

E&G

Eiszeitalter und Gegenwart
Quaternary Science Journal



Vol. 64
No 1
2015

PERIGLAZIÄRE, POLYGONAL-VERZWEIGTE RINNENFÖRMIGE BILDUNGEN UND
GLAZITEKTONISCHE STRUKTUREN IN SAALE-TILL AM ELBE-URSTOMTALRAND
BEI WEDEL [SCHLESWIG-HOLSTEIN]

CHRONOSTRATIGRAPHY OF THE *HOCHTERRASSEN* IN THE LOWER LECH VALLEY
[NORTHERN ALPINE FORELAND]

LATE PLEISTOCENE SPOTTED HYENA DEN SITES AND SPECIALIZED RHINOCEROS
SCAVENGERS IN THE KARSTIFIED ZECHSTEIN AREAS OF THE THURINGIAN
MOUNTAINS [CENTRAL GERMANY]

E&G

Eiszeitalter und Gegenwart Quaternary Science Journal

Volume 64 / Number 1 / 2015 / DOI: 10.3285/eg.64.1 / ISSN 0424-7116 / www.quaternary-science.net / Founded in 1951

EDITOR

DEUQUA
Deutsche Quartärvereinigung e.V.
Stilleweg 2
D-30655 Hannover, Germany
Tel.: +49 (0)511-643 36 13
E-Mail: info [at] deuqua.de
www.deuqua.org

EDITOR-IN-CHIEF

MARGOT BÖSE
Freie Universität Berlin
Malteserstr. 74-100
D-12249 Berlin, Germany
Tel.: +49 (0)30-838-70 37 3
E-Mail: m.boese [at] fu-berlin.de

ASSISTANT EDITOR

DANIELA SAUER
Institut für Geographie
TU Dresden
Helmholtzstraße 10
D-01069 Dresden, Germany
Tel.: +49 (0)351-463-33260
E-Mail: d-sauer [at] uni-hohenheim.de

PRODUCTION EDITOR

SABINE HELMS
Geozon Science Media
Pettenkoferstr. 16-18
D-10247 Berlin, Germany
Tel. +49 (0)30-20 23 83 19 0
E-Mail: helms [at] geozon.net
www.geozon.net

ASSOCIATE EDITORS

PIERRE ANTOINE, Laboratoire de Géographie
Physique, Université Paris i Panthéon-
Sorbonne, France

JÜRGEN EHLERS, Witzeeze, Germany

MARKUS FUCHS, Department of Geography,
Justus-Liebig-University Giessen, Germany

RALF-DIETRICH KAHLKE, Senckenberg
Research Institute, Research Station of
Quaternary Palaeontology Weimar, Germany

THOMAS LITT, Steinmann-Institute of Geology,
Mineralogy and Paleontology, University of
Bonn, Germany

LESZEK MARKS, Institute of Geology, University
of Warsaw, Poland

HENK J. T. WEERTS, Physical Geography Group,
Cultural Heritage Agency Amersfoort, The
Netherlands

FORMER EDITORS-IN-CHIEF

PAUL WOLDSTEDT [1951-1966]

MARTIN SCHWARZBACH [1963-1966]

ERNST SCHÖNHALS [1968-1978]

REINHOLD HUCKRIEDE [1968-1978]

HANS DIETRICH LANG [1980-1990]

JOSEF KLOSTERMANN [1991-1999]

WOLFGANG SCHIRMER [2000]

ERNST BRUNOTTE [2001-2005]

HOLGER FREUND [2006-2014]

ADVISORY EDITORIAL BOARD

FLAVIO ANSELMETTI, Department of Surface
Waters, Eawag [Swiss Federal Institute of
Aquatic Science & Technology], Dübendorf,
Switzerland

KARL-ERNST BEHRE, Lower Saxonian Institute
of Historical Coastal Research, Wilhelmshaven,
Germany

PHILIP GIBBARD, Department of Geography,
University of Cambridge, Great Britain

VOLLI E. KALM, Institute of Ecology and Earth
Sciences, University of Tartu, Estonia

CESARE RAVAZZI, Institute for the Dynamics of
Environmental Processes, National Research
Council of Italy, Italy

JAMES ROSE, Department of Geography, Royal
Holloway University of London, Great Britain

CHRISTIAN SCHLÜCHTER, Institute of
Geological Sciences, University of Bern,
Switzerland

DIRK VAN HUSEN, Altmünster, Austria

JEF VANDENBERGHE, Faculty of Earth and
Life Sciences, VU University Amsterdam, The
Netherlands

ANDREAS VÖTT, Institute of Geography,
Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
Germany

AIMS & SCOPE

The *Quaternary Science Journal* publishes original articles of quaternary geology, geography, palaeontology, soil science, archaeology, climatology etc.; special issues with main topics and articles of lectures of several scientific events.

MANUSCRIPT SUBMISSION

Please upload your manuscript at the on-line submission system at our journal site www.quaternary-science.net. Please note the instructions for authors before.

FREQUENCY

2 numbers per year

SUBSCRIPTION

Free for DEUQUA-Members! Prices for standing order: single number 27,- Euro; double number 54,- Euro; plus shipping costs. We offer discounts for libraries and bookstores. Please subscribe to the journal at the publisher *Geozon Science Media*.

JOURNAL EXCHANGE

If you are interested in exchange your journal with the *Quaternary Science Journal*, please contact: Universitätsbibliothek Halle Tauschstelle, Frau Winther August-Bebel-Straße 13 06108 Halle (Saale), Germany

Tel. +49 (0)345-55 22 183

E-Mail: tausch [at] bibliothek.uni-halle.de

REORDER

Reorders are possible at the publishing house. See full list and special prices of available numbers on next to last page.

PUBLISHING HOUSE

Geozon Science Media UG (haftungsbeschränkt)

Pettenkoferstr. 16-18

10247 Berlin

Germany

Tel. +49 (0)30-20 23 83 19 0

E-Mail: info [at] geozon.net

www.geozon.net

PRINT

Printed in Germany on
100% recycled paper
climate neutral produced

COVER FIGURE

The structure of the Langweider Hochterrasse in the gravel pit Langweid (Fig. p. 20)

RIGHTS

Copyright for articles by the authors

LICENSE

Distributed under a
Creative Commons
Attribution License 3.0

<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>



Periglaziäre, polygonal-verzweigte rinnenförmige Bildungen und glazitektonische Strukturen in Saale-Till am Elbe-Urstomtalrand bei Wedel [Schleswig-Holstein]

Alf Grube

How to cite: GRUBE, A. (2015): Periglaziäre, polygonal-verzweigte rinnenförmige Bildungen und glazitektonische Strukturen in Saale-Till am Elbe-Urstomtalrand bei Wedel (Schleswig-Holstein). – E&G Quaternary Science Journal, 64 (1): 3–13. DOI: 10.3285/eg.64.1.01

Kurzfassung: Während der Sanierung eines Raffineriegeländes in Wedel / Holstein wurden im Jahre 2008 auffällige Strukturen beobachtet. Die in Aufsicht polygonal verzweigten, rinnenartigen Strukturen sind in einen bindigen und kalkreichen, saalezeitlichen Till der Niendorf-Formation eingeschnitten und im Querschnitt symmetrisch halbkreisförmig ausgebildet. Die polygenetisch entstandenen Strukturen sind mit kalkhaltigen, schluffigen Sanden gefüllt, die als umgelagerter Till mit aus den hangenden Sanden vermischem Material bzw. äolischen Komponenten interpretiert werden können. Die Breite der Strukturen beträgt ca. 0,3 bis 1,5 m, die Tiefe bis zu ca. 0,8 m. Bis zu mehr als 10 m lange Risse, als schmale Bänder rötlich gefärbter Sande ausgebildet, sind oft zentral in den o. g. rinnenartigen Strukturen positioniert. Die rötliche Färbung ist auf anthropogene Verunreinigung zurückzuführen. Diese Bänder reichen bis auf die Sohle der rinnenartigen Formen. An der Unterseite der Rinnenstrukturen setzen häufig glazitektonisch angelegte Klüfte an, die bis zu wenige Zentimeter breit sind und über mehrere Meter Tiefe bis an die Sohle der Auskofferung zu verfolgen waren. Die Genese der Strukturen, die einen möglichen Zusammenhang der rinnenartigen Strukturen mit dem glazitektonischen Klüftnetz bzw. den vermuteten paläohydrogeologischen Verhältnissen einschließt, wird diskutiert.

Periglacial polygonal-dendritic channelized forms and glacitectonic structures in Saalian till at the rim of the Elbe spillway in Wedel [Schleswig-Holstein]

Abstract: Remarkable polygenetical structures were observed at a refinery rehabilitation site in Wedel/Holstein. The polygonal shaped, channel-like structures are incised in mid-Saalian clayey, chalk-rich till. They are symmetrically semicircular shaped and filled with calcareous, silty sands that can be interpreted as sandy reworked till with aeolian components. The width reaches from approx. 0.3 to 1.5 metres, the depth up to approx. 0.8 metres. Horizontal cracks up to more than 10 meters in lengths, occurring as narrow belts of sand with reddish colour, are often centrally aligned in the channel-like structures. The present-day red colour is not natural but related to pollution. These belts reach down to the bottom of the channel like structures. At the lower site of the channel-like structures glacitectonic fissures with a width up to a few centimetres were to be traced into a depth of several metres to the basis of the excavation. The genesis of the channel-like structures is discussed, e. g. a possible relation with the pre-existing glacitectonic joints resp. the expected periglacial paleohydrogeological setting.

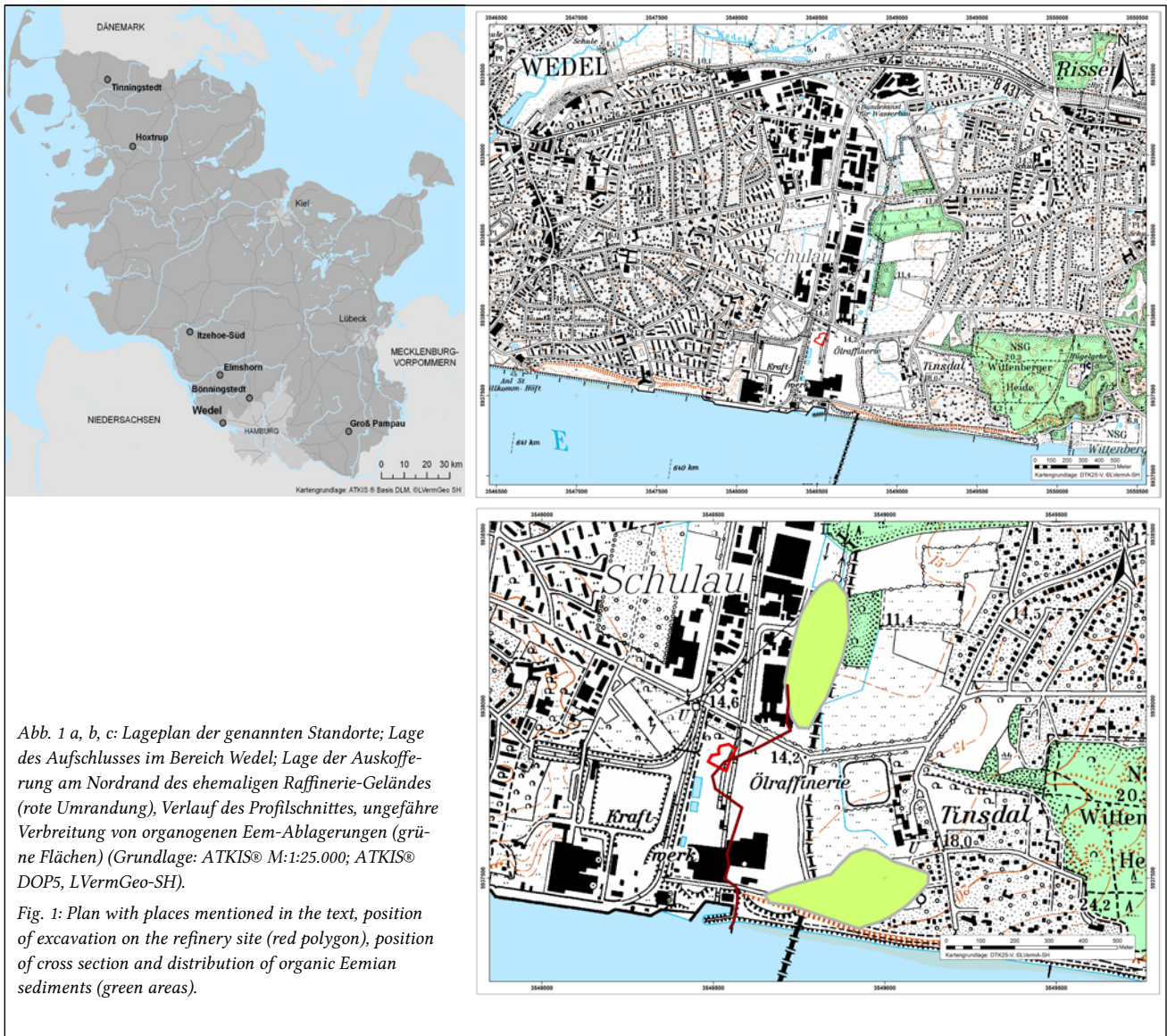
Keywords: *periglacial channels, frost wedges, glacitectonism, paleohydrogeology, talik, Weichselian periglacial, Elbe spillway*

Address of author: A. Grube, Geologisches Landesamt, Behörde für Umwelt und Energie, Neuenfelder Straße 19, 21109 Hamburg, E-Mail: alf.grube@bsu.hamburg.de

1 Einleitung

Im Frühjahr 2008 wurden bei der Sanierung eines Raffineriestandortes in Wedel (Holstein) auffällige Sedimentstrukturen beobachtet. Diese waren in einem Aufschluss auf dem Gelände der ehemaligen Raffinerie (ExxonMobil; Abb. 1) sichtbar. Der Geologische Dienst Schleswig-Holstein wurde um eine Expertise gebeten. Da ein tiefer liegender Grundwasserleiter mit Schadstoffen (MKW, PAK, CKW / LHKW, BTEX, teilweise in Phase; vgl. BIG 2009) belastet ist, sollte geklärt werden, ob die unten beschriebenen

Strukturen, neben der nicht ganz auszuschließenden Möglichkeit unfachmännisch ausgebaute GW-Messstellen, für eine hydraulische Verbindung zwischen den durch einen mächtigen Grundwassergeringleiter getrennten Grundwasserleitern, bzw. eine entsprechende Verunreinigung verantwortlich sein könnten. Die geologischen Aufnahmen erfolgten im Beisein von Herrn Seifert (ARCADIS) in einem kontaminierten Bereich („Hotspot 1“), unter Einhaltung spezieller Arbeitsschutzmaßnahmen (Schutzanzug, eng begrenzte Aufenthaltszeit, usw.). Neben der Freilegung von Strukturen an der Sohle und an den bis zu 4 m hohen



Wänden der Auskofferrung, wurden aus den kontaminierten Bereichen Proben für Korngrößenanalysen und Kalkgehaltsbestimmungen entnommen und diese durch die Fa. ARCADIS zur Untersuchung gegeben. Umfangreichere Geländeuntersuchungen waren aufgrund der erheblichen Kontamination mit Schadstoffen und der nur kurzfristig bestehenden Aufschlüsse nicht möglich. Eine genaue Aufnahme der Strukturen hinsichtlich ihrer Form und flächenhaften Ausdehnung war aufgrund der geringen Ausdehnung der Schurf-Fläche nicht durchführbar. Trotz dieser Einschränkungen erschien es dem Autor sinnvoll, diese bisher in der Literatur nicht beschriebenen Strukturen mitzuteilen. Im Folgenden wird aus praktischen Gründen für den eigentlich korrekterweise zu verwendenden Ausdruck „rinnenartige, mit bindigem Material verfüllte, polygonal verzweigte Strukturen“ der Begriff „Rinnen-Polygone“ verwendet.

2 Geologie und Geomorphologie des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsobjekt liegt im Geest-Bereich, unmittelbar westlich der Stadtgrenze zu Hamburg (Abb. 1). Es liegt

randlich zum Steilufer des Elbe-Urstromtales, welches hier eine Höhe von 10–12 m erreicht. Als älteste Schichtglieder sind ein vermutlich während der Elster-Kaltzeit gebildeter Till sowie hangender Lauenburger Ton in Bohrungen aufgeschlossen (Abb. 2). Die hangende Schichtenfolge ist geprägt durch einen Unteren und einen Oberen Till, dessen Zwischenmittel ein bis zu 2 m mächtiger, glazifluvialer Sand bildet. Der Untere Till dürfte nach der ortsüblichen Einordnung (GRUBE 1981; STEPHAN 1995) aufgrund der im Feld erkennbaren petrographischen Merkmale der Drenthe-Formation angehören (Ältere Saale). Dieser setzt sich in südlicher Richtung unter der Elbe fort. Der obere Till ist im Bereich des Elbe-Urstromtales vollständig ausgeräumt worden. Er wird hier der Mittleren Saale zugeordnet (Nienendorf-Formation im Hamburger Raum, Hennstedt-Vorstoß in Schleswig-Holstein; siehe auch nächster Abschnitt). Die Schichtenfolge wurde durch glazitektonische Vorgänge erheblich beansprucht. Die Bereiche Wedel und östlich der Landesgrenze Schleswig-Holstein/Hamburg sind für ihre teilweise intensive glazitektonische Beeinflussung seit langer Zeit bekannt (WOLFF 1913; WILKE 1984; WILKE & EHLERS 1984; NITSCHKE 2012). WILKE (1984) konnte benachbart eine Verstellung bis in eine Tiefe von mehr als 100 m nach-

weisen. Für diesen Bereich ist eine intensive Verschuppung nachgewiesen. Nachweise von intensiver Glazitektonik wurden auch durch aktuelle Bohrungen im Bereich des Industriebetriebes Möller geführt. In den letzten Jahren ausgehobene größere Baugruben im zentralen Wedel zeigten vorwiegend eine intensive glazitektonische Überprägung in Form von komplizierten Störungs-Systemen in den ansonsten verhältnismäßig wenig gestörten Ablagerungen.

Im Südostbereich der ehemaligen Raffinerie-Fläche finden sich im Liegenden rolliger Ablagerungen bis zu ca. 2 Meter mächtige, organogene Eem-Sedimente. Diese füllen die östlich gelegenen, ehemaligen Talformen aus. Das Schulauer Ufer wurde bereits von Charles LYELL untersucht (vgl. F. GRUBE 1962). Die Eem-Ablagerungen liegen dabei meist direkt dem Niendorf-Till auf. In tieferen Senken treten zwischengeschaltet auch geringmächtige Sande auf. Eine pollenanalytische Datierung der Eem-Ablagerungen wurde von HALLIK (1957, vgl. Lit. bei GRUBE 1962 zu weiteren Bearbeitern) veröffentlicht. Auch nördlich des Raffinerie-Geländes wurden unmittelbar oberhalb des Tills (Toteissenken?) humose Sedimente angetroffen, die vermutlich ebenfalls in die Eem-Warmzeit einzustufen sind (Abb. 1; Abb. 2). Im Hangenden des Oberen Tills, bzw. der Eem-Sedimente folgen mehrere m mächtige Sande mit fluviatiler und äolischer Herkunft. Die Sande im Hangenden des Niendorf-Tills wurden während der mittleren Saale (Nachschüttungsande), der jüngeren Saale und / oder der Weichsel-Kaltzeit gebildet (Tab. 1). Eine genaue Zuordnung ist nicht möglich. Neuere flächenhafte Bearbeitungen der Schichtenfolge (NITSCHKE 2012) lassen es als wahrscheinlich gelten, dass der Großteil der Weichsel-Kaltzeit zuzuordnen ist. Als oberste Einheit in der ehemals unbeeinflussten Sedimentabfolge finden sich Flug- und Dünenande. Benachbart sind entsprechende ausgedehnte äolische Flächen im Dünengebiet Wittenbergen vorhanden.

Der Schadstoff-Hotspot, in dem die hier diskutierten Strukturen abschnittsweise freigelegt wurden, hatte eine flächenhafte Ausdehnung von ca. 50 x 70 m. Der Aufschluss zeigte eine flächige Verbreitung eines homogenen, bindigen, kreide- und flintreichen, grauen Tills, welcher der Mittleren Saale zugeordnet werden kann. Es handelt

sich um einen schluffigen Sand mit einem Kalkgehalt von 10–15 %. Die Oberfläche dieses Tills ist unregelmäßig. Das Polygonnetz (Abb. 4, 5) ist jedoch nicht in Streifenform verzerrt, sodass eine stärkere Hangneigung keinen Einfluss gehabt haben kann. Die Till-Oberfläche zeigt nach Informationen der Fa. ARCADIS meist Werte zwischen +5,5 und +6,5 m NN, im östlichen Bereich des Hotspots fallen diese insgesamt ab. Es zeigen sich keine deutlichen Anzeichen für Eis-Segregation in den oberen Abschnitten des Tills. Die auf den Till folgenden hangenden Sande waren im ausgekofferten Bereich zum Zeitpunkt der Begehungen nicht aufgeschlossen (Spundwand). Im Liegenden des Tills folgt ein geringmächtiger Grundwasserleiter, unterhalb erneut Till (Abb. 2).

3 Feldbeobachtungen

Die auffälligste Erscheinung im Aufschluss waren zunächst teilweise verzweigt angeordnete Rinnen (Abb. 3, 4). Aufgrund der nur kleinräumigen Auskoffnung waren diese auf wenigen hundert Quadratmetern aufgeschlossen. Bei den Strukturen handelt es sich um rinnenartige Vertiefungen, die mit kalkhaltigen, sandigen Schluffen gefüllt (Korngrößenanalyse Fa. ARCADIS) und in den kreidereichen, bindigen Till eingeschnitten sind. Der umgebende Till ist, bis auf dünne Klüfte (siehe unten), homogen ausgebildet und ungestört. Die Rinnen-Polygone sind unregelmäßig bezüglich ihrer Form und Breite. Die Breite beträgt ca. 0,3 bis 1,5 m, die Tiefe bis zu ca. 0,6 m (Abb. 3–5). Sie bilden ein polygonartiges Netz, die Weite der Polygone liegt bei max. wenigen Metern. Die Kontinuität des Verlaufs der Rinnen-Polygone, bzw. des Polygonnetzes in die Fläche hinein, konnte aufgrund der Aufschlussverhältnisse nur lokal erfasst werden. Die Form der Oberfläche, bzw. der Kontaktbereich zu den hangenden Sanden war aufgrund der Auskoffnung nicht zu erfassen.

Die Füllung der Rinnen-Polygone ist verhältnismäßig homogen zusammengesetzt. Meist ist das Material sandig-schluffig, die Hauptbodenart wird aus Fein- bis Mittelsand gebildet. Es ist keine Schichtung oder anderweitige deutliche interne Gliederung zu erkennen. Es sind jedoch kleine

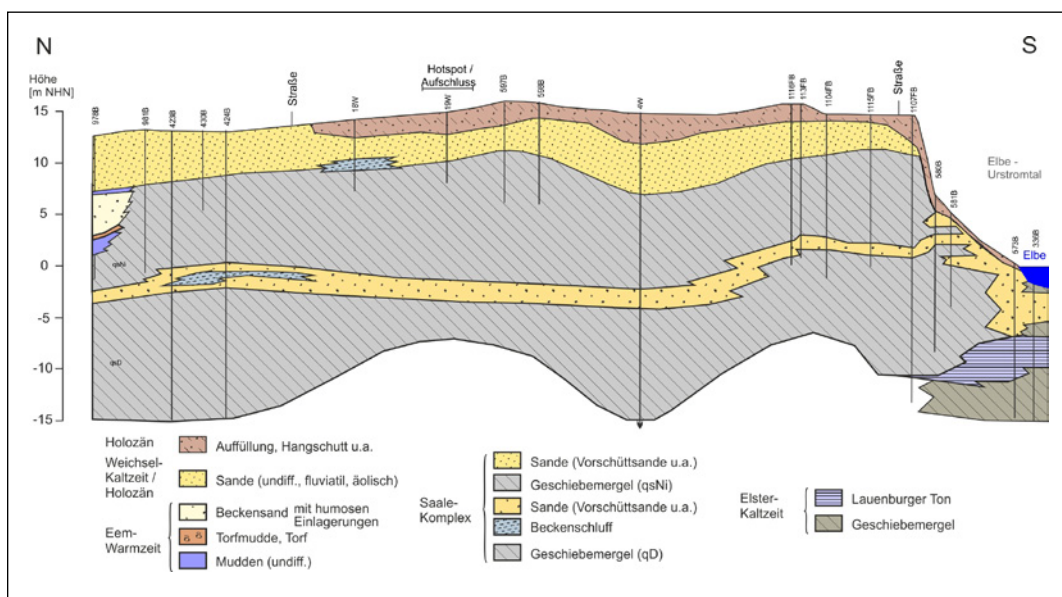


Abb. 2: Profilschnitt durch den Untersuchungsraum, 10-fache Überhöhung. (Daten: Geologisches Landesarchiv LLUR; W. BOCK; K.-H. NACHTIGALL; J. NIEDERMAYER; ExxonMobil / ARCADIS).

Fig.2: Cross section through investigation area, exaggeration 10x (data: Geological Archive LLUR; W. BOCK; K.-H. NACHTIGALL; J. NIEDERMAYER; ExxonMobil / ARCADIS).



Abb. 3: Polygonal verzweigte, rinnenartige Strukturen, die in den zentralen Bereichen rot gefärbte Sande enthalten (Photo: S. Seifert, Fa. ARCADIS). Breite der Rinnen beträgt ca. 0,6 m.

Fig. 3: Periglacial polygonal-dendritic channelized structures, with central red coloured sands (Photo: S. Seifert, Fa. ARCADIS). Widths of structures ca. 0,6 m.



Abb. 4: Rinnenartige Struktur mit breitem, unregelmäßigem Streifen rot gefärbter Sande (Photo: S. Seifert, Fa. ARCADIS). Länge des rot gefärbten Streifens ca. 0,4 m.

Fig. 4: Detail photo of polygonal channelized structures with central red coloured sands (Photo: S. Seifert, Fa. ARCADIS). Lengths of red coloured band ca. 0,4 m.

Sandeinschlusungen (Gerölle?) sowie lokale, geringmächtige Sandeinschlusungen an der Basis erkennbar (Abb. 5). Die Korngrößenunterschiede zwischen dem umgebenden Till und der Füllung der Rinnen-Polygone sind gering. Der

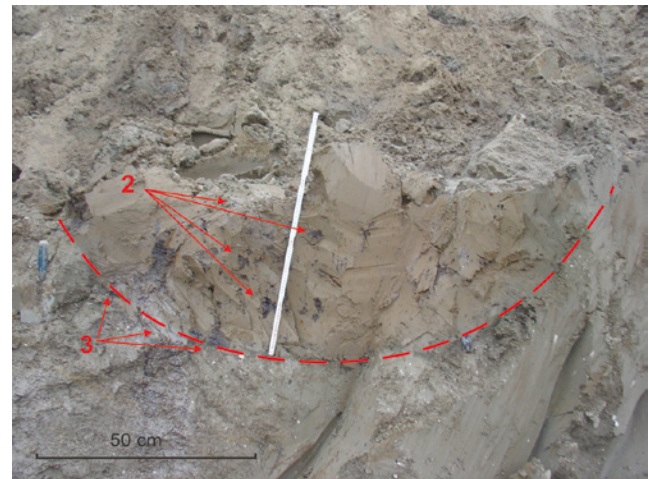


Abb. 5: Rinnen aus Abb. 3 und 4 im Querschnitt (Zollstock ca. 0,8 m lang). Erkennbar sind die gegenüber dem umgebenden Till abweichende Korngrößenverteilung, die Inhomogenitäten innerhalb der Rinnenfüllung (die zu erhöhter hydraulischer Durchlässigkeit führen) mit Austritt von Teerölen (2) sowie die verstärkte Schadstoffführung an der Unterkante der Struktur (3). Tiefe der Rinne ca. 0,7 m.

Fig. 5: Channels from fig. 3 and 4 in cross section (folding rule ca. 0,8 m long). Visible is the deviation of grain size compared to surrounding till, the inhomogeneity inside channel filling (leads to accelerated hydraulic permeability) with discharge of creosote (2) and increased occurrence of pollutants at the base of structure (3). Depths of channel ca. 0,7 m.

Kalkgehalt liegt bei ca. 5,3 % und ist damit deutlich niedriger als im umgebenden Till. Örtlich sind Inhomogenitäten aus größeren Einschaltungen vorhanden.

Es treten Brodelboden-artige Strukturen im ursprünglichen Till, d.h. außerhalb der Rinnen-Polygone, auf. Diese sind sehr unregelmäßig in ihrer Form und Größe. Stellenweise treten sie sehr dicht nebeneinander, teilweise aber auch vereinzelt in ansonsten periglaziär unbeeinflussten Till-Bereichen auf.

An der Oberfläche des Aushubbereiches sind bis zu mehr als 10 m lange, sandgefüllte Spalten zu beobachten, die als schmale Bänder rötlich gefärbter Sande auftreten. Diese sind meist zentral in den Rinnen-Polygone positioniert (Abb. 4, 6) und häufig in ihrem Verlauf unterbrochen (Abb. 3, 4). Die Breite ist variabel, sie erreicht im Maximum aber ca. 0,15 m. Die Spalten setzen sich keilförmig in die Tiefe fort (Abb. 6). Die Rotfärbung geht auf die Verunreinigungen mit Schadstoffen (PAK), bzw. auf eine Oxidation und chemische Umbildung derselben am Standort zurück. Entsprechende Risse sind auch außerhalb der Rinnen-Polygone im anstehenden Till vorhanden.

An der Unterseite der Rinnen-Polygone setzen teilweise vertikale Risse oder Klüfte an, die bis in mehrere m Tiefe zu verfolgen sind (Abb. 7, 8, 9). Es konnten maximale Teufen der Klüfte von ca. 3 m unterhalb der Oberkante des Tills nachgewiesen werden. Der weitere Verlauf in die Tiefe konnte unterhalb der Auskofferungssohle naturgemäß nicht geklärt werden. Die Risse zeigen Füllungen aus schluffig-sandigem Material und sind durch Eisenausschlägen braun gefärbt. Die Breite der Rissfüllungen liegt bei maximal wenigen Zentimetern. Die Spalten besitzen eine relativ gleichförmige Breite über die gesamte Tiefe hinweg. Diese Klüfte dürften in einer späten Phase des



Abb. 6: Fortsetzung der zentral in den Rinnenstrukturen angeordneten rötlichen Sande in die Tiefe (durch Schadstoffe farblich verändert; Stiefelspitze als Maßstab).

Fig. 6: Continuation of the central oriented red sands into depths (coloured by pollutant, boot for scale).



Abb. 8: Frost-/Eiskeilstrukturen, bzw. glazitektonische Klüfte, sich verzweigend, wenige mm breit, in fast senkrechter Wand (Spaten als Maßstab).

Fig. 8: Frost/ice wedges resp. glacitectonic joints, branched, mm-sized, in nearly vertical wall (spade for scale).

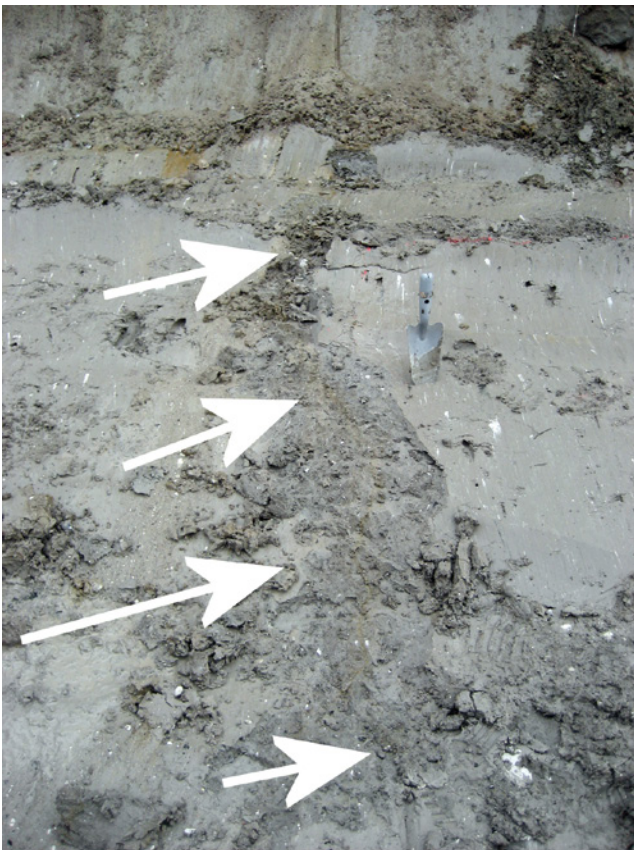


Abb. 7: Wandaufsicht mit Frost-/Eiskeilstruktur, bzw. glazitektonischer Kluft an der Ostseite des Aufschlusses, maximal wenige cm breit. Farbänderung im umgebenden Till (braune Farbe). Kelle als Maßstab (ca. 25 cm) in abgescrägter Aufschlusswand.

Fig. 7: Frost/ice wedges resp. glacitectonic joints at east site of excavation, max. few cm wide. Colour alteration in surrounding till (brown colour). Dipper for scale (ca. 25 cm) in sloped excavation cut.

Niendorfer Stadiums oder bei der Überföhrung des Bereiches durch einen Gletscher wöhrend der jüngereren Saale (Fuhlsbüttler Stadium) glazitektonisch angelegt worden

sein. Die Ablagerungen dieses jüngsten Eisvorstoßes sind nur örtlich im Bereich westlich der Blankeneser Berge erhalten geblieben, nicht jedoch im engeren Untersuchungsgebiet.

4 Hydrogeologie

Das Grundwasserleitersystem ist gekennzeichnet durch einen hangenden, freien Grundwasserleiter, einen liegenden, in der Matrix geringdurchlässigen Till mit Kluftsystem, einen darunter folgenden, geringmächtigen Grundwasserleiter sowie einen liegenden Till und andere ältere Ablagerungen (Abb. 2). Die Rinnen-Polygone fungieren aufgrund ihrer Lage an der Sohle des oberen Grundwasserleiters, eingeschnitten in den geringer durchlässigen Till, und der im Vergleich zur Umgebung etwas höheren hydraulischen Leitfähigkeit bevorzugt als Sammelbereiche für die Schadstoffe (Abb. 6). Über die zumindest teilweise an der Unterkante der Rinnen-Polygone ansetzenden, bis zu einer Tiefe von ca. 3 m unterhalb der Sohle des Aufschlusses nachgewiesenen, sandig-schluffig gefüllten, Klüfte (Abb. 7 und 8), kann sich unter heutigen Bedingungen, trotz geringer Kluftbreite, Grundwasser tief in den Till bzw. Stauerbereich hinein bewegen. Ein Beleg für die Grundwasserbewegung sind die Eisenausfällungen an den Klüften. Wahrscheinlich existieren tiefreichende Strukturen, die den gesamten oberen Till durchschlagen und so zur Verunreinigung des liegenden Grundwasserleiters mit Schadstoffen aus dem oberen Grundwasserleiter geführt haben dürften. Ein analoges Beispiel wurde im Rahmen von Altlastuntersuchungen aus dem Bereich Hamburg-Othmarschen dokumentiert. Dort sind Aromaten aus den oberen Bodenbereichen in den ersten abgedeckten Grundwasserleiter gesickert (freundl. Mitt. Dr. T. VOLLMER †, BGW, Hamburg). Dies erfolgte über schmale, glazitektonisch angelegte Klüfte, die im Aufschluss bis zu 7 m unter die Geländeunterkante in einem 15 m mächtigen Drenthe-Till nachgewiesen werden konnten.

5 Zusammenfassung und Diskussion verschiedener Hypothesen zur Genese der Rinnen-Polygone

5.1 Zusammenfassung der Feldbeobachtungen

Bei den schmalen, tief in den Till reichenden Störungsstrukturen (Abb. 7, 8) handelt es sich, zumindest im tieferen Teil, um glazitektonisch angelegte Klüfte. Hierfür spricht die durchgehend meist einheitliche, geringe Breite der Klüfte, ihre räumliche Verteilung sowie die rechtwinkligen Verzweigungen (Abb. 7). Über die Verbreitung und Orientierung des glazitektonisch angelegten Kluftnetzes existieren keine Informationen. Glazitektonische Klüfte, d. h. Spalten, die durch den Druck des Inlandeises – vor oder unter dem Gletscher – hervorgerufen werden, können gewöhnlich in allen Lockergesteinsmaterialien des Norddeutschen Flachlandes beobachtet werden, wie bereits erwähnt auch in Wedel. Unterhalb der hangenden Rinnen-Polygone könnte eine Überprägung der Klüfte in Form von Eis-/Frostkeilbildung stattgefunden haben. Sie setzen gewöhnlich an der Oberfläche eines Tills oder einer anderen bindigen Schicht an und nicht wie hier an der Basis der Rinnen-Polygone. Die Spalten besitzen meist eine relativ gleichförmige Breite zur Tiefe hin, was ebenfalls untypisch für eine Eiskeil-/Frostkeil-Bildung im Permafrost ist. Nach VANDENBERGHE (1992) sind Polygonnetze von Kryoturbationen normalerweise klein, ihr Durchmesser entspricht etwa der vertikalen Amplitude.

Die in Wedel an der Oberfläche des Tills auftretenden Rinnen-Polygone sind netzartig angeordnet. Es handelt sich nicht um tiefreichende keilförmige Strukturen, sondern um symmetrische, flache, rinnenartige Formen. Bei der Füllung dürfte es sich um aufgearbeitetes Till-Material mit eingearbeitetem, feinkörnigem Sand, teilweise Flugsand, handeln. Der Ursprung der Sandkomponente ist unklar. Am ehesten dürften ehemals geringmächtige, den Till überlagernde Sande eingearbeitet worden sein. Die Füllung der Rinnen-Polygone ist durch einen höheren Feinsandanteil charakterisiert, daher erscheint des Weiteren eine äolische Flugsandkomponente wahrscheinlich. Zudem könnte Material über die Klüfte aus dem Liegenden zugeführt worden sein.

5.2 Bevorzugte Vorstellung einer polygenetisch bedingten Entstehung der Rinnen-Polygone

Die Rinnen-Polygone in Wedel dürften unter Frostbodenbedingungen gebildet worden sein. Denkbar erscheint eine Entstehung im Zusammenhang mit den während des Periglazials der Weichsel-Kaltzeit herrschenden artesischen Grundwasserhältnissen im Randbereich des Elbe-Urstromtales. Die im zweiten (ersten abgedeckten) Grundwasserleiter nachgewiesenen PAK-Kontaminationen weisen auf einen bis in diesen reichenden glazialtektonischen Einfluss, bzw. auf eine Ausdehnung entsprechender Klüfte hin, die hydraulische Wegsamkeiten zwischen dem oberen, freien und dem zweiten Grundwasserleiter bilden. Einen Beleg für die (zeitweise) hydraulische Aktivität der Klüfte stellen die enthaltenen Sandfüllungen und Sandbeläge dar. Eisen-Ausfällungen an den Klüften sind Zeugnisse jüngerer, bzw. aktueller Grundwasserbewegung. Die für eine vertikal aufwärts gerichtete Grundwasserbewegung not-

wendigen hydraulischen Potentiale lassen sich durch einen nahegelegenen Gletscher erklären. Nach den vorliegenden Informationen überliefen die Gletscher der jüngeren Saale die Blankeneser Berge, in deren Vorfeld entsprechend teilweise sehr hohe hydraulische Drucke in den Grundwasserleitern geherrscht haben dürften (VAN WEERT et al. 1997). Dabei könnten die besonderen periglaziär-hydraulischen Verhältnisse im Randbereich zum benachbarten Talik des Elbe-Urstromtales eine Rolle gespielt haben. Große Talbereiche bildeten im Permafrost, dessen Mächtigkeit im Hochglazial nach DELISLE, CASPERS & FREUND (2003) bis zu 140 m betrug, bekanntlich Taliks (YERSHOV 1998). Im Randgebiet rezenter Taliks, im Bereich großer Täler, wurden Quellaustritte beschrieben (KOVALENKO 1964). Nach YERSHOV (1998) ist ein Vorkommen von Grundwasser außerhalb der Talsohle, im Bereich der seitlichen Terrassen, häufig. CEDERSTROM et al. (1953) erwähnen verschiedene Spaltenartige Wegsamkeiten, wie Klüfte, Spalten, Störungszonen, als mögliche Bewegungsbahnen im aktiven Permafrost. Talik-Verhältnisse können auch für das Elbe-Urstromtal während der Periglazial-Zeit angenommen werden. Die randlich hoch gelegenen Nachbarbereiche des Urstromtales waren dagegen durch Permafrostboden charakterisiert. Um die notwendigen Druckverhältnisse für einen Austritt gespannten Grundwassers ca. 8–10 m über der heutigen Oberfläche des Elbtales zu erreichen, muss der Tal-Bereich plombiert sein. Vorstellbar ist eine entsprechende Plombierung während Winterperioden, in denen das Tal zugefroren war.

Der Aufstieg der Grundwässer aus dem Talik-Bereich des Urstromtales erfolgte nach dieser Vorstellung über das vorhandene glazitektonisch gebildete Kluftnetz. Die verhältnismäßig große Mächtigkeit des Tills könnte für die Aufrechterhaltung dieser hydraulischen Bedingungen begünstigend gewirkt haben. Aufwärts gerichtete Gradienten im Grundwasser führten zum Austritt dieses Wassers an der Till-Oberfläche sowie zu einem örtlichen Auftauen des weichselkaltzeitlichen Dauerfrostbodens (Abb. 9). Entlang der linearen Entwässerungsstrukturen, bzw. Austrittsstellen des Grundwassers bildeten sich lokale, im Anschnitt trichterförmig nach oben geöffnete Auftaubereiche im umgebenden Permafrostboden. Hier kam es zur Materialdurchmischung und zur Einmischung von hangenden Sanden sowie von Flugsanden.

Der Prozess der Durchmischung, der eine verhältnismäßig homogene Füllung hervorrief, ist unklar. Denkbar erscheint eine Übersättigung des Porenwasserdruckes (VANDENBERGHE 1983, 1992). Diese würde durch den aktiven Zustrom von Grundwasser aus dem Liegenden über die Klüfte verstärkt. Bei Vorhandensein einer hangenden Frostfront wären hier besonders günstige Voraussetzungen für eine kryoturbate Durchmischung gegeben, bei vollständiger Auflösung eines Kontaktes der die Rinnenfüllung bildenden Mineralkörner. Aufgrund der verhältnismäßig homogenen Rinnenfüllung, bzw. der guten Durchmischung dürfte von einer längeren Durchmischungsphase auszugehen sein. Eine laterale Verlagerung, z. B. durch Solifluktion oder Ablation, kann aufgrund der Homogenität des Materials keine große Rolle gespielt haben.

Die Anlage von Rinnen-Polygonen konnte bevorzugt dort erfolgen, wo Schwächezonen in Form von durch

Tab. 1: Vereinfachte Darstellung der Bildungsphasen von Ablagerungen und Strukturen im Untersuchungsgebiet.

Tab. 1: Simplified representation of the genesis of deposits and structures in the study area.

Petrographie	Mächtigkeit	Alterseinstufung	Prozess / Struktur
Rollige und bindige Ablagerungen, Baustoffe usw.	ca. 1–2 m	Holozän	anthropogene Überprägung und Auftrag
Sande	ca. 1–2 m	Weichsel-Kaltzeit / Frühholozän	Ablagerung von fluviatilen und äolischen Sedimenten
Organogene Sedimente	1–2 m	Eem-Warmzeit	Sedimentation von Torfen, Mudden, humosen Sanden
Sande	ca. 3–4 m	Jüngere Saale-Kaltzeit	Ablagerung von glazifluv. / kaltzeitlich-fluviatilen Sedimenten
periglazial überformte Tilloberfläche	ca. 1 m	Saale-Kaltzeit; Überformung während Weichsel-Kaltzeit	Bildung der Rinnen-Strukturen
nicht erhalten [Till]	n. b.	Jüngere Saale-Vereisung	glazitektonische Stauchung, bevorzugt des Tills der Mittl. Saale, Bildung eines Kluftnetzes
Sande [nicht klar abgrenzbar]	gering	Jüngere Saale-Kaltzeit	ggf. glazifluv. Sedimentation
Till [2], ggf. Sande	6–9 m	Mittl. Saale-Vereisung	glazigene Sedimentation, ggf. glazifluv. Sedimentation
Sande	1–2 m	Ältere / Mittl. Saale	glazifluv. Sedimentation
Till [1]	> 5 m	Ältere Saale-Vereisung	glazigene Sedimentation

Frost-/Eiskeilbildung überprägten glazialtektonischen Klüften vorhanden waren. Die Orientierung der Rinnen-Polygone wurde durch die glazialtektonische Vorzeichnung des Bereiches beeinflusst, worauf das Ansetzen der Strukturen an der Basis der Rinnen-Polygone hindeutet. Das bedeutet, dass die Rinnen-Polygone bevorzugt im Bereich des vorhandenen Kluftnetzes gebildet worden sind. Als Arbeitshypothese wird daher eine „endogene“ Initialisierung der Strukturen favorisiert.

Die zentralen Spaltenfüllungen mit Sand reichen, wie bereits erwähnt, bis an die Sohle der Rinnen-Polygone. Hierbei könnte es sich um die Kontaktbereiche zu den Klüften im Till handeln. Diese kommen naturgemäß nicht in allen Netzteilen vor, da die Klüfte nur Teile des Netzes „abdecken“. Auch dieses spricht für eine hydraulische Aktivität der Klüfte. Der linienhafte Grundwasseraustritt entlang des glazitektonischen Kluftnetzes könnte zur Bildung der sandigen Spaltenfüllungen geführt haben, die im Zentralbereich einiger Rinnenstrukturen verlaufen. Das sandige, heute – anthropogen bedingt – durch Ausfällung von Eisen und organischen Stoffen intensiv rot gefärbte Material, könnte aus dem Bereich des ersten bedeckten Grundwasserleiters ausgetragen worden sein – also eine späte Phase des Grundwasserzutritts über die glazitektonischen Klüfte darstellen oder aus sandigen Ablagerungen oberhalb des Tills stammen. Andererseits ist bei den Spaltenfüllungen eine Bildung als Eiskeil- oder Frostkeil-Pseudomorphose in einer späteren Phase ebenso denkbar.

Eine Initialisierung einer periglaziären Überprägung, bzw. Sub-Permafrost-Entwässerung durch ein existierendes glazialtektonisch angelegtes Kluftnetz als Hypothese der Genesis der Rinnen-Polygone würde auch erklären, weshalb entsprechende Strukturen bisher nicht beschrieben worden sind. Diese wären an die unmittelbaren Talrandbereiche oder Tal begleitenden Hochflächen gebunden, die zudem glazialtektonisch gestört sein müssen, um

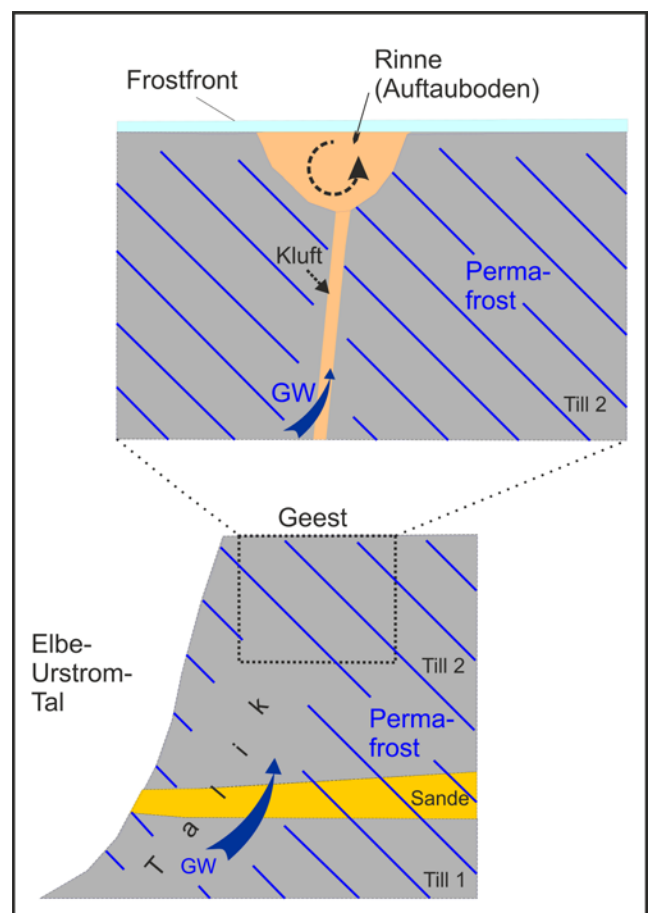


Abb. 9: Schematisierte Zeichnung zu den möglichen Bildungsbedingungen der Rinnen-Bildungen am Rand des Elbe-Urstromtales.

Fig. 9: Scheme showing the possible forming conditions of polygonal channelized structures at the rim of the Elbe spillway. Vgl. Tab. 1.

entsprechende hydraulische Wegsamkeiten zu schaffen. Einen Einfluss von glazitektonisch beeinflussten Standorten auf geomorphologische Formen beschreibt BER (1986), jedoch in einem erheblich größeren Maßstab. Dieser Autor wies ein polygonartiges Netz von Talformen im Nordosten Polens nach, welches er auf die Erosion von glazitektonisch entstandenen, weniger kompaktierten Zonen zurückführt.

5.3 Alternative Entstehungsursachen: Periglaziale Frostmusterböden, Involutionen und Keile

Über Frostmusterböden und Keilstrukturen auf Tilloberflächen und anderen bindigen Sedimenten ist in der Literatur verhältnismäßig wenig berichtet worden. Tatsächlich werden periglaziäre Strukturen bevorzugt in feinkörnigen Ablagerungen, darüber hinaus in schlecht entwässerten Bereichen, gebildet. Nach FRENCH (2007) ist die Tatsache, dass in der Literatur häufiger Eiskeil-Pseudomorphosen in sandigen Ablagerungen beschrieben werden, auf die bessere Erhaltungsfähigkeit der Strukturen in diesem Wirtsgestein beim Abtauen des Permafrostes zurückzuführen. Keil-Bildungen sind demnach Bereiche bevorzugter Erosion und Rutschmassenbildung in der Degradationsphase des Permafrostes („Mollisol“, vgl. EISSMANN 1978).

JOHNSON (1959) zeigt taschenförmige, mit sandig-kiesigem Material gefüllte Gebilde, angelegt in sandig-kiesigem Material, die auf Kryoturbation und Solifluktion zurückgehen. Diese sind jedoch deutlich größer und unregelmäßiger ausgebildet als die Strukturen in Wedel. MÖRNER (1972) und HUMLUM (1978) beschreiben „Till-Keile“ (till-wedges) aus Schweden und Dänemark, die subglazial in Reibungsklüften an der Basisfläche eines Tills gebildet werden und meist in sandigem Material angelegt sind. Diese Strukturen weisen jedoch eine deutliche horizontale Komponente auf und sind unregelmäßig geformt.

Teilweise sind Ähnlichkeiten der hier beschriebenen Strukturen mit „Frosttaschen“, bzw. „Lehmsträngen“ (STEGER 1944, LIEDTKE 1957/58, GOLTE & HEINE 1974, EISSMANN 1981) vorhanden, die am Niederrhein und in der Leipziger Bucht beobachtet wurden. Bei diesen handelt es sich um „1–3, maximal 5 m breite und 1–2, maximal 3 m mächtige, schwere Körper aus kiesigem Lehm und Schluff...“ (EISSMANN 1981). Sie können netzartig verbunden sein. Diese auch als „Riesen-Eiskeilnetze“ bezeichneten Strukturen werden jedoch eher taschen-, als rinnenartig beschrieben. Zudem weicht ihre Füllung von den hier beschriebenen Rinnen-Polygonen ab, da diese heterogener aufgebaut ist. Insgesamt weist ihre Form und Füllung in Richtung Kryoturbation, die unregelmäßige Form deutet auf eine Bildung während des Zerfalls des Permafrostbodens hin. Ähnlichkeiten mit den Strukturen aus Wedel sind gegeben in Bezug auf die Größe der Formen und das Vorkommen in bindigem Substrat, wenngleich sie nicht in Till eingeschnitten sind.

DEWERS (1934) dokumentierte taschenförmige Strukturen mit feinsandiger Füllung in tonigem Schluffsand (Osterholz-Scharnbek) sowie Taschenböden mit feinsandiger Füllung in Till (Haselünne), die allerdings im Vergleich zu den hier beschriebenen Strukturen deutlich unregelmäßiger geformt sind und vom Autor als Stauchungsstrukturen interpretiert werden. LASKOWSKA (1960) beschreibt unregelmäßige, topfförmige Taschenbildungen, die mit gut bis

schlecht sortierten Sanden gefüllt sind. Sie sind demnach als Kontraktionsstrukturen mit Überformung durch Kryoturbation zu interpretieren. Diese sind jedoch sehr unregelmäßig geformt und bevorzugt punktuell ausgebildet, im Gegensatz zu den hier beschriebenen Formen, die linienhaft und regelmäßig auftreten. JOHNSON (1963) zeigt rundlich-konzentrische, „muschelförmige“ Strukturen (Sandlagen in Ton), die als Frostaschen interpretiert werden. Eine erosiv gekappte derartige Struktur hätte Ähnlichkeit mit den Rinnen-Polygonen in Wedel. Diese „Sandbälle“ sind jedoch stark intern gegliedert und treten unregelmäßiger verbreitet auf als die Strukturen in Wedel. SOLOVIEV (1973) bearbeitete 2–5 m große Depressionen, die auf Kryokarst zurückgehen, AKERMAN (1981) Thermokarsthohlformen auf Spitzbergen. Auch diese Strukturen haben nur oberflächliche Ähnlichkeit mit den hier diskutierten Rinnen-Polygonen.

Bei den hier beschriebenen Formen handelt es sich offenbar nicht um Keilstrukturen. Dennoch ist teilweise eine gewisse Ähnlichkeit mit den in der Literatur beschriebenen, in Teilen basal rundlich geformten Eis-/Frostkeilstrukturen vorhanden. Zudem sind Keilstrukturen oft an Polygonnetze gebunden, die auch in Wedel beobachtet werden können. Daher werden bei der vorliegenden Diskussion Keilstrukturen beim Vergleich mit berücksichtigt. LEFFINGWELL (1915) beschreibt breite Eiskeil-/Frostspaltenformen in Alaska. ROMANOVSKIJ (1973) bearbeitet verschiedene Eiskeil-Typen, die eine rundliche Ausformung am unteren Ende aufweisen. Diese sind teilweise in Löss-artigen Sedimenten angelegt und mit Schluff gefüllt. GHYSELS & HEYSE (2006) beschreiben kompliziert zusammengesetzte Keilstrukturen in Flandern / Belgien. Hier wurden auch lang gestreckte, topfförmige Strukturen gefunden. Die dort beschriebenen Formen werden als Frostrisse interpretiert. Es ist eine generelle Ähnlichkeit mit den in Wedel gefundenen Strukturen erkennbar, jedoch weisen sie im Vergleich zu den hier beschriebenen Formen eine unregelmäßigere Form sowie eine heterogenere und laminierte Füllung auf. Die Anlage der belgischen Formen erfolgte in bindigen Ablagerungen, die allerdings in Bezug auf die Konsistenz deutlich von dem Till in Wedel abweicht.

VANDEBERGHE (1992) bearbeitete Eiskeilnetze auf Ton-sedimenten in den südlichen Niederlanden. VANDEBERGHE & KROOK (1981) zeigen kyoturbat überformte obere Teile von Eiskeilpseudomorphosen, die eine rundliche Gestalt aufweisen. Auch die hangenden Dezimeter der Eiskeile von Lieth (GRUBE 2007) weisen eine deutliche Verbreiterung und kryoturbate Überformung auf. LAKOWSKA (1960) beschreibt ein polygonales Netz auf Till in einem Talbereich bei Gabin (Polen). Die zu dem länglichen, pentagonal geformten Netz gehörenden Spalten sind je nach Position netzförmig ausgebildet. Sie weisen ebenfalls rundliche Formen auf. Einfache Strukturen, d. h. periglaziäre Eiskeile/Frostrisse sowie Trockenrisse, wurden meist als fossile Formen von BALLANTYNE & MATTHEWS (1983) auf Till in Norwegen, von LAGERLUND (1980) und SVENSSON (1987) auf Till in Südschweden, von DZIEREK & STAŃCZUK (2006) auf geringmächtigem, sandbedecktem Till in Ost-Polen sowie von KABALA & ZAPART (2009) auf marinen Feinsanden (raised shore) in Spitzbergen, von BLACK (1973) auf Till in der Antarktis (Victoria Land) sowie von KATASONOV

(1973a, b) auf lössartigen Sedimenten an der Mittleren Lena beschrieben. WALTERS (1994) untersuchte Spaltenbildungen in Iowa (USA), die partiell in Till-Material angelegt waren. Diese sind teils aus einer sehr heterogenen Füllung aus meist sandigem sowie bindigem Material, teilweise mit horizontal gelagerten Sanden gefüllt. Die äußere Form der Spaltenbildungen ist sehr unregelmäßig und die Unterkante liegt teilweise gerundet vor. Sie weisen eine durchschnittliche Breite von ca. 100 cm sowie eine Tiefe von ca. 185 cm auf. VANDENBERGHE (1983) beschreibt rundliche Involutionsformen, die unabhängig von Eiskeilpseudomorphosen gebildet wurden. All diese Strukturen weisen deutliche Unterschiede zu den hier vorgestellten Formen auf.

Auch in Deutschland wurden entsprechende Arbeiten durchgeführt. WORTMANN (1956) dokumentiert Eiskeilnetze in Geschiebelehm im Münsterland, SOERGEL (1936) in bindigem Material (Löss, Lehme) in Mitteldeutschland. BACKHAUS (1970) belegt ein mit Löss gefülltes, teilweise rechtwinkliges Eiskeilnetz in Tonschiefern des Lias im Bereich Göttingen-Kassel. In Norddeutschland bearbeiteten u. a. DÜCKER (1954), ARNOLD (1955), PICARD (1956) und BLUME, HOFFMANN & PACHUR (1979) Eiskeile sowie zugehörige Strukturen. LIEDTKE (1957/58) beschreibt Eiskeile in Geschiebedecksand und Till im südöstlichen Brandenburg (Bornow), in Tonsedimenten bei Plau (Mecklenburg-Vorpommern) sowie an weiteren Standorten. Die oberen Bereiche des miozänen Glimmertons von Groß Pampau zeigen bis zu mehr als 15 m tief reichende Eiskeile (vgl. HÖPFNER 2014). Keilförmige Strukturen konnten vom Autor im Rahmen der Landesaufnahme auch auf den freigelegten Till-Flächen des Gewerbegebietes Süd in Elmshorn/Grauer Esel (Neubau Möbelhaus Kibek 2005) und Bönningstedt (Neubau Fa. Krümet 2005) dokumentiert werden. Diese waren dort jedoch nicht regelmäßig polygonartig vergesellschaftet. Regelmäßige Polygonnetze in Till der mittleren Saale wurden in Itzehoe-Süd (Bau der Autobahnüberführung BAB23 – Abfahrt Itzehoe-Süd 2012) dokumentiert. Bei all diesen Formen handelt es sich jedoch um tiefreichende, keilförmige Strukturen, die meist mit sandigem bis bindigem Material verfüllt sind. Frostkeile, bzw. Eiskeilnetze auf mächtigen Geschiebedeck- und Flugsanden sowie Solifluktionmaterial werden weiterhin von HASSENFLUG (1988, 2013) aus Tinningstedt-Neulandshof und weiteren Standorten beschrieben. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass einige der o. g. in der Literatur beschriebenen Strukturen rundliche Ausformungen aufweisen können. All diese Formen sind jedoch i. d. R. eindeutiger vertikal-langgestreckt ausgebildet. Ihre Füllung ist zudem überwiegend heterogen und unterscheidet sich deutlich von ihrer Umgebung. Sie sind somit nicht mit den in Wedel dokumentierten Strukturen identisch.

Denkbar ist auch eine Teilerhaltung von Kryoturbationsformen im Till. Die oberen Teile einer entsprechenden Bildung (vgl. Abb. in VANDENBERGHE 1992) wären dann erodiert worden. Diese wäre allerdings auch dann noch rundlicher und nicht so deutlich rinnenförmig ausgebildet, wie die Formen in Wedel. Zudem müssten mächtigere Teile des Tills abgetragen worden sein. Hiergegen spricht jedoch die polygonale Verbreitung der Rinnen gegenüber einer i. d. Regel flächenhaften Ausbildung von Kryoturbationen. Außerdem wäre eine Erosionsfläche ggf. weniger flach ausgebildet.

5.4 Alternative Entstehungsursache: Bildung als subaerische Struktur

Generell kann es zu einer Rinnenbildung in Polygonmustern kommen (u. a. EISSMANN 1981, FRENCH 2007), wenn beim Austauen von Eiskeilen ein Volumensverlust eintritt. Wenngleich damit gerechnet werden muss, dass die heute weitgehend geschlossenen und nur mm bis wenige cm breiten Klüfte im Geschiebemergel im Sinne eines Eiskeils ehemals weiter geöffnet gewesen sein könnten, kann das hierdurch gebildete Volumen jedoch nicht annähernd die Ausmaße der Rinnen-Polygone in Wedel erhalten haben.

Eine Anlage der Rinnen-Polygone als periglaziär-subaerische Bildung, bei der eine Hohlform gebildet wird, die anschließend wieder vollständig verfüllt wurde, ist schwer vorstellbar, vorwiegend wegen der polygonal-strangförmigen Form der Rinnen-Polygone. GRUBE (2011) beschreibt periglaziäre Rinnenstrukturen, die deutlich größer sowie sehr viel heterogener im Aufbau sind und die durch erosiv-gravitativ Abtragungs- bzw. Massenverlagerungs-Prozesse entstanden sein dürften. Die Strukturen in Wedel sind im Vergleich dazu ausgesprochen symmetrisch geformt und mit verhältnismäßig homogenem Material (aufgearbeiteter Till) verfüllt. Eine subaerische Bildung hätte eine Ausräumung und eine anschließende Verfüllung bewirkt, die in jedem Fall deutlich heterogener aufgebaut wäre. Prinzipiell kommt eine Bildung der Strukturen auch als Ergebnis von Hangrutschungen, im Zusammenhang mit Toteisbildungen (kettle cracks, vgl. BLACK 1976) oder als Trockenrisse in Frage. Dieses erscheint jedoch aufgrund des Verlaufes der verzweigten Rinnen-Polygone, der rundlichen Basisfläche und der homogenen Füllung der Strukturen als unplausibel.

6 Ausblick

Es ist davon auszugehen, dass die schnelle Abdeckung der Rinnen-Polygone in Wedel durch fluviatile und äolische, saalezeitliche Sande, ggf. auch der Einfluss von Permafrost, die Erhaltung der Formen ermöglicht hat. Weitere Einzelheiten zur Genese, z. B. eine Orientierung des glazitektonischen Kluftnetzes und die räumliche Verbreitung der Strukturen sollten bei zukünftigen Aufschlüssen am Standort Wedel auch durch geophysikalische Methoden näher untersucht werden. OSL-Datierungen wären zur Klärung der stratigraphischen Einordnung der hangenden Sande im Untersuchungsgebiet wünschenswert.

Danksagung

Der ExxonMobil sei für die Genehmigung zur Publikation der Untersuchung gedankt. Danken möchte ich zudem Frau Dr. C. Kabel-Windloff (LLUR), Frau S. Weik (Fachdienst Umwelt des Kreises Pinneberg), Herr G. Seggelke (Stadt Wedel/Holst.), Herrn S. Seifert (Fa. ARCADIS), Herrn J. Gawenda (Ingenieurbüro ETB Nord) und Herrn A. Klotz (ExxonMobil-Einheit Global remediation) für die Unterstützung bei den Feld-Aufnahmen und Daten-Auswertungen. Herrn Dr. T. Vollmer † (BGW, Hamburg), Herrn K. Schelkes (BGR, Hannover) und Frau C. Siegert (Zittau) danke ich für Hinweise zu vergleichbaren Standorten und Literatur. Herrn W. Lininsch (LLUR) danke ich für die

Übersetzungshilfe bei der russischen Literatur. Herrn Prof. J. Vandenberghe (VU University Amsterdam) sowie einem weiteren Reviewer danke ich für die Durchsicht des Manuskriptes und kritische Bemerkungen. Die Arbeiten wurden vom Autor im Rahmen seiner Tätigkeit beim Geologischen Dienst Schleswig-Holstein (LLUR) durchgeführt.

Literatur

- AKERMAN, J. (1981): Studies on Periglacial Geomorphology in West Spitsbergen. – Meddelanden fran Lunds Universitets Geografiska Institution, Avhandlingar, 89: 1–297.
- ARNOLD, H. (1955): Ein aufgedecktes wärmzeitliches Frostspalten-Polygonnetz bei Gütersloh. – Zeitschrift deutsche Geologische Gesellschaft, 105: 137.
- BACKHAUS, E. (1970): Baugeologie der Lockergesteine (Mittelgebirge, Alpenvorland, Niederrhein). – Grundbautaschenbuch, 1: 55–108.
- BALLANTYNE, C. K. & MATTHEWS, J. A. (1983): Desiccation Cracking and Sorted Polygon Development, Jotunheimen, Norway. – Arctic and Alpine Research, 15 (3): 339–349.
- BER, A. (1987): Glaciotectonic deformation of glacial landforms and deposits in the Suwalki Lakeland (NE Poland). – In: INQUA Symposium on the Genesis and Lithology of Glacial Deposits, Amsterdam, 1986: Tills and Glaciotectonics / ed. by J.J.M. van der Meer. – Rotterdam (Balkema), S. 135–143.
- BIG – Prof. BURMEIER Ingenieurgesellschaft mbH (2009): Mineralölwerk Wedel Sanierungsplan. – Bericht i. A. der Stadt Wedel / Holst., 103 S., Gehrden [unveröff.].
- BLACK, R. F. (1973): Growth of patterned ground in Victoria Land, Antarctica, in Permafrost. – North American Contribution to the second International Conference, Yakutsk, USSR, National Academy Press, Washington DC, S. 193–203.
- BLACK, R. F. (1976): Periglacial features indicative of permafrost: ice and soil wedges. – Quaternary Research, 6: 3–26.
- BLUME, H.-P., HOFFMANN, R. & PACHUR, H.-J. (1979): Periglaziäre Steining- und Frostkeilbildungen norddeutscher Parabraunerden. – Zeitschrift Geomorphologie, Neue Folge, Supplement-Band, 33: 257–265.
- CEDERSTROM, D. J., JOHNSTON, P. M. & SUBITZKY, S. (1953): Occurrence and development of ground water in permafrost regions. – Geological Survey Circular 275: 130, Washington D.C.
- DELISLE, G., CASPERS, G. & FREUND, H. (2003): Permafrost in north-central Europe during the Weichselian: how deep? – Permafrost: proceedings of the 8th International Conference on Permafrost; S. 187–192, Balkema.
- DEWERS, F. (1934): Kritische Betrachtungen zur Frage der Beschaffenheit und Entstehung der Taschenböden. – Abhandlungen der Bremer wissenschaftlichen Gesellschaft, 8/9: 306–330.
- DÜCKER, A. (1954): Die Periglazial-Erscheinungen im holsteinischen Pleistozän. – Göttinger Geographische Abhandlungen, 16: 5–54 + Anhang.
- DZIEREK, J. & STAŃCZUK, D. (2006): Record and palaeogeographical implications of Pleistocene periglacial processes in the Drohiczyn Plateau, Podlasie Lowland (Eastern Poland). – Geological Quarterly, 50 (2): 219–228.
- EISSMANN, L. (1978): Mollisoldiapirismus. – Zeitschrift angewandte Geologie, 24 (3): 130–138.
- EISSMANN, L. (1981): Periglaziäre Prozesse und Permafroststrukturen aus sechs Kaltzeiten des Quartärs. – Altenberger Naturwissenschaftliche Forschungen, 1: 1–127, Anhang.
- FRENCH, H. M. (2007): The Periglacial Environment. – 458 S., 3. Aufl., Chichester (Wiley & Sons).
- GHYSELS, G. & HEYSE, I. (2006): Composite-wedge pseudomorphs in Flanders, Belgium. – Permafrost and Periglacial Processes, 17: 145–162.
- GOLTE, W. & K. HEINE (1974): Fossile Riesen-Eiskeilnetze am Niederrhein. – Eiszeitalter und Gegenwart, 25: 132–140.
- GRUBE, A. (2007): Zur Struktur und Entstehung von Eiskeil-Großformen in Lieth / Elmshorn (Schleswig-Holstein). – E&G Quaternary Science Journal, 56 (4): 283–294.
- GRUBE, A. (2008): Ehemaliges Mineralöl-Werk Wedel der ExxonMobil - periglaziäre und glazialtektonische Strukturen. – Interner Bericht, Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein; 10 S. + Anhang [unveröff.].
- GRUBE, A. (2011): Zur periglaziären Überformung und der Bildung rinnenartiger Strukturen im Jungmoränen-Gebiet Süd-Holsteins. – E&G Quaternary Science Journal, 61 (1): 69–83.
- GRUBE, F. (1962): Die Geologie des Schulauer Ufers an der Untereibe. – In: RUST, A. & STEFFENS, G. (1962): Die Artefakte der Altonaer Stufe von Wittenbergen: eine mittelpleistozäne Untergruppe der Heidelberger Kulturen. – Neumünster: Wachholtz, Offa-Bücher, 17: 14–24.
- GRUBE, F. (1981): The Subdivision of the Saalian in the Hamburg Region. – Meddelingen – Rijks Geologische Dienst, 34-4: 15–25, Haarlem.
- HALLIK, R. (1957): Material zur Vegetationsentwicklung während der Eem-Warmzeit in Nordwestdeutschland. – Mitteilungen Geologisches Staatsinstitut Hamburg, 26: 31–38
- HASSENPFUG, W. (1988): Polygonmuster auf der Schleswiger Geest. – Geographische Rundschau, 40 (5): 27–32.
- HASSENPFUG, W. (2013): Zu Verbreitung und Erscheinungsformen von Polygonmustern in Schleswig-Holstein – eine luftbildgestützte Erfassung. – Natur- und Landeskunde, 120 (4–6): 49–67.
- HÖPFNER, G. (2014): Aus der Urzeit aufgetaucht. – Berichte des Museums für Natur- und Umwelt und des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Lübeck 2a, 182 S, Lübeck.
- HUMLUM, O. (1978): A large till wedge in Denmark: implications for the subglacial regime. – Bulletin Geological Society Denmark, 27: 63–71
- JOHNSON, G. (1959). True and false ice-wedges in southern Sweden. – Geografiska Annaler, 41: 15–33.
- JOHNSON, G. (1963): Periglacial Phenomena in Southern Sweden. – I. Stratigraphy. – Lund studies in geography, A21: 378–404.
- KABALA, C. & ZAPART, J. (2009): Recent, relic and buried soils in the forefield of Werenskiöld Glacier, SW Spitsbergen. – Polish Polar Research, 30 (2): 161–178.
- KATASONOV, E. M. (1973a): Classification of frost-caused phenomena with references to the genesis of the sediments in central Yakutia. – Biuletyn Peryglacjalny, 23: 71–80.
- KATASONOV, E. M. (1973b): Present-day ground- and ice veins in the region of the Middle Lena. – Biuletyn Peryglacjalny, 23: 81–89.
- KOVALENKO, V. Ya. (1964): The subpermafrost water of the right bank of the upper basin of the Bol'shaya Anyui. – Material on the geology and minerals of the N.E. USSR, 17: 190–9. Magadan.
- LAGERLUND, E. (1980): Litostratigrafisk indelning av Västsåkånes Pleistocene och en ny glaciationsmodell for Weichsel. – University of Lund, Department of Quaternary Geology, Report nr. 21: 1–120.
- LASKOWSKA, W. (1960): Fossil polygonal structures in boulder clay. – Biuletyn Peryglacjalny, 7: 177–179 + Abb., Lodz.
- LEFFINGWELL, K. (1915): Ground Ice-Wedges. The dominant form of ground ice on the north coast of Alaska. – Journal of Geology, 23: 635–654.
- LIEDTKE, H. (1957/58): Frostbodenstrukturen aus dem norddeutschen Jungmoränengebiet. – Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe, VII (3): 359–376.
- MÖRNER, N.-A. (1972): The first report on till wedges in Europe and Late Weichselian ice flows over southern Sweden. – Geologiska Föreningens Förhandlingar, 94: 581–587, Stockholm.
- NITSCHKE, J. (2012): Geologie und Hydrogeologie des Bereiches östliches Wedel / Hamburg Rissen. – Diplomarbeit (Teile I u. II), 83 S., Anhang; Dept. Geowiss., Hamburg [unveröff.].
- PICARD, K. (1956): Eiskeile bei Kellinghusen (Mittelholstein). – Neues Jahrbuch Geologie Paläontologie, Monatshefte, 1956: 365–373.
- ROMANOVSKIJ, N. N. (1973): Regularities in formation of frost-fissures and development of frost-fissure polygons. – Biuletyn Peryglacjalny, 23: 237–277.
- SOERGEL, W. (1936): Diluviale Eiskeile. – Zeitschrift deutsche Geologische Gesellschaft, 88: 223–247
- SOLOVIEW, P. A. (1973): Thermokarst phenomena and landforms due to frost heaving in central Yakutia. – Biuletyn Peryglacjalny, 23: 135–155.
- STEEGER, A. (1944): Diluviale Frostbodenerscheinungen am Niederhein. – Geologische Rundschau 34: 520–538.
- STEPHAN, H.-J. (1995): Schleswig-Holstein. – In: BENDA, L. [Hrsg.]: Das Quartär Deutschlands: S. 1–22, Berlin-Stuttgart (Borntraeger).
- SVENSSON, H. (1987): Ice-wedge casts in an early deglaciated area of southern Sweden. – Geografisk Tidskrift, 87: 12–19.
- VANDEBERGHE, J. (1983): Some periglacial phenomena and their stratigraphical position in Weichselian deposits in the Netherlands. – Polarforschung, 53 (2): 97–107.
- VANDEBERGHE, J. (1992): Cryoturbations: A Sediment Structural Analysis. – Permafrost and Periglacial Processes, 3: 343–352.
- VANDEBERGHE, J. & KROOK, L. (1981): Stratigraphy and genesis of Pleistocene deposits at Alphen (southern Netherlands). – Geologie en Mijnbouw, 60: 417–426.

- VAN WEERT, F.H.A., VAN GIJSEL, K., LEIJNSE, A. & BOULTON, G.S. (1997): The effects of Pleistocene glaciations on the geohydrological system of Northwest Europe. – *Journal of Hydrology* 195: 137–159.
- WALTERS, J. C. (1994): Ice-Wedge Casts and Relict Polygonal Patterned Ground in North-East Iowa, USA. – *Permafrost and Periglacial Processes*, 5: 269–282.
- WASHBURN, A. L. (1979): *Geocryology – a survey of periglacial processes and environments*. – London (Edward Arnold Press).
- WILKE, H. (1984): Zur Geologie des Raumes Altona, Blankenese, Tinsdal im Westen Hamburgs. – *Mitteilungen Geologisch-Paläontologisches Institut Universität Hamburg*, 57: 91–121.
- WILKE, H. & EHLERS, J. (1984): The thrust moraine of Hamburg-Blankenese. – In: EHLERS, J. (Hrsg.): *Glacial Deposits in North-West Europe*. – S. 331–333, Rotterdam (Balkema).
- WOLFF, W. (1913): *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Blatt Wedel*. – Bearb. von SCHRÖDER, H., STOLLER J. & WOLFF, W.; KÖNIGL. PREUSS. GEOL. LANDESANSTALT [Hrsg.], Berlin, 37 S. + Anhang.
- WORTMANN, H. (1956): Ein erstes sicheres Vorkommen von periglazialen Steinnetzböden im Norddeutschen Flachland. – *Eiszeitalter & Gegenwart*, 7 (1): 119–126.
- YERSHOV, E. D. (1998): *General Geocryology*. – 580 S., Cambridge (Cambridge University Press).

Chronostratigraphy of the *Hochterrassen* in the lower Lech valley (Northern Alpine Foreland)

Patrick Schielein, Gerhard Schellmann, Johanna Lomax, Frank Preusser, Markus Fiebig

How to cite:

Schielein, P., Schellmann, G., Lomax, J., Preusser, F., & Fiebig, M. (2015): Chronostratigraphy of the *Hochterrassen* in the lower Lech valley (Northern Alpine Foreland). – E&G Quaternary Science Journal, 64 (1): 15–28. DOI: 10.3285/eg.64.1.02

Abstract:

Hochterrassen (High or Higher Terraces) are a prominent geomorphological feature of the Northern Alpine Foreland and have traditionally been attributed to the Rissian glaciation. However, distinct morphological sublevels observed for this feature have often raised the question of their age. This issue is exemplarily investigated here on the *Langweider* and *Rainer Hochterrassen* in the lower Lech valley using different relative and numerical dating techniques. The lowest sublevel, the *Übergangsterrasse* is only preserved in small patches at the western rim of the *Rainer Hochterrasse* and is most probably of early Würmian age. The sublevel of the *Jüngere Hochterrasse* is older than the Last Interglacial, as indicated by luminescence ages of an overlying loess/palaeosol sequence and the development of a Luvisol on top of the terrace gravel. This terrace is composed of stacked gravel units that represent at least two accumulation phases correlating with Marine Isotope Stage (MIS) 6 for the top gravel and MIS 7 to MIS 10 (or older) for the basal gravel. It is not yet clear, if the deposition of the basal gravel unit corresponds to one or more aggradation phases during the Middle Pleistocene. The highest sublevel, the *Ältere Hochterrasse* also shows a composition of two stacked gravel units but so far, no numerical ages have been achieved for these units.

Chronostratigraphie der Hochterrassen im unteren Lechtal (Nördliches Alpenvorland)

Kurzfassung:

Hochterrassen sind eine im nördlichen Alpenvorland weit verbreitete geomorphologische Form, denen traditionell eine Entstehung während der Riss-Kaltzeit zugeordnet wird. Allerdings sind oftmals unterschiedliche Terrassenniveaus innerhalb der Hochterrassen zu beobachten, deren Altersstellung noch unbekannt ist. Dieses Thema wird hier am Beispiel der Langweider und Rainer Hochterrassen im unteren Lechtal mit Hilfe relativer und numerischer Datierungsmethoden untersucht. Das morphologisch tiefste Teilniveau, welches nur am westlichen Rand der Rainer Hochterrasse erhalten ist, stellt höchstwahrscheinlich eine frühwürmzeitliche Übergangsterrasse dar. Das nächsthöhere Niveau der Jüngeren Hochterrasse muss älter sein als das letzte Interglazial. Dafür sprechen die warmzeitliche Parabraunerde, die in Resten am Top des Terrassenkörpers erhalten ist, und die würmzeitliche Lössdeckschicht, welche durch Lumineszenzmessungen und Paläoböden datiert werden kann. Die Jüngere Hochterrasse besteht aus zwei gestapelten Kieskörpern, welche mindestens zwei Akkumulationsphasen zugeordnet werden können. Der hangende Kieskörper entstand während der Sauerstoff-Isotopenstufe (MIS) 6 und der liegende Kieskörper zwischen MIS 7 und MIS 10 (oder älter). Es ist jedoch nicht geklärt, in welcher Aufschüttungsperiode während des Mittelpleistozäns die Ablagerung des liegenden Kieskörpers stattfand. Das höchste Teilniveau, die Ältere Hochterrasse, zeigt auch eine Stapelung zweier Kieskörper, für diese liegen aber bisher keine numerischen Altersdaten vor.

Keywords:

Hochterrassen, Middle Pleistocene, Northern Alpine Foreland, fluvial terraces, luminescence dating

Addresses of authors: P. Schielein, G. Schellmann, Department of Geography, University of Bamberg, Am Kranen 1, 96045 Bamberg, Germany. E-Mail: patrick.schielein@uni-bamberg.de; J. Lomax, Department of Geography, Justus-Liebig-University Giessen, Senckenbergstr. 1, 35390 Giessen, Germany. F. Preusser, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Albertstr. 23-B, 79104 Freiburg i. Br., Germany. M. Fiebig, Institute of Applied Geology, University of Natural Resources and Life Sciences, Peter Jordan-Str. 70, A-1190 Vienna, Austria.

1 Introduction

The northern foreland of the Alps is characterised by prominent flights of fluvial terraces that are found parallel to most of the river systems. PENCK and BRÜCKNER (1901–1909) observed that some of these terraces are connected to terminal moraine ridges and concluded that the different terrace levels are representing glacial advances of different age. From this evidence, four glaciations of the foreland have been deduced, named (from old to young) Günzian, Mindelian, Rissian and Würmian. Later, two older glaciations, Danu-

bian (EBERL 1930) and Biberian (SCHAEFER 1957), have been inferred from river terraces located at higher levels. While for many decades this stratigraphic system has acted as global frame of reference, evidence from deep ocean sediments indicates that probably more glaciations occurred during the Quaternary than apparently observed in the Alps. The term *Hochterrasse* was introduced by PENCK (1884) to describe terraces that are situated 5 to 10 m above the valley floor. PENCK and BRÜCKNER (1901–1909) attributed all *Hochterrassen* to the Rissian, including those not linked to terminal moraines. Interestingly, in several valleys of the

northern Alpine Foreland, the *Hochterrasse* is subdivided into two or three levels (DOPPLER et al. 2011, references therein). This has led to the introduction of the term Rissian complex, but with controversy surrounding the question of how much time this complex may represent. Most probably the lowest *Hochterrassen* levels (“*Übergangsterrasse*” or *transitional terrace sensu* SCHELLMANN 1988; 2010) are of Early or Middle Würmian age, and the oldest *Hochterrassen* deposits have been accumulated quite likely during the third or fourth glaciation before present (Older and Middle Rissian *sensu* DOPPLER et al. 2011). Sometimes, equally elevated *Hochterrassen* deposits are composed of two separate gravel deposits with an interglacial fluvial facies at the base (e.g. “*Hartinger Schichten*” in the Danube valley downstream of Regensburg (SCHELLMANN 1988; SCHELLMANN et al. 2010) and a cold climate *Hochterrassen* deposit *sensu stricto* at the top. The long duration of *Hochterrassen* formation and the various architectures of its deposits have to be taken into account when dating these units.

First attempts to date terrace deposits numerically were made in the middle of the 1990s using luminescence dating methods. At first, dating was focused on the age determination of the Last Glacial loess cover and its palaeosoils on top of *Hochterrassen* deposits in the Northern Alpine Foreland (e.g. MIARA 1996; BECKER-HAUMANN & FRECHEN 1997), which led to a penultimate glacial age estimation of the terrace gravels. FIEBIG & PREUSSER (2003) presented IRSL-data of the *Ingolstädter* and *Neuburger Hochterrassen* in the Danube valley and the *Rainer Hochterrasse* in the Lech valley with ages between 70 and 90 ka and concluded an aggradation of these terraces during the Early Würmian. Initial IRSL dating of *Hochterrassen* deposits from the valleys of Isar, Riss and Iller and from the Kirchner dry valley by KLASEN (2008) indicated ages between MIS 5e and MIS 6 when no fading correction was applied. When correcting these ages for fading, the *Hochterrassen* deposits would be associated with MIS 6–MIS 8. However, as results from fading tests were not straightforward, KLASEN (2008) emphasises the uncertain character of her IRSL ages. She also encountered difficulties dating the quartz fraction, due to instable signal components.

Therefore, a detailed chronology of the *Hochterrassen* deposits in the Northern Alpine Foreland is still lacking. Presented here, is a revised morphological and sedimentological subdivision of *Hochterrassen* in the lower Lech valley as well as a first set of numerical ages, derived from luminescence and ESR dating of the terrace gravels and overlying loess deposits. Thus, this study should provide first results and show the potential to date the *Hochterrassen* and their subdivisions in the lower Lech valley and beyond in the Northern Alpine Foreland.

2 Study area

The study area is located at the lower Lech valley downstream of Augsburg in the Northern Alpine Foreland (Fig. 1). The River Lech has its source in the Northern Calcareous Alps, breaks through the terminal moraines of Würmian and Rissian age and has cut its lower valley, up to 10 km in width, into Tertiary molasse and into the Early Pleistocene terrace flights of the *Iller-Lech-Schotterplatte*. In

the lower Lech valley, *Hochterrassen* with surfaces up to 20 m above the Late Quaternary valley floor are preserved. The latter is comprised of a sequence of Würmian *Niederterrassen* (Lower Terraces) and Holocene terraces.

In particular, the *Langweider Hochterrasse* is preserved west of the River Lech and further north the *Rainer Hochterrasse* is located east of the Lech. The *Langweider Hochterrasse* is bordered by the Late Quaternary Lech valley to the east and the Late Quaternary Schmutter valley to the west. SCHAEFER (1957) and others (SCHEUENPFLUG 1979, 1981; AKTAS & FRECHEN 1991) described the *Langweider Hochterrasse* as a uniform fluvial terrace level without any morphostratigraphic subdivision. However, differences in the petrographic composition of the gravel deposits of the *Langweider Hochterrasse* led to a subdivision into a base and a top unit by SCHAEFER (1957) and by AKTAS & FRECHEN (1991) in the southwest area of the *Langweider Hochterrasse* near the Schmutter valley. There, the base unit contains numerous quartzitic pebbles, whereas the top gravel exhibits a high amount of limestones of alpine origin. SCHEUENPFLUG (1979, 1981) assumed that the base unit is a periglacial gravel deposit of the Schmutter (“*periglazial-fluviatiler Schmutterschotter*”), whereas AKTAS & FRECHEN (1991) postulated a mixture of a Lech/Wertach and a Schmutter facies. Both studies agree in a deposition of the top unit by the River Lech. All mentioned studies assume a deposition of the top unit of the *Langweider Hochterrasse* during the Penultimate Glacial.

The *Rainer Hochterrasse* extends between the Late Quaternary Lech valley to the west and the Danube valley to the north. In the eastern part, the terrace is dissected by the Late Quaternary valley of the *Kleine Paar*. SCHAEFER (1966) subdivided the *Rainer Hochterrasse* morphostratigraphically into four terrace levels (Fig. 6), which developed due to the stepwise relocation of the Danube from the *Wellheimer Trockental* to the recent valley during the Middle Pleistocene (third-last to Penultimate Glacial). This subdivision of the *Rainer Hochterrasse* was largely rejected by KILIAN & LÖSCHER (1979) and TILLMANNS et al. (1982). Petrographic investigations by GRAUL (1943) and TILLMANNS et al. (1982) showed a high amount of Tertiary molasse sediments and reworked pebbles from older fluvial deposits in the eastern part, which were deposited by the *Kleine Paar*. In contrast, alpine limestones dominate the gravel of the western part, which they considered as a Lech facies. KILIAN & LÖSCHER (1979) found an elongated depression at the base of the gravel deposits of the *Rainer Hochterrasse*, which is orientated from SW to NE. Here, gravel thickness increases up to 15 m, whereas outside this depression gravel thickness reaches only up to 10 m. TILLMANNS et al. (1982), for the first time, postulated a subdivision of the gravel deposits of the *Rainer Hochterrasse* into a base and a top unit, which are separated by a horizon of loamy clods (“*Mergelbatzenhorizont*”) with both cold- and warm-climatic molluscs. Whereas previous studies assume an at least penultimate glacial age of the *Rainer Hochterrasse*, FIEBIG & PREUSSER (2003) presented first IRSL data of Early Würmian age. They dated three samples from sand lenses and layers inside the uniform *Hochterrassen* gravels in the area of the 7-m-*Hochterrasse* of SCHAEFER (1966) to 75.5 ± 7.3 ka, 80.2 ± 9.7 ka and 84.1 ± 5.7 ka.

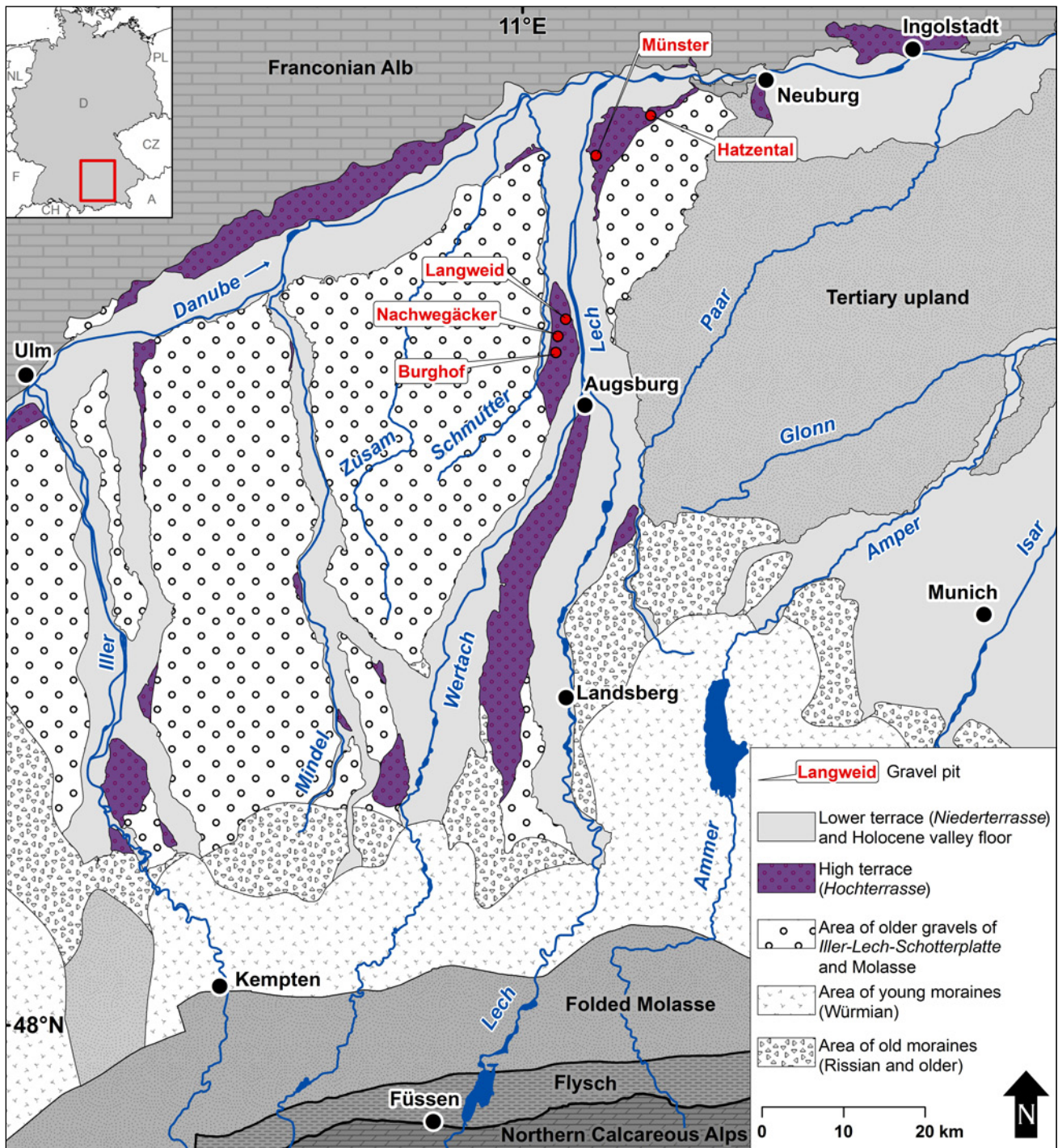


Fig. 1: Geological overview of the western part of the Bavarian Alpine Foreland. Hochterrassen with the location of outcrops mentioned in the text are accentuated. Modified after BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1996).

Abb. 1: Geologische Übersichtskarte des westlichen Bayerischen Alpenvorlands. Hochterrassen und die Lokationen der im Text aufgeführten Aufschlüsse sind hervorgehoben. Verändert nach BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1996).

3 Methods

The distribution and morphology of the *Hochterrassen* were surveyed by field mapping and high resolution Digital Elevation Models (LIDAR data, 2 x 2 m resolution) of the Bavarian State Office for Survey and Geoinformation (Munich). The sedimentology and pedology of the terraces and their cover layers was investigated in three outcrops on the *Langweider Hochterrasse* and in three outcrops on the *Rain-er Hochterrasse* (Fig. 1). For the determination of the matrix content, channel samples of 20 kg weight were taken from

different gravel units and the fine grain fraction (< 2 mm) was separated by sieving.

Moreover, drilling data from the Bavarian Environment Agency and from KILIAN & LÖSCHER (1979) were used for the reconstruction of gravel thickness and overlying aeolian deposits, and for the construction of a base map of the Quaternary deposits (Fig. 4 and 6).

Luminescence dating was carried out at the Institute of Applied Geology, University of Natural Resources and Life Sciences (Vienna). For determination of the equivalent dose (D_e) quartz and feldspar grains (100–200 μm)

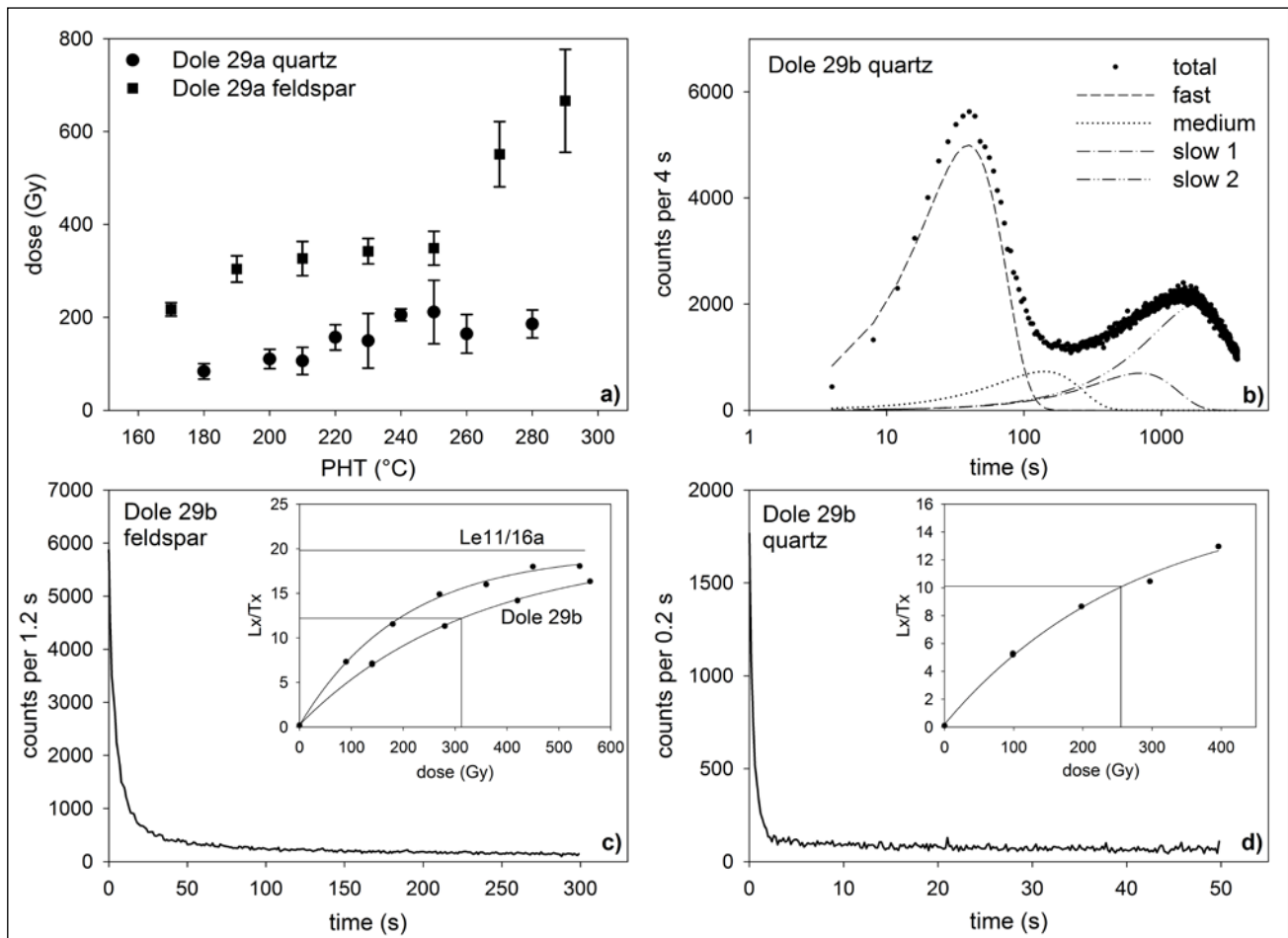


Fig. 2: Luminescence characteristics of the investigated samples. a) Preheat plateau tests of the quartz and feldspar fraction of sample Dole 29a. Both tests were conducted on 8mm discs, using five (quartz) or three (feldspar) aliquots per temperature. For the quartz measurements, the cutheat temperature was set to 20 °C below the preheat temperature (duration 10 s). For feldspar measurements, preheat and cutheat temperatures and durations (10 s) were the same. b) LM-OSL curve of quartz sample Dole 29b and component separation after CHOI et al. (2006). c) IRSL decay curve and growth curve of feldspar sample Dole 29b. The second growth curve is derived from sample Le11/16a, which showed signals near or above saturation. Both curves were fitted with a saturating exponential function, d) OSL decay curve and growth curve of quartz sample Dole 29b. The curve was fitted with a saturating exponential function.

Abb. 2: Lumineszenz-Charakteristika der untersuchten Proben. a) Vorheiz-Plateau-Tests der Quarz- und Feldspat-Fraktion der Probe Dole 29a. Beide Tests wurden an 8mm-Aliquots durchgeführt, mit jeweils fünf (Quarz) bzw. drei (Feldspat) Aliquots pro Temperaturschritt. Bei den Quarz-Messungen wurde die Cutheat-Temperatur auf 20 °C unterhalb der Vorheiztemperatur (Dauer 10 s) gesetzt. Bei den Feldspat-Messungen waren Vorheiz- und Cutheat-Temperatur und -dauer (10 s) identisch, b) LM-OSL-Kurve der Quarzprobe Dole 29b. Das Komponentensplitting wurde nach CHOI et al. (2006) durchgeführt, c) IRSL-Ausleuchtcurve und Wachstumskurve der Feldspatprobe Dole 29b. Die zweite Wachstumskurve stammt von der Feldspatprobe Le11/16a, welche Signale nahe und oberhalb der Sättigung zeigte. Beide Kurven wurden mit einer exponentiellen Sättigungsfunktion gefittet, d) OSL-Ausleuchtcurve und Wachstumskurve der Quarzprobe Dole 29b. Die Kurve wurde mit einer exponentiellen Sättigungsfunktion gefittet.

were extracted from the bulk sediment by physical and chemical laboratory treatment. Between 5 and 37 aliquots (mask size 1 or 2 mm, depending on signal intensity) were measured. Quartz standard measurements were carried out using the SAR protocol of MURRAY & WINTLE (2000, 2003). All measurements were conducted on Risø TL-DA-20 luminescence readers. For stimulation, blue LEDs were used and OSL-emission was filtered through an U340 filter (7.5 mm) For the feldspar fraction a modified SAR protocol following WALLINGA et al. (2000) and BLAIR et al. (2005) was applied including stimulation with IR diodes (50 °C for 300s) and signal detection through a 410 nm interference filter. Typical growth curves and OSL-/IRSL decay curves of the two mineral fractions are shown in Fig. 2c and 2d. Preheat temperatures for both quartz and feldspar were selected according to preheat plateau tests (Fig. 2a). Furthermore, a linear modulated OSL (LM-OSL)

measurement of one quartz sample (Dole 29b) was carried out, in order to investigate the proportion of OSL signal components (Fig. 2b). The measurement and curve separation followed CHOI et al. (2009), using a stimulation time of 3600s (divided into 900 channels of 4 s each), in which the power of the blue LEDs was increased from 0 to 90%. A preheat of 240 °C preceded the LM-OSL measurement, and the natural signal was measured. The LM-OSL curve and the separated components clearly indicate that the signal is dominated by the fast component. This is surprising, as many quartz samples from the northern alpine foreland show only a limited contribution of the fast component (e.g. KLASSEN 2008), and a thermally unstable medium component which may lead to age underestimation (LI & LI 2006, STEFFEN et al. 2009). In our case, this specific quartz sample seems appropriate to be measured with a standard SAR protocol.

U, Th, and K were determined by using laboratory gamma spectrometry on ~900 g of sample material. None of the samples showed signs of radioactive disequilibria in the uranium decay chain. The radionuclide concentrations were converted to dose rates by using conversion factors of ADAMIEC & AITKEN (1998). Cosmic dose rates were calculated based on geographic position and sampling depth below surface (PRESCOTT & HUTTON 1994). The coarse grain feldspar dose rates are based on an estimated internal K-concentration of $12.5 \pm 1.5\%$ (HUNTLEY & BARIL 1997). For sandy samples, water contents of $10 \pm 7\%$ were considered, for loess cover deposits a water content of $15 \pm 7\%$.

The D_c was calculated using the central age model (CAM, GALBRAITH et al. 1999). One sample was tested for fading through a laboratory fading test and yielded a g-value of 3.3. We did not correct our samples for fading, because a) our samples are in the non-linear region of the growth curve, and b) acceptable agreement between quartz and uncorrected feldspar ages of aeolian deposits (DoLe/35) and of fluvial deposits from the Lech valley (SCHIELEIN & LOMAX 2013) in lower age ranges was observed. Still, the

risk of age underestimation by fading of the feldspar signal cannot be ruled out completely. A further concern in fluvial samples is incomplete bleaching, resulting in possible age overestimation. In the study of SCHIELEIN & LOMAX (2013), it was shown that incomplete bleaching may lead to ages, which are overestimated by a few ka when analysing polymineral fine grains, and by less than 1 ka when analysing coarse grain quartz in the same fluvial environment. These small residuals can be relevant for Holocene samples but the effect on Mid Pleistocene samples is likely to be small. The D_c determination of some of the luminescence samples from the *Langweider Hochterrasse* was challenging for other reasons. Here, quartz measurements did not yield any evaluable results due to very dim signals. Furthermore, the IRSL measurements of the oldest samples from the basal gravel unit (Le11/34c, Le11/34b, Le11/34a, Le11/16a) resulted in natural signals, of which the majority lay above all regenerated signals. This is shown for sample Le11/16a in Fig. 2c. These samples require further measurements in order to determine at least reliable minimum ages. At the current stage of the study, we can only consider these sam-

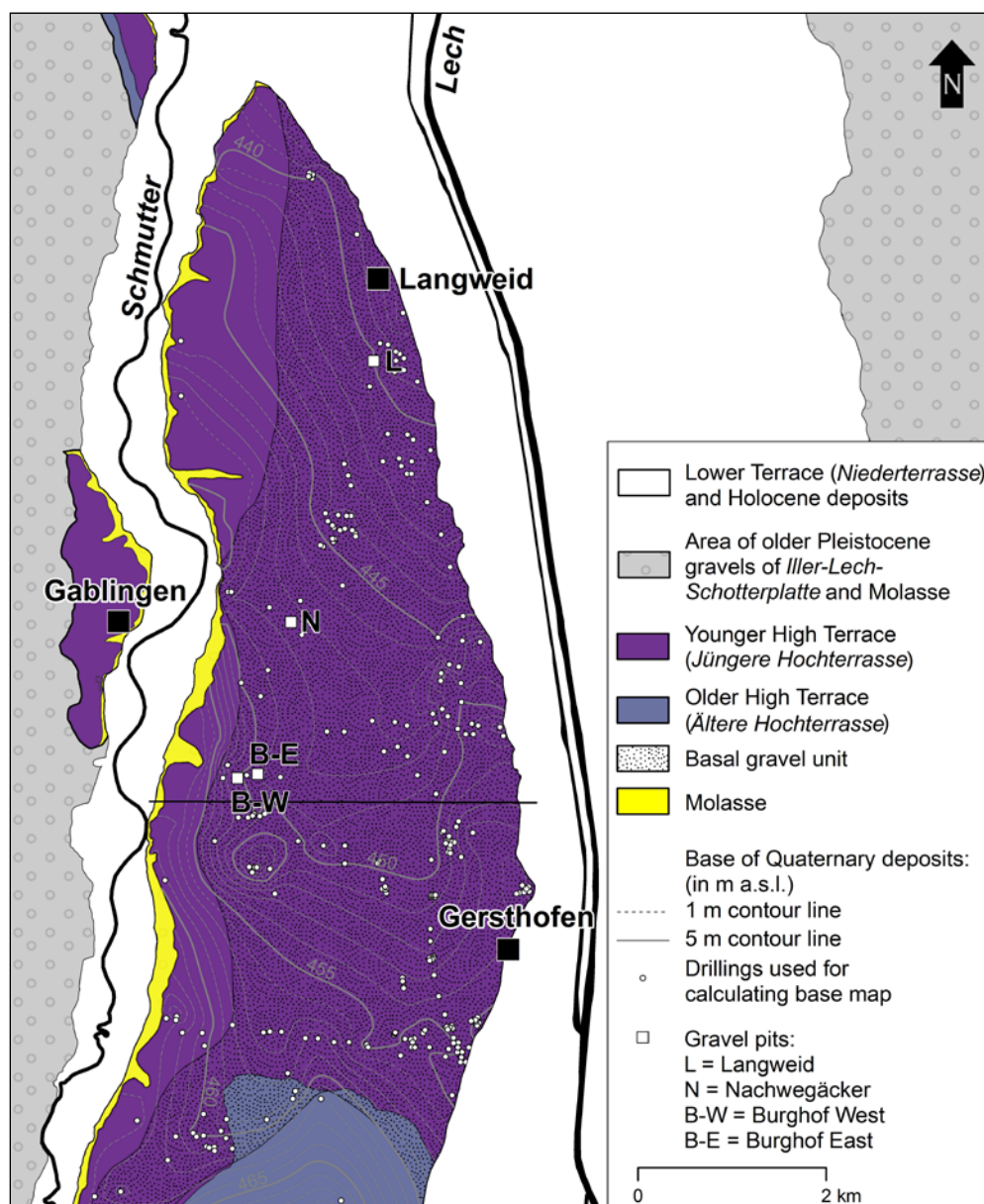


Fig. 3: The Langweider Hochterrasse - morphological subdivision, base of Quaternary deposits, distribution of basal gravel unit and location of outcrops. Stratigraphy of the Langweider Hochterrasse after SCHIELEIN & SCHELLMANN (c, d, in prep.) and SCHELLMANN (a, b, in prep.). The black line indicates the approximate position of the geological cross section (Fig. 8)

Abb. 3: Die Langweider Hochterrasse – morphologische Gliederung, Quartärbasis, Verbreitung des Sockelschotters und Lage der Aufschlüsse. Stratigraphie der Langweider Hochterrasse nach SCHIELEIN & SCHELLMANN (c, d, in prep.) und SCHELLMANN (a, b, in prep.). Die schwarze Linie gibt die ungefähre Lage des geologischen Querprofils (Abb. 8) an.

ples to be older than the samples from the top gravel unit and possibly older than other samples from the basal gravel unit, due to their comparatively high natural signals.

One mollusc shell from a loamy clod inside the base unit of the *Langweider Hochterrasse* was dated by Electron Spin Resonance (ESR). The ESR measurements were conducted at the University of Cologne. The mollusc shell was ground to a particle diameter between 125 and 250 μm . 10 aliquots with a weight of 0.022 g were gamma-irradiated by a ^{60}Co source with dose rates between 17.8 and 445 Gy. ESR intensity was measured using a Bruker ESP 300E spectrometer. The measurement parameters were: 25 mW microwave power, 0.19 G modulation amplitude, 20.972 s sweep time, 40 G scan width, and an accumulation of 30 scans. The D_e value was determined using the program 'fit-sim' by GRÜN (version 1993) and age calculation was carried out with the program Data V.6' by GRÜN (version 1999). The U content of the mollusc shell (0.79 ppm) and the U (2.61 ppm), Th (7.25 ppm) and K (0.97 %) content of the surrounding sediments were determined via ICP-MS at the University of Cologne. The measured water content of the loam lense was 27 %, for the age calculations a water content of 25 ± 5 % was used. For the unlikely case of linear uranium assimilation and higher water contents, the ESR-age would increase.

4 Results

4.1 *Langweider Hochterrasse*

The *Langweider Hochterrasse* can morphologically be subdivided into two differently elevated levels (Fig. 3): a higher and therefore older terrace level in the southern part (*Ältere Hochterrasse*) and an approximately 2 m lower level

(*Jüngere Hochterrasse*) in the central and northern part (cf. SCHIELEIN & SCHELLMANN d, accepted; SCHELLMANN a, accepted). The latter is exposed in several outcrops, whereas no outcrops are present in the area of the *Ältere Hochterrasse*. Concerning the elevation of the base of the fluvial gravel deposits, no differences between both terraces exist. An elongated depression with maximum thickness of fluvial gravel deposits is cut in the Tertiary molasse and is distributed both under the older and the younger level of the *Langweider Hochterrasse* (Fig. 3). In contrast to previous research, which assumed a uniform gravel deposition in most parts of the *Langweider Hochterrasse*, several outcrops in the area of the elongated depression exhibit a subdivision of the fluvial gravel deposits of the *Langweider Hochterrasse*. Here, a well-sorted sandy basal unit with a thickness of up to 10 m is overlain by a coarse gravelly top unit with a thickness between 4 and 8 m. The basal unit is restricted to the area of the elongated depression (Fig. 3).

The subdivision of the *Langweider Hochterrasse* into two sediment units is well exposed in the gravel pit Langweid, which is situated in the northern part of the *Langweider Hochterrasse* near the eastern terrace rim (Fig. 3). Here, the aeolian cover layer of the terrace was anthropogenically removed. The outcrop stretches over a length of more than 50 m, is 8 m high and shows a distinct division of two stacked gravel units in a depth of c. 4–5 m below the surface of the terrace gravels (Fig. 4). The top unit is composed of poorly sorted medium and coarse gravels in a sandy matrix, whereas layers of skeletal (grain-supported) gravels frequently occur. This unit has a relatively low amount of sand and is horizontally and trough bedded. In contrast, the underlying gravel unit predominantly consists of medium gravels and granules, is rich in sand, well sorted and



Fig. 4: The structure of the *Langweider Hochterrasse* in the gravel pit Langweid: The top gravel unit is horizontal and trough bedded, whereas the basal gravel unit is large-scale cross bedded and appears lighter in colour, due to the higher content of sand. Length of the rule in the center is 3 m. See Fig. 3 for location of the outcrop.

Abb. 4: Der Aufbau der *Langweider Hochterrasse* in der Grube Langweid: Der hangende Kieskörper ist horizontal und trogförmig kreuzgeschichtet, während der liegende Kieskörper großbogig schräggeschichtet ist. Letzterer erscheint wegen des höheren Sandanteils heller. Die Länge des Zollstocks in der Bildmitte beträgt 3 m. Zur Lage des Aufschlusses siehe Abb. 3.

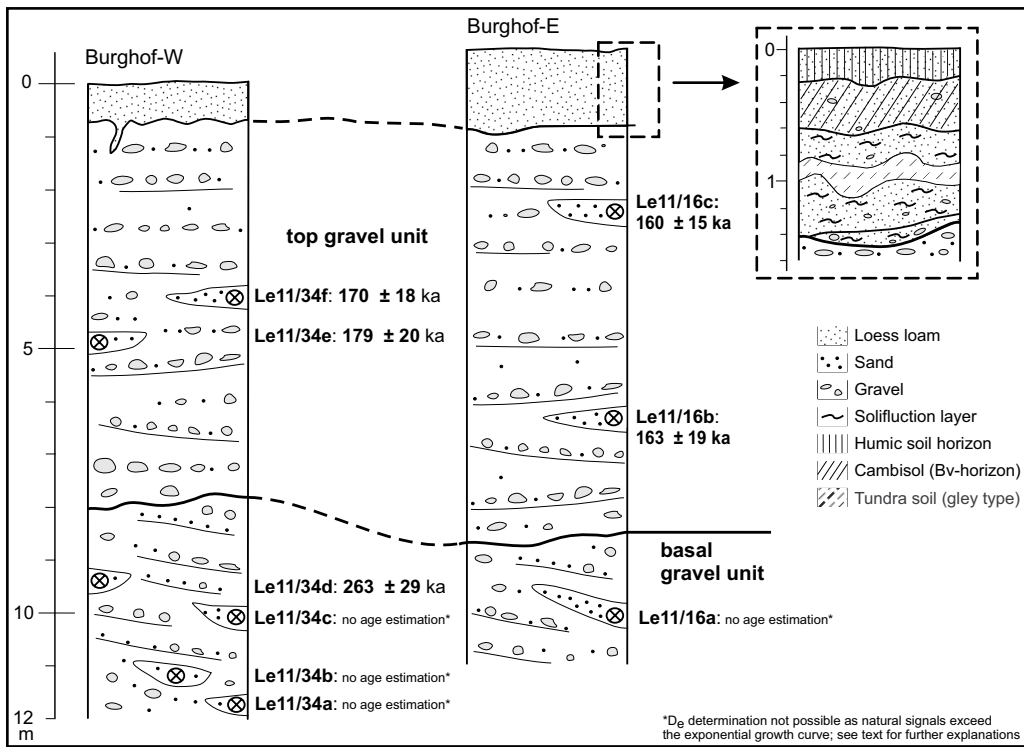


Fig. 5: Outcrops Burghof W (left) and Burghof E (right) on the Langweider Hochterrasse. See Fig. 3 for location of the outcrops.

Abb. 5: Aufschlussprofile in der Kiesgrube Burghof W (links) und Burghof E (rechts) auf der Langweider Hochterrasse. Zur Lage der Aufschlüsse siehe Abb. 3.

large-scale cross bedded (Fig. 4). This basal unit appears lighter coloured, due to the higher content of sand.

4.1.1 Gravel pits Burghof West and East

The gravel pits Burghof West and East, in the western part of the *Langweider Hochterrasse*, show a similar structure of the fluvial sediments and their cover layers. In both outcrops, the gravelly *Hochterrasse* deposits are covered by an up to 1.5 m thick layer of sandy loess loam, on which a Holocene cambisol is developed (Fig. 5). In the central part of the sandy loess loam, a *Nassboden* (tundra soil of gley type) of most probably Pleniglacial Würmian age is preserved. At the base of this aeolian sediment cover, solifluction layers, composed of reworked loess loam and terrace gravels, are present.

The *Hochterrasse* gravels are divided into two units (Fig. 5). A top unit with a thickness of 6 to 8 m is composed of horizontal and slightly trough-bedded medium and coarse gravel layers containing many cobbles and boulders up to 30 cm in diameter. In this unit, gravel layers free of matrix are common, whereas sand lenses suitable for luminescence dating are hardly present. The basal unit of predominantly sand-rich medium gravel layers is exposed above the groundwater table with thicknesses of 2 to 4 m. This unit is partially trough-, and sometimes large-scale cross bedded. The sand content is considerably higher than in the top gravel unit. In the gravel pit Burghof East, the basal unit has a matrix content of about 40 % by weight, in contrast to the top unit with a matrix content of only c. 16 % by weight.

IRSL dating of four sand lenses from the top unit yielded results consistent within uncertainties (Fig. 5, Table 1). The ages of 160 ± 15 ka (Le11/16c), 163 ± 19 ka (Le11/16b), 170 ± 18 ka (Le11/34f), and 179 ± 20 ka (Le11/34e) give strong evidence for a deposition during the Penultimate Glaciation (MIS 6).

From the basal sand rich gravel unit, five sand lenses were measured by IRSL. One sand lense in the gravel pit Burgheim E yielded an IRSL age of 263 ± 29 ka (Le11/34d) indicating a deposition between MIS 7 and 8 (Fig. 5, Table 1). IRSL measurements of three further samples from sand lenses in the basal gravel unit (Le11/34c, Le11/34b, Le11/34a) and the sample Le11/16a from the basal gravel unit at the location Burghof W yielded many natural signals above the growth curve. Therefore, D_e determination and age estimations were not possible. It may only be assumed that these deposits are older than the top gravel unit and possibly older than sample Le11/34d. Overall, the dating results give clear evidence that the basal gravel unit, which is distributed in the elongated depression, is older than the Penultimate Glaciation (MIS 6). A clear assignment to marine isotope stages is difficult though, due to the large errors, and closeness to the upper age limit of the technique. Most probably, the deposition took place between MIS 7 and 9, but the saturated luminescence signals of the lower most parts of the basal gravel unit may also indicate deposition during an older isotope stage.

4.1.2 Gravel pit Nachwegäcker

In the gravel pit Nachwegäcker, c. 2 km north of the location Burghof (Fig. 3), both the Würmian cover layer and the top unit of the *Hochterrasse* gravel were mostly removed by quarrying. Only at one part of the gravel pit, both gravel units with similar sediment characteristics as in the gravel pits described above were exposed. From the basal gravel unit, shells of *Succinea putris* (genus determination by W. Rähle, Stuttgart State Museum of Natural History), embedded in a loamy clod in a depth of c. 11 m below surface, could be dated by ESR (Table 1: Le11/26c). This land snail lives in wet environments such as river banks and marshes and can occur both in glacial and interglacial periods

Tab. 1: Measurement details of dosimetric samples.

Tab. 1: Messwerte der dosimetrischen Proben.

Sample	Sampling locations (Gauss – Krüger coordinates)	Depth (m)	Grain size (μm)	Radionuclide concentrations ^a			Cosmic dose rate (Gy/ka)	Water content (%)	Dose rate (Gy/ka)	n ^b	D _e (Gy) ^c	Age (ka)
				K (%)	U (ppm)	Th (ppm)						
DoLe35 (OSL)	4419240	0.5	150-200	0.61	1.35	2.92	0.21 ± 0.03	10 \pm 7	1.20 ± 0.09	37	23.7 ± 2.60	19.8 \pm 2.7
DoLe35 (IRSL)	5389934			± 0.01	± 0.03	± 0.09			1.87 ± 0.18		7	36.0 ± 2.20
DoLe37 (IRSL)	4419240 5389934	2.5	150-200	1.35 ± 0.02	3.19 ± 0.05	9.28 ± 0.26	0.16 ± 0.02	10 \pm 7	3.32 ± 0.30	20	314 ± 25	95 \pm 12
DoLe29a (OSL)	4418973	4.0	150-200	0.51	0.98	1.54 \pm	0.13 \pm 0.02	10 \pm 7	0.87 \pm 0.05	38	242 \pm 36	279 \pm 45
DoLe29a (IRSL)	5390961			± 0.01	± 0.03	0.07			1.52 \pm 0.14		39	400 \pm 20
DoLe29b (OSL)	4418973	4.0	150-200	0.49	1.01	1.59 \pm	0.13 \pm 0.02	10 \pm 7	0.87 \pm 0.05	40	253 \pm 41	291 \pm 51
DoLe29b (IRSL)	5390961			± 0.01	± 0.03	0.07			1.52 \pm 0.14		37	333 \pm 36
Le11/34a (IRSL)	4414268 5367668	11.5	100-200	0.98 ± 0.02	2.00 ± 0.04	4.77 \pm 0.16	0.05 \pm 0.01	10 \pm 7	2.25 \pm 0.18	5	--- ^d	no age estimation ^d
Le11/34b (IRSL)	4414251 5367667	11	100-200	0.76 ± 0.01	0.50 ± 0.01	1.61 \pm 0.06	0.06 \pm 0.01	10 \pm 7	1.49 \pm 0.13	5	--- ^d	no age estimation ^d
Le11/34c (IRSL)	4414275 5367670	10	100-200	0.90 ± 0.01	0.41 ± 0.01	1.39 \pm 0.06	0.07 \pm 0.01	10 \pm 7	1.59 \pm 0.15	4	--- ^d	no age estimation ^d
Le11/34d (IRSL)	4414265 5367652	9.5	100-200	0.48 ± 0.01	1.06 ± 0.02	1.77 \pm 0.07	0.07 \pm 0.01	10 \pm 7	1.39 \pm 0.14	5	367 \pm 18	263 \pm 29
Le11/34e (IRSL)	4414175 5367672	5	100-200	0.61 ± 0.01	1.22 ± 0.03	1.97 \pm 0.09	0.12 \pm 0.02	10 \pm 7	1.60 \pm 0.16	5	287 \pm 13	179 \pm 20
Le11/34f (IRSL)	4414145 5367670	4.0	100-200	0.63 ± 0.01	0.70 ± 0.02	1.45 \pm 0.06	0.13 \pm 0.02	10 \pm 7	1.48 \pm 0.15	5	252 \pm 9	170 \pm 18
Le11/16a (IRSL)	4414399 5367771	10.0	100-200	0.72 ± 0.01	0.73 ± 0.01	1.49 \pm 0.06	0.07 \pm 0.01	10 \pm 7	1.50 \pm 0.13	4	--- ^d	no age estimation ^d
Le11/16b (IRSL)	4414399 5367771	6.5	100-200	0.45 ± 0.01	1.30 ± 0.02	1.61 \pm 0.06	0.10 ± 0.01	10 \pm 7	1.44 \pm 0.13	10	235 \pm 18	163 \pm 19
Le11/16c (IRSL)	4414399 5367771	2.5	100-200	0.70 ± 0.01	0.49 ± 0.01	1.58 \pm 0.06	0.16 ± 0.02	10 \pm 7	1.51 \pm 0.13	10	242 \pm 10	160 \pm 15
Le11/26c (ESR)	4414665 5369303	11	125-250	0.97 \pm 0.1 ^e	0.79 \pm 0.1 (shell) 2.61 \pm 0.1 ^e	7.25 \pm 0.1 ^e	0.052 \pm 0.02	25 \pm 5 ^e	0.889 \pm 0.065	10	191.8 \pm 21.9	204 \pm 27

^a K = Potassium, U = Uranium, Th = Thorium

^b n = Amount of measured aliquots

^c For all samples, the CAM (central age model, Galbraith et al. 1999) was used for De-determination.

^d D_e determination was not possible as natural signals exceed the exponential growth curve. See text for further explanations.

^e Data of the surrounding sediment.

(LOŽEK 1965). The snail (Le11/26c) yielded an ESR age of 204 ± 27 ka. This age indicates a deposition of the basal gravel unit during MIS 6, or 7.

4.2 Rainer Hochterrasse

A morphostratigraphic subdivision of the *Rainer Hochterrasse* as presented by SCHAEFER (1966) could not be confirmed for the most parts. Only the increase of the surface elevation between his 7- and 14-m- *Hochterrasse* could be verified (Fig. 6), as already stated by KILIAN & LÖSCHER (1979). Here, we assume a morphological subdivision into a *Jüngere Hochterrasse* (JHT) and a *Ältere Hochterrasse* (ÄHT). The latter includes the 14- and 21-m-*Hochterrasse* of

SCHAEFER (1966), whereas the JHT covers his 7-m-*Hochterrasse*. Moreover, at the western part of the *Rainer Hochterrasse*, small patches of a 2 m lower elevated and therefore younger terrace, are distributed in the area of the town of Rain and in the western part of the gravel pits near Münster (Fig. 6). This terrace was designated by SCHAEFER (1966) as *Neuburger-Tal-Terrasse*, but in the following, the term “*Übergangsterrasse* (ÜT)” (SCHELLMANN 1988) is used for this terrace due to its significantly lower surface level.

The *Rainer Hochterrasse* can be sedimentologically divided into two stacked gravel units. The base of the fluvial gravel deposits of the *Rainer Hochterrasse* shows no difference between the JHT and the ÄHT. The course of contour lines in the Quaternary base map (Fig. 6) traces an elongat-

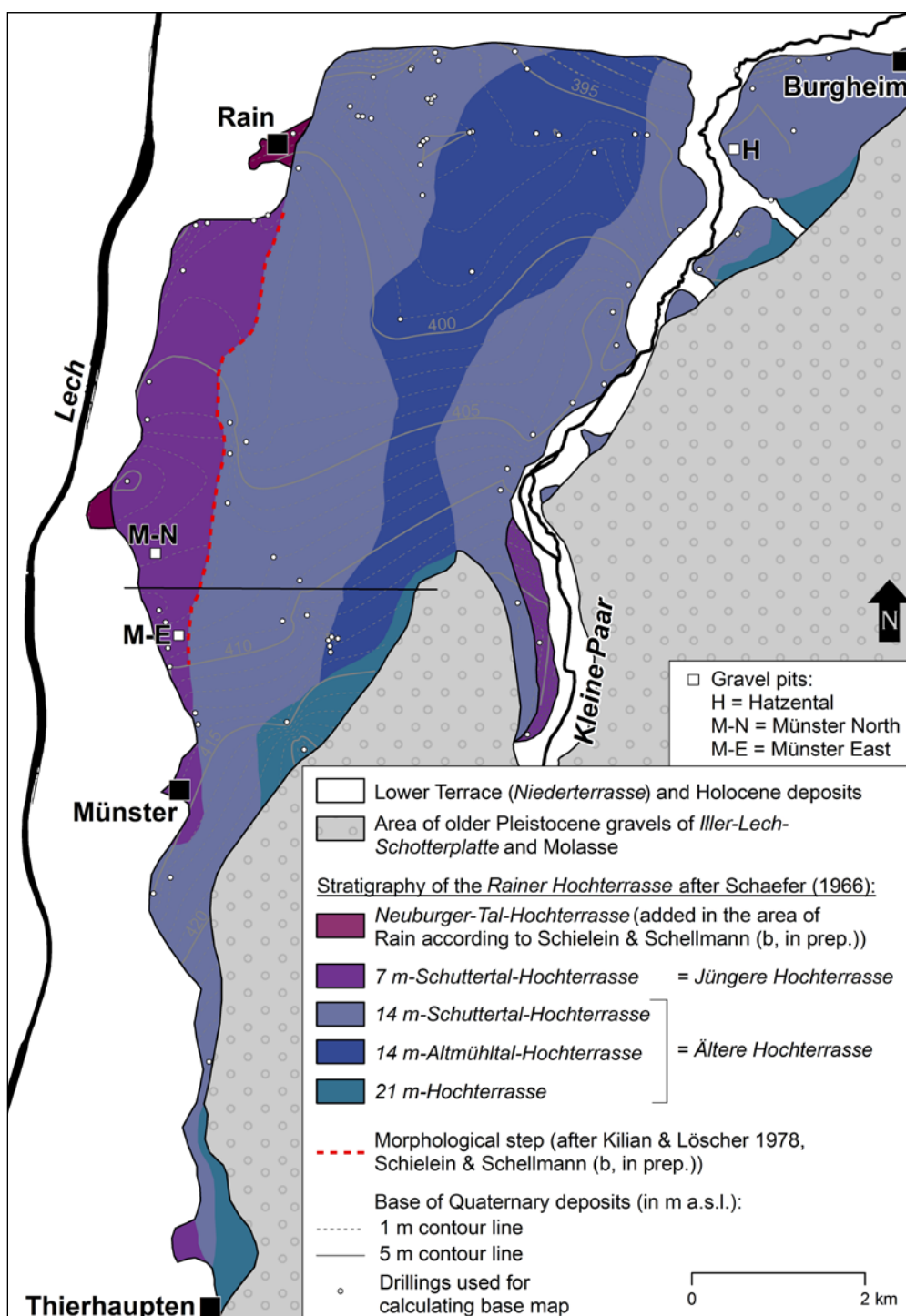


Abb. 6: The Rainer Hochterrasse – morphological subdivision (including interpretation of SCHAEFER 1966), base of Quaternary deposits and location of outcrops. The black line indicates the approximate position of the geological cross section (Fig. 8).

Abb. 6: Die Rainer Hochterrasse – morphologische Gliederung (einschließlich der Interpretation durch SCHAEFER 1966), Quartärbasis und Lage der Aufschlüsse. Die schwarze Linie gibt die ungefähre Lage des geologischen Querprofils (Abb. 8) an.

ed depression with a maximum thickness of 15 m of Quaternary deposits. This depression and its orientation from SW to NE beneath the *Rainer Hochterrasse* was already mentioned by KILIAN & LÖSCHER (1979). In the following section, we present sedimentological and chronological results from the gravel pits Münster N and Münster E, both located in the area of the *JHT*. First on-site inspections of the gravel pit Hatzental (Fig. 6) confirm the division of the *Rainer Hochterrasse* into two stacked gravel units also for the area of the *ÄHT*. Here, a trough- and horizontal bedded top unit of medium and coarse gravels with a relatively low matrix content exhibits a thickness of c. 4 m and is underlain by a basal gravel unit, which is composed of large-scale cross bedded fine to coarse gravels and is strikingly rich in sand.

4.2.1 Münster N

The gravel pit Münster N exhibits the extensively distributed cover layer of the *Rainer Hochterrasse*, a sandy loess with a thickness of more than 1 m. In the upper part, a tundra soil strangled by cryoturbations, is prevalent. In the lower part, the fine-grained loess deposit contains single gravels, due to solifluidal reworking (Fig. 7).

Beneath the loess cover, at the top of the *Hochterrassen* gravel, a fossil Bt-horizon of an interglacial luvisol is preserved that most probably represents the Last Interglacial (Eemian). Cones of this fossil soil can reach to a depth of 1 m into the gravel. The gravel in the outcrop is separated into two units by an unconformity. The top gravel unit is comprised of medium and coarse gravels in a sandy matrix and shows horizontal and trough-bedding. At the top of this unit, cryoturbations of the gravel layers can occur. Beneath the unconformity, the basal gravel unit composed of large-scale cross bedded fine to coarse gravels with a high content of sandy matrix in some places contains coarse and medium sand layers with thicknesses of up to 1 m. In the

investigated profile, one sand layer extends over a width of 30 m, was clearly laterally bedded and passes into the sandy gravels of the underlying gravel unit.

The sand layer at the top of the base gravel unit was sampled twice for luminescence dating. Quartz and feldspar minerals yielded ages between 219 ± 31 ka and 291 ± 51 ka (Tab. 1, Fig. 7: DoLe29a/b). Two OSL-ages (291 ± 51 ka, 279 ± 45 ka) and one IRSL-age (263 ± 27 ka) indicate a deposition of the base unit during MIS 8 or MIS 9, and one feldspar age (219 ± 31 ka) points to MIS 7. However, the uncertainties on the luminescence ages are large, hence a clear assignment to an isotope stage remains difficult.

4.2.2 Münster E

The outcrop Münster E is situated in a periglacial trough, cut into the gravel of the *Rainer Hochterrasse* over a width of c. 20 m. The trough is filled with fine-grained cover sediments up to a thickness of 2.5 m (Fig. 7). In the upper part, the cover layer equates to the outcrop Münster N, comprising of sandy loess with a fossil tundra soil and a solifluction layer. Below, a stack of two humus zones (*Humuszonen*) is preserved. The upper humus zone is 40 cm thick, of brownish colour and contains several gravels, as it is partly strangled with the overlying solifluction layer. The lower humus zone is c. 1 m thick, dark grey-brown and shows light brown blotches in the upper part. Both humus zones are comparable to the Early Würmian *Mosbacher Humuszonen* (SCHÖNHALS et al. 1964, SEMMEL 1968) and were accumulated by aeolian transport and slope wash of soil sediments under dry conditions. The blotched layer correlates most probably to the “*gefleckter Horizont*” of ROHDENBURG (1964) and might have developed under acidic conditions by bleaching along plant roots. In contrast, SEMMEL (1996) interpreted these light brown blotches as initial soil browning beneath an Early Würmian coniferous forest steppe.

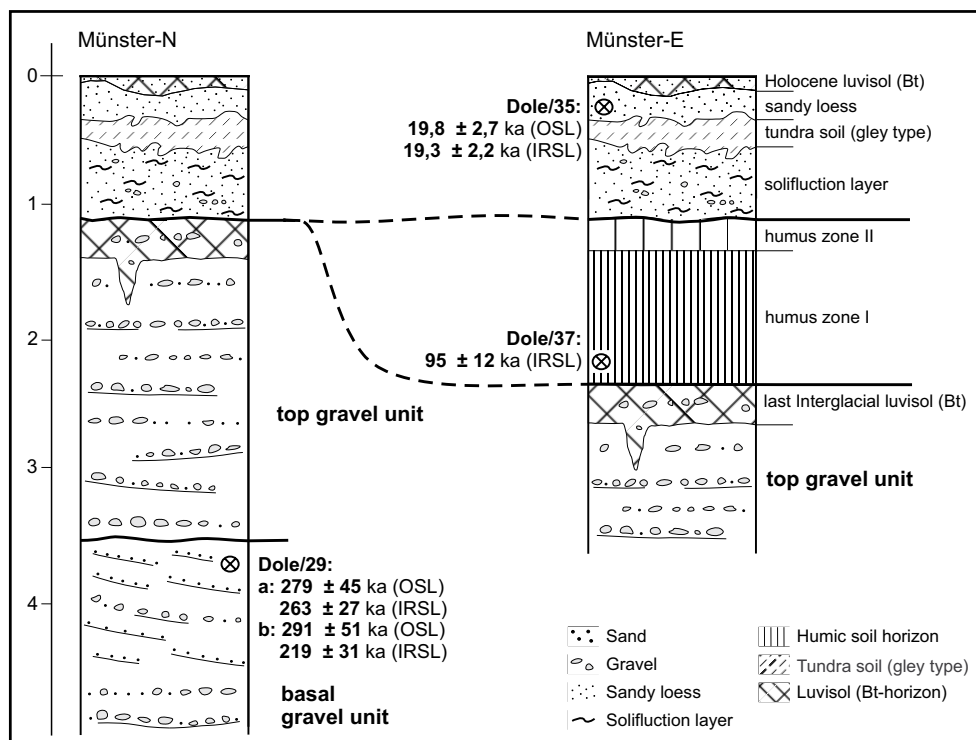


Fig. 7: Outcrops Münster N (left) and Münster E (right) on the *Rainer Hochterrasse*. See Fig. 6 for location of the outcrops.

Abb. 7: Aufschlussprofile in der Kiesgrube Münster N (links) und Münster E (rechts) auf der *Rainer Hochterrasse*. Zur Lage der Aufschlüsse siehe Abb. 6.

At the top of the gravels of the *Rainer Hochterrasse*, the preserved Bt-horizon of a luvisol of most probably Eemian age, reaches a thickness of up to 1 m in cones. The gravel itself is exposed over a length of more than 100 m and exhibits a distinct separation of two stacked units in some parts. A separation by a layer of loamy clods (“*Mergelbatzen-horizont*”) as presented by TILLMANNS et al. (1982) was not comprehensible during the survey. Only single loamy clods in both gravel units were noticed. The top gravel unit is horizontally and trough-bedded and dominated by medium and coarse gravels in a sandy matrix. In places, layers of skeletal gravels occur. The basal gravel unit is only partially exposed and sometimes shows large-scale cross bedding. The sand content is considerably higher than in the top gravel unit.

In the outcrop Münster E, the cover deposits contain typical Würmian soils and humus zones. This assignment is confirmed by luminescence dating (Fig. 7: DoLe35 & DoLe37). The sandy loess near the surface yielded ages (DoLe-35) of 19.8 ± 2.7 ka (OSL) and 19.3 ± 2.2 ka (IRSL), and the lower humus zone an age of 95 ± 12 ka (DoLe-37, IRSL). So far, no luminescence dating results from both units of the *Hochterrassen* gravels in the pit Münster E have been achieved. However, due to the interglacial soil at the top

of the terrace gravels and the dating results of the cover layer, the deposition of the *Hochterrassen* gravels before the Eemian Interglacial is assured.

5 Discussion

The *Langweider Hochterrasse* and the *Rainer Hochterrasse* are composed of two different terrace levels (*Jüngere* and *Ältere Hochterrasse*). The *Rainer Hochterrasse* additionally features some small patches of Early Würmian age (*Übergangsterrasse*) at the western terrace rim. The examined *Hochterrassen* feature both in the areas of the *JHT* and in the areas of the *ÄHT* a basal gravel unit, which can be clearly distinguished from the top gravel unit by sedimentological characteristics (Fig. 8). The elongated depression at the base of the *Langweider* and the *Rainer Hochterrasse* indicates a continuous distribution of a basal gravel unit beneath the top gravel unit in the area of the *JHT* as well as in the area of the *ÄHT*.

In other areas of the Northern Alpine Foreland, *Hochterrassen* can also be morphologically subdivided (e.g. DOPPLER et al. 2011). The *Dillinger Hochterrasse* in the Danube valley upstream of the Lech-Danube confluence is supposed to be comprised of up to four terraces accord-

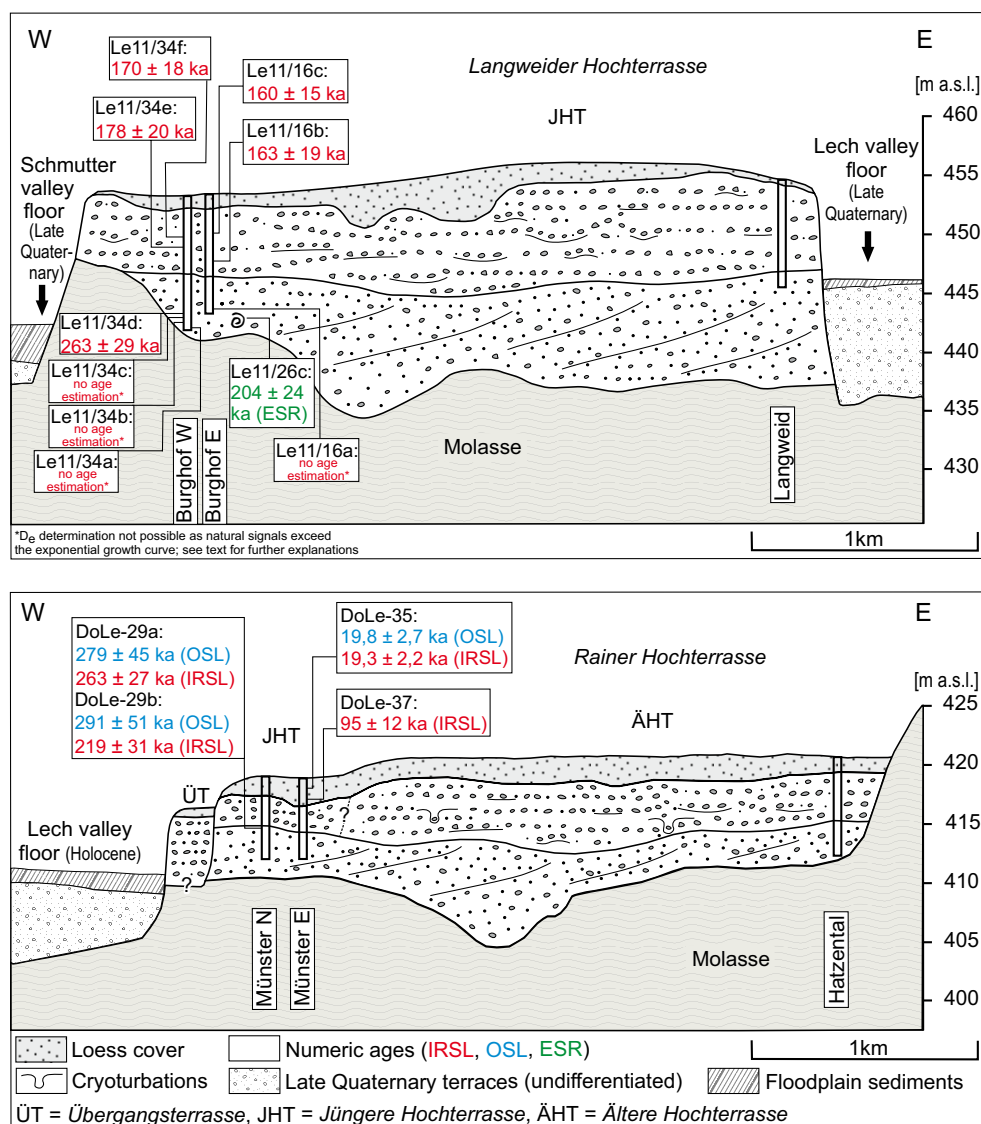


Fig. 8: Geological cross sections through the *Langweider Hochterrasse* (top) and the *Rainer Hochterrasse* (bottom) showing the vertical subdivision of the terraces in a top and a basal gravel unit and all numerical age evidences. See Fig. 3 and Fig. 6 for approximate position of the cross sections. All outcrops and the *Übergangsterrasse* (at the edge of the *Rainer Hochterrasse*) were projected into the cross sections.

Abb. 8: Geologisches Querprofil durch die *Langweider Hochterrasse* (oben) und durch die *Rainer Hochterrasse* (unten) mit der vertikalen Aufteilung in einen hangenden und einen liegenden Kieskörper und allen numerischen Altershinweisen. Zur ungefähren Lage der Querprofile siehe Abb. 3 und Abb. 6. Alle Aufschlüsse und die *Übergangsterrasse* (am Rand der *Rainer Hochterrasse*) wurden in die Querprofile projiziert.

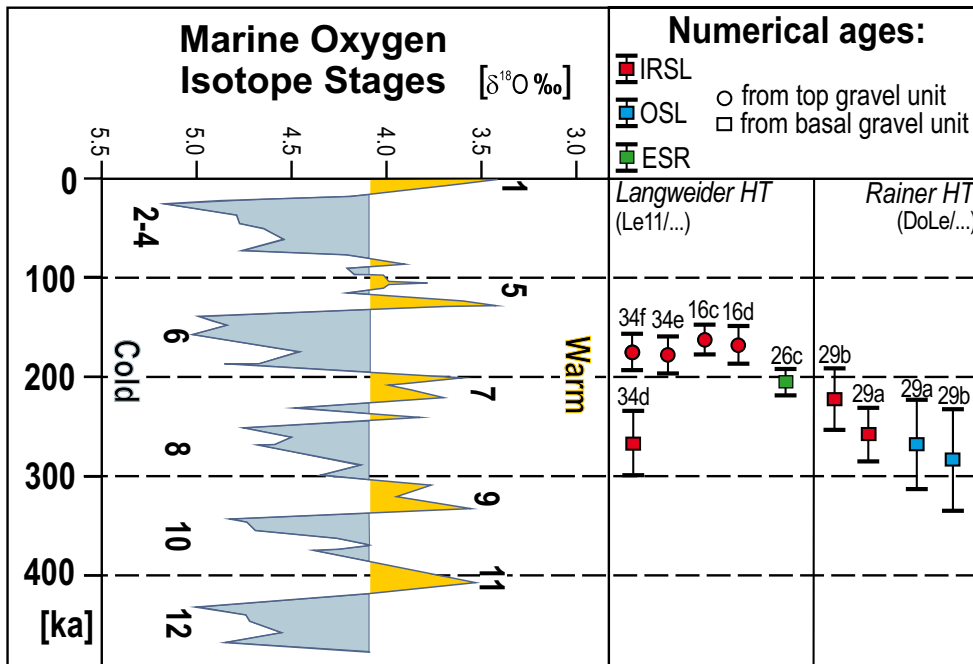


Fig. 9: Numerical ages of the Langweider Hochterrasse and Rainer Hochterrasse compared to Marine Isotope Stages.

Abb. 9: Die numerischen Alter aus der Langweider Hochterrasse und Rainer Hochterrasse im Vergleich zu den marinen Sauerstoff-Isotopenstufen.

ing to different authors (GRAUL 1962, LEGER 1988, BIBUS & STRAHL 2000). BIBUS & STRAHL (2000) correlate each individual terrace unit of the *Dillinger Hochterrasse* with one glacial period between the Penultimate and the fifth-last Glacial. Also, the *Hochterrasse* of the Danube near Straubing can be divided into three terrace levels (SCHELLMANN 1988, SCHELLMANN et al. 2010). In the Riß valley, two *Hochterrasse* levels are well-defined (MIARA 1996, BIBUS & KÖSEL 1997). For all mentioned *Hochterrasse* levels, numerical ages are not available. A stacking of two different gravel units as it could be found inside the *Rainer* and *Langweider Hochterrasse* was also presented for the *Hochterrasse* of the Danube near Straubing (SCHELLMANN 1988, SCHELLMANN et al. 2010) and for the *Hochterrasse* in northern Switzerland (GRAF 2009), but again without the application of numerical dating methods.

In the present study, numerical ages of the different sedimentological subdivisions of *Hochterrasse* in the lower Lech valley are available for the first time. Here, a temporal difference between the deposition of two stacked gravel units during the Middle Pleistocene and the correlation of at least two distinctive accumulation periods with Marine Isotope Stages was verified (Fig. 9). The top gravel units of the *Rainer* and *Langweider Hochterrasse* in the area of the *Jüngere Hochterrasse* were most probably both deposited during MIS 6. The feldspar ages from the top gravel unit of the *Langweider Hochterrasse* are in agreement with the Würmian age of the loess cover layer and with the assignment of the fossil Bt-horizon at the top of the gravels to the Last Interglacial in the gravel pit Münster on the *Rainer Hochterrasse*. This contrasts IRSL ages of FIEBIG & PREUSSER (2003) from the same gravel pit, which yielded Early Würmian ages of the *Hochterrasse*. As the gravel pit covers a great area for some decades and is situated at the western border of the *Jüngere Hochterrasse* (Fig. 6) it might also have covered parts of the *Übergangsterrasse*. The samples of FIEBIG & PREUSSER (2003) could be derived from this *Übergangsterrasse*, which is most probably of Early Würmian age, but this question still needs to be clarified.

A longer hiatus exists between the deposition of the basal and the top unit. Dating results indicate a deposition at least during MIS 7 for the basal unit. Older depositional phases, inter- or lateglacial deposition environments, and multiphase accumulation cannot be ruled out for the basal gravel unit, but the luminescence ages obtained for this unit are too imprecise for a more detailed reconstruction of terrace deposition. In the outcrop Münster N (*Rainer Hochterrasse*), the feldspar and the quartz ages yield ages between MIS 7 and 9. Probably, the basal gravel units of both *Hochterrasse* correlate with each other, due to their composition of sand-rich, well sorted gravels and their similar bedding structure. This is confirmed by an IRSL-age of fluvial sands and an ESR-age of a snail inside the basal gravel unit of the *Langweider Hochterrasse*. An assumption of a late- or even interglacial deposition is supported by the observed trough- and large-scale cross bedding of the basal gravel unit, which reminds of the bedding of the Holocene gravels in the Lech valley upstream of Augsburg (GESSLEIN & SCHELLMANN 2011, GESSLEIN 2013). Interglacial gravel units at the base of a *Hochterrasse* were also found in the Danube valley near Regensburg, namely the *Hartinger Schichten*, which contain interglacial peat (SCHELLMANN 1988, 2010).

6 Conclusion

The *Langweider* and *Rainer Hochterrasse* in the lower Lech valley were deposited in multiple accumulation phases. Both examined terraces can be morphologically subdivided in a younger (*JHT*) and an older terrace level (*ÄHT*). Furthermore, two accumulation phases are documented by two stacked gravel units with different sedimentological characteristics inside one morphological terrace. Luminescence dating proved the chronological differentiation of the gravel units and their correlation to MIS 6 (top gravel), and to MIS 7 or older (basal gravel), respectively. Thereby, it is not yet clear, in which aggradation period during the Middle Pleistocene the basal gravel was deposited. Its large-scale cross bedding supports an inter- or late glacial deposition.

In general, dating Middle Pleistocene deposits with OSL and IRSL of the quartz and the feldspar fraction, respectively, remains a challenge due to approaching signal saturation. Therefore, for future research, different luminescence dating techniques should be taken into account as well as ESR-dating of molluscs and of sedimentary quartz in order to be able to compare the reliability and accuracy of different dating methods. Beside the use of numerical geochronological methods for dating *Hochterrassen* deposits in the Northern Alpine Foreland, traditional geomorphological and geological methods (e.g. mapping of morphological units, sedimentology, palaeosoils in loess cover layers) are essential for relative and absolute age evidences of terrace aggradation and therefore always have to be considered.

7 Acknowledgements

We appreciate the financial and technical support of the study provided by the Bavarian Environment Agency in the framework of the EU-funded project “*Informationsoffene Oberflächennahe Geothermie*”.

We like to thank Dr. W. Rähle for genus determination of the ESR dated gastropods, and Prof. Dr. U. Radtke (Cologne) for the ESR measurements.

References

- ADAMIEC, G. & AITKEN, M. (1998): Dose-rate conversion factors: update. – *Ancient TL*, 16: 37–50.
- AKTAS, A. & FRECHEN, M. (1991): Mittel- bis jungpleistozäne Sedimente der Hochterrassen in der nördlichen Iller-Lech-Platte. – Sonderveröffentlichungen des Geologischen Instituts der Universität zu Köln, 82: 19–41; Köln.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1996): Geologische Karte von Bayern 1:500.000. München.
- BECKER-HAUMANN, R. & FRECHEN, M. (1997): Vergleichende Lumineszenzdatierungen mit IRSL und TL am Deckschichtenprofil Bobingen / Lechtal. – *Zeitschrift geologischer Wissenschaften*, 25 (5/6): 617–633.
- BIBUS, E. & KÖSEL, M. (1997): Paläoböden und periglaziale Deckschichten im Rheingletschergebiet von Oberschwaben und ihre Bedeutung für Stratigraphie, Reliefentwicklung und Standort. – *Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten*, D3: 89 p.; Tübingen.
- BIBUS, E. & STRAHL, M. (2000): Zur Gliederung und Altersstellung der bayerischen Hochterrassen nördlich des Donauriedes. – *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., 44 (2): 211–232.
- BLAIR M.W., YUKIHARA, E.G. & MCKEEVER, S.W.S. (2005): Experiences with single aliquot OSL procedures using coarse-grain feldspars. – *Radiation Measurements*, 39: 361–374.
- DOPPLER, G., KROEMER, E., WALLNER, J., JERZ, H. & GROTTENTHALER, W. (2011): Quaternary Stratigraphy of Southern Bavaria. – *E&G Quaternary Science Journal*, 60 (2-3): 329–365.
- EBERL, B. (1930): Die Eiszeitenfolge im nördlichen Alpenvorlande – Ihr Ablauf, ihre Chronologie auf Grund der Aufnahme im Bereich des Lech- und Illergletschers. – 427 S.; Augsburg.
- FIEBIG, M. & PREUSSER, F. (2003): Das Alter fluvialer Ablagerungen aus der Region Ingolstadt (Bayern) und ihre Bedeutung für die Eiszeitenchronologie des Alpenvorlandes. – *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., 47 (4): 449–467.
- GALBRAITH, R.F., ROBERTS, R.G., LASLETT, G.M., YOSHIDA, H. & OLLEY, J.M. (1999): Optical dating of single and multiple grains of quartz from Jinnium rock shelter, northern Australia: Part I, experimental design and statistical models. – *Archaeometry*, 41: 339–364.
- GRAF, H. R. (2009): Stratigraphie von Mittel- und Spätpleistozän in der Nordschweiz. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, 168. – Wabern (Bundesamt für Landestopografie swisstopo).
- GESSELEIN, B. (2013): Zur Stratigraphie und Altersstellung der jungquartären Lechterrassen zwischen Hohenfurch und Kissing unter Verwendung hochauflösender Airborne-LiDAR-Daten. – *Bamberger Geographische Schriften – Sonderfolge*, 10. 165 S.
- GESSELEIN, B. & SCHELLMANN, G. (2011): Jungquartäre Flussterrassen am mittleren Lech zwischen Kinsau und Klosterlechfeld – Erste Ergebnisse. – *E&G Quaternary Science Journal*, 60 (4): 400–413.
- GRAU, H. (1943): Zur Morphologie der Ingolstädter Ausräumungslandschaft. Die Entwicklung des unteren Lechlaufes und des Donaumoosbodens. – *Forschungen zur deutschen Landeskunde*, 43: 1–114.
- GRAU, H. (1962): Eine Revision der pleistozänen Stratigraphie des schwäbischen Alpenvorlandes. – *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 106: 253–271.
- HUNTLEY, D.J. & BARIL, M.R. (1997): The K content of K-feldspars being measured in optical and thermo-luminescence dating. – *Ancient TL*, 15: 11–13.
- KILLIAN, R. & LÖSCHER, M. (1979): Zur Stratigraphie des Rainer Hochterrassen-Schotter östlich des unteren Lechs. – *Sammlung quartärmorphologischer Studien II*, Heidelberger Geographische Arbeiten, 49: 210–217.
- KLASEN, N. (2008): Lumineszenzdatierung glazifluvialer Sedimente im nördlichen Alpenvorland. – *Inaugural-Dissertation*, Universität zu Köln: 209 S.; Köln.
- LEGER, M. (1988): Géomorphologie de la vallée subalpine du Danube entre Sigmaringen et Passau. – *Thèse du doctorat*, Univ. Paris VII: 621 S.; Paris.
- LI, B. & LI, S.-H. (2006): Comparison of De estimates using the fast component and the medium component of quartz OSL. – *Radiation Measurements*, 41: 125–136.
- LOŽEK, V. (1965): Das Problem der Lößbildung und die Lößmollusken. – *Eiszeitalter und Gegenwart*, 16: 61–75.
- MIARA, S. (1996): Deckschichtenuntersuchungen zur Gliederung der Rißeiszeit beiderseits der Iller im Gebiet des Rhein- und Illergletschers (westliches Alpenvorland, Deutschland). – *Jahresberichte und Mitteilungen des oberrheinischen geologischen Vereins*, N.F., 78: 359–374.
- MURRAY A.S. & WINTLE, A.G. (2000): Luminescence dating using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. – *Radiation Measurements*, 32: 57–73.
- MURRAY, A.S. & WINTLE, A.G. (2003): The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. – *Radiation Measurements*, 37: 377–381.
- PENCK, A. (1884): Ueber Periodicität der Thalbildung. – *Verhandlungen der Gesellschaft für Erdkunde*, XI: 39–59; Berlin.
- PENCK, A. & BRÜCKNER, E. (1901–1909): Die Alpen im Eiszeitalter. – 3 Bde.: 1199 S.; Leipzig.
- PRESCOTT, J.R. & HUTTON, J.T. (1994): Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depth and long-term time variations. – *Radiation Measurements*, 23: 497–500.
- ROHDENBURG, H. (1964): Ein Beitrag zur Deutung des „Gefleckten Horizonts“. – *Eiszeitalter und Gegenwart*, 15: 66–71.
- SCHAEFER, I. (1957): Geologische Karte von Augsburg und Umgebung 1:50.000 mit Erläuterungen. – *Bayerisches Geologisches Landesamt*, 92. S.; München.
- SCHAEFER, I. (1966): Der Talknoten von Donau und Lech. – *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München*, 51: 59–111.
- SCHELLMANN, G. (1988): Jungquartäre Talgeschichte an der unteren Isar und der Donau unterhalb von Regensburg. – *Inaugural-Dissertation* Universität Düsseldorf; Düsseldorf.
- SCHELLMANN, G. (2010): Neue Befunde zur Verbreitung, geologischen Lagerung und Altersstellung der würmzeitlichen (NT1 bis NT3) und holozänen (H1 bis H7) Terrassen im Donautal zwischen Regensburg und Bogen. – *Bamberger Geographische Schriften*, 24: 1–77.
- SCHELLMANN, G. (a, in prep.): Quartärgeologische Karte 1:25.000 des Schmutter- & Lechtals auf Blatt Nr. 7530 Gablingen mit Erläuterungen – Kartierungsergebnisse aus dem Jahr 2011. – *Bamberger Geographische Schriften*.
- SCHELLMANN, G. (b, in prep.): Quartärgeologische Karte 1:25.000 des Schmutter- & Lechtals auf Blatt Nr. 7430 Wertingen mit Erläuterungen – Kartierungsergebnisse aus dem Jahr 2011. – *Bamberger Geographische Schriften*.
- SCHELLMANN, G., IRMLER, R. & SAUER, D. (2010): Zur Verbreitung, geologischen Lagerung und Altersstellung der Donauterrassen auf Blatt L7141 Straubing. – *Bamberger Geographische Schriften*, 24: 89–178.
- SCHUEENPFLUG, L. (1979): Die risszeitliche Hochterrasse des Lechs nördlich Augsburg und die Schmutter (Bayerisch Schwaben). – *Heidelberger Geogr. Arb.*, 49: 194–209.
- SCHUEENPFLUG, L. (1981): Die Schotterfazies des Augsburgers Umlandes. – *Berichte des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schwaben e.V.*, 85 (1/2): 14–21, Augsburg.

- SCHIELEIN, P (2012): Jungquartäre Flussgeschichte des Lechs unterhalb von Augsburg und der angrenzenden Donau. – Bamberger Geographische Schriften – Sonderfolge, 9. 150 S.
- SCHIELEIN, P & LOMAX, J. (2013): The effect of fluvial environments on sediment bleaching and Holocene luminescence ages – A case study from the German Alpine Foreland. *Geochronometria* 40 (4), 283–293.
- SCHIELEIN, P. & SCHELLMANN, G. (a, in prep.): Quartärgeologische Karte 1:25.000 des Lech- und Donautals auf Blatt Nr. 7231 Genderkingen mit Erläuterungen – Kartierungsergebnisse aus den Jahren 2008 bis 2009. – Bamberger Geographische Schriften.
- SCHIELEIN, P. & SCHELLMANN, G. (b, in prep.): Quartärgeologische Karte 1:25.000 des Lechtals auf Blatt Nr. 7331 Rain mit Erläuterungen – Kartierungsergebnisse aus den Jahren 2008 bis 2009. – Bamberger Geographische Schriften.
- SCHIELEIN, P. & SCHELLMANN, G. (c, in prep.): Quartärgeologische Karte 1:25.000 des Lechtals auf Blatt Nr. 7431 Thierhaupten mit Erläuterungen – Kartierungsergebnisse aus dem Jahr 2011. – Bamberger Geographische Schriften.
- SCHIELEIN, P. & SCHELLMANN, G. (d, in prep.): Quartärgeologische Karte 1:25.000 des Lechtals auf Blatt Nr. 7531 Gersthofen mit Erläuterungen – Kartierungsergebnisse aus dem Jahr 2011. – Bamberger Geographische Schriften.
- SCHÖNHALS, E., ROHDENBURG H. & SEMMEL, A. (1964): Ergebnisse neuerer Untersuchungen zur Würmlößgliederung in Hessen. – *Eiszeitalter und Gegenwart*, 15: 199–206.
- SEMMEL, A. (1968): Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. – *Frankfurter Geographische Hefte*, 45: 133 S., Frankfurt.
- SEMMEL, A. (1996): Paläoböden im Würmlöß, insbesondere im Altwürmlöß des Steinbruchs Mainz-Weisenau - Problemstellung und Übersicht über die Forschungsergebnisse. – *Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten*, D 20: 11–20.
- STEFFEN, D., PREUSSER, F. & SCHLUNEGGER, F. (2009): OSL quartz age underestimation due to unstable signal components. – *Quaternary Geochronology*, 4 (5): 353–362.
- TILLMANN, W., MÜNZING, K., BRUNNACKER, K. & LÖSCHER, M. (1982): Die Rainer Hochterrasse zwischen Lech und Donau. – *Jahresberichte und Mitteilungen des oberrheinischen geologischen Vereins*, N. F., 64: 79–99.
- WALLINGA, J., MURRAY, A.S. & WINTLE, A.G. (2000): The single-aliquot regenerative-dose (SAR) protocol applied to coarse-grain feldspar. – *Radiation Measurements*, 32: 529–533.

Late Pleistocene spotted hyena den sites and specialized rhinoceros scavengers in the karstified Zechstein areas of the Thuringian Mountains (Central Germany)

Cajus Diedrich

How to cite:

DIEDRICH, C. (2015): Late Pleistocene spotted hyena den sites and specialized rhinoceros scavengers in the karstified Zechstein areas of the Thuringian Mountains (Central Germany). – E&G Quaternary Science Journal, 64 (1): 29–45. DOI: 10.3285/eg.64.1.03

Abstract:

Crocota crocuta spelaea (GOLDFUSS 1823) cranial and postcranial remains of the Pößneck region in the Zechstein Karst region of the Thuringian Mountains (Central Germany) were excavated historically in the Wüste Scheuer Cavity at Döbritz. Nearby, at the Krölpa gypsum karst open air site, additionally a woolly rhinoceros, partially scavenged by Ice Age spotted hyenas, was found. The amount at Wüste Scheuer Cavity includes chew damaged *Coelodonta antiquitatis* remains and is classified herein as communal den type. At both den/scavenging sites, only a small amount of prey material of Late Pleistocene megafauna of rare *M. primigenius*, mainly *C. antiquitatis*, *E. c. przewalskii*, and fewer *B. priscus* and *R. tarandus* was accumulated. The dominance of woolly rhinoceros, bison and Przewalski horse bones are typical for hyena bone assemblages in European low mountain regions, where mammoth was nearly absent as a result of topography. In the Thuringian Karst Mountains nine Late Pleistocene Ice Age spotted hyena den sites are identified. Solely hyena dens are present in Zechstein open air gypsum and limestone karstic regions of Bad Köstritz, Krölpa and Fuchsluken Cavities near Saalfeld. In the Wüste Scheuer their remains overlap with Middle Palaeolithic Neanderthal human camp sites, similar as in the Ilsen Cave at Ranis and Lindenthal Cave in Gera, which demonstrates competition for prey and shelter cavities. At such cave sites, bone remains were historically misinterpreted as „solely of Neanderthal human kitchen rubbish“ or even as “bone tools” (e.g. “bone scrapers” = woolly rhinoceros tibia bones chewed by hyenas).

Spätpleistozäne Fleckenhyaenenhorste und spezialisierte Nashornverwerter in den verkarsteten Zechsteingebieten des Thüringer Waldes (Mittel-Deutschland)

Kurzfassung:

Crocota crocuta spelaea (GOLDFUSS 1823) craniale und postcraniale Elemente wurden in der Pößneck-Region der Zechsteinkarst-Region im Thüringer Wald (Zentral-Deutschland) in historischer Zeit in der Wüsten Scheuer Kleinhöhle/Abri bei Döbritz ausgegraben. An der nahegelegenen Krölpa-Gipskarstfundstelle wurde ein von eiszeitlichen Fleckenhyaenen angefressener Kadaver eines Wollnashorns gefunden. Die geringe Anzahl der Megafaunenreste aus der Wüsten Scheuer Höhlung/Abri umfasst angefressene *Coelodonta antiquitatis*-Reste und wird hier als Kommunalhorst identifiziert. An beiden Horst/Fressplätzen wurden jeweils weitere Beutetierreste angereichert. Diese stammen von einer Kaltzeitfauna (Spätpleistozän) mit seltenen Knochenresten von *M. primigenius*, vorwiegend *C. antiquitatis*, *E. c. przewalskii*, und wenigen *B. priscus* sowie *R. tarandus*. Die Dominanz des Wollnashorns, gefolgt vom Bison und Przewlaksi-Pferd, ist typisch für Hyänen-Knochenakkumulationen in europäischen Mittelgebirgen, wo das Mammut aufgrund der Topographie nahezu abwesend war. In den verkarsteten Thüringer Bergen können neun spätpleistozäne Hyänenhorste identifiziert werden. Reine Hyänenhorste finden sich im Zechstein-zeitlichen Gipskarst und den Kalkstein-Karstgebieten von Bad Köstritz, Krölpa sowie den Fuchsluken-Höhlungen bei Saalfeld. In der Wüsten Scheuer treten diese überlagernd mit mittelpaläolithischen Lagerplätzen auf, wie auch in der Ilsenhöhle bei Ranis und der Lindenthaler Hyänenhöhle bei Gera, was auf Konflikte um Beute und Unterkünfte hindeutet. An diesen Höhlenfundplätzen wurden Knochenreste historisch inkorrekt als reine „Neanderthaler-Küchenabfälle“ oder als „Knochenwerkzeuge“ (z.B. „Hohlschaber“ = von Hyänen angefressene Wollnashorn-Tibien) interpretiert.

Keywords:

Ice Age spotted hyenas, den types, Late Pleistocene, Thuringian Mountains, Central Germany

Address of author:

C. Diedrich, PaleoLogic Private Research Institute, Petra Bezruce 96. CZ 26751 Zdice, Czech Republic. www.paleologic.eu and University Koblenz-Landau, Institute of Integrated Natural Sciences, Department of Biology, Universitätsstrasse 1, D-56070 Koblenz, Germany. E-Mail: cdiedri@gmx.net

1 Introduction

Hyena den research in Germany

Modern spotted hyenas *Crocota crocuta crocuta* (c.f. MILLS & MILLS 1977, LAM 1992, LANSING et al. 2007, POKINES et al. 2007, KUHN et al. 2008) and Late Pleistocene *Crocota cro-*

cuta spelaea were responsible for most of the non-human and non-cave bear bone accumulations in the Late Pleistocene of Europe (e.g. FOSSE et al. 1998, STINER 2004, VILLA et al. 2004; DIEDRICH & Žák 2006, DIEDRICH 2014a). Their prey bone accumulations are important to reconstruct the palaeoenvironment and landscape, seasonal hunting or

prey specialization of the last hyena clans of Europe (e.g. TOURNEPICHE & COUTURE 1999; DIEDRICH 2014a). They become a more and more important tool in distinguishing Palaeolithic “kitchen rubbish” from “hyena rubbish” bone sites. Research started for the Late Pleistocene period especially in France due to the abundant “archaeological cave sites” (e.g. FOSSE et al. 1998) but was discontinued at German sites (cf. history of Late Pleistocene hyena research in Europe in DIEDRICH 2014a). Hyena den research already begun with the famous works of BUCKLAND in 1823 at the German Bavarian Kuhloch Cave and English Kent’s Cavern (BUCKLAND 1823), and was continued in Germany by the German biologists GIEBEL (Martin-Luther University Halle-Saale) who collected between 1847–1850 and described preliminary the first gypsum karst open air hyena den sites Westeregeln and Seveckenberge (GIEBEL 1850, 1851). The Late Pleistocene Westeregeln overlapping Neanderthal camp/hyena den site was recently excavated and studied (DIEDRICH 2012a). Historically, the German hyena den research was then continued by Nehring, who excavated and focused on three open air gypsum karst sites in North/Central Germany: Westeregeln, Seveckenberge and Thiede (NEHRING 1876). He also worked on material from cave sites in karstified areas of the Sauerland region (NEHRING 1890). These sites have been partly restudied, including the famous Teufelskammer Cave, the Neanderthal holotype skeleton Kleine Feldhof Cave and the famous cave bear/hyena den Perick Caves (DIEDRICH 2005, 2010a, 2011a, c, 2014a). Since historical research times, when bones were found in larger amounts in karst regions due to manual work techniques, the hyena research was discontinued in Germany. At overlapping Neanderthal camp and hyena den sites, archaeologists mostly included simply “all bones to be of human kitchen rubbish origin”. This was recently discussed e.g. for the famous German Palaeolithic and overlapping hyena den Balve Cave site (cf. DIEDRICH 2011c). The most famous Thuringian cave, the “Lindenthaler Hyänenhöhle” at Gera, was described in historic times also only as hyena den (LIEBE 1876). Also the material of the WICHENDORFF (1930) excavations from the karstified Zechstein areas of the Thuringian Mountains of Central Germany (Fig. 1) belongs to this time. It is a part of a large collection of Late Pleistocene mammal bones especially from various hyena den sites of Germany formerly housed in the Preußische Geologische Landesanstalt Berlin, surviving the two World Wars (cf. DIEDRICH 2011a, 2012a, 2014a–b).

Early to Late Pleistocene hyena den sites in Thuringia

Early Pleistocene open air hyena den sites in Thuringia were discovered and extensively excavated at Untermassfeld. This is a well excavated locality with a well documented fauna, which was misunderstood in its bone accumulation taphonomy (“bone accumulation due to river floods” after KAHLKE 2006). Based on his descriptions and detailed surface documentation of the bone distribution it can be classified as one of the most typical open air commuting or even birth den sites. There, hyena remains of even a larger hyena *Pachycrocuta* were found. Additionally, many coprolites were found among thousands of prey bones. The non-cave position (= open air hyena den) underlines the prob-

lem of the former assumption of the restriction of Pleistocene hyena dens to caves.

Late Pleistocene hyena dens in Thuringian caves were described as having the richest but not well studied or figured *C. c. spelaea* material. These caves include the Lindenthal Hyena Cave of Gera (cf. LIEBE 1876), the Ilsen Cave (cf. HÜLLE 1977), and the Fuchsluken Cavities at the Rote Berg near Saalfeld (DIEDRICH 2009, Fig. 1B). The latter site is still under further investigation. The first single Late Pleistocene Ice Age spotted hyena tooth remain findings from Thuringia are from the LEUSCHNER 1883 collection (Figs. 3.2–4), which are housed now in the British Museum of Natural History London, described as having been found in a “Thuringian Cave”. Those remains might have been collected most probably in the Wüste Scheuer Cavity/Abri locality. The year of its labelling (1869) fits to the research history of the excavations and discovery history compared to other sites in Thuringia (cf. LIEBE 1876, EISEL 1886, GÄBLER 1928, WICHENDORFF & GOETZE 1930, GÖTZE 1930, AUERBACH 1930, MEYER 1933). In these karstified low mountains, in the northern part of the Permian Zechstein limestones, several smaller caves/cavities or abris are present (cf. WICHENDORFF 1931, WICHENDORFF & GOETZE 1930; Fig. 1A). The bone preservation compared to the other sites (Fig. 1B) fits best to the Wüste Scheuer Cavity/Abri site (possibly also Krölpa or Bad Köstritz). Open air and small cavity/abri air sites have been overlooked in many cases in Thuringia in the past, also by WICHENDORFF & HESS (1931) who mentioned the gypsum karst bone-rich site Bad Köstritz (see also BÖHME 2011) which will be identified herein as another hyena den (after new studies of the historical material), or such as the recently described hyena den abri site Wüste Scheuer Cavity/Abri (= “Döbritzer Cave”). There are now several smaller Late Pleistocene spotted hyena dens within the Thuringian Karst being compiled preliminary (Fig. 1; Tab. 3), whereas detail and revision studies on the important historical Lindenthal Hyena Cave and Ilsen Cave bone material must be addressed in the future.

The description of most important Late Pleistocene hyena den sites in Germany is continued herein with studies of further rediscovered historical material from the Central German Thuringian Mountains (Fig. 1A), which support the identification of about three different hyena den site types (cf. DIEDRICH 2014a). For the palaeoethology understanding of the last European hyena populations, cave bear den studies became highly important to understand the feeding/prey ethology of hyenas. Cave bear den sites are important, because it is well-known that in low mountain regions hyenas specialized on “cave bear scavenging” (DIEDRICH 2005, 2011b, 2013b, c, 2014a–b). A cave bear den site in the Thuringian Mountains is solely found within the larger cave system of the Altensteiner Cave near Bad Liebenstein (BRANIEK 2002) west of the studied area (Fig. 1B). This site has no hyena records (confirmed by own observations in the collection of the Naturkundemuseum Schleusingen, which lacks hyena remains), but abundant *Ursus spelaeus* subsp. (small forms such as *U. spelaeus eremus*) remains, in which taphonomic cave bear bone studies still lack at this early/middle Late Pleistocene cave bear den site.

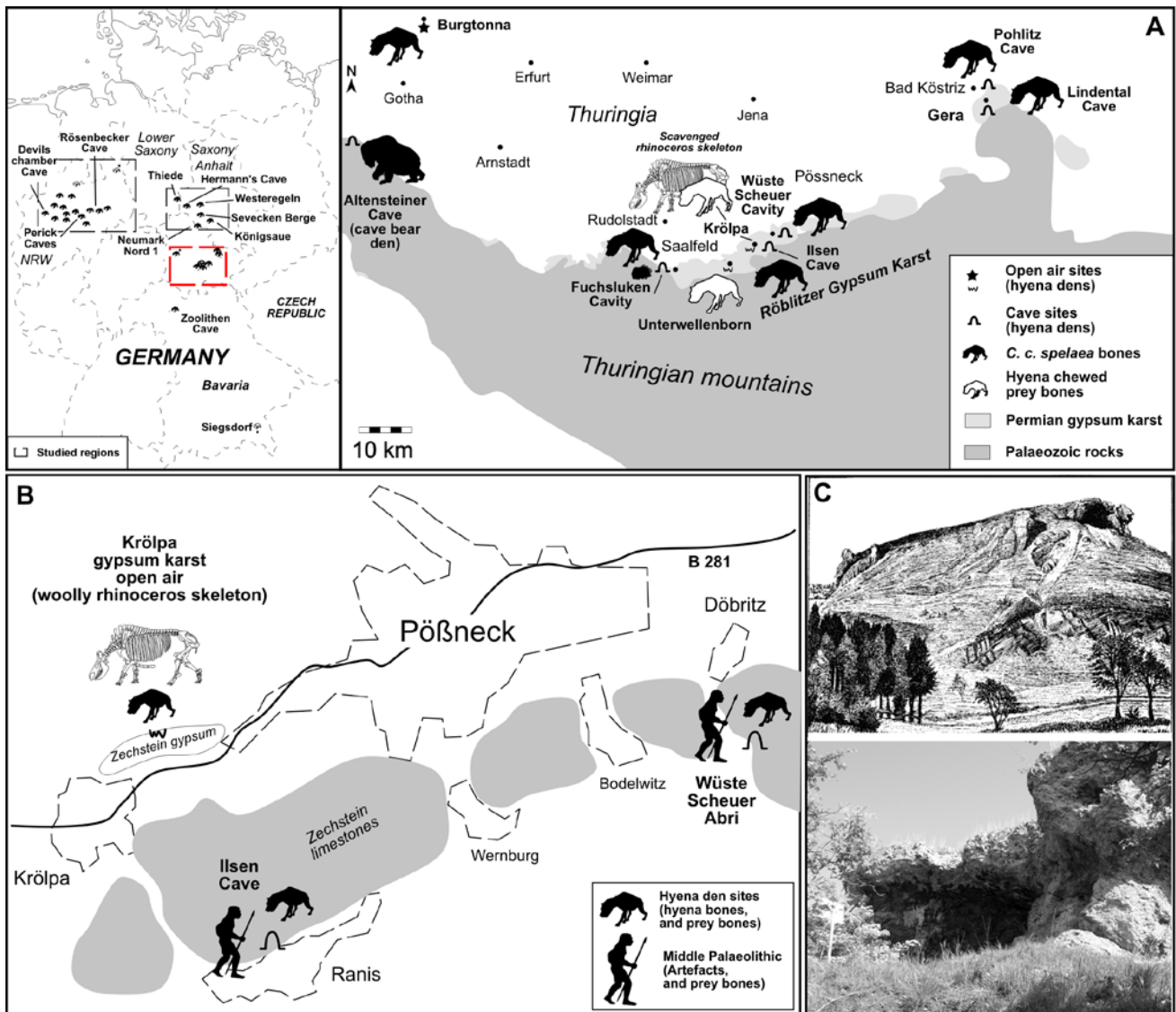


Fig. 1: A. Late Pleistocene small hyena den cave, abri and open air sites in the Zechstein limestone and gypsum karst near Pößneck of Thuringia (Central Germany) and compared studied areas (after DIEDRICH 2012f). C. Wüste Scheuer Abri hyena den site (photo in 2009), and historical picture (from WICHENDORFF & GOETZE 1930) (right corner of the plateau). (Middle Palaeolithic sites after WICHENDORFF 1930; MÜLLER-BECK 2004).

Abb. 1: A. Spätpleistozäne kleine Höhlen/Abri und Freilandfundstellen im Zechstein Kalk und Gipskarstgebiet um Pößneck in Thüringen (Mittel-Deutschland) und verglichene untersuchte Gebiete (nach DIEDRICH 2012f). C. Wüste Scheuer Abri/Höhle-Hyänenhorst (Photo 2009), und historische Abbildung (aus WICHENDORFF & GOETZE 1930) (rechte Ecke des Plateaus). (Mittelpaläolithische Fundstellen nach WICHENDORFF 1930; MÜLLER-BECK 2004).

The Late Pleistocene Wüste Scheuer Abri/Cavity hyena den history

Near the Thuringian village Pößneck, there are three smaller cavities including the famous “Kniegrotte” and the “Wüste Scheuer Cavity/Abri”, where at both sites, in the upper layers remains from the Late Magdalénien period have been found (WICHENDORFF 1930, HÖCK 2000, Figs. 1–2A). In the Wüste Scheuer hyena and other Late Pleistocene megafauna remains have been recorded from the “lower layers” such as very few non-diagnostic Middle Palaeolithic flakes, which indicates competition for this shelter, similar as at Gera Lindenthal Cave or Ilsen Cave.

In the Wüste Scheuer south of the village Döbritz (= archaeological monument, Fig. 1B; Lat. 50°41'18.15"N; Long. 11°38'30.93"E) initial excavations by EISEL in 1884 yielded first archaeological findings in the upper layers and bone remains of “horse and rhinoceros” in deeper layers (EISEL 1886). The material seems to be partly preserved (e.g.

Late Magdalénian artefacts: Fig. 2B). These discoveries led to complete sediment removal by the “Thürigische Höhlenverein” from the “Döbritzer Höhle bei Pößneck” on the “Öpitzer Berg” (= Wüste Scheuer Abri/Cavity) between 1920–1927 led by HESS VON WICHENDORFF (Berlin). His work focused on the Late Palaeolithic archaeology (cf. GÄBLER 1928, WICHENDORFF & GOETZE 1930, GÖTZE 1930). After his excavations parts of the small cave and the fore place were refilled to a plateau (Fig. 1C). The locality was mentioned not only by WICHENDORFF to have delivered “hyena bones”, which was repeated by AUERBACH (1930) or MEYER (1933), whereas none of the megafauna remains were figured at that time. Another unpublished document of the city Pößneck supported the former description that the material was partly in the collection of M. RICHTER, which was taken by Prof. BÖHM before 1955 to the Landesamt für Archäologie Thuringia in Weimar, but this material can no longer be located, after authors requests. The Late Pleistocene hy-

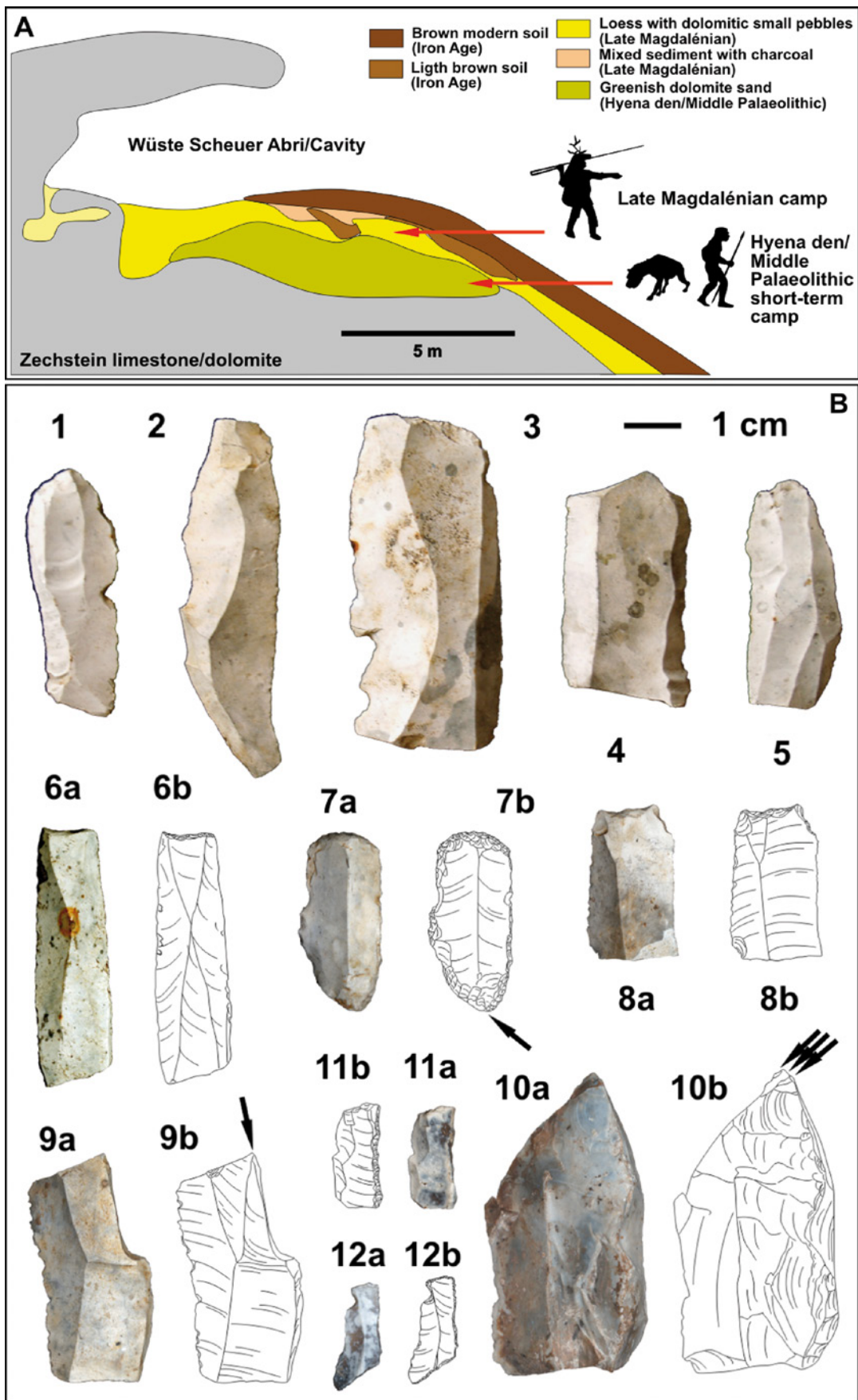


Fig. 2: A. Section sketch redrawn after WICHENDORFF (1930), B. Late Magdalénian flintstone artefacts: 1–5. blades, 6 and 8. distal retouched blade, 7. double scraper, 9–10. burins, 11–12. Backed bladelets (coll. SMS).

Abb. 2: A. Stratigraphie-Übersicht umgezeichnet nach WICHENDORFF (1930), B. Spät-Magdalénian Feuerstein-Artefakte: 1–5. Klingen, 6 und 8. Endtretuschierte Klinge, 7. Doppelkratzer, 9–10. Stichel, 11–12. Rückenmesser (coll. SMS).

ena skull from “Pößneck” is the most complete one, including its lower jaws (another skull from Lindenthal Cave). It was formerly figured preliminary (KOENIGSWALD 2002), and was compared in the skull shape morphotype analyses with many other skulls of Europe (DIEDRICH 2014a).

The Krölpa rhinoceros carcass open air gypsum karst hyena scavenging site

Herein, a scavenged “rhinoceros carcass remain” (*Coelodonta antiquitatis*) from the Krölpa open air gypsum karst (Fig. 1B; Lat.: 50°41′4.94″N, Long.: 11°32′48.58″E) west of Pößneck nearby the Wüste Scheuer Cavity hyena den is added, which is important to understand the palaeoecology and body part (not bone) import to hyena den cave sites (= schlep effect), and bone damage stages, which were compared to the open air hyena river terrace site Bottrop (cf. DIEDRICH 2012c) and open air loess site Bad Wildungen (DIEDRICH 2013a) such as Perick Caves (DIEDRICH 2006a, 2008b) woolly rhinoceros bone material. There is only a short report about this karstified gypsum depression, which was destroyed during previous historic gypsum quarry activities (cf. WICHENDORFF 1931).

2 Material and methods

The studied material is one of the famous historical and “lost collections” from the Geologische Preußische Landesanstalt Berlin, which was recently moved to the Museum of Natural History of the Humboldt-Universität Berlin. Several historical German bone accumulation sites were destroyed during gypsum mining activities, and material, as the herein figured one is important to understand the palaeopopulations of hyenas, their den sites and palaeoecology or -biogeography. Even if the material is incomplete, it is still useful to get a much better understanding of the use of caves by humans or by top predators. This collection demonstrates a much higher density of hyena dens in Central Germany during the times of late Neanderthal and early Late Palaeolithic (Aurignacien) hunter-gatherer occupations. Furthermore it becomes important for distinguishing more clearly between human and top predator bone accumulation sites.

Some hyena teeth were collected at the Wüste Scheuer Cavity possibly before 1883 by Leuschner. These are housed in the British Museum of Natural History in London (abbreviation = BMNHL, collecting/labelling date 1869, Figs. 3.2–4). The EISEL collection was labelled in 1885 (found in 1884) and is at least partly preserved within the Stadtmuseum Saalfeld (abbreviation = SMS) collection with some “lost” Late Magdalénian stone tools figured herein. This flint stone tool material was rediscovered – during a collections management effort of the Pleistocene (another important hyena open air den site Fuchsluken Rote Berg, Saalfeld) and Stone Age (Magdalénian site Teufelsbrücke) artifact collection, made by PaleoLogic in 2009. The here figured hyena bone material (Figs. 3.1, 3.5–22) is from the excavations of WICHENDORFF 1920–1927 (now Museum of Natural History of the Humboldt-Universität Berlin: abbreviation = MB). The Pleistocene bones including material from the Krölpa karstified gypsum site (woolly rhinoceros skeleton and other bone material, (Figs. 4–5) were

also formerly in the ownership of the “Preußische Geologische Landesanstalt Berlin”, then stored after the reform by the Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (= BGR) and is now also in the MB. The archaeological collection of WICHENDORFF’s excavations went at least partly into the Museum Pößneck, but seems to have been lost during World War II, whereas other material from the RICHTER collection disappeared in 1955. Possibly this went partly in the Stadtmuseum Saalfeld im Franziskanerkloster (abbreviation = SMS) such as other material of his collection, which was also rediscovered by the author during inventory - work of the Pleistocene fauna and Palaeolithic-Neolithic archaeology collection.

The Landesmuseum für Vor- und Frühgeschichte Thüringen permitted a prospection of the old dump (WICHENDORFF excavations) in front of the cave in Mai 2009. Those delivered some Late Magdalénian flint flakes and even tools (one backbladelet, flakes and blades), but also Late Pleistocene bone fragments (yellow in colour similar to the hyena material described herein) from the hyena den period, which are housed now in the Landesmuseum für Vor- und Frühgeschichte Thüringen in Weimar (abbreviation = LAT). Those findings indicate a historical non-sieving and selection of the complete and larger material.

3 Geology, stratigraphy and dating

All herein studied Late Pleistocene bone sites are situated in karstified Zechstein limestone or gypsum areas of the northern Thuringian Mountain chain (Figs. 1A–B), which is built mainly of Palaeozoic sediments (SEIDEL 2003).

The Wüste Scheuer Abri/Cavity site section was figured by WICHENDORFF (1930, Fig. 2A), whereas newer dating or studies are not possible due to complete sediment removal. The uppermost “brown soil layer” contained already archaeological findings, especially pottery sherds from the Iron Age period. The Late Palaeolithic artefact and bone-rich upper loess layers are from the Late Magdalénian epoch, bearing typical tools of backbladelets, burins and scrapers (mainly flint stone material) and large regular blades (Fig. 2B) and mentioned art work, or abundant shed and cranial attached reindeer antlers such as cranial and postcranial bones (MB collection). This material is similar to the material found in the nearby Kniegrotte (cf. HÖCK 2000). The oldest layers at the Wüste Scheuer Abri/Cavity contain an “Ice Age fauna” (herein = hyena den bone assemblage), whereas this seems to be mixed with some Middle Palaeolithic artefacts made mainly of local hard river gravel rocks, consisting of scrapers and flakes only (cf. WICHENDORFF 1930). The megafauna points to an Early to Middle Weichselian age of the Late Pleistocene hyena and little prey material. This age is further supported by the “Middle Palaeolithic” (Moustérien after WICHENDORFF 1930) artefacts, but those flakes are non-diagnostic for more precise dating into the Eemian or Weichselian. At least, the sparse and likely incompletely preserved megafauna represent a “cold period fauna” sensu e.g. KAHLKE (1955) with the Weichselian species *Coelodonta antiquitatis*, *Equus caballus przewalski* and *Rangifer tarandus*.

The stratigraphy of the Krölpa gypsum karst open air site is unknown, whereas the karst depressions were

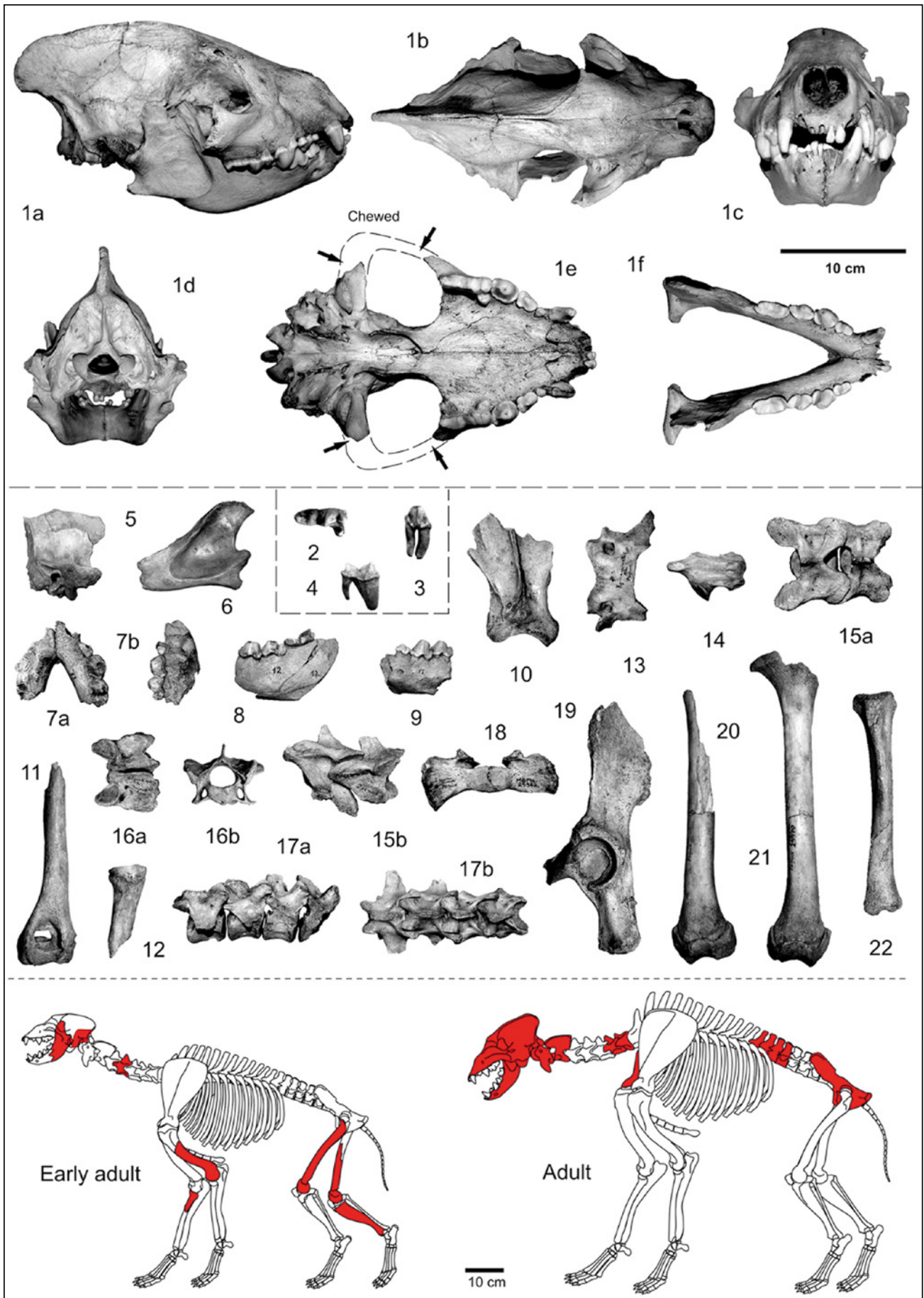


Fig. 3: Late Pleistocene *Crocota crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) remains from the Zechstein gypsum quarry Krölpa hyena open air and the Zechstein limestone Wüste Scheuer Cavity near Döbritz hyena den site both near Pößneck in Thuringia (Central Germany). Krölpa: 1. Skull of a young adult animal. a. lateral right, b. dorsal, c. frontal, d. occipital, e. ventral (MB no. Ma.44381). f. mandible, dorsal. Wüste Scheuer Abri: 2. Right P⁴ of an early adult animal (BMNHL no. M.488a), occlusal. 3. Left P₁ of an adult animal (BMNHL no. M.488b), lingual. 4. Left M₁ of an adult animal (BMNHL no. M.488c), lingual. Wüste Scheuer Abri: 5. Brain case fragment of a cub (MB no. Ma.29949), lateral. 6. Lower jaw fragment of a cub (MB no. Ma.29951), lateral. 7. Lower jaw symphyses of a high adult animal (MB no. Ma.29816, 29814), a. dorsal, b. lateral right. 8. Left mandible fragment of a high adult animal (MB no. Ma.29815), lateral. 9. Left mandible fragment of an adult animal (MB no. Ma.29816), lateral. 10. Right scapula of a grown up animal (MB no. Ma.29964), lateral. 11. Left humerus of a late juvenile animal (MB no. Ma.29969), cranial. 12. Right radius fragment of a late juvenile animal (MB no. Ma.29968), lateral inner view. 13. Atlas of a grown up animal (MB Ma.29952), dorsal. 14. Axes centrum of a grown up animal (MB no. Ma.29953), dorsal. 15. Cervical vertebrae No. 6 and 7 of a grown up animal (MB no. Ma.29973), a. dorsal, b. lateral. 16. Cervical vertebra No. 3 of a late juvenile animal (MB no. Ma.29954), a. dorsal, b. cranial. 17. Thoracic vertebra No. 13 to Lumbar vertebra No. 2 of a grown up animal (MB no. Ma.29958-29961), a. dorsal, b. cranial. 18. Left coxa of a grown up animal (MB Ma.29967), a. acetabular, b. lateral. 19. Sacrum of a grown up animal (MB no. Ma.29962), cranial. 20. Right incomplete femur of a late juvenile animal (MB no. Ma.29971), cranial. 21. Left femur of a late juvenile animal (MB no. Ma.29970), cranial. 22. Right tibia of a late juvenile animal (MB no. Ma.29972), cranial.

Abb. 3: Spätpleistozäne *Crocota crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823)-Reste aus dem Zechstein-Gipskarst-Steinbruch nahe Krölpa und dem Zechstein-Kalk Abri/Höhle der Wüsten Scheuer nahe Döbritz beide bei Pößneck in Thüringen (Mitteldeutschland). Krölpa: 1. Schädel eines frühadulten Tieres. a. lateral rechts, b. dorsal, c. frontal, d. occipital, e. ventral (MB Nr. Ma.44381), f. Mandibel, dorsal. Wüste Scheuer Abri/Höhle: 2. Rechter P₄ eines frühadulten Tieres (BMNHL Nr. M.488a), occlusal. 3. Linker P₁ eines frühadulten Tieres (BMNHL Nr. M.488b), lingual. 4. Linke M₁ eines adulten Tieres (BMNHL Nr. M.488c), lingual. Wüste Scheuer Abri/Cavity: 5. Schädelkapsel-Fragment eines Jungtieres (MB Nr. Ma.29949), lateral. 6. Unterkieferfragment eines Jungtieres (MB Nr. Ma.29951), lateral. 7. Unterkiefersymphyse eines hochadulten Tieres (MB Nr. Ma.29816, 29814), a. dorsal, b. lateral rechts. 8. Unterkieferfragment eines hochadulten Tieres (MB Nr. Ma.29815), lateral. 9. Unterkieferfragment eines adulten Tieres (MB Nr. Ma.29816), lateral. 10. Rechte Scapula eines Jungtieres (MB Nr. Ma.29964), lateral. 11. Linker Humerus eines Jungtieres (MB Nr. Ma.29969), kranial. 12. Rechter radius eines Jungtieres (MB Nr. Ma.29968), lateral Innenseite. 13. Atlas eines ausgewachsenen Tieres (MB Nr. Ma.29952), dorsal. 14. Axes-Zentrum eines adulten Tieres (MB Nr. Ma.29953), dorsal. 15. Cervical-Wirbel Nr. 6 und 7 eines adulten Tieres (MB Nr. Ma.29973), a. dorsal, b. lateral. 16. Cervical-Wirbel Nr. 3 eines Jungtieres (MB Nr. Ma.29954), a. dorsal, b. cranial. 17. Thoracal-Wirbel Nr. 13 bis Lumbar-Wirbel Nr. 2 eines adulten Tieres (MB Nr. Ma.29958-29961), a. dorsal, b. cranial. 18. Linke Coxa eines adulten Tieres (MB Nr. Ma.29967), a. acetabular, b. lateral. 19. Sacrum eines adulten Tieres (MB Nr. Ma.29962), kranial. 20. Rechter unvollständiger Femur eines Jungtieres (MB Nr. Ma.29971), kranial. 21. Linker Femur eines Jungtieres (MB Nr. Ma.29970), kranial. 22. Rechte Tibia eines Jungtieres (MB Nr. Ma.29972), kranial.

described to have been filled up with mainly Late Pleistocene loess (cf. WICHENDORFF 1931). The presence of the woolly rhinoceros carcass and other previously mentioned cold period megafauna remains (Figs. 3–4) indicate again Weichselian ages of the karst depression fillings.

4 Results and discussion

Late Pleistocene spotted hyena den types in Thuringia

In contrast to earlier models (cf. CUVIER 1805, GOLDFUSS 1823, BUCKLAND 1823), we know today from comparisons to modern African spotted hyena dens that hyena dens are not limited to caves only (cf. DIEDRICH 2014a). Hyena den cave sites dominate recently in Central Europe mainly as a result of research history (DIEDRICH 2014a). The most famous hyena den caves in Germany include Lindenthal Cave (D) – LIEBE 1876, Teufelslucken Cave (A) – EHRENBURG et al. 1938; Czech Republic: Srbsko Chlum Komin Cave (CZ) – DIEDRICH 2010b; Sloup Cave (CZ) – DIEDRICH 2012d; Koněprusy Cave (CZ) – DIEDRICH 2012e; Perick Caves (D) – DIEDRICH 2005, Balve Cave (D) – DIEDRICH 2011e, Teufelskammer Cave (D) – DIEDRICH 2012a, or Rösenbecker Cave (D) – DIEDRICH 2011a; France: Camiac Cave (F) – GUADELLI 1989, Rochelot Cave (F) – TOURNEPICHE & COUTURE 1999; Italy: San Teodoro Cave (It) – MANGANO 2011) and several more cave sites (e.g. TOURNEPICHE 1996, FOSSE et al. 1998, DIEDRICH & Žák 2006, STINER 2004, VILLA et al. 2004).

In gypsum karst areas of Germany (Westeregeln, Seveckenberge, Thiede – DIEDRICH 2012a, 2013f, 2014a) and in limestone karst areas (Fuchsluken Cavity – DIEDRICH 2009, 2014a) more and more “bone accumulation sites” were attributed to hyena activities excluding human origins (“kitchen rubbish” of “camp sites”, cf. Fig. 1A).

Finally mostly overlooked open air bone accumulation

sites have been identified more recently to be of hyena origin. In most cases those represent den sites comparable with modern spotted hyenas dens in Africa (cf. e.g. BRAIN, 1983). Newest identifications of such Late Pleistocene hyena open air den site types in Germany are described for different river terrace sites along the Rhine River (DIEDRICH 2008c) and the branching Emscher river at Bottrop (cf. DIEDRICH 2012c), or in short-use overlap with Neanderthal camp lake sites such as Neumark-Nord 1 (DIEDRICH 2010c) and Königsau (DIEDRICH 2013f). Another important open air hyena den and bone accumulation type is the recycled badger/fox den open air loess site Bad Wildungen (cf. DIEDRICH 2013a). The den types have recently been reviewed in Europe in terms of the following characteristics a. Morphology and b. Ethology (cf. DIEDRICH 2014a).

Late Pleistocene hyena den sites in Thuringia

About nine Thuringian hyena den sites that contain varying amounts of *C. c. spelaea* bone remains are identified herein for the northern Thuringian Mountain region (Fig. 1A, Tab. 3). Some of the sites cannot be studied anymore (bones lost or distribution in collections unclear, no detailed documentation, and destroyed sites/layers especially in gypsum karst areas). Others (fully excavated Ilsen Cave, destroyed Lindenthal Cave) have to be restudied in future, because artefact records suggest that they overlap with Middle Palaeolithic Neanderthal occupation periods. It is to be expected that the material at those cave sites is a mix of human kitchen rubbish and hyena prey bones, similar as demonstrated for e.g. the Balve Cave hyena and Middle/Late Palaeolithic camp cave site (DIEDRICH 2011e) and Westeregeln open air site (DIEDRICH 2012a), being well known also at many French cave sites (e.g. FOSSE et al. 1988).

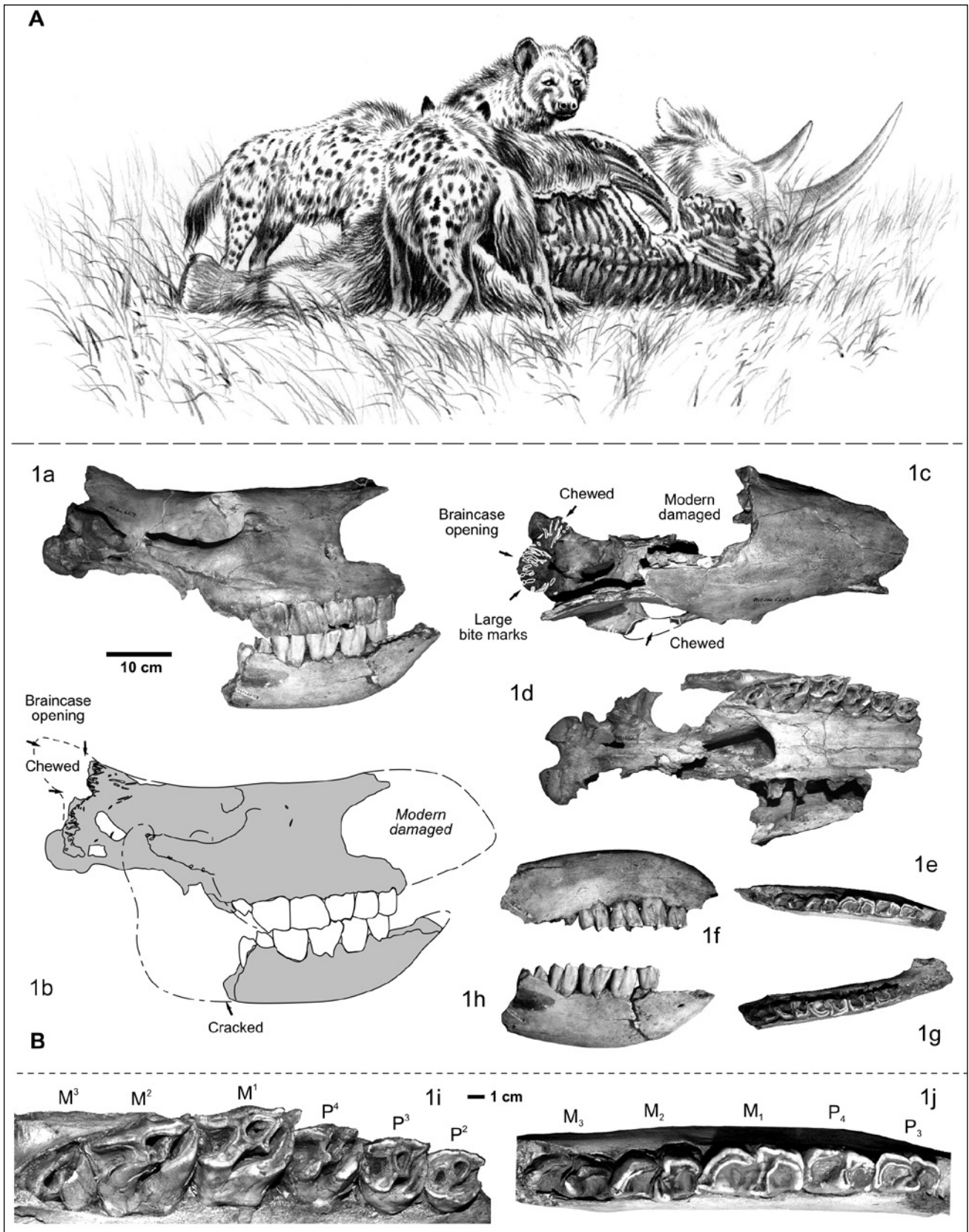


Fig. 4: A. Ice Age spotted hyenas scavenging on Late Pleistocene woolly rhinoceros carcass (Illustration "Rinaldino", G. Teichmann, © PaleoLogic). B. Skull of *Coeleodonta antiqunitatis* (BLUMENBACH 1799) of the skeleton from the Krölpa gypsum karst open air site west of Pößneck in Thuringia (Central Germany). B. Skull with lower jaw (MB no. Ma.26153) and occipital brain case opening caused by hyenas. The skull of an adult rhinoceros belongs most probably to a single skeleton remain (postcranial see Fig. 4), a–b. skull and jaw lateral left, c. dorsal, c. skull dorsal, d. skull ventral, e and g. mandibles dorsal, f and h. mandibles lateral, i. right upper jaw dentition, j. left lower jaw dentition.

Abb. 4: A. Eiszeitliche Fleckenhyaänen als Aasfresser an einem spätpleistozänen Wollnashorn-Kadaver (Illustration „Rinaldino“, G. Teichmann, © PaleoLogic). B. Schädel von *Coeleodonta antiqunitatis* (BLUMENBACH 1799) des Skelettrestes der Krölpa Gipskarst-Freilandfundstelle westlich von Pößneck in Thüringen (Mittel-Deutschland). B. Schädel mit Unterkiefer (MB Nr. Ma.26153) und occipitalen Schädelöffnung verursacht durch Hyänen. Der Schädel eines adulten Nashorns gehört offensichtlich zu einem Skelettrest (postcraniale Elemente in Fig. 4), a–b. Schädel und Unterkiefer lateral links, c. dorsal, c. Schädel dorsal, d. Schädel ventral, e und g. Mandibeln dorsal, f und h. Mandibeln lateral, i. Rechte Oberkieferbezahnung, j. Linke Unterkieferbezahnung.

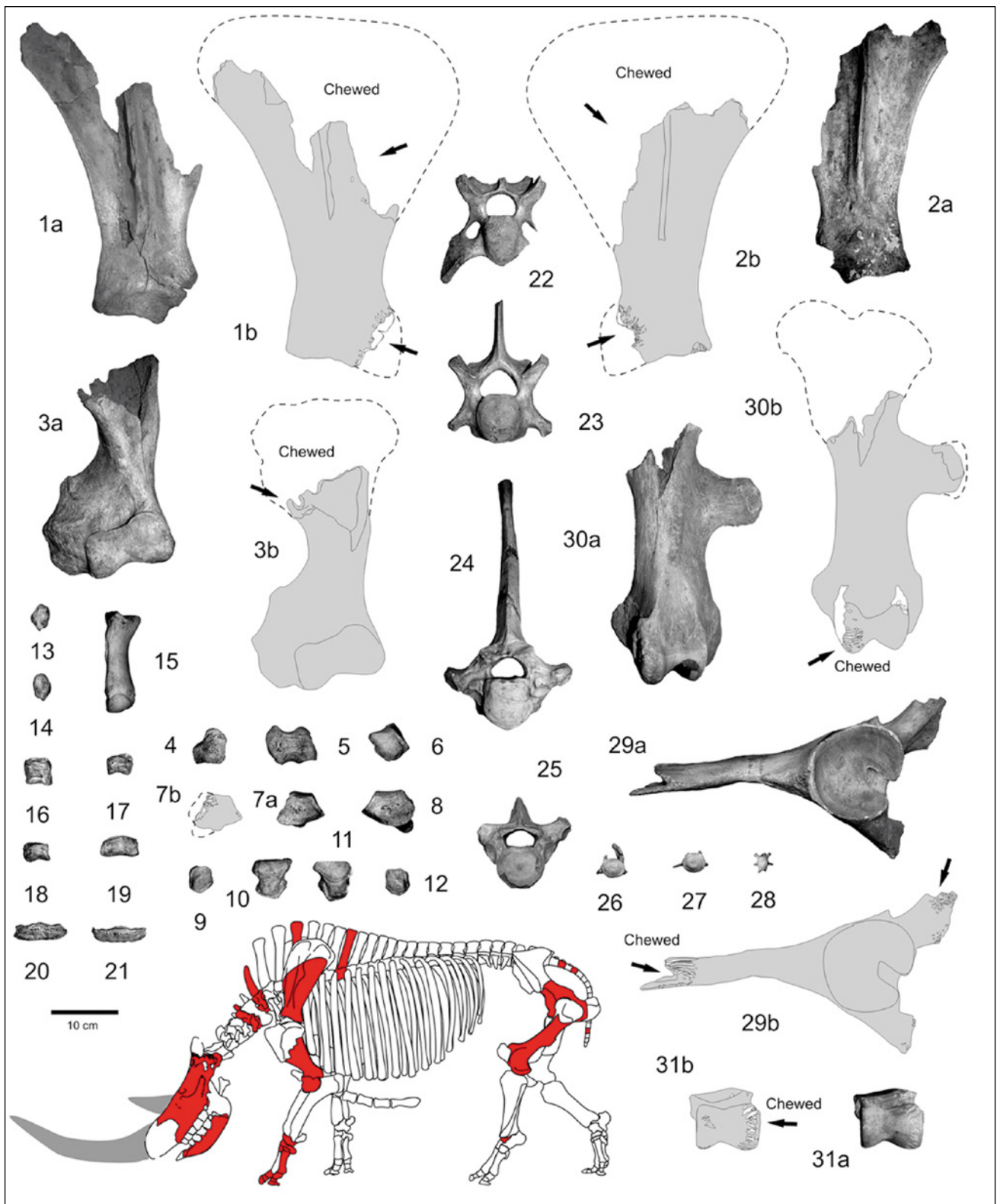


Fig. 5: Postcranial remains of Late Pleistocene *Coeleodonta antiqutatis* (BLUMENBACH 1799) of one (?or several) skeleton (adult in age) from the Krölpä gypsum karst open air site near Pöfßneck in Thuringia (Central Germany). 1. Right scapula (MB no. Ma.24947), lateral. 2. Left scapula (MB no. Ma.24.963), lateral. 3. Left humerus (MB no. Ma.16003), cranial. 4. Right ulnare (MB no. Ma.25710.5), lateral. 5. Left radiale (MB no. Ma.25710.2), lateral. 6. Left carpale III (MB no. Ma.25710.3), cranial. 7. Right carpale IV (MB no. Ma.25710.6), cranial. 8. Left carpale IV (MB no. Ma.25710.1), cranial. 9. Right carpale II (MB no. Ma.25710.7), cranial. 10. Left intermedium (MB no. Ma.25710.4b), cranial. 11. Right intermedium (MB no. Ma.25710.4a), cranial. 12. Left carpale II (MB no. Ma.25710.8), cranial. 13. Trapezium (MB no. Ma.25710.9), ventral. 14. Trapezium (MB no. Ma.25710.10), ventral. 15. Left metacarpus IV (MB no. Ma.25655), dorsal. 16. Phalanx I (MB no. Ma.25710.11), dorsal. 17. Phalanx II (MB no. Ma.25710.12), dorsal. 18. Phalanx II (MB no. Ma.25710.13), dorsal. 19. Phalanx II (MB no. Ma.25710.14), dorsal. 20. Phalanx III (MB no. Ma.25710.15), dorsal. 21. Phalanx III (MB no. Ma.25710.16), dorsal. 22. Cervical vertebra 5 (MB no. Ma.24902), cranial. 23. Cervical vertebra 7 (MB no. Ma.24927), cranial. 24. Thoracic vertebra 3 (MB no. Ma.24929), cranial. 25. Thoracic vertebra 7 (MB no. Ma.24928), cranial. 26. Upper caudal vertebra (MB no. Ma.29956), cranial. 27. Upper caudal vertebra (MB no. Ma.29955), cranial. 28. Lower caudal vertebra (MB no. Ma.29963), cranial. 29. Left chewed coxa (MB no. Ma.16017), lateral. 30. Left chewed femur (MB no. Ma.16016), cranial. 31. chewed astragalus (MB no. Ma.25710), dorsal.

Abb. 5: Postcraniale Reste vom spätpleistozänen *Coeleodonta antiquitatis* (BLUMENBACH 1799) eines (?oder mehrerer) Skelettes (adultes Alter) von der Krölpa Gipskarst-Freilandfundstelle nahe Pößneck in Thüringen (Mittel-Deutschland). 1. Rechte Scapula (MB Nr. Ma.24947), lateral. 2. Linke Scapula (MB Nr. Ma.24.963), lateral. 3. Linke Humerus (MB Nr. Ma.16003), cranial. 4. Rechtes Ulnare (MB Nr. Ma.25710.5), lateral. 5. Linkes Radiale (MB Nr. Ma.25710.2), lateral. 6. Linkes Carpale III (MB Nr. Ma.25710.3), cranial. 7. Rechtes Carpale IV (MB Nr. Ma.25710.6), cranial. 8. Linkes Carpale IV (MB Nr. Ma.25710.1), cranial. 9. Rechtes Carpale II (MB Nr. Ma.25710.7), cranial. 10. Linkes Intermedium (MB Nr. Ma.25710.4b), cranial. 11. Rechtes Intermedium (MB Nr. Ma.25710.4a), cranial. 12. Linkes Carpale II (MB Nr. Ma.25710.8), cranial. 13. Trapezium (MB Nr. Ma.25710.9), ventral. 14. Trapezium (MB Nr. Ma.25710.10), ventral. 15. Linker Metacarpus IV (MB Nr. Ma.25655), dorsal. 16. Phalanx I (MB Nr. Ma.25710.11), dorsal. 17. Phalanx II (MB Nr. Ma.25710.12), dorsal. 18. Phalanx II (MB Nr. Ma.25710.13), dorsal. 19. Phalanx II (MB Nr. Ma.25710.14), dorsal. 20. Phalanx III (MB Nr. Ma.25710.15), dorsal. 21. Phalanx III (MB Nr. Ma.25710.16), dorsal. 22. Cervical-Wirbel 5 (MB Nr. Ma.24902), cranial. 23. Cervical-Wirbel 7 (MB Nr. Ma.24927), cranial. 24. Thoracal-Wirbel 3 (MB Nr. Ma.24929), cranial. 25. Thoracal-Wirbel 7 (MB Nr. Ma.24928), cranial. 26. Oberer Caudal-Wirbel (MB Nr. Ma.29956), cranial. 27. Oberer Caudal-Wirbel (MB Nr. Ma.29955), cranial. 28. Unterer Caudal-Wirbel (MB Nr. Ma.29963), cranial. 29. Linke angefressene Coxa (MB Nr. Ma.16017), lateral. 30. Linker angefressener Femur f (MB Nr. Ma.16016), cranial. 31. Angefressener Astragalus (MB Nr. Ma.25710), dorsal.

In this study the following identified Late Pleistocene hyena den sites from West to East are presented for Thuringia (see details in Tab. 1): 1. Burgtonna as travertin open air spring site, Eemian (KAHLKE 1955), 2. Fuchsluken Cavity near Saalfeld, Eemian and Weichselian (DIEDRICH 2008, 2012f), 3. Öpitzer Berg Unterwellenborn open air site (GÄBLER 1928), 4. Krölpa open air site, Weichselian (WICHENDORFF 1931, an herein), 5. Ilsen Cave Ranis, Weichselian (UTESCHER et al. 1948, MÜLLER-BECK 2004), 6. Wüste Scheuer Abri/Cavity Döbritz, Weichselian (WICHENDORFF 1930, an herein), 7. Lindental Cave Gera Weichselian (LIEBE 1876, AUERBACH 1930), 8. Pohlitz, Weichselian and 9. Bad Köstritz open air, Eemian and Weichselian (WICHENDORFF & HESS 1931). It is also possible that bones from Oppurg-Pfaffenberg (LIEBE 1876, AUERBACH 1930) are remains of a destroyed hyena den site.

At both cave sites, Lindenthal and Ilsen Caves, “phosphatic layers” must have resulted from long-term use (communal dens), den marking and trampling of their faecal pellets (DIEDRICH 2012b). At all other sites no pellets have been recognized, collected or have survived in collections. Generally, excrements have been documented to be very rare at carcass scavenging sites (DIEDRICH 2010c).

Cannibalistic Ice Age spotted hyena populations around “Pößneck”

The hyena skull from “Pößneck” (Fig. 3.1) was discussed already in comparison with more than 30 other European skulls to originate from a female in its larger proportions (DIEDRICH 2011a, 2014a), but is still unclear in its original locality (Wüste Scheuer or Krölpa). The bone preservation compared to the other herein figured cranial and postcranial bones would indicate its origin from the Wüste Scheuer. The high amount of hyena remains (31% of the bone NISP) at the Wüste Scheuer Abri/Cavity compared to other hyena dens is typical (10–35%) for Ice Age spotted hyena den sites, e.g. FOSSE et al. 1998; TOURNEPICHE & COUTURE 1999, VILLA et al. 2004, DIEDRICH & ZAK 2006; DIEDRICH 2012e, 2014a). The absence of siblings exclude a birth den site compared to modern African spotted hyena birth dens (cf. BRAIN 1983, EAST et al. 1989, COOPER 1993, HOFER & EAST 1995, BOYDSTON et al. 2006), or Ice Age den sites (DIEDRICH 2014a, Fig. 6A). At such dens, remains of siblings were sometimes left as a result of deadly fights between siblings or cubs (cf. FRANK 1994). The age structure statistics of the Wüste Scheuer hyena remains (three main age classes see Fig. 6A), support a communal den and not a birth den type sensu DIEDRICH (2014a).

The skull of Pößneck has postmortal cannibalistic damage on the jugal arches (cf. Fig. 3.1e) resulting from lower jaw removal by hyena scavenging activities (DIEDRICH 2014a). At the Krölpa open air site further damaged hyena cranial remains (three cracked mandibles: Figs. 3.7–9) and one damaged atlas (Fig. 2.13) support hyena cannibalism also at the Thuringian Mountain hyena den sites. The dominance of skulls or in general cranial remains (often abundant isolated teeth, mandible and maxillary fragments) are found at various European open air and even more often at cave sites (there especially in bith dens) (DIEDRICH 2008c, 2011a, 2012h, 2014a, 2015).

The woolly rhinoceros carcass of Krölpa

The dentition of the rhinoceros skull (Fig. 3B) allows a secure taxonomic attribution to *C. antiquitatis* also compared to a skull of Neumark-Nord Lake 1 site presented by MADE VAN DER (2010). The age of the skull and the fully fused postcranial bone sutures indicate all as adult rhinoceros remains. The absence of repeated bone elements indicates most probably the presence of a single individual. From Krölpa also a single rhinoceros tooth was mentioned (GÄBLER 1928), whereas it remains unclear, if this belongs to the herein figured damaged skull (left row of teeth is missing due to modern/historic damage). Like in the case of Bad Wildungen (DIEDRICH 2013a), it is expected, that nearby the carcass hyenas accumulated other prey remains (GÄBLER 1928 also mentioned horse teeth), if the area was used furthermore as den, similar as it happened at Bad Wildungen, where hyenas seem to have reused a badger/fox den in loess sediments (DIEDRICH 2012i).

Hyena den or only open air scavenging site at Krölpa

Whereas all of the Krölpa carcass rhinoceros longbones and the pelvis (Figs. 5.1–3, 7, 29–30) have 4–6 mm wide bite scratches in the spongiosa, and on the margins triangular and oval bite impact marks also in the compacta, additionally partly zigzag-margins are typical for hyena crushing activities (cf. DIEDRICH 2012c, Fig. 5). Most interesting is the rhinoceros skull taphonomy. The skull has 4–8 mm wide and short-elongated large carnivore bite marks inside. Outside again triangular bite impacts and a zigzag margin demonstrate the damage to be the result of breaking scissor dentition of hyenas (cf. DIEDRICH 2012c, 2014a) that opened the skull for feeding on the brain from the occipital. There are only a few other similarly hyena-damaged rhinoceros skulls figured from a calf (Bad Wildungen), and adolescent calf (Selm-Ternsche) (DIEDRICH 2012c, 2013a). Other bite

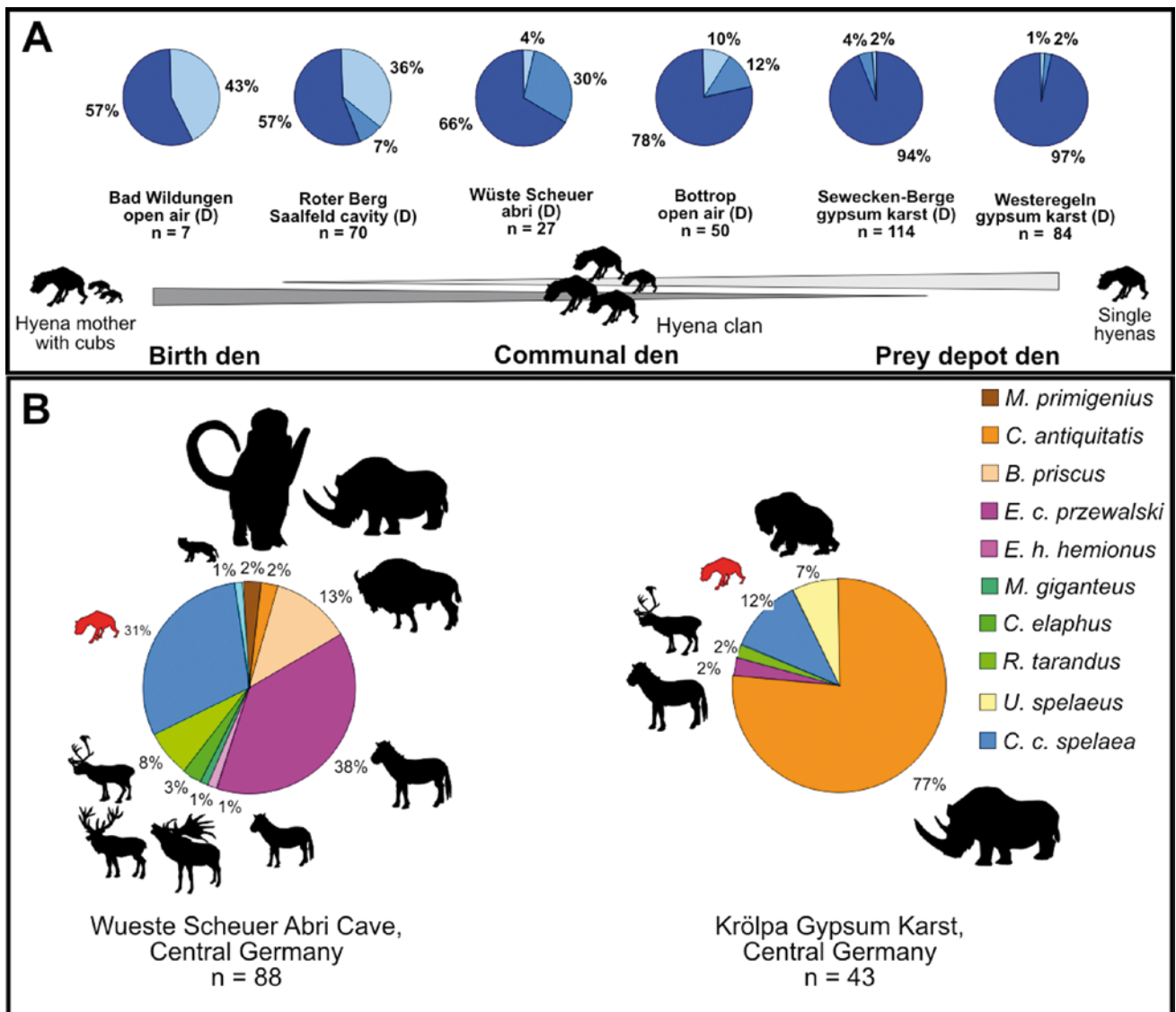


Fig. 6: A. Den types (other sites composed from DIEDRICH 2012e), and B. Faunal compositions at the hyena den sites Wüste Scheuer Abri and Krölpa open air hyena den or scavenging sites (bone amounts composed after GÄBLER 1928, WICHENDORFF 1930, and preserved material of the MB).

Abb. 6: A. Hosttypen (andere Fundstellen zusammengestellt nach DIEDRICH 2012e) und B. Faunenkompositionen an den Hyänenhorst-Fundstellen Wüste Scheuer Abri/Cavity-Horst und Krölpa Freilandfundstellen-Aasfressplatz (Knochen-Anzahl kombiniert aus GÄBLER 1928, WICHENDORFF 1930 und vorhandenem Knochenmaterial im MB).

damages are found at the Krölpa carcass on the right jugal arch (Fig. 4.1c), because hyenas cracked and removed the lower jaws (Figs. 4.1a–b). Skulls with similar jugal arch and lower jaw ramus damages are described from various hyena den caves or open air sites (DIEDRICH & ŽÁK 2006, DIEDRICH 2008b, 2012a, c, e, 2013a).

The only known German nearly complete articulated woolly rhinoceros skeleton not touched by carnivores, from Petershagen (North-Germany: DIEDRICH 2008a) demonstrates the rareness of articulated carcasses, because those were mostly decomposed by hyena clans throughout Europe (by other predators, or humans). For woolly rhinoceros, the destruction stages of single bones have been already demonstrated at some sites in detail such as for the Perick Caves (DIEDRICH 2008b), Bad Wildungen Biedensteg open air (DIEDRICH 2012i) and Bottrop open air river terrace hyena den sites with three main longbone destruction stages being repeatedly similar (DIEDRICH 2012c). The rhinoceros carcass damage stages at “death/killing sites” are

not well known, except for the Bad Wildungen Biedensteg hyena open air site (DIEDRICH 2012i). Also “in anatomical context” hyena prey remains have been reported for other open air communal dens of Germany at the Achenheim loess site (WERNERT 1968).

The bone remains from Krölpa are similar in their taphonomy and bone NISP assemblage to the open air hyena den loess site Bad Wildungen Biedensteg (cf. DIEDRICH 2013a). There, also crania of hyenas dominate in the skull record such as woolly rhinoceros prey bone remains exhibiting strong hyena bite damages. Furthermore, possibly one woolly rhinoceros carcass remain was present near the den site. This was found beside the remains of several other individuals including at least one calf carcass remain (braincase opened skull, and chewed longbones and pelvis). The woolly rhinoceros taphonomy of Bad Wildungen is similar to the carcass destruction and incomplete woolly rhinoceros bones of Krölpa.

Tab. 1: Bone list of *Crocota crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) remains from the region of Pößneck (Thuringia, Middle Germany).

Tab. 1: Knochenliste von *Crocota crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823)-Resten aus der Umgebung von Pößneck (Thüringen, Mittel-Deutschland).

No.	Inv.-No.	Bone type	Commentary	left	right	Individual Age	Sex	Bite marks	Original	Old collection	Collection
1	Ma.44381	Cranium	Nearly complete with mandible, (length 29.0 cm, P4 width 4.1 cm, Lower jaw M1 width 2.9 cm, P 2 width 2.1 cm			Adult	Male	x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
2	Ma.29950	Cranium	Saggital crest fragment			Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
3	Ma.29951	Cranium	Brain case fragment		x	Juvenile			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
4	Ma29816, 29814	Mandible	Symphyses, with right P2 to 4 (P3 width 2.2 cm	x	x	High adult	Female	x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
5	Ma.29815	Mandible	Middle fragment with P3 to 4, M1, (width 3.2 cm	x		High adult	Female	cracked	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
6	Ma.29816	Mandible	Anterior part, with P2 to 4, (width P3 2.3 cm	x		Adult	Female		x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
7	Ma.29949	Mandible	Half with ramus	x		Early adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
8	Ma.29818	Tooth	M1 fragment			?				Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
9	Ma.29819	Tooth	Upper jaw P3		x	Adult				Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
10	Ma.29964	Scapula	Incomplete, Joint width 4.4 cm		x	Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
11	Ma.29969	Humerus	Without proximal joint	x		Early adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
12	Ma.29968	Radius	Proximal joint		x	Early adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
13	Ma.29962	Pelvic	Sacrum, fragment			Early adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
14	Ma.29967	Pelvic	Fragment, [acetabulum joint diameter 3.4 cm	x		Adult	Male		x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
15	Ma.29966	Pelvic	Fragment [acetabulum joint diameter 3.6 cm		x	Adult	Male			Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
16	Ma.29965	Pelvic	Fragment [acetabulum joint diameter 3.8 cm	x		Adult	Female			Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
17	Ma.29970	Femur	Without proximal joint cap	x		Early adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
18	Ma.29971	Femur	Incomplete proximally, (distal joint width 5.2 cm		x	Early adult	Female cub		x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
19	Ma.29972	Tibia	Without joint caps		x	Early adult				Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
20	Ma.29952	Cervical vertebra	Atlas, incomplete			Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
21	Ma.29953	Cervical vertebra	Axes, fragment			Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
22	Ma.29954	Cervical vertebra	No. 3, incomplete, without discs			Early adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
23	Ma.29973	Cervical vertebra	No. 6, incomplete			Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
24	Ma.29974	Cervical vertebra	No. 7, incomplete			Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
25	Ma.29961	Thoracic vertebra	No. 14, incomplete			Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
26	Ma. 29960	Thoracic vertebra	No. 15, incomplete			Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
27	Ma.29959	Lumbar vertebra	No. 1, incomplete			Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
28	Ma.29958	Lumbar vertebra	No. 2, incomplete			Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin

Prey fauna and comparison of Wüste Scheuer and Krölpa sites

Using the bone list of Eisel in WICHENDORFF (1930), and the little material present on the MB collection, a vague “statistics” is presented (Fig. 6B). However, it is obvious that more bone material is still hidden, lost or was destroyed during the gypsum quarry activities. The incomplete material allowed for identification of the den type and a coarse prey fauna overview. In total, from the lower layers of Wüste Scheuer site (excluding Late Magdalénian), there are only

88 Late Pleistocene bones and teeth, which is little compared to other small European hyena dens (e.g. FOSSE et al. 1988, STINER 2004, DIEDRICH & ŽÁK 2006). The high percentage of hyena remains (31%) is typical at hyena den sites (FOSSE et al, 1988, STINER 2004, DIEDRICH & ŽÁK 2006, DIEDRICH 2014a). In addition, the high amount of horse remains (38%) correlates to hyena dens, because Ice Age spotted hyenas were specialized horse hunters in several regions, especially in mountain areas, where they specialized on *E. c. przewalski* with best examples of the Czech

Tab. 2: Material of *Coelodonta antiquitatis* (BLUMENBACH 1799) from the Krölpa open air scavenging site (Thuringia, Middle Germany).

Tab. 2: Material von *Coelodonta antiquitatis* (BLUMENBACH 1799) von der Krölpa-Freiland Gipskarst Aasfresser-Fundstelle (Thüringen, Mittel-Deutschland).

No.	Inv.-No.	Bone type	Commentary	left	right	Individual Age	Sex	Bite marks	Original	Old collection	Collection
1	Ma.26153	Skull with lower jaw	Incomplete	x	x	Adult		x	x	Wichedorff [Krölpa bei Pölsneck]	Museum für Naturkunde Berlin
2	Ma.24.963	Scapula	Incomplete	x		Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
3	Ma.24947	Scapula	Incomplete		x	Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
4	Ma.24948	Humerus	Incomplete	x		Early adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
5	Ma.16003	Humerus	Incomplete	x		Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
6	Ma.25655	Metacarpus	IV, complete	x		Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
7	Ma.25710.1	Carpale IV	Complete	x		Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
8	Ma.25710.2	Radiale	Complete	x		Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
9	Ma.25710.3	Carpale III	Incomplete	x		Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
10	Ma.25710.4	Intermedium (Lunatum)	Incomplete		x	Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
11	Ma.25710.5	Ulnare	Incomplete		x	Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
12	Ma.25710.6	Carpale IV (Uneiforme)	Incomplete		x	Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
13	Ma.25710.7	Trapezoideum	Complete		x	Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
14	Ma.25710.8	Trapezoideum	Complete	x		Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
15	Ma.25710.9	Trapezium	Complete		x	Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
16	Ma.25710.10	Trapezium	Complete	x		Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
17	Ma.25710.11	Phalanx I	Complete			Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
18	Ma.25710.12	Phalanx II	Nearly complete			Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
19	Ma.25710.13	Phalanx II	Nearly complete			Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
20	Ma.25710.14	Phalanx II	Complete			Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
21	Ma.25710.15	Phalanx III	Complete			Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
22	Ma.25710.16	Phalanx III	Incomplete			Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
23	Ma.25710.17	Sesamoid	Complete			Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
24	Ma.24902	Cervical vertebra	Incomplete			Early adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
25	Ma.24927	Cervical vertebra	C7, incomplete			Early adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
26	Ma.24929	Thoracic vertebra	T3, incomplete			Early adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
27	Ma.24928	Thoracic vertebra	T7, incomplete			Early adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
28	Ma.16017	Pelvis	Coxa	x		Adult		x	x	Wichedorff [Krölpa bei Pölsneck]	Museum für Naturkunde Berlin
29	Ma.16016	Femur	Without proximal joint	x		Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
30	Ma.25710	Astragalus	Incomplete			Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
31	Ma.25718	Intermedium	Complete	x		Adult		x	x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
32	Ma.29956	Caudal vertebra	Incomplete, proximal			Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
33	Ma.29955	Caudal vertebra	Incomplete, proximal			Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin
34	Ma.29963	Caudal vertebra	Complete, distal			Adult			x	Wichedorff	Museum für Naturkunde Berlin

Tab. 3: Hyena den sites and den types partly with Middle Palaeolithic overlap in Thuringia (Middle Germany).

Tab. 3: Hyänen-Horstfundstellen und -typen teilweise mit Mittelpaläolithikum-Überlagerung in Thüringen (Mittel-Deutschland).

No.	Locality	Den type	Den form	Age	Hyena population remains [NISP]	Coprolites and den marking	Prey fauna (NISP)	Prey specialization	Neanderthal camp site	References
1	Burgtonna	?	Travertin open air	Eemian	Unclear amount	?		?	No	KAHLKE 1955
2	Fuchsluken Cavity Saalfeld	Birth, and communal den open air	Zechstein limestone karst cavities	Eemian to Middle Late Weichselian	218	?	1.253	Steppe bison, and Przewalski horses/ Ice Age donkeys	No	DIEDRICH 2009, 2012f
3	Opitzer Berg Unterwellenborn	?	Zechstein limestone karst ?den	Early-Middle Late Weichselian	?	?	?	?	?	GÄBLER 1928
4	Ilsen Cave Ranis	?	Zechstein limestone cave	Early-Middle Late Weichselian	?, but more than 150 remains	"Phosphatic layer"	?	?	Moustérian	MÜLLER-BECK 2004
5	Krölpa	Communal/ Prey storage den and scavenging site	Zechstein gypsum karst open air	Early-Middle Late Weichselian	Skull, 2 teeth and two bones	?	43	Woolly rhinoceros carcass scavenging	No	WICHENDORFF 1931
6	Wüste Scheuer Abri	Communal den	Zechstein limestone karst abri	Early-Middle Late Weichselian	27	?	88	?	Moustérian	WICHENDORFF 1930
7	Lindenthal Cave Gera		Zechstein limestone cave	Early-Middle Late Weichselian	?, but more than 150 remains	"Phosphatic layer"	?	Woolly rhinoceros carcass scavenging	Moustérian	LIEBE 1876
8	Pohlitz	?	Zechstein limestone karst open air	Early-Middle Late Weichselian	?	?	?	?	No	WICHENDORFF & HESS 1931
9	Bad Köstritz	?	Zechstein gypsum karst open air	Early-Middle Late Weichselian	?	?	?	?	?	WICHENDORFF & HESS 1931

Srbsko Chlum-Komín Cave (DIEDRICH 2010b) or the French Rochelot Cave (TOURNEPICHE & COUTURE 1999). The reindeer percentage (8%) of the Wüste Scheuer is vague, because it must be expected, that Magdalénian remains are mixed at least in the historical reports. The absence of cave bear and mammoth remains are comparable to the statistics for boreal forest mountain region hyena den bone assemblages, where cave bear dens are absent or rare (cf. DIEDRICH 2013c, 2014a). The Thuringian Mountain region is similar to the Bohemian Karst region, in terms of size and prey fauna bone assemblages of hyena dens (cf. DIEDRICH & ŽÁK 2006). Compared to Krölpa, at Wüste Scheuer 77% of the NISP represent woolly rhinoceros bones. This high percentage is a result of the presence of a possible *C. antiquitatis* individual carcass (Fig. 6B). Therefore, the high NISP percentage at this site cannot be used to demonstrate a specialization on the important hyena prey.

5 Conclusions

In the northern Thuringian Mountains, several cavities and karstic limestone/gypsum depressions and dolines are present in the Central German Zechstein. These areas were used by clans of the last European hyenas, the Ice Age Spotted hyena *Crocota crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) mainly for different denning purposes. Hyena dens are more represented in small cavity regions. This explains the rareness of cave bears in the studied Thuringian Mountains region where those depended on larger caves for hibernation and birth.

A single larger cave bear den cave was present about

50 km west of the studied region with the Altensteiner Cave bear den cave. In the Röblitzer Gypsum Karst area only a single undescribed cave bear was recorded in a small cave, whereas few early smaller cave bear remains were found in the Fuchsluken Cavities hyena den near Saalfeld.

About nine Thuringian hyena den sites can be identified as Eemian (1) to Weichselian (9) aged hyena den that were used in different times (Fuchsluken Eemian to Weichselian) and for different purposes, including 1. birth, 2. communal, and 3. prey storage den sites, similar as found at other German Late Pleistocene localities. These sites are highly important for a. the understanding of hyena prey specialization in different landscapes and b. rhinoceros carcass decomposing techniques of hyenas. The woolly rhinoceros carcass scavenging open air site Krölpa was possibly also a hyena communal den. Material that was historically excavated and can only partly be used for statistics from the Pößneck region, points to three hyena sites including the Wüste Scheuer Abri/Cavity, Ilsen Cave and Krölpa gypsum karst open air sites, which are in similar early/middle Late Pleistocene time frame of the Neanderthal occupations of at least three cave sites (Wüste Scheuer Abri/Cavity, Ilsen Cave, Lindenthal Cave). Late Pleistocene megafauna bone material from two different hyena related sites, the Wüste Scheuer Abri/Cavity (= "Döbritzer Cave") in Zechstein limestone and Krölpa open air Zechstein gypsum karst site near Pößneck indicate the presence of Ice Age spotted hyena and their activities in the Thuringian Mountain area (boreal forest conditions). Other more frequented (and more bone-rich) hyena den sites are the Lindenthal Cave in

Gera (communal and prey storage site), Fuchsluken Cavities near Saalfeld (cub raising and communal den), Pohlitz Cavities, Bad Köstritz gypsum karst open air site, and the Ilsen Cave, whereas also in Burgtonna another den seems to have been present nearby a spring (Eemian travertine site). Overrepresentation of cranial hyena remains is typical at communal den sites such as recorded herein at Krölpa and Wüste Scheuer Abri/Cavity. The prey fauna at both sites, as reconstructed in historical literature, is composed of a glacial guild of very few *M. primigenius*, mainly *C. antiquitatis*, *B. priscus*, *E. c. przewalskii* and *R. tarandus*. Mainly and very typically damaged are the woolly rhinoceros remains (stage 2 of 3). The prey fauna NISP statistics demonstrate mammoth rareness in boreal forest environments (present in the river valleys during migrations) and a specialization on woolly rhinoceros, horses and bison in the low mountain regions. A similar situation is present at Fuchsluken Cavity, where even rhinoceros are very rare in the prey bone record that is dominated by horses/bovids. Apparently, at the open air Krölpa site a single carcass of an adult individual of *C. antiquitatis* was decomposed and left by hyenas in carcass damage stage 2 (medium strongly decomposed and chewed bones, left in place in damage stage 2). Most remarkable is a brain case opening and lower jaw removal, which has only been reported a few times in Europe. The presence of hyena clans and their den and scavenging sites, and overlap of cavity shelters around Pößneck and in the Thuringian Mountains support prey competition and possible conflicts between hyena clans and Neanderthal humans. Or at least, Neanderthals and hyenas often occupied similar cave/cavity sites (Ilsen or Lindenthal caves), in different years, seasons or time periods.

Acknowledgements

The research of the bone collection management and scientific work was funded by PaleoLogic, such as prospection and geological field work in 2009. PD. Dr. O. Hampe kindly provided access to the historical collections being housed in the Museum für Naturkunde of Humboldt University, Berlin. The woolly rhinoceros skull was restored by the preparator of the museum, M. Brinkmann. The management of the Ice Age fauna/artefact collections of the Stadtmuseum Saalfeld performed by the author was supported financially especially by Dr. D. Henning. Dr. J. Grünberg from the Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt in Halle/Saale gave information about the Ilsen Cave material. Access to the material from the Lindenthal Cave was possible due to support of Dr. C. Russe and F. Hroudá. Dr. R. Riedel allowed some material in the Naturkundemuseum Erfurt to be studied by. I thank Mrs. J. Dünkel of the culture department of the city Pößneck for sending the unpublished law conflict documents. Finally R. Fohlert as head of the Thuringian cave club sent historical literature and gave useful local cave information. I thank PD Dr. R. Freund for further critical remarks. The publication is a contribution to the cumulative habilitation of the author at the University Koblenz-Landau (Germany), which is well supported by Prof. Dr. U. Sinsch. Finally, T. Parker, Snohomish County-Roads Maintenance (USA), gave helpful comments and spell-checked the manuscript.

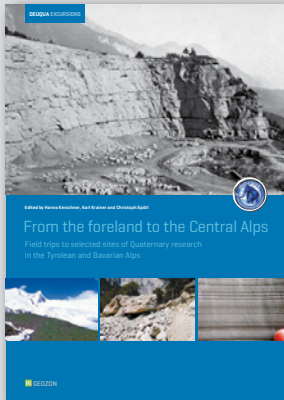
References

- AUERBACH, A. (1929): Die Lindentaler Hyänenhöhle bei Gera. – Festschrift des Thüringer Höhlenvereins Thüringer Höhlen I, 4 (4/5): 46–56.
- AUERBACH, A. (1930): Die vor- und frühgeschichtlichen Altertümer Ostthüringens. – 217 pp., Jena.
- BÖHME, G. (2011): Vergessene Thüringer – Menschenreste und pleistozäne Wirbeltiere aus der Fundstelle Köstritz. Ein wissenschaftshistorischer Überblick. – *Semana, Veröffentlichungen des Naturhistorischen Museums Schleusingen*, 26:97–104.
- BRAIN, C.K. (1983): The Hunters or the Hunted?: An Introduction to African Cave Taphonomy. 365 pp. University of Chicago Press, Chicago.
- BRANIEK, G. (2002): Die Funde von Resten des Höhlenbären (*Ursus spelaeus* Rosenmüller 1794) aus den Höhlen von Altenstein und Bad Liebenstein. – *Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie* 55: 101–134.
- BOYDSTON, E.E., KAPHEIM, K.M. & HOLEKAMP, K.E. (2006): Patterns of den occupation by the spotted hyaena (*Crocuta crocuta*). – *African Journal of Ecology* 44: 77–86.
- BUCKLAND, W. (1823): *Reliquiae Diluvianae, or observations on the organic remains contained in caves, fissures, and diluvial gravel, and other geological phenomena, attesting the action of an universal deluge.* – 303 pp., J. Murray, London.
- COOPER, S.M. (1993): Denning behavior of spotted hyaenas (*Crocuta crocuta*) in Botswana. – *African Journal of Ecology* 31: 178–180.
- CUVIER, G.L.C.F.D. (1805): Sur les ossements fossiles des Hyènes. *Annales du Musée Histoire Naturelle Paris* 6: 127.
- DIEDRICH, C. (2005): Eine oberpleistozäne Population von *Crocuta crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) aus dem eiszeitlichen Fleckenhyänenhorst Perick-Höhlen von Hemer (Sauerland, NW Deutschland) und ihr Kannibalismus. – *Philippia* 12(2): 93–115.
- DIEDRICH, C. (2006a): By ice age spotted hyenas protracted, cracked, nibbled and chewed skeleton remains of *Coelodonta antiquitatis* (BLUMENBACH 1807) from the Lower Weichselian (Upper Pleistocene) open air prey deposit site Bad Wildungen-Biedensteg (Hessia, NW Germany). – *Journal of Taphonomy* 4(4), 173–205.
- DIEDRICH, C. (2008a): A skeleton of an injured *Coelodonta antiquitatis* (BLUMENBACH 1807) from the Upper Pleistocene of north-western Germany. – *Cranium* 25(1): 1–16.
- DIEDRICH, C. (2008b): Eingeschleppte und benagte Knochenreste von *Coelodonta antiquitatis* (BLUMENBACH 1807) aus dem oberpleistozänen Fleckenhyänenhorst Perick-Höhlen im Nordsauerland (NW Deutschland) und Beitrag zur Taphonomie von Wollnashornknochen in Westfalen. – *Mitteilungen der Höhlen und Karstforscher* 2008(4): 100–117.
- DIEDRICH, C. (2008c): Late Pleistocene hyenas *Crocuta crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) from Upper Rhine valley open air sites and the contribution to skull shape variability. – *Cranium* 25(2): 31–42.
- DIEDRICH, C. (2009): Late Pleistocene *Hystrix (Acanthion) brachyura* LINNAEUS 1758 from the Fuchsluken cave at the Rote Berg near Saalfeld (Thuringia, Germany) – a porcupine and hyena den and contribution to their palaeobiogeography. – *The Open Palaeontological Journal* 2008(1): 33–41.
- DIEDRICH, C. (2010a): The *Crocuta crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) population and its prey from the Late Pleistocene Teufelskammer Cave hyena den besides the famous Paleolithic Neanderthal Cave (NRW, NW Germany). – *Historical Biology* 23(2–3): 237–270.
- DIEDRICH, C. (2010b): Specialized horse killers in Europe - foetal horse remains in the Late Pleistocene Srbsko Chlum-Komin Cave hyena den in the Bohemian Karst (Czech Republic) and actualistic comparisons to modern African spotted hyenas as zebra hunters. – *Quaternary International* 220(1–2): 174–187.
- DIEDRICH, C. (2010c): Die späteiszeitlichen Fleckenhyänen und deren Exkremente aus Neumark-Nord. – *Archäologie in Sachsen-Anhalt Sonderband* 62: 440–448.
- DIEDRICH, C. (2011a): One of Europe's last glacial *Crocuta crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) clans from the Rösenbeck Cave hyena den (Germany) and contribution to cranial shape variability. – *Biological Journal of the Linnean Society London* 103: 191–220.
- DIEDRICH, C. (2011b): The Late Pleistocene spotted hyena *Crocuta crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) population from the Zoolithen Cave at Gallenreuth (Bavaria, South Germany) – a hyena cub raising den of specialized cave bear scavengers in Boreal Forest environments of Central Europe. – *Historical Biology* 2011: 1–33.
- DIEDRICH, C. (2011c): Periodical use of the Balve Cave (NW Germany) as a Late Pleistocene *Crocuta crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) den: Hyena

- occupations and bone accumulations vs. human Middle Palaeolithic activity. – *Quaternary International* 233: 171–184.
- DIEDRICH, C. (2012a): Late Pleistocene *Crocota crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) clans as przewalski horse hunters and woolly rhinoceros scavengers at the open air commuting den and contemporary Neanderthal camp site Westeregeln (central Germany). – *Journal of Archaeological Science* 39(6): 1749–1767.
- DIEDRICH, C. (2012b): Typology of Ice Age spotted hyena *Crocota crocuta spelaea* (Goldfuss, 1823) coprolite aggregate pellets from the European Late Pleistocene and their significance at dens and scavenging sites. – *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin* 57: 369–377.
- DIEDRICH, C. (2012c): The Late Pleistocene *Crocota crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) population from the Emscher River terrace hyena open air den Bottrop and other sites in NW-Germany – woolly rhinoceros scavengers and their bone accumulations along rivers in lowland mammoth steppe environments. – *Quaternary International* 276–277: 93–119.
- DIEDRICH, C. (2012d): The Ice Age spotted *Crocota crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) population, their excrements and prey from the Late Pleistocene hyena den Sloup Cave in the Moravian Karst; Czech Republic. – *Historical Biology* 24(2): 161–185.
- DIEDRICH, C. (2012e): Europe's first Upper Pleistocene *Crocota crocuta spelaea* (Goldfuss, 1823) skeleton from the Koněprusy Caves – a hyena cave prey depot site in the Bohemian Karst (Czech Republic) – Late Pleistocene woolly rhinoceros scavengers. – *Historical Biology* 24(1): 63–89.
- DIEDRICH, C. (2013a): The Late Pleistocene spotted hyena *Crocota crocuta spelaea* (Goldfuss, 1823) open air birth and communal den site Bad Wildungen-Biedensteg (Hesse, NW Germany) – woolly rhinoceros killers and scavengers in a mammoth steppe environment of Europe – ?recycling of badger/fox burrows in loess by hyenas in the Ice Age. – *Journal of Geological Research* 2013: 1–31.
- DIEDRICH, C. (2013b): Impact of the German Harz Mountain Weichselian ice-shield and valley glacier development onto Palaeolithics and megafauna disappearance. – *Quaternary Science Reviews* 82: 167–198.
- DIEDRICH, C. (2013c): Extinctions of Late Ice Age cave bears as a result of climate/habitat change and large carnivore lion/hyena/wolf predation stress in Europe. – *ISRN Zoology* 2013: 1–25.
- DIEDRICH, C. (2013d): Ice Age geomorphological Ahorn Valley and Ailsbach River terrace evolution– and its importance for the cave use possibilities by cave bears, top predators (hyenas, wolves and lions) and humans (Late Magdalénians) in the Frankonia Karst – case studies in the Sophie's Cave near Kirchahorn, Bavaria. – *E&G Quaternary Science Journal* 62(2): 162–174.
- DIEDRICH, C. (2013e): Late Pleistocene Eemian Ice Age spotted hyena feeding strategies and steppe lions on their largest prey – *Palaeoaloxodon antiquus* Falconer and Cautley, 1845 at the straight-tusked elephant graveyard and Neanderthalian site Neumark-Nord Lake 1, Central Germany. – *Archaeological and Anthropological Sciences* (in press).
- DIEDRICH, C. (2013f): Seltene Freilandfunde der späteiszeitlichen Fleckenhyaene *Crocota crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) in Sachsen-Anhalt und Beitrag zu Horsttypen der letzten Hyänen im Jung-Pleistozän von Mitteldeutschland. – *Zeitschrift für Mitteldeutsche Vorgeschichte* 94: 1–19.
- DIEDRICH, C. (2014a): Palaeopopulations of Late Pleistocene top predators in Europe: Ice Age spotted hyenas and steppe lions in battle and competition about prey. – *Paleontology Journal* 2014, 1–34.
- DIEDRICH, C. (2014b): Holotype skulls, stratigraphy, bone taphonomy and excavation history in the Zoolithen Cave and new theory about Esper's "great deluge". – *E&G Quaternary Science Journal*, 63(1): 78–98..
- DIEDRICH, C. (2015): Inter-/intraspecies traumatic and dental/arthritis pathologies of cannibalistic Late Pleistocene spotted hyena *Crocota crocuta spelaea* (Goldfuss, 1823) populations of Europe. – (submitted).
- DIEDRICH, C. & Žák, K. (2006): Prey deposits and den sites of the Upper Pleistocene hyena *Crocota crocuta spelaea* (GOLDFUSS 1823) in horizontal and vertical caves of the Bohemian Karst (Czech Republic). – *Bulletin of Geosciences* 81(4): 237–276.
- EAST, M.L., HOFER, H., TÜRK, A. (1989): Functions of birth dens in spotted hyaenas (*Crocota crocuta*). – *Journal of Zoology London* 219: 690–697.
- EHRENBERG, K., SICKENBERG, O., STIFF-GOTTLIEB, A. (1938): Die Fuchs- oder Teufelslucken bei Eggenburg, Niederdonau. 1 Teil. – *Abhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft* 17(1):1–130.
- EISEL, R. (1886): Höhlenausgrabung bei Döbritz. – *Zeitschrift für Ethnographie* 18, 50–52.
- FOSSE, P., BRUGAL, J.P., GUADELLI, J.L., MICHEL, P. & TOURNEPICHE, J.F. (1998): Les repaires d'hyènes des cavernes en Europe occidentale: présentation et comparaisons de quelques assemblages osseux. – In: *Économie Préhistorique: Les comportements de subsistance au Paléolithique*. 44-61. XVIII Rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes. Editions APDCA, Sophia Antipolis.
- FRANK, L.G. (1994): When hyenas kill their own. – *New Scientist* 141: 38–41.
- GÄBLER, R. (1928): Höhlenfunde auf der Öpitzer Berg bei Pößneck aus dem Jahre 1910. – *Zeitschrift des Thüringer Höhlenvereins* 1(1): 29–30.
- GIEBEL, C.G. (1850) Mitteilungen über das Vorkommen der diluvialen Knochen in der Provinz Sachsen. – *Jahresberichte der Naturwissenschaftlichen Vereinigung Halle* 3: 12–21.
- GIEBEL, C.G. (1851): Die antediluvialianische Säugethierfauna Deutschlands. – *Jahresberichte der Naturwissenschaftlichen Vereinigung Halle* 1852: 219–236.
- GÖTZE, A. (1930): Die Grotte von Döbritz bei Pößneck (Wüste Scheuer). II. Die vorgeschichtliche Besiedlung der Döbritzer Grotte. – *Festschrift des Thüringer Höhlenvereins, Thüringer Höhlen I* 4(4/5): 83–92.
- GOLDFUSS, G.A. (1823): Osteologische Beiträge zur Kenntnis verschiedener Säugethiere der Vorwelt. VI. Ueber die Hölen-Hyäne (*Hyaena spelaea*). – *Nova Acta Physico-Medica Academiae Caesariae Leopoldino-Carolinae Naturae Curiosorum*. 3(2): 456–490.
- GUADELLI, J.L. (1989): Étude taphonomique du repaire d'hyènes de Camiac (Gironde, France), éléments de comparaison entrée un site naturel et un gisement préhistorique. – *Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du Quaternaire* 2: 91–100.
- HÜLLE, W.M. (1977): Die Ilsenhöhle unter Burg Ranis/Thüringen: Eine paläolithische Jägerstation. – *Urban & Fischer, München*, 203 pp.
- HÖCK, C. (2000): Das Magdalénien der Kniegrotte – Ein Höhlenfundplatz bei Döbritz, Saale-Orla-Kreis. – 202 pp.
- HOFER, H. & EAST, M. (1995): Population dynamics, population size, and the communal system of Serengeti spotted hyenas. – In: SINCLAIR, A.R.E., ARCESE, P. (Eds.), *Serengeti II: Dynamics, Management, and Conservation of an Ecosystem*. – University of Chicago Press, Chicago, pp. 332–363.
- KAHLKE, H.-D. (1955): Großsäugetiere im Eiszeitalter. – 88 pp., Urania, Leipzig und Jena.
- KAHLKE, H.-D. (1978): Das Pleistozän von Burgtonna. *Quartärpaläontologie* 3: 1–509.
- KAHLKE, R.-D. (2006): Untermassfeld – A late Early Pleistocene (Epivillafranchian) fossil site near Meiningen (Thuringia, Germany) and its position in the development of the European mammal fauna. – *BAR International Series* 1578: 1–114.
- KOENIGSWALD, W. von (2002): *Lebendige Eiszeit. Klima und Tierwelt im Wandel*. – 190 pp., Theiss-Verlag, Darmstadt.
- KUHN, B.F., BERGER, L.R. & SKINNER, J.D. (2008): Examining criteria for identifying and differentiating fossil faunal assemblages accumulated by hyaenas. – *International Journal of Osteoarchaeology* 20(1): 15–35.
- LAM, Y.M. (1992): Variability in the behavior of spotted hyaenas as taphonomic agents. – *Journal of Archaeological Science* 19: 389–406.
- LANSING, S.W., COOPER S.W., BOYDSTON E.E. & HOLEKAMP, K.E. (2007): Taphonomic and zooarchaeological implications of spotted hyena (*Crocota crocuta*) bone accumulations in Kenya: a modern behavioural ecological approach. – *Paleobiology* 35(2): 289–309.
- LIEBE, K.T. (1876): Die Lindentaler Hyänenhöhle und andere diluviale Knochenfunde in Ostthüringen. – *Archäologisches und Anthropologisches Organ der deutschen Gesellschaft für Anthropologie, Ethnographie und Urgeschichte* 9: 1–55.
- MEYER, H. (1933): Reste diluvialer Tiere und die ältesten Menschenspuren vom Rotenberg bei Saalfeld. – *Das Thüringer Fährlein, Monatsschrift für die mitteldeutsche Heimat* II 5: 297–298.
- MADE, JAN VAN DER (2010): The rhinos from the Middle Pleistocene of Neumark-Nord (Saxony-Anhalt). – *Veröffentlichungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle/Saale* 62: 433–527.
- MANGANO, G. (2011). An exclusively hyena-collected bone assemblage in the Late Pleistocene of Sicily: taphonomy and stratigraphic context of the large mammal remains from San Teodoro Cave (North-Eastern Sicily, Italy). – *Journal of Archaeological Science* 38(12): 3584–3595.
- MILLS, M.G.L. & MILLS, M. (1977): An analysis of bones collected at hyaena breeding dens in the Gemsbok National Parks. – *Annals of the Transvaal Museum* 30: 145–155.
- MÜLLER-BECK, H. 2004. Die Ilsenhöhle unter Burg Ranis (Kreis Pößneck). – In: H. Meller (Ed.), *Paläolithikum und Mesolithikum. Kataloge zur Dauerausstellung im Landesmuseum für Vorgeschichte Halle Band 1 Halle (Saale)* 2004: 201–216.

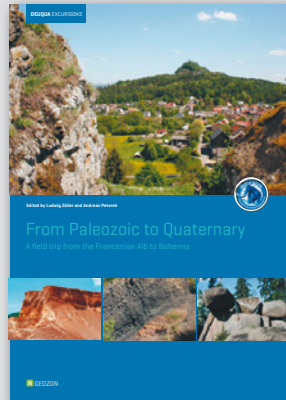
- MUSIL, R. (1962): Die Höhle „Sveduv stül“, ein typischer Höhlenhyänenhorst. – *Anthropos New Series* 5(13): 97–260.
- NEHRING, A. (1876): Ausgrabungen bei Thiede und Westeregeln. – *Verhandlungen der Berliner Gesellschaft für Anthropologie, Ethnographie und Urgeschichte* 1876: 206–209.
- NEHRING, A. (1890): Übersicht über 24 mitteleuropäische Quartär-Faunen. – *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft* 32: 468–509.
- POKINES, J.T., KERBIS & PETERHANS, J.C.K. (2007): Spotted hyena (*Crocuta crocuta*) den use and taphonomy in the Masai Mara National Reserve, Kenya. – *Journal of Archaeological Science* 34: 1914–1931.
- ROHLAND, N., POLLACK, J.L., NAGEL, D., BEAUVAL, C., AIRVAUX, J., PAABO, S. & HOFREITER, M. (2005): The population history of extant and extinct hyenas. *Molecular Biology and Evolution* 22(12): 2435–2443.
- SEIDEL, G. (2003): *Geologie von Thüringen*. – 601 pp., Schweizerbart, Stuttgart.
- SOERGEL, W. (1937): Die Stellung der *Hyaena spelaea* GOLDFUSS aus der Lindentaler Hyänenhöhle bei Gera. – *Beiträge zur Geologie von Thüringen* 4(5): 171–189.
- STINER, M.S. (2004): Comparative ecology and taphonomy of spotted hyenas, humans, and wolves in Pleistocene Italy. – *Revue de Paléobiologie* 23(2): 771–785.
- TOURNEPICHE, J.F. (1996): Les grand mammifères Pleistocènes de Poitou-Charentes. – *Paleo* 8: 109–141.
- TOURNEPICHE, J.F. & COUTURE, C. (1999): The hyena den of Rochelot Cave (Charente, France). – *Monographien des Römisch-Germanischen Zentralmuseums* 42: 89–101.
- UTESCHER, K., GOTHAN, W.U.E.F. & MOJEN, H.P. (1948): Das erdige phosphathaltige Sediment in der Ilsehöhle von Ranis; seine Entstehung, seine Eigenschaften und seine Beziehungen zur Geschichte der Höhle; Kennzeichen glazialer und interglazialer Verwitterung. – *Preussische Geologische Landesanstalt Abhandlungen* 1948: 1–26.
- VILLA, P., CASTEL, J.-C., BEAUVAL, C., BOURDILLAT, V. & GOLDBERG, P. (2004): Human and carnivore sites in the European Middle Palaeolithic. Similarities and differences in the bone modification and fragmentation. – *Revue de Paléobiologie Genève* 23: 705–730.
- WERNERT, P. (1968): Beutestücke der Höhlenhyänen im anatomischen Verband aus Achenheimer Lössen. – *Quartär* 19: 55–64.
- WICHENDORFF, H.C.H VON (1930): Die Grotte von Döbritz bei Pößneck (Wüste Scheuer). I. Allgemeines und Geologie. – *Zeitschrift des Thüringer Höhlenvereins* 4(4/5): 70–83.
- WICHENDORFF, H.C.H VON (1931): Typische Karsterscheinungen an der Oberfläche der Gipslager der Zechsteinformation bei Krölpa und Öpitz unweit Pößneck. – *Zeitschrift des Thüringer Höhlenvereins* 1(5): 118–124.
- WICHENDORFF, H.C.H VON & GOETZE, A. (1930). Die Thüringer Höhlen. – *Festschrift des Thüringer Höhlenvereins. Thüringer Höhlen I* 4 (4/5): 69.
- WICHENDORFF, H.C.H VON & HESS, H.C. (1931): Der Gipsstock von Köstritz und die in seinen Kolken, Klüften und Schlotten sowie in seiner Diluvial-Decke enthaltenen diluvial-alluvialen Mischfunde von Tier- und Menschenresten. – *Die Thüringer Höhlen Band II* 5(1931)7: 8–22.

DEUQUA EXKURSIONSFÜHRER



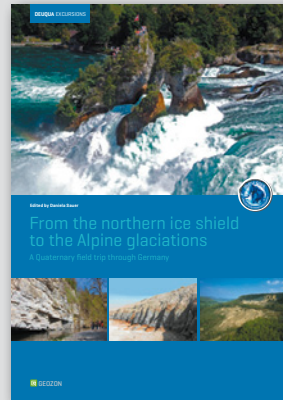
From the foreland to the Central Alps
Field trips to selected sites of Quaternary research in the Tyrolean and Bavarian Alps

ISBN 978-3-941971-10-3
160 Seiten, A4, 34,- Euro



From Paleozoic to Quaternary
A field trip from the Franconian Alb to Bohemia

ISBN 978-3-941971-08-0
120 Seiten, A4, 34,- Euro



From the northern ice shield to the Alpine glaciations
A Quaternary field trip through Germany

ISBN 978-3-941971-06-6
88 Seiten, A4, 29,- Euro



Eiszeitlandschaften in Mecklenburg-Vorpommern



Eiszeitlandschaften in Mecklenburg-Vorpommern

ISBN 978-3-941971-05-9
164 Seiten, A4, 34,- Euro

LANDSCHAFTSGESCHICHTE



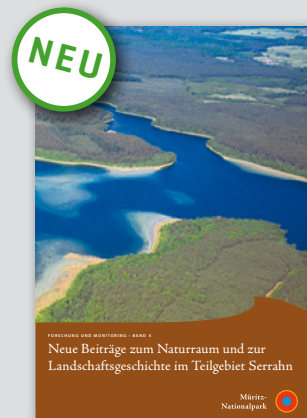
Zur jungquartären Landschaftsentwicklung der Mecklenburgischen Kleinseenplatte

ISBN 978-3-941971-09-7
78 Seiten, A4, 22,- Euro



Zur Landschafts- und Gewässergeschichte der Müritz

ISBN 978-3-941971-00-4
94 Seiten, A4, 29,- Euro



Neue Beiträge zum Naturraum und zur Landschaftsgeschichte im Teilgebiet Serrahn

ISBN 978-3-941971-11-0
282 Seiten, A4, [Juli 2015]



Neubrandenburger Geologische Beiträge 12

ISSN 1616-959X
72 Seiten, 17 x 24 cm, 8,50 Euro

Gerne unterstützen wir Sie bei Ihrer wissenschaftlichen Veröffentlichung. Wir publizieren print und digital:

- **Bücher** [Monographien, Reihen, Tagungsbände, Festschriften, Dissertationen etc.]
- **Zeitschriften** [Disziplinäre oder institutionelle Journals, Neugründung, Archivierung etc.]
- **Dokumente** [Artikel, Diskussionspapiere, Berichte, Protokolle, Karten, Daten etc.]

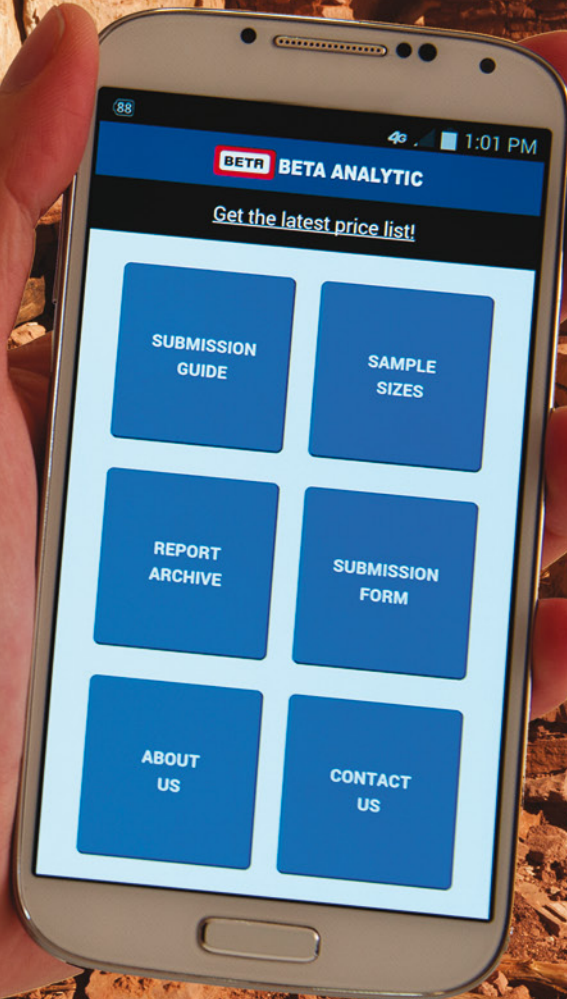


Geozon Science Media
Pettenkoferstr. 16-18
D-10247 Berlin
Germany

Tel. 030-20 23 83 19-0
Fax 030-20 23 83 19-9
E-Mail: info@geozon.net
Online: www.geozon.net



Your Radiocarbon Results Our Expertise All in your Pocket



- High-quality results within 2-14 business days
- Consultation before, during and after analysis

BETA

Beta Analytic
Radiocarbon Dating
Since 1979

Discover the
BETA app for free at:
radiocarbon.com/app



Instruction to Authors

Basically the manuscript shall be submitted in electronic form and has to include the name and the address of the first author. Please use a standard word processor in .rtf, .odt or .doc-format (LaTeX files on request). As character set please use the standard fonts Times Roman, Helvetica or Courier with 1.5 line spacing and consecutive line numbering.

For the submission please use our online system at www.quaternary-science.net. After the login you can upload your manuscript as well as separate figures and tables.

Manuscript style

The acceptable languages are English and German. Manuscripts in German have to contain an English subtitle, an abstract in English and English keywords. The rules of the new German spelling reform apply to German texts.

Manuscripts should be arranged in the following order:

- I Short but concise title
- II Full names, full address and e-mail
- III 5 to 10 keywords that describe the contents of your paper
- VI An abstract of up to 200 words in German and English. The translated abstract should carry the translated title in square brackets,
- V Clearly structured text. For chapter numbering use Arabic numerals.
- VI The reference list has to be arranged alphabetically and should conform to the examples given below.

References have to be inserted in the text as brief quotations, the name of the author has to be set in small CAPITALS, the year of publication in brackets e.g. MÜLLER (2006). If more than one publication of the same author in the same year is cited, identify each citation as follows: MÜLLER (2006a, 2006b). Where three or more authors are listed in the reference list, please cite in the text as MÜLLER et al. (2006). Papers with up to three authors should be cited as MÜLLER & MEYER (2006) or MÜLLER, MEYER & SCHULZ (2006). If a special page or figure of a paper should be cited, use following citation style: MÜLLER (2006: 14) or MÜLLER (2006, Fig. 14).

Scientific names of flora and fauna (*gender*, *sub-gender*, *species*, *sub-species*) have to be written in *italics*. Use small CAPITALS for the author (*Armeria maritima* WILLD.)

- Do not justify your text, use a ragged left alignment.
- Do not use automatic hyphenation.
- Do not use any automatic formatting.
- Do not use pagination.

Do not insert images, tables and photos into the text, it should be added as separate files. Captions of figures and tables in German and English should be placed at the end of the manuscript.

Illustrations

Supply each figure as a separate file with the name of the author. Illustrations should be reducible to a column width (8.4 cm) or type area (17.2 x 26 cm). The lettering has to be easily readable after reduction. Where a key of symbols is required, include this in the figure, not in the caption of the figure. Avoid fine lines (hairlines) and grey-shading/halftones. All figures may be colored. There are no additional costs.

For printing all illustrations have to be supplied electronically. Please use for pixel-based images (photos) the .tif-format with a resolution of at least 450 dpi and for vector-based illustrations (graphs, maps, tables) the .eps-format. Greatly reduced .jpg-files or .pdf-files or figures included in word-documents are not accepted.

References [examples]

Papers:

- SCHWARZBACH, M. (1968): Neue Eiszeithypothesen. – *Eiszeitalter und Gegenwart*, 19: 250–261.
- EISSMANN, L. & MÜLLER, A. (1979): Leitlinien der Quartärentwicklung im norddeutschen Tiefland. – *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, 7: 451–462.
- ZAGWIJN, W.H. (1996): The Cromerian Complex Stage of the Netherlands and correlation with other areas in Europe. – In: TURNER, C. (ed.): *The Middle Pleistocene in Europe*: 145–172; Rotterdam (Balkema).
- MAGNY, M. & HAAS, J.N. (2004): A major widespread climatic change around 5300 cal. yr BP at the time of the Alpine Iceman. – *Journal of Quaternary Science*, 19: 423–430. DOI: 10.1002/jqs.850

Books:

- EHLERS, J. (1994): *Allgemeine und historische Quartärgeologie*. – 358 S.; Stuttgart (Enke).

Please do not use abbreviations of the journal names.

Specimen copies

Authors receive no printed specimen copies. The electronic version is available as download free.

For further questions about the submission of manuscripts please contact the production editor (imprint).

Das Manuskript ist grundsätzlich in elektronischer Form einzureichen und muss mit Namen und Adresse des Erstautoren versehen sein. Bitte benutzen Sie eine Standard-Textverarbeitung im .rtf, .odt oder .doc-Format (LaTeX-Dateien auf Anfrage). Als Zeichensatz verwenden Sie bitte die Standard-Fonts Times Roman, Helvetica oder Courier mit einem 1,5-fachen Zeilenabstand und Zeilennummerierung.

Zur Einreichung nutzen Sie bitte unser Online Submission System unter www.quaternary-science.net. Nach dem Login steht Ihnen hier eine Upload-Funktion für das Manuskript und die Abbildungs-Dateien zur Verfügung.

Manuskriptform

Als Publikationssprachen sind Englisch und Deutsch zugelassen. Manuskripte in deutscher Sprache müssen einen englischen Untertitel tragen sowie eine englische Kurzfassung und englische Keywords beinhalten. Für die deutschen Texte gelten die Regeln der neuen Rechtschreibreform.

Die Manuskripte sollen folgendem Aufbau entsprechen:

- I Kurze, aber prägnante Überschrift
- II Ausgeschriebener Vor- und Nachname, Post- und E-Mail-Adresse
- III 5 bis 10 englische Keywords, die den Inhalt des Manuskriptes widerspiegeln.
- IV Deutsche und englische Kurzfassung des Textes mit einer Länge von bis zu 200 Wörtern. Der englische Untertitel des Manuskriptes ist der englischen Kurzfassung in eckigen Klammern voranzustellen.
- V Klar gegliederter Text. Kapitelnummerierungen sind mit arabischen Ziffern zu versehen.
- VI Alphabetisch geordnete Literaturliste. Die Zitierweise muss der unten angegebenen Form entsprechen.

Im fortlaufenden Text sind Literaturhinweise als Kurzzitate einzufügen, der oder die Autorennamen sind in KAPITÄLCHEN-Schrift zu setzen, das Erscheinungsjahr in Klammern, z. B. MÜLLER (2006). Werden von einem Autor mehrere Arbeiten aus einem Jahr zitiert, so sind diese durch Buchstaben zu unterscheiden: MÜLLER (2006a, 2006b). Bei mehr als drei Autoren kann et al. verwendet werden: MÜLLER et al. (2006). Arbeiten mit bis zu drei Autoren werden folgendermaßen zitiert: MÜLLER & MEYER (2006) oder MÜLLER, MEYER & SCHULZ (2006). Sind mit der Zitierung bestimmte Seiten oder Abbildungen gemeint, müssen diese genau angegeben werden: MÜLLER (2006: 14) oder MÜLLER (2006: Fig. 14).

Die wissenschaftlichen Namen von Pflanzen und Tieren (*Gattungen*, *Untergattungen*, *Arten*, *Unterarten*) sind kursiv zu schreiben. Die den biologischen Namen folgenden Autoren werden in KAPITÄLCHEN gesetzt (*Armeria maritima* WILLD.).

Bitte keinen Blocksatz verwenden, sondern linksbündigen Satz. Bitte keine automatische Silbentrennung verwenden.

Bitte alle automatischen Formatierungen in Ihrer Textbearbeitung deaktivieren.

Bitte keine Seitenzählung.

Abbildungen, Tabellen und Fotos nicht in den Text einbauen, sondern separat als Datei beifügen. Abbildungsunterschriften in Deutsch und Englisch am Ende des Manuskripttextes platzieren.

Abbildungen

Bitte fügen Sie jede Abbildung als separate Datei mit einem eindeutigen Namen bei. Alle Grafiken müssen eine Verkleinerung auf Spaltenbreite (= 8,4 cm) oder Satzspiegel (= 17,2 x 26 cm) zulassen. Die Beschriftung muss nach der Verkleinerung noch gut lesbar sein. Sollte eine Legende nötig sein, so binden Sie diese in die Abbildung ein. Bitte vermeiden Sie Haarlinien oder Grauwerte. Alle Abbildungen können farbig sein. Es entstehen keine Mehrkosten.

Für die Drucklegung müssen alle Abbildungen in elektronischer Form eingereicht werden. Bitte verwenden Sie für pixelbasierte Abbildungen (Fotos) das .tif-Format mit einer Auflösung von mindestens 450 dpi und für vektorbasierte Abbildungen (Diagramme, Maps, Tabellen) das .eps-Format. Stark reduzierte .jpg oder .pdf-Dateien sowie in Text-Dokumente eingebundene Abbildungen werden nicht akzeptiert.

Zitierweise (Beispiele)

Aufsätze:

SCHWARZBACH, M. (1968): Neue Eiszeithypothesen. – Eiszeitalter und Gegenwart, 19: 250–261.

EISSMANN, L. & MÜLLER, A. (1979): Leitlinien der Quartärentwicklung im norddeutschen Tiefland. – Zeitschrift für Geologische Wissenschaften, 7: 451–462.

ZAGWIJN, W.H. (1996): The Cromerian Complex Stage of the Netherlands and correlation with other areas in Europe. – In: TURNER, C. (ed.): The Middle Pleistocene in Europe: 145–172; Rotterdam (Balkema).

MAGNY, M. & HAAS, J.N. (2004): A major widespread climatic change around 5300 cal. yr BP at the time of the Alpine Iceman. – Journal of Quaternary Science, 19: 423–430. DOI: 10.1002/jqs.850

Monographische Werke, Bücher:

EHLERS, J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie. – 358 S.; Stuttgart (Enke).

Bitte keine Abkürzungen der Zeitschriftentitel verwenden.

Belegexemplare

Es werden keine gedruckten Belegexemplare verschickt. Die elektronische Version steht zum kostenlosen Download zur Verfügung.

Bei weiteren Fragen zur Manuskripteinreichung wenden Sie sich bitte an die technische Redaktion (s. Impressum)

German Quaternary Association

The German Quaternary Association (DEUQUA) eV is an association of German-speaking Quaternary Scientists. The aim of the association is to promote the Quaternary Science, to represent it in public, to intensify the contact to applied science as well as to advice public and political boards in quaternary issues.

Furthermore, the association has set itself the task of operating the contacts between the Quaternary Scientists and related organizations at home and abroad.

The DEUQUA published annually several editions of "E&G – Quaternary Science Journal". In that journal research results from the field of Quaternary Science are published. In addition, developments in the DEUQUA are announced in the "Geoscience messages" (GMIT). GMIT is published quarterly.

Every two years, the German Quaternary Association held the DEUQUA-Conference. At this conference the latest research results of the Quaternary Science are presented and discussed.

Deutsche Quartärvereinigung

Die Deutsche Quartärvereinigung (DEUQUA) e.V. ist ein Zusammenschluss deutschsprachiger Quartärwissenschaftler und wurde 1949 gegründet. Der Verein hat zum Ziel, die Quartärwissenschaft zu fördern, sie in der Öffentlichkeit zu vertreten, den Kontakt zu angewandter Wissenschaft zu intensivieren sowie öffentliche und politische Gremien in quartärwissenschaftlichen Fragestellungen zu beraten. Des Weiteren hat der Verein sich zur Aufgabe gemacht, die Kontaktpflege der Quartärforscher untereinander und zu verwandten Organisationen im In- und Ausland zu betreiben.

Die DEUQUA veröffentlicht jährlich mehrere Ausgaben von „E&G – Quaternary Science Journal“. Dort werden Forschungserkenntnisse aus dem Bereich der Quartärwissenschaft publiziert. Zusätzlich werden Entwicklungen in der DEUQUA vierteljährlich in den Geowissenschaftlichen Mitteilungen (GMIT) bekannt gemacht.

Im zweijährigen Turnus veranstaltet die Deutsche Quartärvereinigung e.V. die DEUQUA-Tagung. Diese bietet ein Forum, in welchem aktuelle Forschungsergebnisse aus dem Bereich der Quartärwissenschaften vorgestellt und diskutiert werden.

Committee / Vorstand



PRESIDENT / PRÄSIDENTIN

FRANK PREUSSER
 Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
 Albertstr. 23-B
 D-79104 Freiburg i. Br., Germany
 Tel.: +49 [0] 761 / 203-6476
 Fax: +49 [0] 761 / 203-6496
 E-Mail: frank.preusser[at]geologie.uni-freiburg.de

VICE PRESIDENTS / VIZEPRÄSIDENTEN

DOMINIK FAUST
 Technische Universität Dresden
 Helmholtzstr. 10
 D-01069 Dresden, Germany
 Tel.: +49 [0] 351 / 463-34603
 Fax: +49 [0] 351 / 463-37064
 E-Mail: dominik.faust[at]tu-dresden.de

MARKUS FUCHS
 Justus-Liebig-Universität Gießen
 Senckenbergstr. 1
 D-35390 Gießen, Germany
 Tel.: +49 [0] 641 / 99-36205
 Fax: +49 [0] 641 / 99-36259
 E-Mail: markus.fuchs[at]geogr.uni-giessen.de

TREASURER / SCHATZMEISTER

JÖRG ELBRACHT
 Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
 Stilleweg 2
 D-30655 Hannover, Germany
 Tel.: +49 [0] 511-643-36 13
 E-Mail: joerg.elbracht[at]beg.niedersachsen.de

EDITOR-IN-CHIEF / SCHRIFTFLEITUNG (E&G)

MARGOT BÖSE
 Freie Universität Berlin
 Malteserstr. 74-100
 D-12249 Berlin, Germany
 Tel.: +49 [0] 30-838-70 37 3
 E-Mail: m.boese[at]fu-berlin.de

ARCHIVIST / ARCHIVAR

STEFAN WANSA
 Landesamt für Geologie und Bergwesen
 Sachsen-Anhalt
 Postfach 156
 D-06035 Halle, Germany
 Tel. +49 [0] 345-5212-12 7
 E-Mail: wansa[at]lagb.mw.sachsen-anhalt.de

ADVISORY BOARD / BEIRAT

CHRISTIAN HOSELMANN
 Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
 Postfach 3209
 D-65022 Wiesbaden, Germany
 Tel.: +49 [0] 611 / 6939-928
 Fax: +49 [0] 611 / 6939-941
 E-Mail: Christian.Hoselmann[at]hlug.hessen.de

CHRISTOPHER LÜTHGENS
 Universität für Bodenkultur Wien
 Peter-Jordan-Strasse 70
 A-1190 Wien, Austria
 Tel.: +43 [0] 1 / 47654-540
 E-Mail: christopher.luethgens[at]boku.ac.at

BERNHARD SALCHER
 Universität Salzburg
 Hellbrunnerstrasse 34
 A-5020 Salzburg, Austria
 Tel.: +43 [0] 662 / 8044-5410
 E-Mail: Bernhard.Salcher[at]sbg.ac.at

DANIELA SAUER
 Technische Universität Dresden
 Helmholtzstr. 10
 D-01069 Dresden, Germany
 Tel.: +49 [0] 351 / 463-33260
 Fax: +49 [0] 351 / 463-37064
 E-Mail: d-sauer[at]uni-hohenheim.de

BIRGIT TERHORST
 Universität Würzburg
 Am Hubland
 D-97074 Würzburg, Germany
 Tel. +49-[0]931-318-5585
 E-Mail: birgit.terhorst[at]uni-wuerzburg.de

Reorder / Nachbestellung

Prices are understood plus shipping costs. VAT is included. The complete content is searchable at www.quaternary-science.net

2007	Topics	Price
Vol. 56 No 1–2	Special issue: Stratigraphie von Deutschland – Quartär	54,- €
Vol. 56 No 3	Pfälzerwald, pollen types and taxa, Oberösterreich, Riß-Iller, Schatthausen	27,- €
Vol. 56 No 4	Nußloch, Rangsdorfer See, Lieth/Elmshorn, Gardno Endmoräne/Debina Cliff	27,- €
2008	Topics	Price
Vol. 57 No 1–2	Special issue: Recent progress in Quaternary dating methods	54,- €
Vol. 57 No 3–4	Special issue: The Heidelberg Basin Drilling Project	54,- €
2009	Topics	Price
Vol. 58 No 1	Surface Exposure Dating, Bodensee, Living Fossil, Hochgebirgsböden	27,- €
Vol. 58 No 2	Special issue: Changing environments – Yesterday, Today, Tomorrow	27,- €
2010	Topics	Price
Vol. 59 No 1–2	Baltic Sea Coast, Rodderberg Crater, Geiseltal, Wettersteingebirge, Møn, Argentina	54,- €
2011	Topics	Price
Vol. 60 No 1	Special issue: Loess in Europe	27,- €
Vol. 60 No 2–3	Special issue: Glaciations and periglacial features in Central Europe	54,- €
Vol. 60 No 4	Special issue: Quaternary landscape evolution in the Peribaltic region	27,- €
2012	Topics	Price
Vol. 61 No 1	Calcareous Alps Austria, Löss, Holzreste Schweiz, Rinnen-Strukturen, Permafrost carbon	27,- €
Vol. 61 No 2	Rivers, Lakes and Peatlands NE Germany, Lavrado Region Brazil, Terna River Basin India	27,- €
2013	Topics	Price
Vol. 62 No 1	Special issue: Middle to Upper Pleistocene paleosols in Austria	27,- €
Vol. 62 No 2	Special issue: Environment – Man – Geohazards in the Quaternary	27,- €
2014	Topics	Price
Vol. 63 No 1	Northern Switzerland, Schleswig-Holstein, Rattlesnake Mountain, Peloponnese	27,- €
Vol. 63 No 2	Oberschwaben, Oberes Illergebiet, Allgäu/Bayern	27,- €

Subscription / Abonnement

Title: E&G – Quaternary Science Journal

Print-ISSN: 0424-7116

Issues per volume: 2

Prices (EUR) print per volume

End customers: 50,46 € (Free for DEUQUA-Members)

Wholesalers, booksellers: 32,80 €

VAT is not included.

Postage (EUR) per volume

within Germany: 2,50 €

World (Surface): 6,80 €

World (Airmail): 7,70 €

Special offer

Libraries which subscribe our journal can receive the volumes 1951–2006 for free. Only shipping costs have to be paid.

Order address

Geozon Science Media

Pettenkoferstr. 16-18

10247 Berlin, Germany

tel.: +49 (0)30-20 23 83 19-0

fax: +49 (0)30-20 23 83 19-9

e-mail: [info \(at\) geozon.net](mailto:info@geozon.net)

web: www.geozon.net

Contents

- DOI 10.3285/eg.64.1.01
- 3 **Periglaziäre, polygonal-verzweigte rinnenförmige Bildungen und glazitektonische Strukturen in Saale-Till am Elbe-Urstromtalrand bei Wedel (Schleswig-Holstein)**
Alf Grube
- DOI 10.3285/eg.64.1.02
- 15 **Chronostratigraphy of the *Hochterrassen* in the lower Lech valley (Northern Alpine Foreland)**
Patrick Schielein, Gerhard Schellmann, Johanna Lomax, Frank Preusser, Markus Fiebig
- DOI 10.3285/eg.64.1.03
- 29 **Late Pleistocene spotted hyena den sites and specialized rhinoceros scavengers in the karstified Zechstein areas of the Thuringian Mountains (Central Germany)**
Cajus Diedrich