19.08.2013

Geographisches Institut Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Master Thesis Zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science

Sedimentologische und geochemische Analysen des Sandlössprofils Doroshivtsi (West Ukraine)

Christa Hunsalzer

1. Gutachter: Univ.- Prof. Dr. rer. Nat. Frank Lehmkuhl

2. Gutachter: apl. Prof. Dr. phil. Wolfgang Römer

Christa Hunsalzer (B.Sc.) Pontstraße 137-139 52062 Aachen E-Mail: christa.hunsalzer@rwth-aachen.de Matr. Nr.: 280753

Inhalt

Abbildungsverzeichnis VI Tabellenverzeichnis VIII Abkürzungsverzeichnis VIII Digitaler Anhang (sieh CD) IX Kartenverzeichnis XI Kartenverzeichnis XI Kurztassung der Masterarbeit (deutsch u. englisch) XV 1 Einleitung 1 2 Einführung in das Untersuchungsgebiet 3 2.1 Lage des Untersuchungsgebiets 3 2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief) 4 2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letzglaziales Paläoklima 9 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.1 Sossverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	Inhalt	III
Tabellenverzeichnis VIII Abkürzungsverzeichnis VIII Digitaler Anhang (sieh CD) IX Kartenverzeichnis (siehe Kartentasche) X Anhangsverzeichnis XI Kurzfassung der Masterarbeit (deutsch u. englisch) XV 1 Einleitung 1 2 Einführung in das Untersuchungsgebiet 3 2.1 Lage des Untersuchungsgebiets 3 2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief) 4 2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letztglaziales Paläoklima 9 3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 13 4 Stand der Forschung 12 5.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.3 Einkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21 21 21	Abbildungsverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis VIII Digitaler Anhang (sieh CD) IX Kartenverezichnis (siehe Kartentasche) X Anhangsverzeichnis XI Kurzfassung der Masterarbeit (deutsch u. englisch) XV 1 Zinführung in das Untersuchungsgebiet 3 2.1 Lage des Untersuchungsgebiets 3 2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief) 4 2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letztglaziales Paläoklima 9 3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 13 4 Stand der Forschung 12 5.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 2.1 Suppresieren 21	Tabellenverzeichnis	VIII
Digitaler Anhang (sich CD) IX Kartenverezichnis (siehe Kartentasche) X Anhangsverzeichnis XI Kurzfassung der Masterarbeit (deutsch u. englisch) XV 1 Einführung in das Untersuchungsgebiet 3 2.1 Lage des Untersuchungsgebiets 3 2.2 Geologie 3 2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief) 4 2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letztglaziales Paläoklima 9 3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Lösses 11 3.3 Lösses 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 12 5.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.1 Aufbereitung der Organik 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	Abkürzungsverzeichnis	VIII
Kartenverezichnis (siehe Kartentasche) X Anhangsverzeichnis XI Kurzfassung der Masterarbeit (deutsch u. englisch) XV 1 Einleitung 1 2 Einführung in das Untersuchungsgebiet 3 2.1 Lage des Untersuchungsgebiets 3 2.2 Geologie 3 2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief) 4 2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letztglaziales Paläoklima 9 3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 11 3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	Digitaler Anhang (sieh CD)	IX
Anhangsverzeichnis XI Kurzfassung der Masterarbeit (deutsch u. englisch) XV 1 Einleitung 1 2 Einführung in das Untersuchungsgebiet 3 2.1 Lage des Untersuchungsgebiets 3 2.2 Geologie 3 2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief) 4 2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letztglaziales Paläoklima 9 3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 11 3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 21 5.1.5 Dispergieren 21 21	Kartenverezichnis (siehe Kartentasche)	X
Kurzfassung der Masterarbeit (deutsch u. englisch) XV 1 Einleitung 1 2 Einführung in das Untersuchungsgebiet 3 2.1 Lage des Untersuchungsgebiets 3 2.2 Geologie 3 2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief) 4 2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letztglaziales Paläoklima 9 3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 11 3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 19 5.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	Anhangsverzeichnis	XI
1 Einleitung 1 2 Einführung in das Untersuchungsgebiet 3 2.1 Lage des Untersuchungsgebiets 3 2.2 Geologie 3 2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief) 4 2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letztglaziales Paläoklima 9 3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 11 3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	Kurzfassung der Masterarbeit (deutsch u. englisch)	XV
2 Einführung in das Untersuchungsgebiet 3 2.1 Lage des Untersuchungsgebiets 3 2.2 Geologie 3 2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief) 4 2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letztglaziales Paläoklima 9 3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 11 3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1 Korngrößenanalyse 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	1 Einleitung	1
2.1 Lage des Untersuchungsgebiets 3 2.2 Geologie 3 2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief) 4 2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letztglaziales Paläoklima 9 3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 11 3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 7.1.5 Dispergieren 21	2 Einführung in das Untersuchungsgebiet	
2.2 Geologie 3 2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief) 4 2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letztglaziales Paläoklima 9 3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 11 3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 3.1.5 Dispergieren 21	2.1 Lage des Untersuchungsgebiets	
2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief) 4 2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letztglaziales Paläoklima 9 3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 11 3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1.1 Korngrößenanalyse 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	2.2 Geologie	
2.4 Klima, Böden und Vegetation 8 2.5 Letztglaziales Paläoklima 9 3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 11 3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21	2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief)	4
2.5 Letztglaziales Paläoklima .9 3 Löss .11 3.1 Begriffsdefinition und Genese .11 3.2 Eigenschaften des Lösses .11 3.3 Lössverbreitung .12 3.4 Merkmale des Lösses .13 4 Stand der Forschung .15 5 Methoden .19 5.1.1 Aufbereitung der Proben .20 5.1.2 Einwaage .20 5.1.3 Entkalkung .20 5.1.4 Zerstörung der Organik .21 5.1.5 Dispergieren	2.4 Klima, Böden und Vegetation	
3 Löss 11 3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 11 3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	2.5 Letztglaziales Paläoklima	9
3.1 Begriffsdefinition und Genese 11 3.2 Eigenschaften des Lösses 11 3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	3 Löss	
3.2 Eigenschaften des Lösses 11 3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	3.1 Begriffsdefinition und Genese	
3.3 Lössverbreitung 12 3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	3.2 Eigenschaften des Lösses	
3.4 Merkmale des Lösses 13 4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	3.3 Lössverbreitung	
4 Stand der Forschung 15 5 Methoden 19 5.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	3.4 Merkmale des Lösses	
5 Methoden 19 5.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	4 Stand der Forschung	
5.1 Korngrößenanalyse 19 5.1.1 Aufbereitung der Proben 20 5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	5 Methoden	
5.1.1 Aufbereitung der Proben205.1.2 Einwaage205.1.3 Entkalkung205.1.4 Zerstörung der Organik215.1.5 Dispergieren21	5.1 Korngrößenanalyse	
5.1.2 Einwaage 20 5.1.3 Entkalkung 20 5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	5.1.1 Aufbereitung der Proben	
5.1.3 Entkalkung	5.1.2 Einwaage	
5.1.4 Zerstörung der Organik 21 5.1.5 Dispergieren 21	5.1.3 Entkalkung	
5.1.5 Dispergieren	5.1.4 Zerstörung der Organik	
	5.1.5 Dispergieren	

5.1.7 Auswertung	
5.2 Energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse	
5.2.1 Aufbereitung der Proben	
5.2.3 Funktionsweise der RFA	
5.2.4 Barium-Strontium Ratio und Karbonatgehalt	
5.3 Erstellung einer detaillierten Profilskizze	
5.4 Erstellung eines generalisierten Profils	
5.5 Erstellung von Triplots	
6 Vorstellung des Profils	
6.1 Beschreibung der einzelnen Schichten	
6.2 Archäologische Funde	
7 Auswertung	
7.1 Probenauslese und –Aufbereitung	
7.2 Korngrößenanalyse bivariater Verteilungen	
7.2.2 Ergebnisse der schichtspezifischen Laserbeugerkurven	
7.3 Ergebnisse des Tiefenfunktionsplots	
7.4 Auswertung der Korngrößenverteilungs-Triplots	
7.5 OSL- und C 14 Alter	
8 Diskussion	
8.2 Interpretation der Korngrößenverteilungen im Gesamtkontext	
8.2.1 Einheit 1	
8.2.3 Einheit 3	
8.2.4 Einheit 4	66
8.3 Segmentierung der Korngrößenverteilungen	
8.4 Interpretation des Tiefenprofils Ton, Silt, Sand	
8.5 Interpretation der Triplots	
8.6 Geochemie	
8.7 Zusammenfassung	
9 Fazit	
Literaturverzeichnis	XI

nhangXV

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hoch auflösende topographische Übersichtskarte der Ukraine. Der Pfeil zeigt das
Untersuchungsgebiet. Quelle: (world-geographics)
Abbildung 2: Google Earth Scene des Untersuchungsgebiets (dreifach Überhöht dargestellt). Quelle:
Eigene Erstellung mit Google Earth 2013 Abb
Abbildung 3: Aufsicht auf die Profilwand Doroshivtsi. Quelle: Eigene Erstellung mit Google Earth 2013
Abbildung 4: Ausdehnung und Mächtigkeit der eiszeitlichen Gletscher auf der Nordhemisphere um
21.000 BP (nach CLIMP 1981) (JÖRRIS 2010 S. 83)
Abbildung 5: Bildungsmechanismen verschiedener äolischer Sedimenten in Abhängigkeit der
Windgeschwindigkeit. PEY 1987, S. 45 12
Abbildung 6: Löss-Verbreitung in Europa nach HAASE et al.2007 S. 1310
Abbildung 7: Darstellung der Funktionsweise des Beckmann Coulter TM LS230 Laserdifraktometers.
Quelle: BECKMAN COULTER INC. 2003, S. 6
Abbildung 8: Die bearbeitete Google Earth Szene zeigt den Aufbau des Geländes. Der Auenbereich, die
Terrassen und die Hangablagerungen sind farbig gekennzeichnet. Quelle: Google Earth 2013 selbst
bearbeitet
Abbildung 9: Auf der Google Earth Szene ist das Untersuchungsgebiet und seine Umgebung dreifach
überhöht dargestellt. Quelle: Google Earth 2013
Abbildung 10: Klassifikation der Massenverlagerung am Hang. Quelle: SCHACHTSCHABEL et al. 1998, S. 399
Abbildung 11: Tyische Korngrößenverteilung eines Sandlösses aus Einheit 1. Erstellt mit LS13320 55 Abbildung 12: Die Abbildung zeigt den Transport und die Ablagerung von Partikeln anhand ihrer Größe.
Quelle: PYE 1987, S. 49)

Abbildung 13: Das Hjüstromdiagramm zeigt wie sich Erosion, Transport und Ablagerung von Partikeln in Abhängigkeit der Fliesgeschwindigkeit eines Gewässers
Abbildung 14: Beispiel für äolischen Ferntransport aus Einheit 1. Erstellt mit LS13320 57
Abbildung 15: Typische Korngrößenverteilung für Nassböden in Einheit 1. Erstellt mit LS13320 58
Abbildung 16: Verteilung der Korngrößen einer als humos angesprochen Schicht aus Einheit 1 Erstellt mit LS13320
Abbildung 17: Sandlöss der Schicht 8.2 in Einheit 2. Erstellt mit Erstellt mit LS13320 60
Abbildung 18: Sandlöss der Schicht 7.2 in Einheit 2. Erstellt mit LS13320
Abbildung 19: als humos angesprochene Schicht (8.1) in Einheit 2
Abbildung 20: Umgelagertes Material aus Schicht 7.2 Einheit 2. Erstellt mit LS13320
Abbildung 21: Schicht mit kryoturbat verwirktem Bereich und angrenzendem Schotterkörper(6.4). Erstellt mit LS13320
Abbildung 22: Korngrößenverteilung innerhalb eines Schotterkörpers der Schicht 6.4 in Einheit 2. Erstellt mit LS13320
Abbildung 23: Beispiel für die Korngrößenverteilung von Sandlöss (5.2) aus Einheit 3. Erstellt mit LS13320
Abbildung 24: Beispiel für die Korngrößenverteilung von einer im Gelände als humos angesprochenen Schicht (41 u. 4.2). Erstellt mit LS13320
Abbildung 25: Beispiel für die Korngrößenverteilung von umlagertem Material (6.1) aus Einheit 3. Erstellt mit LS13320
Abbildung 26: Beispiel der Korngrößenverteilungen des Sandlösses (3) der Einheit 1. Erstellt mit LS13320

Abbildung 27: Exemplarische Unterteilung der Korngrößenverteilung in Segmente. Eigene Erstellung67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2: Die T	abelle nach	TUCKER	1996 teilt	Korngrößen	in Klassen	Ton, Silt,	Sand und	Kies ein.
Quelle: TUCKER	x 1996, S. 68							35

Tabelle 3: Aufstellung der bis jetzt bekannten OSL- und C¹⁴- Alter. Quelle: eigene erstellung mit Daten

 aus (KLASEN 2012, RETHEMEYER 2011, und Heaseats)

 50

Abkürzungsverzeichnis

- BP = before present, i.d.R. bezogen auf C^{14} -Alter mit dem Bezugsjahr 1950
- C^{14} = Radiokarbonmethode
- Cal BP = kalibrierte C^{14} -Alter
- Ka = Tausend Jahre
- MIS = Marines Isotopenstadium
- n.e.N. = nach eigener Nomenklatur
- OSL = optisch stimulierte Lumineszenz
- PIDS = Polarisation intensity differential scattering
- PGG = Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie an der RWTH Aachen
- RFA = Röntgenfluoreszenzanalyse

Digitaler Anhang (sieh CD)

Ordner LS13320

Er enthält die Dateien; Doro 2009, Doro 2009 avarage, Doro 2010, Doro 2010 avarage (diese Daten können mit der Software LS13320des Laserdifraktomertes (*Beckmann Coulter TM LS230*) ausgewertet werden) sowie die Datei Datenausgabe_LS13320 (hier befinden sich die statistischen Auswertungen die mit der Software LS13320 vorgenommen wurden.

Doro 2009

Doro 2009 enthält die Daten der Laborauswertungen (Körnung, CNS, Farbe & Eisen, Karbonat; pH und Phosphat. Zusammengestellt durch Holger Kels

Doro 2010

Doro 2010 enthält die Daten der Laborauswertungen (Körnung, CNS, Farbe & Eisen, Karbonat; pH und Phosphat. Zusammengestellt durch Holger Kels

Probennummern

Die Datei "Probennummern" enthält die Gegenüberstellung der Labornummern, der Probennummern der Kampagnen 2009 und 2010 sowie die neuen Probennummern die auch in den Profilskizzen verwendet wurden.

RFA_Daten

RFA_Daten enthält die Auswertungen der energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (Spectro Xepos, Sprctro)

Kartenverezichnis (siehe Kartentasche)

Karte 1

Karte 1 zeigt die Profilskizze ist eine eigene Erstellung auf der Grundlage der Aufzeichnungen von Paul HEASEARTS (2009) und von Holger Kels (2010). Sie zeigt den Aufbau des Profils, wie es im Gelände wahrgenommen wurde. Die Farben wurden aus Beschreibungen und Fotos abgeleitet die Signaturen sind an die generalisierte Profilzeichnung aus (KULAKOVSKA 2012) angelehnt. Quelle: Eigene Erstellung.

Karte 2

Karte 2 zeigt das Tiefenprofil mit Triplots (die mit dem Programm GRADISTAT v8 generiert wurden), die das Verhältnis von Sand, Silt und Ton in einem Probenset anzeigen. Quelle: Eigene Erstellung.

Karte 3

Karte 3 zeigt das Tiefenprofil mit den Tiefenfunktionen von Ton Sand und Silt: Quelle: Eigene Erstellung.

Karte 4

Karte 4 zeigt das Tiefenprofil mit den Tiefenfunktionen des Barium/Strontium Verhältnisses und des Carbonat-Gehalts. Quelle: Eigene Erstellung.

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Geologischer und geomorphologischer Querschnitt im Untersuchungsgebiet von Doroshivtsi.
Quelle: nach KULAKOVSKA ET AL 2012, S. 135XV
Anhang 2: Idealisiertes Profil von Doroshivtsi III nach Paul Haesaerts Quelle: KULAKOVSKA 2012 S.
136XVI
Anhang 3: Starigraphische Einordung der össterreichischen Profile: Grubengraben, Kameg, Willendorf
Schwallenbach, Krems und Stillfried B und der Profiel in Osteuropa: Pavolov Dolni Vestonice,
Maravany Lopasta II, Stranska Skala, Nitra Cerman, Broskwinia und Spadisla. Quelle: HAESAERTS et al
2007, S. 35XVII
Anhang 4: Aus den ProfielenvMoldavia,Mitoc und Cosautsi ist eine Regional Sequenz erstellt worden.
Quelle: Haesaerts et al 2010, S. 15XVIII
Anhang 5: Tabelle der Fundplätze mit Wegpunkten, Koordinaten, Höhenangaben und den sogenannten
"Points of intrest" die Aufschluss darüber geben, ob Archäologie vorhanden ist oder nicht, ob es sich um
eine Löss Sektion handelt oder nicht oder ob sonstiger Merkmale von Bedeutung sind. Quelle: HAUK et al
2011, S. 2XIX
Anhang 6: Ergebnisse der Gamma-spektrometry, zeigt Ratenkalkulationssystem, äquivalente Dosis (De-)
Messungen und Alter Schätzung (basierend auf dem Wasser Gehalt von 20±5 %) auf. Alle Werte sind mit
ihren 1 Sigma-Fehler dargestellt. DOR09 10, DOR09 30: Die OSL Alter sind zusätzlich mit einem
Wassergehalt für 10±5 % und 30±5 % berechnet. Die Alter, die als am wahrscheinlichten gelten sind fett
gedruckt. Quelle: KLASEN 2012XX
Anhang 7: Ergebnisse der Gamma-spektrometry, zeigt Ratenkalkulationssystem, äquivalente Dosis (De-)
Messungen und Alter Schätzung (basierend auf dem Wasser Gehalt von 20±5 %) auf. Alle Werte sind mit
ihren 1 Sigma-Fehler dargestellt. DOR09 10, DOR09 30: Die OSL Alter sind zusätzlich mit einem
Wassergehalt für 10±5 % und 30±5 % berechnet. Die Alter, die als am wahrscheinlichten gelten sind fett
gedruckt. Quelle: KLASEN 2012XXI

Anhang 8: Korngrößenverteilung Schicht 3 (n.e.N. Schicht 1). Eigene Erstellung mit LS13320. XXII

Anhang 9: Korngrößenverteilung Schicht 3 (n.e.N. Schicht 2). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.

.....XXII

Anhang 10: Korngrößenverteilung Schicht 3 (n.e.N. Schicht 3). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 11: Korngrößenverteilung Schicht 4.1 und 4.2 (n.e.N. Schicht 4). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320
Anhang 12: Korngrößenverteilung Schicht 5.1 (n.e.N. Schicht 6). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320
Anhang 13: Korngrößenverteilung Schicht Layer 5.2 (n.e.N. Schicht 7). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 14: Korngrößenverteilung Schicht Layer 5.2 (n.e.N. Schicht 8). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 15: Korngrößenverteilung Schicht Layer 5.2 (n.e.N. Schicht 9). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 16: Korngrößenverteilung Schicht Layer 5.3 (n.e.N. Schicht 10). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320
Anhang 17: Korngrößenverteilung Schicht Layer 5.4 (n.e.N. Schicht 11). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 18: Korngrößenverteilung Schicht Layer 6.1 (n.e.N. Schicht 12). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 19: Korngrößenverteilung Schicht Layer 6.3, Proben 44 u.45. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 20: Korngrößenverteilung Schicht Layer 6.3, Proben 46 u.47. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 21: Korngrößenverteilung Schicht Layer 6.4 (n.e.N. Schicht 13), Proben 48, 51, 52, 54, 55. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320XXIX

Anhang 22: Korngrößenverteilung Schicht Layer 6.4 (n.e.N. Schicht 13), Proben 49. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320XXIX
Anhang 23: Korngrößenverteilung Schicht Layer 6.4 (n.e.N. Schicht 13), Proben 50. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320XXX
Anhang 24: Korngrößenverteilung Schicht Layer 7.1 (n.e.N. Schicht 14). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 25: Korngrößenverteilung Schicht Layer 7.1 (n.e.N. Schicht 15). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 26: Korngrößenverteilung Schicht Layer 7.2 (n.e.N. Schicht 16). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 27: Korngrößenverteilung Schicht Layer 8.1 (n.e.N. Schicht 18), Probe 66. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320XXXII
Anhang 28: Korngrößenverteilung Schicht Layer 8.1 (n.e.N. Schicht 18), Proben 70, 71 u. 72. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320XXXII
Anhang 29: Korngrößenverteilung Schicht Layer 8.1 (n.e.N. Schicht 19). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 30: Korngrößenverteilung Schicht Layer 8.2 (n.e.N. Schicht 20). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 31: Korngrößenverteilung Schicht Layer 9.1 (n.e.N. Schicht 21, 22 u. 23). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320
Anhang 32: Korngrößenverteilung Schicht Layer 9.2 (n.e.N. Schicht 24). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 33: Korngrößenverteilung Schicht Layer 9.3 (n.e.N. Schicht 25). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.

Anhang 34: Korngrößenverteilung Schicht Layer 9. (n.e.N. Schicht 26). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 35: Korngrößenverteilung Schicht Layer 10.1 (n.e.N. Schicht 27). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 36: Korngrößenverteilung Schicht Layer 10.2 (n.e.N. Schicht 28). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 37: Korngrößenverteilung Schicht Layer 11.2 (n.e.N. Schicht 29). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 38: Korngrößenverteilung Schicht Layer 12.1 (n.e.N. Schicht 30). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 39: Korngrößenverteilung Schicht Layer 12.2 (n.e.N. Schicht 31). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320
Anhang 40: Korngrößenverteilung Schicht Layer 13.2 (n.e.N. Schicht 32). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 41: Korngrößenverteilung Schicht Layer 14.2 (n.e.N. Schicht 34). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 42: Korngrößenverteilung Schicht Layer 14.2 (n.e.N. Schicht 35). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.
Anhang 43: Korngrößenverteilung Schicht Layer 14.2 (n.e.N. Schicht 36 u. 37). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320XL
Anhang 44: Korngrößenverteilung Schicht Layer 14.2 (n.e.N. Schicht 38). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.

Kurzfassung der Masterarbeit (deutsch u. englisch)

Zusammenfassung (deutsche Version)

Das bearbeitete 9 m mächtige Sand-Löss-Profil befindet sich im Südwesten der Ukraine an einem Gleithang des Dniester nahe der Stadt Doroshivtsi. Archäologische Untersuchungen finden am gleichnamigen Profil seit 2007 statt. Das hochauflösend beprobte Profil befindet sich auf der zweiten Terrasse im Hangsediment und beinhaltet eine außergewöhnliche Sequenz von sieben aufeinanderfolgenden archäologischen Fundschichten, die in das Jungpaläolithikum datieren. Der Bereich des Mittellaufes des Dniester war während des Paläolithikums eines der am dichtesten bewohntesten Gebiete.

Datierungen mit der optischen Lumineszenz- und der Radiokarbonmethode schätzen den Ablagerungszeitraum des Profils auf ca. 23.000 bis 16.000 Jahren vor heute. Damit ist Doroshivtsi ein sehr hochauflösendes Profil des letzteiszeitlichen Maximums (LGM) und nimmt somit eine besondere Stellung unter den Löss-Profilen in der Ukraine ein.

Ziel der Arbeit war es anhand von Korngrößenanalysen und unterstützend durch Röntgenfluoriszenzanalysen Aussagen über die Paläoumwelt getroffen werden. Zentrale Fragestellungen sind; Ist eine Entwicklung der Paläoumwelt-Bedingungen und den Einfluss der Geomorphologie auf das Prozessgeschehen im Laufe des Sedimentationszeitraums festzustellen? Können äolischer Fern- und Nahtransport sowie fluvialer und denudativer/solifluktiver Transport, die auch gleichzeitig Aufschluss über das Liefergebiet des Materials geben, anhand der Korngrößenverteilungen unterschieden werden? Weiter soll untersucht werden ob es in dem Profil zur Bodenbildung gekommene ist.

Anhand der Korngrößenverteilungen konnten die Ablagerungsphasen in trocken/kalte Phasen und warm/feuchte Phasen unterteilt werden. Auch die Verteilungen von umgelagertem und in situ abgelagertem Material konnte unterschieden werden. Weiter wird vermutet dass das Profilaufbauende Material zu einem Teil aus dem Flussbett selbst (äolischer Nahtransport) und zum anderen Teil aus Löss der vom nordischen Eisschild her stammt (äolischem Fern-Transport) her stammt. Weiter ist das Profil durch denudative oder solifluktive Prozesse mit aufgebaut wurden. Zu diskutieren ist ob die Entwicklung von feuchten zu trockenen Bedingungen die sich in dem Profil abzeichnen auf sich verändernde klimatische oder geomorphologische Bedingungen zurückzuführen ist. Mit der Geochemie konnten keine (initiale) Bodenbildung nachgewiesen werden.

Abstract (English Version)

The concerning sandy loess sequence, that extends to 9 meters, is situated on a slip-off slope of the Dniester near Doroshivtsi in the south-west of the Ukraine. Since 2007, the section is investigated archaeologically. This section is situated on the second terrace in the slope deposits. It is a remarkable sequence of seven consecutive achaeological layers, that are dated to the upper paleolithic. The area of the middle course of the Dniester was one of the most inhabited territories during the paleolithic.

This thesis developed within the framework of the initiation of the Collaborative Research Centre (CRC) 806 "Our way to Europe".

Age determination with optically stimulated luminescence (OSL) and radiocarbon dating (C^{14}) lead to the assumption that the sedimentation period of the section was approximately 23.000 to 16.000 years ago. This makes Doroshivtsi a section of the last glacial maximum (LGM) with very high resolution. Hence, it takes a special position within the loess sequences in Ukaine.

Evidence concerning the paleo environment is given by means of grain size analysis, laser diffraction (Beckmann Coulter Ls13320) und additionally with X-ray fluorescence analysis (...).

Central questions are: can a development of the paleo environment and a geomorphological influence on the process during the sedimentation period be determined? Can eolian long and short term suspension or modified saltation and fluvial and downhill creep/ solifluctive movement transport, that also gives information about the area of delivery of the material, be discriminated by means of grain size distribution? Further is investigated whether pedogenesis occured in the section.

On the basis of grain size distribution, the phases of sedimentation could be differentiated between dry/ cold stages and hot/ moist stages. Also, the distribution of reworked and in situ sedimented material could be distinguished. It is further believed that the sediment has in part origin in the riverbed itself (eolic short term suspension) and in part in the loess of the northern ice sheet (eolic long term suspension). In addition, the section was arranged through downhill creep and solifluction processes.

It has to be discussed whether the development from moist to dry conditions that can be seen in the section, are ascribed to changing climatic or geomorphological condition. Geochemistry could not provide evidence for an initial pedogenesis.

1 Einleitung

In der Paläoklimaforschung hat sich die Analyse von Lössprofilen als wertvolles Instrument etabliert, um insbesondere den spätquartären Klimawandel zu beleuchten (ZÖLLER 2010, S. 19). In der Ukraine sind Löss-Profile von Mächtigkeiten bis zu 25 Metern keine Seltenheit (FRANKOWSKI et al.2007, S. 147).

Das zu bearbeitete 9 m mächtige Sand-Löss-Profil befindet sich im Südwesten der Ukraine an einem Gleithang des Flusses Dniester nahe der Stadt Doroshivtsi. Archäologische Untersuchungen finden am gleichnamigen Profil seit 2007 statt. Das hochauflösend beprobte Profil befindet sich auf der zweiten Terrasse im Hangsediment und beinhaltet eine außergewöhnliche Sequenz von sieben aufeinanderfolgenden archäologischen Fundschichten, die in das Jungpaläolithikum datieren. Der Bereich des Mittellaufes des Dniester war während des Paläolithikums eines der bewohntesten Gebieten (KU-LAKOVSKA 2012, S. 131 f).

Datierungen mittels optisch stimulierter Lumineszenz (Abk.: OSL) und Radiokarbonmethode (Abk.: C^{14}) schätzen den Ablagerungszeitraum des Profils auf ca. 23.000 bis 16.000 Jahren vor heute. Dabei ist zu beachten, dass in den obersten 3 m des Profils keine Datierung erfolgte. Damit ist Doroshivtsi ein sehr hochauflösendes Profil des letzteiszeitlichen Maximums (englisch: last glacial maximum, Abk.: LGM) und nimmt eine besondere Stellung unter den Löss-Profilen in der Ukraine ein.

In dieser Arbeit sollen anhand von Korngrößenanalysen, die mit dem Laserbeuger (Beckmann Coulter Ls13320) durchgeführt wurden, und unterstützend durch geochemische Analysen auf Basis von Röntgenfluoreszenzmessungen (*Spectro Xepos, Spektro*), Aussagen über die Paläoumwelt getroffen werden. Hierbei standen die folgenden zentralen Fragestellungen im Vordergrund:

- Welche Änderungen der Paläoumweltbedingungen sind festzustellen?
- Welchen Einfluss hat die geomorphologische Situation auf das Prozessgeschehen im Laufe des Sedimentationszeitraums?
- Können äolischer Fern- und Nahtransport sowie fluvialer und denudativer/solifluktiver Transport, die auch gleichzeitig Aufschluss über die Provenienz des Materiales geben, anhand der Korngrößen identifiziert und unterschieden werden?
- Lässt sich im Profil die Bildung von Paläoböden nachweisen?

Im Folgenden soll zunächst auf das Untersuchungsgebiet unter besonderer Berücksichtigung des geologischen und geomorphologischen Settings eingegangen werden. Anschließend wird der Stand der Forschung zum quartären Paläoklima der weiteren Region und zur Entstehung und wesentlichen Eigenschaften des Lösses dargestellt. Es folgt die Erläuterung der Methoden mit Schwerpunkt auf der Korngrößenanalyse. Weiter wird auf den Stand der Forschung eingegangen um die Besonderheit des Profils herauszustellen und einzuordnen. Der Hauptanteil der Auswertungen liegt ebenfalls bei der Korngrößenanalyse. In der Diskussion kann das Profil in vier Einheiten mit unterschiedlichen Ablagerungsbedingungen eingeteilt werden, die durch klimatische oder geomorphologische Veränderungen bedingt sind. Ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit war die Zusammenstellung der im Gelände im Rahmen zweier Kampagnen in den Jahren 2009 und 2010 aufgenommenen Profilskizzen zu einem gesamtheitlichen Profil (Karte 1).

Diese Arbeit ist im Rahmen des Sonder Forschungs Bereiches (SFB) "Our way to Europe" entstanden.

2 Einführung in das Untersuchungsgebiet

2.1 Lage des Untersuchungsgebiets

Die genaue Geographische Lage der Profilwand Doroshivtsi ist 48°35′37,6″ N, 025°52′10,7″ E. Das Gebiet befindet sich im südwestlichen Teil der Ukraine in der Provinz Tscherniwzi am Fluss Dnister (Abbildung 1).



Abbildung 1: Topographische Übersichtskarte der Ukraine. Der Pfeil zeigt das Untersuchungsgebiet. Quelle: (WORLD-GEOGRAPHICS 2013)

2.2 Geologie

Ca. 70% der Fläche der Ukraine bestehen aus Flachland, das nahezu vollständig mit Löss-Sedimenten überdeckt ist (BOCKHORST 2009, S. 115). Die Podoloische Platte ist die geologische Einheit in der Ukraine auf der sich das Untersuchungsgebiet befindet. Sie ist Teil des Ukrainischen Schildes und hat heute ein mittelgebirgsartiges Landschaftsbild. Das Grundgebirge wird von dem präkambrischen Karton Fennosarmatia gebildet. Es besteht zum größten Teil aus Gneisen und Graniten und ist die älteste

Struktur der Podolischen Platte bzw. des Ukrainischen Schilds (DOLGINOW & KROPATSCHJOW 1994, S.25, in HUHMANN 2005, S. 10). Vor ca. 2. Mrd. Jahren endete die karelidischen Faltung mit der die Entwicklung der ukrainischen Schilds abgeschlossen war. Im Mesozoikum (ca. 250 bis 60 mio. Jahre vor heute) zerfiel diese in fünf Schollen. Eine stellt die Podoloische Platte dar (KHAIN 1985, S. 27 in HUHMANN 2005, S. 10). Im Silur (ca. 440 bis 420 mio. Jahren vor heute), im Devon (420 bis 359 mio. Jahren vor heute), in der Kreide (145 bis 66 mio. Jahren vor heute) und im Tertiär (65 bis 2,6 mio. Jahren vor heute) kam es zu Transgressionen. Hierbei wurden bis zu 3 km mächtige Sandstein- und Kalksteinschichtfolgen abgelagert (ZINN & MARKUSE 1984, S.16. in HUHMANN 2005, S. 10). Aufgrund der Hebung des Komplexes während der alpidischen Orogenese kam es zum Einschneiden der Flüsse. Da diese Hebung jedoch nicht überall mir der gleichen Intensität stattfand kam es zur Bildung von leicht in Richtung Süden verkippten Bruchschollen. Vom Jura (etwa 201-145 Ma) bis in das Miozän (23 bis 5,3 mio. Jahren vor heute) bedeckte die Paratethys die Region und es wurden mächtige Schichten marinen Kalksteins abgelagert. Während der quartären Vereisungen kam es dann zur Ablagerung einer flächendeckenden Lössschicht mit Mächtigkeiten von 3 bis 20 m (BOCKHORST 2009, S. 115; Neff 1974, S. 94 in HUHMANN 2005, S. 10). In diese Landschaft schneiden sich die Flusstäler mit ihren weitläufigen Talmäandern canyonartig ein. In den marinen Karbonaten haben sich außerdem Karsttäler gebildet, die so genannten Balki (HUHMANN 2005, S. 10).

2.3 Geomorphologie (Makro- bis Meso-Relief)

Die Erstellung der Abbildungen zur Erläuterung der geomorphologischen Situation erfolgte mit *Google Earth 2013*. Auf Grund der unzureichenden Genauigkeit der Höhendaten konnten keine aussagekräftigen Höhenprofile generiert werden. Da auch die frei verfügbaren digitalen Geländemodelle (SRTM, ASTER GDEM2) nicht die notwendige Höhengenauigkeit im Meterbereich erreichen war eine Generierung von Höhenprofilen in *ESRI ArcGIS* ebenfalls nicht möglich.

Das Profil befindet sich in dem Tal des Dnister, das zu den größten Tälern der Westukraine zählt. Der Fluss entspring im westlichen Teil der Ukraine und verläuft von Nordwesten nach Südosten. Der Dnister durchfließt dabei drei unterschiedliche Landschaftseinheiten: das Faltengebirge der Karpaten, die Molassevorsenke der Vorkarpatenebene und die Podolische Platte (hier befindet sich das Untersuchungsgebiet) bis er schließlich im Schwarzen Meer mündet (HUHMANN 2005, S. 7).

Der Dnister hat sich im Untersuchungsgebiet steilflankig 70 bis 100 m in das mesozoische und tertiäre Deckgebirge eingeschnitten und dabei einen flachen Talgrund von ca. 1 km Breite gebildet (vgl. Anhang 1). Diesen füllt der Fluss heute nur noch zu einem geringen Teil aus und mäandriert zwischen den Talflanken. Das Profil Doroshivtsi befindet sich an einem Seitenarm einer Mäanderschlinge des Flusses (siehe Abb. 2). An anderen Flussabschnitten ist eine Einschneidung bis in das paläozoische Grundgebirge beobachtet worden (HUHMANN 2005, S. 8). Der Seitenarm wird durch eine Insel vom Hauptfluss getrennt.

Auf der Google Earth Szene ist die beschriebene Geologie und die Geomorphologie gut nachzuvollziehen (siehe Abb. 2). Das Kalksteinplateau weist Dellen und Muldentäler auf. Diese entwässern durch Gullis in die canyonartigen Flussläufe. Die lössreiche Plateaufläche wird hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt. Die Siedlungen haben sich in den Tallagen oder in den Auenlagen entwickelt (siehe Abb. 2). Die Profilwand befindet sich an einer Geländekante oberhalb der Niederterrasse. Im oberhalb anschließenden Hang befindet sich eine leichte Depression. Ein schwächer geneigter Bereich unterhalb des Steilhangs deutet auf die Ablagerung von Sediment am Hangfuß hin.



Abbildung 2: Google Earth Szene des Untersuchungsgebiets (dreifach überhöht dargestellt). Der rote Punkt kennzeichnet die Lage der Profilwand. Quelle: Eigene Erstellung mit Google Earth 2013.

In Abbildung 3 ist eine Aufsicht der Profilwand dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die oberhalb liegenden Sedimentkörper angeschnitten wurden. Die deutliche Einbuchtung gegenüber dem natürlichen Verlauf der Geländekante lässt vermuten, dass anthropogen Material entnommen wurde.



Abbildung 3: Aufsicht auf die Profilwand Doroshivtsi. Quelle: Eigene Erstellung mit Google Earth 2013

In Abb. 4 sind drei Stufen im Talgrund hervorgehoben. Die unterste Stufe ist die Aue, also der heutige Überflutungsbereich. Es folgt die Niederterrassen, auf der eine mehrere Meter mächtige Sedimentauflage liegt, die durch eine gut nachvollziehbare Erosionskante begrenzt wird. Auf diesen liegen wiederum Hangsedimente auf, die sich aufgrund der Neigung sowohl vom steileren Hangbereich als auch von flach lagernden Sedimentauflage abgrenzen lassen. Die Profilwand liegt an der Erosionskante und ist in die Sedimentauflage eintieft.



Abbildung 4: Die bearbeitete *Google Earth* Szene zeigt den Aufbau des Geländes. Der Auenbereich, die Terrassen und die Hangablagerungen sind farbig gekennzeichnet. Quelle: *Google Earth 2013* selbst bearbeitet.

In Anhang 1 ist ein schematischer Querschnitt durch das Talprofil an der Stelle, an der sich die Profilwand befindet, dargestellt. Diese zeigt den geologischen Aufbau des umgebenden Gesteines. Zu sehen ist, dass auf der Hochfläche eine Schicht aus fast 10 m Löss aufliegt. Des Weiteren ist die Situation mit Hauptfluss und Nebenarm gut zu erkennen. Der Auenbereich ist nicht gekennzeichnet. Während die Niederterrasse aus Kiesen besteht ist die Sedimentauflage als sandiges Material dargestellt. Es ist zu sehen wie die Profilwand einen Teil der Sedimentauflage und das Hangsediment anschneidet.

Auf der zweiten *Google Earth* Szene (Abb. 5) ist das Untersuchungsgebiet und seine Umgebung dreifach überhöht dargestellt. Es soll hier verdeutlicht werden, dass sich am Hang und im Hangsediment, leichte Muldenstrukturen herausgebildet haben. Vermutlich variieren diese Strukturen mit der Zeit. Durch diese leichten Senken kann Hangsediment oder Wasser in definierten Bahnen ablaufen.



Abbildung 5: Auf der *Google Earth* Szene ist das Untersuchungsgebiet und seine Umgebung dreifach überhöht dargestellt. Quelle: Google Earth 2013

2.4 Klima, Böden und Vegetation

Der jährliche Niederschlag in der Ukraine beträgt ca. 300 mm im Südwesten und bis zu 500 mm im zentralen Bereich. Die mittlere Tagestemperatur liegt im Juli bei 19-22 C° und im Januar bei (-) 6 bis (-) 2 C° (BOCKHORST 2009, S. 115). Das Untersuchungsgebiet befindet sich an der Schnittstelle von Übergangs- zum Kontinentalklima (MUCHA 2000, S. 22 in HUHMANN 2005, S. 18).

Die Böden in dem Untersuchungsgebiet sind zumeist Schwarzerden und damit sehr fruchtbar. Sie weisen eine hohe Feldkapazität auf. Aufgrund ihres hohen Lössanteils sind sie erosionsanfällig (PYE 1987, S.9). Diese Böden werden von der Landwirtschaft genutzt wie in Abbildung 2 zu erkennen ist.

Der Teil des Untersuchungsgebiets gehört zu einem sogenannten Makromosaik in dem voneinander getrennte Wald- und Steppenzonen vorkommen (HUHMANN 2005, S. 20).

2.5 Letztglaziales Paläoklima

Die letzte Kaltzeit wird in Deutschland als Weichsel-Kaltzeit und in Rumänien als Devensian- oder Waldai-Kaltzeit bezeichnet. Sie erreichte vor rund 24.000 Jahren ihren Höhepunkt in der sogenannten Brandenburgerphase, während der die sommerliche Insolation ein Minimum erreichte BERGER & LOUTER 1991 in (JÖRRIS 2010, S. 86). Auf der Nordhalbkugel gab es Inlandsvereisungen in Eurasien und Nordamerika, die weit nach Süden reichten. Abbildung 6 zeigt die Ausdehnung des nordischen Eisschildes vor ca. 21.000 Jahren. Die Karpaten waren zu diesem Zeitpunkt nicht vergletschert. Da ein großer Teil des Wassers in Eis gebunden war lag der Meeresspiegel um ca. 125 m niedriger als heute YOKOYAMA et al.2000 in (JÖRRIS et al.2009). Dies führte zu einem weiteren Einschneiden der Flüsse, da sich mit dem Meeresspiegel die Erosionsbasis senkte.



Abbildung 6: Ausdehnung und Mächtigkeit der eiszeitlichen Gletscher auf der Nordhemisphere um 21 ka (nach CLIMP 1981) (JÖRRIS 2010 S. 83)

Die Quartären Kaltzeiten sind von periodischen Gletschervorstößen (kontinentale Eisschilde sowie montane Gletscher) während der Kaltphasen (Stadiale) aber auch durch Phasen in denen es erheblich wärmer wurde (Interstadiale) geprägt (LOWE & WALKER 1997, S. 1).

Von 21.000 bis 20.000 Jahren vor heute setzt das Laugerie-Interstadial ein, gefolgt von dem Lascaux-Interstadial das um 19.000 – 18.200 Jahren vor heute vorherrschte. In den Jahren 18.200 bis 15.000 Jahren vor heute tritt mit der Pommern-Phase wieder ein Stadial ein. Eine stabile Hochdruckzelle lag über dem Eurasischen Kontinent und führte zu einem trocken-kalten Klima (JÖRRIS et al.2009, S 83).

Es gab nur kurze Vegetationsperioden, die sich auf wenige Sommermonate beschränkten. Dem entsprechend war die Vegetation eher spärlich und bestand hauptsächlich aus Gras- und Steppenvegetation und Krüppelgewächsen. Die Fauna bestand vor allem aus Mammuts, Wollnashorn, Rentieren und Eisfuchs (JÖRRIS et al.2009, S 83).

Die Paläowindrichtung in der Ukraine war NWN (BUGGLE et al. 2008, S. 1072).

3 Löss

3.1 Begriffsdefinition und Genese

Löss ist ein gelblich gefärbtes, meist karbonathaltiges Sediment (SCHACHTSCHABEL et al. 1998, S. 31). Es wird typischerweise äolisch transportiert und abgelagert (SMALLEY et al. 2010, S. 4)

Der ukrainische Löss ist primär während großräumiger quartärer Vereisungen entstanden. Hier herrschte ein periglaziales Regime vor, in dem die Oberfläche weitestgehend vegetationsfrei und die Landschaft von Tundren und arktischen Trockengebieten geprägt war. Zahlreiche Schmelzwasser- und Frostschuttablagerungen prägten die Landschaft, aus denen schluffreiches Material ausgeblasen werden konnte. Eine weitere Quelle stellten die weitläufigen Schwemmebenen verwilderter Flüsse dar. Starke katabatische Winde konnten die Feinfraktion ausblasen und über lange Strecken transportieren. Ablagern von Löss findet dort statt wo die Windgeschwindigkeit nachlässt, wie zum Beispiel im Windschatten großer Gebirge, und Vegetation vorhanden ist, zum Beispiel in Form von Steppenvegetation (SCHACHTSCHABEL et al.1998, S. 31).

Eine andere Lössquelle können auch Wärmewüsten sein, was im Kontext dieser Arbeit jedoch vernachlässigt werden.

3.2 Eigenschaften des Lösses

Laut PYE (1987, S. 199) sind Lössablagerungen meist homogen oder weisen eine schwache Stratigraphie auf. Die Korngrößenverteilung von Löss liegt bei 20-40 μ m (ebd.). SCHACHTSCHABEL et al. (1998, S. 31) weisen ein Korngrößenmaximum von ca. 60 % zwischen 10 und 60 μ m Durchmesser als typisch für Löss aus.

Abbildung 7 zeigt die unterschiedlichen Bildungsmechanismen von äolischem Sediment in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Auf der primären Ordinate ist der Korngrößendurchmesser in Millimeter abgetragen. Auf der gegenüberliegenden Ordinate sind den Korngrößen entsprechend die äolischen Sedimente zugeordnet. Die Abszisse repräsentiert die Windgeschwindigkeit in cm/sek. Das typische Korngrößenintervall für Löss liegt hier zwischen 20 und 40 µm (siehe oben). Löss besteht oft aus bis zu 10 % Feinsandanteil (PYE 1987, S.199).



Abbildung 7: Bildungsmechanismen verschiedener äolischer Sedimente in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Quelle: PYE 1987, S. 45.

3.3 Lössverbreitung

10% der Erdoberfläche ist mit Löss oder mit lössähnlichen Sedimenten bedeckt (PYE 1987, S.9). Außer in Eurasien gibt es u.a. noch bedeutende Lössablagerungen in den USA sowie in Argentinien. Der Lössgürtel in Eurasien erstreckt sich von "Frankreich über den Nordrand der mitteleuropäischen Mittelgebirge nach Süd-Russland und bis nach Ost-China" (SCHACHTSCHABEL 1998, S. 31, siehe Abb. 8).



Abbildung 8: Löss-Verbreitung in Europa nach HAASE et al. 2007 S. 1310

3.4 Merkmale des Lösses

Nach dem Ende der jüngeren Dryas wurde das Klima humider, was zur Entkalkung des Lösses bis ca. 0,8 bis 1,5 m Tiefe führte. Gleichzeitig kam es zur Verbraunung und damit zur Entwicklung des sogenannten Lösslehms. Aus dem Löss entwickelten sich sehr fruchtbare Böden wie zum Beispiel die Schwarzerden und die Parabraunerden (PYE 1987, S.198).

Der sogenannte **Primärlöss** wird daran erkannt, dass Strukturen die im Boden verblieben sind, die sogenannten Sedimentmarken, wie zum Beispiel Abdrücke von Regentropfen, Spülungsprozesse oder durch Bodenkriechen (engl.: faint downslope stratification) im Sediment abgebildet sind (PYE 1987, S.199). **Sekundärlöss** (engl.: reworked loess) besteht aus Primärlöss der erodiert und durch fließendes Wasser verspült oder durch Hangrutschungsprozesse verlagert wurde. Einen am Hang verlagerten Löss erkennt man an den an der hangabwärts gerichteten Stratigraphie. Die zurückgelegte Distanz kann hierbei beträchtlich sein. Typisch ist diese Art von Löss in Talsohlen, Seen und Flussterrassen (ebd). **Angwitterter Löss** ist Primärlöss der deutlich verändert durch Verwitterung ist (ebd.). Meist ist er entkalzifiziert und der Tongehalt liegt bei bis zu 60 %. höher als bei unverwittertem Löss.

Mächtige Lösspakete bestehen meist aus Schichten unverwittertem und verwittertem Löss. Hierbei zeichnen die angewitterten Layer das Paläorelief nach (PYE 1987, S.199).

Unter den Paläoböden können sich auch die sogenannten **Nassböden** befinden. Für vernässte Böden im Löss ist der Begriff der "Nassböden' nach FREISING 1949 eingeführt worden. Er führt die Nassböden auf eine "durchgreifende" klimatische Veränderung zurück. Während Löss in kalten, nieder-schlagsarmen Klimaten gebildet wird, hat bei der Entstehung der Nassböden der Niederschlag zugenommen. Typischerweise wird dann kein Löss mehr akkumuliert. Das Niederschlagswasser kann aufgrund des Permafrostes im Untergrund nicht abfließen und wird im Auftaubereich gestaut. Eine andere Feuchtigkeitsquelle kann in auftauendem Bodeneis liegen. Diesem Prozess würde eine Erwärmung des Klimas vorhergehen (SCHIRMER 2004, S. 372-373)

SCHIRMER (1990, S.107) hat die Nassböden in zwei Arten unterteilt: in die Nassböden des Gleytyps und in die Nassböden des Pseudogleytyps. SCHIRMER beschreibt den Pseudogleytyp als flächenhaft grau, blaugrau oder blaugrün. Er kann Rostbänder an der Ober- oder Unterseite aufweisen, typischerweise an der Unterseite. Bei dieser Art von Nassboden fehlt der typische Go-Horizont der Gleye oft komplett. Im Gegensatz dazu scheint bei Nassböden des Gleytyps die Abfolge des klassischen Gleyprofils auf dem Kopf zu stehen. Der oxidierte Horizont (No) befindet sich im Liegenden des reduzierten Horizonts (Nr) (SCHRIMER 2004, S. 372-373).

Bei der statistischen Auswertung der Korngrößenverteilungen weist PYE (1987, S.199) auf eine typischerweise positiv schiefe Verteilung hin. Ab 20 % Feinsandanteil spricht man von "sandigem Löss" (PEY 1987, S.199; SCHACHTSCHABEL et al.1998, S. 31-32). Liegt der Tongehalt über 20 % wird das Sediment als "toniger Löss" angesprochen (PYE 1987, S.199).

4 Stand der Forschung

In der Paläoforschung haben sich Lössarchive als brauchbare Instrumente etabliert, um den Klimawandel zu beleuchten (ZÖLLER 2010). Weiter kann Löss fossile Böden enthalten, die während der Stadiale und Interstadiale entstanden sind (BUGGLE et al.2008, S. 1059; s.a. Kapitel 5.5). Die Paläosole zeichnen also die quartäre Landschaftsgenese nach. Somit haben die in Lössen archivierten Paläoböden "[..] eine herausragende Bedeutung im Rahmen der quartärgeologischen Forschung [..]" (KELS 2005, S. 15).

Im folgenden Text sind exemplarisch Arbeiten aus der Lössforschung die sich mit der Rekonstruktion der Paläoumweltbedingungen durch geochemische und/oder sedimentologische Untersuchungen in der Ukraine seit Beginn des Jahrtausends beschäftigen angeführt. Im den unteren Abschnitten wird auf die Möglichkeiten anhand der Korngrößenanalyse auf das Ablagerungsmilieu zu schließen eingegangen.

CHLEBOWSKI et al. (2003) stellten in ihrem Paper die Profile Vyazivok, Stayky, Uman, Troitskoye, Altestovo, Roxolany und Lebedivka vor. Diese stellen die Basis für die pleistozänen Lössstratigraphien zwischen Kiev und Odessa (Ukraine) dar und dokumentieren eine komplette Abfolge von klimatischen Veränderungen während der letzten 780 ka. Die älteste Schicht befindet sich in dem Profil Vyazivok, welche in der lokalen Nomenklatur in das Kryzhaniv datiert. Dies entspricht der Waal-Warmzeit in Norddeutschland, also 1,45 Mio. Jahren bis 1,20 Mio. Jahre vor heute. In den oberen Bereichen findet sich der Bug-Löss (Bg), darüber der Prychernomorsk-Löss (pc) und Dofinov-Paläosole (df), die sich während des Weichsel Spätglazials gebildet haben.

Der Bug-Löss konnte anhand von Schwermineralen, die in pleistozänen und in rezenten Staubstürmen nachgewiesen wurden, charakterisiert werden. Dies gelang auch anhand der Ablagerungsmuster die zuvor von RÓYCKI (1968, 1976, 1991), MARUSZCZAK (1967), JERSAK (1976), CHLEBOWSKI & LIND-NER (1989, 1999), LINDNER & CHLEBOWSKI (2001) beschrieben wurden. Es wird angenommen, dass der Bug-Löss unter variablen und periodisch drehenden Winden in der unteren und oberen Atmosphäre abgelagert wurde (CHELEBOWSKI et al.2003).

LINDNER et al. (2004) haben 26 Profile in Polen, der Ukraine und Weißrussland untersucht und die Hauptkomponenten des Klimas während des Quartärs herausgearbeitet. 26 vergleichbare Einheiten geben Aufschluss über die klimatischen Veränderungen. Diese weisen auf 11 Vereisungsphasen während des mittleren und späten Quartärs hin.

FRANKOWKI et al. (2007) haben anhand eines Löss-Profils am Dinster nahe der Stadt Kolodiiv (östliches Karpatenvorland, Ukraine), das vom Eem bist ins Holozän abgelagert wurde, Korngrößenanaly-

sen durchgeführt um Aussagen über die Paläoumweltbedingungen (Provenienz des Materials, Distanz und Dynamik des Transports, Art der Ablagerung oder Umlagerung und sekundärer Überprägung) zu treffen. Die Autoren leiten aus dem Profil acht Einheiten ab, darunter fünf Paläobodenkomplexe und drei Lössschichten. Die Proben wurden mittels Laserdifraktometrie ausgewertet. Hierbei wurden die Korngrößen in 21 Fraktionen unterteilt und verschiedene Statistische Analysen durchgeführt: die Analyse der Haupt Korngrößen auf die Einflussfaktoren nach der Folk and Ward´s method, den ,grain size index' (Igs1) nach DING et al. (1994) und statistische Test wie den ,Kolmogorov-Smirnov'- und ,Spearman Rang Korrelation'-Koeffizienten.

Mit der Korngrößenanalyse konnten die unterschiedlichen Löss-Einheiten voneinander abgegrenzt werden, woraus drei Phasen der Löss-Ablagerung herausgestellt resultierten, die nach Interpretation der Autoren unter der gleichen Windgeschwindigkeit abgelagert wurden (FRANKOWKI et al. 2007, S. 158). Im Weichsel-Hochglazial (auch Weichsel Pleniglazial) konnte eine Heterogenität des Klimas festgestellt werden. Hochaufgelöste Korngrößenanalysen zeigen, dass das Material vom Gelasium (2,588-1,806 Ma BP) bis zum Jungpleistozän (das wiederrum aus einer höheren Anzahl Interglazialen als Glazialen besteht) immer feiner wird. Der niedrigste "grain-size index" tritt im Holozän auf. Die genaue Beschreibung des Profils sowie eine Tabelle mit Paläoumwelteinflüssen befindet sich im Anhang.

2007 stellten HAESAERTS et al. Profile aus Österreich und aus Osteuropa vor (Moldavien, Slovakei und Südpolen), die unterschiedliche zeitliche Abschnitte darstellen die sich gegenseitig ergänzen (siehe Anhang). Aus Österreich beschreibt er die Profile Grubengraben (älteste Datierung liegt bei ca. 18 ka), Kameg (älteste Datierung liegt bei etwa 14 ka), Willendorf Schwallenbach (älteste Datierung liegt bei ca 39 ka und die jüngste bei 24 ka), Krems (älteste Datierung liegt bei ca. 30 ka und Stillfried B (älteste Datierung liegt bei etwa 34 ka). In Osteuropa sind es die Profile Pavolov Dolni Vestonice (ältestes Alter Datiert auf 32 ka), Maravany Lopasta II (Datiert von ca 21 bis 23 ka), Stranska Skala (Datiert von etwa 32 ka bis 31 ka), Nitra Cerman (Datiert von ca. 24 ka bis 23 ka, Broskwinia und Spadisla (älteste Alter Datiert auf ca. 24 ka und das jüngste auf 15 ka) (siehe Ahnhang 3).

GERASIMENKO & ROUSSEAU (2008) haben 23 Profile südlich von Kiev ausgewertet um mit Hilfe von Paläopedologie, Pollen- und Mollusken-Analysen die Umweltbedingungen des Jungpleistozäns zu rekonstruieren. Bei der Nebeneinanderstellung der Profile ergaben sich Parallelen in den Umweltbedingungen. Die Ergebnisse wurden mit dem Profil Nussloch am Rhein in der Nähe von Heidelberg verglichen. Das Pleniglazial umfasst hier hauptsächlich drei Lösseinheiten und zwei Bodeneinheiten. Die mittlere Lösseinheit stellt die Einheit mit der intensivsten Lössakkumulation dar, den Bug-Löss. Die Autoren gehen davon aus, dass die Lösse in offenen Landschaften gebildet wurden, in denen Steppenvegetation vorherrschte. Das Klima wird von Beginn bis zum Ende des Pleniglazials kontinentaler und rauer. Während der Bodenbildungsphasen war die Umgebung von Waldsteppen und sogar Laubbäumen geprägt. Gegen Ende des Pleniglazials setzte sich die Waldsteppe jedoch immer mehr durch. Diese Ergebnisse weisen eine hohe Ähnlichkeit zu denen des Nussloch-Profils auf.

BOCKHORST et al. (2008) stellen in ihrem Aufsatz Profile vom südöstlichen Teils des panonischen Beckens (Titelplatau, Serbien) bis zur nordöstlichen Küste des Schwarzen Meeres vor: Titel, Pyrogove, St. Bezradychy und Sanzhijka. An diesen Standorten herrschen heute unterschiedliche klimatische Bedingungen vor, die Profile bewegen sich entlang von Temperatur und Niederschlagsgradienten. Die Proben, die jeweils mit 5 cm Abstand genommen wurden, also hochauflösend sind mittels Röntgenfluoreszenzanalyse gemessen worden. Aus den ermittelten Werten wurden verschiedene Ratios gebildet: Barium/Strontium (Ba/Sr), Magnesium/Calcium (Mg/Ca), Magnesium/Strontium (Mg/Sr) und Strontium/Calcium (St/Ca) Ratio. Weiterhin wurden auch Korngrößenanalysen durchgeführt und die magnetische Suszeptibilität ermittelt. Es stellte sich heraus, dass sich die Ratios der alkalischen Elemente gut als Indikator für Bodenbildungen eignen. Weiter gibt es eine hohe Korrelation zwischen den gebildeten Ratios und der Magnetischen Suszeptibilität. Die Ba/Sr-Ratio eignet sich besonders für Identifikation von Bodenbildungen, die unter feuchten klimatischen Bedingungen entstanden sind. Die Sr/Ca-Ration ermöglicht die Abgrenzung von Stadialen und Interstadialen und um die Niederschlagsverhältnisse abzubilden.

ROUSSEAU et al. (2008) beschreiben die Vyazivok Lösssequenz aus der Nähe der Dnjepr Ebene (Ukraine). Ziel war es, die Umweltveränderungen während des Jungpleistozäns und des Holozäns herauszuarbeiten. Hierzu wurden bodenkundliche und palynologische Analysen sowie Analysen der magnetischen Suszeptibilität durchgeführt. Das Profil liegt auf einer pleistozänen Terrasse und ist mit Hangschutt überlagert. Es sind zwei Bodenkomplexe vorhanden die beide in das marine Isotopenstadium (Abk.: MIS) 5, das in etwa dem Eem entspricht, datieren. Die Böden sind durch eine Schicht von äolischem Staub, dem sogenannten Tyasmyn-Schluff, voneinander getrennt. Der untere Bereich der Böden hat sich unter Waldvegetation gebildet. Sie werden von Uday- (MIS 4) und Bug-Löss (MIS 2) überlagert. Diese Lössschichten werden durch boreale Böden (Vytachiv) getrennt (MIS 3). Die kältesten klimatischen Verhältnisse herrschten während der Ablagerung des jüngsten Lösses (Bug-Löss). Über dem Bug Löss befinden sich holozäne Böden. Die Ergebnisse deuten somit auf dichte Waldvegetation in der letzten Warmzeit und eine offene Lösssteppe in der letzten Kaltzeit hin. Das Profil Vyazivok zeigt bemerkenswerte Ähnlichkeit mit anderen klassischen Lösssequenzen aus Westeuropa, der Tschechischen Republik und Österreich.

HEASAERTS et al. (2010) beschreiben verschiedene Profile aus der Region der Donau deren Stratigraphie von 44 ka bis 24 ka zurückreicht. Aus diesen Profilen ist eine regionale Sequenz erstellt worden. Weiterhin werden die Profile Moldova (Urkaine), Mitoc (Rumänien) uns Cosautsi (Moldavien) aufgearbeitet. Moldava und Cosautsi liegen beide am Dnister. Das Profil Moldova reicht von ca. 45 ka bis 17 ka zurück. Mitoc von etwa 32 ka bis 20 ka. Das Profil Cosautsi ist am ehesten mit den bisher angeführten Profilen zu vergleichen. Es ist 13 Meter mächtig, das älteste Alter datiert auf 19,4 ka, das jüngste auf 13,4 ka (siehe Anhang 4). Aus den drei zu letzten genannten Sequenzen ist ebenfalls eine regionale Sequenz generiert und mit der aus dem Donaueinzugsgebiet verglichen worden.

TUCKER (1988) beschreibt das Unterfangen von Korngrößenverteilungen auf das Ablagerungsmilieu zu schließen als schwierig. Er postuliert, dass man vor der Auswertung der Korngrößenverteilungen auf das geomorphologische Setting eingehen muss um die Ergebnisse interpretieren zu können. Am effektivsten ist die Betrachtung mehrerer Profile innerhalb eines Gebietes, in dem anhand der Veränderungen von Standartabweichung und Schiefe Prozessabweichungen aufgezeigt werden können. Jedoch haben diese Ergebnisse nur unzureichende Evidenz in Bezug auf andere Milieus (TUCKER 1988, S. 74).

Die ersten Versuche aus den Variablen Korngröße und Volumen auf das Ablagerungsmilieu oder – Prozesse zurückzuschließen kamen von STEWART (1958). Er konnte sich voneinander abgrenzende Sedimentationszonen von Fluss-, Brandungs- und Ruhigwassersedimenten aufzeigen indem er den Median gegen die Schiefe und die Standardabweichung abtrug. In anderen Studien, wie z.B. SCHLEE et al. (1961) gelang es jedoch nicht, die Sedimentationsmilieus voneinander abzugrenzen (TUCKER 1988, S. 74).

FRIEDMAN et al. (1961), MOILOLA & WEISER (1968) und FRIEDMAN & SANDERS (1987) kamen zu dem Ergebnis, dass die Korngrößenkurven von Dünen- und Flusssanden eher rechtsschief (positiv), die von Strandsanden eher linksschief (negativ) sind. Dünensande und Flusssande können anhand ihrer Sortierung unterschieden werden, wobei der Flugsand besser sortiert ist als der Flusssand (FRIEDMAN 1961, S. 514). FRIEDMAN & SANDERS (1987) geben in ihrem Werk "Principals of Sedimentology" unter anderem zu bedenken, dass die Mineralzusammensetzung berücksichtigt werden muss, da die Kennwerte von Archiv zu Archiv variieren können (FRIEDMAN & SANDERS 1987, S. 70 ff.).

5 Methoden

5.1 Korngrößenanalyse

Unter der Korngrößenbestimmung versteht man die quantitative Erfassung der Korngrößenzusammensetzung einer Probe über etablierte Kornfraktionen (Sand, Schluff, Ton, etc.). Die Korngröße hängt maßgeblich von den beteiligten Erosions-, Transport- und Ablagerungsprozessen ab. Im Umkehrschluss gibt die Korngrößenverteilung Rückschlüsse über die an der Sedimentbildung beteiligten Prozesse (PYE & BLOTT 2004. S.19). Auch zahlreiche Prozesse, die durch Temperatur und Niederschlag nachträglich die Eigenschaften des Sediments verändern, können in-situ als Relikt im Sediment erhalten bleiben (BOKHORST 2009, S. 113-114).

Zur Messung der Korngröße können verschiedene Methoden angewendet werden (PYE & BLOTT 2004, S.19). Im Labor des Geographischen Instituts der RWTH Aachen stehen drei Verfahren zur Verfügung: die ,Köhn'sche Pipettanalyse', der ,Sedigraph' (*Micromeritics SediGraph 5100*) und der Laserdifraktometer (*Beckmann Coulter Ls13320*) zu messen. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Analysemethoden sind nicht direkt miteinander vergleichbar da jede Methode andere Besonderheiten aufweist, die bei der Auswertung berücksichtigt werden müssen (PYE & BLOTT 2004, S.19; KONERT & VANDENBERGHE 1997, S. 533). Der Laserdifraktometer *Beckmann Coulter Ls13320* erbringt gute Ergebnisse im Korngrößenbereich von Silt und Sand. Daher sind die Ergebnisse für die Analyse von Lössböden gut geeignet. Generell ist anzumerken, dass das Gerät die Tonfraktion unterschätzt (vgl. PYE & BLOTT, 2004., KONERT &VANDENBERGHE 1997).

Die Messung der Korngrößen mit dem Laserdifraktometer stellt eine sehr genaue und schnelle Messmethode dar. Sie hat den Vorteil, dass nur eine geringe Menge (sieh Tab. 1) an Probenmaterial benötigt wird. Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sind von entscheidender Bedeutung. Daher muss die Probe nach einem standardisierten Verfahren vorbereitet, gemessen und dokumentiert werden (PYE & BLOTT 2004, S. 20). Folgende Schritte schließen sich bei der Korngrößenanalyse mit dem Laserbeuger an: Aufbereitung, Einwaage, Entkalkung, Zerstörung der Organik, und Dispergierung, Messung und die Auswertung der Daten.

5.1.1 Aufbereitung der Proben

Im Labor werden die Proben zunächst in Aluschalen umgefüllt und getrocknet. Ist das Material trocken wird es gemörsert und anschließend durch ein 2 mm-Sieb gegeben. Hierdurch wird Grobsand und gröberes Material entfernt, da dieser Skelettanteil für die weitere Analysen im Labor nicht benötigt wird.

5.1.2 Einwaage

Nach den allgemeinen Schritten der Vorbereitung des Probenmaterials wird eine bestimmte Menge in Kunststoffreagenzgläser überführt. Die Menge der eingewogenen Probe richtet sich dabei nach der Korngröße, die mit Hilfe der Fingerprobe abgeschätzt wird. Dabei gilt, je kleiner die Korngröße, desto geringer die Einwaage. Hierdurch wird sichergestellt, dass nicht zu viele Partikel gemessen werden, was die Genauigkeit beeinflussen würde. Dabei werden die in Tab. 1 aufgeführten Richtwerte angewendet, die sich im Labor des PGG unter der Leitung von Marianne Dohms aus Erfahrung etabliert haben.

Ton	0,1 - 0,2 g
Schluff	0,2 - 0,4 g
Sand	0,5 - > 1 g (max. 5 g)

Tabelle 1: Einwaage des Probenmaterials nach geschätzter Korngrößenklasse

Im Labor des PGGs wird jede Probe doppelt gemessen. Bei den zwei Messungen werden unterschiedliche Einwaagen vorgenommen, da die vorranggegangene Korngrößenbestimmung per Fingerprobe eventuell nicht exakt ist. Somit kann diese Ungenauigkeit ausgeglichen werden.

5.1.3 Entkalkung

Ist der Kalkgehalt einer Probe größer als ein Prozent (> 1 %) wird eine Entkalkung durchgeführt. Der Kalk wirkt als Kitt-Substanz und muss daher entfernt werden. Nach der Entkalkung sind eventuelle Aggregatverbände aufgelöst und die Partikel liegen einzeln vor (AHL et al 1995, S. 23).

Zu der Probe wird je nach Einwaage 0,5 bis 5 ml destilliertes Wasser und 0,5 bis 5 ml 10 %ige Salzsäure (HCL) zugegeben. Je nach Kalkgehalt der Probe kommt es zur weiteren Zugabe von Salzsäure (0,005 bis 0,05 ml). Danach müssen die Proben für etwa 24 Stunden ruhen. Um die restliche Salzsäure auszuwaschen müssen die Proben zentrifugiert werden. Dazu werden die Reagenzgläser zur Hälfte mit destilliertem Wasser aufgefüllt und in spezielle Probengehälter eingesetzt. Damit die Zentrifuge keine Unwucht bekommt müssen die Probenbehälter gewogen und ggf. das Gewicht mit destilliertem Wasser ausgeglichen werden, sodass sich zwei exakt gleich schwere Probenbehälter in der Zentrifuge gegenüberstehen. Die Proben werden nun 3 Minuten bei 3000 Umdrehungen zentrifugiert. Anschließend wird der Wasserüberstand mit einer Wasserstrahlpumpe abgesaugt. Die Probe hat sich am Boden des Reagenzglases zu einem so genannten Pellet verfestigt. Die Probe wird nun wieder mit destilliertem Wasser aufgefüllt und auf dem Vortex (*Vortex Geni 2, Scientific Industries*) geschüttelt bis sich die Pellets wieder im Wasser aufgelöst haben. Nun kann die Probe erneut zentrifugiert werden. Dieser Vorgang wird bis zu vier Mal wiederholt.

5.1.4 Zerstörung der Organik

Da Organik ebenfalls als Kitt-Substanz wirkt wird sie mit Wasserstoffperoxid (H_2O_2) entfernt. Dies kann zum Abfall des pH Werts führen. Fällt der pH-Wert unter 4,5 kann es zur Auflösung von Mineralen kommen, was vermieden werden sollte (AHL et al.1995, S. 23). Trockene (nicht entkalkte Proben) werden mit 0,5 ml destilliertem Wasser angefeuchtet. Nun werden 0,7 ml des 15 % igen H_2O_2 hinzugegeben. Hierbei kann es zu starkem Aufschäumen kommen. In diesem Fall kann das Überkochen mit wenigen Tropfen Alkohol verhindert werden. Tagsüber werden die so behandelten Proben in den auf 70 °C geheizten Trockenschrank gestellt. Diese Prozedur wird zweimal täglich durchgeführt und nach zwei Tagen beendet. Es ist darauf zu achten, dass die Probe im Trockenschrank nicht vollständig austrocknet. Um die Reste des H_2O_2 vollständig zu entfernen werden die Proben abschließend bis zu Hälfte mit destilliertem Wasser Aufgefüllt und 6 - 8 Std. erhitzt.

5.1.5 Dispergieren

Durch das Mörsern sind die Substrataggregate weitestgehend voneinander getrennt. Damit der Laserdifraktomerter jedes einzelne Korn erfassen kann ist es notwendig, sie vollständig voneinander zu lösen. Hierzu werden pro Probe 1,25 ml 0,1 mol. Natriumpyrophosphat hinzugegeben. Anschließend werden die Proben über Nacht in den Überkopfschüttler gespannt. Nach dieser Prozedur können die Proben in den Laserdifraktomerter eingesetzt werden.

5.1.6 Messung mit dem Laserdifraktometer
Die Funktionsweise des Laserdifraktometers beruht auf der Messung der Beugung von Laserstrahlung durch die zugeführten Partikel. Diese werden hierbei als zweidimensional angesehen. Da der Laserdifraktometer den Winkel der gebeugten Laserstrahlen misst, die frontal auf den Partikel geschossen werden, wird ein flächiger Umriss abgebildet. Dieser wird dann als kugelförmig angenommen (KONERT & VANDENBERGHE 1997, S. 523 f). Die Winkel, die aus der Beugung der Laserstrahlen resultieren, werden gemessen, woraus dann die Korngröße ermittelt werden kann. Der Beugungswinkel wird hierbei geringer je kleiner die Fläche des Partikels ist auf den der Laserstrahl trifft KONERT & VANDENBERGHE 1997, S. 523 ff).

Das System des *Beckmann Coulter TM LS230* Laserdifraktometers besteht aus einer Lichtquelle, einer Probenkammer, einem Fourier-Linsen-System und einigen Photodetektoren (siehe Abb. 9). Die Laserstrahlen durchqueren einen speziellen Filter und eine Projektionslinse. Dann passiert der Laserstrahl die Probenzelle, in der die zu messenden Partikel in einer Flüssigkeit gelöst sind und mit dem Laserstrahl interagieren können. Anschließend wird das gestreute Licht durch das Fourier-Linsen-System fokussiert. Hiernach trifft das Licht die Photodetektoren, die die Streuung der Laserstrahlen messen. Es werden drei verschiedene Detektoren verwendet: einer für die nur gering gebeugten Strahlen, einer für die mittelstark gebeugten Strahlen und einer für die stark gebeugten Strahlen. Die Tonfraktion wird mit der "Polarisation intensity differential scattering'-Technologie (Abk.: PIDS) gemessen. Diese verwendet eine eigene Linse und die PIDS Detektoren. So werden die Korngrößen von 0,4 bis 2000 µm erfasst (BECKMAN COULTER INC. 2003, S. 6 ff).



Abbildung 9: Darstellung der Funktionsweise des Beckmann Coulter TM LS230 Laserdifraktometers. Quelle: BECKMAN COULTER INC. 2003, S. 6

Nach der Messung werden die Ergebnisse automatisch an die zugehörige Software übertragen und können dort aufbereitet und dargestellt werden. Auch verschiedene statistische Werter sind hier direkt abrufbar. Die Verteilungen der einzelnen Korngrößen in der Probe durch eine Funktion (Y-Achse % und X-Achse µm) dargestellt. Ausführliche Informationen über die Software finden sich bei PYE & BLOTT (2004, S. 21f).

5.1.7 Auswertung

Da der Laserbeuger bei der Berechnung der Korngröße eine vollkommene Kugelform zu Grunde legt, werden plattige Partikel unterschätzt. Trifft der Laserstrahl zum Beispiel auf Ton oder Glimmer interpretiert er den Durchmesser als weitaus größer als wenn eine schmale Seite dem Laserstrahlen zugewandt ist. Daher wird die Berechnung ungenauer je größer der Anteil an plattigen Partikeln ist (PYE & BLOTT 2004, S. 20). Es gibt verschiedene optische Modelle, anhand derer die aus der Kornform resultierenden Fehler korrigiert werden können, so das Volumina bestimmter oder ausgewählter Korngrößenklassen verändert bzw. angepasst und verbessert werden können. Die beiden gängigen Methoden sind die Frauenhofer- und die Mie-Theorie. Das meist verwandte Modell ist das Frauenhofer Model, das auf der Arbeit des deutschen Wissenschaftlers Joseph von Frauenhofer im frühen neunzehnten Jahrhundert beruht (ebd.).

Es hat sich jedoch herausgestellt dass die Mie-Theorie das Modell ist mit der das geringste Fehleraufkommen in einem Bereich unter 30 μ m auftritt. Die Frauenhofer-Theorie wird für eine Korngrößenspektrum empfohlen das kleiner als die Laserstrahlen sind. Typischer Weise liegt dieser Wert bei über 30 μ m (BECKMAN COULTER INC. 2003, S. 11).

5.2 Energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse

Mit der Röntgenfluoreszenzanalyse (Abk.: RFA) können Elemente quantitativ in Boden-Proben nachgewiesen werden. Da der Schwerpunkt der Analysen auf der Messung mit dem Laserdifraktometer liegt, wird die Methode der Röntgenfluoreszenzanalyse im Folgenden nur in aller Kürze dargestellt.

5.2.1 Aufbereitung der Proben

Auch hier geht der Messung das vorherige Trocknen, Mörsern und Absieben durch ein 2 mm-Sieb voraus (siehe Kapitel 4.1.1). Für die Messung mit der RFA benötigt man die Feinfraktion der Probe. Also wird die Probe in einem Sieb mit einer Maschenweite von 0,063 mm nochmals gesiebt und in eine Aluschale überführt. Diese komm über Nacht bei105 C° in den Trockenschrank, damit vorhandenes Wasser entfernt werden kann.

Danach werden 8 g der Probe und 2 g Höchstwachs in ein Kunststoffdöschen gegeben. Das Abwiegen findet auf der Feinwaage statt. Dies wird auf den Schüttler ca. 2 Minuten durchmischt bis sich eine homogene Masse gebildet hat. Jetzt wird das Gemisch in das Presswerkzeug der Presse *Fluxana Vaneox 25t automatic* zur Herstellung von Presstabletten für die Stationäre RFA eingefüllt und gepresst. Die durch diesen Vorgang hergestellten Presstabletten können anschließend vom stationären *Röntegenanalysegerät (Spectro Xepos Sprctro)* gemessen werden.

Das Röntegenanalysegerät gibt die Daten mittels einer eigenen Software aus

5.2.3 Funktionsweise der RFA

Das Prinzip der Röntenfluoreszenzanalyse beruht auf dem Effekt der Lumineszenz. Hierbei kommt es zum Leuchten eines Stoffes durch vorherige Anregung der Elektronen mit Energie durch Röntgenstrahlung. Die Elektronen liegen in Atomen in den sogenannten Elektronenschalen vor. Diese Schalen werden aufsteigend mit K, L, M, N, O, P, Q bezeichnet, wobei das Energieniveau von innen nach außen zunimmt (SINDERN 2009). Bei der Energiezufuhr, werden die Elektronen in ein höheres Energieniveau gehoben bzw. entfernt. Jetzt rücken die Elektronen der nächsthöheren Schale in die nun freien gewordenen Schalen nach. Bei diesem Vorgang wird eine definierte Energiemenge in Form elektromagnetischer Strahlung frei gesetzt. Die Messung beruht darauf, dass die charakteristische Lumineszenz der K-Schalen gemessen wird. Anhand der individuellen Strahlung der Elemente, können diese unterschieden werden (REIMANN & CARITAT 1998, S. 388).

5.2.4 Barium-Strontium Ratio und Karbonatgehalt

Um die Bodenbildung in dem Profil nachzuzeichnen erfolgte die Berechnung der Barium-Strontium Ratio. Diese stellt einen Indikator für klimatische Variabilität und die Bodenbildung dar (BUGGLE et al.2011, S. 12 f, BOCKHORST 2009, S.114). Der Strontiumgehalt ist in Karbonaten systematisch verarmt, was auch ein Resultat von Bodenbildungen sein kann. Durch die Verwitterung von Kali- und Calciumfeldspäten freigesetzt. Barium stellt einen über die Zeit stabilen Wert in Paläosolen und Lösssequenzen dar (BOCKHORST 2009, S.114 ff). Es wird bei der Verwitterung von Kalifeldspäten freigesetzt. Die Barium-Strontium Ratio kann somit als chemischer Indikator für Pedogenese als ein Resultat von paleoklimatischen Veränderungen gesehen werden (ebd.).

Bleibt die Oberfläche eines Sedimentkörpers über längere Zeiträume stabil, so sinkt der Karbonat-Gehalt, da es mit den H⁺- und OH⁻-Ionen des dissoziierten Wassers reagiert (*Hydrolyse*). Bei Einsetztender Bodenbildung wird dieser Prozess verstärkt. Durch biogene Aktivität sinkt der pH-Wert, gleichzeitig steigt die Kohlensäure-Konzentration der Bodenlösung, was die Karbonatverwitterung verstärkt (*Protolyse*) (SCHACHTSCHABEL 1998, S.36). In Mitteldeutschland beträgt der Karbonatgehalt 10-20 %, bei besonders karbonathaltigen Ausgangssubstraten kann er bis zu 35 % betragen (SCHACHTSCHABEL et al.1998, S. 31). Um mit den Daten des Röntgenanalysegeräts arbeiten zu können müssen bestimmte Elemente in Oxyde umgerechnet werden. Darunter fällt auch das Calcium (Ca \rightarrow CaO %). Die Umrechnung des Elements ist anhand von "Table A1. Conversion between element and oxide masses" aus (REIMANN & CARITAT 1998, S. 388-390) erfolgt.

5.3 Erstellung einer detaillierten Profilskizze

Um einen detaillierten Überblick über die Profilwand zu erhalten mussten die Skizzen aus dem Gelände in eine gemeinsame Darstellung überführt werden. Diese Profilskizze (Karte 1) ist eine eigene Erstellung auf Grundlage der Aufzeichnungen von PAUL HEASEARTS und HOLGER KELS (siehe auch Kapitel 6). Sie zeigt den Aufbau des Profils, wie es im Gelände wahrgenommen wurde. Die Farben wurden aus Beschreibungen und Fotos abgeleitet, die Signaturen sind an die generalisierte Profilzeichnung aus KULAKOVSKA (2012) angelehnt. Auf dem Foto, das sich oben am rechten Kartenrand befindet, sieht man den Zustand des Profils nach der Grabung 2009.

Das Profil ist in ein Koordinatensystem eingefasst. Dieses richtet sich nach dem bereits im Gelände eingezeichneten Koordinaten (siehe Übersicht am rechten Kartenrand). Auf der Abszisse ist die Nummerierung der Abschnitte und auf der Ordinate die Tiefe in Metern abgetragen. Auch die Unterteilung in Abschnitte ist aus der generalisierten Profilzeichnung von KULAKOVSKA (2012) übernommen worden, bzw. es wurde versucht die Nomenklatur auf die Profilskizze anzuwenden. Darüber hinaus besteht eine selbsterstellte Nomenklatur, die sich an der Probenspur und den von ihr durchzogenen Schichten orientiert. Hier ist jede Schicht, die durch die Probennahme betroffen ist, mit einer separaten Nummer gekennzeichnet. Dies soll es vereinfachen die Auswertungen der Geochemie und der Korngrößenanalyse in Bezug auf die einzelnen Schichten nachzuvollziehen.

Die nachgezeichnete Probenspur besteht aus zwei verschiedenen Signaturen: roten Kreise bezeichnen in der Kampagne im Jahr 2009 genommenen Proben, rote Rechtecke die Proben aus dem Jahr 2010. An den Seiten sind die bisher ermittelten Alter abgetragen. Hierbei sind links die OSL-Alter auf der Höhe dargestellt in der sie genommen wurden und rechts entsprechend die C¹⁴-Alter. Die Probenentnahmestellen der OSL-Proben sind durch gelbe Kreise markiert. Die Sternchen bezeichnen archäologische Fundschichten (siehe Legende). Insgesamt sind sieben Fundschichten aus dem Gravettien bzw. des Epigravettien (ca. 24.500-18000 PB) in dem Profil enthalten.

5.4 Erstellung eines generalisierten Profils

Zur Darstellung von Tiefenfunktionen wurde ein generalisiertes Profil erstellt (Karte 2-4). Um eine gute Übersicht zu gewährleisten sind hier nicht die Signaturen aus dem Übersichtsprofil (Karte 1) übernommen worden, sondern ausschließlich die Farbgebung. Die Proben für die Analysen im Physisch-geographischen Labor der RWTH Aachen sind so dargestellt als befänden sie sich in einer geraden, senkrechten Probenspur. Die einzelnen Schichten sind mit der eigenen Nomenklatur (n.e.N.) aus-

gezeichnet um Probensets besser benennen und nachvollziehen zu können. In der Karte 1 sind beide Nomenklaturen verwendet so dass die eigene Nomenklatur mit der Nomenklatur von KULAKOVSKA (2012) verglichen werden kann. Die Proben sind einzeln aufgeführt und dargestellt um die Nummerierung übersichtlicher zu gestalten sind die Proben Nummern jeweils in zehnerschritten (1-10, 11-20, ..., 120-138) durch eine Mengenklammer zusammengefasst. Da jedoch einige Proben weggelassen werden mussten entsprechen die jeweiligen Mengenklammern nicht immer exakt 10 Proben (vgl. Kapitel 7.1).

Im Hintergrund der dargestellten Kurvenverläufe sind die jeweiligen Schichten abwechselnd in hellblau oder weiß gekennzeichnet um die Proben (bzw. Marker) besser zuordnen zu können. Des Weiteren sind die humushaltigen Schichten in einem mittleren Braunton dargestellt und die Bereiche mit umgelagertem Material hellbraun gekennzeichnet.

5.5 Erstellung von Triplots

In Karte 2 stellt das generalisierte Profil (vgl. Kapitel 5.5) ebenfalls ein Kartenelement dar. Der Hintergrund der Darstellung ist jedoch ein anderer. Hier repräsentiert der blaue bzw. der weiße Hintergrund die Probenintervalle (etwa in 20er Schritten) der jeweiligen Triplots. Die Triplots sind mit dem Programm GRADISTAT v8 generiert wurden. Dieses Programm ist speziell für die Illustration der Daten aus der Laserdifraktrometrie entwickelt worden (vgl. PYE & BLOTT 2004).

Die Triplots zeigen das Verhältnis von Sand, Silt und Ton in einem Probenset. Jede Probe erscheint in dem Triplot als einzelner Punkt und wird einer der Gruppen Sand (*sand*), toniger Sand (*clayey sand*), lehmiger Sand (*muddy sand*), siltiger Sand (*silty sand*), sandiger Ton (*sandy clay*), sandiger Lehm (*sandy mud*), sandiger Silt (*sandy silt*), Ton (*clay*), Lehm (*mud*) oder Silt (*silt*) zugeordnet.

In jeder Grafik ist oben links eine Angabe, die die durch das Diagramm dargestellten Probennummern (*sample identity*) und die Bodenart (*textual group*) widergibt. Auf der rechten Seite des Triplots befindet sich eine Tabelle, die den prozentualen Anteil der Proben an der jeweiligen Korngrößenklasse angibt.

6 Vorstellung des Profils

Das Profil Doroshivtsi wurde in zwei Kampagnen untersucht und beprobt. Die erste Kampagne fand vom 14. bis zum 21.8.2009 statt. Mit an der Grabung beteilig waren: Holger Kels (RWTH Aachen), Paul Haesaerts (Royal Belgian Institute of Natural Sciences), Larissa Kulakovska (Institut of Archaeology ANSU), Victor Usik (Chernivtsi Yuriy Fedkovych National University) und Bogdan Ridush (Universität Erlangen). In diesem Zeitraum wurde das Profil bis zu ca. 6 m Tiefe gegraben und Proben für die sedimentologische und geochemische Analysen sowie zur Datierung mittels OSL genommen. Die Beprobung für die Laboranalytik fand unregelmäßig statt, das heißt die Proben haben nicht den gleichen Abstand zueinander. Des Weiteren sind sie nicht in einer senkrechten Probenspur entnommen worden, so dass sich die Tiefen der Proben teilweise überlagern. Die Profilzeichnungen im Gelände erstellte 2009 PAUL HEASEARTS.

Die zweite Kampagne fand vom 8.8. bis zum 14.8. 2010 statt. An der Grabung waren beteiligt: Holger Kels (RWTH Aachen), Nicolas Hagemann (RWTH Aachen), Thorsten Uthmeier (Universität Erlangen), Bogdan Ridush (Universität Erlangen), Larissa Kulakovska (Institut of Archaeology ANSU) und Victor Usik (Chernivtsi Yuriy Fedkovych National University). Es liegen Prospektionsberichte von den so genannten "Points of interst" vor (HAUK et al 2011, S. 2) (siehe Anhang 5). Auch hier wurden Proben für Laboranalytik und OSL-Datierung genommen. Darüber hinaus wurden Holzkohlefunde zur C¹⁴-Datierung geborgen. Die Beprobung für die Laboranalytik ist hier in 5 cm Schritten aus zwei weitgehend geradlinig vertikal verlaufenden Probenspuren erfolgt. Die Profilzeichnungen im Gelände erstellte 2010 Holger Kels. Nach der Kampagne 2010 hat das Profil eine Mächtigkeit von 9 m.

6.1 Beschreibung der einzelnen Schichten

Im folgenden Text werden die einzelnen Schichten in der Reihenfolge ihres Auftretens von unten nach oben erläutert und beschrieben.

Der Bereich der durch KULAKOVSKA et al. (2012) (siehe Anhang 2) als Schicht **14.2** (n.e.N. Schicht 34 -38) ausgewiesen ist wird in der Geländeaufnahme als umgelagerte, tonige und vergleyte Schicht beschrieben. Diese ist durchzogen von einem roten Eisenband (n.e.N. Schicht 37). Weiter ist diese Schicht von den Ausläufern eines ehemaligen Eiskeils (n.e.N. Schicht 35) durchzogen. In diesem Bereich kam es zur Entnahme der Proben 117-128. Bei etwa 8,9 m wurde eine OSL-Probe (4a) genommen, die auf 19,5 \pm 2.1 ka datiert (KLASEN 2012, S 13f).

Es schließt sich Schicht an **14.1** (n.e.N. Schicht 33) die nur in den Abschnitten 5-6 vorkommt (siehe Ordinate), da sie in Abschnitt 5 ausläuft. Sie ist mit ca. 10 cm relativ geringmächtig. Diese Schicht ist als gleyiges, umgelagertes Material mit einer kräftig blau-grauen Farbe ausgewiesen. Auch diese Schicht ist von den Eiskeilstrukturen durchzogen die teilweise auch in der Schicht **14.2** vorhanden sind. Hier sind Funde aus dem Jungpaläolithikum vorhanden.

Darüber liegt ein mächtiger Gleykörper **13.2** (n.e.N. Schicht 32) mit grauer Färbung und einer als sandig angenommenen Textur. Auch hier wurden Spuren von Umlagerungsprozessen gefunden und enthält ebenfalls Eiskeilstrukturen. Der obere Teil dieser Schicht hat eine stark unregelmäßige Schichtgrenze. Aus diesem Abschnitt stammen die Proben 111-115 her. Eine C¹⁴-Datierung aus Material aus dieser Schicht ergab ein Alter von 22.330 cal BP (KULAKOVSKA 2012).

13.1 weist eine starke Ähnlichkeit zu Schicht 14.1 auf. Auch sie hat eine deutliche blaugraue Farbe und besteht aus umgelagertem gleyigem Material. Diese Schicht ist nur in Abschnitt 6 zu finden (siehe Ordinate). Sie ist in der Aufzählung der eigenen Nomenklatur nicht vorhanden, da hier keine Proben entnommen wurden.

Auch in Abschnitt **12.3** wurden keine Proben entnommen. Sie ist dunkel gefärbt und kryoturbat überprägt. Diese Schicht kommt nur in den Abschnitten 5 bis 6 vor und ist von zwei Eiskeilstrukturen begrenzt.

Oberhalb schließt sich die Schicht **12.2** (n.e.N. Schicht 31) an die im Gelände als sandiges Umgelagertes Material aufgenommen wurde. Im Bereich von ca. 7,25 bis 7,50 m ist ein durchlaufendes Kiesband zu erkennen aus dem die Proben 105 bis 110 entnommen wurden. Des Weiteren sind zwei OSL-Proben, 3a und 2a genommen worden, wobei 2a Material aus den Schichten 12.2 und 12.1 enthält (siehe Karte 1). Probe 3a datiert auf 22,6 \pm 2,2 ka und Probe 2a auf 21,9 \pm 2,2 ka. Im Abschnitt 1 (siehe Ordinate) wurden Teile eines Großsäugers (Mammut) geborgen und archäologische Funde aus dem Jungpaläolithikum.

Es folgt die Schicht **12.1** (n. e.N. Schicht 30). Auch diese Schicht ist umgelagert. Sie weist eine Braunfärbung auf. Im Gelände beschrieb man sie als humos. Weiter sind hier sogenannte *,bio gallerys*⁴ vorhanden. Mit diesem Begriff beschreibt KULAKOVSKA (2012) Wurzelgänge, Regenwurmgänge und andere Strukturen, die darauf hinweisen, dass Vegetationsbedeckung vorhanden war. Aus dieser geringmächtigen Schicht (max. 25 cm) stammt Probe 104 und weitere archäologische Funde aus dem Jungpaläolithikum. Auch dieser Bereich ist von Eiskeilstrukturen durchzogen. In Schicht **11.2** (n.e.N. Schicht 29) ist das Material ebenfalls umgelagert worden. Es wird als sandig beschrieben und zeigt weiterhin Eiskeilstrukturen. Auf der Oberfläche von Schicht 11.2 ist in Abschnitt I (siehe Ordinate) ein Horizont aus Kohle zu erkennen. Dieser wird unter Vorbehalt als Feuerstelle angesprochen. Holzkohlenreste aus dieser Feuerstelle wurden mittels C^{14} auf 20.976 ± 76 cal BP datiert (RETHEMEYER 2011). Aus dieser Schicht stammen die Proben 99 bis 103.

Es folgt die Schicht **10.2** (n.e.N. Schicht 28). Nach Geländebefund besteht dieser Bereich ebenfalls aus umgelagerten Sanden, die jedoch eine rötliche Färbung aufweisen. Neben Eikeilstrukturen treten hier erstmals Kieslinsen auf. Aus dieser Schicht stammen die Proben 97-99.

Darüber liegt die Schicht **10.1** (n.e.N. Schicht 27). Ihre Färbung ist schwach grau mit einem braunen Unterton. In dieser als vergleyt beschriebenen Schicht finden sich weitere Kieslinsen. Aus Holzkohlen wurde hier ein weiteres C¹⁴-Alter KULAKOVSKA (2012, S. 136) ermittelt, das 20.071 \pm 90 cal BP beträgt.

Schicht **9.4** (n.e.N. Schicht 26) ist als kryoturbat überprägt deklariert. Auch hier gab es eine C^{14} -Datierung, die das Alter der Schicht auf 20.504 ± 83 cal BP schätzt (RETHEMEYER 2011).

Darüber liegt eine Schicht, die als umgelagert mit einer schluffigen Textur beschrieben wird (**9.3**, n.e.N. Schicht 25). Sie ist nur in den Abschnitten 2 bis 6 (sieh Ordinate) vorhanden und ebenfalls kryoturbat überprägt. Weiter enthält sie zahlreiche humose Linsen, die in der Zeichnung generalisiert dargestellt wurden. Aus diesem Bereich stammen die Proben 88 bis 92.

Die Schicht **9.2** (n.e.N. Schicht 24) liegt über bzw. neben der Schicht 9.3. Sie ist hat eine schluffige Textur und ist als umgelagert angesprochen. Ein OSL-Alter (Probe 1a) ergab ein Alter von 25.700 ± 2.400 Jahren vor heute (KLASEN 2012, S. 13 f). Aus dieser Schicht stammen die Proben 86 bis 87.

Aufliegend ist die Schicht **9.1** (n.e.N. Schichten 21 bis 23). Die Untergliederung in drei Schichten ist darin bergründet, dass die Probenspur hier eine Linse mit umgelagertem Material durchläuft die in der Schicht in Abschnitt 1 und 2 (siehe Ordinate) zu sehen ist. Die Schicht ist als humos angesprochen es finden sich wie in der Schicht 12.1 die sogenannten *bio gallerys*. Eine OSL-Datierung (Probe 8a) schätzt das Alter der Schicht auf 16,100 \pm 1,6 ka (KLASEN 2012, S. 13 f).

Ab sechs Metern folgt die schluffige Schicht **8.2** (n.e.N. Schicht 20) die wahrscheinlich in situ abgelagert wurde. Aus dieser Schicht stammen die Proben 76 bis 81. Eingebettet in Schicht 8.2 ist ein leicht humoser Horizont (n.e.N. Schicht 19) in den Abschnitten 2-6. Aus dieser Schicht stammen die Proben 73 bis 75. Darüber liegt die Schicht **8.1** (n.e.N. Schicht 18.) Der Farbton ist hier leicht bräunlich, das Material wird als umgelagert beschrieben. Hier sind die Proben 66, 70, 71 und 72 entnommen wurden.

Es folgt nun eine Schicht (untere Teil von Schicht **7.2** bzw. n.e.N. Schicht 17) die als in situ abgelagertes, schluffiges Material beschrieben wurde. Es ist keine Probe entnommen worden. Teilweise in diese Schicht eingebettet liegt der obere Teil der Schicht **7.2** (n.e.N. Schicht 16). Diese ist im Gelände als umgelagert und schluffig angesprochen worden. Im Hangenden ist die Schichtgrenze stark unregelmäßig. Hier stammen die Proben 60 bis 65 her. Eine OSL-Probe (7a) in dieser Schicht wurde ebenfalls aufgewertet. Sie datiert auf 19.200 \pm 1.800 Jahre (KLASEN 2012, S. 13 f).

Beim unteren Teil von Schicht die **7.1** (n.e.N. Schicht 15) handelt es sich wahrscheinlich um in siut abgelagertes Material mit einer schluffigen Textur. Diese Schicht ist in Abschnitt 6 (siehe Ordinate) nicht mehr enthalten. Hier wurden die Proben 58 und 59 genommen. Der obere Teil von Schicht **7.1** (n.e.N. Schicht 14) wird hingegen als leicht humos beschrieben und ist mit maximal 10 cm eher geringmächtig. Die Schichtkontakte sind unregelmäßig. Aus dieser Schicht stammen die Proben 56 und 57.

Es folgt Schicht **6.4** (n.e.N. Schicht 13) die im Gelände als kryoturbat verwürgt angesprochen wurde. In den Abschnitten 5 und 6 befinden sich Kiesbänder mit einem darüber gelagertem Schuttkörper. Aus diesem Bereich stammen die die Proben 48 bis 52 und 54 und 55.

Die Schicht **6.3** besteht aus mehreren Teilschichten. Über dem Kieskörper befindet sich in den Abschnitten 5 und 6 bräunliches, umgelagertes Material. Daneben ist in den Abschnitten 2 bis 5 schluffiges, umgelagertes Material enthalten. Aus diesem Teilabschnitt wurden die Proben 46 bis 48 genommen. In Abschnitt 2 ist eine leicht humose Teilschicht zu erkennen. Jenseits der Treppe in Abschnitt I und 1 und in den Abschnitten 2 bis 5 sowie in der Teilschicht mit umgelagertem, schluffigem Material liegt in situ abgelagerter Löss vor. Hier wurden die Proben 44 und 45 entnommen. Über dieser Teilschicht liegt im Abschnitt 4 und 5 eine Linse die im Gelände als schwach humushaltig angesprochen wurde. In den Abschnitten 3 bis 6 liegt eine Teilschicht aus umgelagertem, schluffigem Material vor.

Schicht **6.1** baut sich in Abschnitt 2 aus leicht humosem Material auf das eine bräunliche Farbe hat. Daneben schließt sich eine Schicht an(n.e.N Schicht 12) die aus umgelagertem, bräunlichen Material besteht. Im unteren Bereich liegen Kieslinsen vor aus denen die Proben 41 bis 43 entnommen wurden. Der Schichtgrenzenkontakt ist unregelmäßig.

Es folgt eine schluffige Schicht **5.4** (n.e.N. Schicht 11), die vermutlich in situ abgelagert wurde. Hier sind die Proben 38 bis 40 entnommen worden.

Die darüber liegende Schicht **5.3** (n.e.N. Schicht 10) besteht in den Abschnitten 2 und 3 aus einer Lage mit schwach humosem Material das *bio galleries* enthält. Jenseits der Treppe ist diese Schicht eher durch umgelagertes, leicht bräunliches Material gekennzeichnet. Die Schichtkontakte sind ebenfalls unregelmäßig. Hier wurden die Proben 35 bis 37 entnommen.

Die Schicht **5.2** besteht (n.e.N. Schichten 7-9). Schicht 9 ist im Gelände als schluffiges in situ abgelagertes Material beschrieben. Im oberen Teil liegt eine Kieslinse. In dem schluffigen Bereich sind die Proben 32-34 genommen worden, in der Kieslinse die Proben 30 und 31. Zwischen Schicht 9 und Schicht 7 besteht ein Verbindung. In den Abschnitten I und 1 liegt ein Bereich mit umgelagertem, bräunlichem Material (Schicht 8). Aus Schicht 8 sind die Proben 28 und 29, aus Schicht 7 die Proben 26 und 27 sowie eine OSL-Probe (5a) genommen worden. Die OSL-Datierung ergab ein Alter von 17.500 \pm 1.800 Jahren (KLASEN 2012. S. 13 f).

Darüber liegt Schicht **5.1** (n.e.N. Schicht 6). Sie ist von stark humosem Material geprägt und enthält *bio galleries*. Die Schicht ist durch eine Kieslinse unterbrochen. Hierher stammt die Probe 25. Aus der Schicht 5 in der ebenfalls Kiesablagerungen vorhanden sind stammt die Probe 24.

Es schließt sich mit **4.1** und **4.2** ein Schichtpaket an, das in der eigenen Nomenklatur zusammengefasst wurde (n.e.N. Schicht 4). Dieses wird als stark humoser Bereich mit einer braunen Färbung angesprochen. Auch in dieser Schicht sind die *bio galleries* enthalten. Hier wurden die Proben 22 und 23 genommen.

Es folgt die oberste Schicht die durch KULAKOVSKA 2012 als Schicht **3** bezeichnet wurde. Nach der eigenen Nomenklatur ist sie in 3 Abschnitte unterteilt worden, die Schichten 1, 2 und 3. Die Schichten 3 und 1 gehören zu dem gleichen Komplex. Dieser ist bis ca. 2,40 m mit Kiesbändern und -Linsen durchzogen. Im Abschnitt I zwischen 2,50 m und 3 m ist eine schwarze, linienartige Verfärbung vorhanden, die eventuell eine Tephra darstellen könnte. Eine im Abschnitt 1 bei 3,10 m genommene OSL-Probe datiert auf 16.200 \pm 1.800 Jahre (KLASEN 2012. S. 13 f). Aus Schicht 3 stammen die Proben 14 bis 21. In Abschnitt 1 bei ca. 2,50 m liegt Schicht 2, die durch umgelagertes leicht bräunliches Material charakterisiert ist, darüber ein weiteres Kiesband (Schicht 1). Schicht 1 ist im Gelände als homogene Schicht mit schluffigen, in situ abgelagertem Material beschrieben worden. Im Abschnitt I und 1 bei etwa 1,50 m liegt ein Band mit stark humushaltigem Material vor. Aus der Schicht 1 wurden die Proben 3 bis 13 genommen.

6.2 Archäologische Funde

Es gibt sieben archäologische Fundschichten in denen Artefakte geborgen wurden. Bei allen handelt es sich um Funde aus dem Gravettien, genauer aus dem Epigravetien, dass während des Letzteiszeitlichen Maximums (24.500- 18.000 BP) vorherrschte). In allen Fundschichten sind auch Tierknochen, vor allem Mammut- (Mammuthus primigenius Blumenbach) und Reentierknochen (Rangifer tarandus L.), geborgen wurden. Des Weiteren gab es im archäologischen Layer 3 (siehe Karte 1 und Anahng 2) Funde von Eisfuchsknochen (Alopex lagopus) und in den archäologischen Layern 4 und 5 Knochenreste eines Pferdes (equus sp.). Alle Knochenfunde sind mäßig gut erhalten und sind von einer Kalkkruste überzogen. Insgesamt ist zu sagen, dass die Fauna in Doroshivtsi III homogen und dominiert von Mammut und Rentierknochen ist (KULAKOVSKA 2012, S. 135).

7 Auswertung

7.1 Probenauslese und -Aufbereitung

Aus den Handskizzen der beiden Kampagnen 2009 und 2010 wird ersichtlich, dass die Beprobungen nicht fortlaufend sondern eigenständig nummeriert wurden. Die Auswertung im Physischgeographischen Labor der RWTH Aachen erfolgte in unterschiedlichen Zeitabschnitten, so dass auch hier keine durchgängigen Labornummern vergeben werden konnten. Somit wurde für diese Arbeit eine neue Nummerierung mit einer fortlaufenden Zahlen für das gesamte Profil erstellt. Die Probennahmen der einzelnen Kampagnen sind anhand unterschiedlicher Signaturen in Karte 1: Proben der Kampagne 2009 haben Kreissignaturen, die der Kampagne 2010 rechteckige Signaturen. Die Tabelle mit den drei unterschiedlichen Nummerierungen befindet sich im digitalen Anhang Probennummern.

In den Aufzeichnungen sind die Proben 53, 67 bis 69 sowie 109 nicht vorhanden. Die Proben 58, 80 und 81 waren doppelt vergeben. Bei diesem Sachverhalt wurden die doppelten Proben außer Acht gelassen, die zum Beispiel einen nebenstehenden Komplex beprobten. Die Proben 82 bis 92 aus der Kampagne 2009 sind entfallen, da sie sich in der Tiefe im Profil mit den Proben 1- 9 bzw. der Kampagne 2010 überschnitten.

Aufgrund der in Kapitel 6 erläuterten Probennahme der 2009er Kampagne mussten für die Darstellungen in denen die Daten in einem generalisierten Profil geplottet wurden einige Proben außer Acht gelassen werden. Zumeist erfolgte ein Ausschluss der Proben, da sich die Tiefen überschnitten und somit eine saubere Darstellung der Sachverhalte nicht gewährleistet werden konnte. Dies betrifft die Proben, 30, 45, 46, 47, 49, 50 und 66.

7.2 Korngrößenanalyse bivariater Verteilungen

Alle Ergebnisse sind mit Mie Theori nach ÖSER berechnet worden (vgl. ÖSER et al 2010)

Mithilfe der Korngrößenanalyse sollen im Rahmen dieser Arbeit folgende Fragestellungen bearbeitet werden:

7.2.2 Ergebnisse der schichtspezifischen Laserbeugerkurven

Im Folgenden werden die Korngrößen anhand von Verteilungen, die für jede einzelne Probe aufgenommen wurden, beschrieben. Es erfolgte eine Zusammenstellung der Kurven in einem Kurvenfenster je Schicht. Um einzelne Peaks und Schultern im Korngrößenspektrum benennen zu können ist die Zuteilung anhand der Korngrößentabelle nach Tucker (1996, S. 68; Tabelle 2) erfolgt.

Die Kurvenfenster werden von dem Laserdefraktometrie-Programm LS13320 ausgegeben. Die X-Achse zeigt die Korngröße in Mikrometern an. Sie ist logarithmisch und in allen Kurvenfenstern gleich skaliert. Die Y-Achse hingegen ist linear und bildet das Volumen, also den prozentualen Anteil der jeweils vertretenen Korngröße ab. Der Übersichtlichkeit halber wird dieses in der folgenden Darstellung mit ,% ' angegeben. Bei der Betrachtung der folgenden Kurvenfenster ist darauf zu achten, dass die Skalierung der Y-Achse unterschiedlich ist. Die gepunkteten Linien geben die Standardabweichung an. Die einzelnen Kurvenfenster sind im Anhang 8-44 dargestellt.

Tabelle 2: Die Tabelle nach TUCKER 1996 teilt Korngrößen in Klassen Ton, Silt, Sand und Kies ein. Quelle: TUCKER 1996, S. 68

Dhi .						
-10			St	eine	11 ¹	
-6 -	sehr grob		– 63 mm –			63 mm
-5 -	Serii giob		32	Grob-		
_4 -	grob		16		_	20
	mittel	Kies		Mittel-	Kies	
-3 -	fein		8			6,3
-2 -	a a la sta la la		4	Fein-		
-1 -	senrien		_ 2			- 2,0
0 -	sehr grob		1	Grob-		
,	grob					0,63
1 -	mittel	Sand	500 µm	Mittel-	Sand	
2 -	fala		250			0.20
3 -	tein		125	Fein-		0,20
4 -	sehr fein		- 62	1 0.11		63 um
4	sehr grob		03	Grah		05 μm
5 -	arob		32	Grob-		
6 -	groo		16			20
7 -	mittel	Silt	8	Mittel-	Slit (Schlut	1)
0	fein					6,3
0 -	sehr fein		4	Fein-		
9 -			- 2			- 2,0
10			5			

Schicht 3 (1) (n.e.N. Schicht 1) (siehe Anhang 8)

Zur besseren Übersicht sind hier die Proben aus Schicht 3 in drei Kurvenfenstern dargestellt.

Die Proben mit den Probennummern 3 bis 9 liegen in einer Tiefe von 1,35 m; 1,43 m; 1,5 m; 1,6 m; 1,7 m; 1,8 m; bzw. 1,94 m. Der Bereich in der Profilwand ist bei der Aufnahme als schluffreicher Bereich ausgewiesen (siehe Karte 1). Die hier dargestellten Kurven sind bimodal. Die Kurven zeigen zwei deutliche Maxima. Der Modus des ersten Peaks und gleichzeitig das absolute Maximum der Kurve liegt mit etwa 2,4 bis 2,65 % bei 36 μ m (sehr grober Silt). Der zweite Peak hat seinen Modus mit ca. 1,3 bis 1,8 % bei 257 μ m und liegt damit im Bereich des Mittelsands. Die Probe 6 hat bei einem Modus von 1041 μ m einen weiteren schwachen Peak im Bereich des sehr groben Sands mit 0,1 %. Weiter ist eine Schulter im Ton (mod.: 0,910 μ m; ca. 0,5 %) und im Feinsilt (mod.: 7,5 μ m; 0,9 1 %). Zwischen den beiden Maxima ist ebenfalls eine Schulter im sehr feinen Sands zu erkennen (mod.: 101 μ m; 1,6 %).

Schicht 3 (2) (n.e.N. Schicht 2) (siehe Anhang 9)

Die Proben mit den Probennummern 10-15 liegen in einer Tiefe von 2,06 m; 2,15 m; 2,25 m; 2,35 m, 2,54 m; bzw. 2,6 m. Die Verteilung ähnelt dem vorrangegangenen Probenset. Die Kurve ist zweigipflig. Die Proben stammen aus einer als schluffig deklarierten Umgebung. Zwischen Probe 13 und 14 liegt in der Profilwand (siehe Karte 1) ein Kiesband und ein Bereich mit umlagertem Material. Dieser Bereich wurde zwar nicht beprobt doch Probe 15 befindet sich in einem solchen Kiesband.

Der Modus des absoluten Maximums liegt mit 40 μ m und 2,5 % in der Fraktion des sehr groben Silts, der Modus des lokalen Maximums mit 1,4 -2,1 % beträgt 234- 339 μ m. Diese Größenordnung deckt die Fraktionen Fein- bis Mittelsand ab. Die Proben 10-13 sowie Probe 15 weisen einen schwachen Peak mit einem Modus von 1091 μ m (sehr grober Sand) bei einem Anteil von 0,1-0,2 % auf. Weiter liegen Schultern im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,5%), im Feinsilt (mod.: 5,8 μ m; 0,6 %), im sehr feinen Sand (mod. 96,4 μ m; 1,5 % bis 1,7 %) und im Mittelsand (Probe 10; mod. 471 μ m; 1,1 %).

Schicht 3 (3) (n.e.N. Schicht 3) (siehe Anhang 10)

In diesem Abschnitt sind die Proben 16-21 in einer Tiefe von 2,7 m; 2,8 m; 2,95 m; 3,04 m; 3,1 m; bzw. 3,15 m dargestellt. Die dargestellten Funktionen sind bimodal. Die Korngrößenkurven nehmen bei 0,06 µm ihren Ursprung. Probe 16 liegt in direkter Nähe zu einem schwarzen Band, das eventuell eine Tephra darstellen könnte. Die Proben 17-21 sind im direkt benachbarten Bereich von Rhyzoliten genommen wurden. Zwischen den Probe 17 und 18 sowie zwischen den Proben 19 und 20 verlaufen Kiesbänder.

Der Modus des absoluten Maximums liegt zwischen 33,0 -43,7 µm (sehr grober Silt) mit einem Anteil von ca 2,5- 2,8 %. Ein lokales Maximum ist mit einem Modus von 213-257 µm (Fein- bis Mittelsand),

mit einem Anteil von 1,4-2,1 % auszumachen. Ein schwacher Peak mit einem Modus von 1091 μ m (sehr grober Sand) mit etwa 0.5-1,5 % ist zu erkennen. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,1 μ m; 0,4-0,5 %), im Feinsilt (mod. 5,9 μ m; 0,6-1,0 %), im sehr feinen Sand (Probe 17, mod.: 96,49 μ m; 2,4%) und im Mittelsand (mod.: 471 μ m; 0,8-1,2 %).

Schichten 4.1 und 4.2 (n.e.N. Schicht 4) (siehe Anhang 11)

Die Proben 22 und 23 liegen Tiefe von 3,19 m und 3,24 m und sind aus einer als humos beschriebenen Schicht entnommen. Der Kurvenverlauf ist bimodal. Das absolute Maximum mit einem Modus von 37,9 μ m (sehr grober Silt) liegt bei einem Volumenprozent Anteil von 3,0 bzw. 2,7 % Das lokale Maximum hat bei einem Anteil von 0,9-1,1 % einen Modus von 234 μ m und liegt damit im fein Sand. Ein weiterer schwacher Peak hat seinen Modus bei 1091 μ m (sehr grober Sand) mit einem Anteil von 0,5 bzw. 0,1 %. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,6 %), im Feinsilt (mod.: 5,9 μ m; 1,1 %) und im Mittelsand (mod.: 449 bzw. 493 μ m ; 1 %)

Schicht 4.3 (n.e.N. Schicht 5) (siehe Anhang 12)

Schicht 4.3 wird in einer Tiefe von 3,33 m durch die Probe 24 charakterisiert. Dieser Bereich ist als schluffreicher Layer ausgewiesen. Die Probe befindet sich oberhalb einer Kiesansammlung. Die hier dargestellte Funktion ist multimodal. Der Modus des absoluten Maximums der Funktion liegt bei 269 μ m (Mittelsand) mit einem Anteil von 2,4 %. Der Modus eines weiteren, lokalen Maximums zeichnet sich mit 2,2 % bei 38 μ m (sehr grober Silt) ab. Ein weiterer Peak zeichnet sich bei 0,2 % und einem Modus von 1091 μ m (sehr grober Sand) ab. Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,4 %) und im Feinsilt (mod.: 5,9 μ m; 0,7 %).

Schicht 5.1 (n.e.N. Schicht 6) (siehe Anhang 13)

Die Probe 25 ist in einer Tiefe von 3,5 m genommen worden. Die Schicht ist als humos ausgewiesenem. Links der Probeentnahmestelle liegt eine Kiesansammlung. Der Verlauf der Kurve ist multimodal. Das absolute Maximum hat einen Modus von 37,97 μ m (grober Silt) bei einem Anteil von 2,7 %. Ein lokales Maximum bildet sich mit einem Modus von 245,2 μ m (fein Sand) mit etwa 1,4 % ab. Ein weiteres lokales Maximum liegt im sehr groben Sand und hat seinen Modus bei 1091 μ m (sehr grober Sand) und einem Anteil von 0,3 %. Schultern liegen im Ton (mod. 0,775 μ m; 0,4 %), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; ca. 0,9 %) und im Mittelsand (mod.: 493,6 μ m; ca. 0,9 %).

Schicht 5.2 (n.e.N. Schichten 7, 8 und 9)(siehe Anhang 14)

Zur besseren Übersicht sind in diesem Fall sind die Proben aus dieser Schicht in drei Kurvenfenstern dargestellt. Die Schicht 5.2 beinhaltet drei Schichten: eine als schluffig ausgewiesene Schicht (Proben 26 und 27) (n.e.N. Schicht 5), darunter eine Schicht die als umgelagertes Materials ausgewiesen wurde

(Proben 28 und 29) (n.e.N. Schicht 6) und darunter wieder eine schluffige Schicht (Proben 30-34) (n.e.N. Schicht 7) (siehe Karte 1).

Schicht 5.2 (1) (n.e.N. Schicht 7) (siehe Anhang 14)

Die Proben 26 und 27 sind aus einer Tiefe von 3,66 bzw. 3,67 m entnommen wurden. Sie stammen aus einer als schluffig ausgewiesene Schicht und weisen eine bimodale Verteilung auf. Das absolute Maximum hat seinen Modus im sehr groben Silt mit 37,97 μ m und etwa zwischen 2,6 (Probe 26) und 2,7 % (Probe 27). Der Modus des lokalen Maximums ist bei 245,2 μ m und 1,8 % (Probe 27) bzw. 2,2 % (Probe 26) und somit in der Fraktion des Feinsands ausgebildet. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,097 μ m; ca. 0,4 %) und im Feinsand (mod.: 6,453 μ m; 0,8 % (Probe 26) bzw. 0,9 % (Probe 27)).

Schicht 5.2 (2) (n.e.N. Schicht 7).(siehe Anhang 15)

Die Proben 28 und 29 kommen aus einer Tiefe von 3,86–3,9 m. Diese Schicht ist als Berich von umgelagertem Material ausgewiesen. Die Kurve ist monomodal verteilt. Das absolute Maximum hat seinen Modus bei 37,97 μ m (sehr grober Silt) und ca. 2,9-2,95 %. Ein schwacher Peak hat seinen Modus bei 1091 μ m (sehr grober Sand) und einen Anteil von 0,5 (Probe 28)-0,1 % (Probe 59). Schultern liegen im Ton (mod.: 1,97 μ m; 0,6 %), im Feinsilt (mod.: 5,355 μ m; ca. 1,0 (Probe 28) - 1,2% (Probe 29), im Feinsand (Probe 28; mod.: 223,4 μ m, 0,9 (Probe 29) bzw 1,0 .%) und im Grobsand (mod.: . 517,2 μ m; ca. 0,6 %).

Schicht 5.2 (3) (n.e.N. Schicht 9) (siehe Anhang 16)

Die Proben 30 bis 34 sind in Tiefen von 3,89 m; 3,94 m; 4,02 m; 4,07 m bzw. 4,12 m in einer als schluffig ausgewiesenen Schicht genommen worden. Die Entnahme der Proben 30 und 31 fand in einer Kieslage statt (siehe Karte 1). Die Verteilungen der Proben 30 und 31 sind multimodal. Die Funktonen der Proben 32-34 sind Bimodal. Das absolute Maximum hat seinen Modus im sehr groben Silt mit 37,97 μ m und 2,5 (Probe 32)-2,8 % (Probe 33). Die Kurven der Proben 31- 34 habe ein lokales Maximum bei 213,2 (Proben 32, 34,35) bzw. 256,9 μ m bei Probe 32. Die prozentualen Anteile variieren zwischen 1,2 -1,3 % (Proben 32, 34,35) sowie 2,0 % (Probe 32). Der Peak liegt damit im Übergangsbereich vom Feinsand (Proben 32, 34,35) zum Mittelsand (Probe 32). Ein weiteres lokales Maximum hat einen Modus bei 517,2 μ m (Proben 30 und 31) und ca. 0,8 %. Ein letztes Maximum liegt bei einem Modus von 1091 μ m und zwischen 0,2 % (Probe 30), 0,4 % (Probe 31) und 0,5 % (Proben 32, 33, 34). Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,5 %), im sehr feinen Silt (mod.: 4,878 μ m; ca. 0,9 %), im Feinsand (Probe 30; mod.: 223,4 μ m; 1,1 %), im Mittelsand (Probe 33 u. 34; mod.: 493,6 μ m; ca. 0,7 %) und im Grobsand (Probe 32; mod.: 594,9 μ m; ca. 0,4 %).

Schicht 5.3 (n.e.N. Schicht 10) (siehe Anhang 17)

Die Proben 35 bis 37 stammen aus einer Tiefe von 4,2 m; 4,27 m bzw. 4,33 m. Der Layer 5.3 ist als umgelagertes Material deklariert worden. Die Verteilungen der Proben 36 und 37 sind monomodal, die Funktion der Probe 35 ist bimodal. Das absolute Maximum liegt hier im Grobsilt zwischen 34,59 (Proben 35 und 36) und 37,97 μ m (Probe 37) bei 2,8 %. Der Verlauf der Kurve von Probe 35 hat ein lokales Maximum bei 245,2 μ m (fein Sand) und 1,2 %. Probe 37 weist einen weiteren, schwachen Peak mit einem Modus von 1143 μ m (sehr grober Sand) und ca. 0,5 % auf. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,6 %), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; 1,1-1,2 %), im Grobsilt (mod.: 16,40 μ m; 1,6-1,8 %), im Feinsand (Proben 36 u. 37; mod.: 223,4 μ m; 0,6 (Probe 37) bzw. ca. 1,2 % (Probe 36)).

Schicht 5.4 (n.e.N. Schicht 11) (siehe Anhang 18)

Die Proben 38-40 liegen in einer Tiefe von 4,36 m; 4,34 m und 4,49 m. Dieser Layer ist als schluffig ausgewiesen. Die hier zu sehenden Kurven sind bimodal. Das absolute Maximum liegt bei einem Modus von 37,97 μ m (sehr grober Silt). Die prozentualen Anteile variieren von 2,3 (Probe 38)-2,5 % (Probe 39). Ein lokales Maximum liegt bei einem Modus von 256,9 μ m (Probe 39 und 40) bzw. 309,6 μ m (Probe 38) im Mittelsand. Der prozentuale Anteil variiert von 1,9 % (Probe 40)-2,4 % (Probe 38). Probe 39 hat einen schwachen Peak mit dem Modus 1091 μ m (sehr grober Sand) und 0,5 %. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,4-0,5 %), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; 0,9 %) und im Grobsilt (mod.: 16,4 μ m; 1,4 %).

Schicht 6.1 (n.e.N. Schicht 12) (siehe Anhang 19)

Die Proben 41 bis 43 befinden sich in Layer 6.1. Sie stammen aus einer Tiefe von 4,5 m; 4,56 m und 4,6 m. Dieser ist als Bereich mit umlagertem Material ausgewiesen. Im unteren Bereich dieser Schicht sind Kiese verzeichnet. Die hier gezeigten Kurven sind bimodal (Probe 43 eventuell multimodal). Der Modus des absoluten Maximums liegt bei 33,01 μ m (Proben 41 und 42) bzw. bei 39,78 μ m und damit in der Fraktion des sehr groben Silts. Die prozentuale Verteilung liegt zwischen 2,2 (Probe 43) und 2,7 % (Probe 41). Das lokale Maximum liegt bei 245,2 μ m (Feinsand). Der prozentuale Anteil variiert zwischen 1,4 (Probe 43) und 1,8 % (Probe 46). Probe 48 weist bei einem Modus von 1091 μ m (sehr grober Sand) bei einem Anteil von 0,5 % auf. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,5 %), im Feinsilt (mod.: 5,355 μ m; ca. 1,0 %), im Grobsilt (mod.: 16,40 μ m; 1,3 (Probe 43) bzw. 1,7 % (Probe 41)), im sehr feinen Sand (mod.: 80,7 μ m; 1,6-1,9 %) und im Grobsand (mod.: 590 μ m; 0,7-1,1 %).

Schicht 6.3 (1) (siehe Anhang 20)

Layer 6.3 wird in Layer 6.3 (1) und 6.3 (2) unterteilt, da sich der Layer aus verschiedenen Schichten zusammensetzt. Die Proben 44 und 45 stammen aus einer Tiefe von 4,53 bzw. 4,58 m. Die Höhe korreliert also mit denjenigen aus Layer 6.1. Das liegt daran, dass die Schichten generell nach Nordosten

einfallen und die Probenentnahmestelle aus Layer 6.3 rechts unterhalb der Probe-Entnahme-Stelle aus Layer 6.1 liegt. Der Kurvenverlauf ist bimodal. Das absolute Maximum liegt bei einem Modus von 295,5 μ m (Mittelsand) und einem prozentualen Anteil von 3,0 % (Probe 45) und 3,5 % (Probe 44). Der Modus eines lokalen Maximums liegt bei 37,97 μ m und einem Anteil von etwa 2,0 %. Probe 45 hat einen schwachen Peak mit einem Modus von 1091 μ m (sehr grober Sand) bei 0,05 %. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,4 %), im Feinsilt (mod.: 6,453 μ m; 0,9 %) und im Grobsilt (mod.: 16,40 μ m; ca. 1,25 %).

Schicht 6.3 (2) (siehe Anhang 21)

Die Proben 46 und 47 stammen aus einer Tiefe von 4,54 u.4,58 m und aus einer Schicht die als siltreiches, umgelagertes Material ausgewiesen wurde. Probe 46 zeigt eine bimodale Kurve. Der Modus des absoluten Maximums liegt hier bei 37,97 μ m (sehr grober Silt) und einem Anteil von 2,5 (Probe 46) u. 2,9 % (Probe 47). Ein lokales Maximum, das sich bei Probe 46 ausbildet, weist einen Modus von 269,2 μ m (Mittelsand) mit einem Anteil von 1,5 % auf. Ein schwacher Peak bei 1091 μ m (sehr grober Sand) ist bei beiden Proben zu erkennen. Probe 46 hat einen Anteil von ca. 0,4 % und Probe 47 hat einen Anteil von etwa 0,2 %. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 0,869 μ m; 0,5 %), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; 1,1 %), im Grobilt (mod. 16,4 μ m; 1,7 %), im Feinsand (Probe 47; mod.: 223,4 μ m; 1,0 %) und im Grobsand (Probe 47; mod.: 517,2 μ m; 0,7 %).

Schicht 6.4 (n.e.N. Schicht 13)

Die Proben aus Schicht 6.4 verteilen sich auf drei Teillayer. Um eine differenzierte Beschreibung zu gewährleisten werden die Probensets dieser Schichten separat behandelt.

Schicht 6.4 (1) (siehe Anhang 22)

Die Proben 48, 51,52,54 und 55 sind in einer Tiefe von 4,64 m; 4,7 m; 4,74 m; 4,76 m und 4,79 m genommen worden. Diese Schicht ist kryoturbat überformt. Die Verteilungen der Proben 48, 52 und 54 sind monomodal, die der Proben 51 und 55 bimodal. Bis ca. 8 µm ist ein gemeinsamer Verlauf der Kurven erkennbar; aus diesem Grund werden die Korngrößenverteilungen der jeweiligen Proben gesondert behandelt.

Probe 48

Der Kurvenverlauf der Probe 48 hat sein absolutes Maximum bei 39,78 μ m (Grobsilt) mit einem Anteil von etwa. 3,5 %. Ein schwacher Peak ist im Bereich des groben Sands zu erkennen. Er hat einen Modus von 517,2 μ m und einen Anteil von ca. 0,4 %. Ein weiterer schwacher Peak ist bei einem Modus von 1091 μ m (sehr grober Sand) mit einem Anteil von 0,25 % zu erkennen. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,097 μ m; 0,5 %), und im Feinsand (mod.: 223,4 μ m; 0,75 %).

Probe 51

Der Verlauf der Probe 51 hat sein absolutes Maximum bei einem Modus von 37,97 μ m mit einem Anteil von etwa 2,0 %. Damit liegt das Maximum im sehr groben Silt. Ein lokales Maximum liegt bei einem Modus von 245,2 μ m und einem Anteil von etwa 1,5 % im Bereich des Feinsands. Die Schultern liegen im Ton (s.o.), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; 1,0 %), im Grobsilt (mod. 18,00 μ m; 1,4 %), im Feinsand (mod.: 96,49 μ m; 1,5 %), im Grobsand (mod.: 517,2 μ m; 1,25 %) und im sehr groben Sand (mod.: 1091 μ m; 0,75 %).

Probe 52

Probe 52 hat ein absolutes Maximum bei einem Modus von 96,49 μ m und einem Anteil von 3,75 % in der Fraktion des sehr feinen Sands. Die Schultern liegen im Ton (s.o.), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; 0,6 %), im Grobsilt (mod.: 37,97 μ m; 2,4 %) und im Mittelsand (mod.: 471,1 μ m; 0,1 %).

Probe 54

Probe 54 hat ihr absolutes Maximum bei einem Modus von 629,2 μ m mit einem Anteil von 5,5 %, im Grobsand. Die Schultern liegen im Ton (s.o.), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; 0,5%). Weiter liegt im Bereich des sehr groben Silts bis in die Fraktion des sehr feinen Sands ist eine Schulter die ein Plateau mit einem Modus zwischen 36,24 u. 83,90 μ m und einem Anteil von 1,5 % bildet.

Probe 55

Der Verlauf der Verteilung der Probe 55 hat sein absolutes Maximum bei einem Modus 269,2 μ m (Mittelsand) mit einem Anteil von 3,4 %. Ein lokales Maximum hat seinen Modus bei 37,97 μ m und einem Anteil von etwa 1,9 %. Die Schultern liegen im Ton (s.o.) und im Feinsilt (mod. 7,776 μ m; 0,75 %).

Schicht 6.4 (2) (n.e.N. Schicht 13) (siehe Anhang 23)

Probe 49 kommt aus einer Tiefe von 4,5 m und stammt aus einem Schotterkörper. Die Verteilung ist monomodal. Die Kurve hat ihr absolutes Maximum bei 517,2 μ m (Grobsand) mit einem Anteil von 3,25 %. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,25 %), im Feinsand (mod.: 5,355 μ m; 0,6 %), im Grobsilt (mod.: 16,40 μ m; 0,6 %), im sehr groben Silt (mod.: 37,97 μ m; 1,7 %), im Feinsand (mod.: 245,2 μ m; 2,1 %) und im Grobsand (mod.: 1091 μ m; 2,9 %).

Schicht 6.4 (3) (n.e.N. Schicht 13) (Anhang 24)

Probe 50 ist in einer Tiefe von 4,76 entnommen. Sie stammt aus einem kryoturbat verwirktem Bereich, der einen großen Anteil an Kiesen und Kiesbändern hat. Der Kurvenverlauf ist multimodal. Der Modus des absoluten Maximums liegt bei 37,97 μ m (sehr grober Silt) und 2,0 %. Ein lokales Maximum liegt im Feinsand bei einem Modus von 223,4 μ m und einem prozentualem Anteil von 1,9 %. Ein weiteres lokales Maximum ist mit einem Modus von 493,6 μ m und einem Anteil von etwa 1,6 % im Mittelsand. Ein schwacher Peak befindet sich bei 1091 μ m (sehr grober Sand) mit einem prozentualen Anteil von ca 0,3 %. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,6 %), im Feinsilt (mod. 6,61 μ m; 1 %); im Grobsilt (mod.: 16,40 μ m; 1,3 %) und im sehr feinen Sand (mod.: 96,49 μ m; 1,6 %).

Schicht 7.1 (n.e.N. Schicht 14) (Anhang 25)

Die Proben 56 und 57 sind im Layer 7.1 in einer Tiefe von 4,83 und 4,87 m genommen worden. Diese Schicht wurde als stark humos verzeichnet. Die Kurven sind bimodal. Die Kurven haben ein absolutes Maximum bei einem Modus von 34,59 μ m (Probe 57) bzw. bei 37,97 μ m und somit im Bereich des sehr groben Silts. Ein lokales Maximum zeichnet sich im Bereich des Feinsands mit einem Modus von 245,2 μ m und einem Anteil von 1,1 bzw. 1,7 % ab. Probe 57 weist bei einem Modus von 1091 μ m und ca. 0,5 % einen schwachen Peak auf. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 0,910 μ m; 0,7 %); im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; 1,3 (Probe 56) bzw. 1,6 % (Probe 57)), im Grobsilt (mod.: 18,0 μ m; 1,6-1,9 %), im sehr feinen Sand (mod.: 80,07 μ m; 1,3-1.5 %) und im Grobsand (mod.: 567,8 μ m; 0,5 %).

Schicht 7.2 (1) (n.e.N. Schichten 15) (Anhang 26)

Layer 7.2 ist in zwei Schichten unterteilt; daher wurden die Probensets hier voneinander abgegrenzt. Die Proben 58 und 59 stammen aus 4,93 und 5 m Tiefe und einer schluffigen Schicht. Der Verlauf der Kurve von Probe 58 ist als bimodal und der der Probe 59 als monomodal anzusprechen. Der Modus des absoluten Maximums liegt bei 36,24 μ m (sehr grober Silt) und einem Anteil von 2,7 % (Probe 58) bzw. 2,9 % (Probe 59). Ein lokales Maximum von Probe 58 ist bei Probe 59 als Schulter ausgeprägt. Es hat seinen Modus bei 245,2 μ m (Feinsand) und einem Anteil von 1,4 % (Probe 58) und 1,2 % (Probe 59). Die Schultern liegen im Ton (mod.: 0,755 μ m, 0,4 %), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; 1 %), im Grobsilt (mod.: 16,40 μ m; 1,7 %), im sehr feinen Sand (mod.: 72,94 μ m; 1,8 %) und im Grobsand (mod.: 517,2 μ m, 0,8 %).

Schicht 7.2 (n.e.N. Schicht 16) (Anhang 27)

Die Proben 60, 61 und 65 sowie die Proben 62 bis 64 stammen aus einer Tiefe von 5 m; 5,07 m; 5,14 m; 5,14 m und 5,19 m. Diese Schicht ist als siltreiche Schicht die durch umgelagertes Material gekennzeichnet ist deklariert. Die Kurven der Proben 60 monomodal, die Kurven der Proben 61bis 65 sind bimodal. Das absolute Maximum hat einen Modus von 37,97 μ m (sehr grober Silt), bei Probe 61 liegt er jedoch bei 41,68 μ m bei einem Anteil von 2,4 % (Probe 62, 63 und 64) bzw. etwa 2,9 % (60, 61 u. 65). Ein lokales Maximum ist bei Probe 62 ausgebildet. Der Modus liegt bei 203,5 μ m und 2,1 % und damit im Feinsand. Bei den Proben 60, 61, 63, 64 und 65 ist hier eine Schulter ausgebildet. Die Proben 61 und 65 haben ein lokales Maximum 517,2 μ m (Grobsand) und einem Anteil von 0,4 %. Die Proben 60, 62, 63 und 64. haben an dieser Stelle eine Schulter ausgebildet. Darüber hinaus zeigt sich ein schwacher Peak mit einem Modus von 1197 μ m und 0,05 %. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,6 %), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; 1,2 %), im Grobsilt (mod.: 18,00 μ m, 1,5-1,9 %) und im sehr groben Sand (1091 μ m; 0,05 %). . Die Schultern bei 203,5 μ m sowie bei 1197 μ m sind bereits in angesprochen worden.

Schicht 8.1 (1), (n.e.N. Schicht 18) (Anhang 28)

Auch Schicht 8.1 ist in 3 Teilschichten untergliedert. Probe 66 ist in einer Tiefe von 5,39 m genommen worden. Die Schicht ist als umgelagertes Material deklariert worden. Der Modus des absoluten Maximums liegt bei 41,68 μ m und einem Anteil von 4,2 % und somit im sehr groben Silt. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,5 %) und im Feinsand (mod.: 223,4 μ m; 0,5 %).

Schicht 8.1 (2) (n.e.N. Schicht 18) (Anhang 29)

Die Proben 70 bis 72 stammen aus einer Tiefe von 5,51 m; 5,54 m und 5,55 m. Probe 72 ist abseits der beiden anderen Proben genommen worden (siehe Karte 1). Sie sind aus einer Schicht mit umgelagertem Material entnommen worden. Probe 70 und 72 haben einen ähnlichen Verlauf; allerdings ist Probe 70 monomodal und Probe 72 bimodal. Probe 71 ist ebenfalls monomodal. Die Proben 70 und 72 haben ihr absolutes Maximum bei 31,51 μ m (Grobsilt) und 2,9 % (Probe 70) bzw. 34,59 μ m (sehr grober Silt) und 2,75 % (Probe 72). Probe 71 hat ihr absolutes Maximum im sehr feinen Sand bei 80,7 μ m und etwa 3,75 %. Probe 72 hat ein lokales Maximum im Grobsand (mod: 567,8 μ m, 0,5 %). Alle drei Proben haben bei einem Modus im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,4-0,75 %) und im Feinsilt (mod.: 6,453 μ m; 0,4-1,8 %). Proben 70 und 72 haben zusätzlich Schultern im Grobsilt (mod.: 16,4 μ m; 1,9-2,5 %), im sehr feinen Sand (mod: 87,90 μ m; 1,0-1,5 %.) und im Feinsand (mod.: 223,4 μ m; 0,25-0,75 %).

Schicht 8.1 (3) (n.e.N. Schicht 19) (Anhang 30)

Die Proben 73 bis 75 sind aus einer Tiefe von 5,62 m; 5,67 m und 5,7 m genommen. Sie stammen aus einer als sehr humos deklarierten Schicht. Die Kurven der Proben 74 und 75 sind monomodal, die der Probe 73 bimodal. Alle drei Kurven haben ihr Maximum im Grobsilt. Bei Probe 73 und 75 liegt der Modus bei 34,59 μ m und etwa 2,6 % (Probe 73) bzw. 3,5 % (Probe 75). Bei Probe 74 liegt der Modus bei ca. 37,97 μ m. Probe 73 hat ein lokales Maximum bei 567,8 μ m (grober Sand) und etwa 0,6 %. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,7 %), fein Silt (mod.; 5,878 μ m; etwa 1,483 %) und im feinen Sand (mod.: 203,5 μ m; ca. 0,744 %).

Schicht 8.2 (n.e.N. Schicht 20) (Anhang 31)

Die Proben 76 bis 80 stammen aus Tiefen von 5,67 m; 5,77 m; 5,84 m; 5,9 m bzw. 5,95 m. Dieser Bereich ist als siltreiche Schicht deklariert. Probe 76 ist aus einem Bereich der Schicht entnommen worden der weiter rechts unten im Profil liegt. Somit sticht der Verlauf der Kurve der Probe 76 heraus. Die Kurven beginnen bei 0,0581 μ m und enden bei 256,9 μ m (Probe 76), bei 824,5 μ m (Proben 7880) und bei 1512 μ m (Probe 77). Die Verteilung der Probe 76 ist monomodal, die der Proben 77 bis 80 bimodal. Das absolute Maximum der Proben 76 bis 80 liegt im sehr groben Silt (Proben 77 -80 mod.: 34,59 μ m; 4,2 %), (Probe 77 mod.: 45,76; 4,849 %). Die Proben 76 bis 80 haben ein lokales Maximum bei einem Modus von 223,4 und einem Anteil von etwa 1,25-1,5 %, Probe 77 bei einem Modus von 1091 μ m und 0,25 %. Eine gemeinsame Schulter ist im Ton (mod.:1,0 μ m; ca. 0,529 %), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; 0,75-1,25 %), im Grobsilt (mod.: 16,40 μ m; ca. 1,75 %), im Feinsand (mod.: 87,90 μ m; und etwa 1,6 %) sowie im Grobsand (mod.: 567,8 μ m; 0,5 %).

Schicht 9.1 (n.e.N. Schichten 20, 21 und 22) (Anhang 32)

Die Proben 82 bis 85 liegen in einer Tiefe von 6,25 m; 6,3 m; 6,35 m und 6,4 m. Der Layer 9.1 ist als humose Schicht, die durch umgelagertes Material gekennzeichnet ist, deklariert. Probe 83 befindet sich in einer durch umgelagertes Material charakterisierten Schicht die innerhalb der humosen Schicht liegt. Ein gemeinsamer Modus des absoluten Maximums liegt im sehr groben Silt bei 39,78 μ m (2,4-3,1 %). Die Kuven der Proben 82 und 83 haben ein lokales Maximum bei einem Modus von 223,4 μ m und 1,9 % und somit im fein Sand. An dieser Stelle haben die Kurven der Proben 84 und 85 eine Schulter (1,2-1,4 %) ausgebildet. Gemeinsame Schultern sind im Bereich des Tons (mod.: 0,910 μ m; und 0,5 %), des Feinsilts (mod.: 5,355 μ m; 0,9 %) und des Mittelsands (mod.; 471,1 μ m; 0,5-0,8 %) ausgeprägt. Bei Proben 82 und 83 sind im Grobsilt (mod.: 16,40 μ m; 1,3 %.), im sehr feinen Sand (mod.: 72,94 μ m; ca. 2,2 %) gemeinsame Schultern zu erkennen.

Schicht 9.2 (n.e.N. Schicht 24) (Anhang 33)

Die Proben 86 und 87 sind aus einer Tiefe von 6,45 m und 6,5 m entnommen wurden. Die Schicht ist von schluffigem , umgelagertem Material geprägt. Die Entnahmestelle der Probe 88 befindet sich im Übergangsbereich von Layer 9.2 zu Layer 9.3. Die Funktionen sind monomodal, beginnen bei 0,0581 μ m und enden bei 824,5 μ m. Ein gemeinsames absolutes Maximum findet sich bei einem Modus von 39,78 μ m (2,75-3,5 %) und damit im sehr groben Silt. Im Bereich des Grobsands ist ein gemeinsamer schwacher Peak mit 517, μ m und einem Anteil von 0,3-0,5 % zu erkennen. Es gibt drei gemeinsame Schultern: eine im Ton (mod.: 0,910 μ m; 0,5 %), eine im Feinsilt (mod.: 5,355 μ m, 1,0 %) und eine im Feinsand (mod.: 245,2 μ m; 0,6-1,4 %). Die Kurve der Probe 88 hat bei einem Modus von 105,9 μ m und einem Anteil von 2,25 % im Bereich des sehr feinen Sands eine weitere Schulter.

Schicht 9.3 (n.e.N. Schicht 25) (Anhang 34)

Die Proben 89 bis 92 sind aus einer Tiefe von 6,6 m; 6,65 m; 6,7 m und 6,75 m. Die Schicht aus der die Proben entnommen wurde als kryotubat verwürgte Schicht mit humosen Linsen beschrieben. Die Kurven sind monomodal. Die Verteilungen der Proben 89 und 90 haben ihr absolutes Maximum bei einem Modus von 36,24 μ m (2,7 .%) und somit im sehr groben Silt. Die Kurven der Proben 91 und 92 haben an dieser Stelle eine Schulter ausgebildet (ca. 2,1 %). Die Verteilungen der Proben 91 und 92

haben ihre absoluten Maxima im sehr feinen Sand (mod. Probe 91: 92,1 μ m; 3,0 %; mod. Probe 92: 111,0 μ m; 3,5 %). Es sind vier gemeinsame Schultern ausgebildet. Eine im Ton (mod.: 0,910 μ m; ca. 0,4-0,6 %.), eine im Feinsilt (mod.: 6,453 μ m; 0,5-1,4 %), eine im Feinsand (mod.: 223,4 μ m; 0,9-2,4 %) und eine im Grobsand (mod.: 517,2 μ m; 0,4 %). Die Proben 89 und 90 haben eine weitere Schulter im Bereich des Grobsilts mit einem Modus von 18,0 μ m und einem Anteil von ca, 1,9 %.

Schicht 9.4 (n.e.N. Schicht 26) (Anhang 35)

Die Proben 93 und 94 stammen aus einer Tiefe von 6,8 bzw. von 6,85 m. Die Schicht ist als kryoturbat verwürgt deklariert. Die Kurven sind bimodal. Ihr absolutes Maximum haben sie im sehr groben Silt mit einem Modus von 37,97 μ m und 2,5 %. Ein lokales Maximum liegt im Feinsand (mod.: 223,4 μ m; 1,9-2,2 %). Es sind insgesamt vier gemeinsame Schultern zu erkennen. Eine Schulter liegt im Ton (mod.: 0,910 μ m; 0,5 %), eine im Feinsand (mod.: 5,878 μ m; 1,0 %), eine weitere im Grobsilt (mod.: 16,4 μ m; 1,5 %) und eine letzte im sehr feinen Sand (mod.: 87,90 μ m; 2,0 %).

Schicht 10 (n.e.N. Schichten 27) (Anhang 36)

Die Proben 95 und 96 stammen aus Layer 10.1 und wurden in Tiefen von 6,9 m und 6,95 m entnommen. Diese Schicht ist als vergleyte Schicht deklariert. Die Kurven sind als bimodal zu beschreiben. Das absolute Maximum liegt bei einem Modus von 245,2 μ m und einem Anteil 2,8-3,0 %. Ein lokales Maximum haben die Verteilungen der Proben 95 und 96 im sehr groben Silt (mod.: 37,97 μ m; 2,2 %). Der Verlauf der Kurve der Probe 95 zeigt im sehr groben Sand einen weiteren, sehr schwachen Peak (mod.: 1091 μ m; 0.05 %). Es sind drei gemeinsame Schultern zu erkennen: eine im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,4 %), eine im Feinsand (mod.: 5,878 μ m; 0,8 %), eine im sehr feinen Sand (mod.: 80,07 μ m; ca. 2,1 μ m) und eine im Grobsand (mod.: 517,2 μ m; 1,2 %).

Schicht 10.2 (n.e.N. Schicht 28) (Anahng 37)

In Layer 10.2 wurden die Proben 97 und 98 aus einer Tiefe von 7 m und 7,1 m genommen. Diese Schicht soll von sandigem, umgelagertem Material dominiert sein. Die Kurven sind vermutlich bimodal. Die beiden Peaks bilden eine Art Plateau im Bereich von ca. 30 bis 400 μ m (Grobsilt bis Mittelsand) aus. Betrachtet man die Standardabweichung lässt sich je Probe ein absolutes Maximum feststellen: für Probe 97 im sehr feinen Sand (mod.: 66,45 μ m; 2,4 %), für Probe 98 bei 127, 7 μ m (2,5 %). Ein lokales Maximum ist im Verlauf von Probe 97 bei einem Modus von 203,5 μ m (2,4 %) zu erkennen. Die Schultern liegen im Ton (mod.: 1,0 μ m; 0,4 %), im Feinsand (mod.: 5,355 μ m; 0,7 %) und im Grobsand (Probe 98; mod.: 517,2 μ m; 0,8 %).

Schicht 11.2 (n.e.N. Schichten 29) (Anhang 38)

Die Proben 99 bis 103 sind in einer Tiefe von 7,15 bis 7,28 m genommen worden. Der Layer 12.2 ist als sandiger Layer mit umgelagertem Material klassifiziert. Die Kurven der Proben 100, 101 und 103 sind monomodal, die Kurven der Proben 99 und 102 bimodal. Die absoluten Maxima der Verteilungen der Proben 100 (2,9 %), 101 (3,3 %), 102 (2,5 %), und 103 (2,25 %) sowie eine Schulter der Kurve der Proben 99 liegen mit einem Modus von 34,59 μ m im sehr groben Silt. Das absolute Maximum des Verlaufs der Kurve 99 liegt bei 96,49 μ m (2,8 %). Ein lokales Maximum der Verteilung der Probe 102 liegt im Grobsilt (mod.: 16,4 μ m; 2,4 %), bei diesem Modus ist im Verlauf der Probe 103 eine Schulter ausgebildet. Alle hier dargestellten Proben weisen bei einem Modus von 471,1 μ m (Mittelsand) einen schwachen Peak mit einem Anteil von 0,2 bis 0,4 % auf. Alle fünf Kurven haben drei gemeinsame Schultern: im Ton (mod.: 0,910 μ m; 0,4-0,8 %), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; 0,7-1,7 %) und im Grobsilt (mod.: 18,0 μ m; 1,4 bis 2,4 %). Die Kurven der Proben 100, 102 und 103 haben im sehr feinen Sand eine Schulter ausgebildet (mod.: 80,07 μ m; 1,25 % (Probe 102); 1,9 % (Probe 100 u. 103)). Die Kurven der Proben 100 bis 103 weisen eine Schulter im Feinsand auf (mod.: 245,2 μ m; 0,5-0,9 %).

Schicht 12.1 (n.e.N. Schicht 30) (Anhang 39)

Die Probe 104 stammt aus einer Tiefe von 7,33 m aus einem als humos beschriebenen Layer. Die Kurve ist monomodal. Sie hat ihr absolutes Maximum bei einem Modus von 37,97 μ m und ein Volumen von 2,570 %. Sie weist sechs Schultern im Bereich des Tons (mod.: 1,0 μ m; 0,510 %), des Feinsilts (mod.: 5,878 μ m; 0,9 %), des Grobsilts (mod.: 16,4 μ m; 1,5 %.), des sehr feinen Sands (mod.: 87,90 μ m; 2,3 %), des feinen Sands (mod.: 223,4 μ m; 1,7 %) und des groben Sands (mod.: 517 μ m; 0,5 %) auf.

Schicht 12.2 (n.e.N. Schicht 31) (Anhang 40)

Die Proben 105, 106, 107, 108 und liegen in einer Tiefe von 7,4 m; 7,5 m; 7,62 m; 7,73 m; 7,8 m. Dieser Layer ist als sandiger Layer mit umgelagertem Material deklariert. Alle hier dargestellte Kurven haben ein absolutes Maximum bei einem Modus von 37,97 μ m und einem Volumen von 2,4 % bis 3,2 %. Bei einem Modus von 223,4 μ m (Feinsand) haben die Kurven der Proben 107, 108 und 109 ihr lokales Maximum (ca. 1,8 %); die Kurven der Proben 105 (1,0 %) und 106 (1,2 %) haben hier eine Schulter ausgeprägt. Ebenfalls im Feinsand liegt das lokale Maximum von Probe 110 (mod.: 245,2 μ m; 1,7 %). Bei einem Modus von 517,2 μ m haben die Kurven der Proben 105 und 106 einen schwachen Peak. Die übrigen Verteilungen haben hier eine Schulter ausgebildet. Die Verteilungen weisen drei gemeinsame Schultern im Bereich des Tons (mod.: 1,097 μ m; ca. 0,5 %), des Feinsilts (mod.: 5,878 μ m; ca. 0,9 %) und des Grobsilts (mod.: 16,4 μ m; ca. 1,5 %) auf. Probe 107, 108, 109 und 110 haben bei einem Modus von 80,07 μ m und einem Volumen von 2,2 % eine weitere Schulter.

Schicht 13.2 (n.e.N. Schicht 32) (Anhang 41)

Die Proben 111 bis 116 stammen aus einer Tiefe von 7,85 m; 7,9 m; 7,95 m; 8,05 m; 8,15 m; 8,15 m. Diese Schicht ist als sandig beschrieben und durch umgelagertes Material charakterisiert. Alle Kurven sind bimodal. Die Kurven der Proben 111 (mod.: $36,24 \ \mu\text{m}$; ca. $2,2 \ \%$), 112 (mod.: $37,97 \ \mu\text{m}$; ca. $2,6 \ \%$) und 113 (mod.: $41,68 \ \mu\text{m}$; ca. $2,9 \ \%$) weisen ein absolutes Maximum im sehr groben Silt auf. Bei einem Modus von $41,68 \ \mu\text{m}$ haben die Proben 114, 115 und 116 eine Schulter ($2,2 \ \%$) ausgeprägt. Die Proben 114, 115 und 116 haben ihr absolutes Maximum im Feinsand bei einem Modus von 203,5 $\ \mu\text{m}$ (ca. $2,6-2,7 \ \%$). Dort haben die Kurven der Proben 111 bis 113 ihr lokales Maximum ($1,1-1,9 \ \%$). Ein lokales Maximum der Kurven der Proben 114 bis 116 liegt im sehr feinen Sand (mod.: $80,07 \ \mu\text{m}$; ca. $2,4-2,6 \ \%$). Hier hat die Proben 111 bis 116: eine liegt im Ton (mod.: $1,0 \ \mu\text{m}$; ca. $0,4-0,6 \ \%$), eine im Feinsilt (mod.: $5,878 \ \mu\text{m}$; ca. $0,7-1,2 \ \%$) und eine im Grobsilt (mod.: $16,04 \ \mu\text{m}$; ca. $1,0-1,7 \ \%$). Die Kurve der Probe 111 hat eine Schulter im Bereich des Grobsands mit einem Modus von $517,2 \ \mu\text{m}$ und einem Volumen von $0,4 \ \%$.

Schicht 14.2 (n.e.N. Schicht 34) (Anhang 42)

Die Proben 117 bis 120 sind in Tiefen von 8,30 m; 8,35 m; 8,40 m und 8,45 m genommen worden. Sie stammen aus einer tonigen Schicht, die durch umgelagertes Material charakterisiert ist. Die hier dargestellten Kurven sind bis auf die bimodale Kurve der Probe 118 als monomodal anzusprechen. Probe 117 (mod.: 50,23 μ m; ca. 4,0 %) und 118 (mod.: 34,59 μ m; ca. 2,25 %) haben ihr absolutes Maximum im sehr groben Silt. Bei einem Modus von 34,59 haben die Kurven der Proben 119 und 120 eine Schulter ausgebildet (1,5 %). Die Verteilungen der Proben 119 und 120 haben ihr absolutes Maximum im Mittelsand (mod.: 269,2 μ m; ca. 4,1 %). Hier liegt auch das lokale Maximum des Verlaufs der Probe 118 (1,9 %). Die Verteilungen in Layer 14.1 (2) haben zwei gemeinsame Schultern im Ton (mod.: 1,0 μ m; ca. 0,4-0,7 %) und im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; ca. 0,5-0,75 %). Weiter haben die Kurven der Proben 118, 119 und 120 eine Schulter im Bereich des Grobsilts (mod.: 16,4 μ m; ca. 0,9-1,6 %) und des sehr feinen Sands (mod.: 80,07 μ m; ca. 1,4-1,6 %). Bei einem Modus von 223,4 μ m hat der Verlauf der Kurve 117 eine Schulter ausgebildet (0,4).

Schicht 14.2 (1) (n.e.N. Schicht 35) (Anahng 43)

Die Probe 121 stammt aus einer Tiefe von 8,5 m. Sie stammt aus den Ausläufern eines Eiskeils und weißt eine bimodale Korngrößenverteilung auf. Das absolute Maximum der Verteilung liegt bei 295,5 μ m (Vol.: ca. 4,4 %) und somit im Mittelsand. Ein weiteres lokales Maximum liegt bei 37,97 μ m und einem Volumen von 1,7 % (sehr grober Silt). Die Schulter liegen im Ton (mod.: 1 μ m; Vol.: 0,4 %) und im Feinsilt (mod.: 6,453; Vol.: ca. 0,7 %).

Schicht 14.2 (2) (n.e.N. Schichten 36 und 37) (Anhang 44)

Die Proben 122 bis 124 stammen aus Tiefen von 8,60 m; 8,65 m und 8,70 m. Sie wurden aus einer tonigen Schicht, die durch umgelagertes Material gekennzeichnet ist, entnommen. Bei Probe 124 befindet sich ein Eisenband (siehe Karte). Alle drei Proben ergaben monomodale Kurven. Das absolute Maximum der drei Kurvenverläufe liegt im sehr groben Silt (mod.: 37,97 μ m; ca. 2,7-3,1 %). Probe 122 hat im Feinsand (mod.: 223,4 μ m; ca. 0,6 %) und im Mittelsand (mod.: 471,1 μ m; ca. 0,3 %) schwache Peaks. Gemeinsame Schultern gibt es im Ton (mod.: 0,910 μ m; ca. 0,6-0,8 %), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; ca. 1,2-1,6 %), im Grobsilt (mod.: 16,4 μ m; ca. 1,9-2,0 %) und im sehr feinen Sand (mod.: 80,07 μ m; ca. 1,8-2,0 %). Probe 124 hat bei einem Modus von 223,4 μ m und einem Volumen von 0,2 % eine weitere Schulter ausgebildet.

Schicht 14.2 (n.e.N. Schicht 38) (Anahng 45)

Die Proben 125 bis 128 stammen aus einer Tiefe von 8,8 m; 8,85 m; 8,95 m; 9,05 m. Der Layer ist durch toniges, umgelagertes Material gekennzeichnet. Der Verlauf der Kurve 125 ist bimodal, der Verlauf der übrigen Kurven monomodal. Die Kurven haben ein gemeinsames absolutes Maximum im Feinsand (mod.: 223,4 μ m; ca. 2,0-3,1 %). Die Probe 125 hat ein lokales Maximum bei einem Modus von 34,59 μ m und einem Volumen von 1,8 %. Hier haben die übrigen Proben eine Schulter ausgebildet (1,7 bis 2,1 %). Es gibt vier gemeinsame Schultern im Ton (mod.: 1,0 μ m; ca. 0,4-0,6 %), im Feinsilt (mod.: 5,878 μ m; ca. 0,8-1,3 %), im Grobsilt (mod.: 16,4 μ m; ca. 1,0.1,5 %) und im sehr feinen Sand (mod.: 87,90 μ m; ca. 1,7-2,3 %). Im Grobsand weist der Verlauf der Kurve 125 eine Schulter mit einem Modus von 517,2 μ m und einem Volumen von 0,4 % auf.

7.3 Ergebnisse des Tiefenfunktionsplots

Bei Betrachtung der Tiefenfunktion der prozentualen Anteile von Ton, Silt und Sand (Karte 3, vgl. Kapitel 5.3) fällt auf, das alle drei Kurven bis etwa 3 m Tiefe nur geringe Variationen aufweisen. Der Ton schwankt innerhalb der ersten drei Metern Tiefe im Bereich von 8 % bis 12 %, der Silt im Bereich von 45 % bis 60 % und der Sand von 30 % bis 45 %. Ab ca. drei Metern Tiefe werden die prozentualen Anteile variabler. Beim Ton liegen sie nun im dem Bereich von 6 % bis 19 %, im Silt von ca. 30 % bis 80 % und im Sand von 0 % bis 55 %. Der Silt nimmt also den größten Anteile ein.

Die Proben 52 und 54 zeigen jeweils starke Ausschläge in entgegengesetzte Richtungen, obgleich die Proben einen Abstand von 2 cm voneinander haben (Karte 3). Im Bereich des Tons und des Silts kommt es bei Probe 52 zu einem positiven Ausschlag (Ton über 16 %, Silt über 75 %), im Bereich des Sands zu einem negativen Ausschlag (unter 5 %). Bei Probe 54 hingegen zeigt sich im Bereich des

Tons und des Silts ein negativer (Ton unter 7 %, Silt 30 %) und im Bereich des Sands ein positiver Ausschlag (über 60 %).

Es treten Regelmäßigkeiten in den als Initialböden oder als umgelagerte Komplexe deklarierten Bereichen bis 4,75 m auf. Hier zeigen Ton und Silt einen Anstieg während sich beim Sand ein Einfallen der Werte beobachten lässt. Ab 4,75 m ist dieser Trend jedoch nicht mehr eindeutig zu erkennen, es scheint als würde sich ab hier der Sachverhalt umkehren. In den Schichten 21, 22, 23, 28 und 34 ist eine Abnahme des Ton- und Siltgehalts und ein Anstieg des Sandgehalts zu sehen. In Schicht 37 ist ein deutlicher Anstieg des Ton- und Silt-Gehalts und ein Abstieg des Sandgehaltes festzustellen.

Es ist zu erkennen, dass Ton und Silt gleichläufig sind und sich der Sand gegenläufig verhält.

7.4 Auswertung der Korngrößenverteilungs-Triplots

Alle Triplots zeigen eine senkrecht-lineare Verteilung der Probenpunkte. Der oberste Triplot (siehe Karte 2, vgl. Kapitel 5.4) zeigt die Verteilung für die Proben 1-21. Alle Proben befinden sich nah bei einander im Silt bzw. im sandigen Silt. Das zweite Dreiecksdiagramm zeigt die Verteilung der Proben 22-41. Die Lage der Punkte ist ähnlich, beinhaltet aber eine höhere Variabilität hin zu anderen Gruppen (silty sand und silt). Im dritten Diagramm, das die Proben 42-61 darstellt ist eine noch stärkere Streuung bis in die Bereiche silty sand und silt zu erkennen. Die Probe die in den Bereich des Silts fällt ist Probe 53 (die nicht im Profil eingezeichnet ist). Die Proben 54 und 55 plotten im Bereich des Sands. Das vierte Dreiecksdiagramm zeigt eine Streuung über den gesamten sandigen Silt-Bereich. Die Probe 70 liegt im Silt. In Triplot Nr. 5 ist die Verteilung etwas mehr in Richtung des Sandes verlagert. Im Dreiecksdiagramm Nr. 6 befinden sich die Punkte innerhalb des sandigen Silts, weisen jedoch auch hier eine hohe Variation auf. Im siebten Diagramm liegen die Proben 119, 120 und 121 in Bereich des Silts. Insgesamt fällt auf, dass die Textur mit zunehmender Tiefe variabler wird aber immer (bis auf o.g. Ausnahmen) im Bereich des sandigen Silts liegen.

7.5 OSL- und C 14 Alter

KLASEN (2012) hat im ihrem Bericht "OSL-dating of sedimet samples from Romania and Ukraine" (siehe Anhang 6 und 7) unter anderem die Doroshivtsi OSL-Datierungen ausgewertet. KULAKOVSKA (2012) veröffentlichte C^{14} -Alter der 2009 aus der untersuchten Wand genommenen Proben. Außerdem liegt ein Bericht über die C^{14} -Alter von der 2010 geborgenen Holzkohleproben vor (RETHEMEYER

2011). Die genaue Position der Entnahmestellen der OSL-Zylinder und der Holzkohle ist in der Übersichtskarte nachvollziehbar (siehe Karte 1). In Tabelle 3 sind die datierten Layer, die angewendeten Datierungsarten, die Probenpositionen, Probennummern, Tiefe in Metern sowie ihre Alter angegeben.

Die hier aufgelisteten C¹⁴-Alter ergänzen sich gut. Die OSL-Alter sind jedoch problematisch: die Proben 8a, 1a und 4a passen nicht in die übrige Stratigraphie. Die Probe 8a ist mit 16,1 \pm 1,6 ka zu jung, auch unter Berücksichtigung des Toleranzbereichs. Das Alter der Probe 1a ist mit 25,7 \pm 2,4 ka für diesen Bereich zu alt. Die Probe 4a ist mit 19,5 \pm 2,1 ka wesentlich zu jung.

Tabelle 3: Aufstellung der bis jetzt bekannten OSL- und C^{14} - Alter. Quelle: eigene Erstellung mit Daten aus KLASEN (2012), RETHEMEYER (2011) und KULAKOVSKA (2012).

Layer	Tiefe (m)	Proben-	$C^{14}(2009)$	$C^{14}(2010)$	OSL Alter in
		nummern	Alter (cal	Alter (cal BP)	Age (ka) CAM
			BP)		
3	3,10	3a			16,2 ± 1,8
5.2	3,80	5a			17,5 ± 1,7
7.2	5,25	7a			$19,2 \pm 1,8$
9.1	6,15	8a			16,1 ± 1,6
9.4	6,70	CC4		20504 ± 83	
9.2	6,55	1a			25,7 ± 2,4
10.2	7,0	CC2		20976 ± 76	
12.1	7,25	2a			$21,9 \pm 2,2$
12.2	7,55	3a			22,6 ± 2,2
12.2	7,90-8,10	Nicht eingezeich- net	22330 ± 100		
14.2	8,95	4a			$19,5 \pm 2,1$

7.6 Ergebnisse der geochemischen Analysen

Das Barium-Strontium Verhältnis weist keine starken Schwankungen auf (siehe Karte 4). Das Verhältnis liegt konstant zwischen etwa 1,5 und 2,7. Die Ausnahmen bilden die Proben 3 und 4 mit einem Verhältnis von 3,7 bzw. 4,4, sowie die Probe 54 mit einem Verhältnis von 2,9. Im Bereich von ca. 4 m bis 7 m sind die Werte mit einem Verhältnis von 1,9 bis 2,9 am höchsten. Innerhalb der als Initialböden oder umgelagertes Material deklarierten Bereiche sind keine Auffälligkeiten zu erkennen. Die Calciumoxid-Werte werden mit fortschreitender Tiefe tendenziell geringer. Die Proben 3 (1,35 m) und 4 (1,43 m) haben mit 0,3-0,7 % einen geringen Carbonat-Gehalt. In dem Bereich von 1,5 m bis 2,35 m steigt der Wert bis auf 16 % (Probe 10 bei 2,06) an. Ab 2,35 m bewegen sich die Werte in einem Intervall von 5 bis 10 %. Die Probe 51 bei 4,7 hat mit 9 % einen hohen Wert. Die Probe 77 und 111 liegen mit 4,8 % bzw. 4,5 % niedrig. Ab etwa 8,5 m liegen die meisten Werte unter 5 % (nämlich die Proben 121, 123, 126 und 127). Auch hier sind innerhalb der Initialböden oder den Bereichen mit Umgelagertem Material keine Gemeinsamkeiten zu erkennen.

8 Diskussion

Im folgenden Text werden die einzelnen Elemente der Arbeit zusammengefügt und interpretiert. Ein zentraler Punkt war es, herauszustellen durch welche Prozesse sich das Profil aufgebaut hat. Zu diskutieren ist, welche Anteile dem äolischen Nahtransport (Ausblasung von Löss und Sand aus dem Flussbett), dem äolischen Ferntransport (Löss aus Sandern des Nordischen Eisschildes) generiert wurden und welche dem denudativen, solifluidalen und dem fluvialen Transport zukommen. Diese Prozesse hängen stark von den klimatischen Bedingungen zur Ablagerungszeit ab.

8.1 Herkunftsanalyse anhand der Korngrößenverteilungen

Der größte Teil der Lössakkumulationen stammt aus Gletschervorfeldern (PYE 1987, S.11). Da das Profil während einer Kaltphase der Weichselkaltzeit abgelagert wurde und die Karpaten in dieser Zeitspanne nicht nennenswert vergletschert waren liegt die Herkunftsregion des Lösses vermutlich größtenteils im Vorland des nördlichen Eisschildes. Durch katabatische Fallwinde ist hier der Schluff ausgeblasen wurden (vgl. Kapitel 3.1). Dieser ist dann in den Langzeittransport übergegangen und hat sich hat sich in den Gebieten, die in Abbildung 8 gezeigt sind, abgelagert (Primärlöss). In dieser Karte ist auch ersichtlich, dass der Dinster eine Grenze zwischen dem im Nordosten abgelagerten Löss mit Mächtigkeit von < 5 und < 2 m und den im Südwesten des Dnisters vorkommenden Lössderivaten darstellt.

Das Profil befindet sich am Fuße eines Hanges (vgl. Kapitel 2.3). Daher ist davon auszugehen, dass ein Teil des Materials durch gravitative Prozesse verlagert wurde (Sekundärlöss). Wie in Abbildung 5 dargestellt, können auch zur Ablagerungszeit Muldenstrukturen im Hang vorhanden gewesen sein. In diesen könnte Material fluvial bewegt worden sein. Diese Vermutung wird durch die Morphologie der einzelnen Schichten sowie durch die Kiesablagerungen bei 4,5 bis 5 m in den Abschnitten 5 und 6 und durch die Kiesbänder bei 2 bis 4,5 m in den Abschnitten I, 1 und 2 (siehe Karte 1) gestützt (vgl. auch Kapitel 8.2). Darüber hinaus sind im Periglazialklima am Hang solifluidale und denudative Prozesse zu erwarten über die Material ebenfalls hangabwärts entlang der Mulden-Struktur bewegt und am Fuß des Steilhangs abgelagert werden würde. Da zahlreiche Schichten als umgelagertes Material ausgewiesen wurden kann dies ebenfalls mit den Beobachtungen im Gelände untermauert werden.

Weiter ist das Profil in direkter Nähe zum Fluss Dnister. Es ist also anzunehmen, dass auch hier ein Teil des Materials generiert wurde, das am Aufbau des Profils beteiligt war. In Kaltzeiten lagen die Flussbetten teilweise offen, es war wenig Wasser und Vegetation vorhanden. Somit kann Material, insbesondere Sande, aus dem Flussbett ausgeblasen werden.

8.2 Interpretation der Korngrößenverteilungen im Gesamtkontext

Bei intensiver Betrachtung des Profils fällt auf, dass es in drei bis vier Einheiten unterteilt werden kann (siehe Abb. 10). Diese Einheiten haben eine unterschiedliche Erscheinung, die auf unterschiedliche klimatische Verhältnisse hinweisen könnten. In den folgenden Abschnitten werden für diese vier Einheiten jeweils charakteristische Verteilungen für die jeweils typischen Schichten dargestellt. Weiter wird der Versuch unternommen von den spezifischen Merkmalen der Verteilungen auf die jeweiligen Ablagerungsprozesse zu schließen.

Um eine chronologisch korrekte Betrachtungsweise zu gewährleisten beginnt die Beschreibung mit den unteren Schichten und endet mit den oberen.



Abbildung 10: Unterteilung des Profils in 4 Einheiten mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen. Quelle: Eigene Erstellung

8.2.1 Einheit 1

Die erste Einheit reicht bis von der Sohle des Profils bis zu Schicht 9.1 (n.e.N. Schicht 21). Bis hier sind alle Schichten als umgelagert gekennzeichnet. Der Sedimentkörper besteht also größtenteils aus denudativ und solifluidal verlagertem Material, das vom Hang kam. Es kann angenommen werden, dass hier ein Mischsignal aus umgelagertem- und in situ abgelagertem Material vorliegt, da sich das Sediment, das sich am Hang abgelagert hat auch auf dem Profil abgelagert haben wird.

Das Plateau als Liefergebiet des Materials kann für fluviale, denudative oder solifluktive Prozesse ausgeschlossen werden, da in der Geochemie, insbesondere bei Calcium und Gips keine nennenswerten Anstiege zu verzeichnen sind. Wäre das Material auf dem Plateau erodiert worden und querte die aus Kalkstein und Gips bestehende Hangkante oder deren Verwitterungsprodukte (vgl. Kapitel 2.4), würde sich dies in den Calcium- und Gipswerten oder Tongehalten niederschlagen, was nicht der Fall ist. Das Vorhandensein denudativ-solifluidaler Prozesse lässt auf ein eher feuchtes und kaltes Klima schließen, da die Prozesse einen gewissen Wasseranteil brauchen um stattzufinden (siehe Abb. 10). Weitere Hinweise auf ein periglaziales Prozessregime sind die zahlreichen Eiskeilstrukturen, die Permafrost voraussetzen (SCHACHTSCHABEL et al.1998, S. 398 f) und die Nassböden (SCHIRMER 2004, S. 372-373).



Abbildung 11: Klassifikation der Massenverlagerung am Hang. Quelle: SCHACHTSCHABEL et al. 1998, S. 399.

Unterhalb des Nassbodenkomplexes, der sich aus den Schichten 14.1, 13.2 und 13.1 zusammensetzt, hat sich bei ca. 8,75 m ein stark gefärbtes Eisenband gebildet. Unter dem Nassboden der Schicht 10.1 sieht man eine rötlich gefärbte Schicht. Dies sind die typischerweise "umgedrehten Gleyböden"

(SCHIRMER 2004, S. 372-373) (siehe Kapilte 3.4). Die Feuchtigkeit in der unteren Einheit des Profils kann durch die direkte Nähe zum Fluss bergründet sein und sich später, in den Einheiten 2, 3, 4 von diesem entkoppelt haben. Der Fluss war ein braided river, in etwa auf dem Niveau der Niederterrasse. Somit lag der lokale Grundwasserspiegel ziemlich sicher auch auf diesem Niveau.

Ein Beispiel für die Korngrößenverteilung, die exemplarisch für die übrigen umgelagerten Sandlössschichten im Abschnitt 4 stehen soll, sind die Verteilungen der Schicht 12.2 (siehe Abb. 11). Ein typisches Merkmal der Sandlösskurven ist die bimodale Verteilung. Die Peaks sind typischerweise im Silt (sehr grober Silt) sowie im Sand (Mittelsand) ausgebildet. Wie in Kapitel 3.2 erläutert, kann Löss eine Korngröße von 20 µm bis zu 40 µm aufweisen. Der Silt-Peak kann also als Lösspeak angesprochen werden. Der Sandlöss aus den umgelagerten Schichten ist im Gegensatz zu dem aus in situ abgelagerten Schichten weniger gut sortiert. Äolische Sedimente zeichnen sich typischerweise durch eine gute Sortierung aus, während durch Verlagerungsprozesse bewegte Sedimente in der Regel deutlich schlechter sortiert sind (SCHACHTSCHABEL et al.1998, S.176).



Abbildung 12: Typische Korngrößenverteilung eines Sandlösses aus Einheit 1, Schicht 12.2 (n.e.N. Schicht 31). Erstellt mit LS13320

Das Sediment hat wahrscheinlich einen Transport über eine kurze Strecke erfahren (Hangverlagerung) und ist nicht in situ abgelagert wurden (denudativ-solifluidaler Transport). Das siltige und sandige Ausgangsmaterial, das auf dem Hang abgelagert wurde, besteht vermutlich aus Löss (äolischer Ferntransport) und aus dem Flussbett ausgeblasenen Sanden, die durch Saltation bewegt wurden (äolischer Nahtransport). Auch das Flussbett als kommt Siltquelle infrage. Abbildung 12 zeigt, dass das Material im Korngrößenbereich von 20 bis 70 µm tendenziell eher kurzzeitig in Suspension geht.

DUST ENTRAINMENT, TRANSPORT AND DEPOSITION



Abbildung 13: Transport und Ablagerung von Partikeln anhand ihrer Größe. Quelle: PYE 1987, S. 49.

Abbildung 13 zeigt, dass die Korngrößenfraktion des Sandes am leichtesten erodierbar ist. Außerdem wird diese schneller wieder sedimentiert als feineres Material. Das heißt, hätte das Sediment seinen Ursprung ausschließlich im Flussbett, wäre der Sand die dominante Komponente. Da dies aber nicht der Fall ist, ist davon auszugehen, dass hier ein Mischsignal aus äolischem Ferntransport (Silt) und äolischem Nahtransport (Sand und Silt) vorliegt, das durch Hangverlagerungsprozesse überprägt wurde.



Abbildung 14: Das Hjüstromdiagramm zeigt wie sich Erosion, Transport und Ablagerung von Partikeln in Abhängigkeit der Fliesgeschwindigkeit eines Gewässers.

Die Abbildung 14 zeigt ein weiteres Beispiel für eine Sandlössschicht aus Einheit 1. Die Verläufe der Proben 6 und 8 aus der Schicht 9.2 sind als reine Silt-Peaks zu beschreiben. Hier fehlt die sandige Komponente vollständig. Das deutet auf einen äolischen Ferntransport des Silts hin und legt nahe, dass die Sedimente des Flussbetts fixiert waren. Dies würde wiederrum auf wärmere und feuchtere klimatischen Verhältnisse in dieser Phase hinweisen, durch die das Flussbett vollständig mit Vegetation und Wasser bedeckt war.



Abbildung 15: Beispiel für äolischen Ferntransport aus Einheit 1, Schicht 9.2 (n.e.N. Schicht 24). Erstellt mit LS13320

Schicht 13.2 ist charakteristisch für die Nassböden im Einheit 1 (siehe Abb. 15). Die Verteilungen lassen sich in zwei Typen einteilen. Einmal die Kurven der Proben 111, 112 und 113. Sie weisen eine bimodale Verteilung auf. Dies unterstützt die Theorie, dass der Silt durch äolischen Ferntransport und der Sand durch Reptation und Saltation aus dem Flussbett stammen, also ein Mischsignal darstellen. Die Proben 114, 115 und 116 hingegen weisen eine Verteilung auf, die einen höheren Anteil aus Material des Flussbetts und eine Verlagerung des Sedimentes vermuten lässt. Der Sandanteil ist hier höher als der Siltanteil und die Verteilung weist eine schlechtere Sortierung auf. Darüber hinaus hat die Vergleyung offensichtlich keine Auswirkungen auf die Korngrößenverteilung.


Abbildung 16: Typische Korngrößenverteilung für Nassböden in Einheit 1, Schicht 13.2 (n.e.N. Schicht 32). Erstellt mit LS13320

Schicht 9.1 zeigt die Verteilung eines als humos angesprochenen Bereichs (Abb. 16). Auch hier liegt ein Mischsignal vor. Da die Schicht als schwach humos beschrieben wird, ist davon auszugehen, dass das Material durch chemische und physikalische Verwitterungsprozesse hin zu einer geringeren Korngröße aufgearbeitet wäre. Diese würde sich im Anteil des Tons widerspiegeln, was aber nicht der Fall ist. Es fällt aber auf, dass weniger Sand als in den Ablagerungsphasen der Sandlösse vorhanden ist. Dies könnte wiederrum auf eine wärmere und feuchtere Phase hindeuten, in der das Flussbett durch Vegetation und Wasserführung nicht offen lag und weniger sandiges Material erodiert werden konnte.



Abbildung 17: Verteilung der Korngrößen einer als humos angesprochen Schicht aus Einheit 1, Schicht 9.1 (n.e.N. Schicht 21-23). Erstellt mit LS13320

8.2.2 Einheit 2

Die zweite Einheit zwei reicht von Schicht 8.2 bis Schicht 6.4. In dieser Einheit gab es Phasen in denen mächtige Schichten Löss in situ abgelagert wurden. Diese Schichten werden durch umgelagertes Material oder durch als humos angesprochene Schichten unterbrochen.

Bei der Betrachtung der Schichtgrenzen von Schicht 8.2 und Schicht 8.1 (n.e.N. Schicht 19), entsteht der Eindruck, dass hier ein erosiver Basiskontakt vorliegt. Die Schicht 8.1 (n.e.N. Schicht 19) scheint wannenartig in der Siltschicht zu liegen. Dies könnte auf Abflüsse durch die in Kapitel 2.4 erläuterten Muldenstrukturen hindeuten. In diesem Falle wäre hier jedoch nicht von einer in situ initialen Bodenbildung sondern von umlagertem humosem Material auszugehen. Der mächtigste in diesem Profil zu sehende Bereich der Schicht 8.1 (Abschnitt 4 und 5, siehe Ordinate), ist auch gleichzeitig der am tiefsten in die Schicht 8.2 eingeschnittene Bereich. Es wäre also denkbar, dass im Hang eine Muldenstruktur vorhanden war, die das vom Hang her kommende Material geleitet hat. In dem Bereich, in der die Mulde ihren tiefsten Punkt hatte, konnte der größte Anteil an Material erfasst werden. Somit gab es in diesem Bereich die stärkste Erosionsleistung.

Ähnlich verhält es sich in der Schichtabfolge 8.1 (n.e.N Schicht 18 und 19) und 7.2. (n.e.N. Schicht 16). Auch hier liegt eventuell ein erosiver Basiskontakt vor, der Schichtkontakt zur Schicht 7.1 (n.e.N. Schicht 15) ist sehr unregelmäßig. Dies kann durch Erosion oder durch eine kryoturbate Verwürgung geschehen sein. Auf Schicht 7.2 folgt wieder eine Schicht aus siltigem Material. Auch hier kann der Eindruck einer erodierten Oberfläche aufgrund der Unregelmäßigkeit gewonnen werden. Die Schicht 6.4 (n.e.N. Schicht 13) ist kryoturbat verwürgt und es ist ein Schotterkörper erkennbar (siehe Abschnitte 5 und 6, Karte 1). Der Schotter besteht aus Kalksteinen die auch das Plateau aufbauen. Also ist anzunehmen, dass die Gerölle durch Wasser vom Plateaurand den Hang heruntergespült und auf dem Hangsediment abgelagert wurden. Der Schotterkörper weist jedoch keinen erosiven Basiskontakt auf, so dass hier nicht von einer Rinnenstruktur gesprochen werden kann. Dies deutet auf Flächenspülungsprozesse hin.

Insgesamt ist eine Zyklizität mit einer wiederkehrenden Abfolge von siltigem und umgelagertem Material festzustellen. Aus der Profilzeichnung ist ersichtlich, dass es in der Zeitspanne während der Ablagerung der Schichten in Einheit 2 zu weniger Hangrutschungsprozessen kam, bzw. dass es Perioden gab, in denen Löss in situ abgelagert wurde. Ein Grund hierfür könnten trockenere Verhältnisse sein. Dies passt zu der Beobachtung, dass hier im Vergleich zu der Einheit 1 nur wenige periglaziale Prozessspuren zu erkennen sind. Die trockeneren Bedingungen könnten durch das Klima bedingt sein. Es könnte aber auch sein dass sich das Hangsediment durch sein Wachstum nach oben teilweise von dem Flusssystem entkoppelt hat. Weiter könnte das Ausbleiben der Rutschungen damit zusammenhängen, dass das mächtiger werdende Hangsediment eine Reduzierung der Hangneigung am Unterhang und damit eine Stabilisierung zur Folge hatte.

Auch in Einheit 2 finden sich Sandlösse. Diese Proben stammen aus der Schicht 8.2 (Abb. 17). Probe 76 zeigt einen fast reinen Silt Peak was auf einen Ursprung im äolischen Ferntransport hindeutet. Die Proben 77 bis 80 sind bimodal mit einem schwachen Sand- und einem deutlichen Silt-Peak. Anteilig sind Ton und Silt (Feinsilt und Silt) gestiegen. Als Ausgangssubstrat kann ebenfalls Sandlöss angenommen werden, bei dem dann vermutlich durch chemische und physikalische Verwitterung der Anteil an Sand und Grobsilt geringer geworden und der Anteil an Silt, Feinsilt und Ton gestiegen ist. Diese Verteilung weist auf eine initiale Bodenbildung hin, was allerdings nicht der Geländeansprache dieser Schicht übereinstimmt.



Abbildung 18: Sandlöss der Schicht 8.2 in Einheit 2, Schicht 8.2 (n.e.N. Schicht 20). Erstellt mit Erstellt mit LS13320

Auch die Verteilungen der Schicht 7.2 (n.e.N. Schicht 15, Abb. 18) sind bimodal. Es zeichnet sich ein deutlicher Silt-Peak und ein schwächerer Sand-Peak ab. Dies lässt darauf schließen, dass hier ein Mischsignal aus äolischem Ferntransport (Löss des nordischen Eisschilds) und aus einem geringen Anteil des äolischen Nahtransports in Form von Ausblasungen aus dem Flussbett besteht. Da zur Fixierung des ferntransportierten Lösses Vegetation notwendig ist, kann hier auf wärmeres und feuchteres Klima geschlossen werden.



Abbildung 19: Sandlöss der Schicht 7.2 in Einheit 2, Schicht 7.1 (n.e.N. Schicht 15). Erstellt mit LS13320

Bei der als "humos" beschrieben Schicht 8.1 (n.e.N. Schicht 18, Abb. 19) ist von ebenfalls von Verlagerungsprozessen auszugehen. Die Proben 93 und 95 weisen einen hohen Ton- und Feinsilt- bis Silt-Anteil auf, der sich vermutlich durch Verwitterung bei bodenbildenden Prozessen aus dem Ausgangssubstrat gebildet haben. Das Ausgangsmaterial hat einen geringen Sandanteil, was darauf schließen lässt, dass das Flussbett durch Vegetation und Wasser vor Erosion geschützt war.



Abbildung 20: als humos angesprochene Schicht (8.1) in Einheit 2, Schicht 8.1 (n.e.N. Schicht 18). Erstellt mit LS13320.

Umgelagertes Material aus Abschnitt 3 7.2 (n.e.N. Schicht 2)

Die Verteilungen der als umgelagertes Material beschriebenen Proben aus Abschnitt 3 in Schicht 7.2 (n.e.N. Schicht 16, Abb. 20) deuten ebenfalls auf eine eventuelle initiale Bodenbildung hin. Den Pro-

ben 60, 61 und 65 liegt siltiges Material mit einem geringen Sand-Peak und den Proben 62, 63 und 64 Sandlöss zu Grunde.



Abbildung 21: Umgelagertes Material aus Schicht 7.2 in Einheit 2, Schicht 7.2 (n.e.N. Schicht 16). Erstellt mit LS13320.

Die Proben 48, 51, 52, 54 und 55 stammen aus dem kryoturbat überprägtem Bereich (Schicht 6.4, n.e.N. Schicht 13, Abb. 21). Die Verteilungen sind monomodal und haben unterschiedliche Modi vom Grobsilt (Probe 48 und 51) bis zum Mittelsand (Probe 54). Die unterschiedlichen Kurvenverläufe und Modi sind auf die Nähe zum fluvial akkumulierten Schotterkörper zurückzuführen und spiegeln Bereiche mit unterschiedlicher Korngrößensortierung wieder.



Abbildung 22: Schicht mit kryoturbat verwirktem Bereich und angrenzendem Schotterkörper (6.4) in Einheit 2, Schicht 6.4 (n.e.N. Schicht 13). Erstellt mit LS13320.

Die Probe 49aus dem Schotterkörper selbst hat ihren Modus im Grobsand (Abb. 22). Vermutlich fand die Ablagerung des Schotterkörpers aufgrund eines Starkregenereignisses, das zur temporären Bildung eines linear erodierenden Gerinnes führte, statt.



Abbildung 23: Korngrößenverteilung innerhalb eines Schotterkörpers der Schicht 6.4 (n.e.N. Schicht 13) in Einheit 2. Erstellt mit LS13320

8.2.3 Einheit 3

Einheit 3 erstreckt sich von Schicht 6.3 bis zu den Schichten 4.1 und 4.2 (n.e.N. Schicht 4). Da hier eine konstante in situ Silt -Ablagerung stattfindet wird für diesen Bereich ein tendenziell trockeneres und kälteres Klima mit wärmeren und feuchteren Phasen angenommen. Unterbrochen werden die Siltschichten von umgelagertem Material (Schichten 6.1 (n.e.N. 12), 5.3 (n.e.N. 10) und 5.2 (n.e.N. 8)) oder im oberen Teil durch als im Gelände als humos angesprochene Schichten, wie Schicht 5.1 (n.e.N. Schicht 6) oder die Schichten 4.1 und 4.2 (n.e.N. Schicht 4). Auch hier ist also eine Zyklizität mit einer wiederkehrenden Abfolge von siltigem und umgelagertem Material festzustellen.

Aufgrund der Unregelmäßigkeiten der Schichtgrenzen der Schichten des umgelagerten Materials kann auch hier von erosiven Basiskontakten ausgegangen werden. Die Schichten 5.1 und 4.1 u. 4.2 zeigen eine eventuelle initiale Bodenbildung und weisen einen gradlinigen Basiskontakt auf. Die Schichten für die im Geländebefund Materialumlagerung sowie die Schichten für die initiale Bodenbildungen angenommen wurden haben eine geringere Mächtigkeit im Vergleich zu den Schichten in Einheit 1 und 2. Auch hier ist eine Änderung der klimatischen Bedingungen anzunehmen. Dies zeigen die im folgendem Abschnitt dargestellten Korngrößenverteilungen, bei denen Anhaltspunkte für physikalische oder chemische Verwitterung fehlen. Aber auch eine weitere Entkopplung vom Flusssystem und eine fortschreitende Stabilisierung des Hanges durch den Aufbau des Hangsedimentpakets (s.o.) ist zu berücksichtigen. Die im Vergleich zu den Einheiten 1 und 2 in Einheit 3 zu beobachtende bessere Sortierung des Materials deutet auf eine wachsende Distanz zum Fluss und damit einen sukzessive abnehmenden Einfluss des Nahtransports hin.

Bei den untersten Sandlössen in Einheit 3 ist noch eine deutliche bimodale Verteilung mit Maxima im Grobsilt und im Mittelsand zu erkennen (Schicht 5.2, n.e.N. 7, Abb. 23). Dies deutet darauf hin, dass hier noch ein Mischsignal aus äolischem Fern- und Nahtransport vorliegt (s.o). Es sind keine Einflüsse durch initiale Bodenbildung oder Verlagerungen mehr zu erkennen.



Abbildung 24: Beispiel für die Korngrößenverteilung von Sandlöss (5.2) aus Einheit 3, Schicht 5.2 (n.e.N. Schicht 7). Erstellt mit LS13320.

Im Gelände wurden in Einheit 3 die Proben 22 und 23 aus der Schicht 4.1 und 4.2 (n.e.N. Schicht 4, Abb. 24) als ,humos' angesprochenen. Die Korngrößenverteilungen ähneln dem Sandlöss aus Schicht 7.2 sehr. Auch hier ist von einem Mischsignal auszugehen, wobei der äolische Ferntransport dominanter ist. Die durch Verwitterung zu erwartende Tonanreicherung ist aber nicht feststellbar.



Abbildung 25: Beispiel für die Korngrößenverteilung von einer im Gelände als humos angesprochenen aus den Schichten 4.1 und 4.2. (n.e.N. Schicht 4). Erstellt mit LS13320.

Umgelagertes Material ist hier nur in Schicht 6.1 (n.e.N. Schicht 12, Abb. 25) ausgewiesen worden. Die Proben weisen eine wesentlich schlechtere Sortierung auf, weshalb wieder von einer Mischakkumulation mit anschließender Verlagerung auszugehen ist. Eventuell hat darüber hinaus eine initiale Bodenbildung stattgefunden.



Abbildung 26: Beispiel für die Korngrößenverteilung von umlagertem Material (6.1) aus Einheit 3. Erstellt, Schicht 6.1 (n.e.N. Schicht 12). Erstellt mit LS13320.

8.2.4 Einheit 4

Die Einheit 4 umfasst Schicht 3 bzw. n.e.N. die Schichten 3, 2 und 1. In diesem Bereich befinden sich mehrere Kiesbänder, die aus Kalksteinklasten bestehen. Diese Kiese sind wahrscheinlich durch Starkregenereignisse über das Plateau hangabwärts gespült worden. Erosive Basiskontakte lassen sich jedoch nicht mehr feststellen, was auf Flächenspülung als Transportprozess hindeutet. Dies würde in Anbetracht der Muldensituation am oberhalb liegenden Hang auf eine Fixierung der Lockersedimente durch Permafrost hinweisen.

Das Profil ist durch die Ablagerung der Schicht 3 sozusagen verplombt worden. Das heißt, ein homogener Lösskörper auf dem Profil sedimentiert wurde. Es ist also davon auszugehen, dass das Klima zunehmend trockener (bis auf diverse Starkregenereignisse) und kälter wurde. Der abnehmende Einfluss von Feuchtigkeit kann aber auch mit der Entkopplung des wachsenden Sedimentkörpers vom Grundwasserspiegel auf Flussniveau mitbegründet sein. Auch das zunehmende Ausbleiben von Materialumlagerungen kann durch die mit dem Aufwachsen einhergehenden Stabilisierung des Hanges erklärt werden.

Der Sandlöss aus dem oberen Abschnitt der Einheit 4 (Schicht 3, n.e.N. Schicht 1, Abb. 26) weist ebenfalls ein Mischsignal mit klar voneinander trennbaren äolischen Nah- und Ferntransportkomponenten auf (s.o.). Die Sortierung ist weniger gut als in Abschnitt 3, es liegt aber immer noch eine gute Sortierung vor. Die etwas schlechter Sortierung resultiert eventuell aus den Starkregenereignissen, die Material vom Hang auf das Sediment spülen.



Abbildung 27: Beispiel der Korngrößenverteilungen des Sandlösses (3) der Einheit 1, Schicht 3 (n.e.N. Schicht 1). Erstellt mit LS13320.

8.3 Segmentierung der Korngrößenverteilungen

Auffällig ist, dass alle Kurven in ähnliche Abschnitte gegliedert werden können. In Abbildung 27 sind diese 8 Segmente dargestellt. In diesen Segmenten ist bei den hier vorliegenden Kurven entweder eine Schulter oder ein Peak ausgebildet. Zu diskutieren ist, ob diese Peaks und Schultern durch die Ablagerungsprozesse oder durch methodische Eigenheiten entstehen. Diese Fragestellung kann jedoch nicht geklärt werden. Hierzu muss ein Vergleich mit Korngrößenverteilungen andere Löss-Archive vorgenommen werden.



Abbildung 28: Exemplarische Unterteilung der Korngrößenverteilung in Segmente. Eigene Erstellung

8.4 Interpretation des Tiefenprofils Ton, Silt, Sand

Es ist gut zu erkennen, dass im oberen Teil des Profils, bis etwa 3 m Tiefe, die Variation der Anteile von Ton, Silt und Sand gering sind (siehe Karte 3). Dies lässt sich gut nachvollziehen, da in diesem Bereich des Profils wenig Dynamik vorhanden ist. Es kam hier zur Konsolidierung des Profils durch eine nahezu konstante Lössakkumulation (siehe Kapitel 8.2.4). Im weiteren Verlauf des Profils nach unten zeigt sich eine konstant erhöhte Dynamik, insbesondere im Bereich des Schotterkörpers (Schicht 6.4 (n.e.N. Schicht 13) Abschnitt 5 und 6).

Von Schicht 3 (n.e.N. Schicht 2) bis 6.1 (n.e.N. Schicht 12) lässt sich das Ausbleiben des Sandes durch einen erhöhten Wassergehalt im System oder durch Vegetation und das umgelagerte Material gut nachvollziehen, da in diesen Schichten der Ton- und der Silt Gehalt ansteigen, der Sandgehalt jedoch zurückgeht. Unterhalb der Schicht 8.1 (n.e.N. 18 u. 19) ist dies aber nicht mehr feststellbar. Insgesamt ist zu sagen, dass diese Darstellung die Aussagen der einzelnen Kurven vereinfacht wiedergibt und die Bedeutung des Sandes im System verdeutlicht.

8.5 Interpretation der Triplots

Die wichtige Rolle des Sandes spiegelt sich auch in der Darstellung der Tripolts (siehe Karte 2) wieder. Auch hier ist festzustellen, dass mit zunehmender Tiefe eine immer höhere Variabilität auftritt. Bis auf wenige Ausnahmen befinden sich alle Proben jedoch im Bereich des sandigen Silts. Dies widerspricht an einigen Stellen der Korngrößenansprache, die im Gelände vorgenommen wurde (siehe Kapitel 6.2). So wurden z.B. die Schichten 14.1 bis 11.2 als sandig und die Schicht 14.2 als tonig bezeichnet.

8.6 Geochemie

Die Auswertungen der Geochemie, die gemacht wurden um eventuelle initiale Bodenkomplexe heraus zu arbeiten, haben zu keinem aussagekräftigen Ergebnis geführt (Karte 4). Das Signal der rezenten Bodenbildung ist bis etwa 1,5 Metern Tiefe nachzuvollziehen. Hier gibt es einen deutlichen positiven Ausschlag in der Ba-St-Ratio sowie einen negativen Ausschlag im Kalk (CaO). In tieferen Bereichen ist jedoch keine Regelmäßigkeit und keine Korrelation mit den eventuellen initialen Böden festzustellen. Daher ist anzunehmen, dass keine Bodenbildung stattgefunden hat. Dies ist auch mit der Korngrößenanalyse nachzuvollziehen, die lediglich Hinweise auf leichte Veränderung durch Verwitterungsprozesse lieferte (Kapitel 8.2).

8.7 Zusammenfassung

Es wurde deutlich, dass das Sediment aus dem Profil Doroshivtsi aus zwei primären Quellen stammt: Sande, die mit hoher Wahrscheinlichkeit ihren Ursprung im Flussbett haben und Silte, die durch Ferntransport aus dem Vorfeld des Nordischen Eisschilds geliefert wurden. Quelle der Sande waren vermutlich Sandbänke, die während eher trockenen und kalten Perioden freilagen und so eine Ausblasung ermöglichten, so dass der Sand durch Reptation und Saltation transportiert werden konnte. Der äolisch über lange Strecken transportierte Silt ist als Löss anzusprechen, der in der letzten Eiszeit großflächig in Eurasien sedimentiert wurde (siehe Kapitel 3.3). Dieses Mischsignal findet sich in fast allen Korngrößenverteilungen wieder. Die meist deutlich binmodale Verteilung der Korngrößen unterstützt diese Aussage. Die im Gelände vorgenommene Zuordnung der Schichten zu verschiedenen Prozessen konnte anhand der Korngrößenverteilungen größtenteils nachvollzogen werden. Eine Ausnahme stellen die Bodenbildungsprozesse dar, die durch die Laboranalyse nicht bestätigt werden konnten.

Das Profil konnte in vier Einheiten unterteilt werden, die den Wandel des Systems nachzeichnen. Einheit 1 steht für feuchte und kalte Bedingungen. Alle hier vorkommenden Schichten bestehen aus umgelagertem Material. In Einheit 2 sind weniger feuchte und kalte Bedingungen zu erkennen. Hier zeichnet sich eine Zyklizität mit einer wiederkehrenden Abfolge von Löss und im Gelände als humos bezeichneten Schichten und Schichten mit umgelagertem Material ab. In Einheit 3 werden die Bedingungen noch trockener auch hier zeichnet sich eine Zyklizität mit der Abfolge Löss und Schichten mit umgelagertem Material oder Schichten die im Gelände als humos angesprochen wurden. In Einheit 4 werden die Verhältnisse trocken hier kommt es zu einer Konsolidierung des Sediments durch homogenem Löss.

Es ist also zu sehen, dass es in den ersten drei Einheiten regelmäßig zu wärmeren und feuchteren Phasen gekommen sein muss. Die Korngrößenverteilungen der Schichten, die als schwach oder stark humos angesprochen wurden, weisen keine Anzeichen der Bodenbildung auf. Weder ist ein deutlicher Anstieg des Tons zu verzeichnen noch konnte durch die Geochemie eine Bodenbildung nachgewiesen werden. Was diese Schichten jedoch gemein haben ist einen Verminderung der Sandsedimentation. Dies geht mit wärmeren und feuchteren Phasen einher. Das Flussbett ist mit Wasser gefüllt, so dass keine oder nur wenige freiliegende Sandbänke vorhangen sind. Weiter ist durch wärmere Bedingungen mehr Vegetation vorhanden, die das Flusssediment zurückhält.

Das in den Profilskizzen beschriebene "fining upward" ist nicht nachzuvollziehen. Wohl aber eine Zunahme der Korngrößenvariabilität mit zunehmender Tiefe. Dies kann durch mehrere Prozesse erklärt werden, die in dieser Arbeit nicht voneinander abzugrenzen sind:

- 1. Die besser werdende Sortierung ist auf einen Rückgang denudativer oder solifluktiver Hangrutschungsprozesse zurückzuführen. Dies kann hinweisen auf:
 - a. eine Veränderung des Klimas. Das heißt in der Ablagerungsphase des Profils hat sich das Klima von feuchten hin zu trockenen Verhältnissen entwickelt.
 - b. Einflüsse des geomorphologischen Systems. Durch das sich aufbauende Sediment kam es zur Stabilisierung des Hangs, was Hangrutschungsprozesse verminderte.
- Zum anderen entkoppeln sich, durch das Hangwachstum, die Sedimentationsprozesse zunehmend vom Flusssystem. Somit weisen die äolischen Signale eine bessere Sortierung auf. Da nun eine längere Transportstrecke zurückgelegt werden muss.

9 Fazit

Die angewendeten Methoden ermöglichten eine detaillierte Analyse des Profils. Insbesondere die Korngrößenanalyse erlaubte zahlreiche Rückschlüsse auf Paläoklima, Prozessdynamik und beteiligte Sedimentquellen. Die geochemischen Analysen konnten zur Klärung der Frage des Einflusses von Bodenbildung herangezogen wurden. Der Negativbefund deutet darauf hin, dass auch im Spätglazial in der Ukraine noch keine ausreichend feucht-warmen Bedingungen herrschten.

Das Vorgehen in dieser Arbeit weist Parallelen zu der Arbeit von FRANKOWSKI et al. (2007) auf. Jedoch ist in dieser Arbeit primär mit den direkten Korngrößenverteilungen und nicht mit Statistiken der Verteilungen gearbeitet worden. BOCKHORST et al. (2008) hat in seiner Arbeit erfolgreich mittels des Barium/Strontium (Ba/Sr) Verhältnisses die Bodenbildung herausgearbeitet, was hier nicht gelang. TUCKER (1988) hält mit seiner Feststellung, dass die Geomorphologie bei der Interpretation der Korngrößenverteilungen in Bezug auf das Ablagerungsmilieu eine zentrale Rolle spielt, recht (TUCKER 1988, S. 74).

Die Probennahme der Kampagne 2010 erfolgte in regelmäßigen Abständen entlang einer Probenspur. Diese Vorgehensweise ist für die Auswertung im Labor und einer anschließenden Darstellung anhand eines Tiefenprofils wesentlich besser geeignet als die Probennahme der Kampagne 2009, in der es eine Beprobung mit alternierenden Abständen in verschiedenen Bereichen des Profils, die von besonderem Interesse waren, gab. Um Schlüssel-Bereiche zu beproben, hätten mehrere Probenspuren angelegt werden müssen, die in der Auswertung miteinander verglichen werden können. Die in den jeweiligen Kampagnen im Gelände angefertigten Profilskizzen weisen ebenfalls starke Abweichungen voneinander auf. Die Benennung der Proben der jeweiligen Kampagnen mit unterschiedlichen Probennummern und der eben genannten voneinander abweichenden Probennahme und Skizzierung, machte die Auswertungen unnötig kompliziert.

Karte 1 stellt gut die vier voneinander abweichenden klimatischen Ablagerungsbedingungen sowie die Zyklizität von kalt/trockenen und warm/feuchteren Phasen dar und lässt auf die Prozesse der Profilgenese schließen (sieh Kapitel 8.7). Es sollte jedoch noch einen Abgleich dieser Skizze mit PAUL HEASEARTS und/oder im Gelände erfolgen um die Darstellung abschließend zu verifizieren.

Die Darstellungen des Tiefenprofils mit dem pro jeweiligen Probenset zugeordneten Triplots in Karte 2 eignet sich gut, um die Entwicklung der Korngrößenklassen über die Tiefe des Profils darzustellen. Bei der Auswertung des Tiefenprofils in Karte 3 und 4 wäre eine hochauflösendere Probennahme (z.B.: alle 2 cm) von Vorteil gewesen. Ist eine größere Anzahl an Proben je Schicht vorhanden, ist eventuell eine deutlichere Tendenz der Werte zu erkennen. Generell ist zu sagen, dass Referenzproben des Materials auf dem Plateau sowie in direkter Flussnähe wünschenswert gewesen wären.

Interessant ist, dass die Unterteilung der Kurven in acht Segmente starke Parallelen zu Messungen an äolischen Sedimenten aus dem Norden Chinas aufweist (mündliche Mitteilung von VEIT NOTTE-BAUM). Dies könnte einen Ansatzpunkt zur Abgrenzung methodischer und sedimentologischer Einflüsse auf die resultierenden Korngrößenkurven darstellen. Um diesen Sachverhalt zu klären muss ein Vergleich mit Korngrößenverteilungen anderer Löss-Archive vorgenommen werden.

Abschließend ist zu sagen, dass Doroshivtsi ein sehr komplexes Setting ist. Vor allem muss die Geomorphologie des Meso- und Mikroreliefs bei der Interpretation der Korngrößenverteilungen beachtet werden. Es könnte sein, dass die OSL-Proben 4a und 7a vertauscht wurden, womit sich eine durchgehende Chronostratigraphie mit einer Altersspanne von ca. 26 bis 16 ka BP ergeben würde. Da das Profil ab dem letzten glazialen Maximum abgelagert wurde und mit seiner Mächtigkeit von 9 m hochauflösende Informationen zum Spätglazial birgt, sollten hier weitere Forschungen stattfinden.

Ergänzende Auswertungen könnten zum Beispiel die Messung der Bodenfarbe, weitere geochemische Analysen sowie die Auswertung der Pollen sein. Hiermit könnte die Frage, ob eine initiale Bodenbildung vorhanden ist oder nicht, abschließend geklärt werden.

Literaturverzeichnis

- AHL, C.; BECKER, K.W.; JÖRGENSEN, R.G.; KLAGES, F.W.; WILDHAGEN, H (1995): Aspekte und Grundlagen der Bodenkunde. Materialien zu Vorlesung. Göttingen.
- BECKMAN COULTER INC. (2003): LS 13 320 Laser Diffraction Particle Size Analyzer Instrument Manual. Miami.
- BUGGLE, B., GLASESR, B., ZÖLLER, L., HAMBACH, U., MARKOVIC, S., GLASER, I., GERASIMENKO, N. (2008): Geochemical characterization and origin of Southeastern and Estern European loesses (Serbia, Romania, Ukraine). *In: Bauch, H., Brook, E., Glasser, N., Hillaiere-Marcel, G., Long, A.J., Roberts, C.N., Yang, X. (Hrsg.): Quaternary Science Reviews*. The International Multi-disciplinary Research and Review Journal. Quaternary Science Reviews Nr. 27, S. 1058-1075.
- BUGGLE, B.; GLASER, B.; HAMBACH, U.; GERASIMENKO, N.; MARKOIC, S. (2010): An evaluation of geochemical weathering idices in loess – paleosol studies. *In: Quaternary International* (2011).Nr. 240, S. 4-1.
- BOKHORST, M. P.; BEETS, C. J.; MARKOVIC, S. B.; GERASIMENKO, N. P.; MATVIISHINA, Z. N.; FRE-CHEN, M. (2009): Pedo-chemical climate proxies in Late Pleistocene Serbian/Ukranian loess sequences. *In: Quaternary International* (2009). Nr. 198, S. 113 – 123.
- CHLEBOWSKI, R.; GOZHIL, P.; LINDNER, L.; LANZCONT, M.; WOJTANOWICZ, J. (2003): Stratigraphy and sedimentology of the Bug loess (Pleistocene: Upper Vistulian) between Kiev and Odessa (Ukraine). *In: Geological Quarterly International*. Nr. 47, S. 261-268.
- FRANKOWSKI, Z., LANZONT, M., BOGUCKYJ, A. (2007): Vistulian litho- and pedosedimentary cycles recorded in the Kolodiiv loess-palaeosol sequence (Est Carpathian Foreland, Ukraine) determines by lasser grain-size analysis. *In: Geological Quarterly International*. Nr. 51 (2), S. 147-136.
- FRIEDMAN, G. M. (1961): Distiktion between Dune, Beach, and River Sands from their Textual Characteristics. In: Journal of Sedimentary Petrology. Nr. 31 (4), S. 514-529.

FRIEDMAN, G. M., SANDERS, J. E.; (1978): Principals of Sedimentology. Wiley. New York.

- Haase, D.; Fink, J.; Haase, G.; Ruske, R.; Pecsii, M.; Richter, H.; Altermann, M.; Jäger, K.-D. (2007):
 Loess in Europe-its spatial distribution based on a European Loess Map, scale 1:2,500,000 (clone). *In: Quaternary Science Reviews.* Nr. 26, S. 9-10.
- HAESAERTS, P. ; BACHNER, M. ; BORZIAC, I ; CHIRICA, V. ; DAMBLON, F. ; DROZDOV, N. ; KOU-LAKOVSKA, L. ; PINSON, S. (2010): New Insight on the Environmental Background and the Chronology of the Early Upper Palaeolithic in Central Europe. *In: Ur- und Frühgeschichte*. S. 9-26.
- HAESAERTS, P.; BORZIAK, I.; CHIRICA, V.; DAMBLON, F.; KOULAKOVSKA, L.; VAN DER PLICHT, J. (2003): The east Carpathian loess record: a reference for the middle and late pleniglacial stratigraphy in central Europe. *In: Quaternaire*. Nr. 14 (3), S. 163-188.

HARTGE, K.H.; HORN, R. (1992³): Die Pysikalische Untersuchung von Böden. Stuttgart.

- HAUCK, T.; KOULAKOVSKA, L.; USIK, V. (2011): Archäologische Prospektion entlang der Flüsse
 Dnjestr und Prut in der Provinz Chernivtsi Oblast (Ukraine) 22.-30.10.2011. Sonderforschungsberich 806 "Our Way to Europe" Teilprojekt B1 "The Eastern Tajectory". Philosophische Fakultät. Institut für Ur- und Frühgeschichte. Universität zu Köln.
- HUHMANN, M. (2005): Landschaftsentwicklung und gegenwärtige Bodendegradation ausgewählter
 Gebiete am oberen Dnister (Westukraine). In Bathelt, H., Bendix, J., Brückner, H., Miehe, G.,
 Opp, C., Paal, M., Pletsch, A., Strambach, S. (Hrsg.): Maburger Geographischen Schriften.
 Nr. 142.
- HUHMANN, M.; KREMENETSKI, K. V.; HILLER, A.; BRÜCKNER, H. (2004): Late quaternary landscape evolution of the upper Dnister valley, western Ukraine. *In: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Nr. 209 (1-4), S. 51 – 71.
- JÖRRIS, O.; STREET, M.; SIROCKO, F. (2009²): 24.000-16.000 BP. Siedlungsleere das Kältemaximum der letzten Kaltzeit. *In: Sirocko, Frank: Wetter, Klima, Menschheitsentwicklung. Von der Eiszeit bis ins 21. Jahrhundert.* WBG. Darmstadt. S. 83-87.
- KELS, H. (2005): Bau und Bilanzierung der Lössdecke am westlichen Niederrhein. Inaugural Dissertation. Düsseldorf. Heinrich Heine Universitiät.

- KLASEN, N. (2012): OSL-Dating of Sediments samples from Romania and Ukraine. By order of SFB 806, TP-B1. Institute for Geography-University of Cologne.
- KONERT, M.; VANDENBERGHE, J. (1997): Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction. *In: Sedimentology*. Nr. 44, S. 523-535.
- KULAKOVSKA, L.V., USIK, V.I. & HAESAERTS, P. (2012): Doroshivtsy III Gravettian Site in the Dniester Valley (Ukraine). *In: Stratum plus.* Nr. 1, S. 131-150.
- LINDNER, L.; GOZHIK, P.; MARCINIAK, B.; MARKS, L.; YELOVICHEVA, Y. (2004): Main climatic changes in the Quaternary of Poland, Belarus and Ukraine. *In: Geological Quarterly*. Nr. 48 (2), S. 97-114.
- LOWE J.J.; WALKER M. J. C. (1998): Reconstrukting Quaternary Environments. Pearson Prentice Hall. Edinburgh.
- PECSI, M. (1990): Loess is not just the accumulation of dust. In: Quaternary International. Nr. 7-8, S. 1-21.
- PYE, K.; BLOTT, S. J. (2004): Particle size analysis of sediments, soils and related particulate materials for forensic purposes using laser granulometry. *In: Forensic science international*. Nr. 144 (1), S. 19-27.
- PYE. K. (1987): Aeolian dust and dust deposits. Academic Press. London.
- REIMANN, C; CARITAT, P: Chemical Elements in the Environment. Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist. Berlin, Heildelberg, New York. Springer.
- RETHEMEYER, J. (2011): Radiocarbon dating results for samples COL1111 to COL1115. Bericht der Universität zu Köln. Institut für Geologie und Mineralogie. Cologne AMS.
- ROUSSEAU, D.-D.; GERASIMENKO, N.; MATVIISCHINA, Z.; KUKLA, G. (2001): LATE PLEISTOCENE Environments of the Central Ukraine. *In: Quaternary Research*. Nr. 56 (3), S. 349-356.
- SCHACHTSCHABEL, P; BLUME, H. P., BRÜMMER, G.; HARTGE, K.H.; SCHWERTMAN, U. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. Scheffer/Schachtschabel. Stuttgart. Ferdinand Enke Verlag.

- SCHIRMER, W. (1983): Holozäne Mainterrassen und ihr pleistozäner Rahmen (Exkursion G am 25.4.1981). In: Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, 63. Stuttgart. S. 103-115.
- SCHRIMER, WOLFGANG (2004): Landschaftsgeschichte im europäischen Rheinland. In: Schirmer Wolfgang(Hrsg.): Geo Archaeo Rhein. Nr. 4. Düsseldorf.
- SINDERN, S. (2009): Vorlesungsmanuskript zur Veranstaltung Anorganische Umweltgeochemie des Lehrstuhl und Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre an der RWTH Aachen. Unveröffentlicht.
- SMALLEY, I.; MARKOVIC, S.B.; SVIRCEV, Z. (2010): Loess is [almost totally formed by] the accumulation of dust. *In: Quaternary International (2011)*. Nr. 240, S. 4-11.
- TUCKER, M. (1996): Methoden der Sedimentologie. Stuttgart. Ferdinand Enke Verlag.
- ZÖLLER, L. (2010): New approaches to European loess: astratigraphic and methodical review of the past decade. Central European Journal of Geosciences 2, 19-31.

Internetquellen:

WORLD-GEOGRAPHICS (2013): Topographic map of Ukraine. Resolution: High resolution map Dimensions: 600 x 409.

<http://www.world-geographics.com/maps/europe/topographic-map-of-ukraine/> (Stand 2013) (Zugriff: 04.02.2013)

Anhang



Anhang 1: Geologischer und geomorphologischer Querschnitt im Untersuchungsgebiet von Doroshivtsi. Quelle: nach KULAKOVSKA ET AL 2012, S. 135.



Anhang 2: Idealisiertes Profil von Doroshivtsi III nach PAUL HAESAERTS. Quelle: KULAKOVSKA 2012 S. 136.



Anhang 3: Starigraphische Einordung der össterreichischen Profile: Grubengraben, Kameg, Willendorf Schwallenbach, Krems und Stillfried B und der Profiel in Osteuropa: Pavolov Dolni Vestonice, Maravany Lopasta II, Stranska Skala, Nitra Cerman, Broskwinia und Spadisla. Quelle: HAESAERTS et al 2007, S. 35.



Anhang 4: Aus den ProfielenvMoldavia,Mitoc und Cosautsi ist eine Regional Sequenz erstellt worden. Quelle: HAESAERTS et al 2010, S. 15.

			- 1616 1 -	point of interest					
point	coor	dinates	altitude (amsl)	archaeological site	loess section	other			
23-9_1	N48 34.790	E25 51.841	212m	х					
23-9_2	N48 34.849	E25 51.898	191m	х					
23-9_3	N48 36.995	E25 51.213	139m		Х				
24-9_1	N48 33.118	E25 55.914	243m			х			
24-9_2	N48 32.394	E25 58.500	245m	х					
24-9_3	N48 32.574	E25 58.419	207m		х				
24-9_4	N48 35.965	E26 00.615	214m			х			
24-9_5	N48 32.020	E26 03.844	189m	х	х				
24-9_6	N48 32.431	E26 04.683	226m			х			
24-9_7	N48 31.992	E26 05.276	261m		х				
24-9_7A	N48 32.148	E26 05.384	215m	х	х				
24-9_7B	N48 31.999	E26 05.315	252m	х					
24-9_8	N48 33.257	E25 59.435	236m		х				
Balamutivka	N48 32.550	E26 04.645	194m			х			
25-9_1	N48 34.755	E25 55.267	208m			х			
25-9_2	N48 36.576	E25 57.909	202m			х			
25-9_3	N48 36.686	E25 58.067	162m			х			
25-9_4	N48 21.377	E25 38.508	192m			х			
25-9_5	N48 20.964	E25 36.116	256m		х				
26-9_1	N48 18.747	E25 54.223	183m		х				
26-9_2	N48 19.326	E25 50.479	205m		х				
26-9_3	N48 19.367	E25 49.772	205m	х	х				
26-9_4	N48 20.159	E25 25.421	284m	х					
26-9_5	N48 20.570	E25 24.732	280m		х				
28-9_1	N48 39.346	E25 46.472	256m			х			
28-9_2	N48 33.854	E25 51.228	206m		х				
28-9_3	N48 33.803	E25 51.061	201m			х			
28-9_4	N48 33.726	E25 51.034	212m	х					
28-9_5	N48 35.252	E25 52.715	219m	х	х				
28-9_6	N48 34.911	E25 51.895	222m	х					
28-9_7	N48 34.725	E25 51.792	214m	х					
28-9_8	N48 34.464	E25 51.598	226m	X					

Anhang 5: Tabelle der Fundplätze mit Wegpunkten, Koordinaten, Höhenangaben und den sogenannten "Points of intrest" die Aufschluss darüber geben, ob Archäologie vorhanden ist oder nicht, ob es sich um eine Löss Sektion handelt oder nicht oder ob sonstiger Merkmale von Bedeutung sind. Quelle: HAUK et al 2011, S. 2.

Age (ka) MAM	1	I	1	14.4 +1.7 -2.1	13.1 +1.6 -2.0	15.6 +1.9 -2.3	ı	I	I		1	ı
Age (ka) CAM	16.2 ±1.8	14.7 ±1.6	17.7 ±1.9	17.5 ±1.7	15.6 ±1.6	19.1 ±1.8	19.2 ±1.8	17.4 ±1.7	20.9 ±2.0	16.1 ±1.6	14.6 ±1.5	17.6 ±1.8
De (Gy) MAM	ı	ı		28.5 +2.8 -3.7			ı	I	I			
De (Gy) CAM	32.1 ±2.7			34.8 ±1.8			41.0 ±2.8			32.9 ±2.5		
Dose rate (Gy/ka) CAM/ MAM	1.98±0.22	2.18±0.34	1.81±0.19	1.99±0.19 1.98+0.23/-0.29	2.23±0.23 2.18+0.27/-0.33	1.82±0.17 1.83+0.22/-0.27	2.14±0.21	2.35±0.23	1.96±0.19	2.05±0.21	2.25±0.23	1.87 ± 0.19
Over- disper- sion (%)	38			25			26			37		
No. of sub- samples, accepted / measured	34/47			31/44			33/52			40/75		
K (%)	1.22 ± 0.04			1.28 ± 0.05			1.37 ± 0.04			1.35 ± 0.04		
Th (ppm)	7.09 ± 0.38			6.84 ± 0.39			7.8 ± 0.42			7.44 ± 0.4		
U (mqq)	2.28 ± 0.1			2.21 ± 0.11			2.41 ± 0.11			2.21 ± 0.1		
Depth m (b.s.)	3.1			3.8			5.3			6.1		
H ₂ O %	5			6			6			10		
Grain size (µm)	100- 150			100- 150			100- 150			100- 150		
Sample ID	DOR09_3a	DOR09_3a ₁₀	DOR09_3a ₃₀	DOR09_5a	DOR09_5a ₁₀	DOR09_5a ₃₀	DOR09_7a	DOR09_7a ₁₀	DOR09_7a ₃₀	DOR09_8a	DOR09_8a ₁₀	DOR09_8a ₃₀
Lab. Cod e	C-L3050			C-L3051			C-L3052			C-L3053		

Anhang 6: Ergebnisse der Gamma-spektrometry, zeigt Ratenkalkulationssystem, äquivalente Dosis (De-) Messungen und Alter Schätzung (basierend auf dem Wasser Gehalt von 20 ± 5 %) auf. Alle Werte sind mit ihren 1 Sigma-Fehler dargestellt. DOR09 10, DOR09 30: Die OSL Alter sind zusätzlich mit einem Wassergehalt für 10 ± 5 % und 30 ± 5 % berechnet. Die Alter, die als am wahrscheinlichten gelten sind fett gedruckt. Quelle: KLASEN 2012

Age (ka) MAM	ı	ı			-	'	•	•	-	'		1
Age (ka) CAM	25.7 ±2.4	23.3 ±2.2	28.0 ±2.5	21.9 ±2.2	19.8 ±2.0	23.9 ±2.3	22.6 ±2.2	20.5 ±2.0	24.6 ±2.3	19.5 ±2.1	17.7 ±1.9	21.3 ± 2.2
De (Gy) MAM	ı	ı	ı	I	I	ı	•	•		ı	I	1
De (Gy) CAM	45.2 ±2.9			48.2 ±3.4			44.9 ±3.1			36.2 ±3.0		
Dose rate (Gy/ka)	1.76 ±0.16	1.94 ±0.18	1.62 ±0.14	2.2 ±0.22	2.43 ±0.25	2.02 ±0.19	1.99 ±0.19	2.19 ±0.21	1.83 ±0.17	1.85 ±0.2	2.05 ±0.22	1.70 ±0.18
Over- disper- sion (%)	22			32			25			35		
No. of sub- samples, accepted / measured	35/50			36/48			31/42			30/48		
K (%)	1.14 ± 0.03			1.43 ± 0.04			$\begin{array}{c} 1.26 \\ \pm 0.04 \end{array}$			1.22 ± 0.04		
Th (ppm)	6.17 ± 0.33			8.16 ± 0.43			7.01 ± 0.37			6.71 ± 0.36		
(mqq) U	2.03 ± 0.09			2.52 ± 0.11			2.47 ± 0.11			2.09 ± 0.09		
Depth m (b.s.)	6.7			7.3			7.6			8.9		
H2O %	11			18			16			15		
Grain size (µm)	100- 150			100- 150			100- 150			100- 150		
Sample ID	DOR10_1a	DOR10_1a ₁₀	DOR10_1a30	DOR10_2a	DOR10_2a ₁₀	DOR10_2a ₃₀	DOR10_3a	DOR10_3a ₁₀	DOR10_3a ₃₀	DOR10_4a	DOR10_4a ₁₀	DOR10_4a ₃₀
Lab. Code	C-L2966			C-L2967			C-L2968			C-L2969		

Anhang 7: Ergebnisse der Gamma-spektrometry, zeigt Ratenkalkulationssystem, äquivalente Dosis (De-) Messungen und Alter Schätzung (basierend auf dem Wasser Gehalt von 20 ± 5 %) auf. Alle Werte sind mit ihren 1 Sigma-Fehler dargestellt. DOR09 10, DOR09 30: Die OSL Alter sind zusätzlich mit einem Wassergehalt für 10 ± 5 % und 30 ± 5 % berechnet. Die Alter, die als am wahrscheinlichten gelten sind fett gedruckt. Quelle: KLASEN 2012



Anhang 8: Korngrößenverteilung Schicht 3 (n.e.N. Schicht 1). Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 9: Korngrößenverteilung Schicht 3 (n.e.N. Schicht 2). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 10: Korngrößenverteilung Schicht 3 (n.e.N. Schicht 3). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 11: Korngrößenverteilung Schicht 4.1 und 4.2 (n.e.N. Schicht 4). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 12: Korngrößenverteilung Schicht 4.3 (n.e.N. Schicht 5). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 13: Korngrößenverteilung Schicht 5.1 (n.e.N. Schicht 6). Quelle: Eigene Erstellung



Anhang 14: Korngrößenverteilung Schicht 5.2 (n.e.N. Schicht 7). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 15: Korngrößenverteilung Schicht 5.2 (n.e.N. Schicht 8). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 16: Korngrößenverteilung Schicht 5.2 (n.e.N. Schicht 9). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 17: Korngrößenverteilung Schicht 5.3 (n.e.N. Schicht 10). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 18: Korngrößenverteilung Schicht 5.4 (n.e.N. Schicht 11). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 19: Korngrößenverteilung Schicht 6.1 (n.e.N. Schicht 12). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 20: Korngrößenverteilung Schicht 6.3, Proben 44 u.45. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 21: Korngrößenverteilung Schicht 6.3, Proben 46 u.47. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 22: Korngrößenverteilung Schicht 6.4 (n.e.N. Schicht 13), Proben 48, 51, 52, 54, 55. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 23: Korngrößenverteilung Schicht 6.4 (n.e.N. Schicht 13), Proben 49. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 24: Korngrößenverteilung Schicht 6.4 (n.e.N. Schicht 13), Proben 50. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 25: Korngrößenverteilung Schicht 7.1 (n.e.N. Schicht 14). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 26: Korngrößenverteilung Schicht 7.1 (n.e.N. Schicht 15). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 27: Korngrößenverteilung Schicht 7.2 (n.e.N. Schicht 16). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 28: Korngrößenverteilung Schicht 8.1 (n.e.N. Schicht 18), Probe 66. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 29: Korngrößenverteilung Schicht 8.1 (n.e.N. Schicht 18), Proben 70, 71 u. 72. Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.


Anhang 30: Korngrößenverteilung Schicht 8.1 (n.e.N. Schicht 19). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 31: Korngrößenverteilung Schicht 8.2 (n.e.N. Schicht 20). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 32: Korngrößenverteilung Schicht 9.1 (n.e.N. Schicht 21, 22 u. 23). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 33: Korngrößenverteilung Schicht 9.2 (n.e.N. Schicht 24). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 34: Korngrößenverteilung Schicht 9.3 (n.e.N. Schicht 25). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 35: Korngrößenverteilung Schicht 9. (n.e.N. Schicht 26). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 36: Korngrößenverteilung Schicht 10.1 (n.e.N. Schicht 27). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 37: Korngrößenverteilung Schicht 10.2 (n.e.N. Schicht 28). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 38: Korngrößenverteilung Schicht 11.2 (n.e.N. Schicht 29). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 39: Korngrößenverteilung Schicht 12.1 (n.e.N. Schicht 30). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 40: Korngrößenverteilung Schicht 12.2 (n.e.N. Schicht 31). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 41: Korngrößenverteilung Schicht 13.2 (n.e.N. Schicht 32). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 42: Korngrößenverteilung Schicht 14.2 (n.e.N. Schicht 34). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 43: Korngrößenverteilung Schicht 14.2 (n.e.N. Schicht 35). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 44: Korngrößenverteilung Schicht 14.2 (n.e.N. Schicht 36 u. 37). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.



Anhang 45: Korngrößenverteilung Schicht 14.2 (n.e.N. Schicht 38). Quelle: Eigene Erstellung mit LS13320.