe	Hori- zont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w . %									Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4965 III SW 10/1	I	0-20	17,08	24,9	33,8	18,8	77,5	8,1	6,3	3,2	17,6	4,9	Su2
4965 III SW 10/2	I	20-40	30,30	27,5	31,2	18,1	76,8	8,2	6,6	4,0	18,8	4,4	Su2
4965 III SW 10/3	II	45-50	23,11	22,9	31,9	17,4	72,2	9,9	7,1	4,7	21,7	6,1	Sl2
4965 III SW 10/4	II	50-60	22,98	25,9	31,3	19,1	76,3	9,4	6,2	3,6	19,2	4,4	Su2
4965 III SW 10/5	II	60-70	22,49	22,6	30,6	19,9	73,1	11,3	7,1	3,8	22,2	4,7	Su2
4965 III SW 10/6	ICv	80-130	26,59	27,7	22,5	15,0	65,2	8,7	6,8	5,9	21,4	13,3	Sl4
4965 III SW 10/7	ICv	130-140	60,53	14,9	28,3	19,6	62,7	12,5	9,5	6,1	28,2	9,1	Sl3

A.2.2.114 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4965 III SW 10/1	I	0-20	4,42	0,00	2,5Y 4/3	0,87	0,546	0,064	9	0,024
4965 III SW 10/2	I	20-40	5,35	0,00	10YR 4/4	0,31	0,289	0,046	6	0,025
4965 III SW 10/3	II	45-50	5,12	0,00	10YR 5/6	0,28	0,251	0,042	6	0,024
4965 III SW 10/4	II	50-60	4,83	0,00	10YR 4/3	0,31	0,449	0,047	10	0,028
4965 III SW 10/5	II	60-70	4,83	0,00	10YR 5/4	0,25	0,259	0,039	7	0,029
4965 III SW 10/6	ICv	80-130	4,22	0,00	2,5Y 6/4	0,17	0,158	0,035	5	0,030
4965 III SW 10/7	ICv	130-140	4,60	0,00	7,5YR 6/8	0,13	0,165	0,037	4	0,037

A.2.2.115 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4965 III SW 10/1	I	0-20	0,35	7,73	0,11	2,49	1,04	22,91	2,96	65,12	0,07	1,50	0,01	0,24	0,00	0,00	4,55	98,26
4965 III SW 10/2	I	20-40	0,29	7,86	0,14	3,81	0,98	26,39	2,28	61,69	0,00	0,00	0,01	0,24	0,00	0,00	3,70	99,76
4965 III SW 10/3	II	45-50	0,40	10,48	0,11	2,81	0,87	22,43	2,47	64,00	0,00	0,00	0,01	0,27	0,00	0,00	3,86	99,73
4965 III SW 10/4	II	50-60	0,33	7,17	0,12	2,50	1,10	23,93	2,87	62,19	0,18	3,95	0,01	0,25	0,00	0,00	4,61	95,80
4965 III SW 10/5	II	60-70	0,38	7,38	0,13	2,48	1,34	25,77	3,16	60,75	0,18	3,39	0,01	0,23	0,00	0,00	5,20	96,38
4965 III SW 10/6	ICv	80-130	0,23	2,89	0,14	1,80	2,21	27,42	4,69	58,18	0,76	9,43	0,01	0,12	0,01	0,16	8,05	90,29
4965 III SW 10/7	ICv	130-140	0,16	3,41	0,09	1,93	1,40	30,62	2,90	63,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,65	4,58	99,35

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.116 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan									Gesamtgehalt		
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			% Fe	% Al	% Mn
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d			
4965 III SW 10/1	I	0-20	0,04	0,02	0,002	0,08	0,02	0,002	0,25	0,04	0,001	0,37	0,08	0,005
4965 III SW 10/2	I	20-40	0,03	0,01	0,003	0,05	0,02	0,000	0,34	0,04	0,001	0,43	0,07	0,005
4965 III SW 10/3	II	45-50	0,04	0,01	0,004	0,07	0,03	0,000	0,38	0,09	0,001	0,49	0,13	0,005
4965 III SW 10/4	II	50-60	0,01	0,01	0,000	0,02	0,02	0,002	0,44	0,03	0,000	0,47	0,05	0,002
4965 III SW 10/5	II	60-70	0,00	0,00	0,000	0,02	0,02	0,003	0,47	0,02	0,000	0,49	0,05	0,003
4965 III SW 10/6	ICv	80-130	0,00	0,01	0,000	0,00	0,02	0,003	0,33	0,02	0,000	0,33	0,05	0,003
4965 III SW 10/7	ICv	130-140	0,00	0,03	0,000	0,03	0,02	0,032	1,44	0,03	0,009	1,47	0,08	0,041

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _p /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4965 III SW 10/1	I	0-20	0,29	11	20	68	23	23	54	43	40	17
4965 III SW 10/2	I	20-40	0,15	7	12	80	9	31	60	73	0	27
4965 III SW 10/3	II	45-50	0,18	9	14	77	8	25	67	76	0	24
4965 III SW 10/4	II	50-60	0,05	1	5	94	16	33	51	0	100	0
4965 III SW 10/5	II	60-70	0,05	0	5	95	0	51	49	0	100	0
4965 III SW 10/6	ICv	80-130	0,00	0	0	100	19	41	41	0	100	0
4965 III SW 10/7	ICv	130-140	0,02	0	2	98	40	22	39	0	78	22

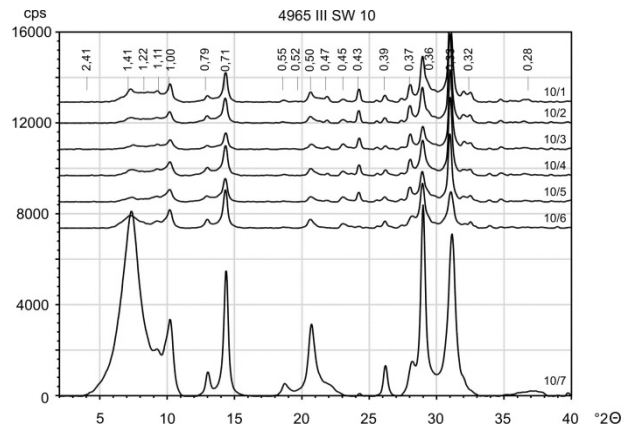
A.2.2.117 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4965 III SW 10/1	479,62	593,90	144,50	10,79	12,33	51,45	26031,27	266,37	54,33	3464,82	12869,83	18722,45
4965 III SW 10/2	343,88	593,65	135,81	12,49	7,78	47,69	28443,44	256,66	48,80	3508,68	12903,21	18637,30
4965 III SW 10/3	339,88	585,05	144,07	16,82	12,56	58,67	28461,81	240,62	66,77	3598,31	12143,50	20208,09
4965 III SW 10/2	348,98	577,87	141,04	12,66	n.n.	51,56	28037,81	285,61	46,87	3369,51	12144,18	17624,62
4965 III SW 10/3	337,15	586,98	147,14	7,83	12,56	50,07	28158,72	244,37	61,59	3484,08	11395,43	18855,93
4965 III SW 10/4	364,49	597,72	148,32	6,29	7,67	59,60	32530,99	275,80	68,91	3703,78	11845,33	17386,27
4965 III SW 10/5	343,88	635,06	150,91	n.n.	n.n.	61,78	36520,91	323,04	70,76	4160,13	11994,42	18412,10
4965 III SW 10/6	331,96	228,62	220,63	n.n.	n.n.	91,24	31261,85	306,69	77,95	4212,57	6482,21	22691,89
4965 III SW 10/7	233,15	63,03	262,65	13,85	50,71	36,09	20727,19	459,24	57,33	2262,49	2725,52	42250,77

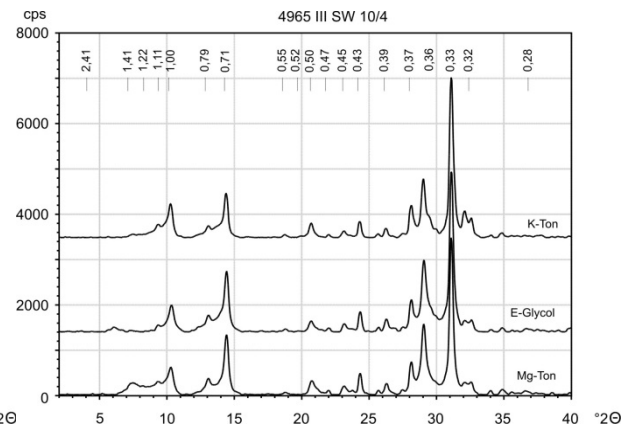
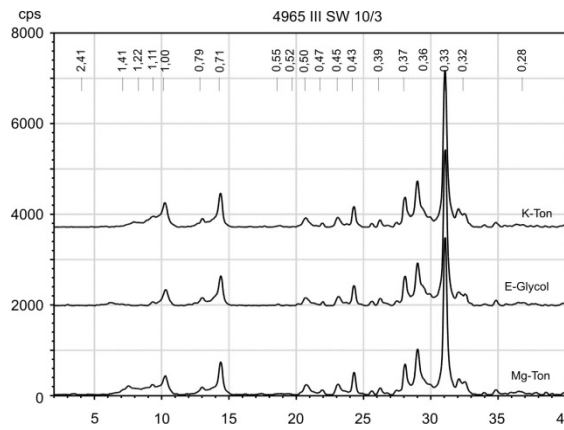
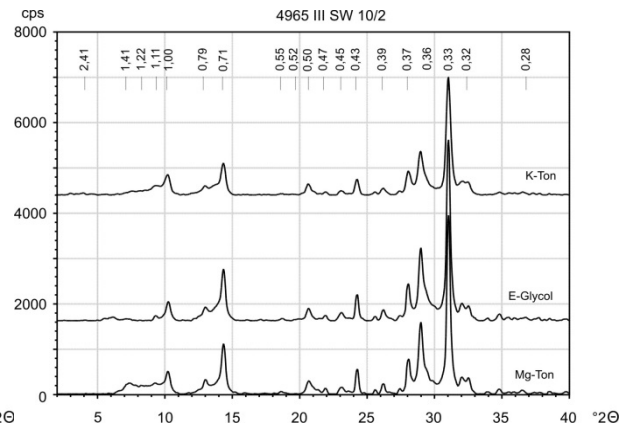
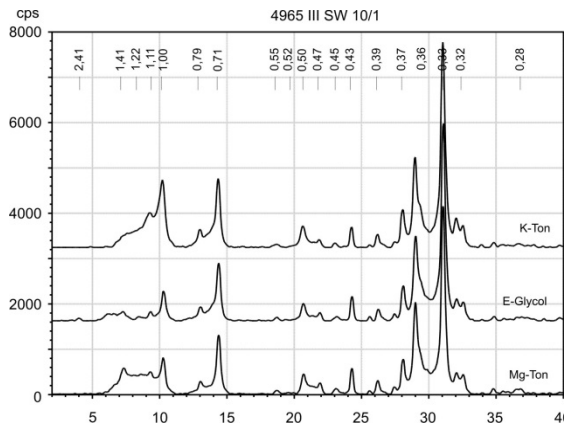
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

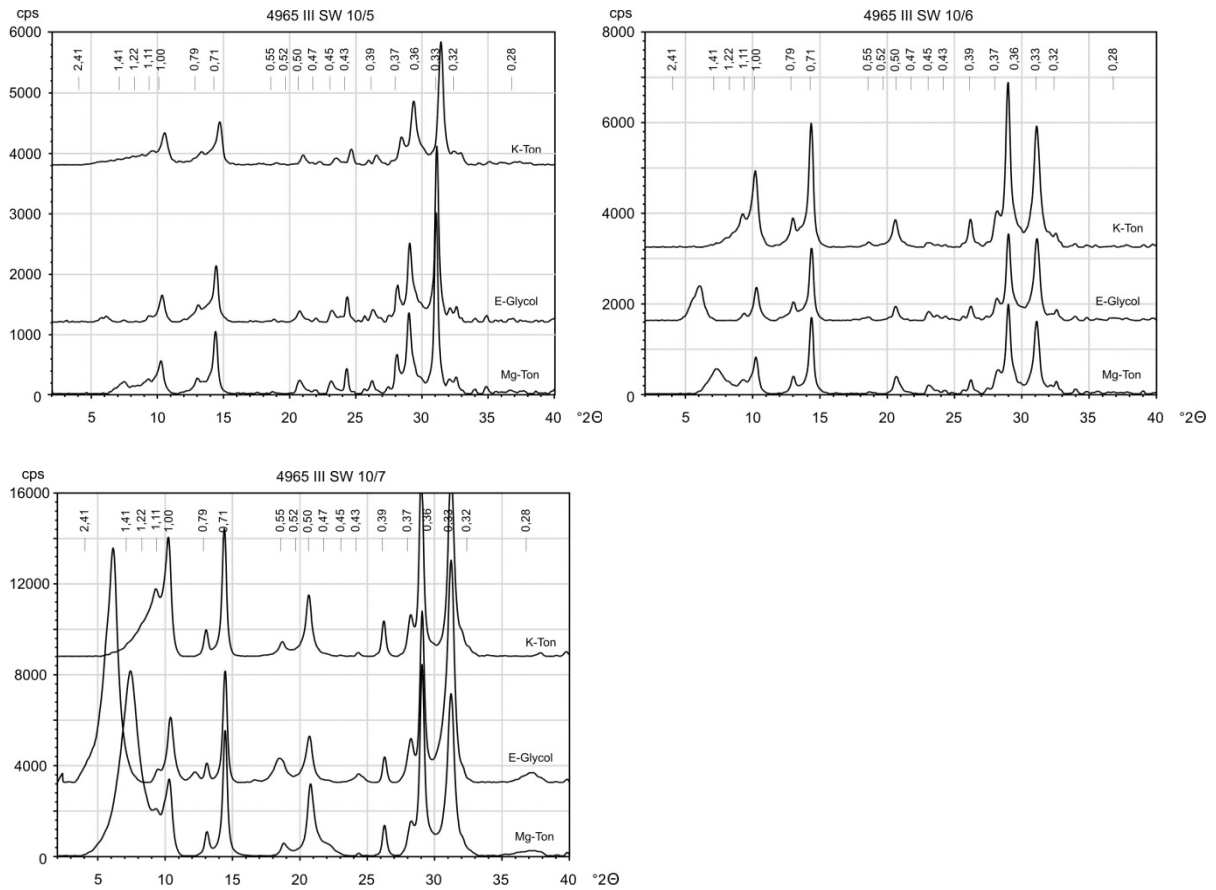
A.2.2.118 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben





Boulder 4964 III SE 14

GPS: N 40° 04' 01,1", W 105° 18' 14,3", 1822 m NN, ± 4 m

A.2.2.119 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
M	0-25	14/1	0-25	oberste Schicht, weniger Skelett als im Liegenden, stark durchwurzelt v.a. Gras, braun, sandig
II Al	25-90	14/2 14/3 OSL 14/1	30-50 60-80 70	gräulich-braun, scherbiges Skelett entstanden aus dem anstehenden Gestein (quarzitischer Sandstein), Mittel- und Feinsteine, einzelne Blöcke, hangparallel eingeregelt, Schluffkappen/blanken Unterseiten, stark durchwurzelt → graue Färbung durch (Fein-)Wurzelabbau
III Bt	90-140	14/4 14/5 OSL 14/2	95-115 120-135 135	rötlichbraun, hoher Skelettanteil, Steine, Blöcke nur vereinzelt, sandig-schluffige Matrix, polyedrisches Gefüge, intensiv durchwurzelt
IV Bt	140-190	14/6 14/7	150-170 170-185	rötlich-gelblich-braun, weniger reich an Feinskelett, sandiger, immer noch Bt-Dynamik, aber abnehmender Tongehalt, intensiv durchwurzelt
V Bt	190-275	14/8 14/9 14/10 OSL 14/3	195-215 220-240 245-265 275	gelblich, sandig, z.T. grusig, kleinere Steine, Tonanreicherungen auf den Gefügeflächen und entlang von Wurzelbahnen, sehr intensiv durchwurzelt
Cv	275-300+			anstehendes Gestein, scherbig verwittert, auf den Steinen Schluffkappen, unten oxidreicher Tonbelag, feucht zwischen den Scherben, auch hier stark durchwurzelt

A.2.2.120 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden-art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4964 III SE 14/1	M	0-25	8,87	9,6	21,0	20,1	50,7	12,4	12,1	7,0	31,6	17,7	Ls3
4964 III SE 14/2	II Al	30-50	19,33	5,8	16,5	24,4	46,7	11,1	9,0	5,9	26,1	27,2	Lts
4964 III SE 14/3	II Al	60-80	33,00	8,7	18,9	22,1	49,7	12,4	10,8	8,5	31,7	18,5	Ls3
4964 III SE 14/4	III Bt	95-115	35,82	41,1	41,0	5,9	87,9	2,4	3,1	2,4	8,0	4,1	Ss
4964 III SE 14/5	III Bt	120-135	36,79	9,9	22,5	34,1	66,4	10,0	7,4	5,1	22,5	11,0	Sl3
4964 III SE 14/6	IV Bt	150-170	20,91	7,1	17,8	19,0	43,9	12,1	10,2	5,8	28,0	28,1	Lts
4964 III SE 14/7	IV Bt	170-185	34,90	36,9	40,2	8,7	85,7	4,0	2,9	2,8	9,7	4,6	Ss
4964 III SE 14/8	V Bt	195-215	50,12	7,8	20,7	28,5	57,0	10,9	8,0	5,9	24,8	18,2	Ls4
4964 III SE 14/9	V Bt	220-240	39,84	11,4	28,5	31,6	71,5	8,8	4,4	4,5	17,7	10,7	Sl3
4964 III SE 14/10	V Bt	245-265	34,98	24,6	28,1	11,9	64,5	10,9	9,5	4,8	25,2	10,2	Sl3

A.2.2.121 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4964 III SE 14/1	M	0-25	5,68	0,00	10YR 2/2	3,77	2,963	0,236	13	0,066
4964 III SE 14/2	II Al	30-50	5,74	0,00	7,5 YR 3/3	1,19	1,015	0,129	8	0,035
4964 III SE 14/3	II Al	60-80	5,63	0,00	7,5YR 4/4	0,46	0,501	0,090	6	0,030
4964 III SE 14/4	III Bt	95-115	5,65	0,00	7,5YR 4/6	0,40	0,409	0,079	5	0,030
4964 III SE 14/5	III Bt	120-135	5,64	0,00	5YR 4/6	0,60	0,374	0,071	5	0,037
4964 III SE 14/6	IV Bt	150-170	5,05	0,00	5YR 4/6	0,48	0,656	0,079	8	0,031
4964 III SE 14/7	IV Bt	170-185	4,54	0,00	5YR 4/6	0,34	0,371	0,065	6	0,025
4964 III SE 14/8	V Bt	195-215	4,35	0,00	7,5YR 4/6	0,49	0,383	0,063	6	0,022
4964 III SE 14/9	V Bt	220-240	4,38	0,00	7,5YR 4/6	0,18	0,179	0,056	3	0,021
4964 III SE 14/10	V Bt	245-265	4,38	0,00	7,5YR 4/6	0,12	0,094	0,044	2	0,017

A.2.2.122 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK	BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4964 III SE 14/1	M	0-25	0,17	0,06	0,04	0,14	0,86	3,00	27,70	96,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,77	100,00
4964 III SE 14/2	II Al	30-50	0,10	0,41	0,05	0,21	0,86	3,60	22,89	95,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,91	100,00
4964 III SE 14/3	II Al	60-80	0,06	0,25	0,06	0,23	1,00	4,07	23,42	95,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,54	100,00
4964 III SE 14/4	III Bt	95-115	0,09	0,31	0,08	0,26	1,67	5,73	27,27	93,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,11	100,00
4964 III SE 14/5	III Bt	120-135	0,09	0,26	0,07	0,19	2,38	6,83	32,38	92,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,92	100,00
4964 III SE 14/6	IV Bt	150-170	0,09	0,26	0,07	0,21	2,16	6,60	30,45	92,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,76	100,00
4964 III SE 14/7	IV Bt	170-185	0,05	0,22	0,05	0,19	1,15	4,57	23,49	93,74	0,32	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	25,06	98,72
4964 III SE 14/8	V Bt	195-215	0,04	0,25	0,06	0,38	0,49	3,32	13,95	93,66	0,36	2,39	0,00	0,00	0,00	0,00	14,90	97,61
4964 III SE 14/9	V Bt	220-240	0,03	0,29	0,03	0,27	0,34	2,95	10,79	94,86	0,18	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	11,37	98,37
4964 III SE 14/10	V Bt	245-265	0,02	0,23	0,03	0,39	0,20	2,28	8,32	95,85	0,11	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	8,68	98,76

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.123 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan									Gesamtgehalt		
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			% Fe	% Al	% Mn
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d			
4964 III SE 14/1	M	0-25	0,01	0,00	0,010	0,05	0,04	0,001	0,32	0,10	0,000	0,38	0,14	0,011
4964 III SE 14/2	II Al	30-50	0,00	0,00	0,005	0,05	0,06	0,000	0,49	0,10	0,000	0,54	0,16	0,005
4964 III SE 14/3	II Al	60-80	0,00	0,00	0,006	0,07	0,05	0,003	0,40	0,06	0,002	0,47	0,11	0,011
4964 III SE 14/4	III Bt	95-115	0,00	0,00	0,005	0,05	0,05	0,000	0,39	0,06	0,002	0,44	0,11	0,007
4964 III SE 14/5	III Bt	120-135	0,00	0,00	0,004	0,05	0,06	0,000	0,53	0,08	0,000	0,57	0,14	0,004
4964 III SE 14/6	IV Bt	150-170	0,00	0,00	0,005	0,05	0,06	0,000	0,46	0,37	0,000	0,52	0,43	0,005
4964 III SE 14/7	IV Bt	170-185	0,00	0,00	0,006	0,04	0,05	0,000	0,39	0,14	0,000	0,43	0,19	0,006
4964 III SE 14/8	V Bt	195-215	0,02	0,01	0,002	0,02	0,03	0,000	0,37	0,21	0,000	0,40	0,26	0,002
4964 III SE 14/9	V Bt	220-240	0,02	0,01	0,002	0,02	0,02	0,000	0,28	0,12	0,000	0,31	0,16	0,002
4964 III SE 14/10	V Bt	245-265	0,01	0,00	0,001	0,01	0,16	0,000	0,26	0,06	0,000	0,28	0,22	0,001

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

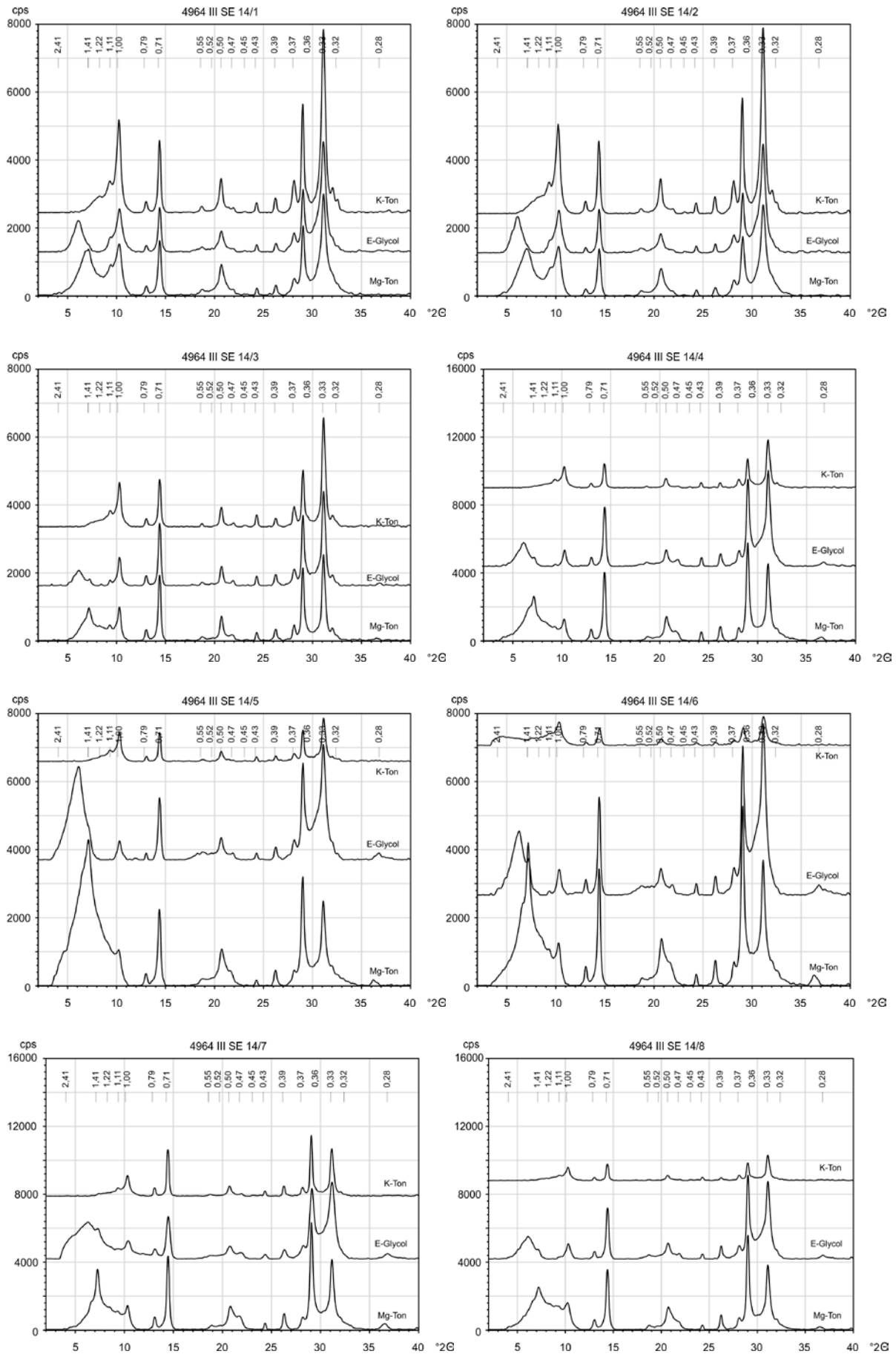
Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _p /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
				4964 III SE 14/1	M	0-25	0,15	2	13	85	1	26
4964 III SE 14/2	II Al	30-50	0,10	0	9	91	0	39	61	100	0	0
4964 III SE 14/3	II Al	60-80	0,16	0	14	86	0	44	56	56	26	18
4964 III SE 14/4	III Bt	95-115	0,13	0	11	88	0	44	56	73	0	27
4964 III SE 14/5	III Bt	120-135	0,09	0	9	91	0	43	57	94	0	6
4964 III SE 14/6	IV Bt	150-170	0,10	1	9	90	0	13	87	100	0	0
4964 III SE 14/7	IV Bt	170-185	0,11	1	10	89	0	25	75	100	0	0
4964 III SE 14/8	V Bt	195-215	0,05	5	4	90	6	12	83	100	0	0
4964 III SE 14/9	V Bt	220-240	0,05	5	5	90	7	15	78	100	0	0
4964 III SE 14/10	V Bt	245-265	0,04	4	4	92	2	71	27	100	0	0

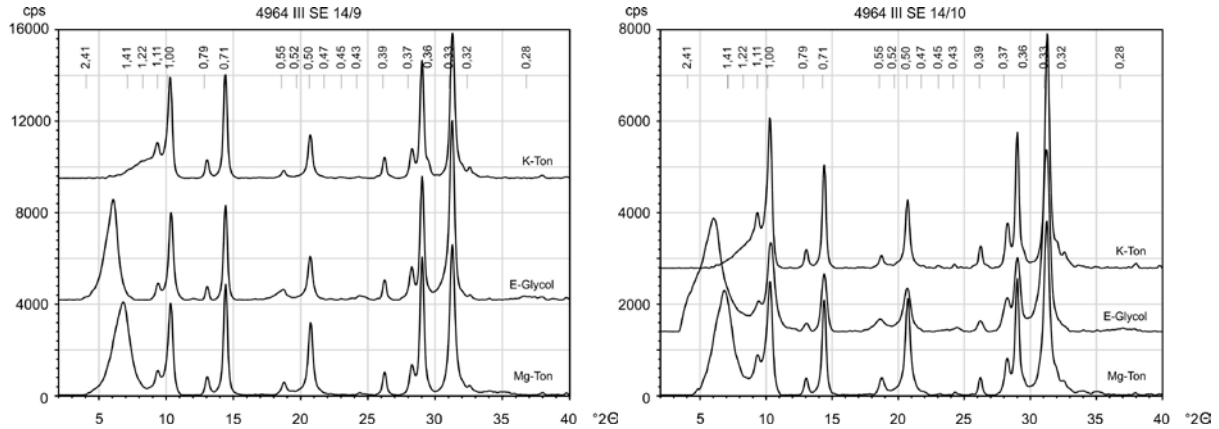
A.2.2.124 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4964 III SE 14/1	346,91	279,31	115,05	11,52	57,53	55,02	18042,99	461,13	36,52	2215,92	5120,19	14198,30
4964 III SE 14/2	412,36	115,96	106,21	8,04	9,92	35,03	17315,21	365,34	31,76	2513,23	3336,64	12499,80
4964 III SE 14/3	355,08	121,12	111,28	14,59	10,93	38,54	20116,23	343,39	50,22	2356,11	2695,69	11186,55
4964 III SE 14/4	365,29	145,94	106,20	15,76	13,81	46,02	23428,25	278,29	58,62	2824,74	3289,46	13108,90
4964 III SE 14/5	332,07	173,44	97,45	16,59	9,12	42,49	27715,15	310,76	59,19	2556,57	4003,40	10028,94
4964 III SE 14/6	396,36	150,87	86,36	13,03	10,60	35,92	25524,16	208,71	53,96	2673,49	3742,31	9835,62
4964 III SE 14/7	343,09	115,70	96,71	13,34	8,72	32,09	21533,27	182,05	53,69	2812,24	3036,24	10305,80
4964 III SE 14/8	324,76	56,91	65,52	9,92	9,84	17,72	11954,76	62,64	18,62	2062,30	1887,32	8155,65
4964 III SE 14/9	294,74	17,80	65,49	5,43	10,11	17,77	9272,48	39,06	21,46	2095,35	1322,36	8605,73
4964 III SE 14/10	281,38	n.n.	47,38	4,94	10,13	17,14	5957,56	n.n.	15,10	1238,22	775,96	5855,59

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.125 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion





Boulder 4964 III SE 16

GPS: N 40° 05' 0118,2'', W 105° 20' 59,8'', 2065 m NN, ± 4 m

A.2.2.126 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
AI	0-40	16/1 16/2	0-20 20-40	sehr locker gelagert, Hauptwurzelhorizont, auch viele größere Wurzeln, diese enden an der Untergrenze, kleine Steine, sandig-grusig, braun, leicht gräulich
II AI	40-55	16/3 OSL 16/1	40-55 45	Übergangsschicht von Material und Lagerung ähnlich wie Schicht I, allerdings weniger Wurzeln, graubraun
III Bt	55-125	16/4 16/5 16/6 OSL 16/2	60-80 80-100 100-125 90	große Steine, sehr steinreich, stark tonige Matrix, Steine von Ton überzogen, dicht gelagert, rotbraun, intensiv durchwurzelt
IV	125-135	16/7 OSL 16/3	125-135 130	gelbliches Band, wie von rechts in eine Rinne gespült, überwiegend fein, sehr tonig, einige Steine, dicht gelagert, gut durchwurzelt, wieder etwas größere Wurzeln, die dieses Band nachziehen
V	135-170	16/8	140-160	viele Steine, auch größere, Steine teilweise von Ton überzogen, weniger Ton als in Schicht III, Schluffhauben/blanke Unterseiten, sehr dicht gelagert, stark mit Feinwurzeln durchzogen
ICv	170-180+	16/9	170-180	Saprolith, gut verwittert, gräuliche und rote Bestandteile

A.2.2.127 Korngrößenanalyse

Probe	Hori- zont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w . %									Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4964 III SE 16/1	AI	0-20	40,12	48,2	21,4	10,2	79,8	4,3	5,0	3,7	12,9	7,2	SI2
4964 III SE 16/2	AI	20-40	40,73	32,4	26,2	15,4	74,1	6,9	6,1	4,7	17,6	8,3	SI3
4964 III SE 16/3	II AI	40-55	30,02	27,3	21,2	13,7	62,1	8,6	7,6	4,8	21,0	16,9	SI4
4964 III SE 16/4	III Bt	60-80	41,76	34,2	16,9	7,3	58,3	5,7	5,3	3,8	14,8	26,9	Ts4
4964 III SE 16/5	III Bt	80-100	60,42	26,3	19,4	10,9	56,6	5,1	6,4	4,1	15,6	27,8	Lts
4964 III SE 16/6	III Bt	100-125	55,35	20,6	17,2	9,6	47,5	8,5	6,1	4,6	19,2	33,3	Lts
4964 III SE 16/7	IV	125-135	33,37	19,8	13,5	9,3	42,6	7,4	9,9	10,1	27,4	30,0	Lts
4964 III SE 16/8	V	140-160	75,63	32,5	15,9	8,8	57,2	4,8	6,7	2,5	14,0	28,9	Lts
4964 III SE 16/9	ICv	170-180	64,54	26,2	22,0	10,9	59,0	8,4	8,3	5,8	22,5	18,5	Ls4

A.2.2.128 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4964 III SE 16/1	AI	0-20	5,34	0,00	7,5YR 4/6	1,70	0,179	0,056	3	0,021
4964 III SE 16/2	AI	20-40	5,38	0,00	10YR 3/3	0,68	0,773	0,080	10	0,018
4964 III SE 16/3	II AI	40-55	6,15	0,00	10YR 3/6	0,53	0,742	0,081	9	0,018
4964 III SE 16/4	III Bt	60-80	6,70	0,00	10YR 4/6	0,31	0,451	0,081	6	0,024
4964 III SE 16/5	III Bt	80-100	6,68	0,00	10YR 5/6	0,23	0,196	0,035	6	0,021
4964 III SE 16/6	III Bt	100-125	6,69	0,00	10YR 4/6	0,29	0,571	0,101	6	0,054
4964 III SE 16/7	IV	125-135	6,79	0,00	10YR 5/8	0,21	0,288	0,066	4	0,015
4964 III SE 16/8	V	140-160	6,91	0,00	10YR 4/6	0,33	0,339	0,071	5	0,015
4964 III SE 16/9	ICv	170-180	6,93	0,00	10YR 4/6	0,19	0,234	0,060	4	0,013

A.2.2.129 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4964 III SE 16/1	AI	0-20	0,21	0,94	0,03	0,15	0,67	3,04	20,98	95,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	21,89	99,97
4964 III SE 16/2	AI	20-40	0,15	0,76	0,04	0,22	0,64	3,18	19,27	95,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,11	100,00
4964 III SE 16/3	II AI	40-55	0,20	0,74	0,07	0,27	1,25	4,68	25,21	94,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,37	100,00
4964 III SE 16/4	III Bt	60-80	0,26	0,72	0,09	0,25	2,49	6,98	32,79	92,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,62	100,00
4964 III SE 16/5	III Bt	80-100	0,23	0,67	0,07	0,19	2,33	6,70	32,13	92,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,76	100,00
4964 III SE 16/6	III Bt	100-125	0,28	0,79	0,06	0,16	2,46	6,91	32,75	92,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,55	100,00
4964 III SE 16/7	IV	125-135	0,18	0,61	0,04	0,13	1,46	5,03	27,24	94,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,91	100,00
4964 III SE 16/8	V	140-160	0,21	0,69	0,04	0,15	1,70	5,70	27,79	93,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,74	100,00
4964 III SE 16/9	ICv	170-180	0,13	0,53	0,04	0,16	1,10	4,55	22,86	94,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,12	100,00

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.130 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4964 III SE 16/1	AI	0-20	0,05	0,01	0,008	0,03	0,13	0,000	0,30	0,05	0,000	0,38	0,19	0,008
4964 III SE 16/2	AI	20-40	0,03	0,00	0,004	0,04	0,14	0,000	0,44	0,05	0,000	0,52	0,19	0,004
4964 III SE 16/3	II AI	40-55	0,02	0,00	0,004	0,04	0,24	0,000	0,83	0,26	0,000	0,90	0,51	0,004
4964 III SE 16/4	III Bt	60-80	0,01	0,00	0,004	0,03	0,46	0,000	1,15	0,09	0,002	1,20	0,55	0,005
4964 III SE 16/5	III Bt	80-100	0,01	0,00	0,004	0,05	0,49	0,013	2,12	0,08	0,014	2,18	0,58	0,032
4964 III SE 16/6	III Bt	100-125	0,02	0,00	0,005	0,07	0,45	0,011	2,31	0,16	0,010	2,40	0,61	0,025
4964 III SE 16/7	IV	125-135	0,01	0,00	0,004	0,07	0,28	0,033	2,24	0,11	0,010	2,33	0,38	0,046
4964 III SE 16/8	V	140-160	0,01	0,00	0,003	0,04	0,37	0,054	2,19	0,14	0,024	2,24	0,51	0,081
4964 III SE 16/9	ICv	170-180	0,04	0,01	0,003	0,02	0,00	0,049	1,79	0,06	0,005	1,85	0,07	0,058

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

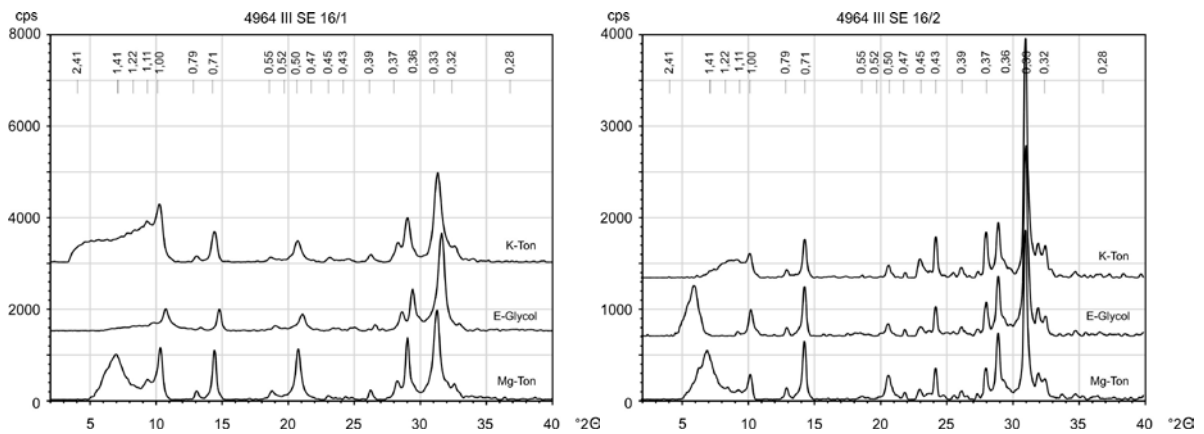
Probe	Horizont	Probentiefe (cm)	Fe _p /Fe _d	Sequentielle Extraktion								
				Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4964 III SE 16/1	AI	0-20	0,11	13	8	79	5	70	26	100	0	0
4964 III SE 16/2	AI	20-40	0,09	6	8	86	0	74	26	100	0	0
4964 III SE 16/3	II AI	40-55	0,05	3	5	93	0	48	52	98	0	2
4964 III SE 16/4	III Bt	60-80	0,03	1	3	96	0	83	17	69	0	31
4964 III SE 16/5	III Bt	80-100	0,02	1	2	97	0	85	15	14	42	44
4964 III SE 16/6	III Bt	100-125	0,03	1	3	96	0	74	26	18	42	40
4964 III SE 16/7	IV	125-135	0,03	1	3	96	0	72	28	8	70	22
4964 III SE 16/8	V	140-160	0,02	0	2	98	0	73	27	4	67	29
4964 III SE 16/9	ICv	170-180	0,01	2	1	97	13	0	87	5	85	9

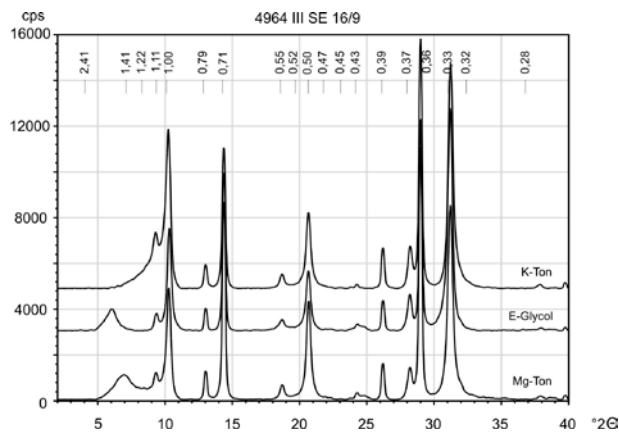
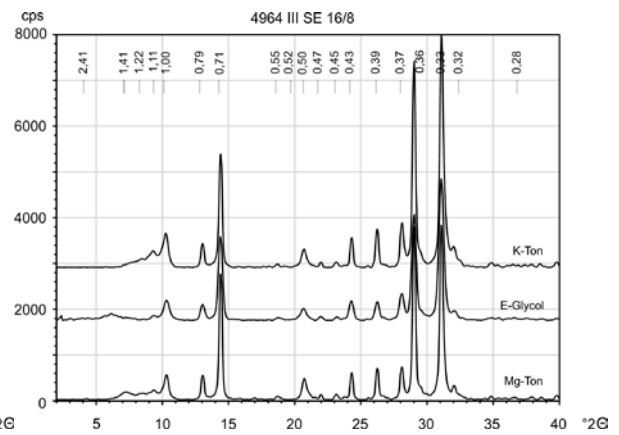
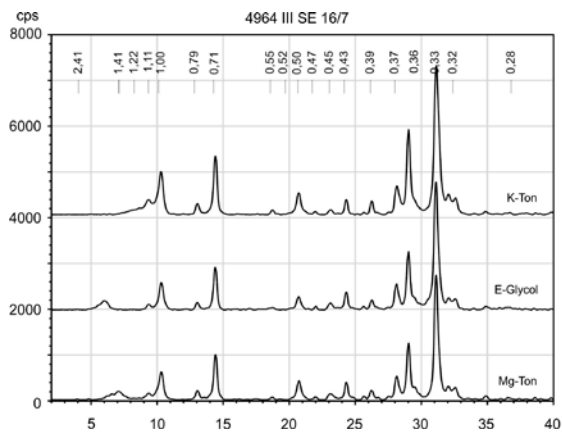
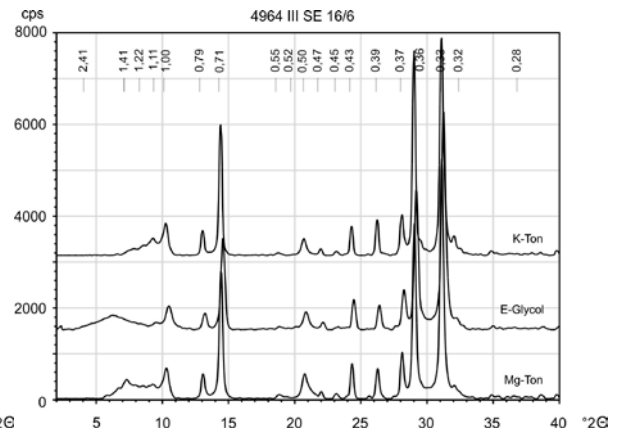
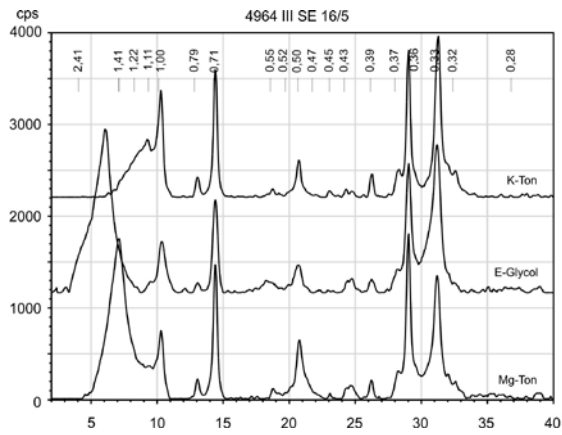
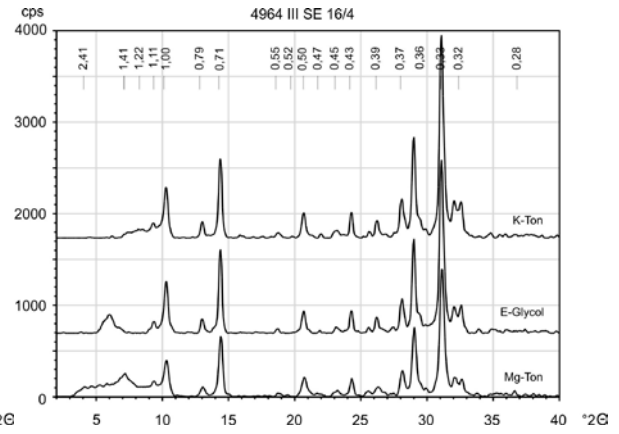
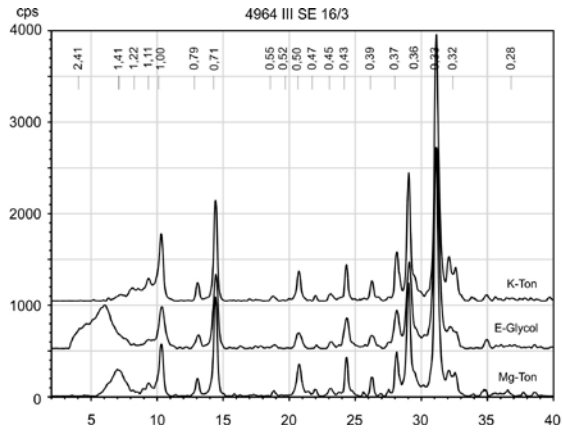
A.2.2.131 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4964 III SE 16/1	250,31	651,92	120,17	n.n.	12,87	33,94	18697,90	384,39	42,20	2597,42	8149,18	15523,64
4964 III SE 16/2	231,15	598,28	140,13	n.n.	9,19	39,04	29094,34	474,88	50,33	3489,24	5667,38	18325,17
4964 III SE 16/3	265,09	430,82	155,10	8,84	n.n.	46,13	39625,49	400,11	56,15	3239,65	4434,22	13525,98
4964 III SE 16/4	176,75	297,80	133,50	17,11	n.n.	48,39	45828,37	436,82	70,69	2088,41	4383,26	9761,96
4964 III SE 16/5	241,25	399,95	157,26	12,77	n.n.	59,53	57107,68	553,57	61,99	2755,69	4624,60	8367,75
4964 III SE 16/6	376,46	77,72	203,00	16,37	n.n.	59,23	56390,45	787,56	73,93	3620,10	3393,58	11842,91
4964 III SE 16/7	254,38	n.n.	287,96	8,63	n.n.	56,76	47144,46	1256,19	68,46	1783,24	2781,42	18912,72
4964 III SE 16/8	193,89	84,94	213,32	13,90	n.n.	61,76	53192,29	1262,45	72,11	3159,90	3828,86	16050,61
4964 III SE 16/9	365,91	64,84	208,47	15,98	n.n.	76,18	60481,54	1762,44	81,04	5319,70	4513,94	14649,87

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.132 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion





Eldorado Springs 4963 VI NE 12

GPS: N 39° 57' 04,1'', W 105° 21' 14,2'', 2298 m NN, ± 4 m

A.2.2.133 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah-Bhv	0-20	12/1	5-15	stark durchwurzelt, hellgrau, grobes Skelett, evtl. gestört durch Waldbrand, nur noch wenige Bäume, Durchwurzelungsgrenze zur nächsten Schicht
II Al	20-50 (55)	12/2 12/3 OSL 12/1	20-30 40-50 40	wellige Grenze, sehr hell, zum Bt hin Tonanreicherungsneuster, viel grobes Skelett, grusig, Anteil des Skeletts ändert sich zum Bt hin nicht, kein Schichtwechsel
Bt	50-90	12/4 12/5 OSL 12/2 OSL 12/3	60-70 80-90 57 70	Bt-Dynamik, Toncutane, Steine mit Ton überzogen, Steine sehr gut eingeregelt
III Bt	90-210			grusiger als Schicht II, Bt-Dynamik greift durch Schichtwechsel
ICv	210-230+	12/6	210-230	Saprolith Probe versetzt nach rechts im Profil genommen

A.2.2.134 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w . %										Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
4963 IV NE 12/1	Ah-Bhv	5-15	29,55	31,5	24,5	13,9	69,9	8,3	7,6	5,6	21,6	8,5	SI3	
4963 IV NE 12/2	II Al	20-30	31,59	35,2	25,0	14,4	74,6	8,1	5,1	4,3	17,4	8,0	SI2	
4963 IV NE 12/3	II Al	40-50	27,76	27,8	25,6	17,9	71,4	7,8	5,5	4,1	17,5	11,2	SI3	
4963 IV NE 12/4	III Bt	60-70	41,73	17,4	16,7	11,7	45,8	5,4	4,8	2,8	13,1	41,2	Ts3	
4963 IV NE 12/5	III Bt	80-90	33,70	20,0	19,8	12,0	57,8	6,1	4,0	3,3	13,4	34,8	Ts4	
4963 IV NE 12/6	ICv	210-230	48,03	25,2	31,0	18,5	74,7	4,3	2,3	2,4	9,0	16,3	St2	

A.2.2.135 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4963 IV NE 12/1	Ah-Bhv	5-15	6,08	0,00	10YR 3/4	1,94	0,124	0,044	3	0,015
4963 IV NE 12/2	II Al	20-30	5,78	0,00	10YR 4/4	0,68	0,509	0,078	7	0,025
4963 IV NE 12/3	II Al	40-50	5,82	0,00	10YR 4/6	0,59	0,303	0,066	5	0,030
4963 IV NE 12/4	III Bt	60-70	5,74	0,00	7,5YR 4/6	0,54	0,429	0,077	6	0,036
4963 IV NE 12/5	III Bt	80-90	5,72	0,00	7,5YR 5/6	0,19	0,192	0,070	3	0,035
4963 IV NE 12/6	ICv	210-230	6,17	0,00	10YR 4/6	0,28	0,131	0,049	3	0,027

A.2.2.136 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4963 IV NE 12/1	Ah-Bhv	5-15	0,09	0,42	0,02	0,08	0,38	1,66	22,22	97,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,71	100,00
4963 IV NE 12/2	II Al	20-30	0,05	0,24	0,01	0,03	0,27	1,41	18,75	98,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,07	100,00
4963 IV NE 12/3	II Al	40-50	0,06	0,35	0,01	0,08	0,42	2,54	16,16	97,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,65	100,00
4963 IV NE 12/4	III Bt	60-70	0,18	0,45	0,06	0,15	2,76	7,12	35,77	92,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,76	100,00
4963 IV NE 12/5	III Bt	80-90	0,17	0,41	0,09	0,22	2,98	7,28	37,67	92,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,91	100,00
4963 IV NE 12/6	ICv	210-230	0,07	0,11	0,15	0,26	1,51	2,52	58,43	97,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,17	100,00

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.137 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan									Gesamtgehalt		
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			% Fe	% Al	% Mn
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d			
4963 IV NE 12/1	Ah-Bhv	5-15	0,05	0,01	0,003	0,02	0,01	0,000	0,57	0,06	0,001	0,63	0,07	0,004
4963 IV NE 12/2	II Al	20-30	0,04	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,56	0,05	0,000	0,60	0,06	0,000
4963 IV NE 12/3	II Al	40-50	0,03	0,00	0,001	0,00	0,00	0,000	0,62	0,09	0,000	0,65	0,10	0,001
4963 IV NE 12/4	III Bt	60-70	0,06	0,05	0,002	0,02	0,04	0,000	0,74	0,14	0,000	0,82	0,23	0,002
4963 IV NE 12/5	III Bt	80-90	0,04	0,02	0,001	0,01	0,03	0,000	0,74	0,12	0,003	0,79	0,17	0,004
4963 IV NE 12/6	ICv	210-230	0,03	0,00	0,001	0,01	0,00	0,000	0,86	0,07	0,002	0,90	0,07	0,003

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

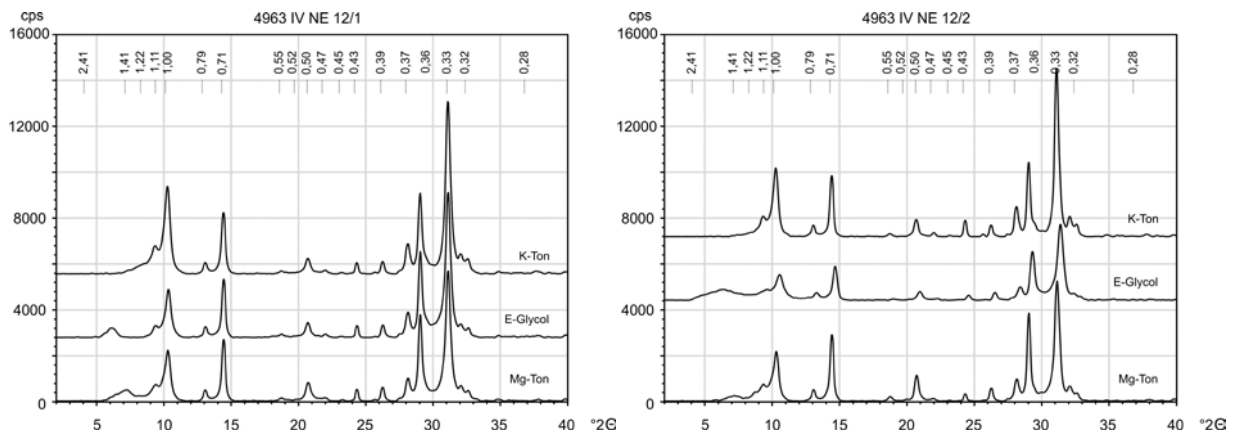
Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4963 IV NE 12/1	Ah-Bhv	5-15	0,04	7	3	89	12	8	81	73	0	27
4963 IV NE 12/2	II Al	20-30	0,01	6	1	93	4	2	93	100	0	0
4963 IV NE 12/3	II Al	40-50	0,01	5	1	95	2	4	94	100	0	0
4963 IV NE 12/4	III Bt	60-70	0,02	8	2	90	22	17	61	100	0	0
4963 IV NE 12/5	III Bt	80-90	0,01	5	1	94	10	17	73	32	0	68
4963 IV NE 12/6	ICv	210-230	0,01	4	1	95	0	5	95	26	0	74

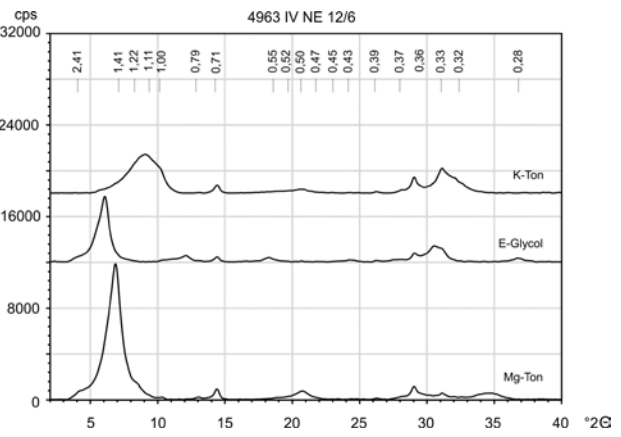
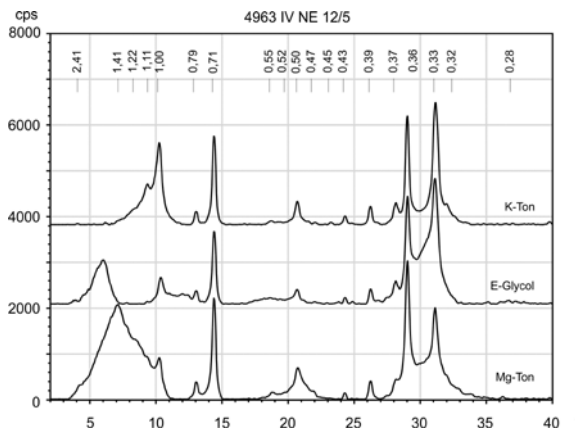
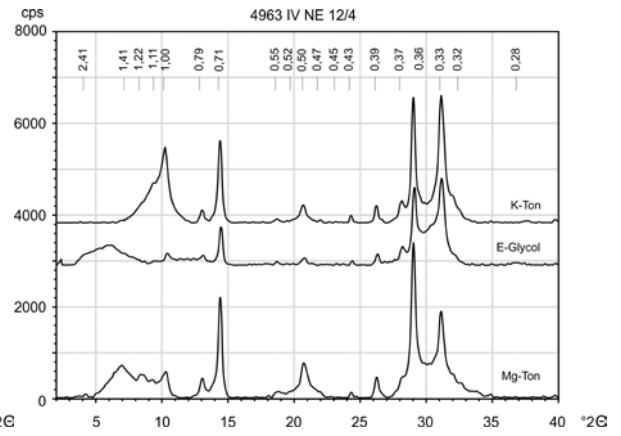
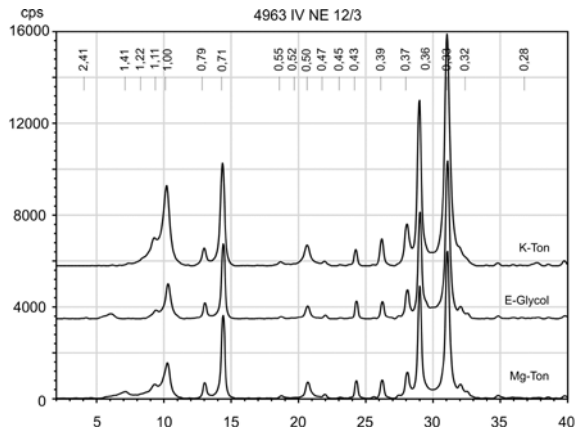
A.2.2.138 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4963 IV NE 12/1	331,55	622,95	146,00	10,36	19,08	31,26	15466,30	202,70	27,58	2530,95	5365,82	13487,51
4963 IV NE 12/2	436,57	667,45	149,59	13,37	9,00	20,00	14686,74	63,88	34,69	2193,07	3871,38	14805,16
4963 IV NE 12/3	409,67	670,99	143,09	16,57	13,86	22,94	19122,68	147,48	40,20	2181,21	4104,48	14455,13
4963 IV NE 12/4	256,71	408,08	152,83	22,52	16,03	42,70	29176,54	178,16	50,03	1922,81	3669,78	11396,33
4963 IV NE 12/5	231,96	519,57	140,93	22,42	11,04	45,37	27732,38	200,00	54,79	1837,66	4586,12	9034,10
4963 IV NE 12/6	274,54	980,90	125,51	28,83	7,76	42,93	36773,38	486,09	64,32	2302,14	7112,74	9521,45

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.139 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion





Profilgruppe V

Boulder 4964 III SE 1-4

GPS: N 40° 00' 46,3'', W 105° 20' 28,0'', 1910 m NN, ± 9 m

A.2.2.140 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
<i>Profil 1</i>				
Ah	0-10			M/Ap? (Saprolithisches), variiert stark in Mächtigkeit
M	10-130	1/1 OSL 1 OSL 3	110-130 55-75 100-120	nicht näher differenziert
II M	130-140			Spülsediment mit höheren Feinskeletanteil, humos angereichert, aufgearbeiteter fAh (Übergangshorizont), diffus humoses Material mit M vermischt
III M fAh	140-160	1/2	140-160	ca. 10 cm mächtiger sehr stark humoser Bereich, insgesamt dunklere und hellere Stellen → Effekte der Auflösung und Überprägung, anderenorts starke rezente Durchwurzelung, fAh und fBt eine Schicht
III M fBt ₁	160-180	1/3	160-180	fBt mit diffusen gewachsenen Übergang aus fAh, etwas feucht, sehr intensiv rezent durchwurzelt, innerhalb des insgesamt 60 cm starken fBt ist ein Materialwechsel hin zu etwas grusiger (fBt ₂)
IV M fBt ₂	180-220	1/4 OSL 2	180-200 190-210	siehe fBt ₁
V M	220+	OSL 4 OSL 5	260-280 400-420	von Bodenbildung unbeeinflusst, stratifiziertes saprolithisches Hangsediment, Ton- und Schluffbänder, die heller gefärbt sind, sonst teils grau, teils rostbraun
<i>Profil 2</i>				
ICv		2/1	-	an der Basis des Gullys, Saprolith, sehr fein und sehr kompakt
<i>Profil 3</i>				
				grusiger Saprolith neben Festgestein unter verspültem Saprolithsediment
<i>Profil 1-3: Alle Profile liegen im selben Gully auf ca. 25 m Länge. Der fAh dünnt unterhalb von Profil 1 auf weniger als 20 cm aus und streicht an der rezenten Oberfläche aus. Auch direkt gegenüber, an der anderen Gully-Seite vom Profil, bildet der fAh die rezente Oberfläche. Die vergleichsweise mächtige Verschüttung von 140 cm kann ein sehr begrenztes Phänomen sein. Vermutlich nutzungszeitliches Alter des hangenden M.</i>				
<i>Profil 4</i>				
				Saprolithaufschluss oberhalb der Straße GPS: N 40° 00' 50,2'', W 105° 20' 32,6'', 1995 m, ± 5 m
ICv	120+	4/1	120-160	Saprolith, ca. 3 m mächtig

A.2.2.141 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
4964 III SE 1/1	M	110-130	23,6	42,6	21,1	9,8	73,5	6,7	5,3	3,1	15,1	11,4	SI3	
4964 III SE 1/2	III M fAh	140-160	9,3	16,2	13,1	13,2	42,6	10,5	10,6	7,0	28,1	29,4	Lts	
4964 III SE 1/3	III M fBt ₁	160-180	6,9	19,5	14,5	12,8	46,8	11,4	7,9	8,8	28,2	25,0	Ls4	
4964 III SE 1/4	IV M fBt ₂	180-200	9,8	19,5	18,2	15,6	53,3	11,4	6,4	4,9	22,7	24,1	Ls4	
4964 III SE 2/1	ICv	-	17,6	29,4	24,0	17,9	71,2	7,2	4,5	3,8	15,5	13,3	SI4	
4964 III SE 4/1	ICv	120-160	48,8	55,0	28,2	8,8	92,0	4,1	1,7	0,7	6,5	1,5	gS	

A.2.2.142 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4964 III SE 1/1	M	110-130	6,25	0,00	5YR 3/3	-	0,31	0,03	0	0,02
4964 III SE 1/2	III M fAh	140-160	6,32	0,00	5YR 3/2	-	0,98	0,08	0	0,01
4964 III SE 1/3	III M fBt ₁	160-180	6,33	0,00	7,5YR 4/4	-	0,29	0,04	0	0,00
4964 III SE 1/4	IV M fBt ₂	180-200	6,33	0,00	7,5YR 4/4	-	0,24	0,03	0	0,00
4964 III SE 2/1	ICv	-	6,38	0,00	-	-	0,11	0,02	0	0,00
4964 III SE 4/1	ICv	120-160	6,54	0,00	2,5Y 4/2	-	0,04	0,01	0	0,00

A.2.2.143 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4964 III SE 1/1	M	110-130	0,37	3,52	0,11	1,05	3,00	28,26	7,12	67,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,10	10,62	99,86
4964 III SE 1/2	III M fAh	140-160	0,47	2,50	0,22	1,14	5,30	27,92	12,99	68,38	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,02	18,99	99,94
4964 III SE 1/3	III M fBt ₁	160-180	0,49	2,30	0,25	1,17	6,00	28,10	14,59	68,38	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	21,34	99,96
4964 III SE 1/4	IV M fBt ₂	180-200	0,36	2,09	0,25	1,45	4,38	25,34	12,29	71,08	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	17,29	99,96
4964 III SE 2/1	ICv	-	0,26	2,13	0,14	1,18	3,44	28,35	8,28	68,27	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	12,13	99,92
4964 III SE 4/1	ICv	120-160	0,15	1,75	0,08	0,95	2,21	25,14	6,31	71,95	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,18	8,77	99,79

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.144 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4964 III SE 1/1	M	110-130	0,01	0,01	0,000	0,16	0,05	0,016	0,63	0,14	0,006	0,80	0,21	0,023
4964 III SE 1/2	III M fAh	140-160	0,01	0,01	0,000	0,31	0,07	0,023	0,73	0,18	0,010	1,05	0,26	0,033
4964 III SE 1/3	III M fBt ₁	160-180	0,01	0,01	0,000	0,25	0,08	0,010	0,80	0,16	0,013	1,06	0,26	0,023
4964 III SE 1/4	IV M fBt ₂	180-200	0,01	0,01	0,000	0,26	0,06	0,008	0,68	0,14	0,012	0,94	0,22	0,020
4964 III SE 2/1	ICv	-	0,00	0,01	0,000	0,23	0,05	0,016	0,76	0,12	0,007	1,00	0,18	0,023
4964 III SE 4/1	ICv	120-160	0,00	0,00	0,000	0,08	0,01	0,011	0,31	0,05	0,000	0,39	0,06	0,011

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4964 III SE 1/1	M	110-130	0,26	1	20	79	6	26	68	0	72	28
4964 III SE 1/2	III M fAh	140-160	0,42	1	30	70	5	27	68	0	70	30
4964 III SE 1/3	III M fBt ₁	160-180	0,31	1	23	76	4	32	64	0	43	57
4964 III SE 1/4	IV M fBt ₂	180-200	0,38	1	27	72	7	28	65	0	40	60
4964 III SE 2/1	ICv	-	0,30	0	23	77	4	28	68	0	70	30
4964 III SE 4/1	ICv	120-160	0,24	0	19	81	0	23	77	0	100	0

A.2.2.145 Röntgenfluoreszenzanalyse

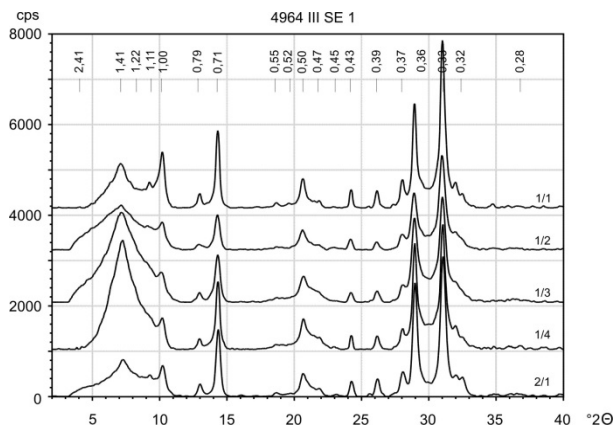
RFA: Messung im Gelände in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4964 III SE 1/1	188,59	454,06	149,97	12,71	n.n.	48,75	28409,08	461,15	39,62	2300,06	4086,39	11723,08
4964 III SE 1/2	268,24	338,95	161,26	15,95	18,62	70,42	28288,65	557,53	37,10	2041,39	5715,60	9796,55
4964 III SE 1/3	267,94	289,07	128,93	17,85	22,97	52,67	27348,99	542,08	42,16	1712,26	3421,12	7483,19
4964 III SE 1/4	320,83	411,89	127,65	15,26	19,53	47,75	31827,06	401,95	41,24	2177,42	4668,94	10398,88
4964 III SE 2/1	270,21	471,37	154,32	13,47	18,20	43,11	29626,36	555,02	44,91	2464,79	4225,88	12036,21
4964 III SE 4/1	194,85	883,72	101,39	n.n.	16,84	41,12	33761,32	825,20	48,93	2676,18	10753,16	10749,53

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4964 III SE 1/1	272,74	463,37	152,94	8,17	8,07	61,37	29694,70	564,28	60,81	3159,36	7103,40	20933,90
4964 III SE 1/2	321,33	381,82	178,31	11,59	7,96	81,62	31650,45	597,97	74,63	3417,05	7296,88	18708,70
4964 III SE 1/3	333,09	396,50	143,14	12,69	9,27	60,62	33550,40	456,68	68,80	3274,67	6976,06	17270,79
4964 III SE 1/4	302,21	463,52	142,73	11,76	n.n.	49,36	30403,84	471,49	71,99	3134,64	7433,36	18135,72
4964 III SE 2/1	378,94	462,98	159,43	13,54	n.n.	54,40	33973,25	556,34	74,08	3455,17	7178,36	19874,62
4964 III SE 4/1	348,61	713,12	158,30	n.n.	n.n.	79,10	54786,06	1108,66	100,13	5271,30	17204,89	20763,48

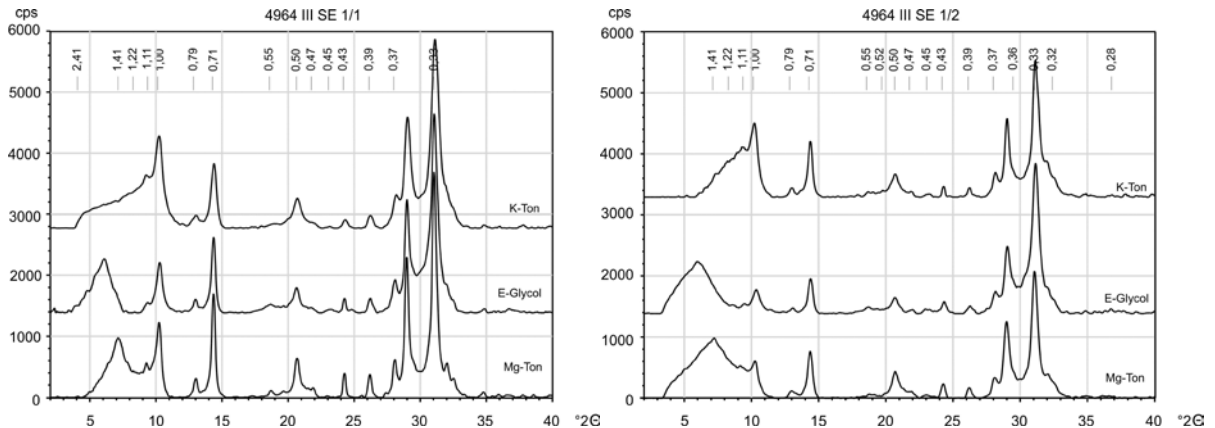
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

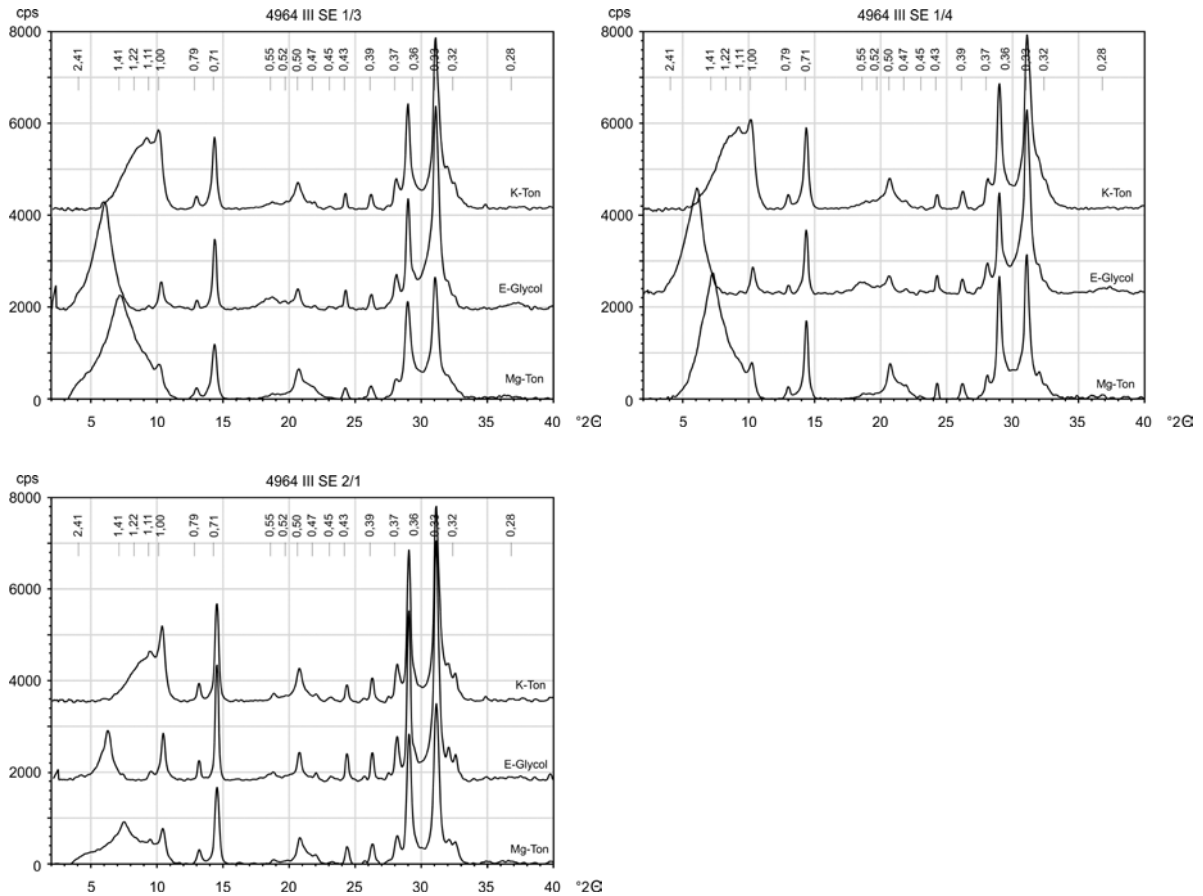
A.2.2.146 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben





Boulder 4964 III SE 5

GPS: N 40° 00,860', W 105° 20,318', 1968 m NN, ± 3 m

A.2.2.147 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
Ah	0-20	5/1	0-20	verspült mit großen Steinen
Bt	20-60	5/2	20-60	sehr rot, Toncutane
Bv-Bt	60-100			leichte Verlagerung des Tons in Streifen, sichtbare rote Streifen
ICv	100-128	5/3	100-128	gelblich-brauner Saprolith
ICv	128-224	5/4	128-224	weißlich-grauer Saprolith

A.2.2.148 Korngrößenanalyse

Probe	Hori- zont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	Korngrößen Gew. %										Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
4964 III SE 5/1	Ah	0-20	23,3	29,4	19,5	15,0	63,9	8,0	8,3	6,5	22,8	13,3	SI4	
4964 III SE 5/2	Bt	20-60	17,7	25,2	20,9	12,3	58,4	5,0	4,0	4,2	13,2	28,3	Ts4	
4964 III SE 5/3	ICv	100-128	15,4	45,9	29,7	14,3	89,8	5,7	0,4	1,2	7,4	2,8	gS	
4964 III SE 5/4	ICv	128-224	18,3	45,5	34,9	15,2	95,6	1,5	1,3	0,5	3,3	1,1	gS	

A.2.2.149 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4964 III SE 5/1	Ah	0-20	6,23	0,00	7,5YR 3/1	-	2,96	0,19	0	0,01
4964 III SE 5/2	Bt	20-60	6,32	0,00	5YR 4/6	-	0,44	0,04	0	0,00
4964 III SE 5/3	ICv	100-128	6,31	0,00	10YR 4/4	-	0,14	0,01	0	0,00
4964 III SE 5/4	ICv	128-224	6,40	0,00	-	-	0,07	0,01	0	0,00

A.2.2.150 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4964 III SE 5/1	Ah	0-20	0,69	8,27	0,09	1,06	1,55	18,51	6,01	71,89	0,00	0,00	0,01	0,07	0,02	0,20	8,36	99,74
4964 III SE 5/2	Bt	20-60	0,31	1,62	0,20	1,07	3,87	20,32	14,64	76,93	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	19,03	99,95
4964 III SE 5/3	ICv	100-128	0,12	1,06	0,14	1,23	2,30	20,05	8,90	77,56	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,07	11,48	99,90
4964 III SE 5/4	ICv	128-224	0,09	1,05	0,13	1,45	1,71	19,62	6,78	77,73	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,10	8,73	99,85

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.151 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4964 III SE 5/1	Ah	0-20	0,02	0,03	0,004	0,25	0,05	0,026	0,71	0,14	0,002	0,98	0,22	0,032
4964 III SE 5/2	Bt	20-60	0,00	0,03	0,000	0,20	0,14	0,008	0,92	0,24	0,004	1,12	0,41	0,013
4964 III SE 5/3	ICv	100-128	0,00	0,01	0,000	0,10	0,04	0,006	0,40	0,11	0,002	0,50	0,15	0,008
4964 III SE 5/4	ICv	128-224	0,00	0,00	0,000	0,12	0,02	0,005	0,41	0,07	0,001	0,53	0,09	0,006

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _p /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4964 III SE 5/1	Ah	0-20	0,35	2	25	72	14	23	63	13	81	6
4964 III SE 5/2	Bt	20-60	0,22	0	18	82	6	35	59	0	66	34
4964 III SE 5/3	ICv	100-128	0,25	0	20	80	5	26	69	0	72	28
4964 III SE 5/4	ICv	128-224	0,28	0	22	78	2	22	75	0	88	12

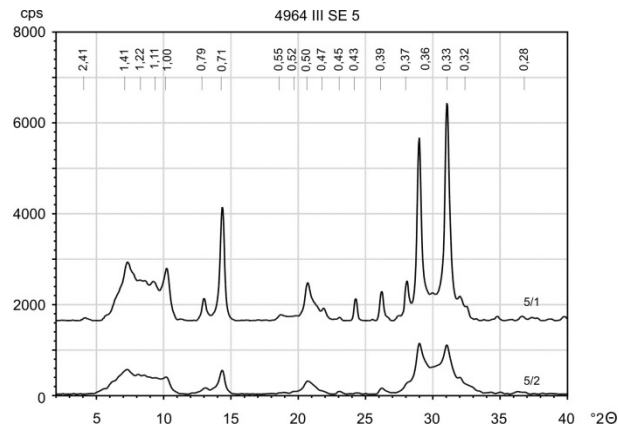
A.2.2.152 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Gelände in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4964 III SE 5/1	280,80	575,64	148,95	16,10	40,13	68,40	28506,60	819,18	38,31	2089,92	6177,85	11121,10
4964 III SE 5/2	220,28	476,81	97,24	16,86	25,73	67,81	44495,24	600,13	55,58	1898,83	8070,33	6218,63
4964 III SE 5/3	175,07	821,59	96,76	n.n.	21,16	49,80	34304,94	720,89	42,67	2001,32	9354,94	6390,08
4964 III SE 5/4	174,83	1149,08	115,07	n.n.	n.n.	46,43	31246,90	618,59	43,51	2623,69	12695,99	9475,98
RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4964 III SE 5/1	324,07	571,77	144,67	12,25	26,73	59,63	29043,26	688,50	67,70	3032,42	10493,75	19309,00
4964 III SE 5/2	252,01	616,11	80,41	11,26	n.n.	74,40	48502,75	685,61	86,84	3505,86	16138,25	9877,37
4964 III SE 5/3	423,54	881,76	127,70	n.n.	n.n.	72,98	44684,81	741,55	77,02	4038,00	21361,28	12464,68
4964 III SE 5/4	363,64	962,13	166,89	5,78	n.n.	66,86	48932,47	870,61	88,58	4204,81	23739,71	14166,72

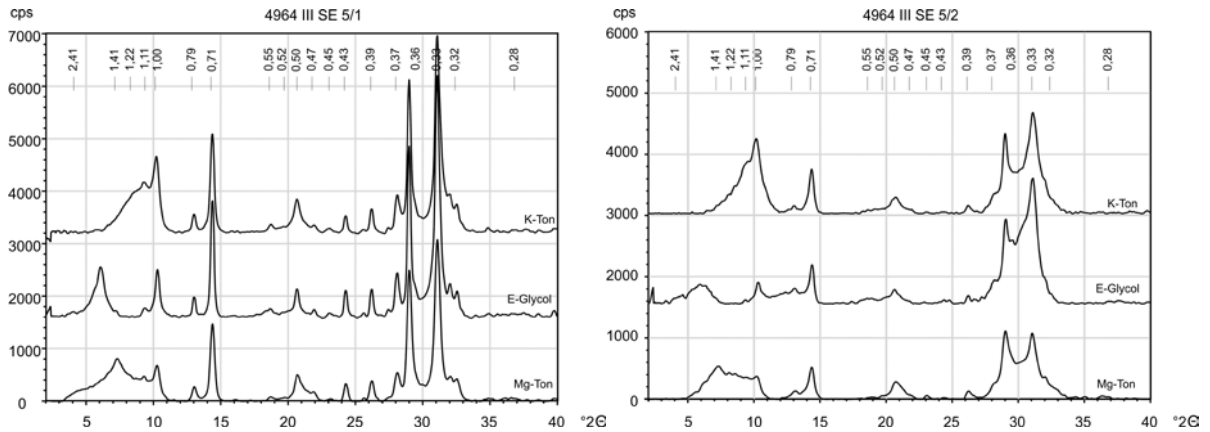
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.153 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben



Boulder 4964 III SE 7

GPS: N 40° 00,860', W 105° 20,318', 1968 m NN, ± 3 m

A.2.2.154 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
A(l)h	0-12	7/1	0-10	junges kolluviales Material, wahrscheinlich in Zusammenhang mit Beweidung entstanden
II fAh/Bt	12-20	7/2	15-20	verspültes saprolithisches Material
Bt	20-70	7/3	30-40	
		7/4	50-60	
III Bv/ICv	70-180+	7/5	75-85	
		7/6	120-140	
		7/7	160-180	

A.2.2.155 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden-art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4964 III SE 7/1	A(l)h	0-10	11,60	21,5	18,2	18,4	58,1	13,0	7,4	5,1	25,4	16,4	SI4
4964 III SE 7/2	II fAh/Bt	15-20	15,77	23,3	19,5	17,0	59,8	11,8	6,2	4,3	22,2	18,0	Ls4
4964 III SE 7/3	II fBt	30-40	21,06	22,3	19,6	16,3	58,3	10,6	6,5	4,0	21,1	20,7	Ls4
4964 III SE 7/4	II fBt	50-60	17,72	27,2	20,9	17,7	65,8	9,1	5,9	3,8	18,8	15,4	SI4
4964 III SE 7/5	III Bv/ICv	75-85	18,62	27,0	22,9	18,1	68,0	9,3	5,0	3,2	17,4	14,6	SI4
4964 III SE 7/6	III Bv/ICv	120-140	17,82	29,8	25,7	18,1	73,6	7,0	3,7	3,1	13,8	12,6	SI4
4964 III SE 7/7	III Bv/ICv	160-180	11,07	22,4	25,0	22,2	69,6	8,5	4,6	3,3	16,4	14,0	SI4

A.2.2.156 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4964 III SE 7/1	A(l)h	0-10	6,09	0,00	10YR 2-3/3	1,77	2,006	0,186	11	0,052
4964 III SE 7/2	II fAh/Bt	15-20	6,04	0,00	7,5YR 2.5/2	1,07	1,105	0,105	11	0,048
4964 III SE 7/3	II fBt	30-40	6,12	0,78	7,5YR 4-5/6	0,30	0,328	0,040	8	0,044
4964 III SE 7/4	II fBt	50-60	6,17	0,57	10YR 3-4/6	0,16	-	-	-	-
4964 III SE 7/5	III Bv/ICv	75-85	6,20	0,00	10YR 3-4/6	0,16	0,145	0,029	5	0,040
4964 III SE 7/6	III Bv/ICv	120-140	6,26	0,00	10YR 3-4/6	0,09	0,101	0,025	4	0,038
4964 III SE 7/7	III Bv/ICv	160-180	6,29	0,00	10YR 3-4/6	0,12	0,099	0,025	4	0,037

A.2.2.157 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4964 III SE 7/1	A(l)h	0-10	0,61	5,22	0,08	0,67	2,15	18,47	8,80	75,53	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,09	11,65	99,89
4964 III SE 7/2	II fAh/Bt	15-20	0,32	2,64	0,09	0,73	2,40	19,56	9,45	77,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,05	12,28	99,93
4964 III SE 7/3	II fBt	30-40	0,25	1,63	0,11	0,72	3,47	22,24	11,77	75,36	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	15,62	99,96
4964 III SE 7/4	II fBt	50-60	0,16	1,30	0,12	0,95	3,02	24,03	9,25	73,66	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	12,56	99,95
4964 III SE 7/5	III Bv/ICv	75-85	0,20	1,52	0,14	1,09	3,15	24,01	9,62	73,30	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,05	13,13	99,92
4964 III SE 7/6	III Bv/ICv	120-140	0,18	1,91	0,12	1,33	2,32	24,76	6,72	71,84	0,00	0,00	0,01	0,10	0,01	0,06	9,35	99,84
4964 III SE 7/7	III Bv/ICv	160-180	0,19	1,98	0,14	1,49	2,54	26,10	6,84	70,33	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,03	9,72	99,91

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.158 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4964 III SE 7/1	A(l)h	0-10	0,12	0,00	0,007	0,17	0,10	0,014	0,58	0,08	0,001	0,88	0,17	0,022
4964 III SE 7/2	II fAh/Bt	15-20	0,00	0,00	0,005	0,19	0,11	0,013	0,70	0,09	0,000	0,90	0,20	0,019
4964 III SE 7/3	II fBt	30-40	0,00	0,00	0,004	0,18	0,16	0,013	0,62	0,06	0,000	0,80	0,22	0,017
4964 III SE 7/4	II fBt	50-60	0,01	0,00	0,002	0,13	0,04	0,025	0,88	0,16	0,005	1,02	0,21	0,032
4964 III SE 7/5	III Bv/ICv	75-85	0,01	0,00	0,003	0,14	0,01	0,024	0,90	0,16	0,004	1,04	0,17	0,031
4964 III SE 7/6	III Bv/ICv	120-140	0,01	0,00	0,005	0,12	0,00	0,022	0,70	0,10	0,003	0,83	0,10	0,030
4964 III SE 7/7	III Bv/ICv	160-180	0,01	0,00	0,003	0,14	0,00	0,024	0,91	0,14	0,004	1,06	0,14	0,031

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4964 III SE 7/1	A(l)h	0-10	0,30	14	20	66	0	57	43	33	62	4
4964 III SE 7/2	II fAh/Bt	15-20	0,27	0	21	78	0	57	43	29	70	1
4964 III SE 7/3	II fBt	30-40	0,29	0	23	77	0	72	28	23	77	0
4964 III SE 7/4	II fBt	50-60	0,15	1	13	86	0	21	79	7	79	14
4964 III SE 7/5	III Bv/ICv	75-85	0,15	1	13	86	0	7	93	9	79	12
4964 III SE 7/6	III Bv/ICv	120-140	0,17	1	14	85	0	2	98	16	73	11
4964 III SE 7/7	III Bv/ICv	160-180	0,16	1	14	85	0	3	97	9	78	13

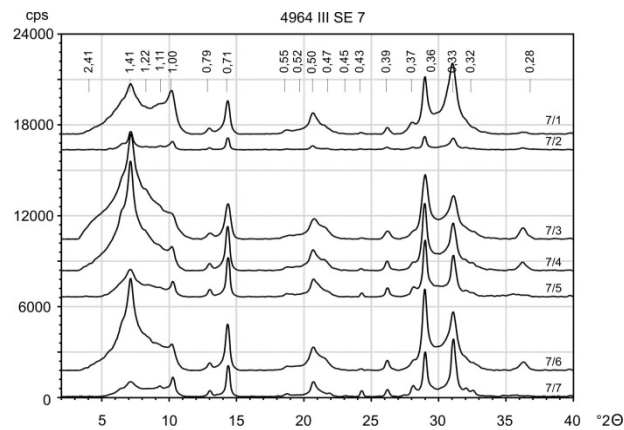
A.2.2.159 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4964 III SE 7/1	437,40	509,56	143,96	9,68	27237,88	58,04	442,43	67,16	3119,01	8601,03	22399,30	437,40
4964 III SE 7/2	505,95	512,94	139,85	12,43	28699,47	52,65	495,75	63,92	2953,43	8039,73	20351,81	505,95
4964 III SE 7/3	291,49	496,22	137,04	18,58	32563,12	50,07	425,96	62,03	3320,34	8208,74	18293,21	291,49
4964 III SE 7/4	246,28	532,30	138,72	6,75	29925,33	52,03	489,63	56,96	3232,07	8202,77	19207,47	246,28
4964 III SE 7/5	293,41	570,42	138,89	9,53	29329,55	50,04	468,33	58,86	3113,36	8618,20	19974,06	293,41
4964 III SE 7/6	286,70	595,63	143,36	8,54	26725,10	49,57	448,33	55,11	2974,97	8172,78	21902,57	286,70
4964 III SE 7/7	386,18	591,94	143,96	13,27	25459,99	45,40	392,06	64,75	2828,28	8107,25	21161,45	386,18

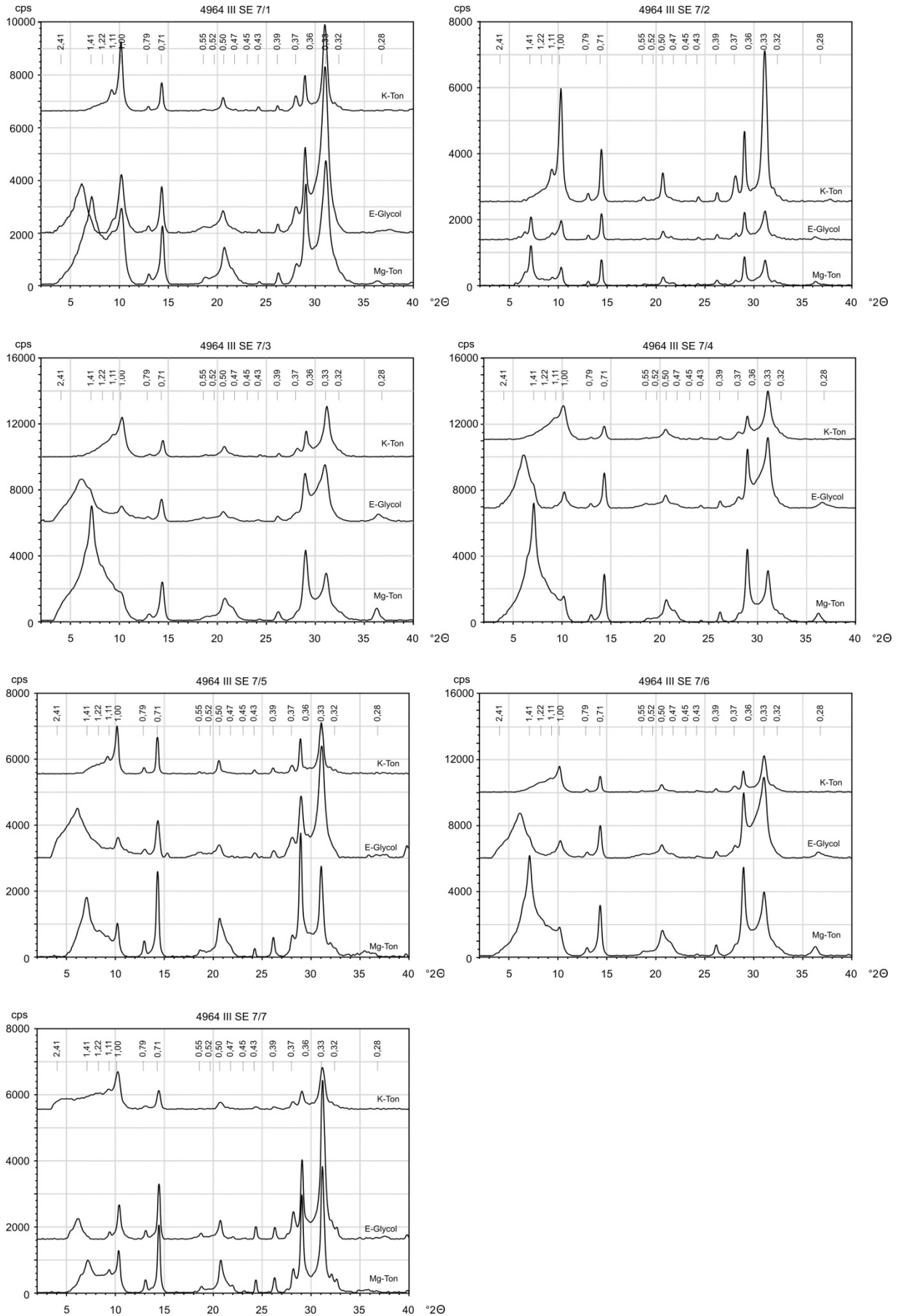
*nicht nachweisbar: Se, As, Hg, W, Ni, Co, S, Ba, Cs, Te, Sn, nicht dargestellt: Mo, U, Cu, Cr, Sc, Sb, Cd, Ag, Pd

A.2.2.160 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben



Boulder 4964 III SE 8-9

GPS: N 40° 00,860', W 105° 20,318', 1968 m NN, ± 3 m

Beprobung von Saprolithvarietäten im Umfeld der Profile Boulder 4964 III SE 1-4, 5 und 7

A.2.2.161 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden-art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	
4964 III SE 8/1	ICv	150	26,45	42,7	35,1	14,1	91,8	3,5	2,5	1,0	7,1	1,1	Ss
4964 III SE 9/1	ICv	150	0,14	9,4	32,6	33,0	75,0	10,0	4,8	2,8	17,6	7,4	Sl2

A.2.2.162 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4964 III SE 8/1	ICv	150	6,28	0,00	2,5Y 4/3	0,05	0,037	0,014	3	0,031
4964 III SE 9/1	ICv	150	6,43	0,00	2,5Y 3/3	0,16	0,118	0,020	6	0,033

A.2.2.163 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4964 III SE 8/1	ICv	150	0,07	0,83	0,12	1,44	1,77	21,64	6,21	75,96	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,09	8,17	99,87
4964 III SE 9/1	ICv	150	0,20	0,81	0,18	0,73	4,83	19,28	19,82	79,12	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	25,05	99,94

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.164 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4964 III SE 8/1	ICv	150	0,01	0,00	0,002	0,04	0,00	0,012	0,30	0,03	0,003	0,35	0,03	0,017
4964 III SE 9/1	ICv	150	0,01	0,00	0,003	0,08	0,04	0,043	0,79	0,06	0,005	0,88	0,10	0,050

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

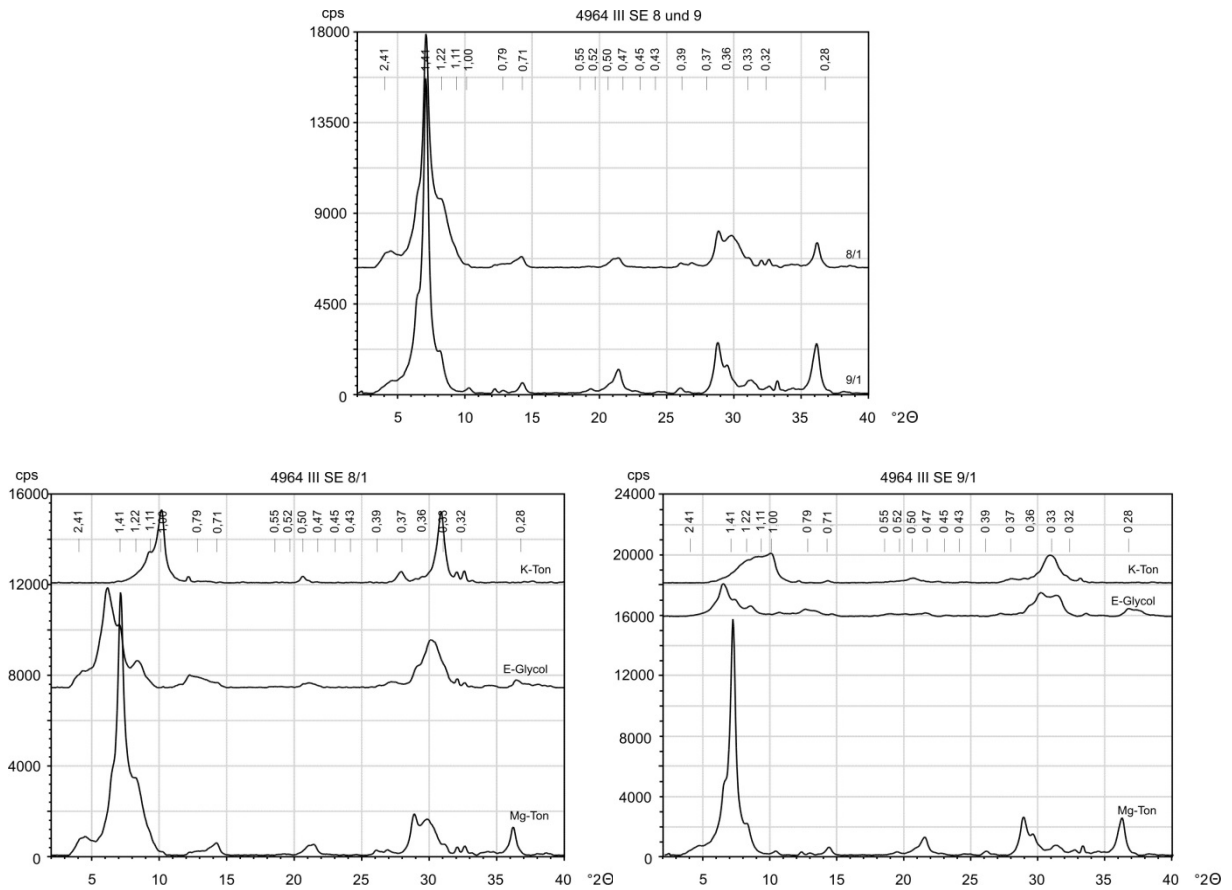
Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _p /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4964 III SE 8/1	ICv	150	0,13	3	11	86	0	0	100	12	72	16
4964 III SE 9/1	ICv	150	0,10	1	9	90	0	43	57	6	85	9

A.2.2.165 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4964 III SE 8/1	472,94	940,01	159,15	n.n.	n.n.	61,62	46027,38	789,67	69,42	4133,08	24582,61	31840,78
4964 III SE 9/1	503,56	2039,23	118,13	44,62	n.n.	71,64	56829,96	1389,03	146,02	3828,65	29498,87	30571,39

*nicht nachweisbar: Se, As, Hg, W, Ni, Co, S, Ba, Cs, Te, Sn, nicht dargestellt: Mo, U, Cu, Cr, Sc, Sb, Cd, Ag, Pd

A.2.2.166 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion



Boulder 4964 III SE 10

GPS: N 40° 00' 59,3'', W 105° 21' 42,5'', 2002 m NN, ± 5 m

A.2.2.167 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
I	0-120	10/1 OSL 1	80-100 90	Schwemmlöß, Lehm, vglw. sandarm, Skelett vereinzelt
II	120-240	OSL 3	200	Schwemmlöß, deutlich grusiger, aber Lößlehmanteil überwiegt, Skelett vereinzelt
III	240-270			stärker sandig-lehmiges Material, viele Grobsteine, aufsandend (s.o.)
IV	270-320	10/2 OSL 2	290-300 320	Sandlöß
V	320-340			skelettreichere Schicht, wie vor (III), aber hier kein Aufsanden der Skelettkomponenten, alles schlagfest
VI	340+	10/3	340-350	Löß mit Überzügen

A.2.2.168 Korngrößenanalyse

Probe	Hori- zont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w . %										Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
4964 III SE 10/1	I	80-100	15,80	11,8	16,9	24,3	53,0	12,5	8,2	5,3	26,0	21,1	Ls4	
4964 III SE 10/2	IV	290-300	11,76	7,7	21,6	37,7	67,0	8,3	4,7	4,5	17,5	15,5	Sl4	
4964 III SE 10/3	VI	340-350	18,11	18,2	25,6	26,8	70,6	8,0	3,2	4,6	15,8	13,5	Sl4	

A.2.2.169 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4964 III SE 10/1	I	80-100	6,37	0,00	10YR 3-4/4	0,30	0,564	0,042	13	0,069
4964 III SE 10/2	IV	290-300	7,09	1,21	10YR 4/4-6	0,21	0,249	0,027	9	0,446
4964 III SE 10/3	VI	340-350	7,40	2,42	10YR 4/4	0,19	0,335	0,032	10	2,118

A.2.2.170 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4964 III SE 10/1	I	80-100	0,32	1,77	0,17	0,96	5,08	28,49	12,27	68,74	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,03	17,85	99,94
4964 III SE 10/2	IV	290-300	0,33	1,85	0,23	1,27	3,36	18,96	13,79	77,89	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	17,70	99,98
4964 III SE 10/3	VI	340-350	0,22	1,12	1,09	5,49	3,15	15,81	15,46	77,57	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	19,93	99,99

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.171 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4964 III SE 10/1	I	80-100	0,01	0,00	0,005	0,14	0,06	0,022	0,82	0,09	0,004	0,97	0,15	0,030
4964 III SE 10/2	IV	290-300	0,01	0,00	0,003	0,17	0,02	0,018	0,90	0,12	0,006	1,08	0,14	0,027
4964 III SE 10/3	VI	340-350	0,01	0,00	0,003	0,11	0,01	0,020	0,86	0,07	0,004	0,98	0,08	0,027

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _p /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4964 III SE 10/1	I	80-100	0,17	1	14	84	0	42	58	16	72	12
4964 III SE 10/2	IV	290-300	0,18	1	15	83	0	11	89	10	68	21
4964 III SE 10/3	VI	340-350	0,13	1	12	87	0	18	82	10	76	14

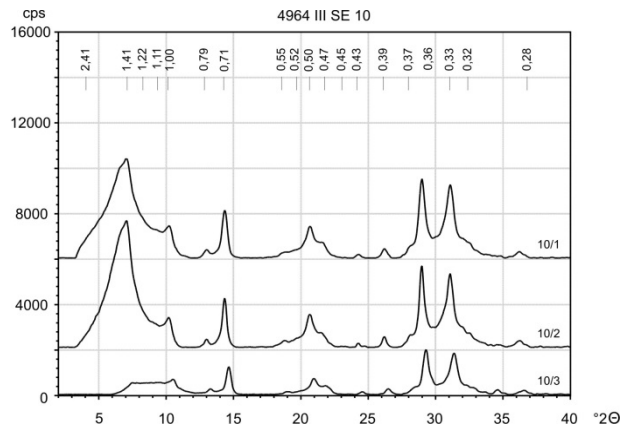
A.2.2.172 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4964 III SE 10/1	466,42	526,18	133,01	17,03	13,00	59,33	32798,77	504,75	80,29	3548,65	9468,93	18209,72
4964 III SE 10/2	491,01	648,88	150,63	14,61	10,86	60,25	33379,68	538,65	63,78	3527,62	12641,62	20654,97
4964 III SE 10/3	423,23	741,82	145,72	11,28	11,61	57,40	29952,04	397,74	67,06	3107,33	21100,54	19712,75

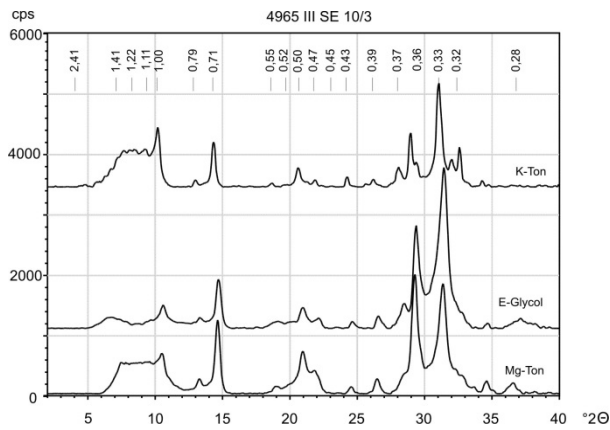
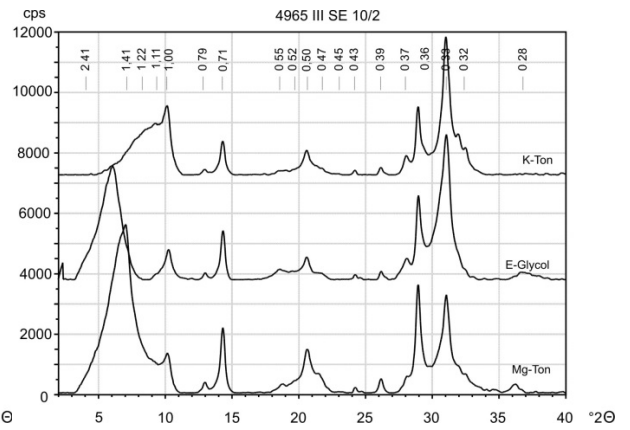
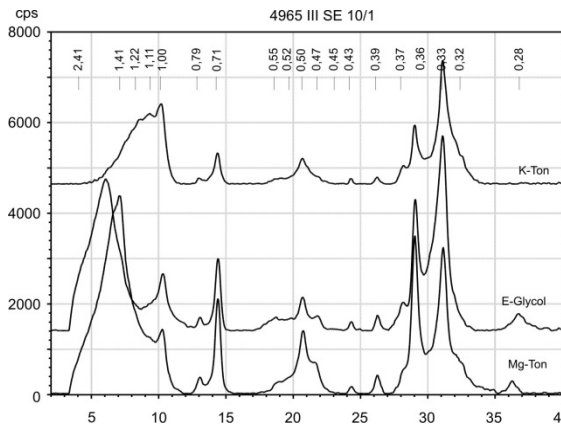
*nicht nachweisbar: Se, As, Hg, W, Ni, Co, S, Ba, Cs, Te, Sn, nicht dargestellt: Mo, U, Cu, Cr, Sc, Sb, Cd, Ag, Pd

A.2.2.173 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben



Eldorado Springs 4963 IV NE 2

GPS: N 39° 55' 15,4'', W 105° 20' 47,3'', 2355 m NN, ± 6 m

A.2.2.174 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
AI	0-10			Spülschicht, verspülter Löß, weißgrau, sehr locker, gut durchwurzelt
II AI	10-30			Löß, feucht, gut durchwurzelt, gelblich, einige kleine Steinchen, wenig Skelett, lehmig
II Bt	30-175	2/1 2/2 2/3 OSL 2/1 OSL 2/2	60-70 100-110 155-165 105 160	Löß, feucht, gut durchwurzelt, Durchwurzlung nimmt von oben nach unten ab, gelblich-braun, einige kleine Steinchen, wenig Skelett, sehr einheitlich über den ganzen Bereich, lehmig, Feinporen und Toncutane, Polyedergefüge
ICv	175-190+	2/4	189-190	Saprolith, rötlich-grau, durchwurzelt, dicht gelagert, grusig, sandig, wenig Skelett sichtbar, tonige Oberflächen an den Skelettkomponenten

A.2.2.175 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w . %										Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
4963 IV NE 2/1	II Bt	60-70	34,37	7,9	12,4	16,9	37,1	17,1	13,8	7,2	38,2	24,7	Ls3	
4963 IV NE 2/2	II Bt	100-110	21,31	11,1	15,5	19,7	46,4	14,5	13,4	6,1	33,9	19,7	Ls3	
4963 IV NE 2/3	II Bt	155-165	24,66	19,1	16,2	19,9	55,1	12,7	10,0	5,2	27,9	17,1	Ls4	
4963 IV NE 2/4	ICv	189-190	56,29	41,1	35,7	9,5	86,3	2,3	1,1	2,5	5,9	7,8	St2	

Zusätzliche detaillierte bodenkundliche Beprobung

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew.%	K o r n g r ö ß e n G e w . %										Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
4963 IV NE 2/10	AI	0-10	29,05	17,7	15,3	19,8	52,8	19,7	12,5	6,4	38,6	8,6	SI3	
4963 IV NE 2/11	II AI	10-20	23,19	18,0	17,5	19,1	54,6	15,7	12,9	8,3	36,9	8,5	SI3	
4963 IV NE 2/12	II AI	20-30	19,42	17,3	14,5	21,5	53,4	16,5	12,7	6,6	35,8	10,9	SI3	
4963 IV NE 2/13	II Bt	30-40	21,18	23,6	11,6	13,1	48,2	14,1	12,5	7,6	34,2	17,6	Ls3	
4963 IV NE 2/14	II Bt	40-50	19,31	14,8	11,2	14,8	40,8	15,3	11,6	7,4	34,3	24,9	Ls3	
4963 IV NE 2/15	II Bt	50-60	38,79	20,5	12,8	13,9	47,2	14,4	12,1	6,7	33,2	19,7	Ls3	
4963 IV NE 2/16	II Bt	60-70	18,59	10,7	11,9	15,5	38,1	18,0	11,4	6,6	36,0	25,9	Lt2	
4963 IV NE 2/17	II Bt	70-80	26,67	13,5	12,1	15,4	41,0	18,6	12,1	7,3	38,0	21,0	Ls3	
4963 IV NE 2/18	II Bt	80-90	13,31	8,3	12,1	19,1	39,5	19,8	10,5	7,2	37,4	23,0	Ls3	
4963 IV NE 2/19	II Bt	90-100	22,49	9,7	14,0	18,8	42,5	16,2	10,6	6,4	33,3	24,2	Ls3	
4963 IV NE 2/20	II Bt	100-110	23,25	12,7	18,6	22,4	53,8	11,6	11,5	6,8	29,9	16,3	SI4	
4963 IV NE 2/21	II Bt	110-120	27,01	12,7	78,8	22,1	53,7	14,3	7,8	5,3	27,4	19,0	SI4	
4963 IV NE 2/22	II Bt	120-130	16,19	12,2	16,5	21,7	50,4	13,8	10,3	8,6	32,7	16,9	SI4	

A.2.2.176 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4963 IV NE 2/1	II Bt	60-70	6,51	0,00	10YR 4/6	0,35	0,306	0,072	4	0,018
4963 IV NE 2/2	II Bt	100-110	6,34	0,00	10YR 4/4	0,18	1,87	0,061	3	0,016
4963 IV NE 2/3	II Bt	155-165	6,36	0,00	10YR 4/6	0,22	0,155	0,057	3	0,017
4963 IV NE 2/4	ICv	189-190	6,29	0,00	10YR 3/6	0,17	0,124	0,044	3	0,015

Zusätzliche detaillierte bodenkundliche Beprobung

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4963 IV NE 2/10	AI	0-10	5,02	0,00	10YR 3/4	-	1,198	0,112	11	0,031
4963 IV NE 2/11	II AI	10-20	5,27	0,00	10YR 3/4	-	0,742	0,090	8	0,032
4963 IV NE 2/12	II AI	20-30	5,80	0,00	7,5YR 4/4	-	0,492	0,082	6	0,028
4963 IV NE 2/13	II Bt	30-40	5,53	0,00	7,5YR 4/4	-	0,425	0,068	6	0,242
4963 IV NE 2/14	II Bt	40-50	5,62	0,00	7,5YR 4/4	-	0,482	0,077	6	0,159
963 IV NE 2/15	II Bt	50-60	5,63	0,00	10YR 4/6	-	0,287	0,066	4	0,049
4963 IV NE 2/16	II Bt	60-70	5,68	0,00	7,5YR 4/4	-	0,298	0,070	4	0,032
4963 IV NE 2/17	II Bt	70-80	5,70	0,00	7,5YR 4/4	-	0,247	0,070	4	0,023
4963 IV NE 2/18	II Bt	80-90	5,68	0,00	7,5YR 4/6	-	0,232	0,066	4	0,016
4963 IV NE 2/19	II Bt	90-100	5,70	0,00	7,5YR 4/6	-	0,239	0,071	3	0,019
4963 IV NE 2/20	II Bt	100-110	5,80	0,00	7,5YR 4/6	-	0,162	0,057	3	0,018
4963 IV NE 2/21	II Bt	110-120	5,66	0,00	7,5YR 4/4	-	0,158	0,062	3	0,029
4963 IV NE 2/22	II Bt	120-130	5,94	0,00	7,5YR 4/4	-	0,173	0,062	3	0,017

A.2.2.177 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK	BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4963 IV NE 2/1	II Bt	60-70	0,12	2,83	0,07	1,70	2,48	56,58	1,70	38,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,38	100,00
4963 IV NE 2/2	II Bt	100-110	0,11	0,25	0,06	0,13	2,44	5,67	40,42	93,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,03	100,00
4963 IV NE 2/3	II Bt	155-165	0,09	0,28	0,09	0,28	2,58	7,70	30,78	91,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,55	100,00
4963 IV NE 2/4	ICv	189-190	0,04	0,13	0,12	0,36	2,07	6,40	30,07	93,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,29	100,00

* (mmol/100 g Boden)

Zusätzliche detaillierte bodenkundliche Beprobung

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK	BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4963 IV NE 2/10	AI	0-10	0,41	3,02	0,05	0,38	0,59	4,32	12,61	92,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	13,68	99,96
4963 IV NE 2/11	II AI	10-20	0,36	3,45	0,05	0,45	0,39	3,82	9,51	92,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,31	100,00
4963 IV NE 2/12	II AI	20-30	0,50	3,90	0,06	0,45	0,44	3,42	11,89	92,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,89	100,00
4963 IV NE 2/13	II Bt	30-40	0,19	0,79	0,06	0,27	0,85	3,56	22,66	95,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,76	100,00
4963 IV NE 2/14	II Bt	40-50	0,15	0,37	0,09	0,22	1,56	4,04	36,94	95,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,73	100,00
4963 IV NE 2/15	II Bt	50-60	0,10	0,27	0,08	0,20	1,58	4,14	36,40	95,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,16	100,00
4963 IV NE 2/16	II Bt	60-70	0,13	0,23	0,10	0,17	2,45	4,28	54,45	95,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,12	100,00
4963 IV NE 2/17	II Bt	70-80	0,10	0,21	0,08	0,16	2,07	4,26	46,42	95,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,67	100,00
4963 IV NE 2/18	II Bt	80-90	0,11	0,20	0,08	0,15	2,31	4,47	49,10	95,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,59	100,00
4963 IV NE 2/19	II Bt	90-100	0,11	0,22	0,07	0,15	2,30	4,60	47,52	95,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,01	100,00
4963 IV NE 2/20	II Bt	100-110	0,08	0,22	0,07	0,18	1,76	4,60	36,38	95,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,30	100,00
4963 IV NE 2/21	II Bt	110-120	0,10	0,24	0,70	0,18	2,05	5,07	38,26	94,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,48	100,00
4963 IV NE 2/22	II Bt	120-130	0,10	0,25	0,08	0,19	2,18	5,35	38,36	94,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,71	100,00

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.178 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan									Gesamtgehalt		
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			% Fe	% Al	% Mn
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d			
4963 IV NE 2/1	II Bt	60-70	0,05	0,01	0,003	0,08	0,02	0,000	0,73	0,09	0,005	0,86	0,12	0,008
4963 IV NE 2/2	II Bt	100-110	0,05	0,01	0,002	0,05	0,01	0,000	0,61	0,08	0,004	0,71	0,10	0,007
4963 IV NE 2/3	II Bt	155-165	0,04	0,00	0,003	0,03	0,01	0,000	0,74	0,11	0,007	0,81	0,12	0,010
4963 IV NE 2/4	ICv	189-190	0,04	0,01	0,001	0,02	0,00	0,000	0,28	0,12	0,002	0,34	0,13	0,003

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

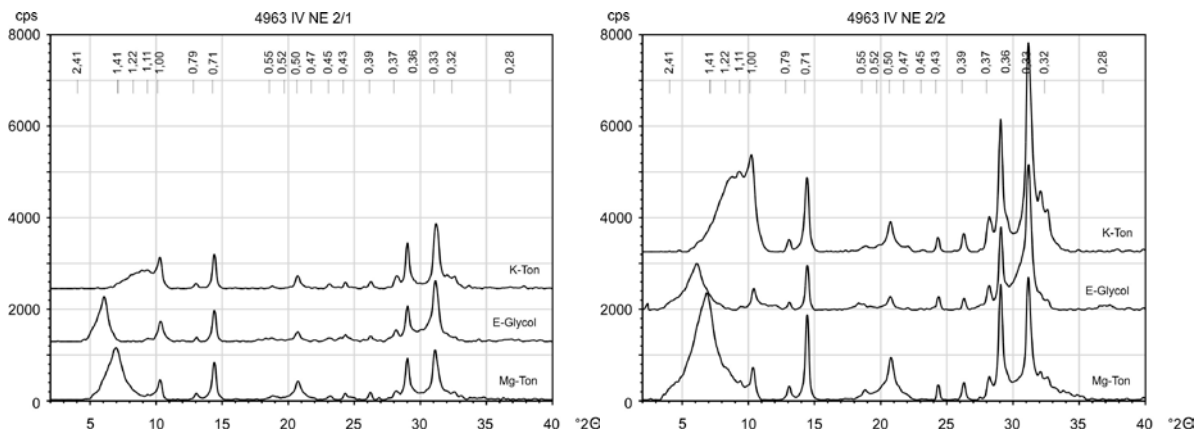
Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _p /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4963 IV NE 2/1	II Bt	60-70	0,10	6	9	85	11	15	74	34	0	66
4963 IV NE 2/2	II Bt	100-110	0,09	7	8	86	5	13	82	37	0	63
4963 IV NE 2/3	II Bt	155-165	0,04	5	4	91	0	9	91	31	0	69
4963 IV NE 2/4	ICv	189-190	0,06	11	5	83	8	2	91	43	0	57

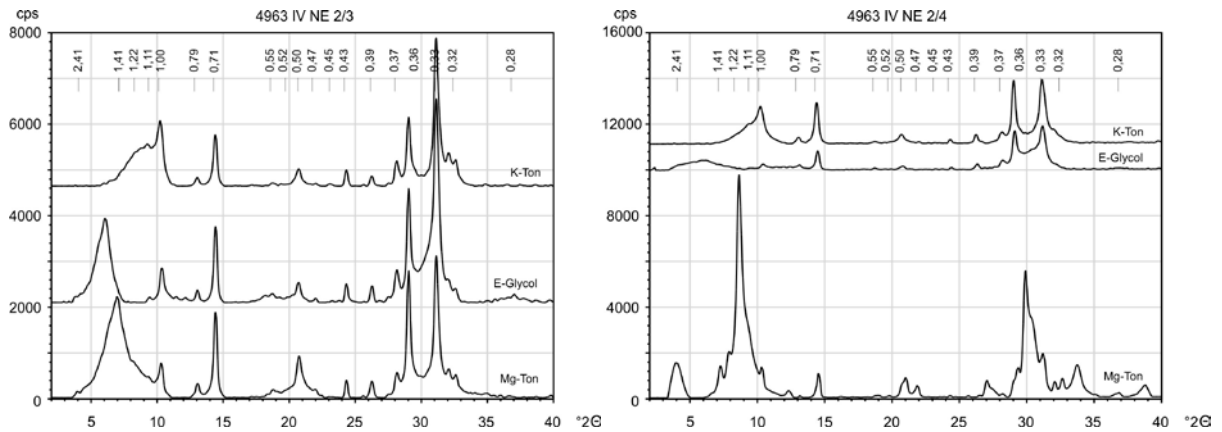
A.2.2.179 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4963 IV NE 2/1	483,32	329,52	150,19	27,99	13,20	61,03	30412,08	359,20	61,56	2625,68	4768,84	11817,57
4963 IV NE 2/2	467,64	358,63	167,27	26,25	12,60	56,66	31755,79	430,91	57,09	2456,88	4307,78	11464,02
4963 IV NE 2/3	483,34	437,31	175,91	25,71	13,69	49,54	33323,43	452,03	65,06	3214,43	5821,43	12723,08
4963 IV NE 2/4	231,10	658,92	219,89	60,71	14,65	53,90	37024,77	520,38	60,36	2759,16	5715,51	10481,81

* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.180 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion





Eldorado Springs 4963 IV NE 4

GPS: N 39° 59,968', W 105° 21,402', 2045 m NN, ± 3 m

A.2.2.181 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
Alh	0-10	4/1 ¹⁴ C4/1	0-10	Hauptlagencharakter, äolische, feine Matrix und größere Steine, die vor allem aus dem Quarzgang stammen, sehr gut entwickelte Parabraunerde Ah sehr trocken, mit Gras durchwurzelt, locker gelagert sehr feines Material, mit etwas Grus, braun-grau
Al-Bt	10-25	4/2 ¹⁴ C4/2	15-25	Krümnelgefüge und kleine Subpolyeder, Tonanreicherung, relativ feines Material, lehmig mit vereinzelt Grus, dichter gelagert als Alh, braun, gut durchwurzelt
Bt	25-40	4/3	30-40	sehr gut entwickelter Bt, Subpolyedergefüge, dichte Lagerung, mäßig durchwurzelt entlang des Gefüges, braun, schluffig-tonig mit Grusanteilen, Toncutane
II Bt	40-90	4/4 4/5	40-45 45-60	saprolithisches Ausgangsmaterial pedogen überprägt, sandig-grusig mit starker Tonanreicherung, Aggregate von Ton überzogen, Gefügebildung, entlang der Gefüge-/Rissflächen gut durchwurzelt, auch Feinwurzeln, rotbraun, dichte Lagerung
ICv	90-130			Saprolith, Toncutane nur noch entlang der Klufflächen, sandig-grusiges Material, dicht gelagert, mäßig durchwurzelt von einzelnen größeren Wurzeln mit Feinwurzeln, braun
ICv	130-200+			Saprolith, dicht gelagert, wenig durchwurzelt, sandig-grusig, überwiegend rotbraunes aber auch grau-schwarzes Material, sehr gut verwitterter Saprolith, sehr mächtig

A.2.2.182 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben-Tiefe (cm)	Skelett Gew. %	Korngrößen Gew. %										Bodenart
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
4963 IV NE 4/1	Alh	0-10	12,83	13,1	15,1	22,6	50,8	14,6	11,0	6,9	32,5	16,7	Sl4	
4963 IV NE 4/2	Al-Bt	15-25	38,23	8,8	12,9	19,4	41,1	11,6	8,4	5,7	25,7	33,1	Lts	
4963 IV NE 4/3	Bt	30-40	46,84	7,8	12,1	18,6	38,5	12,6	7,7	5,3	25,6	36,0	Lts	
4963 IV NE 4/4	II Bt	40-45	47,78	28,2	24,5	13,2	65,8	4,3	3,3	1,7	9,2	24,9	St3	
4963 IV NE 4/5	II Bt	45-60	54,47	42,7	34,0	10,6	87,3	3,4	1,2	0,8	5,4	7,3	St2	

A.2.2.183 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4963 IV NE 4/1	Alh	0-10	5,89	0,00	10YR 2/1	4,63	3,279	0,248	13	0,030
4963 IV NE 4/2	Al-Bt	15-25	5,74	0,00	10YR 4/4	1,03	1,009	0,112	9	0,021
4963 IV NE 4/3	Bt	30-40	5,80	0,00	7,5YR 4/4	0,67	0,659	0,078	8	0,009
4963 IV NE 4/4	II Bt	40-45	6,03	0,00	7,5YR 5/6	0,20	0,193	0,032	6	0,001
4963 IV NE 4/5	II Bt	45-60	5,97	0,00	10YR 4/3	0,06	0,076	0,024	3	0,004

A.2.2.184 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK mmol	BS %
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4963 IV NE 4/1	Alh	0-10	0,39	2,72	0,10	0,73	2,34	16,46	11,38	79,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,13	14,23	99,87
4963 IV NE 4/2	Al-Bt	15-25	0,30	1,24	0,14	0,57	5,24	21,61	18,55	76,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	24,23	99,99
4963 IV NE 4/3	Bt	30-40	0,32	1,18	0,16	0,59	6,49	23,50	20,63	74,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,60	100,00
4963 IV NE 4/4	II Bt	40-45	0,28	1,07	0,21	0,78	3,26	12,40	22,52	85,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,26	100,00
4963 IV NE 4/5	II Bt	45-60	0,10	0,54	0,15	0,79	4,40	22,79	14,64	75,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,29	100,00

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.185 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4963 IV NE 4/1	Alh	0-10	0,00	0,00	0,002	0,05	0,03	0,014	0,49	0,04	0,002	0,55	0,07	0,018
4963 IV NE 4/2	Al-Bt	15-25	0,00	0,00	0,000	0,03	0,06	0,006	0,69	0,07	0,001	0,73	0,13	0,007
4963 IV NE 4/3	Bt	30-40	0,00	0,00	0,000	0,03	0,08	0,004	0,67	0,07	0,001	0,70	0,15	0,005
4963 IV NE 4/4	II Bt	40-45	0,00	0,00	0,000	0,02	0,06	0,008	0,71	0,06	0,003	0,73	0,12	0,011
4963 IV NE 4/5	II Bt	45-60	0,00	0,00	0,000	0,02	0,02	0,007	0,44	0,03	0,002	0,46	0,05	0,010

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4963 IV NE 4/1	Alh	0-10	0,11	0	10	90	0	46	54	10	77	13
4963 IV NE 4/2	Al-Bt	15-25	0,05	0	4	96	0	46	54	0	83	17
4963 IV NE 4/3	Bt	30-40	0,05	0	5	95	2	50	48	0	77	23
4963 IV NE 4/4	II Bt	40-45	0,03	0	3	97	0	51	49	0	73	27
4963 IV NE 4/5	II Bt	45-60	0,03	0	3	97	0	38	62	4	76	20

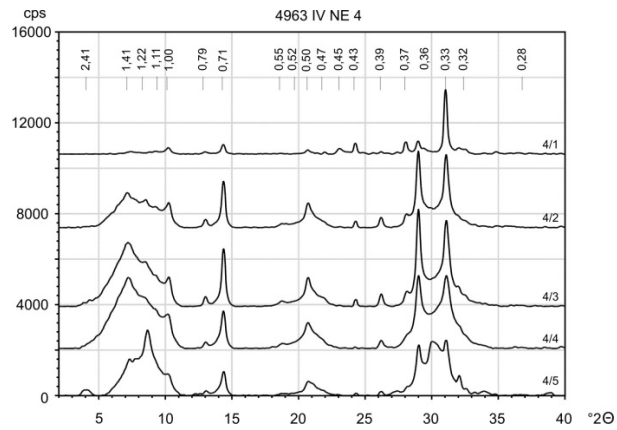
A.2.2.186 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4965 III SW 4/1	609,15	506,75	159,09	22,50	27,72	49,91	26869,91	404,90	64,47	3247,53	10407,39	21996,98
4965 III SW 4/2	472,19	389,57	128,40	20,70	10,55	47,60	31844,03	320,14	89,91	3625,74	9502,21	18018,79
4965 III SW 4/3	470,74	407,24	137,10	21,29	16,02	54,48	34944,07	324,97	75,81	3596,36	9624,60	17298,43
4965 III SW 4/4	276,20	605,14	124,14	6,93	n.n.	69,00	45095,16	599,48	87,95	3865,96	15934,90	13385,52
4965 III SW 4/5	397,61	747,93	156,71	6,23	n.n.	69,57	47554,57	710,42	92,96	4262,19	20384,16	17066,42

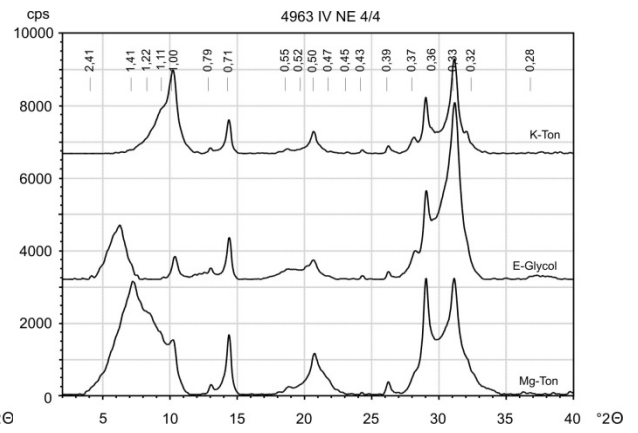
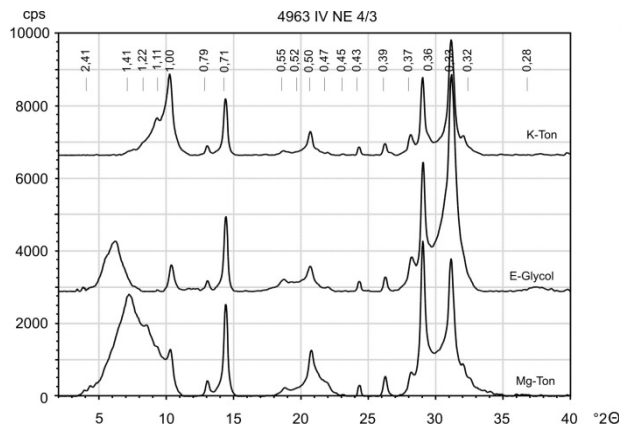
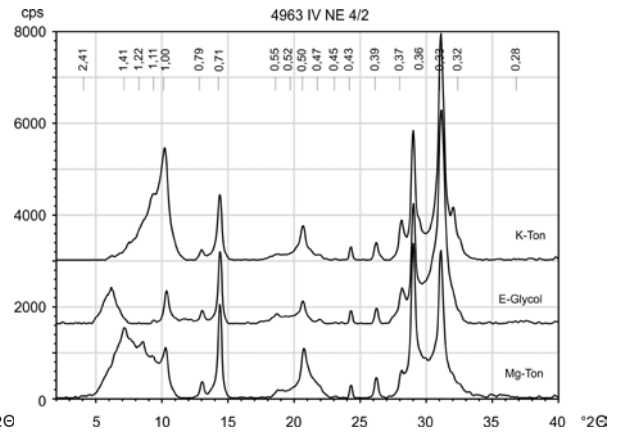
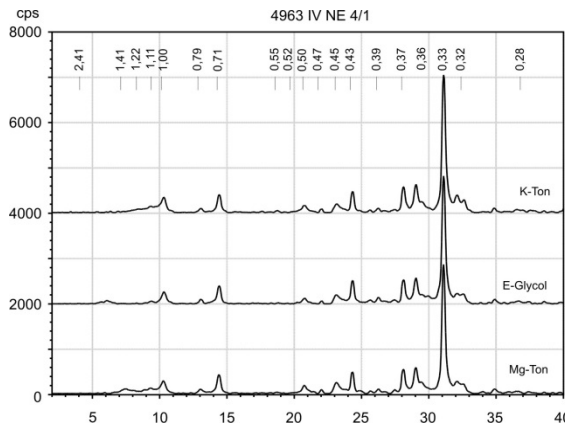
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

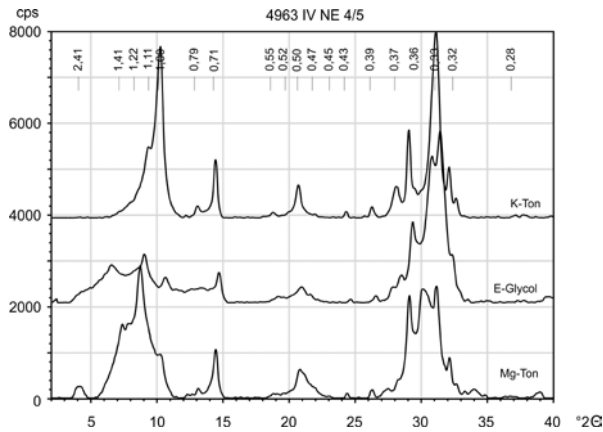
A.2.2.187 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben





Eldorado Springs 4963 IV NE 5

GPS: N 39° 59,968', W 105° 21, 402', 2045 m NN, ± 3 m

A.2.2.188 Profilbeschreibung

Horizont/ Schicht	Tiefe [cm]	Proben- Nr.	Tiefe [cm]	Beschreibung
I	0-180	5/1 OSL 1 OSL 2	120-140 80 180	Lößaufwehung, feines Material, sandig-schluffig mit grusigen Anteilen, allerdings kein Schwemmlöß, da sehr gut ausgebildete Feinporen, Grus am Hang in die Aufwehung hineingefallen, Fein- und Mittelporen, sehr gut durchwurzelt, karbonatische Ausfällungen, mäßig dicht gelagert, gelbbraun
→ kleinere Steinanreicherung am Schichtwechsel				
ICv	180-250+	5/2 5/3	170-190 240-260	Saprolith, im Profil geteilt durch Quarzgang, daher zwei Proben: Material oberhalb des Quarzanges: stärker verwittert, Ton- und Fe-Anlagerungen, rötlich gefärbt, sehr grusig mit sandigen Anteilen, dicht gelagert, kaum Wurzeln, nur wenige feine im obersten Bereich, Löß einfacher zu durchwurzeln und sehr mächtig, sowie bessere Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit für Pflanzen, daher keine Notwendigkeit tiefer zu wurzeln Material unterhalb des Quarzanges: gräulich, kaum Fe-/Tonanlagerungen, dicht gelagert, sandig-grusig, keine Wurzeln

A.2.2.189 Korngrößenanalyse

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	Korngrößen Gew. %										Boden- art
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T		
4963 IV NE 5/1	I	120-140	28,46	10,8	15,2	15,4	41,4	17,6	10,5	5,8	33,9	24,7	Ls3	
4963 IV NE 5/2	ICv	170-190	58,81	35,5	31,2	16,1	82,8	4,0	1,8	1,2	7,0	10,3	St2	
4963 IV NE 5/3	ICv	240-260	63,00	53,0	29,2	10,1	92,3	2,6	1,3	0,7	4,7	3,0	gS	

A.2.2.190 Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C _{org} %	C %	N %	C/N	S %
4963 IV NE 5/1	I	120-140	6,21	0,00	10YR 4/6	0,20	0,206	0,047	4	0,025
4963 IV NE 5/2	ICv	170-190	6,43	0,00	7,5YR 5/6	0,08	0,060	0,033	2	0,008
4963 IV NE 5/3	ICv	240-260	6,23	0,00	10YR 4/2	0,04	0,121	0,031	4	0,009

A.2.2.191 Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn		KAK	BS
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
4963 IV NE 5/1	I	120-140	0,24	0,93	0,32	1,26	5,72	22,36	19,17	74,94	0,10	0,38	0,01	0,03	0,03	0,10	25,58	99,49
4963 IV NE 5/2	ICv	170-190	0,12	0,60	0,25	1,26	4,27	21,76	14,98	76,34	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	19,62	99,96
4963 IV NE 5/3	ICv	240-260	0,09	1,42	0,14	2,32	1,29	21,00	4,58	74,81	0,02	0,025	0,00	0,00	0,01	0,21	6,12	99,54

* (mmol/100 g Boden)

A.2.2.192 Pedogene Oxide

Gehalte an pedogenem Eisen, Aluminium, Mangan (sequentielle Extraktion)

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe _p	% Al _p	% Mn _p	% Fe _o	% Al _o	% Mn _o	% Fe _d	% Al _d	% Mn _d	% Fe	% Al	% Mn
4963 IV NE 5/1	I	120-140	0,00	0,00	0,000	0,01	0,02	0,006	0,70	0,04	0,010	0,71	0,06	0,016
4963 IV NE 5/2	ICv	170-190	0,00	0,00	0,000	0,08	0,04	0,020	0,67	0,03	0,003	0,75	0,07	0,022
4963 IV NE 5/3	ICv	240-260	0,00	0,00	0,000	0,01	0,01	0,012	0,37	0,01	0,005	0,38	0,02	0,017

Prozentuale Verteilung von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Fe _o /Fe _d	Sequentielle Extraktion Prozentuale Verteilung der Fraktionen								
				Fe _p	Fe _o	Fe _d	Al _p	Al _o	Al _d	Mn _p	Mn _o	Mn _d
4963 IV NE 5/1	I	120-140	0,01	0	1	99	0	33	67	0	39	61
4963 IV NE 5/2	ICv	170-190	0,13	0	11	89	0	59	41	0	88	12
4963 IV NE 5/3	ICv	240-260	0,04	0	4	96	0	49	51	0	68	32

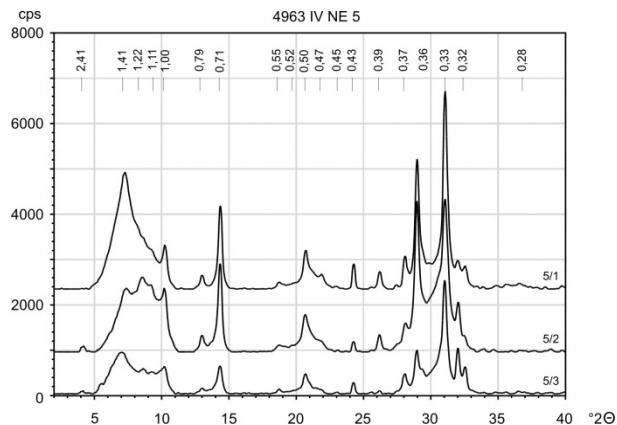
A.2.2.193 Röntgenfluoreszenzanalyse

RFA: Messung im Labor in ppm												
Probe	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	Zn	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
4965 III SW 5/1	477,68	468,31	134,68	17,31	12,67	58,95	31289,62	540,30	76,52	3325,77	9696,33	17290,89
4965 III SW 5/2	289,56	789,21	141,97	n.n.	14,01	41,61	27711,74	318,57	62,55	2920,92	12573,23	22142,97
4965 III SW 5/3	282,94	707,45	167,43	n.n.	10,21	46,60	27197,42	394,40	62,35	2878,01	12537,95	23960,72

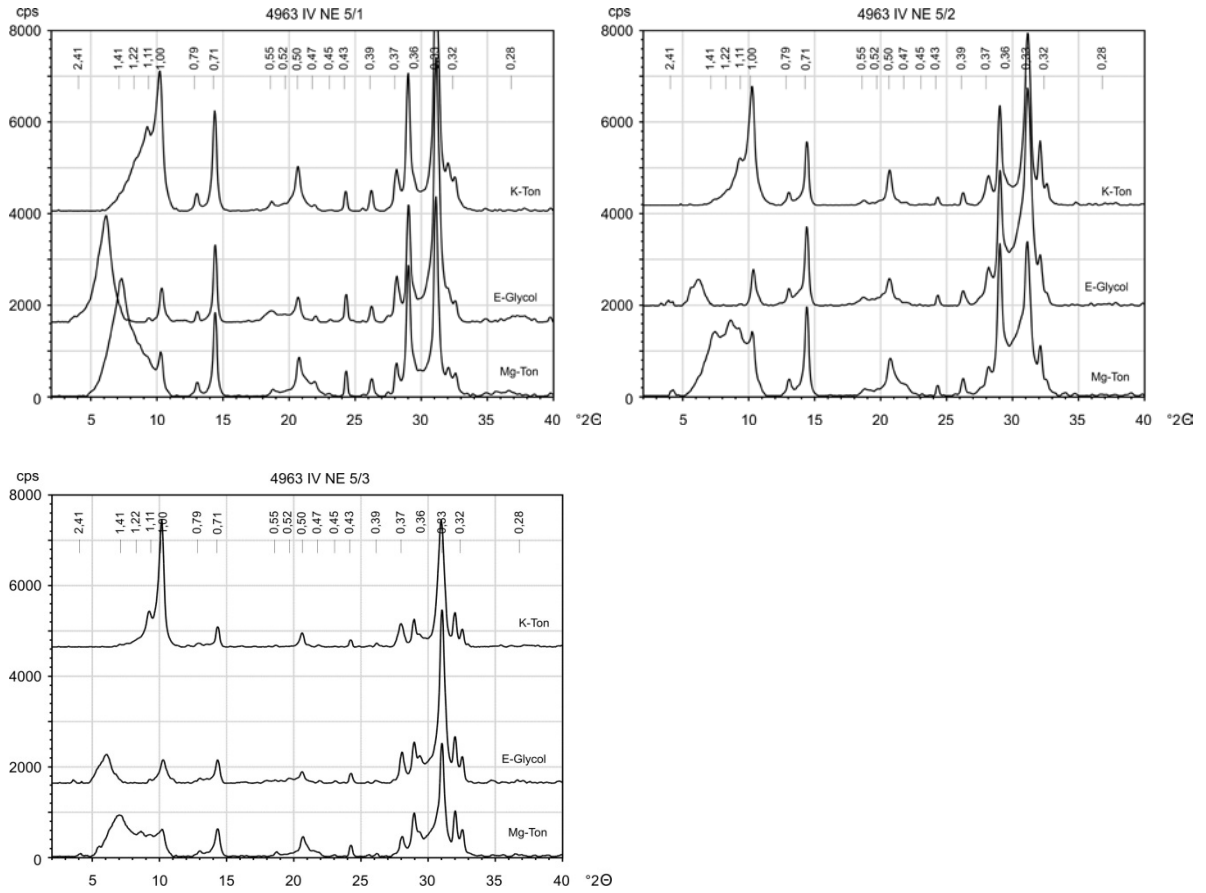
* nicht dargestellt: Mo, U, Se, As, Hg, W, Cu, Ni, Co, Cr, Sc, S, Ba, Cs, Sb, Te, Sn, Cd, Ag, Pd

A.2.2.194 Röntgendiffraktometrie der Tonfraktion

Tonminerale im Profil



Tonminerale in den einzelnen Proben



A.3 Datierungen

A.3.1 Tabellarische Übersicht

A.3.1.1 Optisch Stimulierte Lumineszenz (Colorado Front Range)

Risø Nr.	Probenbezeichnung	Tiefe [cm]	Alter [ka]			Dosis [Gy]	(n)	Dosisrate [Gy/ka]	Wassergehalt [Gew. %]
			Quarz	Feldspat (IR 50)	Feldspat (pIRIR290)				
Profilgruppe I									
Ward 4864 II SE 3									
Ward 4864 II SE 5									
Profilgruppe II									
Ward 4864 II SE 8									
11 54 20	Ward 4864 II SE 1/2	60	24 ± 2	54 ± 4			6.18 ± 0.25	0	
11 54 21	Ward 4864 II SE 1/3	80	10.9 ± 0.6	23 ± 3	33 ± 2	219 ± 11	5	6.69 ± 0.27	0
11 54 22	Ward 4864 II SE 1/5	125	74 ± 6	45 ± 7	62 ± 8	398 ± 48	6	6.39 ± 0.26	0
Profilgruppe III									
10 54 16	Gold Hill 4965 III SW 5/1	50	5.7 ± 0.4			28 ± 1	24	4.91 ± 0.18	26
10 54 17	Gold Hill 4965 III SW 5/2	90	28 ± 4			155 ± 21	25	5.60 ± 0.21	26
11 54 13	Gold Hill 4965 III SW 5/3	160						8.02 ± 0.34	0
11 54 14	Gold Hill 4965 III SW 5/4	180		16 ± 5	127 ± 8	984 ± 40	4	7.77 ± 0.32	0
09 54 01	Gold Hill 4965 III SW 6/1	30	2.21 ± 0.13			12.4 ± 0.3	30	5.62 ± 0.26	0
09 54 02	Gold Hill 4965 III SW 6/2	50	26.2 ± 1.5			162 ± 4	22	6.21 ± 0.29	0
09 54 06	Gold Hill 4965 III SW 7/1	35	40 ± 3			290 ± 15	26	7.28 ± 0.35	0
09 54 07	Gold Hill 4965 III SW 8/1	50	36 ± 3			174 ± 11	17	4.88 ± 0.23	0
10 54 18	Gold Hill 4965 III SW 8/2	75	18.8 ± 1.3			120 ± 6	35	6.40 ± 0.24	29
10 54 19	Gold Hill 4965 III SW 8/4	140	16.6 ± 1.0			144 ± 6	32	8.66 ± 0.32	27
10 54 20	Gold Hill 4965 III SW 8/5	165	22.0 ± 1.2			116 ± 4	40	5.27 ± 0.21	20
11 54 26	Gold Hill 4965 III SW 8/6	75	16 ± 1	15.4 ± 2.0	79 ± 5	976 ± 36	6	12.30 ± 0.55	0
11 54 23	Gold Hill 4965 III SW 14/2	38	9.0 ± 0.5	9.1 ± 0.8	27 ± 5	213 ± 36	5	7.90 ± 0.33	0
11 54 24	Gold Hill 4965 III SW 14/3	47	18.8 ± 1.1	15.0 ± 3.8	28 ± 8	232 ± 64	6	8.39 ± 0.36	0
11 54 25	Gold Hill 4965 III SW 14/4	60		14.7 ± 1.9	85 ± 6	718 ± 36	5	8.45 ± 0.36	0
11 54 27	Gold Hill 4965 III SW 19/1	55	98 ± 9	64 ± 17	172 ± 10	1062 ± 38	6	6.16 ± 0.25	0
10 54 24	Gold Hill 4965 III SW 19/2	70	0.06 ± 0.03			0.20 ± 0.12	15	3.42 ± 0.13	22
11 54 15	Gold Hill 4965 III SW 20/1	50						7.36 ± 0.31	0
11 54 16	Gold Hill 4965 III SW 20/2	100						7.04 ± 0.29	0
09 54 05	Eldorado Springs 4963 IV NE 3/1	50	17.9 ± 1.7			97 ± 7	21	5.42 ± 0.27	0
10 54 12	Eldorado Springs 4963 IV NE 3/2	100	19.0 ± 1.7			155 ± 12	27	8.16 ± 0.31	24
10 54 13	Eldorado Springs 4963 IV NE 3/3	135	17.7 ± 2.0			162 ± 16	25	9.15 ± 0.36	22
Profilgruppe IV									
10 54 21	Gold Hill 4965 III SW 9/1	50	42 ± 4			266 ± 23	20	6.26 ± 0.27	22
10 54 22	Gold Hill 4965 III SW 9/2	80	59 ± 4			355 ± 21	22	5.99 ± 0.25	21
10 54 23	Gold Hill 4965 III SW 9/3	115	0.17 ± 0.17			0.66 ± 0.66	15	3.84 ± 0.16	21
09 54 08	Gold Hill 4965 III SW 10/1	40	1.39 ± 0.10			5.7 ± 0.3	29	4.06 ± 0.19	0

Fortsetzung OSL Colorado Front Range

Risø Nr.	Probenbezeichnung	Tiefe [cm]	Quarz	Alter [ka]		Dosis [Gy]	(n)	Dosisrate [Gy/ka]	Wassergehalt [Gew. %]
				Feldspat (IR 50)	Feldspat (pIRIR290)				
09 54 09	Gold Hill 4965 III SW 10/2	65	20 ± 2			77 ± 7	32	3.93 ± 0.18	1
11 54 07	Boulder 4964 III SE 14/1	70	7.9 ± 0.5	4.4 ± 0.3	10.3 ± 0.8	42 ± 3	6	4.02 ± 0.15	3
11 54 08	Boulder 4964 III SE 14/2	135	41 ± 6	11 ± 1	27 ± 3	101 ± 6	6	3.78 ± 0.34	0
11 54 09	Boulder 4964 III SE 14/3	275	56 ± 4	31 ± 2	65 ± 4	207 ± 9	6	3.20 ± 0.12	1
11 54 10	Boulder 4964 III SE 16/1	45	6.8 ± 0.5	3.2 ± 0.4	10.3 ± 1.3	58 ± 7	9	5.59 ± 0.22	1
11 54 11	Boulder 4964 III SE 16/2	90	34 ± 4	12 ± 2	32 ± 4	183 ± 24	6	5.69 ± 0.23	0
11 54 12	Boulder 4964 III SE 16/3	130	264 ± 43	15 ± 1	38 ± 2	282 ± 5	6	7.37 ± 0.31	2
11 54 03	Eldorado Springs 4963 IV NE 12/1	40	37 ± 3	30 ± 4	81 ± 9	558 ± 59	6	6.84 ± 0.28	0
11 54 04	Eldorado Springs 4963 IV NE 12/2	57	36 ± 10	44 ± 6	120 ± 15	734 ± 45	6	6.13 ± 0.65	0
11 54 05	Eldorado Springs 4963 IV NE 12/3	70	38 ± 6	26 ± 3	84 ± 10	592 ± 64	5	7.09 ± 0.29	1
Profilgruppe V									
08 54 40	Boulder 4964 III SE 1/1	65	5.4 ± 0.3			25.3 ± 0.9	26	4.70 ± 0.21	4
08 54 41	Boulder 4964 III SE 1/2	200	12.2 ± 0.7			63 ± 2	22	5.16 ± 0.24	4
08 54 42	Boulder 4964 III SE 1/3	110	6.2 ± 0.3			29.3 ± 0.6	27	4.70 ± 0.21	4
08 54 43	Boulder 4964 III SE 1/4	270	18.0 ± 1.1			87 ± 3	17	4.83 ± 0.22	4
08 54 44	Boulder 4964 III SE 1/5	410	16.1 ± 1.1			77 ± 3	21	4.78 ± 0.22	4
11 54 17	Boulder 4964 III SE 7/1	55	18.7 ± 1.4	8.9 ± 1.1	21.5 ± 1.7	114 ± 8	6	5.29 ± 0.21	0
11 54 18	Boulder 4964 III SE 7/2	85	22.5 ± 1.6	9.4 ± 0.9	22.6 ± 1.8	109 ± 7	6	4.82 ± 0.19	0
11 54 19	Boulder 4964 III SE 7/3	170	22 ± 2	12.2 ± 0.8	28 ± 3	131 ± 11	6	4.71 ± 0.19	0
09 54 03	Boulder 4964 III SE 10/1	90	13.3 ± 0.8			65 ± 2	18	4.91 ± 0.23	0
09 54 04	Boulder 4964 III SE 10/2	320	16.4 ± 1.2			77 ± 4	17	4.67 ± 0.22	0
11 54 06	Boulder 4964 III SE 10/3	200	15.1 ± 0.9	7.5 ± 0.4	17.0 ± 1.0	91 ± 4	6	5.36 ± 0.21	2
11 54 01	Eldorado Springs 4963 IV NE 2/1	105	16.9 ± 1.8	10.0 ± 0.7	15.0 ± 0.9	109 ± 4	6	7.26 ± 0.30	1
11 54 02	Eldorado Springs 4963 IV NE 2/2	160		9.4 ± 0.5	14.6 ± 0.9	123 ± 4	5	8.39 ± 0.35	0
10 54 14	Eldorado Springs 4963 IV NE 5/1	80	20.0 ± 1.3			64 ± 3	35	3.18 ± 0.11	33
10 54 15	Eldorado Springs 4963 IV NE 5/2	180	18 ± 5			65 ± 18	3	3.50 ± 0.12	42

A.3.1.2 Radiokohlenstoffdatierung (Colorado Front Range)

Labornummer	Probennummer	Tiefe [cm]	Radiokohlenstoffalter	Ca. BP (2 Sigma)
BETA 269575	Gold Hill 4965 III SW 6	35-40	1100 ± 40	940-1080
BETA 269574	Gold Hill 4965 III SW 10	45-50	5280 ± 40	5980-6200, 5940-5970
BETA 269573	Eldorado Springs 4963 IV NE 4/2	5-10	90 ± 40	170-280, 0-150
BETA 269572	Eldorado Springs 4963 IV NE 4/1	20-25	220 ± 40	260-310, 140-220, 0-20
BETA 248802	Boulder 4964 III SE 1/1	150-155	7690 ± 40	8404-8552
BETA 248801	Boulder 4964 III SE 1/2	160-165	7970 ± 40	8649-8995

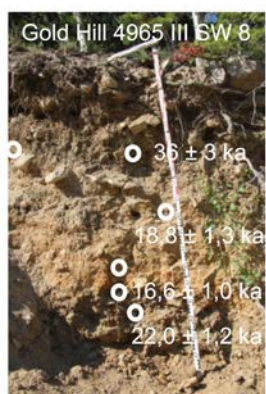
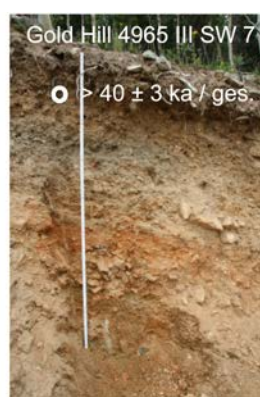
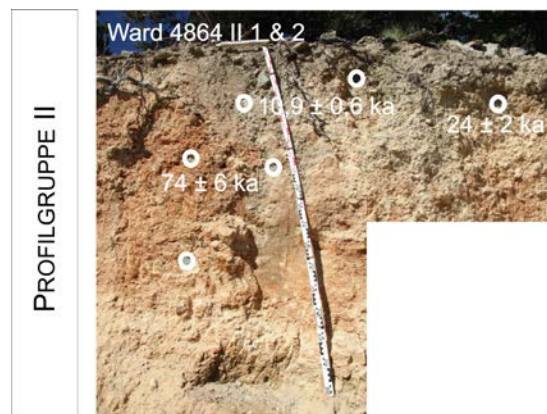
A.3.1.3 Optisch Stimulierte Lumineszenz (Otterbachtal)

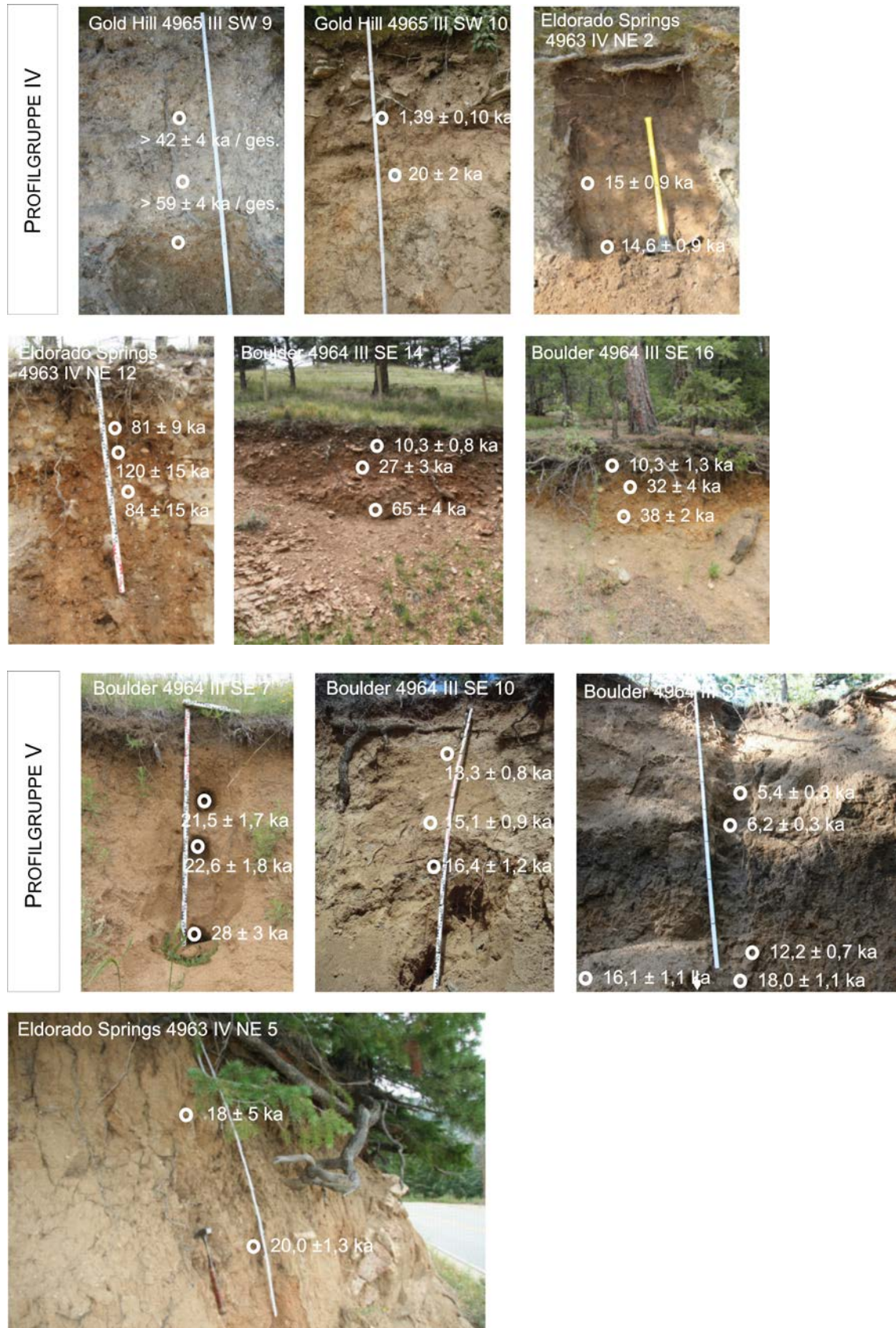
Risø Nr.	Probennummer	Tiefe [cm]	Alter [ka]			Dosis [Gy]	(n)	Dosisrate [Gy/ka]	Wassergehalt [Gew.%]
			Quarz	Feldspat (IR 50)	Feldspat (pIRIR290)				
11 54 32	6939-22/1	25	7.8 ± 0.6	33 ± 5	59 ± 3	349 ± 9	3	5.94 ± 0.22	11
11 54 33	6939-22/2	60	41 ± 13	47 ± 5	99 ± 12	609 ± 69	8	6.17 ± 0.23	13
11 54 34	6939-23/1	60	51 ± 4	46 ± 5	165 ± 29	1301 ± 224	4	7.89 ± 0.32	10
11 54 35	6939-23/2	95	75 ± 6	41 ± 3	127 ± 8	867 ± 40	3	6.83 ± 0.26	13
11 54 36	6939-23/3	115	86 ± 6	49 ± 4	158 ± 15	1149 ± 95	3	7.26 ± 0.27	13
10 54 01	6939-21/1	24	8.1 ± 0.4			42 ± 1	18	5.23 ± 0.19	30
10 54 02	6939-21/2	42	48 ± 4			305 ± 21	31	6.35 ± 0.25	25
11 54 37	6939-25/1	50	77 ± 10	70 ± 5	174 ± 32	1245 ± 225	3	7.15 ± 0.27	12
11 54 38	6939-25/2	110	83 ± 13	83 ± 5	171 ± 10	1315 ± 56	2	7.69 ± 0.30	12
10 54 03	6939-24/1	60	26 ± 3			139 ± 15	22	5.31 ± 0.21	21
10 54 04	6939-24/2	85	23.5 ± 1.5			102 ± 5	39	4.35 ± 0.17	25
10 54 05	6939-24/3	110	95 ± 5			448 ± 11	24	4.70 ± 0.17	37
10 54 06	6939-29/1	33	7.8 ± 0.4			34.9 ± 1.1	23	4.46 ± 0.17	24
10 54 07	6939-29/2	140	83 ± 6			418 ± 21	27	5.01 ± 0.19	27
10 54 08	6939-30/1	24	10.1 ± 0.7			43 ± 2	39	4.21 ± 0.16	26
10 54 09	6939-30/2	37	65 ± 4			268 ± 14	23	4.11 ± 0.15	26
10 54 10	6939-30/3	61	83 ± 6			370 ± 22	23	4.47 ± 0.17	24
10 54 11	6939-30/4	92	79 ± 7			323 ± 26	21	4.08 ± 0.16	24
11 54 28	6939-4/1	40	3.8 ± 0.6	71 ± 12	165 ± 10	933 ± 39	4	5.64 ± 0.20	13
11 54 29	6939-4/2	55	32 ± 6	87 ± 8	230 ± 9	1011 ± 2	4	4.39 ± 0.15	15
11 54 30	6939-4/3	78	39 ± 5	84 ± 7	202 ± 10	1044 ± 28	4	5.16 ± 0.18	14
11 54 31	6939-4/4	98	41 ± 4	82 ± 7	162 ± 7	939 ± 11	4	5.79 ± 0.21	14

A.3.2 Profilfotos mit Entnahmestellen und OSL-Altern

A.3.2.1 Colorado Front Range







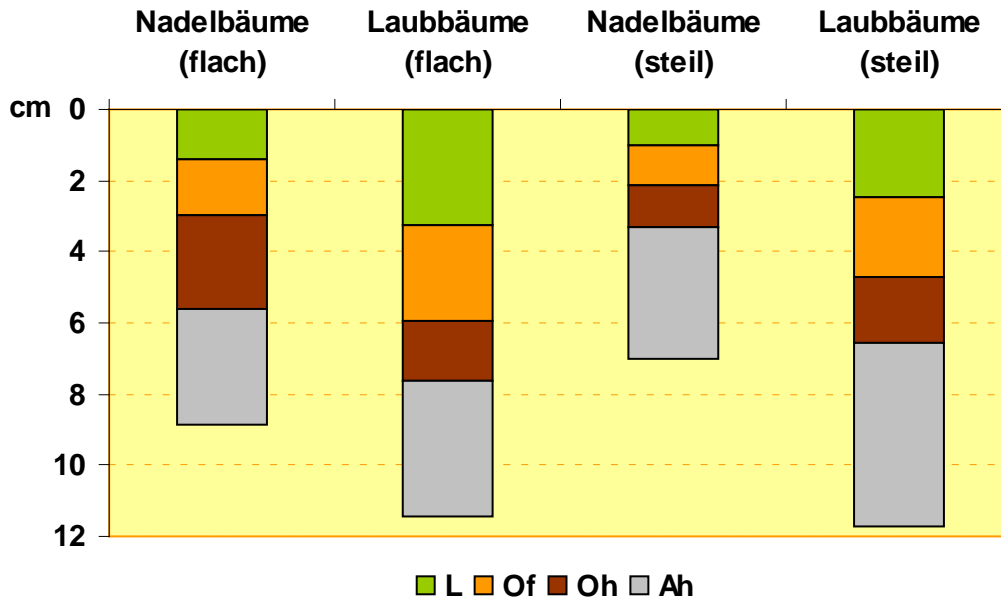
A.3.1.2 Otterbachtal



A.4 Bodenwassergehalt

A.4.1 Beeinflussende Größen

A.4.1.1 Organische Auflagen

A.4.1.2 Eindringwiderstände in kg/cm²

	Hauptlage	Mittellage	Basislage	Saprolith
Station 1	2,60 2,37		5,00	
Station 2	1,70 2,26		3,75 5,00	3,27 2,88
Station 3	1,25		2,03	5,00
Station 4	1,08		2,75 5,00	5,00
Station 5	0,96	5,00	5,00	3,21 2,99
Station 6	2,42 2,81 3,39	5,00	5,00 3,90	
Mittelwert	2,08	5,00	4,16	3,73

A.4.2 Statistische Übersicht zum Bodenwassergehalt

	Hauptlage				Mittellage				Basislage				Saprolith			
	Min	Max	Δ	σ	Min	Max	Δ	σ	Min	Max	Δ	σ	Min	Max	Δ	σ
1/1	-0,47	27,97	28,44	8,97												
1/2	0,65	25,29	24,64	9,24												
1/3	1,90	26,94	25,04	9,04												
1/4									8,14	27,34	19,20	11,4				
1/5									4,04	34,89	30,85	10,03				
2/1	6,19	32,05	25,86	16,29												
2/2	3,52	24,53	21,01	7,60												
2/3									3,51	30,07	26,56	12,86				
2/4									2,32	21,88	19,56	13,0				
2/5													-2,76	20,29	23,05	8,15
3/1	0,00	25,62	25,62	9,04												
3/2	4,52	22,31	17,79	12,73												
3/3									0,42	19,70	19,28	8,49				
3/4									2,12	25,75	23,63	10,57				
3/5													3,99	23,18	19,19	9,29
4/1	5,04	35,60	30,56	17,03												
4/2	4,19	25,45	21,26	12,43												
4/3									3,13	45,52	42,39	19,59				
4/4									8,97	29,57	20,8	17,67				
4/5									1,63	28,67	27,04	10,62				
5/1	-0,70	28,55	29,25	9,39												
5/2	-1,81	25,31	27,12	8,44												
5/3					4,79	33,81	29,02	16,22								
5/4					7,80	27,19	19,39	14,73								
5/5													0,68	12,82	12,14	6,52
6/1	4,16	32,54	28,38	15,29												
6/2	3,42	27,16	23,74	11,88												
6/3					5,22	17,4	12,18	9,47								
6/4					5,52	29,77	24,25	16,89								
6/5									2,75	36,5	33,5	33,75				
σ	2,35	27,64	25,19	11,34	5,83	27,04	21,21	14,33	3,70	29,99	26,28	14,80	0,64	18,76	18,13	7,99

CURRICULUM VITAE

Dipl.-Geogr. Juliane Huber

Persönliche Daten

Geburtsdatum: 1. August 1980

Geburtsort: Regensburg

Bildungsweg

- 12.2013 Einreichen der Promotion an der TU München
Mitglied in den promotionsbegleitenden Programmen DoctoraTUM und TUM Graduate School
- 10.2001-7.2007 Studium der Geographie, Nebenfächer Bodenkunde und Statistik, Universität Regensburg
Abschluss: Dipl.-Geogr., Note: 1,2
- 10.2000-9.2001 Studium der Informatik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (2 Semester)
- 9.1987-7.2000 Allgemeine Hochschulreife (Von-Müller-Gymnasium Regensburg)
Abschluss: Abitur, Note: 2,2

Anstellungen und Praktika

- seit 9.2007 Wissenschaftliche Referentin, Extraordinariat für Geomorphologie und Bodenkunde (TU München)
Wissenschaftsmanagement und Projektkoordination,
Wissenschaftliche Mitarbeiterin in div. Forschungsprojekten, Lehre: Seminare und Exkursionen
- 7.2008/2.2009 Mitglied der Gutachtergruppe German University of Technology in Oman, Akkreditierungsagentur ACQUIN, Bayreuth
- 2.2006-3.2006 Praktikantin, Lubag (Tauw Group), Regensburg
- 8.2004-9.2004 Praktikantin, Hydrogeologie Nordhausen (HGN), Magdeburg
- 10.2003-5.2007 Studentische Hilfskraft, Professur für Bodenkunde, Universität Regensburg

Publikationen

LEOPOLD, M., VÖLKELE, J., HUBER, J. & D. DETHIER (2013): Subsurface Architecture of the Boulder Creek Critical Zone Observatory from Electrical Resistivity Tomography. - *Earth Surface Processes and Landforms* 38 (12): 1417-1438.

VÖLKELE, J., GRUNERT, J., LEOPOLD, M., HÜRKAMP, K., HUBER, J. & A. MURRAY (2013): Eolian and fluvial sedimentation in the Sinai Mountains, Egypt: A record of flash floods during the Late Pleistocene. - *Hydrology Research* 44 (2): 281-299.

LEOPOLD, M., VÖLKELE, J., DETHIER, D., HUBER, J. & M. STEFFENS (2011): Characteristics of a paleosol and its implication for the Critical Zone development, Rocky Mountain Front Range of Colorado, USA. - *Applied Geochemistry* 26: S72-S75.

VÖLKELE, J., HUBER, J. & M. LEOPOLD (2011): Significance of slope sediments layering on physical characteristics and interflow within the Critical Zone – Examples from the Colorado Front Range, USA. - *Applied Geochemistry* 26: S143-S145.

LUTTERSCHMID, E., HÖRSCH, B., HUBER, J., LEOPOLD, M., PLACHT, S., RÖDER, J. & J. VÖLKELE (2007): Sedimentologische und geoelektrische Erfassung der Aue des Otterbachtals (Bayer. Wald) im Vorfeld einer 3-D Hangwassermodellierung. - *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 110: 119-120.