

GEOLOGIE UND PALÄONTOLOGIE IN WESTFALEN

Heft 94



LWL-Museum für Naturkunde
Westfälisches Landesmuseum mit Planetarium

LWL

Für die Menschen.
Für Westfalen-Lippe.

Folgende Hinweise sind zu beachten, wenn Sie ein Manuskript bei *Geologie und Paläontologie in Westfalen* einreichen wollen.

Geologie und Paläontologie in Westfalen berücksichtigt alle Manuskripte unter der Voraussetzung, dass

- das Manuskript Ihr eigenständiges Werk ist und keine Kopie einer anderen, zuvor publizierten Arbeit darstellt, einschließlich Ihrer eigenen bereits publizierten Werke.
- das Manuskript ausschließlich zu *Geologie und Paläontologie in Westfalen* eingereicht wurde; es darf nicht an anderer Stelle eingereicht, in Begutachtung oder zur Veröffentlichung angenommen sein;
- das Manuskript keine missbräuchlichen, verleumderischen, beleidigenden, obszönen, betrügerischen oder illegalen Äußerungen und Inhalte umfasst.

Vorbereitung des Manuskriptes

1. Allgemeine Richtlinien

Geologie und Paläontologie in Westfalen publiziert Forschungsarbeiten ausschließlich als Originalartikel. Artikel sollten vorzugsweise Themen und/oder Material aus Westfalen-Lippe oder angrenzende Regionen behandeln. Die bevorzugte Sprache für Manuskripte ist Deutsch; es werden auch englische Manuskripte akzeptiert, wobei die Rechtschreibung und Interpunktion des britischen Englisch bevorzugt wird.

Manuskripte sollten in der folgenden Reihenfolge zusammengestellt sein: Titelblatt; Kurzfassung; Schlüsselwörter; Haupttext; Danksagung; Literaturverzeichnis; Anhang (soweit vorhanden); Tabelle(n) mit Beschriftung(en) (auf separaten Seiten); Abbildungsbeschriftung(en) (in Form einer Liste). Kurzfassungen sind für alle eingereichten Manuskripte erforderlich; Manuskripte auf Deutsch erfordern eine zusätzliche, englische Kurzfassung; für englische Manuskripte ist eine zusätzliche deutsche Kurzfassung obligatorisch. Auf Wunsch der Autoren bietet die Redaktion Unterstützung bei der Übersetzung der Kurzfassung an oder übernimmt diese komplett.

Jedes Manuskript sollte 3 bis 6 Schlüsselwörter haben.

Abschnittsüberschriften sollten knapp und präzise formuliert sein.

Alle Autoren eines Manuskriptes sollten ihren vollen Namen, ihre Institutszugehörigkeit, Anschrift und E-Mail-Adresse auf dem Titelblatt des Manuskriptes angeben. Ein Autor sollte als korrespondierender Autor kenntlich gemacht werden. Bitte geben Sie das Institut an, an dem die Forschung durchgeführt wurde.

Bitte beachten Sie, dass die E-Mail-Adresse des korrespondierenden Autors in der Regel in der PDF- und in der Online-Version des Artikels veröffentlicht wird.

Der korrespondierende Autor muss von allen Mitverfassern autorisiert sein, diese in allen Angelegenheiten betreffend die Publikation des Manuskriptes zu vertreten.

Bitte geben Sie in der Danksagung in folgender Form Auskunft über alle Details bezüglich jeglicher Institutionen, Gesellschaften, o.ä., welche an Finanzierung, Förderung oder Bezuschussung der Forschung beteiligt waren: „Diese Arbeit wurde unterstützt durch [Leistungsträger 1] unter dem Kennzeichen [Nummer] und [Leistungsträger 2] unter der Kennziffer [Nummer].“

Autoren müssen sich an SI-Einheiten halten.

Bei Verwendung eines Wortes, welches als Schutzmarke eingetragen ist oder sein wird, müssen die Autoren das Symbol ® oder ™ verwenden.

2. Stilistische Richtlinien

Haupttext

Organisation des Artikels: Einleitung, Material und Methoden, Ergebnisse, Diskussion, Schlussfolgerung, Danksagung, Literaturverzeichnis. Der gesamte Text sollte so formatiert sein, wie er in dem endgültigen Druck erscheinen soll (kursiv zu druckender Text sollte *kursiv* und fett zu druckender Text **fett** sein).

Schreibweise: Alle Zahlen von eins bis einschließlich zwölf, alle Zahlen, welche den Beginn eines Satzes darstellen, alle Gattungsnamen, welche den Beginn eines Satzes darstellen, alle Gattungsnamen, welche zum ersten Mal in einem Absatz erwähnt werden und Himmelsrichtungen (z.B. Nord-Ost, nicht NO) sollten ausgeschrieben werden.

Bindestriche (-) sollten bei der Angabe von Größen, Messwerten, Seitenzahlen, geologischen Stufen, Jahren, Abbildungsverweisen, etc., verwendet werden (z.B. 4–7 µm, S. 56–59, triassisch-jurassisch, 1959–1963, Abbildung 3A–C etc.).

Abkürzungen und Symbole sollten mit denen in *Biological Abstracts* übereinstimmen. Es sollten durchgängig SI-Einheiten (Système International d'Unités) verwendet werden (siehe <http://physics.nist.gov/cuu/Units/index.html>)

Die Autoren von Arten sollten bei der ersten Nennung des Artnamens im Text vollständig angegeben werden; Autoren von Taxa oberhalb des Artranges können in dem systematischen Abschnitt angegeben werden.

Wissenschaftliche Namen von Gattungen und Taxa untergeordneten Ranges müssen *kursiv* geschrieben werden. Für wissenschaftliche Namen von Gattungen und Arten sollten folgende Datenbanken berücksichtigt werden: für Tiere der AnimalBase Index (siehe <http://www.animalbase.org/>); für Pflanzen der International Plant Names Index (siehe <http://ipni.org/>) und für fossile Pflanzen der International Fossil Plant Index (siehe <http://fossilplants.info/>).

Überschriften

Drei Kategorien von Überschriften sind verfügbar. Bitte beachten Sie folgende Formatierung:

1. **Ergebnisse**
2. *Beschreibung des Schädels*
3. Zahnformel: Diese Überschrift geht in derselben Zeile in den fortlaufenden Text über (wie in diesem Beispiel).

Titel

Der Titel sollte präzise und informativ sein und nicht länger als 150 Zeichen, inkl. Leerzeichen, sein.

Namen der Autoren und Institutszugehörigkeiten

Unterhalb des Titels werden die vollständigen Namen und Adressen der Autoren angegeben. Eine E-Mail-Adresse ist nur vom korrespondierenden Autor notwendig.

Kurzfassung und Schlüsselwörter

Kurzfassung: Eine Kurzfassung, nicht länger als 250 Wörter, sollte direkt nach den Adressen der Autoren folgen. Die Kurzfassung sollte klar und präzise formuliert sein und die Forschungsergebnisse wiedergeben. Sie sollte keine Zusammenfassung des Artikels sein. Sollte der Artikel neue Taxa beschreiben, so sollten diese auch in der Kurzfassung enthalten sein.

Schlüsselwörter: 3 bis 6 Schlüsselwörter sind für jedes Manuskript erforderlich.

Einleitung

Dieser Abschnitt sollte kurz und aussagekräftig dem Leser ausreichend aktuelle Hintergrundinformation über die in dem Artikel behandelten Themen bieten. Dieser Abschnitt enthält keine Ergebnisse.

Material und Methoden

Dieser Abschnitt sollte detailliert das Material und die Methoden die in der Studie verwendet werden beschreiben, so dass diese reproduziert werden kann. Beschreiben Sie hier auch den **geologischen Hintergrund**. Dieser Abschnitt enthält keine Ergebnisse.

Ergebnisse

Daten und Beobachtungen, welche die Grundlage für die darauffolgende Diskussion bilden, sollten in diesem Abschnitt behandelt werden. Vermeiden Sie Ausdrücke wie „Tabelle 1 zeigt ...“ oder „... wie in Abbildung 1 dargestellt“. Zulässig ist eine Aussage oder ein Satz, gefolgt von dem re-

levanten Bezug auf Tabellen oder Abbildungen in Klammern. Bitte beachten Sie, dass Abbildungen, Tafeln und Tabellen abgekürzt werden (Abb. 1a, Taf. 1A, Tab. I, Appendix 1).

Diskussion

Dieser Abschnitt sollte eine Interpretation der Ergebnisse beinhalten, zusätzlichen Primärdaten oder -ergebnisse werden hier nicht beschrieben.

Schlussfolgerung

Bitte fügen Sie eine separate Schlussfolgerung bei, welche die Bedeutung der Arbeit und der Ergebnisse herausstellt.

Danksagungen

Wenn Sie Einzelpersonen danken möchten, geben Sie immer Institutszugehörigkeit, Stadt und Land an; vermeiden Sie akademische Titel.

Literaturnachweise im Text

Literaturverweise im Fließtext sollten wie folgt zitiert werden: Müller (2008) oder (Müller 2008); soll auf einen bestimmten Textabschnitt oder eine spezifische Abbildung verwiesen werden (Zitat), so gilt „Bewegungsrichtung des Unterkiefers (Crompton 1971, Abb. 1e)“ oder „... kein gültiger veröffentlichter Grund zum Ausschluss der Humeri und Kieferfragmente (Hutchison 1974, S. 223)“. Bei Literaturverweisen mit zwei Autoren werden die Namen mit einem & verbunden; Quellenangaben mit drei oder mehr Autoren sollten gekürzt werden: Erstautor et al. (1968).

Beachten Sie, dass die Autoren **nicht** durch ein Komma von der Jahresangabe getrennt werden, und dass die Literaturnachweise in chronologischer Reihenfolge erscheinen sollten. Sollten Sie mehrere Fachartikel zitieren, trennen Sie die einzelnen Artikel durch ein Semikolon (z.B. Cantrill 1995, 1996; Schulte et al. 2002a; Meyer & Bertrand 2004; Poole et al. 2005).

Autoren von Taxa: Autorennamen von zoologischen Taxa (Arten und Taxa niedrigerer Rangstufen) sollten dem International Code of Zoological Nomenclature ICZN, Art. 51 entsprechen (z.B. *Loxodonta africana* Blumenbach, 1797); Autorennamen von botanischen Taxa (Art und Taxa niedrigerer Rangstufen) sollten den Standardabkürzungen des International Plant Names Index IPNI (<http://ipni.org/>) entsprechen (z.B. *Pterophyllum angustifolius* Brongn., 1825); bei zwei oder mehr Autoren nutzen sie das lateinische ‚et‘.

Formatieren Sie Autorennamen stets in normaler Textform, benutzen Sie keine GROSSBUCHSTABEN, KAPITÄLCHEN oder *kursive* Schrift.

Literaturverzeichnis

Alle im Text, in Tabellen und in Abbildungen angegebenen Literaturverweise sollten im Literaturverzeichnis aufgeführt werden. Achten Sie besonders darauf, dass alle zitierten Literaturverweise im Literaturverzeichnis aufgeführt sind und dass alle Verweise im Literaturverzeichnis auch im Text verwendet werden. Bitte überprüfen Sie diese Angaben, bevor Sie Ihr Manuskript einreichen. Listen Sie die Literaturnachweise in alphabetischer Reihenfolge nach dem Namen des Autors oder Herausgebers auf, ungeachtet der Anzahl weiterer Autoren. Sollte mehr als eine Publikation von demselben Autor/derselben Autorengruppe aufgeführt sein, so sollten diese in chronologischer Reihenfolge aufgelistet werden. Nutzen Sie **arabische Ziffern für Bandnummern, nennen Sie keine Teil-Nummerierung**, außer wenn ein jedes Heft einer Reihe mit Seite 1 beginnt.

Geben Sie den vollständigen Zeitschriftentitel an.

Achten Sie in besonderem Maße auf die Formatierung der Literaturzitate; bitte beachten Sie die letzte Ausgabe der Zeitschrift als stilistischen Vorlage. Ist ein Titel transkribiert oder übersetzt worden, sollte die Originalsprache in Klammern am Ende des Literaturnachweises angegeben werden. Bitte kontrollieren Sie alle Titel auf die **korrekte Schreibweise**, besonders bei nicht-deutschsprachigen Titeln!

Beispiele

Wissenschaftliche Artikel

Müller, A. 2008: Ein artikulierter Fund von *Ptycho-*

dus aus dem Obercenoman von Westfalen. – Geologie und Paläontologie in Westfalen 70: 55-63.

Artikel, die vor dem Druck online veröffentlicht wurden:

Almaguer, M., Aira, M.-J., Rodríguez-Rajo, F.-J. & Rojas, T.-I. 2013: Study of airborne fungus spores by viable and non-viable methods in Havana, Cuba. – Grana, in press. doi:10.1080/00173134.2013.829869.

Bitte beachten: Geben Sie stets die doi-Nummer an. Bei der Suche nach der doi wird der Leser immer auf die aktuellste Version verwiesen, dadurch findet er den endgültigen, veröffentlichten Artikel, sobald er erscheint.

Online-Zeitschriften:

Bates, K.T., Manning, P.L., Hodgetts, D. & Sellers, W.I. 2009: Estimating mass properties of dinosaurs using laser imaging and 3D computer modelling. – PLoS ONE: 4: e4532. doi: 10.1371/journal.pone.0004532

Bitte beachten: Fügen Sie stets die doi-Nummer nach der Band- und der Artikelnummer hinzu.

Bücher:

Kielan-Jaworowska, Z., Cifelli, R.L. & Luo, Z.-X. 2004: Mammals from the age of dinosaurs. New York: Columbia University Press.

Buchkapitel:

Blackmore, S. 1992. Scanning electron microscopy. In: Nilsson S. & Prigowski J., (Hrsg.). *Erdtman's handbook of palynology*, 403-431. Kopenhagen: Munksgaard.

Tagungsbeiträge/Kurzfassungen:

Loch, C. 2014: The enamel ultrastructure of fossil cetaceans (Cetacea, Archaeoceti and Odontoceti). – Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology, Berlin, Deutschland, 05.-08. November 2014, 170.

Bitte beachten: Geben Sie Titel, Ort und Datum der Konferenz an.

Abschlußarbeiten:

Ifrim, C. 2006: The Fossil lagerstätte at Vallecillo, north-eastern Mexico: pelagic plattenkalks related to Cenomanian-Turonian boundary anoxia. – Dissertation, Universität Fridericiana, Karlsruhe, Germany.

Datenbanken:

Astúa de Moraes, D., La Sancha, N. de & Costa, L. 2011: *Didelphis aurita*. – IUCN Red List of threatened Species. <http://www.iucnredlist.org>; letzter Zugriff: 03. April 2013.

Bitte beachten: Geben Sie das Datum des letzten Zugriffs auf die Datenbank an.

Tabellen

Alle Tabellen müssen als separate Dateien (.xlsx oder .xls) eingereicht werden. Sie sollten entsprechend ihrer Reihenfolge im Text mit lateinischen Ziffern nummeriert werden (z.B. Tab. I, Tab. II, Tab. III, ...), und kurze, selbsterklärende Überschriften haben. Nutzen Sie SI-Einheiten. Autoren sollten **beim Erstellen der Tabellen das Seitenlayout der Zeitschrift** berücksichtigen. Es werden Tabellen bevorzugt, die auf eine Seite passen. Es sollte eine detaillierte Erklärung von Symbolen, Einheiten und Abkürzungen gegeben werden.

Abbildungen

Bitte beachten Sie die folgenden Richtlinien: Die Redaktion kann keine Manuskripte und Abbildungen bearbeiten, die nicht dem Zeitschriftenstil entsprechen. Ein hoher Standard der Abbildungen (sowohl von Vektor- als auch von fotografischen Abbildungen) ist von der Redaktion erwünscht. Alle Abbildungen sollten elektronisch und in entsprechender Auflösung eingereicht werden; bitte beachten Sie folgende Richtlinien sorgfältig um die problemlose Wiedergabe Ihrer Abbildungen in exzellenter Qualität zu gewährleisten:

- Abbildungen müssen **einzelnd und getrennt vom Text** eingereicht werden. Abbildungen sollten nicht in die Textdatei eingebettet werden.
- Abbildungen in Farbe sind kostenfrei.
- Alle Abbildungen sollten, passend für die

Bildbreiten 80 mm (Spaltenbreite), 113 mm (2/3 der Seitenbreite) oder 169 mm (Seitenbreite) und bis zu einer Höhe von 254 mm (volle Seite), für den Druck formatiert werden. Vorzugsweise sollte nicht die volle Seitenhöhe ausgenutzt werden, damit die Abbildungsunterschrift unter die Abbildung gesetzt werden kann. Wenn die volle Seitenhöhe für Tafeln benötigt wird, wird die Abbildungsunterschrift auf der gegenüberliegenden Seite erscheinen.

- Digitale Fotos müssen eine Mindestauflösung von **300 dpi** haben, Farabbildungen eine Mindestauflösung von **600 dpi**.
- Zusammengesetzte Abbildungen werden als Tafeln bezeichnet, die Einzelabbildungen mit Großbuchstaben, jeweils in der unteren, linken Ecke, versehen (Taf. IA, Taf. IIC).
- Weitere im Text erscheinende Abbildungen (Textabbildungen) werden entsprechend ihrer Reihenfolge im Text mit arabischen Zahlen versehen (Abb. 1, Abb. 2).
- Vermeiden Sie es rasterelektronenmikroskopische und lichtmikroskopische Bilder auf ein und derselben Tafel zu vereinen.
- Bildunterschriften sollten am Ende des Manuskriptes in der Textdatei angegeben werden und entsprechend nummeriert sein.
- Dateien sollten in einem der folgenden Formate gespeichert und eingereicht werden: TIFF (Tagged Image File Format; **bevorzugt!**), PostScript oder EPS (Encapsulated PostScript), und alle notwendigen Schriftartinformationen beinhalten. Zum Verringern von Dateigrößen kann die LZW-Komprimierung beim Speichern der Datei angewendet werden.
- Bitte reichen Sie Strichzeichnungen und Vektorgraphiken als Adobe Illustrator oder EPS-Dateien ein. Diese müssen ein Minimum von **600 dpi** haben. Hohe Auflösung kann von Nöten sein, wenn feine Linien und Details enthalten sind.
- Ergebnisse in graphischer Darstellung (z.B. Diagramme) aus Statistiksoftware sollten direkt in eine PDF-Datei gedruckt werden, die dann eingereicht werden kann. Diagramme in Microsoft Excel können als Excel-Dateien eingereicht werden. Bitte beachten Sie, dass alle vertikalen Achsen den gleichen Maßstab haben. Vermeiden Sie dreidimensionale Darstellungen für zweidimensionale Daten.

Bitte beachten: Es ist im Sinne des Autors, die höchstmögliche Bildqualität zur Verfügung zu stellen. Bitte kontaktieren Sie die technische Redaktion, wenn Sie Fragen haben.

Bitte beachten: Beschriftungen von Abbildungen und Tafeln sollten in einer serifenlosen Schriftart (z.B. Segue UI oder Arial) erfolgen und eine Schriftgröße zwischen 12 und 20 pt haben. Die Beschriftung der Einzelabbildungen einer Tafel erfolgt von links nach rechts; Einzelabbildungen sollten durch ein einheitliches Gitter von 2 mm Breite getrennt sein.

Beschriftungen in Abbildungen sollten deutlich lesbar sein, die Schriftgröße sollte zwischen 6 und 10 pt liegen.

Maßstabsbalken werden nach Möglichkeit in der rechten unteren Ecke platziert; Größenangaben wie „Originalgröße, x1, x2, ...“ sind nicht zulässig. Maßstabsbalken werden nicht beschriftet, diese Info wird in der Abbildungsunterschrift gegeben.

Bitte beachten: Elektronisch erstellte Maßstabsbalken und Beschriftungen aus REM-Aufnahmen sind unzulänglich und sollten entfernt werden.

Tabellen- und Abbildungsbeschriftungen

Bitte geben Sie für jede Abbildung an, in welcher Größe sie gedruckt werden soll (Spaltenbreite, 2/3 Seitenbreite, Seitenbreite). Abbildungsbeschriftungen sollten im Format der Zeitschrift formatiert werden, kurz und präzise sein, und es sollte berücksichtigt werden, dass die Abbildungsunterschriften unter den Abbildungen platziert werden.

Beispiel:

Abb. 5: *Parapuziosa (Parapuziosa) seppenradensis*. Dimorphismus, roter Pfeil zeigt Beginn der

Wohnkammer. **a** Exemplar der Familie Siepe, *Microconch*, zeichnerisch ergänzt. **b** Lectotypus, größtes Exemplar, LWL-Museum für Naturkunde, Münster, Macroconch. Maßstab 10 cm (A), 30 cm (B). [2/3 Seitenbreite]

Taf. V: *Alphadon marshi*, linke obere Zahnreihe in **A** labialer, **B** lingualer und **C** okklusaler Ansicht.

3. Sonstiges

Begutachtung

Der Autor wird gebeten, zwei potentielle Fachgutachter, inklusive Kontaktdaten, zu nennen. Zusätzliche Vorschläge werden begrüßt.

Publikationskosten

Für die Veröffentlichung in *Geologie und Paläontologie in Westfalen* fallen keine Publikationsgebühren an.

Urheberrechtlich geschütztes Material

Sollte Ihr Manuskript Material beinhalten, für das Sie keine Urheberrechte besitzen, benötigen Sie vor dem Einreichen eine schriftliche Genehmigung durch den Inhaber des Urheberrechts. Solches Material kann aus Texten, Dateien, Tabellen, Abbildungen, Fotografien, Strichzeichnungen, **Karten**, Bildschirmfotos, o.ä., bestehen. Dies gilt sowohl für die direkte (wortgetreue oder faksimile), als auch für die „abgeleitete“ Reproduktion (bei der Sie eine neue Abbildung oder Tabelle erstellt haben, die wesentlich aus einer urheberrechtlich geschützten Quelle stammt).

Sie müssen sicherstellen, dass die Ihnen erteilte Genehmigung zur Wiederverwendung durch den Inhaber des Urheberrechts in jeder Abbildungsunterschrift oder Tabellenüberschrift ordnungsgemäß angegeben wird. Sie sind allein verantwortlich für jegliche Gebühren, die der Urheber für die Wiederverwendung verlangen kann. Die Wiedergabe kurzer Textauszüge, mit Ausnahme von Gedichten und Liedtexten, zum Zweck der Kritik, ist ohne formelle Erlaubnis gestattet, sofern das Zitat genau wiedergegeben und akkurat zitiert wird.

Einreichen des Manuskripts

Alle Manuskriptbestandteile werden als E-Mail-Anhang an den Chefredakteur gesendet. Manuskripte können in jeglichem, editorbarem Standardformat eingereicht werden, vorzugsweise als Word-Datei. Die Dateien werden für die Begutachtung in PDF-Dateien umgewandelt.

Urheber- und Autorenrechte

Um die Integrität, Verbreitung und den Schutz der veröffentlichten Artikel gegen Urheberrechtsverletzungen zu gewährleisten, werden Sie gebeten, dem LWL-Museum für Naturkunde mittels eines Autorenvertrags die Urheberrechte an Ihrem Artikel zu übertragen. Als Artikel gilt die endgültige und zitierfähige Version, die sich ausfolgenden Bestandteilen zusammensetzt: das akzeptierte Manuskript in seiner endgültigen Form, inklusive Kurzfassung, Text und Literaturverzeichnis, sowie alle zugehörigen Tabellen, Abbildungen und Daten. Unser Autorenvertrag mit Ihnen bildet die gesamte und einzige Vereinbarung zwischen dem LWL-Museum für Naturkunde und Ihnen; es werden keine Änderung, Ergänzung oder sonstige Mitteilung bei der Auslegung der Rechte und Pflichten des LWL-Museums für Naturkunde im Rahmen dieser Vereinbarung berücksichtigt.

Freie Verfügbarkeit/Sonderdrucke

Alle Artikel und Bände von *Geologie und Paläontologie in Westfalen* sind über die Webseite des LWL-Museums für Naturkunde (<https://www.lwl-naturkundemuseum-muenster.de/de/naturkundemuseum/literatur/schriftenreihen/download-geologie-u-palaentologie/>) frei verfügbar (open access). Der korrespondierende Autor erhält eine kostenlose PDF-Datei des Artikels und fünf Exemplare des entsprechenden Heftes; alle weiteren Autoren erhalten jeweils ein kostenloses Exemplar des Heftes.

Letzte Aktualisierung am 06. Oktober 2020

Geologie und Paläontologie in Westfalen seit 1983

Die Schriftenreihe *Geologie und Paläontologie in Westfalen* wurde 1983 begründet, um der geologischen und paläontologischen Erforschung Westfalen-Lippes eine wissenschaftliche Plattform zu geben. Da das bloße Fossil ohne einen geologischen Rahmen wenig Aussagekraft hat, werden in dieser Reihe sowohl geologische als auch paläontologische Artikel veröffentlicht.

Ein *peer-review*-Verfahren dient der Qualitätssicherung; die kostenfreie *online*-Ausgabe soll die allgemeine Wahrnehmung sichern. Um Westfalens fossiles Erbe auch international sichtbar zu machen, werden Artikel in deutscher und englischer Sprache veröffentlicht. Die Publikationssprachen sind dabei Deutsch und Englisch. Zusätzlich werden Meldungen über Funde und Forschung aus Westfalen-Lippe sowie Kurzberichte über Westfalen-relevante wissenschaftliche Artikel, die an anderer Stelle erschienen sind, in der Rubrik "Mitteilungen" veröffentlicht.

Titelbild und hinteres Umschlagbild Metacarpale und Phalangen von *Coelodonta antiquitatis*, Tafel 5 aus Schellhorn & Schlösser, sowie Gerölle aus dem Ellerbachtal, Abb. 11 B aus Skupin & Speetzen.

Herausgeber

Landschaftsverband Westfalen-Lippe (LWL)
LWL-Museum für Naturkunde
Sentruper Str. 285, 48161 Münster
Tel.: 0251/591-05, Telefax: 0251/591 6098
www.lwl-naturkundemuseum-muenster.de

Redaktionsleitung

Achim H. Schwermann
LWL-Museum für Naturkunde, Münster
achim.schwermann@lwl.org

Lektorat

Leonie Schwermann
LWL-Museum für Naturkunde, Münster

Redakteure

Christian Pott (Paläobotanik & Palynologie)
LWL-Museum für Naturkunde, Münster

Rico Schellhorn (Wirbeltiere)
Institut für Geowissenschaften, Abteilung Paläontologie,
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn

Lothar Schöllmann (Wirbellose, Geologie & Mineralogie)
LWL-Museum für Naturkunde, Münster

Achim H. Schwermann (Wirbellose & Wirbeltiere)
LWL-Museum für Naturkunde, Münster

ISSN 0176-148X
ISBN 978-3-940726-78-0
© November 2021 LWL

Alle Rechte vorbehalten. Kein Titel des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des LWL reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Weichselzeitliche Umbrellacalcite aus der Höhle „Malachitdom“ (NE-Sauerland): vom Kaltwasser- zum Ausfrierstadium in Pools auf Eis

Detlev K. Richter, Andreas Schudelski, Rolf D. Neuser & Denis Scholz

Detlev K. Richter
Institut für Geologie, Mineralogie
und Geophysik
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150,
44801 Bochum

Andreas Schudelski
Zum Windhagen 42
59929 Brilon

Rolf D. Neuser
Institut für Geologie, Mineralogie
und Geophysik
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstr. 150
44801 Bochum

Denis Scholz
Institut für Geowissenschaften
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
J.-J.-Becher-Weg 21
55128 Mainz

Korrespondierender Autor:
rolf.neuser@rub.de

Manuskript
Eingegangen: 10.06.2020
Akzeptiert: 30.11.2020
Online verfügbar: 20.01.2021

© LWL-Museum für Naturkunde

Kurzfassung

Revisionsuntersuchungen am formenreichen calcitischen Kleinsintermaterial des Malachitdoms von Bleiwäsche (Briloner Massenkalk/NE-Sauerland) haben einen lokal gehäuft auftretenden schirmartig zusammengesetzten Aggregattyp (meist <1 cm) aufgezeigt. Vollformen sind aus monokristallinen bis faserigen Stielen und sphärolithisch strukturierten Schirmen aufgebaut, wobei die Stiele häufig fächerartig mit hoher Porosität zwischen den Stielen angeordnet sind. Diese filigranen Umbrellacalcite sind natürlich nicht transportresistent, so dass häufig nur Teile zu finden sind.

Vergleichende Untersuchungen an Umbrellacalciten, bzw. Teilen davon, verschiedener mitteleuropäischer Höhlen (besonders: Herbstlabyrinth-System bei Breitscheid und Lehmschachthöhle am Iberg/Harz) haben bezüglich der O-Isotopenzusammensetzung eine signifikante Veränderung zu stark negativen O-Werten (bis <20‰) im Verlauf der Mineralisation ergeben. Diese O-Isotopensignatur der Umbrellacalcite wird mit einem sich ändernden Milieu von einem Kaltwassercalcit- zu einem Kryocalcit-Stadium im Bereich von Pools auf Eis diskutiert. Im Fall des Malachitdoms erreichen die Umbrellacalcite, wie daneben vorkommende rhomboedrische und sphärolithische Kryocalcittypen, keine negativeren O-Isotopenwerte als -15 ‰, was möglicherweise ein Hinweis für eine Entstehung in nicht vollständig ausgefrorenen Pools ist.

Spezifische Teile der Umbrellacalcite haben mit $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Altern von 14,5-16,2 ka (Halligen/Malachitdom), 29 ka (Rätselhalle/Herbstlabyrinth) und 36 ka (Lehmschachthöhle/ Iberg) verschiedene Genesezeiten um Interstadiale in der Weichseleiszeit ergeben.

Schlüsselwörter: Speläothem, Weichselkaltzeit, C- und O-Isotopie, Paläoklima, NE-Sauerland

Abstract

Crystal sands of the Malachitdom cave near Bleiwäsche (Brilon Massenkalk/NE-Sauerland) are composed of different types of cryogenic particles (mostly <1 cm). The main type of calcitic aggregates is composed of monocrystalline to fibrous stems and spherulitically structured umbrellas at the convex side of fan-like aggregates. These filigree "umbrellacalcites" are naturally not resistant to transport, so that often only parts can be found.

Comparative investigations on umbrellacalcites or parts of them of different Central European caves (especially: Herbstlabyrinth cave system at Breitscheid and Lehmschacht Cave at Iberg/Harz Mountains) have shown a significant change to strongly negative O-values (up to <20‰) in the course of mineralization. This O-isotope signature documents a changing environment from a coldwater calcite to a cryocalcite stage in pools on ice. In the case of the Malachitdom, the umbrellacalcites as well as adjacent rhombohedral and spheroidal cryocalcite types do not reach more negative O-isotope values than -15 ‰, which is possibly an indication for a formation in pools that were not completely frozen.

Specific parts of the umbrellacalcites with an $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -age of 14,5-16,2 ka (Halligen/Malachitdom), 29 ka (Rätselhalle/Herbstlabyrinth) and 36 ka (Lehmschacht cave/Iberg) showed different epochs of genesis around interstadials in the Weichselian.

Keywords: Speleothem, Weichselian, C- and O-isotopes, paleoclimate, NE Rhenish Slate Mountains

Einführung

Der im Jahre 1987 entdeckte Malachitdom im mittel-/ oberdevonischen Briloner Massenkalk bei Bleiwäsche (NE Brilon/Sauerland, Abb. 1) hat aufgrund seiner farbigen Calcitsinter und der Vielfalt an Kleinsinterformen eine überregionale Bedeutung unter den Höhlen Mitteleuropas (Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen 1992). Bei den Kleinsintern sind Cupula-Sphärolithe und Stachelperlen erstmals vorgestellte Formen (Erlemeyer et al. 1992), die bereits von Schmidt (1992) auch mineralogisch näher charakterisiert worden sind. Nach Richter & Niggemann (2005) und Richter & Riechelmann (2008) zeichnen sich die Cupula-Sphärolithe, wie die begleitend vorkommenden Zopfsinter, durch sehr leichte O-Isotopenzusammensetzungen aus (bis -16 ‰), was typisch für grobkörnige Kryocalcite ist, die sich in sehr langsam gefrierenden Pools von Höhlen in Karbonatgebieten bilden (u.a. Žák et al. 2012).

Bei einer Revisionsbearbeitung des vorhandenen Kleinsintermaterials ist nun ein lokal gehäuft auftretender schirmförmiger Aggregattyp aufgefallen, der in der vorliegenden Studie im Vordergrund steht, da er in einem Pool auf Eis vor dem finalen Ausfrieren entstanden ist. Dieser Typ wird aufgrund seiner Form als „Umbrellacalcit“ bezeichnet. Zum besseren Verständnis der Calcitbildung im Übergang vom Kaltwasser- zum Ausfrierstadium der Pools auf Eis sind bereits vorhandene Publikationen über Kristallsande mit derartigen Übergängen in die Diskussion einbezogen worden: Rätselhalle/Herbstlabyrinth (Richter et al. 2010a), Riesenberghöhle/Süntel (Richter et al. 2013), Hüttenbläterschachthöhle/Iserlohn (Richter et al. 2015), Lehmschacht/Iberg (Richter et al. 2017a), Emmerthalhöhle/südliche Frankenalb (Richter et al. 2017b) und Zinnbergschacht/mittlere Frankenalb (Richter et al. 2018a), Lokalitäten siehe Abb. 2. Aufgrund des besonders guten Erhaltungszustandes sollen hier äquivalente Calcitbildungen aus der Rätselhalle, der Schauhöhle des Herbstlabyrinthes, neu beschrieben werden.

tionen über Kristallsande mit derartigen Übergängen in die Diskussion einbezogen worden: Rätselhalle/Herbstlabyrinth (Richter et al. 2010a), Riesenberghöhle/Süntel (Richter et al. 2013), Hüttenbläterschachthöhle/Iserlohn (Richter et al. 2015), Lehmschacht/Iberg (Richter et al. 2017a), Emmerthalhöhle/südliche Frankenalb (Richter et al. 2017b) und Zinnbergschacht/mittlere Frankenalb (Richter et al. 2018a), Lokalitäten siehe Abb. 2. Aufgrund des besonders guten Erhaltungszustandes sollen hier äquivalente Calcitbildungen aus der Rätselhalle, der Schauhöhle des Herbstlabyrinthes, neu beschrieben werden.

Fundort im Malachitdom

Die Kristallsande mit schirmförmigen Calcitaggregaten und weiteren typisch kryogenen Calcitaggregaten kommen eng begrenzt auf und neben Felsblöcken im mittleren Teil der Halligen des Malachitdoms vor (Abb. 2). Der Fundort entspricht dem Vorkommen von Calcitblüten und Zopfsintern von Erlemeyer et al. (1992, Fig. 7 auf Tafel 3). Die Lokalität liegt etwa 50 m unter der natürlichen Geländeoberkante in 390 m über NN. Die Fundsituation belegt bereits ein junges Alter der lediglich anverfestigten Kristallsande (Abb. 3). Etwa 5 m nördlich des Untersuchungsareals vorkommende Cupula-Sphärolithe haben ein TIMS-Th/U-Alter von 14,5 - 15,6 ka ergeben (Richter & Riechelmann 2008).

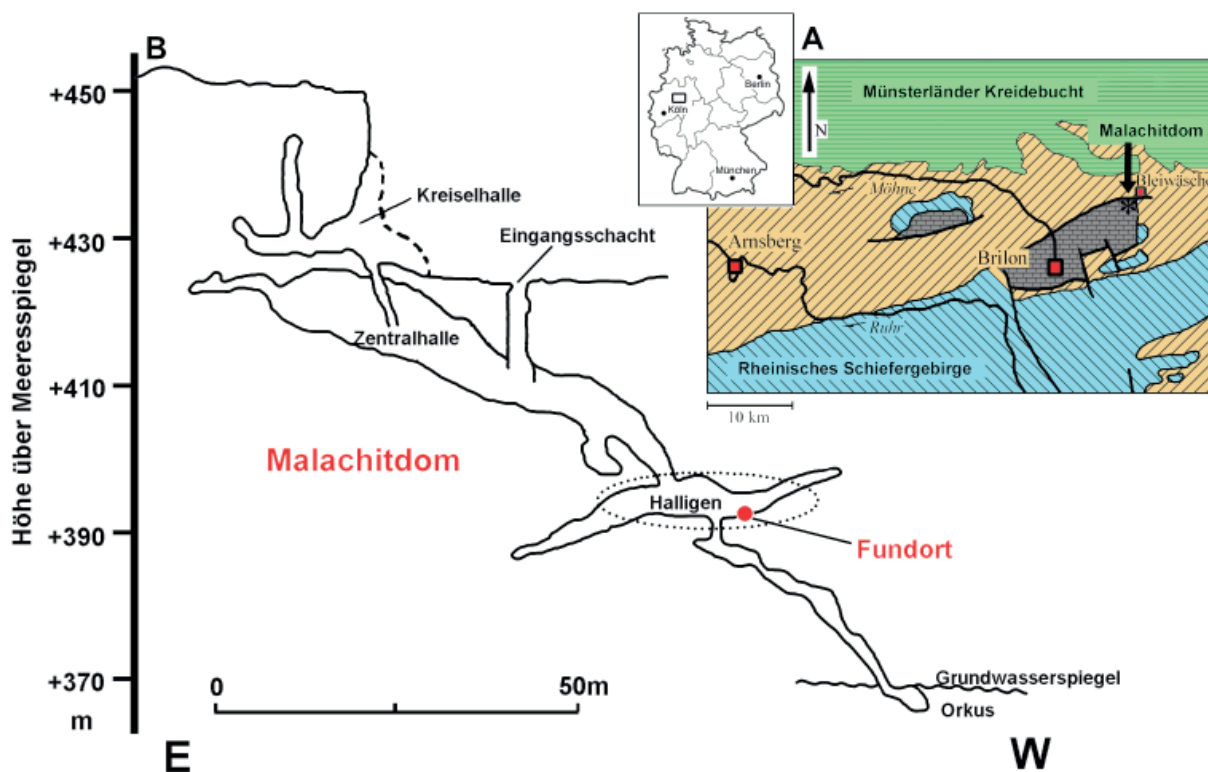


Abb. 1: **A** Geologische Karte mit Lage des Malachitdoms in der NE-Ecke des Briloner Massenkalks (grün - Kreide, ocker-Karbon, blau - Mittel/Oberdevon ausser Massenkalk, grau - Massenkalk). **B** Vertikalprofil des Malachitdoms (abgeändert nach Erlemeyer & Schudelski (1992))

Abb. 2: Weichselzeitliche Eishöhlen Mitteleuropas mit den im Text erwähnten Höhlen mit Umbrellacalciten bzw. Äquivalenten

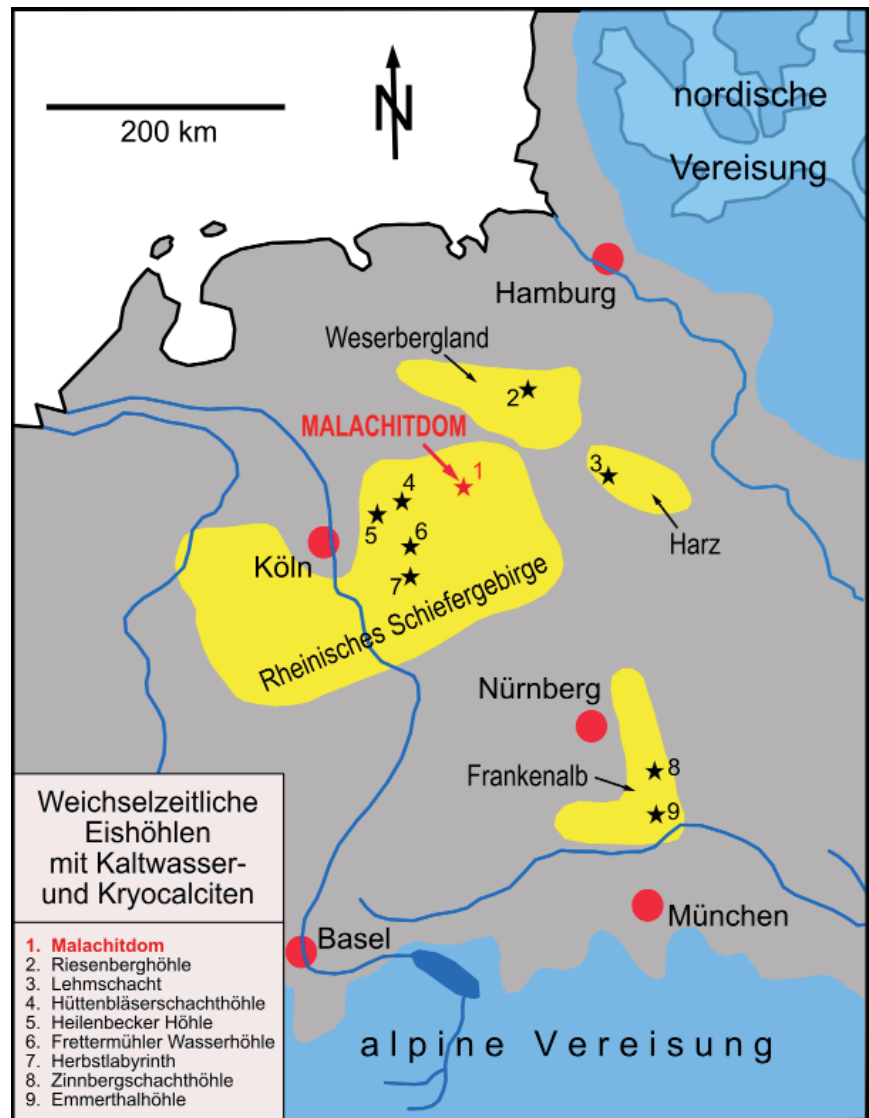
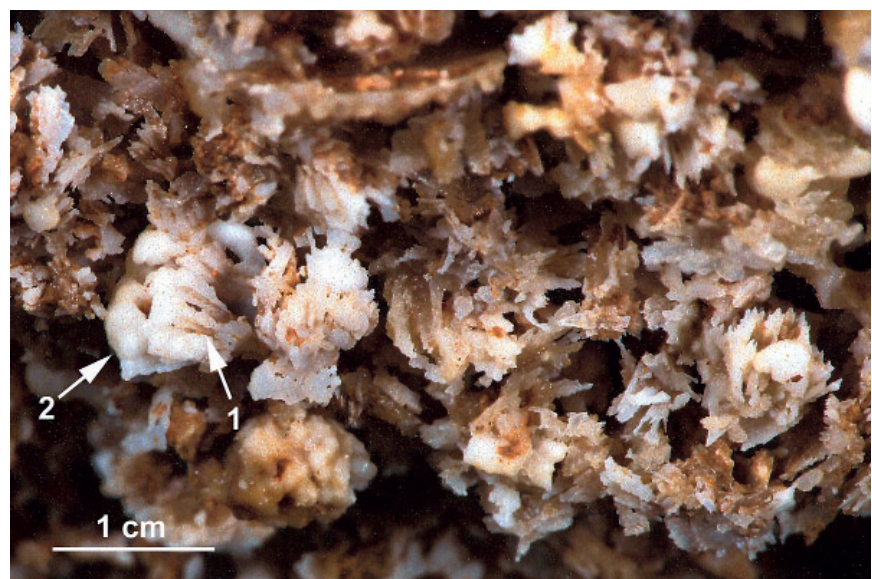


Abb. 3: Kristallsand des untersuchten Kryocalcitvorkommens mit Umbrellacalciten unterschiedlicher Erhaltung (1 - Fächer aus divergierenden Calcitleisten, 2 - weiße keulen- bis blumenkohlartige Verdickungen am Ende der Calcitleisten; Aufsicht auf die ungleichmäßig dicke Kristallsandschicht)



Methodik

Die Kristallsande wurden zunächst ultraschallgereinigt, um anhaftenden Detritus von den Einzelkristallen sowie Kristallaggregaten zu entfernen. Nach Selektion des Partikelbestandes unter einem Stereomikroskop erfolgten zur Dokumentation der Konturen der verschiedenen Partikeltypen Aufnahmen an goldbesputterten Präparaten mit einem hochauflösenden Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop (HR-FEM, Zeiss Gemini2 Merlin).

Zur Bestimmung der genauen mineralogischen Zusammensetzung der Proben kam nach Zumischung eines Standards (Quarzpulver) ein Pananalytical MPD Bragg-Brentano-Diffraktometer unter Verwendung von CuK_α -Strahlung zum Einsatz. Die Kathodolumineszenz-Untersuchungen wurden an einem KL-Mikroskop Typ Lumic HC1-LM (Neuser et al. 1996) an beidseitig polierten mit Gold besputterten Dünnschliffen von Sinterproben sowie von kunstharzfixierten Kristallsanden durchgeführt.

Die C/O-Isotopenzusammensetzung der calcitischen Proben wurde nach Aufbereitung mit einer Gasbench mittels Massenspektrometer MAT 253 (Thermo Scientific) ermittelt und mit den Standards CO-1 und CO-8 gegen VPDB geeicht. 1σ -Reproduzierbarkeit der Messwerte liegt für $\delta^{13}\text{C}$ bei 0.04‰ VPDB und für $\delta^{18}\text{O}$ bei 0.08‰ VPDB. Die Daten für das Wirtsgestein (devonischer Massenkalk), warmzeitliche Sinter (Stalagmiten u.a.) und Cupula-Sphärolithe sind aus der Malachitdomstudie von Richter & Riechelmann (2008) übernommen worden.

Die $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierungen wurden mit einem Multi-Kollektor-Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (MC-ICP-MS) am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz durchgeführt (Methodik: Scholz & Hoffmann (2008)).

Beschreibung der Kleinsintertypen

Haupttyp

Die Kristallsande setzen sich vorrangig aus mesoskopisch transparenten farblosen bis beigefarbenen Calcitleisten zusammen, die randlich häufig in weißbeige Zonen über-

gehen. Diese Leisten sind bei vollständiger Aggregatausbildung (meist < 1 cm - max. 2 cm Ø) radialstrahlig bzw. blättrig rosettenartig angeordnet, weshalb dieser Speläotyp von Erlemeyer et al. (1992) als Calcitblüte bezeichnet worden ist. Den gleichen Autoren sind daneben viele weißbeige kugel- bis blumenkohlartige Aggregate aufgefallen, die sie Zopfsinter genannt haben. Definition nach Erlemeyer et al. (1992): „Zopfsinter bestehen aus versetzt gegeneinander angeordneten, halbkugeligen Kristallaggregaten mit blättrig erscheinender Struktur, die zu zopfartigen Ketten zusammengefügt sind.“ Eine primäre Mineralisation derartiger Calcitaggregate auf Versturzblöcken oder anstehendem Massenkalk konnte in keinem Fall - auch nicht in anderen Höhlen - beobachtet werden.

Nach Revisionsaufnahmen unter Einbeziehung von Stereolupe und Rasterelektronenmikroskop haben etliche Calcitleisten an einem Ende keulenartige Verdickungen (Abb. 4a), und die Partikel aus divergierend angeordneten Calcitleisten haben am offenen Ende der Fächer keulen- bis blumenkohlartige Verdickungen (Abb. 4 b, c). Diese Kompositaggregate gleichen somit Schirmen, weshalb für diesen neuen Kleinsintertyp die Bezeichnung „Umbrellacalcit“ vorgeschlagen wird.

Hoch aufgelöste Aufnahmen belegen die filigrane Struktur der nach der c-Achse schnell gewachsenen Leistentencalcite (Abb. 5 a und b), womit sie den Skelettcalciten von Richter et al. (2008, 2017a) gleichen. Die skelettartige Struktur ist bei den transparenten Aggregaten der Rätzelhalle (Schauhöhle Herbstlabyrinth) besonders gut nachzuvollziehen (Abb. 5 e-f), da hier die mesoskopisch weißbeigen Außenzonen an den Leisten meist fehlen. Die weißbeigen Zonen der Leisten des Malachitdoms zeigen bei starker Vergrößerung einen Faseraufbau, wobei sich die Fasern mit dem Wachstum der Leisten öffnen (Abb. 5 c). Diese Ausbildung entspricht dem von Onac (1997) beschriebenen Splitting bei Calcitkristallen, was im Fall mitteleuropäischer „Eishöhlen“ bei den Skelettcalciten der Lehmshachthöhle im Harz für den Übergang vom monokristallinen zum faserigen Kristallbereich beschrieben worden ist (Richter et al. 2017a).

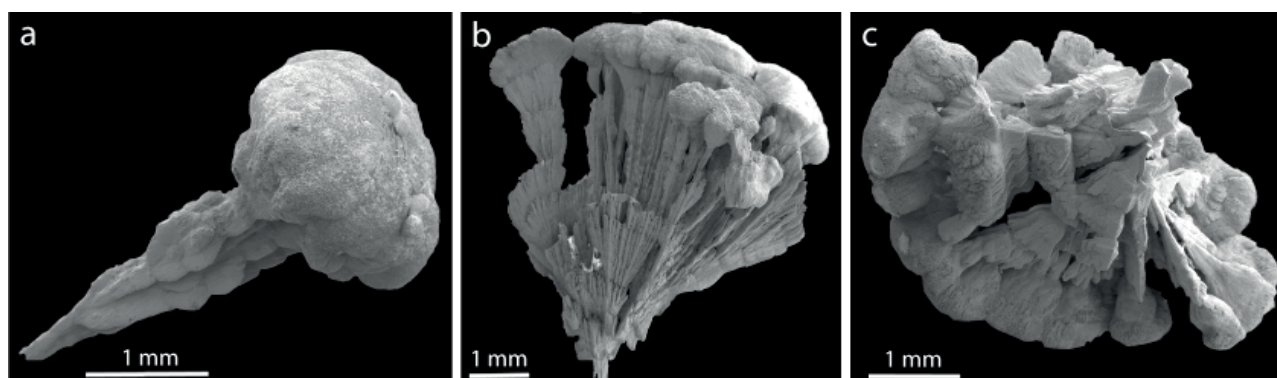


Abb. 4: Umbrellacalcite. **a** Einzelelement aus Stiel und keulenartiger Verdickung; **b** Seitenansicht eines Fächers aus divergierenden Calcitleisten mit blumenkohlartiger Verdickung an den Enden; **c** Umbrellacalcitfächer von unten

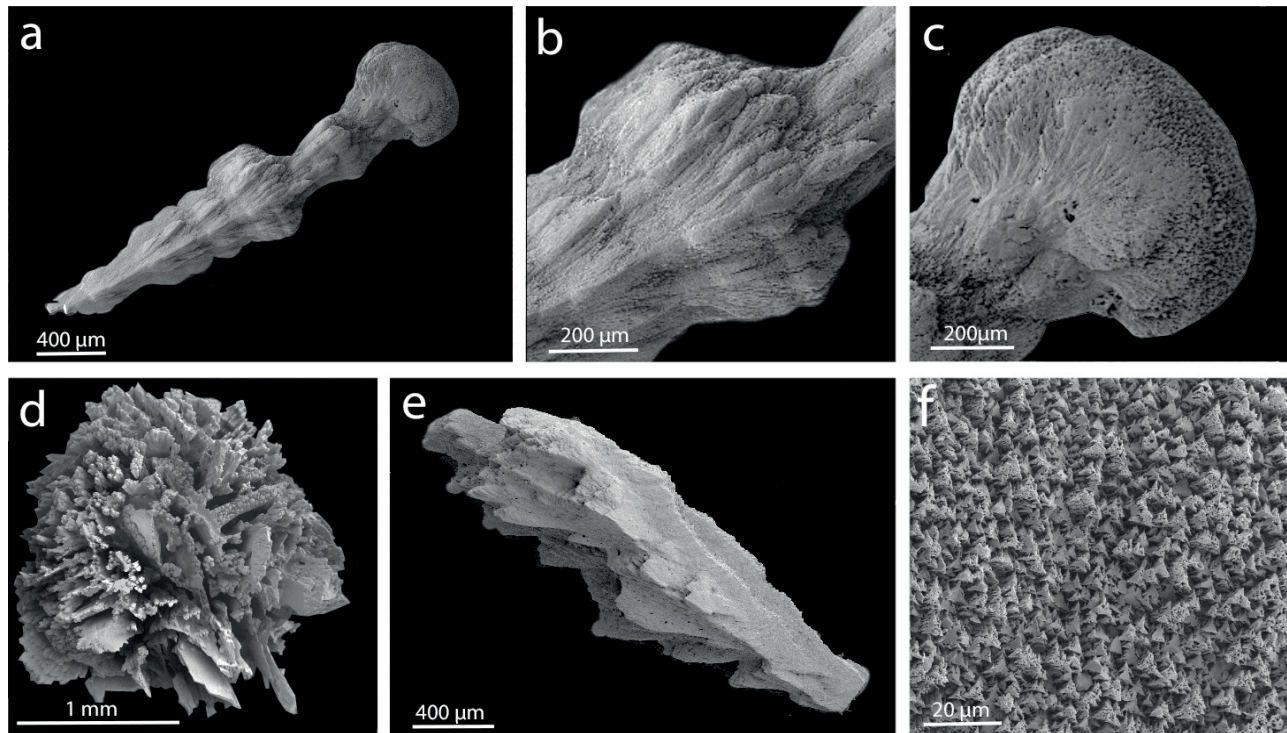


Abb. 5: Feinstrukturen von Umbrellacalciten (c und f Malachitdom, d und e Herbstlabyrinth/Rätselhalle). **a** Einzelfragment mit Subkristallorientierung etwa parallel zur Längserstreckung; **b** Enden der Subkristalle oberhalb von Stielverdickungen; **c** keulenartige Verdickung am Stielende; **d** mikrokristallines Hemi-sphärolith als Hut eines Umbrellacalcits; **e** skelettcalcitischer Stiel eines Umbrellacalcits ohne Überzüge; **f** Detail von c mit konkav ausgebildeten Flächen der steilen Rhomboeder.

Die weißen bis beigefarbenen keulen- bis blumenkohlartigen Verdickungen setzen sich nach REM-Aufnahmen aus feinsten Fasern in radialcalcitischer Strukturierung mit Rhomboederendbegrenzung zusammen (Abb. 5 a-c, f), wie es für Kryocalcite der Sphärolith-Formengruppe (s.u.) typisch ist und schon mehrfach dokumentiert wurde (u.a. Richter et al. 2013, 2017a).

Nebentypen

Bei den Nebentypen des hier betrachteten Vorkommens muss im Sinne der häufig beobachteten Vergesellschaftung grobkörniger Kryocalcite zwischen Rhomboeder-

und Sphärolith-Formengruppe unterschieden werden (Richter et al. 2008, 2014):

(1) Die Rhomboederkristallsinter kommen meist als längliche Einzelkristalle (meist < 1 mm) mit gewölbten Kristallflächen vor (Abb. 6a), können aber auch in richtungsloser Aggregatform sowie als bis zu 3 mm langen Kristallketten verwachsen vorliegen.

(2) Bei den Partikeln der Sphärolith-Formengruppe dominieren hantelförmige Sphärolithe bis 1 mm Länge (Abb. 6b). Miteinander verwachsene Sphärolithe stellen die bis zu 7 mm langen Zopfsinter dar. Nur vereinzelt kommen bis zu 100 µm kleine kugelförmige Sphärolithe vor.

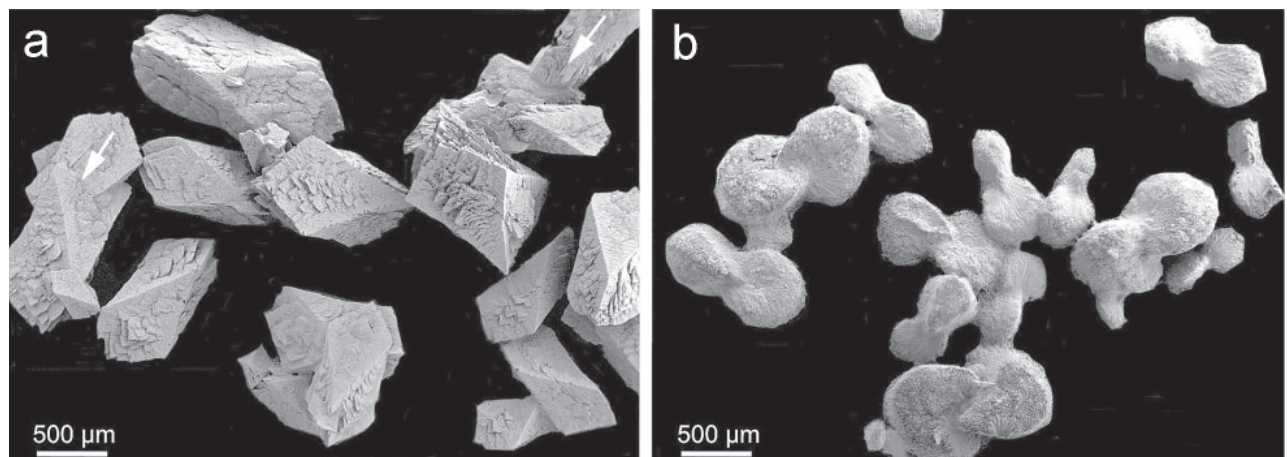


Abb. 6: Kryocalcittypen außer Umbrellacalciten. **a** Rhomboederkristalle - z.T. zu Ketten verwachsen (Pfeile); **b** hantelförmige Sphärolithe

C/O-Isotopenzusammensetzung

Die C/O-Isotopenwerte der Kleinsinter der Fundstelle unterscheiden sich signifikant von den entsprechenden Werten warmzeitlicher Sinter derselben Höhle (Abb. 7). Dabei fällt die leichtere (negativere) O-Zusammensetzung (-9 bis -15 ‰ VPDB) auf, was bei den sehr leichten O-Werten typisch für kryogene Calcite ist, da bei der Calcitbildung in langsam ausfrierendem Wasser das schwerere O-Isotop ins Eis und das leichtere O-Isotop in den Calcit eingebaut wird (Souchez & Jouzel 1984; Clark & Fritz 1997; Žák et al. 2012). Die große Variationsbreite der O-Isotopenzusammensetzung der Kleinsinter erfordert unter Einbeziehung der Werte anderer Kristallsande (besonders: Rätzelhalle/Herbstlabyrinth: neue Werte, Lehmshacht/Iberg: Richter et al. 2017a) eine typbezogene Aufschlüsselung (Abb. 7), um nach einer Erklärung für die Spanne zu suchen:

Bei den Umbrellacalciten des Malachitdoms hat sich keine signifikante Zweiteilung ergeben, da die sphärolithisch aufgebauten Schirme mit O-Isotopenwerten von -9 bis -15 ‰ die gleiche O-Isotopenzusammensetzung aufweisen, wie die skelettartigen Stiele mit O-Isotopenwerten von -10 bis -14 ‰.

Die O-Isotopenzusammensetzung der sphärolithischen Hanteln, sowie Zopfsinter und der Rhomboeder des Umbrellavorkommens, gleichen mit -11 bis -15 ‰ bzw. -13 bis -14 ‰ den O-Isotopenwerten der Schirme der Umbrellacalcite. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden diese Daten nicht in Abb. 7 dargestellt.

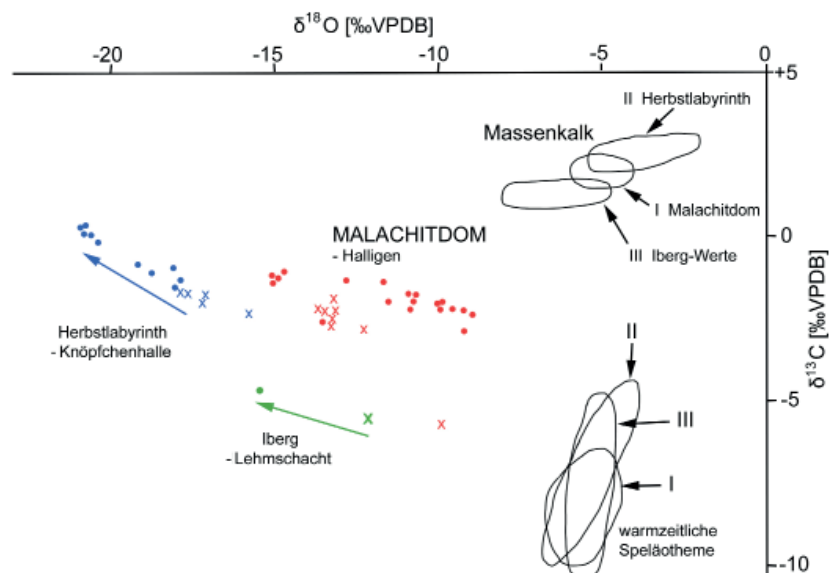
Die vom Umbrellacalcit-Vorkommen der Halligen nur 5-7 m nördlich aufgesammelten Cupulasphärolithe haben nach Richter & Riechelmann (2008) mit O-Isotopenwerten zwischen -7 und -14 ‰ Werte ergeben, die denjenigen der Umbrellacalcite entsprechen (s. Punkt 1), aber cupula-intern konnte ein geringfügig ausgeprägter Trend von schwererer (positiverer) zu

leichterer (negativerer) O-Isotopenzusammensetzung nachgewiesen werden.

Bei Vergleichen mit anderen Vorkommen von Umbrellacalciten bzw. deren Äquivalenten gibt es stärkere Unterschiede bei typbezogener Betrachtung. Die sphärolithischen Schirme der Umbrellacalcite der Rätzelhalle (Herbstlabyrinth) haben O¹⁸-Werte zwischen -18 und -21 ‰ aufgezeigt, während die monokristallinen Stiele O¹⁸-Werte zwischen -16 und -18 ‰ ergaben (vgl. Abb. 7). Bei den entsprechenden Partikeln des Lehmshachts (Iberg) haben sphärolithische Partikel O¹⁸-Werte zwischen -14 bis -17 ‰ aufgezeigt, während Analysen an Skelettcalciten nur zu O¹⁸-Werten von -10 bis -14 ‰ geführt haben.

Zur Interpretation der sehr variablen O-Isotopenzusammensetzung der verschiedenen Calcittypen der Kristallsande unterschiedlicher Vorkommen bietet sich neben einer poolspezifisch ungleichen Primärzusammensetzung des Poolwassers aufgrund unterschiedlicher Überdeckung der Höhlen besonders eine ungleich lange Phase des Ausfrierstadiums an. Bei den meisten bislang bearbeiteten Vorkommen erreichen die sphärolithischen Kryocalcite O¹⁸-Werte bis unter -20 ‰. Nur im Malachitdom werden lediglich Werte bis -15 ‰ gemessen. Möglicherweise war bei der Bildung der Calcite in Pools des Malachitdoms die Ausfrierzeit zu kurz, so dass im Restwasser das Finalstadium des Ausfrierens mit ¹⁸O-Werten von < 20 ‰ im Calcit aufgrund erneuter Tauperioden nicht erreicht wurde. Aus diesem Grund sind die Phasen von Kaltwassercalcit- und Kryocalcit-Stadium sehr ähnlich und bei zu engmaschiger Verwachsung - methodisch bedingt - nicht signifikant zu trennen. Dieses Szenario könnte auf die Übergangszeit der Bildung der Poolcalcite des Malachitdoms zwischen der kontinuierlichen Permafrostzeit von 27 - 17 ka BP und holozäner Warmzeit (vgl. Abb. 9) zurückzuführen sein. Somit haben

Abb. 7: C/O-Isotopenzusammensetzung der Umbrellacalcite (x - Stiele, • - Schirme) des Malachitdomvorkommens im Vergleich zu Äquivalenten des Herbstlabyrinths (Knöpfchenhalle - neue Daten) und dem Lehmshacht (Iberg/Harz). Die Felder für die mittel/oberdevonischen Massenkalk (Wirtsgesteine) und die warmzeitlichen Speläotheme der Höhlen sind der Literatur entnommen (I - Malachitdom nach Richter & Riechelmann (2008); II - Herbstlabyrinth/Breitscheid nach Richter et al. 2010, 2011; III - Lehmshachthöhle Iberg/Harz nach Richter et al. 2017a)



sich beispielsweise für die O^{18} -Isotopenzusammensetzung der Calcite der Rätshalle (Herbstlabyrinth) mit einem Alter von 29 ka stärkere Unterschiede zwischen Kaltwassercalcit und Kryocalcitstadium ergeben (u.a. Richter et al. 2011; vgl. Abb. 7).

Bei der C-Isotopenzusammensetzung der Kleinsinter des Malachitdoms zeigt sich der allgemein nachgewiesene Trend für grobkörnige Kryocalcite, indem Calcite mit leichter O-Isotopenzusammensetzung eine etwas schwerere C-Isotopenzusammensetzung aufweisen (u.a. Žák et al. 2012, 2018; Richter et al. 2013; vgl. Abb. 7). Dabei ist der C-Isotopentrend noch nicht vollends verstanden (u.a. Evaporationseffekt?), so dass in dieser Studie auf die C-Isotopenzusammensetzung nicht näher eingegangen werden soll.

Kathodolumineszenz (KL)-Eigenschaften

Grundsätzlich wird bei calcitischen Speläothemen wie bei Calciten anderer Genese der Gittereinbau von Mn^{2+} sowie Seltenerd-Elementen (SEE) (besonders Sm^{3+} , Dy^{3+} und Tb^{3+}) beobachtet, was zu violetten (Mn-arm) bis orangenen (Mn-haltig bis -reich) bzw. fahlen (SEE-haltig) KL-Farben gegenüber reinen Calciten mit blauer KL geführt hat (Richter et al. 2002, 2003). Im Fall der Umbrellacalcite des Malachitdoms beginnt die Calcit-mineralisation mit blauer (= intrinsischer) KL, bevor sich überwiegend fahl-violette bis orangene Farbnuancen anschließen (Abb. 8 mit Angaben zur KL-Aktivierung). Nach bisherigen KL-Untersuchungen an Kryocalciten verschiedener mitteleuropäischer Höhlen dominiert zunächst die intrinsische blaue KL, bevor sich Zonen mit extrinsischer violetter bis orangener KL anschließen (u.a. Richter et al. 2008). Dieses Muster spiegelt einen Wechsel von Kaltwasser- zu Ausfrierstadium von Pools auf Eis wieder, wie es an Kryocalciten aus der Frettermühlenwasserhöhle östlich Attendorn gezeigt wurde (Richter et al. 2020). Ein von Höhle zu Höhle anteilig unterschiedliches Mengenverhältnis der beiden KL-Farbmuster wird im Folgenden diskutiert.

Bei einem Vergleich der KL-Muster von langgestreckten Skelettcalciten (entspr. Stielen von Umbrella-

calciten) verschiedener Vorkommen haben die Calcite der Lehmschachthöhle ausschließlich intrinsisches KL-Verhalten, während die Calcite der Heilenbecker Höhle im Bergischen Land zu etwa 80-90% und die des Malachitdoms zu 40-60% als erste Phase intrinsisch blaue KL-Farben aufweisen. Die jüngeren Calcitanteile lumineszieren blass violett bis orange. Nach den Ausführungen von Richter et al. (2020) markiert die Calcitphase mit intrinsischer KL das Kaltwasserstadium, während die jüngeren Phasen zeitlich überwiegend dem Ausfrierstadium entsprechen. Eine finale dünne, intrinsisch lumineszierende Zone spiegelt einen Anwachs-saum nach Abschmelzen des Eises und Umlagerung der Kryocalcite auf den Höhlenboden wieder (Richter et al. 2008) und wurde nicht in die zuvor genannten Mengenverhältnisse mit einbezogen.

Th/U-Datierungen

Zwei $^{230}Th/U$ -Datierungen markieren mit 16,2 und 14,5 ka (Tab. 1) das Vor- und Umfeld des Interstadials 1 der Weichselkaltzeit (vgl. Abb. 9), was durchaus mit den TIMS-Datierungen von 15,9 bis 14,5 ka an Cupulasphärolithen eines wenige Meter nördlich gelegenen Kryocalcitvorkommens übereinstimmt (Richter & Riechelmann 2008, vgl. Tab. 1). Beim Vergleich mit der von Žák et al. (2012) aufgestellten Häufigkeitsverteilung von 42 $^{230}Th/U$ -datierten Kryocalciten deutscher, tschechischer, slowakischer und polnischer Höhlen markieren die fünf Malachitdom-Datierungen den Endbereich der in der Kaltzeit zwischen den Warmphasen Eem und Holozän vorkommenden Kryocalcitbildungszeiten. Eine ältere Ausfrierzeit wird durch 23,7 ka für Hemisphärolithe der Knöpfchenhalle (Herbstlabyrinth) angegeben (Tab. 1, Abb. 9).

Ein Alterstrend von Stielen zu Schirmen der Umbrellacalcite des Malachitdoms konnte nicht nachgewiesen werden, wahrscheinlich weil die Proben nach KL-Untersuchungen (s. vorheriges Kapitel) inhomogen zusammengesetzt sind. Bei der Beprobung für die Altersdatierung konnte nicht exakt zwischen blau lumineszierender erster Phase und blass violett bis orange lumineszierender Phase unterschieden werden, wodurch sich nicht

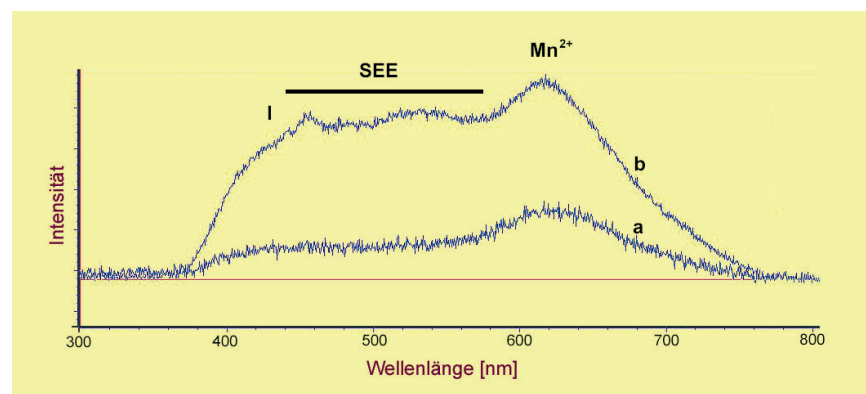


Abb. 8: KL-Spektren von Umbrellacalciten.

a: Zentralbereich eines Stiels; b: äußerer Bereich eines blumenkohlartigen Huts. I: intrinsische KL, SEE: seltenerd-angeregte KL, Mn^{2+} -angeregte KL.

Tab. 1: Th/U-Datierungen an Kryocalciten. „1-2-Multi-Kollektor-Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (MC-ICP-MS)“ Labor Mainz, neue Daten, „3-5-TIMS Th/U-Methode“ Labor Heidelberg; publ. in: Richter & Riechermann (2008), 6 neue Daten des Labors Uni Mainz.

Probe	^{238}U [µg/g]	^{232}Th [ng/g]	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{238}\text{Th}$	Alter [a, korrigiert]
1 Umbrellacalcit, Stiele	1,348±0,008	96,2±0,6	4,263±0,031	0,5539±0,0047	14,94±0,18
2 Umbrellacalcit, Schirme	0,806±0,005	44,7±0,3	4,218±0,024	0,5906±0,0039	16,17±0,15
3 Halligen 5KA1, Cupulasphärolith 1	1,6518±0,002	5,377±0,029	4,255±0,008	0,5368±0,0041	14,50±0,12
4 Halligen 5KA2, Cupulasphärolith 2	1,7179±0,002	84,19±0,75	4,242±0,008	0,5744±0,0069	15,93±0,20
5 Halligen KA1 I+II, Cupulasphärolith 3	1,3492±0,001	9,938±0,077	4,224±0,007	0,5452±0,0047	14,89±0,13
6 Hemisphärolith, Knöpfchenhalle, Herbstlabyrinth	0,823±0,005	3,65±0,03	1,448±0,006	0,2856±0,0036	23,72±0,33

genau auflösbare Datierungen ergeben. Eine genauere Datierung wäre nur mittels punktueller $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierung möglich, die aber derzeit noch nicht verfügbar ist.

Somit belegen die fünf $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierungen für Kryocalcite des Malachitdoms zwischen 16,2 und 14,5 ka lediglich einen Abschnitt um das Interstadial 1 der Weichselkaltzeit. Eine präzise Zuordnung zu den bekannten Warmphasen Meiendorf, Bölling und Alleröd dieser ersten spätweichselzeitlichen Erwärmungen (vgl. Litt et al. 2007) bleibt künftigen Untersuchungen vorbehalten.

Genesefolge

Weichselzeitliche Kleinsinter sind in den vergangenen 15 Jahren wiederholt von mitteleuropäischen Höhlen beschrieben worden (neuere Zusammenfassungen: Žák et al. 2012, 2018). Bei den polymikten Kristallsanden, die lokal gehäuft un- bis anverfestigt auf dem Höhlenboden bzw. auf Versturzböcken als Kristallsande vorkommen, können generell Kleinsinter einer

Rhomboeder- sowie einer Sphärolith-Formengruppe unterschieden werden (Richter et al. 2014). Die Genese der verschiedenen Kleinsintertypen ist allerdings noch keineswegs vollständig geklärt, zumal sie vermengt vorliegen und sich primär meist in Becken auf Eis gebildet haben (s.u.). Aber aufgrund der sehr leichten (negativen) O-Zusammensetzung scheinen Sphärolithe das finale Stadium eines ausfrierenden Beckens widerzuspiegeln, während klare Calcite mit schwererer (positiver) O-Isotopenzusammensetzung einer Bildung in Kaltwasserbecken zugeordnet werden (u.a. Richter et al. 2017 a, b). Im Zusammenhang mit diesen Überlegungen kommt nun den Umbrellacalciten eine Schlüsselrolle bei der Genese grobkörniger Calcite auf Eis zu:

Besonders in den Zeitspannen 72 - 61 ka und 27 - 17 ka hat sich in Mitteleuropa ein kontinuierlicher Permafrost bis > 100 m Tiefe entwickelt (Vandenberghe & Pissart 1993; Žák et al. 2012), so dass die meisten bekannten Höhlen Mitteleuropas während

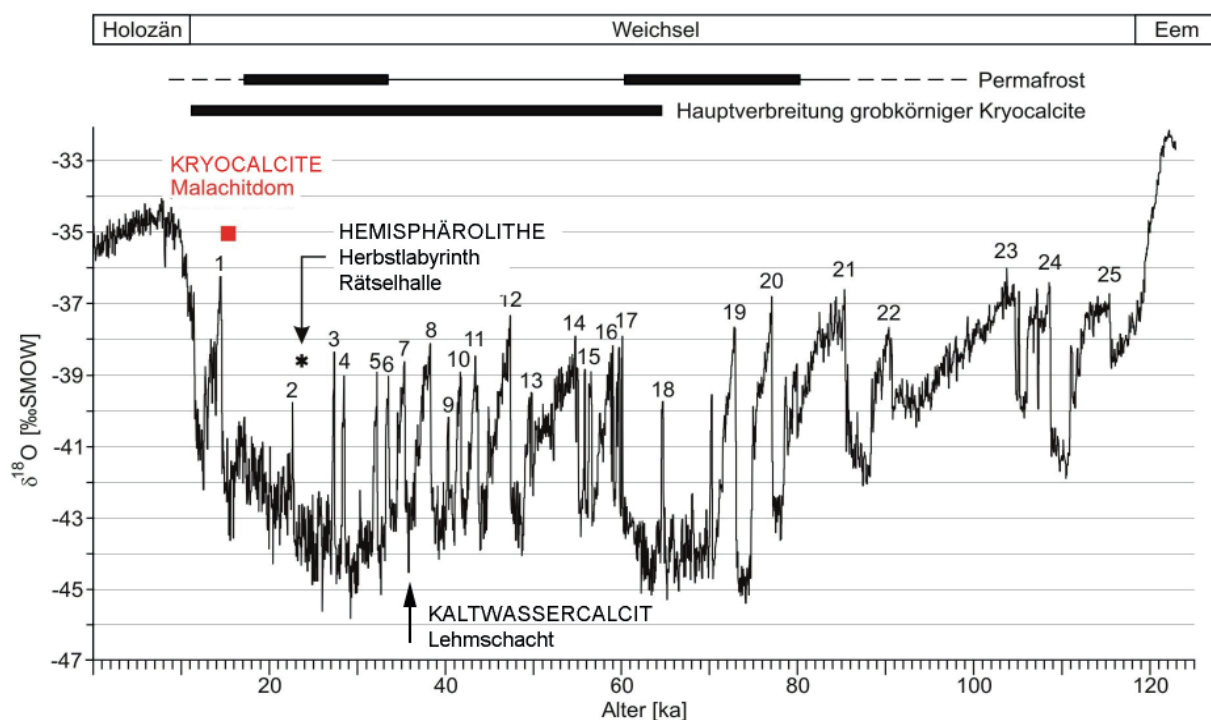
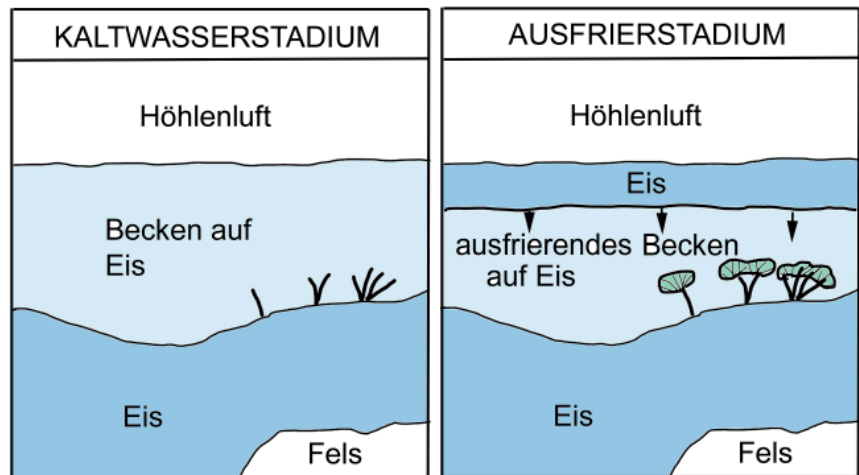


Abb. 9: Korrelation der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierungen der Umbrellacalcite (neue Daten) sowie von Cupulasphärolithen (Richter & Riechermann 2008) des Malachitdoms, von Kaltwassercalciten des Lehmshachts (Iberg/Harz nach Richter et al. 2017a) sowie Hemisphärolithen der Rätselhalle (Herbstlabyrinth/Breitscheid - neue Daten) im Vergleich zur $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve des NGRIP-Eisbohrkerns (North Greenland Ice Core Project Members 2004). Gleich bezifferte Stadiale folgen immer jeweils den Interstadialen. Zeitspannen kontinuierlichen (dicke Linien) und diskontinuierlichen (dünne Linien) Permafrosts nach Liedtke (1993) und Vandenberghe & Pissart (1993).

Abb. 10: Geneseschema für Umbrellacalcite. Beim Kaltwasserstadium sind die $\pm$ vertikal zum Substrat angeordneten Calcitkristalle schwarz markiert, während die intern faserig strukturierten Calcitschirme im Ausfrierstadium türkisfarben coloriert sind.



der beiden Zeitspannen im Bereich des Permafrostes lagen.

Während der 20 Interstadiale zwischen 80 und 15 ka (vgl. Abb. 9) taute der Permafrost von oben her auf. Wenn die Auftauzone eine Höhle erreichte, konnte sich zunächst erneut Eis in der Höhle bilden. Im Bereich der wärmsten Phase von Interstadialen konnten sich schließlich Wasserbecken auf Eis bilden, die natürlich auch Versturzböcke des aufgetauten Höhlenüberlagers enthalten konnten.

In den Becken auf Eis haben sich aufgrund kalkhaltiger Tropfwässer aus dem Deckgebirge Calcitkristalle gebildet. Dieses Szenario trifft nach unserer Meinung für die Stiele der Umbrellacalcite zu (vgl. Schemabild von Abb. 10), denn die O-Isotopenzusammensetzung der skelettartigen, transparenten Kristalle liegt um 5 ‰ niedriger als die entsprechende Zusammensetzung der warmzeitlichen Sinter derselben Höhle (Abb. 8). Eine analoge Interpretation haben Richter et al. (2010a, 2013, 2017a) für die häufig skelettartigen, transparenten Calcite im Herbstlabyrinth-Adventhöhlensystem (Breitscheid/N. Hessen), der Riesenberghöhle (Süntel/Weserbergland) und des Lehmschachts (Iberg/Harz) angenommen. Die Calcite dieses Stadiums weisen vorrangig eine intrinsische blaue KL-Farbe als Beleg für eine reine Gitterzusammensetzung (bezüglich Aktivatoren wie Mn^{2+} und Seltenerd-Elementen) auf.

Mit dem folgenden Stadial bildet sich erneut ein Permafrostboden, der sich von der Geländeoberkante zur Tiefe ausbreitet. Dieses Szenario kündigt sich im obersten Bereich der skelettartigen Calcite durch ein Splitting (vgl. Onac 1997) der ansonsten monokristallinen bis grobfaserigen Stiele der Umbrellacalcite an. Bei dem Vorkommen in der Lehmschachthöhle des Ibergs (Harz) zeichnen sich die skelettartigen Calcite mit Splitting und Fluid-/

Gaseinschlüssen am oberen Ende bereits durch eine etwas leichtere (negativere) O-Isotopenzusammensetzung gegenüber nur klaren Skelettcalciten aus, was auf eine beginnende Eisschicht auf dem Becken auf Eis hindeutet (Richter et al. 2017a).

Nach Bildung einer kompletten Eisschicht an der Oberfläche der Becken auf Eis (vgl. Schema in Abb. 10) frieren die Becken sehr langsam aus, und es bilden sich Kryocalcite mit sehr leichter (negativer) O-Isotopenzusammensetzung (bis - 15 ‰ im Malachitdom und bis -20 ‰ in der Rätselhalle des Herbstlabyrinthes). Die kaltzeitlichen skelettartigen Calcite werden bei dieser Mineralisation als Keime benutzt, so dass sich nun annähernd c-achsenparallel sphärolithisch strukturierte Schirme auf den „Calcitstielen“ zu Kristallaggregaten des Umbrellacalcit-Typs bilden. Bei diesem Stadium weisen die Calcite blass violette bis orangene KL-Farben aufgrund des Einbaus von Aktivatoren wie Mn^{2+} und Seltenerd-Elementen auf.

Während der nachfolgenden Warmzeit schmilzt das Höhleneis und die kaltzeitlichen Calcite werden auf und neben Versturzböcken am Höhlenboden sedimentiert. Es ergibt sich eine polymikte Calcittypenvergesellschaftung, die von Becken zu Becken bzw. in Abhängigkeit von der Morphologie des Beckenbodens unterschiedlich zusammengesetzt sein kann. So erklären sich die nur wenige Meter voneinander gelegenen Vorkommen mit Cupulasphärolithen auf Höhlenboden (Richter & Riechelmann 2008) und mit den hier betrachteten Umbrellacalciten besonders auf Versturzböcken. Eine lokal vorkommende Calcitphase nach Anverfestigung des Kristallsands ist kristallchemisch wiederum sehr rein und zeigt eine blaue KL-Farbe.

Zusammenfassende Diskussion

Nach der Erstbeschreibung des vielgestaltigen Kleinsinterinventars des Malachitdoms durch Erlemeyer et al. (1992) bedurfte es erst einer speziellen geochemischen Untersuchung, um einzelne Kleinsinter - u.a. Cupulasphärolithe - aufgrund sehr leichter (negativer) O-Isotopensignatur (bis -16 ‰) als kryogene Bildungen in Becken auf Höhleneis zu belegen (Richter & Niggemann 2005; Richter & Riechelmann 2008). Aber die genaue Entschlüsselung dieser kryogenetischen Calcitbildung gelang nun erst wiederum nach mehreren Jahren, als bei Revisionsuntersuchungen schirmartige Kleinsinter („Umbrellacalcite“) detailliert analysiert und interpretiert und mit Vorkommen anderer Höhlen verglichen worden sind:

1. Bei den Umbrellacalciten entsprechen die vertikal oder divergierend auf Substrat arrangierten Calcite mit $d^{18}\text{O}$ -Werten zwischen -10 und -14 ‰ gegenüber entsprechenden Werten zwischen -4 und -6 ‰ von warmzeitlichen Sintern (u.a. Stalagmiten) einer Bildung nahe der 0°C-Isotherme.
2. Da die Umbrellacalcite nur im Bereich weniger Quadratmeter auf und neben Versturzböcken vorkommen, ist für die beginnende Genese (Stiele) eine Mineralisation in Becken auf Eis am leichtesten nachvollziehbar. Eine Mineralisation der Umbrellacalcite auf Fels wurde in keinem Fall beobachtet, was als Beleg für eine Kristallbildung auf Eis gesehen wird.
3. Die sphärolithisch aufgebauten Schirme der Umbrellacalcite entsprechen beim Malachitdomvorkommen mit $d^{18}\text{O}$ -Werten zwischen -9 und -15 ‰ den Umbrellastielen, so dass genetisch mit den Isotopenwerten verständlicherweise keine Differenzierung möglich ist, da das Kaltwasserstadium im Fall des Malachitdoms im Vergleich zu anderen Kryocalcitvorkommen nach KL-Untersuchungen offensichtlich nur von kurzer Dauer war (vgl. Geneseabfolge). Aber bei entsprechenden Umbrellacalciten der Knöpfchenhalle aus dem Herbstlabyrinth ist eine klare O-Isotopen-Differenzierung möglich, indem die skelettösen Calcitstiele nur O^{18} -Werte von bis zu -18 ‰ ergeben haben, während die sphärolithischen Schirme O^{18} -Werte zwischen -18 und -21 ‰ aufgezeigt haben. Diese Differenzierung ist nach unserer Meinung durch ein Kaltwasserstadium für die Calcitstiele sowie ein Ausfrierstadium für die Schirme erklärbar, wobei der Übergang nur im Fall des Knöpfchenpools (Herbstlabyrinth) abrupt und im Fall des Malachitdompools allmählich erfolgt ist. Zudem scheint das Ausfrierstadium des Malachitdompools nicht das Finalstadium erreicht zu haben (vgl. Schemadarstellung in Abb. 10).

Die Reihung der Punkte 1 bis 3 entspricht generell einem Übergang von einem Interstadial zum nachfolgenden Stadial. Dieses Szenario muss nach $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datie-

rungen von 14,9 ka für Stiele und von 16,2 ka für Schirme des Malachitdomvorkommens in der obersten Weichselkaltzeit gelegen haben, während die Daten für Sphärolithe des Rätselhallenvorkommens mit 29 ka eine ältere Bildungszeit belegen (vgl. Abb. 9). Ein weiteres Beispiel ist die Mischkristallbildung bei den pilzförmigen Kleinsintern der Riesenberghöhle (Süntel), da hierbei zwischen rhomboedrischen Kristallcalciten und sphärolithischen Überwachungen bei REM-Untersuchungen unterschieden werden konnte (Richter et al. 2013). Methodisch bedingt konnten allerdings nur Gesamtanalysen des Mischkristalls durchgeführt werden, was $d^{18}\text{O}$ -Werte von -10 bis -13 ‰ ergeben hat, während ausschließlich sphärolithisch aufgebaute Zopsinter mit $d^{18}\text{O}$ -Werten bis < -18 ‰ typische Kryocalcitzusammensetzung des Ausfrierstadiums aufgewiesen haben. Hier würde sich eine Revisionsbearbeitung des Materials anbieten, um die beiden Calcitphasen zu trennen, zumal heutzutage bereits sehr geringe Mengen (< 20 mg) für C/O-Isotopenanalysen ausreichen.

Kristallaggregate (bis > 1 cm Ø) aus transparenten Calcitkristallen und einseitig aufgewachsenen krypto- bis mikrokristallinen, mesoskopisch weißen „Calcitüberzügen“ sind auch aus den Kristallsanden grobkörniger Kryocalcite der südlichen und mittleren Frankenalb beschrieben worden (Emmerthalhöhle– (Richter et al. 2017b), Zinnbergschacht (Richter et al. 2018a)), aber bei den C/O-Isotopenuntersuchungen wurde hinsichtlich präziser Geneseinterpretationen noch nicht die arbeitsintensive Unterscheidung der beiden Aggregatteile vorgenommen.

Die $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierungen an den zuvor genannten Kristallsanden haben Alterswerte zwischen 66 und 12 ka ergeben, so dass entsprechend dem Interstadial/Stadialwechsel zur Weichseleiszeit mit einem wiederholten Szenario von Becken auf Eis mit Kaltwassercalcit- und Kryocalcit-Stadium zu rechnen ist (vgl. Abb. 8). Wahrscheinlich war zu diesen Zeiten die Bildung von Umbrellacalciten in Höhlen Mitteleuropas ein häufiger Fall, aber nach dem Abschmelzen des Eises sind die filigranen Kleinsinter wohl zumeist zerfallen. Aber es muss auch damit gerechnet werden, dass bei hochaufgelöster Analytik an anderen Kleinsintertypen - z.B. Rhomboedern - zwischen Kaltwassercalcit- und Kryocalcitstadium unterschieden werden kann. So haben Richter et al. (2018b) bei einem Kristallsandpartikel der Heilenbeckerhöhle (Ennepetal) mithilfe hochaufgelöster Analytik (bes. Mikrosonde) zwischen einem fremdelementarmen Rhomboederkern und einer elementreicheren sphärolithischen Hülle unterscheiden können. Da aufgrund stärkerer negativer O-Isotopensignatur für den Gesamtpartikel eine Kryogenese vorzuliegen schien (Richter et al. 2008) wurde nach hochaufgelöster Analytik (s.o.) zwischen einem Kaltwasserstadium (Rhomboeder) und einem Ausfrierstadium (Sphärolithe) unterschieden.

Ein weiteres Problem ist die Massenbilanz der Calcitpartikel in Becken auf Eis. Da aber ein hoher, leider nicht exakt wiederzugebender Anteil auf eine Kaltwassergenese ohne Eisbildung, aber bei Tropfwasserzufuhr vom Höhlendach zurückzuführen ist, mag der Gesamtcalcitanteil bei den lokal ausgebildeten Vorkommen (meist nur 4–10 m²) mit der zuvor skizzierten Genesefolge im Einklang stehen (vgl. Richter et al. 2020).

Das Vorkommen grobkörniger Kryocalcite des Malachitdoms entspricht nach einer Zusammenstellung von Žák et al. (2018) dem Verbreitungstyp I, der in den Höhlen der zentraleuropäischen Flachland- bis Mittelgebirgslandschaften mit ihren kaltzeitlichen Periglazialbildungen als Normalfall gilt. Während sich hierbei die Permafrostuntergrenze mehrheitlich mehr vertikal verändert, sind im Hochgebirge andere Verteilungen gegeben - z.B. rezent vorhandener Permafrost im Innern von Gebirgsstöcken.

Schlussbemerkungen

Pilzförmige Kleinsinter kommen weltweit in Höhlen vor und wurden meist in der Formengruppe „Coralloide“ zusammengefasst (Hill & Forti 1997). Bei den Coralloiden des Malachitdoms haben Erlemeyer et al. (1992) 5 Subtypen unterschieden, wobei unsere Umbrellacalcite deren „Pilzhutsintern“ und/oder „Calcitblüten“ entsprechen könnten. Die vorliegende Studie zeigt nun, dass für präzise Geneseinterpretationen spezielle mikroskopische und geochemische Untersuchungsmethoden notwendig sind, so dass Umbrellacalcite eine charakteristische Mineralisationsabfolge anzeigen. Diese Abfolge spiegelt nach mikroskopischen und geochemischen Fakten den Übergang vom Kaltwasser- zum Ausfrierstadium eines Beckens auf Eis wieder. Aber die pilotartig durchgeführten KL-Untersuchungen zeigen ein im Detail noch komplizierteres Bild, indem bei den makroskopisch leicht unterscheidbaren Teilen der Umbrellacalcite auch intern zwischen Phasen des Kaltwasser- sowie Ausfrierstadiums unterschieden werden müsste. Präzisere Aussagen bleiben daher künftigen Untersuchungen vorbehalten.

Bei den meist nur sehr begrenzt (< 10 m²) auf dem Höhlenboden bzw. auf Versturzböcken vorkommenden weichselzeitlichen Kristallsanden muss zwischen Calciten eines Kaltwasser- und eines Ausfrierstadiums unterschieden werden, da bei einem alleinigen Ausfriervorgang zu wenig Kryocalcite gegenüber der vorhandenen Kristallsandmasse gebildet worden wären (Richter et al. 2020). Eine Abschätzung der jeweiligen Calcitanteile ist im Fall des bearbeiteten Malachitdomvorkommens schwierig, da neben den zweiphasigen Umbrellacalciten auch kleinere körnige Calcittypen vorkommen (u.a. Rhomboeder), die voraussichtlich ebenfalls aus Kaltwasser- und Kryocalcistadium zusammengesetzt sind. Nach einer vorsichtigen

Schätzung macht der Kaltwassercalcitanteil beim Untersuchungsobjekt etwa 40–60 % aus, so dass der Kryocalcitanteil des Vorkommens bei einem alleinigen Übergang von einem Interstadial zu einem Stadial durchaus möglich erscheint. Als ein Vorkommen mit extremer Kaltwasser-/Kryocalcitverteilung hat sich bislang das Vorkommen im Lehmschacht des Ibergs/Harz erwiesen (Richter et al. 2017a), da hier der Kaltwassercalcitanteil etwa 90 % der Kristallsande ausmacht. Hier muss von einem relativ hohen Wasservolumen in der Schachthöhle und/oder lange erfolgten Tropfwasserzufluss ausgegangen werden, um einen derartig hohen Kaltwassercalcit-Anteil bei einem Übergang von einem Interstadial zu einem Stadial zu erzielen. Derartige Überlegungen sind natürlich bei Vorkommen mit mehreren Generationen (z.B. Riesenberghöhle im Süntel, Richter et al. 2013) praktisch nicht durchführbar.

Künftigen Detailuntersuchungen an Umbrellacalciten sowie äquivalenten zonarstrukturierten Kleinsintern der Weichselkaltzeit im zentralen Mitteleuropa kommt durchaus eine überregionale Bedeutung zu, da sie großräumige Klimaschwankungen um den Gefrierpunkt widerspiegeln. Somit ließen sich in Verbindung mit kleinsträumigen ²³⁰Th/U-Datierungen an einzelnen Kryocalciten temperaturbezogene Variationen um die über 20 Interstadial/Stadial-Wechsel der Weichselkaltzeit (u.a. Wolff et al. 2010) präzise nachvollziehen. Da es in der gleichen Zeitspanne während der Interstadiale auch warmzeitliche Speläotheme gibt (neuerer Überblick bei Richter et al. 2010b) ist mittelfristig ein vollständigeres Klimabild für die Weichselkaltzeit im zentralen Mitteleuropa denkbar. Der bereits mehrfach beobachtete und über Th/U-Datierungen stratigraphisch eingestufte Wechsel von Kaltphasen mit gesprengten Speläothemen und Warmphasen mit entsprechender Speläothembildung (u.a. Stalagmiten) (Herbstlabyrinth (Richter et al. 2011), Dechenhöhle– (Richter et al. 2018c)) sowie weitere fachspezifische - besonders palynologische - Studien an terrestrischen Sedimentfolgen ausserhalb von Höhlen (u.a. Sirocko et al. 2007) sollten in die Untersuchungen zur vollständigen Entschlüsselung der weichselzeitlichen Klimaentwicklung mit einbezogen werden.

Dank

Für technische Unterstützung danken wir M. Born und S. Weisel (Dünnschliffherstellung) und B. Gehnen (C/O-Isotopie). D. Scholz dankt dem MPIC (Mainz) für die Unterstützung bei der ²³⁰Th/U-Datierung. Etliche konstruktive Hinweise verdanken wir den Gutachten von Dr. F. Knolle, Dr. M. Kupetz und Dr. V. Wrede.

Literatur

- Clark, I. & Fritz, P. 1997: Environmental Isotopes in Hydrogeology. New York: Lewis Publisher.
- Erlmeyer, M., Hasenmayer, B. & Schudelski, A. 1992: Das Höhlensystem Kreiselhalle-Malachitdom - Ein bemerkenswerter Aufschluss für Höhlenminerale. - In: Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Der Malachitdom: Ein Beispiel interdisziplinärer Höhlenforschung im Sauerland: 69-89.
- Litt, T., Behrke, K.-E., Meyer, K.-D., Stephan, H.-J. & Wansa, S. 2007: Stratigraphische Begriffe für das Quartär des norddeutschen Vereisungsgebietes. - Eiszeitalter und Gegenwart 56: 7-65.
- Onac, B. 1997: Crystallography of speleothems. - In: Hill, C. & Forti, P. (1997): Cave minerals of the world, 230-236, 2nd edition. Huntsville: National Speleological Society.
- Neuser, R.D., Bruhn, F., Götze, J., Habermann, D. & Richter, D.K. 1996: Kathodolumineszenz: Methodik und Anwendung. - Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil 1 1995: 287-306.
- Richter, D.K., Götze, T., Niggemann, S. & Wurth, G. 2002: Cathodoluminescence of carbonate speleothems: state of the art. - In: Carrasco, E. Duran, I.J. & Andreo, B. (Hrsg.): Karst and Environment: 381-387.
- Richter, D.K., Götze, T., Götze, J. & Neuser, R.D. 2003: Progress in application of cathodoluminescence (CL) in sedimentary petrology. - Mineralogy and Petrology 79: 127-166.
- Richter, D.K. & Niggemann, S. 2005: Kryogene Calcite in Höhlen des Rheinischen Schiefergebirges. - Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher, 51: 129-132.
- Richter, D.K., Neuser, R.D. & Voigt, S. 2008: Kryogene Calcitpartikel aus der Heilenbecker Höhle in Ennepetal (NE Bergisches Land/Nordrhein-Westfalen). - Die Höhle 59: 37-47.
- Richter, D.K. & Riechelmann, D.F.C. 2008: Late Pleistocene cryogenic calcite spherulites from Malachitdom Cave (NE Rhenish Slate Mountains, Germany): origin, unusual internal structure and stable C-O isotope composition. - International Journal of Speleology 37: 119-129.
- Richter, D.K., Meissner, P., Immenhauser, A., Schulte, U. & Dorsten, I. 2010a: Cryogenic and non-cryogenic pool calcites indicating permafrost and non-permafrost periods: a case study from the Herbstlabrynth-Advent cave system (Breitscheid-Erdbach Cave, Germany). - Cryosphere 4: 501-509.
- Richter, D.K., Niggemann, S., Wurth, G., Eichstädter, R. & Mangini, A. 2010b: Jungpleistozäne „kaltzeitliche“ Stalagmiten in mitteleuropäischen Höhlen - ein Überblick. - Speläologischen Jahrbuch - Verein für Höhlenkunde in Westfalen 2008-2009: 11-28.
- Richter, D.K., Mischel, S., Dorsten, I., Mangini, A., Neuser, R.D. & Immenhauser, A. 2011: Zerbrochene Höhlensinter und Kryocalcite als Indikatoren für eiszeitlichen Permafrost im Herbstlabrynth-Adventhöhle-System bei Breitscheid-Erdbach (N-Hessen). - Die Höhle 62: 31-45.
- Richter, D.K., Meyer, S., Scholz, D. & Immenhauser, A. 2013: Multiphase formation of Weichselian cryogenic calcites, Riesenbergl Cave (Süntel, NW-Germany). - Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 164: 353-367.
- Richter, D.K., Harder, M., Niedermayr, A. & Scholz, D. 2014: Zopfsinter in der Zoolithenhöhle: Erstfund kryogener Calcite in der Fränkischen Alb. - Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher 60: 36-41.
- Richter, D.K., Goll, K., Grebe, W., Niedermayr, A. & Scholz, D. 2015: Weichselzeitliche Kryocalcite als Hinweise für Eisseen in der Hüttenbläterschachthöhle Iserlohn/NRW. - E & G Quaternary Science Journal, 64: 67-81.
- Richter, D.K., Knolle, F., Meyer, S. & Scholz, D. 2017a: Erste weichselzeitliche Kryocalcit-Vorkommen in Höhlen des Iberg/Winterberg- Riffkomplexes (Harz). - Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher 63: 52-57.
- Richter, D.K., Gebelein, D., Harder, M., Huber, S., Kluge, T. & Neuser, R.D. 2017b: ²³⁰Th/U-datierte Kryocalcitpartikel aus Höhlen der südlichen Frankenalb. - Laichinger Höhlenfreund 52: 3-12.
- Richter, D.K., Neuser, R.D., Harder, M., Schabdach, H. & Scholz, D. 2018a: Weichselzeitliche „Megacalcite“ mit ungewöhnlicher Internstruktur aus der Zinnbergschacht-Höhle. - Der Fränkische Höhlenspiegel 62: 18-34.
- Richter, D.K., Jöns, N. & Neuser, R. 2018b: Kryogener Opal - Erstnachweis in der Zoolithenhöhle (Fränkische Schweiz, NE-Bayern). - Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher 64: 84-90.
- Richter, D.K., Dreyer, R., Niggemann, S. & Scholz, D. 2018c: ²³⁰Th/U-datierte warm- und kaltzeitliche Sinter der Dechenhöhle und die großklimatische Entwicklung der letzten 200.000 Jahre. - Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher 64: 16-24.
- Richter, D.K., Mueller, M., Platte, A. & Scholz, D. 2020: Erste weichselzeitliche Kryocalcite im Attendorn-Elssper Riffkomplex (Frettermüher Wasserhöhle, Südwestfalen). - Geologie und Paläontologie in Westfalen 93: 3-18.
- Schmidt, F.X. 1992: Mineralogische Besonderheiten aus dem Höhlensystem Kreiselhalle-Malachitdom. - In: Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Der Malachitdom: Ein Beispiel interdisziplinärer Höhlenforschung im Sauerland: 91-104.
- Scholz, D. & Hoffmann, D. 2008: ²³⁰Th/U-dating of fossil corals and speleothems. - Eiszeitalter und Gegenwart 57: 52-76.
- Sirocko, F., Claussen, M., Sánchez-Goñi, M.F. & Litt, T. 2007: The climate of the past interglacials. - Development in Quaternary Science 7, 638 S.
- Souchez, R. & Jouzel, J. 1984: On the isotopic composition in δD $d^{18}O$ of water and ice during freezings. - Journal of Glaciology 30: 369-372.
- Vandenbergh, J. & Pissart, A. 1993: Permafrost changes in Europe during the last glacial. - Permafrost and Periglacial processes 4: 121-135.
- Wolff, E.W., Chapellaz, J., Blunier, T., Rasmussen, S.O. & Svensson, A. 2010: Millennial-scale variability during the last glacial: the ice core record. - Quaternary Science Reviews 29: 2828-2838.
- Žák, K., Richter, D.K., Filippi, M., Zivor, R., Deininger, M., Mangini, A. & Scholz, D. 2012: Coarsely crystalline cryogenic cave carbonate - a new archive to estimate the last glacial minimum depth in Central Europe. - Climate Past 8: 1821-1837.
- Žák, K., Onac, B.P., Kadetskaya, O.I., Filippi, M., Dublyansky, Y. & Luetscher, M. 2018: Cryogenic mineral Formation in Caves. - In: Persoiu, A. & Lauritzen, M. (Hrsg.): Ice Caves: 123-162.

A partial distal forelimb of a woolly rhino (*Coelodonta antiquitatis*) from Wadersloh (Westphalia, Germany) and insights from bone compactness

Rico Schellhorn & Manfred Schlösser

Rico Schellhorn
Institut für Geowissenschaften
Rheinische Friedrich-Wilhelms-
Universität Bonn
Nussallee 8
53115 Bonn

Manfred Schlösser
LWL-Museum für Naturkunde
Westfälisches Landesmuseum mit
Planetarium
Sentruper Straße 285
48161 Münster

Corresponding author:
rico.schellhorn@uni-bonn.de

Manuscript
Received: 16.12.2020
Accepted: 01.03.2021
Available online: 29.03.2021
© LWL-Museum für Naturkunde

Abstract

During the late Pleistocene, as an important faunal element, the woolly rhinoceros (*Coelodonta antiquitatis*) was adapted to the cold glacial climates of Eurasia. Such adaptations were a woolly fur against low temperatures and a head posture to feed on low vegetation like herbs. Here we describe the bones of a partial lower forelimb of a woolly rhino. The bones were found in a gravel pit and are according to their dimensions belonging to one individual. Associated postcranial bones are often scarce, and even more often phalanges and carpal bones are missing. This material consists of radius, three carpal bones, three metacarpal bones, and two phalanges of a left forelimb. From the Wadersloh area rhino teeth are known and this finding is the most complete postcranial material of one individual for this region. The bones are scanned by micro-computed tomography and the bone compactness values are calculated for the radius and the metacarpals. These values are compared to data of an extant pygmy hippo and Miocene rhinoceroses from Sandelzhausen to analyze ecological adaptations. As a result, the values of the aquatic pygmy hippo are similar to the values of the undoubtedly terrestrial woolly rhino. Therefore, bone compactness might not be the best tool to state about possible semiaquatic adaptations in fossil rhinos. The high compactness might be due to the behavior of wallowing in rhinos and/or due to the large body weight.

Keywords: carpals, metacarpals, Pleistocene, Rhinocerotidae, ecological adaptation

Kurzfassung

Das Wollnashorn (*Coelodonta antiquitatis*) stellt ein wichtiges Element der jungpleistozänen Fauna Eurasiens dar. Mit einem dichten Fell ist es an kalte Klimate angepasst und ernährte sich mit einer gesenkten Kopfhaltung von flachwachsenden Pflanzen wie zum Beispiel Kräutern. In dieser Studie werden die Knochen einer unvollständig erhaltenen Vorderextremität eines Wollnashorns beschrieben. Die Knochen wurden zusammen in einer Kiesgrube gefunden und aufgrund entsprechender Abmessungen wird davon ausgegangen, dass die Reste zu einem Individuum gehören. Zusammengehörige Knochen des postcranialen Skelettes sind selten und gerade Handwurzelknochen und Fingerknochen fehlen oft. Das hier beschriebene Material besteht aus einem Radius (Speiche), drei Handwurzelknochen, drei Mittelhandknochen und zwei Phalangen (Fingerknochen) einer linken Vorderextremität. Von Wadersloh sind bereits Wollnashornzähne bekannt und dieser Fund stellt das vollständigste zusammenhängende postcraniale Material eines Wollnashorns dieser Region dar. Aufgrund der Tatsache, dass die Knochen zu einem Individuum gehören, wurden Radius und Metacarpalia mittels Mikrocomputertomographie gescannt und bezüglich der Verteilung von kompaktem zu spongiösem Knochen untersucht. Um Rückschlüsse auf ökologische Anpassungen ziehen zu können, wurden die gewonnenen Werte mit den Werten eines heutigen Zwergflusspferdes und der Nashörner der miozänen Fundstelle Sandelzhausen verglichen. Dabei ähneln die Werte des aquatischen Zwergflusspferdes denen des unzweifelhaft terrestrischen Wollnashorns sehr. Infolge dieser Ergebnisse ist die Untersuchung der Knochenkompaktheit nicht das beste Werkzeug um eine mögliche Anpassung an aquatische Lebensräume ausgestorbener Nashörner zu untersuchen. Die hohe Kompaktheit der Nashornknochen könnte daher rühren, dass Nashörner sich oft suhlen und/oder sie ist durch das hohe Körpergewicht bedingt.

Schlagwörter: Handwurzelknochen, Mittelhandknochen, Pleistozän, Rhinocerotidae, ökologische Anpassung

Introduction

Coelodonta antiquitatis (Blumenbach, 1799) – the woolly rhinoceros – belongs to the large mammal fauna of the late Pleistocene of Eurasia (Kahlke & Lacomat 2008). Together with the woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) both taxa are characteristic species of the cold Pleistocene periods (Koenigswald 2007). The genus *Coelodonta* originated in the middle Pliocene in Tibet with the basal species *C. thibetana* (Deng et al. 2011). Other species are *C. nihowanensis* from the early Pleistocene of northern China, *C. tologojensis* from the middle Pleistocene of eastern Siberia and western Europe, and the most derived species *C. antiquitatis* from the late Pleistocene of northern Eurasia (Deng et al. 2011). The findings of the woolly rhinoceros in North Rhine-Westphalia (Germany) are often isolated remains (Diedrich 2008; Siegfried 1983).

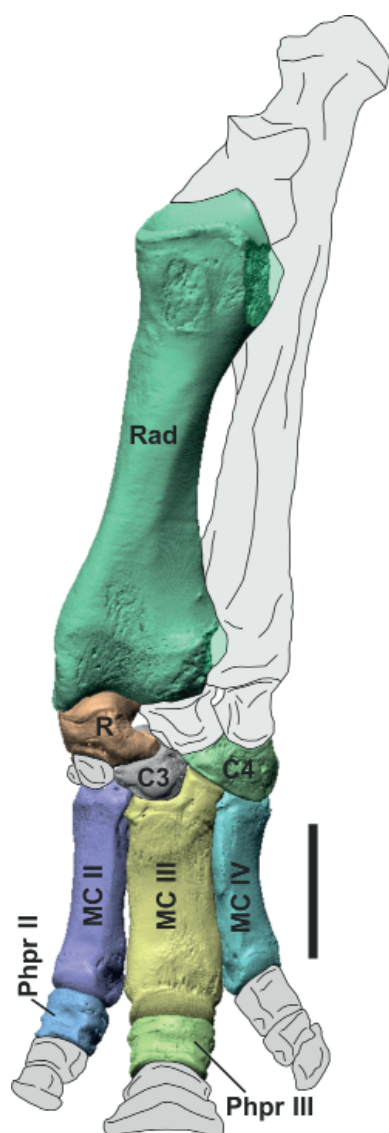


Figure 1: Polygonal models of the found woolly rhinoceros (*Coelodonta antiquitatis* WMNM P75078) bones with drawings of missing bones and missing parts of the radius. C3 - carpale 3, C4 - carpale 4, MC II - metacarpale II, MC III - metacarpale III, MC IV - metacarpale IV, Phpr II - phalanx proximalis of second digit, Phpr III - phalanx proximalis of third digit, R - radiale, Rad - radius. Scale bar 10 cm.

Adapted to cold and dry glacial climates, the woolly rhino *Coelodonta antiquitatis* had a thick coat of wool and a thick skin, a rather short tail (about 50 cm), and small ears (Boeskorov 2012). Further adaptations to cold temperatures are an elongated trunk with a considerable body weight in combination with short legs resulting in a relatively small surface (Boeskorov 2012). The nasal horn of the woolly rhino is laterally flattened and shows an abraded anterior side from removing snow cover for foraging (Boeskorov 2012; Fortelius 1983). The usage of the nasal horn and analyzed stomach content speak for a herbivorous diet made of herbs like cereals, forbs, and wormwoods (Boeskorov 2012). The reconstructed head posture and the tooth morphology of the woolly rhinoceros also speak for feeding on low vegetation (Boeskorov 2012; Borsuk-Białynicka 1973; Schellhorn 2019; Zeuner 1934, 1945). The downgrade head posture and a short and wide upper lip of the woolly rhino is also characteristic for the grazing extant white rhinoceros (Boeskorov 2012; Schellhorn 2018b).

Mammalian postcranial material shows dimensions distinct for taxa (e.g., Antoine et al. 2010; Schellhorn & Pfretzschner 2014), or for characteristic ecological adaptations (e.g., Schellhorn 2009; Schellhorn & Pfretzschner 2015; Schellhorn & Sanmugaraja 2015). As mentioned above, woolly rhinoceros remains are abundant in Westphalia, but found teeth and bones are often isolated and fragmentary. Isolated bones, such as lateral phalanges, can hardly be attributed to forelimb or hind limb because of similar shape and dimensions. The here described material belongs to one individual and offers the possibility to associate the preserved phalanges to the forelimb digits and provide measurements for these bones. Furthermore, as the ecological adaptations of the woolly rhinoceros are well studied, the bone compactness values are calculated and compared to other rhinoceros taxa whose adaptations to a terrestrial or a semiaquatic mode of life are still under debate.

Material and methods

The material with the collection number WMNM P75078 belongs to a woolly rhinoceros (*Coelodonta antiquitatis*) and consists of following bones from a left forelimb: radius, radiale, carpale 3, carpale 4, metacarpale II, metacarpale III, metacarpale IV, phalanx proximalis of metacarpale II, and phalanx proximalis of metacarpale III (Fig. 1). The material was found between August 23, 2000, (metacarpale III) and August 29, 2000, (radius; all other bones were found on August 27, 2000) by MS in the gravel pit "Kleickmann" near Wadersloh (Westphalia, Germany; Fig. 2; see also Schlösser (2012): figs 1 and 2, and Schlösser (2013a): fig 82). Back then in the year 2000, the gravel pit was actively producing

gravel and sand for construction purposes by using a floating dredge. The bones lay in close proximity to each other on a pile. According to their dimensions the bones belong to one individual. Most probably, the bones were articulated in the ground sediments of the gravel pit pond, but were disarticulated during the dredging for gravel and sand. The sediments of the "Kleickmann" gravel pit are the early to early middle Weichselian "Knochenkiese" (OIS 5d to early OIS 3), which contain not only bones of ice age mammals, but also Middle Paleolithic artifacts (Richter 2016; Schlösser 2012). The "Knochenkiese" of the "Kleickmann" gravel pit are deposits of the ancient Lippe-Ems river system (Schlösser 2013b; Ur-Lippe-Ems-Flusssystem).

RS scanned the *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) bones by micro-computed tomography (GE phoenix|x-ray v|tome|x 240s; see also Hoffmann et al. (2014) for methodology) in the Institut für Geowissenschaften, Abteilung Paläontologie (IGPB), Universität Bonn, Bonn, Germany, and reconstructed the polygonal models using the software Avizo 7.1. The carpals, metacarpals, and phalanges were scanned in one scan with a resolution of 246.37 μm . The radius was scanned in two separate scans and the produced image stacks were merged afterwards. Scan settings for all three single scans were 120 kV and 100 μA with a shutter speed of 667 ms per capture. The μCT produced isotropic voxels, and the single image size is 1024 $\times$ 1024 pixels (see Tab. 1 for scan parameters of all scanned specimens).

An abbreviated terminology is used for carpal and metacarpal bones: os carpi radiale (radiale), os carpale tertium (carpale 3), os carpale quartum (carpale 4), os metacarpale secundum (metacarpale II), os metacarpale tertium (metacarpale III), and os metacarpale quartum (metacarpale IV). For anatomical terms see NAV (2017).

Measured data (Tabs 2-10) are following sections described and/or depicted in Heissig (1972b) and Borsuk-Białynicka (1973). Comparative data are given for an extant Indian rhino (*Rhinoceros unicornis* Linnaeus, 1758) specimen (ZFMK 1988.16) and three Miocene (MN5, 16 Ma) rhinoceros species from the Bavarian locality Sandelzhausen 60 km north of Munich (Germany). The extant *Rhinoceros unicornis* specimen is housed at the Zoologisches Forschungsmuseum Alexander Koenig (ZFMK) in Bonn, Germany. The Sandelzhausen rhino specimens are belonging to three taxa: *Prosantorhinus germanicus* (Wang, 1928), *Plesiaceratherium fahlbuschi* (Heissig, 1972), and *Lartetotherium sansaniense* (Lartet, 1851). The isolated material is belonging to different individuals and is housed at the Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie (BSPG) in Munich, Germany. The collection numbers of the Sandelzhausen fossils have the prefix BSPG 1959 II.



Figure 2: Map of Germany with labeled locality Wadersloh (Westphalia).

Bone compactness is used as a tool to differentiate between (semi-)aquatic and terrestrial taxa (e.g., Germain & Laurin 2005; Houssaye & Bardet 2012; Houssaye & Botton-Divet 2018; Laurin et al. 2011; Nakajima & Endo 2013). This parameter is the ratio of the area of solid bone tissue to the total sectional area (de Buffrénil et al. 2010). The different areas of the cross sections were measured using the software FIJI (FIJI is just ImageJ 1.51u; Abramoff et al. 2004; Schneider et al. 2012). The cross sections (Fig. 3) were taken from the mid-diaphysis where the thickest cortex occurs in long bones (Sander & Andr  ssy 2006). Bone compactness (Tab. 1) was calculated for the scanned radii and metacarpals of the present *Coelodonta antiquitatis* material, as well as the above mentioned Sandelzhausen rhinoceros species, and an extant pygmy hippo (*Choeropsis liberiensis* (Morton, 1849), ZFMK 65.570) for comparison. The pygmy hippo has a semiaquatic lifestyle, but is less water dependent than the common hippopotamus (Flacke & Decher 2019; Wall 1983).

Institutional abbreviations

BSPG	Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie, München, Germany
IGPB	Institut für Geowissenschaften, Abteilung Paläontologie, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn, Germany
WMNM	LWL-Museum für Naturkunde, Westfälisches Landesmuseum mit Planetarium, Münster, Germany
ZFMK	Zoologisches Forschungsmuseum Alexander Koenig, Bonn, Germany

Tab. 1: Scan parameters for all specimens and bone compactness values for radii and metacarpals. The μ CT produced isotropic voxels, and the single image size is 1024×1024 pixels for all scans.

	resolution	voltage	current	shutter speed	bone compactness
<i>Coelodonta antiquitatis</i>					
WMNM P75078					
radius sin.	246.370 μ m	120 kV	100 μ A	667 ms	77.0 %
MC II sin.	246.370 μ m	120 kV	100 μ A	667 ms	46.5 %
MC III sin.	246.370 μ m	120 kV	100 μ A	667 ms	57.6 %
MC IV sin.	246.370 μ m	120 kV	100 μ A	667 ms	55.3 %
radiale sin., C3 sin., C4 sin., prox. phalanx II sin., prox. phalanx III sin.	246.370 μ m	120 kV	100 μ A	667 ms	---
<i>Choeropsis liberiensis</i>					
ZFMK 65.570					
radius dex.	246.370 μ m	180 kV	150 μ A	400 ms	79.8 %
MC II dex.	246.370 μ m	180 kV	150 μ A	400 ms	57.2 %
MC III dex.	246.370 μ m	180 kV	150 μ A	400 ms	57.7 %
MC IV dex.	246.370 μ m	180 kV	150 μ A	400 ms	55.9 %
<i>Lartetotherium sansaniense</i>					
BSPG 1959 II 17085, MC II sin.	246.370 μ m	180 kV	150 μ A	500 ms	77.7 %
BSPG 1959 II 17087, MC III sin.	246.370 μ m	180 kV	150 μ A	500 ms	63.7 %
BSPG 1959 II 17086, MC IV sin.	246.370 μ m	180 kV	150 μ A	500 ms	69.2 %
<i>Plesiaceratherium fahlbuschi</i>					
BSPG 1959 II 17071, MC IV dex.	246.370 μ m	180 kV	150 μ A	333 ms	71.3 %
<i>Prosantorhinus germanicus</i>					
BSPG 1959 II 12272, MC II sin.	146.997 μ m	180 kV	150 μ A	500 ms	58.5 %
BSPG 1959 II 17005, MC III dex.	246.370 μ m	180 kV	150 μ A	333 ms	55.5 %
BSPG 1959 II 17007, MC IV dex.	246.370 μ m	180 kV	150 μ A	333 ms	68.3 %

Systematic paleontology

Order: Perissodactyla Owen, 1848

Suborder: Mesaxonia Marsh, 1884

Infraorder: Tapiroomorpha Haeckel, 1873

Parvorder: Ceratomorpha Wood, 1937

Superfamily: Rhinocerotioidea Gray, 1821

Family: Rhinocerotidae Gray, 1821

Subfamily: Rhinocerotinae Gray, 1821

Tribe: Rhinocerotini Gray, 1821

Subtribe: Rhinocerotina Gray, 1821

Genus: *Coelodonta* Bronn, 1831

Species: *Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach, 1799)

Description

Radius sin. (Tab. 2, Pl. I A–F): The radius is a relatively straight bone and nearly completely preserved. The lateral part of the proximal end (lateral Bandhöcker, tuberositas proximalis lateralis after Sisson (1914), the insertion place of the ligamentum collaterale laterale) is broken off, as well as the caudal and lateral bony surfaces of the distal end. This long bone shows a bent cranial surface from proximolateral to distomedial. The cranial surface proximally shows a rounded rugose area (tuberositas radii, around 5 cm in diameter), the insertion place for the musculus biceps brachii. Distally to the tuberositas

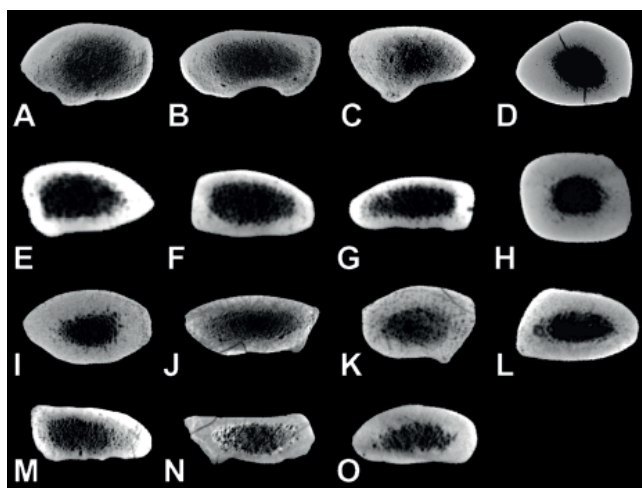


Figure 3: Mid-diaphyseal cross sections of examined bones of *Coelodonta antiquitatis* (A–D), *Choeropsis liberiensis* (E–H), *Lartetotherium sansaniense* (I–K), *Plesiaceratherium fahlbuschi* (L), and *Prosantorhinus germanicus* (M–O). A MC II sin., *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078), B MC III sin., *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078), C MC IV sin., *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078), D radius sin., *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078), E MC II dex., *Choeropsis liberiensis* (ZFMK 65.570), F MC III dex., *Choeropsis liberiensis* (ZFMK 65.570), G MC IV dex., *Choeropsis liberiensis* (ZFMK 65.570), H radius dex., *Choeropsis liberiensis* (ZFMK 65.570), I MC II sin., *Lartetotherium sansaniense* (BSPG 1959 II 17085), J MC III sin., *Lartetotherium sansaniense* (BSPG 1959 II 17087), K MC IV sin., *Lartetotherium sansaniense* (BSPG 1959 II 17086), L MC IV dex., *Plesiaceratherium fahlbuschi* (BSPG 1959 II 17071), M MC II sin., *Prosantorhinus germanicus* (BSPG 1959 II 12272), N MC III dex., *Prosantorhinus germanicus* (BSPG 1959 II 17005), O MC IV dex., *Prosantorhinus germanicus* (BSPG 1959 II 17007). Sections are not to scale.

radii, a medially oriented oval tuberosity (around 6 cm in proximal-distal axis) is visible, the insertion area of the musculus brachialis (see fig. 8 in Borsuk-Białynicka (1973)). The facies caudalis of the corpus radii shows two rugosities to contact the not-preserved ulna by interosseous ligaments or membranes. The proximal rugosity is slightly concave, while the distal one is flat and oval in shape. Proximal to the distal contact area a foramen nutricium is situated. Lateral to this foramen nutricium and the distal contact area with the ulna, a distinct groove for a vessel and/or nerve is visible. The lateral border of this groove is formed by the margo lateralis of the radius. As mentioned above the lateral part of the caput radii is broken off. Therefore, only the medial part of the fovea capitis radii, the articulation with the humerus, is preserved. This medial part is more or less quadrate shaped and concave. This depression ascends to a smooth ridge separating the medial part of the fovea capitis radii from the not-preserved lateral part. The distal end of the radius shows the articulation facets with the preserved radiale and the not-preserved intermedium (os carpi intermedium). The medial articulation facet for the radiale is cranially concave, changing over to a convex surface caudally, and is medially bordered by the processus styloideus medialis. The laterally situated articulation facet with the intermedium is a shallow concavity while the caudal part is broken off.

Radiale sin. (Tab. 3, Pl. I G-J): The radiale is one of the larger carpal bones. Nearly the whole proximal surface

consists of the articulation facet with the radius. This facet is mediopalmar a wider concave channel ascending to a convex structure close to the dorsal plane of the radiale. This proximal facet bends towards the lateral plane into two facets with the intermedium. The dorsal facet is shallow and long, while the palmar facet is triangular in shape. Both facets are connected by a small ridge. A third facet on the lateral plane is located dorsodistally. This facet also contacts the intermedium and has an elongated shape, and is pointing towards a lateropalmar direction. On the distal plane there are three articulation facets with the carpale 1, carpale 2, and carpale 3 (from medial to lateral). All three facets are connected by dorsal to palmar ridges. The carpale 1 facet is the smallest of these three facets and is of semi-circular shape. The carpale 2 facet is the largest and is smoothly bent onto the dorsal plane. The carpale 3 facet, the lateral facet, is triangular to trapezoid in shape and is connected to the distal intermedium facet on the lateral plane of the radiale.

Carpale 3 sin. (Tab. 4, Pl. II A-E): The carpale 3 is a long, slender, and shallow bone. In general, the dorsal part of the bone is the part with the articulation facets with different bones, and the palmar part is a hook without any facet. This palmar hook is slightly bent distally and medially. An apparent structure is the nearly hemispheric proximal articulation with the intermedium. This proximal hemispheric articulation facet is dorsally in contact with the articulation facet with the carpale 4 (laterally situa-

Tab. 2: Measurements of the radius (sin.) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) and comparative data of *Coelodonta antiquitatis* (published data from Borsuk-Białynicka (1973)) and other rhinoceros taxa.

	<i>Coelodonta antiquitatis</i> WMNM P75078	<i>Coelodonta antiquitatis</i> (Borsuk-Białynicka 1973, tab. 41, p. 68)	<i>Rhinoceros unicornis</i> ZFMK 88.16	<i>Prosantorhinus germanicus</i> BSPG 1959 II 18142	<i>Plesiaceratherium fahlbuschi</i> BSPG 1959 II 18132	<i>Lartetotherium sansaniense</i> BSPG 1959 II 18103
			dex.	sin.	dex.	sin.
greatest length	403 mm	343-385 mm	418 mm	214 mm	331 mm	335 mm
lateral-medial width of proximal end	---	102-117 mm	127 mm	62 mm	69 mm	86 mm
cranial-caudal depth of proximal end	70 mm	---	89 mm	40 mm	47 mm	56 mm
lateral-medial width of distal end	119 mm	110 mm	132 mm	59 mm	66 mm	79 mm
cranial-caudal depth of distal end	81 mm	---	85 mm	35 mm	51 mm	51 mm

Tab. 3: Measurements of the radiale (sin.) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) and comparative data of *Coelodonta antiquitatis* (published data from Borsuk-Białynicka (1973)) and other rhinoceros taxa.

	<i>Coelodonta antiquitatis</i> WMNM P75078	<i>Coelodonta antiquitatis</i> (Borsuk-Białynicka 1973, tab. 43, p. 73)	<i>Rhinoceros unicornis</i> ZFMK 88.16	<i>Prosantorhinus germanicus</i> BSPG 1959 II 12030	<i>Plesiaceratherium fahlbuschi</i> BSPG 1959 II 17048	<i>Lartetotherium sansaniense</i> BSPG 1959 II 17075
			dex.	sin.	dex.	dex.
width	94 mm	86 mm	85 mm	44 mm	37 mm	40 mm
height	63 mm	60 mm	80 mm	33 mm	54 mm	52 mm
depth (thickness)	67 mm	69 mm	70 mm	45 mm	60 mm	67 mm

ted) and the facet with the radiale (medially situated). The carpal 4 facet is rectangular in shape while the radiale facet is more triangular in shape. On the medial plane there are two articulation facets. The proximal facet, pointing in a dorsomedial direction, is the articulation facet with the carpal 2. Distally to this facet there is the long and slender facet with the metacarpale II. The distal plane only bears one concave facet with the metacarpale III. The facets on the dorsal part of the carpal 3 are connected by distinct ridges. The dorsal plane of the bone shows a proximal edge and a proximolateral edge, while the medial and distal border of this plane is semicircular in shape.

Carpale 4 sin. (Tab. 5, Pl. II F-J): The carpal 4 shows a massive dorsal part of the bone, which is surrounded by articulation facets and a palmar part of the bone without any facet. The palmar part is a hook which is bent laterally and slightly distally. The dorsal plane of the carpal 4 is nearly rectangular in shape. The proximal articulation facet on the carpal 4 is convexly bent from dorsal to palmar and nearly rectangular in shape. This articulation facet bears the ulnare. This facet is medially connected by a ridge to the intermedium facet which points proximomedially. This facet connects by a ridge to a large distal facet. This distal facet extends on the lateral plane and contacts to three bones without a clearly visible separation between these three contact facets. The medial part of this large facet is sitting on the carpal 3. The middle (and largest) part of this large facet contacts the metacarpale IV. The lateral part of the large facet (also facing laterally) contacts the leftover of the metacarpale V. This metacarpale V is not preserved, but is most probably a small ball-like shaped bone, like it is in *Rhinoceros unicornis* for example.

Metacarpale II sin. (Tab. 6, Pl. III A-F): The metacarpale II is a long and slender bone with a set of articulation facets on its proximal end and one facet on its distal end. The largest proximal articulation facet, a saddle-like facet, contacts the carpal 2. Laterally adjacent, connected by a ridge, is the facet with the carpal 3. This facet is elongated and slender, and is pointing in a proximolateral direction. The lateral facet on the proximal end of the metacarpale II is triangular or semicircular in shape and contacts the metacarpale III. This facet and also a part of the bone are caudally slightly bent around the metacarpale III. The shaft of the metacarpale II is triangular in cross section. In the middle part of the caudal plane there is a foramen nutricium laterally, a groove for a blood vessel medially, and a rugosity between both structures. The distal part of the bone is formed by an articulation facet (a trochlea) with the proximal phalanx. This facet starts on the dorsal plane and ends on the palmar plane with a sagittal ridge on the palmar

part. Medial and lateral to this sagittal ridge a sesamoid bone is attached to the trochlea. Shallow depressions are visible where the two sesamoid bones articulated. The medial and lateral planes of the trochlea are shallow depressions.

Metacarpale III sin. (Tab. 7, Pl. III G-L): The metacarpale III is the largest metacarpal bone and has a nearly oval shape in cross section. The proximal end of the bone articulates with four other bones. The largest and proximal oriented articulation facet with the carpal 3 has a saddle-like structure. Lateral to this facet an elevated triangular shaped facet contacts the carpal 4 and points to a proximomedial direction. The carpal 3 and the carpal 4 facets are connected via a ridge. On the lateral plane of the proximal end two facets to the metacarpale IV are visible. Both facets are nearly perpendicular to each other. The dorsal facet is semicircular in shape and via a ridge connected to the carpal 4 facet. The palmar facet is round to slightly oval in shape and separated from the other facets. The facet on the medial plane of the proximal end is rectangular in shape and contacts the metacarpale II. This facet points in a proximomedial direction and is connected to the carpal 3 facet via a ridge. The dorsal plane of the proximal end shows a larger rugosity. The palmar plane of the corpus metacarpale shows an elongated proximal to distal oriented depression and a foramen nutricium in the proximal part of the medial border of this depression. The distal part of the metacarpale III is formed by a trochlea articulating with the proximal phalanx of the third digit. The palmar part of this trochlea is divided by a ridge in two parts articulating with a medial and lateral sesamoid bone. Shallow depressions of the oval shaped articulation facets are visible.

Metacarpale IV sin. (Tab. 8, Pl. IV A-F): The metacarpale IV is the smallest of the functional metacarpal bones. It also shows a slight curvature from proximal to distal and is triangular in cross section. The proximal end of the bone articulates with two other bones. The large triangular to trapezoid proximal articulation facet with the carpal 4 is shallow concave. This facet connects by a ridge medially to the two articulation facets with the metacarpale III. The dorsal facet is elongated semicircular in shape while the palmar facet is round. Both facets are also connected by a ridge and span an angle of around 270° to each other. The lateral part of the proximal end is badly preserved, but probably there was a small facet with the reduced metacarpale V, like this is the case in the extant *Rhinoceros unicornis*. The medial plane of the corpus metacarpale bears a large bulbous rugosity in the proximal half of the shaft. The palmar plane of the corpus shows a medial foramen nutricium close to distal end of this rugosity. The distal part of the shaft's dorsal

Tab. 4: Measurements of the carpale 3 (sin.) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) and comparative data of *Coelodonta antiquitatis* (published data from Borsuk-Białynicka (1973)) and other rhinoceros taxa.

	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Rhinoceros unicornis</i>	<i>Prosantorhinus germanicus</i>	<i>Plesiaceratherium fahlbuschi</i>	<i>Lartetotherium sansaniense</i>
	WMNM P75078	(Borsuk-Białynicka 1973, tab. 43, p. 73)	ZFMK 88.16	BSPG 1959 II 12205	BSPG 1959 II 17034	BSPG 1959 II 17074
			dex.	dex.	dex.	sin.
dorsal width (greatest width)	56 mm	49 mm	65 mm	35 mm	39 mm	46 mm
dorsal height	39 mm	25 mm	42 mm	19 mm	30 mm	32 mm
greatest height	68 mm	---	75 mm	35 mm	53 mm	58 mm
depth (thickness)	108 mm	89 mm	107 mm	55 mm	74 mm	79 mm

Tab. 5: Measurements of the carpale 4 (sin.) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) and comparative data of *Coelodonta antiquitatis* (published data from Borsuk-Białynicka (1973)) and other rhinoceros taxa.

	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Rhinoceros unicornis</i>	<i>Prosantorhinus germanicus</i>	<i>Plesiaceratherium fahlbuschi</i>	<i>Lartetotherium sansaniense</i>
	WMNM P75078	(Borsuk-Białynicka 1973, tab. 43, p. 73)	ZFMK 88.16	BSPG 1959 II 12230	BSPG 1959 II 17041	BSPG 1959 II 17111
			dex.	dex.	sin.	dex.
dorsal width	81 mm	66 mm	84 mm	39 mm	50 mm	64 mm
dorsal height (greatest height)	52 mm	48 mm	60 mm	27 mm	37 mm	46 mm
depth (thickness)	90 mm	75 mm	95 mm	44 mm	56 mm	62 mm

Tab. 6: Measurements of the metacarpale II (sin.) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) and comparative data of *Coelodonta antiquitatis* (published data from Borsuk-Białynicka (1973)) and other rhinoceros taxa.

	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Rhinoceros unicornis</i>	<i>Prosantorhinus germanicus</i>	<i>Plesiaceratherium fahlbuschi</i>	<i>Lartetotherium sansaniense</i>
	WMNM P75078	(Borsuk-Białynicka 1973, tab. 44, p. 75)	ZFMK 88.16	BSPG 1959 II 12272	BSPG 1959 II 17091	BSPG 1959 II 17085
			dex.	sin.	sin.	sin.
greatest length	170 mm	---	189 mm	77 mm	161 mm	154 mm
lateral-medial width of proximal end	61 mm	51 mm	58 mm	27 mm	37 mm	39 mm
dorsal-palmar depth of proximal end	46 mm	---	49 mm	25 mm	---	34 mm
lateral-medial width of distal end	51 mm	48 mm	51 mm	26 mm	31 mm	35 mm
dorsal-palmar depth of distal end	48 mm	---	48 mm	26 mm	35 mm	35 mm

Tab. 7: Measurements of the metacarpale III (sin.) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) and comparative data of *Coelodonta antiquitatis* (published data from Borsuk-Białynicka (1973)) and other rhinoceros taxa.

	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	<i>Rhinoceros unicornis</i>	<i>Prosantorhinus germanicus</i>	<i>Plesiaceratherium fahlbuschi</i>	<i>Lartetotherium sansaniense</i>
	WMNM P75078	(Borsuk-Białynicka 1973, tab. 44, p. 75)	ZFMK 88.16	BSPG 1959 II 17005	BSPG 1959 II 17092	BSPG 1959 II 17087
			dex.	dex.	sin.	sin.
greatest length	197 mm	161 mm	225 mm	95 mm	171 mm	174 mm
lateral-medial width of proximal end	74 mm	60 mm	79 mm	39 mm	46 mm	51 mm
dorsal-palmar depth of proximal end	53 mm	---	59 mm	30 mm	40 mm	42 mm
lateral-medial width of distal end	73 mm	57 mm	70 mm	35 mm	38 mm	43 mm
dorsal-palmar depth of distal end	54 mm	---	54 mm	28 mm	32 mm	43 mm

Tab. 8: Measurements of the metacarpale IV (sin.) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) and comparative data of *Coelodonta antiquitatis* (published data from Borsuk-Białynicka (1973)) and other rhinoceros taxa.

	<i>Coelodonta antiquitatis</i> WMNM P75078	<i>Coelodonta antiquitatis</i> (Borsuk-Białynicka 1973, tab. 44, p. 75)	<i>Rhinoceros unicornis</i> ZFMK 88.16 dex.	<i>Prosantorhinus germanicus</i> BSPG 1959 II 17007 dex.	<i>Plesiaceratherium fahlbuschi</i> BSPG 1959 II 17071 dex.	<i>Lartetotherium sansaniense</i> BSPG 1959 II 17086 dex.
greatest length	153 mm	---	179 mm	78 mm	132 mm	136 mm
lateral-medial width of proximal end	56 mm	44 mm	60 mm	29 mm	23 mm	37 mm
dorsal-palmar depth of proximal end	48 mm	---	55 mm	30 mm	31 mm	33 mm
lateral-medial width of distal end	48 mm	43 mm	54 mm	27 mm	27 mm	31 mm
dorsal-palmar depth of distal end	45 mm	---	46 mm	26 mm	31 mm	30 mm

plane shows a depression. The distal end of the metacarpale IV is formed by a trochlea from the dorsal plane to the palmar plane. The part on the dorsal plane articulates with the proximal phalanx of the fourth digit, while the part on the palmar plane is divided by a ridge in a larger lateral facet and a smaller medial facet. Both facets show shallow depressions for articulation with sesamoid bones.

Phalanx proximalis of anterior digitus II sin. (Tab. 9, Pl. IV G-L): The proximal phalanx of the second digit shows a proximal concave oval shaped articulation facet (fovea articularis) with the metacarpale II. The distal plane is also completely consisting of one articulation facet. This rather flat facet articulates with the phalanx media of the second digit and is rectangular in shape with round edges and a palmar insertion. The basis phalangis shows a greater dorsal to palmar depth than the caput phalangis. The lateral plane of the bone is nearly flat while the medial plane is slightly convex giving this phalanx an asymmetric shape.

Phalanx proximalis of anterior digitus III sin. (Tab. 10, Pl. IV M-R): The proximal phalanx of the third digit is symmetrical to the sagittal plane. The proximal fovea articularis is the facet with the metacarpale III. Close to this facet on the palmar plane there are proximally two shallow depressions which most probably originate from

the distal sesamoid bones of the metacarpale III. The proximal fovea articularis is oval in shape with a shallow insertion on the palmar edge. The distal articulation facet is slightly convex and articulates with the phalanx media of the third digit. This articulation facet is nearly rectangular in shape. The proximal basis phalangis shows a greater dorsal to palmar depth than the distal caput phalangis.

Bone compactness

The radius (Fig. 3D) of the Pleistocene woolly rhino *Coelodonta antiquitatis* shows a higher percentage (Tab 1.: 77.0 %) of compact bone than the metacarpals (Figs. 3A-C; MC II: 46.5 %, MC III: 57.6 %; MC IV: 55.3%). These values are comparable to the data of the extant pygmy hippo *Choeropsis liberiensis* (Tab. 1; Figs. 3E-H). The radius has a much greater value of 79.8 % where the metacarpals show values between 55.9 % and 57.7 %. While the metacarpal bone compactness data of the woolly rhino and the pygmy hippo are all below 60 % (and the radius values are close to 80 %), the values of the Miocene Sandelzhausen rhino metacarpals are ranging between 55.5 % and 77.7 % (Tab. 1). Among the Sandelzhausen rhinos the largest species (*Lartetotherium sansaniense*) trends to show greater bone compactness values (63.7–77.7 %) and the smallest species (*Prosan-*

Tab. 9: Measurements of the phalanx proximalis of the second digit (sin.) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078), and comparative data of *Rhinoceros unicornis*.

	<i>Coelodonta antiquitatis</i> WMNM P75078	<i>Rhinoceros unicornis</i> ZFMK 88.16 dex.
greatest height	51 mm	58 mm
lateral-medial width of proximal end	48 mm	51 mm
dorsal-palmar depth of proximal end	41 mm	46 mm
lateral-medial width of distal end	46 mm	46 mm
dorsal-palmar depth of distal end	33 mm	35 mm

Tab. 10: Measurements of the phalanx proximalis of the third digit (sin.) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) and comparative data of *Rhinoceros unicornis*.

	<i>Coelodonta antiquitatis</i> WMNM P75078	<i>Rhinoceros unicornis</i> ZFMK 88.16 dex.
greatest height	48 mm	54 mm
lateral-medial width of proximal end	64 mm	75 mm
dorsal-palmar depth of proximal end	43 mm	51 mm
lateral-medial width of distal end	57 mm	68 mm
dorsal-palmar depth of distal end	32 mm	34 mm

torhinus germanicus) trends to show smaller values (55.5–68.3 %). For *Plesiaceratherium fahlbuschi* only one metacarpal IV could be analyzed and the value of 71.3 % is close to the MC IV values of the other two Sandelzhau-sen taxa (see Tab. 1).

Discussion

Taxonomic identification of the Wadersloh material

The assignment of the found remains to the species *Coelodonta antiquitatis* is due to found woolly rhinoceros dental remains from the same gravel pit and also found remains of other glacial faunal elements like woolly mammoth, reindeer, polar fox, and musk ox (Schlösser 2012). The age of the Wadersloh locality is dated to the Weichselian glacial period (Middle Paleolithic; Baales 2012; Richter 2016; Schlösser 2012). If the attribution to the glacial period would not be correct the found remains could also belong to an interglacial species of *Stephanorhinus*. Lengths of here described radius and metacarpals fall in the range of *Stephanorhinus* taxa, but the measurements of breadths and depths of the here discussed bones of *Coelodonta* show greater values compared to the species of *Stephanorhinus* (compare tabs 12, 20, 21, and 22 in Fortelius et al. (1993)). Comparative woolly rhino figures and tables show similar anatomical features and measurements to the here presented data (see figs 90–94, 95–100 and tabs 130, 132, 137–141 in Guérin (1980)). The comparative woolly rhino data (Tabs 2–8) taken from Borsuk-Białynicka (1973) show smaller values for lengths, widths, and depths of long bones and carpals compared to the presented material. Phalangeal measurements are not provided by Borsuk-Białynicka (1973). The smaller appearance of the Borsuk-Białynicka (1973) material might be due to the fact that this woolly rhino material originates from more eastern Eurasian regions like Poland and the former USSR. Middle Pleistocene woolly rhino material attributed to *Coelodonta tologojensis* is also more slender than late Pleistocene *Coelodonta antiquitatis* material (Kahlke & Lacombat 2008). The late Pliocene *Coelodonta nihowanensis* displays much more slender metacarpals than *C. antiquitatis* and also *C. tologojensis* (Deng 2006, 2008).

Bone compactness

As the material in this study belongs to one woolly rhino individual, the investigation of bone compactness of radius and metacarpals seems appropriate. In extant taxa there is a difference in bone compactness values between terrestrial (smaller values) and aquatic forms (greater values) visible which is also used to state about the ecology of fossil taxa (e.g., de Buffrénil et al. 2010; Houssaye & Bardet 2012; Laurin et al. 2011). Subject of

such microanatomical studies are often ribs and long bones of the limbs (e.g., Canoville et al. 2016; Houssaye & Botton-Divet 2018; Houssaye et al. 2016; Krilloff et al. 2008). In this study the bone compactness of radius (77.0 %) and metacarpals (46.5–57.6 %) of the woolly rhino and the extant pygmy hippo (radius: 79.8 %; metacarpals: 55.9–57.7 %) were analyzed. The values of the radii are greater than the values of the metacarpals, but interestingly the values are very similar in both taxa, and as stated above the woolly rhino is an undoubtedly terrestrial taxon, while the pygmy hippo shows a semiaquatic lifestyle (Flacke & Decher 2019). Wall (1983) determined the percentage of compact bone in limb elements of the terrestrial extant white rhino and the two extant hippo species. His methodology was slightly different to this study, therefore the values are not comparable, but in his sample the values of the humeri of the terrestrial white rhino versus the two semiaquatic hippo taxa are in the same range (Wall 1983). For radius, femur, and tibia smaller values are reported for the white rhino than for the two extant hippo species (Wall 1983). There is no difference between the bone compactness of the terrestrial woolly rhino and the semiaquatic pygmy hippo visible in our sample. Furthermore, the Miocene rhino specimens show even greater values for metacarpal bone compactness as the pygmy hippo does. Therefore, bone compactness might not be very useful to differentiate between terrestrial and semiaquatic rhinoceros taxa. For the extant Javan rhino (*Rhinoceros sondaicus*) it was reported before that this taxon shows an unusually thick cortex and a great bone compactness value for a terrestrial mammal (Canoville et al. 2016; de Buffrénil et al. 2010). It is undebated that rhinos are wallowing and dependent from water (e.g., Groves 1972; Groves & Kurt 1972; Groves & Leslie 2011; Laurie et al. 1983; Owen-Smith 1988), and the Javan rhinoceros is sometimes even considered as semiaquatic (Benoit et al. 2020). So maybe the cortex is not unusually thick in terrestrial rhinos, but rhinos are somewhat intermediate in their mode of life between terrestrial and semiaquatic. As Yalden (1971) notes, the rhinoceros carpus differs in some respect from that of the horse like the hippo carpus differs from that of ruminants. In shorter footed animals like rhinos and hippos the wrist joint flexion is primarily produced at the proximal joint (Yalden 1971). This seems to be also the case in the here presented *Coelodonta* remains. Beside the degree of adaptation to moist environments, the great bone compactness of rhinos and other terrestrial taxa is also linked to graviportality (e.g., Houssaye et al. 2016; Sander et al. 2011). In their sample Houssaye et al. (2016) show compactness values of extant and fossil rhinos in the same range or even greater than extant hippos for humeri, femora,

and ribs. For some authors the woolly rhino is also a graviportal taxon or shows at least several graviportal adaptations (e.g., Borsuk-Białynicka 1973; Kahlke & Lacombat 2008). Other authors see rhinos and hippos as mediportal taxa (e.g., Gregory 1912; Schellhorn 2018a), but this will be discussed elsewhere.

Ecological implications for the Sandelzhausen rhinoceroses

Rhinoceros remains are the most abundant vertebrate remains in the Miocene Sandelzhausen locality. *Prosantorhinus germanicus* is the smallest and most abundant species (Heissig 1972a). *Plesiaceratherium fahlbuschi* is medium sized and nearly as abundant as *P. germanicus*, while the largest species, *Lartetotherium sansaniense*, is scarce (Heissig 1972a). Belonging to the tribe Teleoceratini, a hippo-like mode of life was assumed for *Prosantorhinus germanicus* (Heissig 1999). Comparing the bone compactness data for the metacarpals in this study (Tab. 1), there is no significant difference between the Sandelzhausen rhino taxa and the extant pygmy hippo visible. While the *P. germanicus* data are close to the pygmy hippo data, the bone compactness values of *L. sansaniense* and *P. fahlbuschi* are greater than the pygmy hippo data. This would indicate a more semiaquatic lifestyle than in the extant pygmy hippo what most probably is not the case. The misleading results might be an effect of taphonomy and preservation of the Miocene rhino material. Then the bones would show a larger area of compact bone than actually present due to mineral aggregation added to the compact bone showing the same density as true bone material in the x-ray images (Fig. 3). This seems very unlikely, because broken bones do not show any mineral crystals just bone material. But putting the focus just on the three Miocene taxa, which are all affected by the same taphonomic processes, the mode of life of *P. germanicus* is assumed to be closer to a hippo lifestyle than the other two taxa (Heissig 1972a). With smaller bone compactness values this assumption is not supported, in turn this would indicate a more terrestrial mode of life than for the other two taxa. According to Heissig (1972a) all three Sandelzhausen rhinoceros taxa are faunal elements of moist environments, while *P. germanicus* liked it more moist than *P. fahlbuschi* and *L. sansaniense*. As mentioned above, *P. germanicus* belongs to the tribe Teleoceratini like the type genus *Teleoceras*. For *Teleoceras* also a hippo-like mode of life was proposed (e.g., Prothero 1998). Like in hippos, the typical teleoceratine anatomy shows a robust skeleton with short limbs (Prothero 1998). Following Mhlbachler (2005) there is no direct support that *Teleoceras* had a behavior like hippos. Isotope studies also do not support aquatic habits for *Teleoceras* (Clementz et al. 2008). As Boeskorov (2012) noted, there

are also an elongated trunk and relatively short legs present in the woolly rhino *Coelodonta antiquitatis*, and there is no doubt that the woolly rhino was a terrestrial species.

Following isotope studies, the Sandelzhausen environment was a swampy area gradually changing to a perennial lake (Salvador et al. 2018). The terrestrial habitat changed from a relatively open semi-arid/sub-humid scrubland to a sub-humid/humid denser forest (Salvador et al. 2018). Tütken & Vennemann (2009) analyzed the isotopic composition of mammal teeth from the Sandelzhausen locality including the three sympatric rhinoceros taxa. Similar mean enamel $\delta^{18}\text{O}$ values show a water-dependence of the three taxa (Tütken & Vennemann 2009), but compared to the associated fauna the rhinos show intermediate values between an equid and a cervid for example, and therefore there is no support for a hippo-like mode of life. As there are no hippos known from Sandelzhausen a direct comparison of isotopic data towards a semiaquatic mode of life is not possible. Such a comparison of isotopic data of the woolly rhino and a contemporaneous hippo from the same locality is also not possible, because the Pleistocene hippos only occurred in the interglacial periods (Kurtén 1968). New tooth enamel $\delta^{18}\text{O}$ data do also not support the interpretation that *Teleoceras* had a semiaquatic lifestyle (Wang & Secord 2020).

Conclusions

The distal bones of a left forelimb (radius, three carpals, three metacarpals, and two phalanges) of a late Pleistocene woolly rhinoceros (*Coelodonta antiquitatis*) are described in detail. The bones with the collection number WMNM P75078 are found in the gravel pit "Kleickmann" near Wadersloh (Westphalia, Germany). Measurements are given and because of their dimensions and the finding situation the bones are belonging to one individual. These remains are the most complete articulated remains of a woolly rhino for the Wadersloh area. Radius and metacarpals are furthermore scanned by micro-computed tomography to calculate the bone compactness value. Comparative data are collected from an extant pygmy hippo and the metacarpals of three rhinoceros taxa from the Miocene locality Sandelzhausen (Bavaria, Germany). The bone compactness values are compared between the terrestrial woolly rhino and the semiaquatic pygmy hippo. Both taxa show similar values while the radii are more compact than the metacarpals. The Sandelzhausen rhinos show comparable or even greater values for their metacarpals. This would indicate an even higher degree of adaptation towards an aquatic environment than in the pygmy hippo. Water dependency was proposed before for the Sandelzhausen

rhinos, but as already the terrestrial woolly rhino shows bone compactness values like the pygmy hippo, bone compactness seems not to be the best tool to differentiate between terrestrial and semiaquatic rhinos. The high degree of compact bone in rhinos was mentioned before and might be a result of the large body weight. But on the other hand, wallowing is an important behavior what shows the water dependency in extant and fossil rhinos.

Acknowledgements

We thank Achim H. Schwermann (WMNM) for loan of the Wadersloh material, Gertrud Rössner and Kurt Heissig (both BSPG) for loan of the Sandelzhausen material, and Rainer Hutterer and Jan Decher (both ZFMK) for loan of comparative material. Thanks to Georg Oleschinski (IGPB) for preparing the photographs. We thank Mikael Fortelius and Tao Deng for their helpful comments greatly improving the manuscript. RS received funding through the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) – SCHE 1882/1-1.

References

- Abramoff, M.D., Magalhaes, P.J. & Ram, S.J. 2004: Image processing with ImageJ. - *Biophotonics International* 11 (7): 36-42.
- Aoine, P.-O., Downing, K.F., Crochet, J.-Y., Duranthon, F., Flynn, L.J., Marivaux, L., Métais, G., Rajpar, A.R. & Roohi, G. 2010: A revision of *Aceratherium blanfordi* Lydekker, 1884 (Mammalia: Rhinocerotidae) from the Early Miocene of Pakistan: postcranials as a key. - *Zoological Journal of the Linnean Society* 160: 139-194.
- Baales, M. 2012. Late Middle Palaeolithic artefacts and archaeostratigraphical dating of the bone gravels (Knochenkiese) in Central Westphalia and the Ruhrgebiet (Germany). In: Niekus, M. J. L. T., Barton, N., Street, M. & Terberger, T., eds.), *A mind set on flint - studies in honour of Dick Stapert*, 119-139. Groningen: Barkhuis.
- Benoit, J., Legendre, L.J., Farke, A.A., Neenan, J.M., Mennecart, B., Costeur, L., Merigeaud, S. & Manger, P.R. 2020: A test of the lateral semicircular canal correlation to head posture, diet and other biological traits in „ungulate“ mammals. - *Scientific Reports* 10 (1): 19602.
- Blumenbach, J.F. 1799: *Handbuch der Naturgeschichte*. Göttingen: Johann Christian Dieterich.
- Boeskorov, G.G. 2012: Some specific morphological and ecological features of the fossil woolly rhinoceros (*Coelodonta antiquitatis* Blumenbach 1799). - *Biological Bulletin* 39 (8): 692-707.
- Borsuk-Białynicka, M. 1973: Studies on the Pleistocene rhinoceros *Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach). - *Palaeontologia Polonica* 29: 1-94.
- Bronn, H.G. 1831: Über die fossilen Zähne eines neuen Geschlechtes aus der Dickhäuter-Ordnung, *Coelodonta*, Höhlenzahn. - *Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde* 2: 51-61.
- Canoville, A., de Buffrénil, V. & Laurin, M. 2016: Micro-anatomical diversity of amniote ribs: an exploratory quantitative study. - *Biological Journal of the Linnean Society* 118 (4): 706-733.
- Clementz, M.T., Holroyd, P.A. & Koch, P.L. 2008: Identifying aquatic habits of herbivorous mammals through stable isotope analysis. - *Palaio* 23: 574-585.
- de Buffrénil, V., Canoville, A., D'Anastasio, R. & Doming, D.P. 2010: Evolution of sirenian pachyosteosclerosis, a model-case for the study of bone structure in aquatic tetrapods. - *Journal of Mammalian Evolution* 17 (2): 101-120.
- Deng, T. 2006: Neogene rhinoceroses of the Linxia Basin (Gansu, China). - *Courier-Forschungsinstitut Senckenberg* 256: 43-56.
- Deng, T. 2008: Comparison between woolly rhino forelimbs from Longdan, Northwestern China and Tologoi, Transbaikalian region. - *Quaternary International* 179 (1): 196-207.
- Deng, T., Wang, X., Fortelius, M., Li, Q., Wang, Y., Tseng, Z.J., Takeuchi, G.T., Saylor, J.E., Sällä, L.K. & Xie, G. 2011: Out of Tibet: Pliocene woolly rhino suggests high-plateau origin of ice age megaherbivores. - *Science* 333 (6047): 1285.
- Diedrich, C.G. 2008: A skeleton of an injured *Coelodonta antiquitatis* from the Late Pleistocene of north-western Germany. - *Cranium* 25 (1): 29-43.
- Flacke, G.L. & Decher, J. 2019: *Choeropsis liberiensis* (Artiodactyla: Hippopotamidae). - *Mammalian Species* 51 (982): 100-118.
- Fortelius, M. 1983: The morphology and paleobiological significance of the horns of *Coelodonta antiquitatis* (Mammalia: Rhinocerotidae). - *Journal of Vertebrate Paleontology* 3 (2): 125-135.
- Fortelius, M., Mazza, P. & Sala, B. 1993: *Stephanorhinus* (Mammalia: Rhinocerotidae) of the western European Pleistocene, with a revision of *S. etruscus* (Falconer, 1868). - *Palaeontographia Italica* 80: 63-155.
- Germain, D. & Laurin, M. 2005: Microanatomy of the radius and lifestyle in amniotes (Vertebrata, Tetrapoda). - *Zoologica Scripta* 34 (4): 335-350.
- Gray, J.E. 1821: On the natural arrangement of vertebrate animals. - *London medical repository* 15 (1): 296-310.
- Gregory, W.K. 1912: Notes on the principles of quadrupedal locomotion and on the mechanism of the limbs in hoofed animals. - *Annals of the New York Academy of Sciences* 22 (1): 267-294.
- Groves, C.P. 1972: *Ceratotherium simum*. - *Mammalian Species* 8: 1-6.
- Groves, C.P. & Kurt, F. 1972: *Dicerorhinus sumatrensis*. - *Mammalian Species* 21: 1-6.
- Groves, C.P. & Leslie, D.M.J. 2011: *Rhinoceros sondaicus* (Perissodactyla: Rhinocerotidae). - *Mammalian Species* 43 (1): 190-208.
- Guérin, C. 1980: Les rhinocéros (Mammalia, Perissodactyla) du Miocène terminal au Pléistocène supérieur en Europe occidentale - Comparaison avec les espèces actuelles. - *Documents des Laboratoires de Géologie Lyon* 79: 1-1184.
- Haeckel, E. 1873: *Natürliche Schöpfungsgeschichte*. Berlin: Georg Reimer.
- Heissig, K. 1972a: Die obermiozäne Fossil-Lagerstätte Sandelzhausen. 5. Rhinocerotidae (Mammalia), Systematik und Ökologie. - *Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie* 12: 57-81.
- Heissig, K. 1972b: Paläontologische und geologische Untersuchungen im Tertiär von Pakistan. 5. Rhinocerotidae (Mamm.) aus den unteren und mittleren Siwalik-Schichten. - *Abhandlungen Bayerische*

- Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse, Neue Folge 152: 1-112.
- Heissig, K. 1999. Family Rhinocerotidae. In: Rössner, G. & Heissig, K., eds.), The Miocene land mammals of Europe, 175-188. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil.
- Hoffmann, R., Schultz, J.A., Schellhorn, R., Rybacki, E., Keupp, H., Gerden, S.R., Lemanis, R. & Zachow, S. 2014: Non-invasive imaging methods applied to neo- and paleo-ontological cephalopod research. - *Biogeosciences* 11 (10): 2721-2739.
- Houssaye, A. & Bardet, N. 2012: Rib and vertebral micro-anatomical characteristics of hydropelvic mosasauroids. - *Lethaia* 45 (2): 200-209.
- Houssaye, A. & Botton-Divet, L. 2018: From land to water: evolutionary changes in long bone microanatomy of otters (Mammalia: Mustelidae). - *Biological Journal of the Linnean Society* 125 (2): 240-249.
- Houssaye, A., Waskow, K., Hayashi, S., Cornette, R., Lee, A.H. & Hutchinson, J.R. 2016: Biomechanical evolution of solid bones in large animals: a microanatomical investigation. - *Biological Journal of the Linnean Society* 117 (2): 350-371.
- Kahlke, R.-D. & Lacombe, F. 2008: The earliest immigration of woolly rhinoceros (*Coelodonta tologojensis*, Rhinocerotidae, Mammalia) into Europe and its adaptive evolution in Palaeartic cold stage mammal faunas. - *Quaternary Science Reviews* 27 (21): 1951-1961.
- Koenigswald, W.v. 2007. 29. Mammalian faunas from the interglacial periods in Central Europe and their stratigraphic correlation. In: Sirocko, F., Claussen, M., Sánchez Goñi, M. F. & Litt, T., eds.), *Developments in Quaternary Sciences*, 445-454. Amsterdam: Elsevier.
- Krilloff, A., Germain, D., Canoville, A., Vincent, P., Sache, M. & Laurin, M. 2008: Evolution of bone microanatomy of the tetrapod tibia and its use in palaeobiological inference. - *Journal of Evolutionary Biology* 21 (3): 807-826.
- Kurtén, B. 1968: *Pleistocene mammals of Europe*. London: Weidenfeld and Nicolson.
- Lartet, E. 1851: Notice sur la colline de Sansan, suivie d'une récapitulation des diverses espèces d'animaux vertébrés fossiles, trouvés soit à Sansan, soit dans d'autres gisements du terrain tertiaire du miocène dans le bassin sous-pyrénéen. Auch: JA Portes.
- Laurie, W.A., Lang, E.M. & Groves, C.P. 1983: *Rhinoceros unicornis*. - *Mammalian Species* 211: 1-6.
- Laurin, M., Canoville, A. & Germain, D. 2011: Bone microanatomy and lifestyle: a descriptive approach. - *Comptes Rendus Palevol* 10 (5): 381-402.
- Linnaeus, C. 1758: *Systema naturae*. Tomus I. Editio decima, reformata. Stockholm: Laurentius Salvius.
- Marsh, O.C. 1886: *Dinocerata - a monograph of an extinct order of gigantic mammals*. - *Monograph United States Geological Survey* 10: 1-243.
- Mihlbachler, M.C. 2005: Linking sexual dimorphism and sociality in rhinoceroses: insights from *Teleoceras proterum* and *Aphelops malacorhinus* from the late Miocene of Florida. - *Bulletin of the Florida Museum of Natural History* 45 (4): 495-520.
- Morton, S.G. 1849: Additional observations on a new species of hippopotamus of Western Africa (*Hippopotamus liberiensis*). - *Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 2nd Series 1: 2-11.
- Nakajima, Y. & Endo, H. 2013: Comparative humeral microanatomy of terrestrial, semiaquatic, and aquatic carnivorans using micro-focus CT scan. - *Mammal Study* 38 (1): 1-8.
- NAV 2017: *Nomina anatomica veterinaria*. Hanover (Germany), Ghent (Belgium), Columbia, MO (U.S.A.), Rio de Janeiro (Brazil): World Association of Veterinary Anatomists.
- Owen-Smith, R.N. 1988: *Megaherbivores: the influence of very large body size on ecology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Owen, R. 1848: Description of teeth and portions of jaws of two extinct anthracotheriid quadrupeds (*Hyopotamus vectianus* and *Hyop. bovinus*) discovered by the Marchioness of Hastings in the Eocene deposits on the N.W. coast of the Isle of Wight: with an attempt to develop Cuvier's idea of the classification of pachyderms by the number of their toes. - *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 4: 103-141.
- Prothero, D.R. 1998. Rhinocerotidae. In: Janis, C. M., Scott, K. M. & Jacobs, L. L., eds.), *Evolution of tertiary mammals of North America - volume 1: terrestrial carnivores, ungulates, and ungulatelike mammals*, 595-605. Cambridge: Cambridge University Press.
- Richter, J. 2016: Leave at the height of the party: A critical review of the Middle Paleolithic in Western Central Europe from its beginnings to its rapid decline. - *Quaternary International* 411: 107-128.
- Salvador, R.B., Tütken, T., Tomotani, B.M., Berthold, C. & Rasser, M.W. 2018: Paleoeological and isotopic analysis of fossil continental mollusks of Sandelzhausen (Miocene, Germany). - *PalZ* 92 (3): 395-409.
- Sander, P.M. & Andrassy, P. 2006: Lines of arrested growth and long bone histology in Pleistocene large mammals from Germany: what do they tell us about dinosaur physiology? - *Palaeontographica, Abt. A* 277 (1-6): 143-159.
- Sander, P.M., Christian, A., Clauss, M., Fechner, R., Gee, C.T., Griebeler, E.-M., Gunga, H.-C., Hummel, J., Malison, H., Perry, S.F., Preuschoft, H., Rauhut, O.W.M., Remes, K., Tütken, T., Wings, O. & Witzel, U. 2011: *Biology of the sauropod dinosaurs: the evolution of gigantism*. - *Biological Reviews* 86 (1): 117-155.
- Schellhorn, R. 2009: Eine Methode zur Bestimmung fossiler Habitate mittels Huftierlangknochen. Doctoral Thesis, Eberhard Karls Universität Tübingen, Tübingen, Germany. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:21-opus-39180>
- Schellhorn, R. 2018a: Mediportal rhinoceroses from the Miocene Sandelzhausen locality (Germany). - *Journal of Vertebrate Paleontology, Program and Abstracts* 2018: 211.
- Schellhorn, R. 2018b: A potential link between lateral semicircular canal orientation, head posture, and dietary habits in extant rhinos (Perissodactyla, Rhinocerotidae). - *Journal of Morphology* 279 (1): 50-61.
- Schellhorn, R. 2019: Inner ear orientation reflects head posture in the woolly rhino (Perissodactyla: Rhinocerotidae). - *Journal of Vertebrate Paleontology, Program and Abstracts* 2019: 188.
- Schellhorn, R. & Pfretzschner, H.-U. 2014: Biometric study of ruminant carpal bones and implications for phylogenetic relationships. - *Zoomorphology* 133 (2): 139-149.
- Schellhorn, R. & Pfretzschner, H.-U. 2015: Analyzing ungulate long bones as a tool for habitat reconstruction. - *Mammal Research* 60 (2): 195-205.
- Schellhorn, R. & Sanmugaraja, M. 2015: Habitat adaptations in the felid forearm. - *Paläontologische Zeitschrift* 89 (2): 261-269.

- Schlösser, M. 2012. Wadersloh – ein bedeutender Fundplatz der spätmittelpaläolithischen Keilmessergruppen. In: LWL-Archäologie für Westfalen und der Altertumskommission für Westfalen (ed.). Archäologie in Westfalen-Lippe 2011, 20-24. Langenweißbach: Beier & Beran.
- Schlösser, M. 2013a. Wadersloh – ein Lagerplatz der späten Neandertaler. In: Baales, M., Pollmann, H.-O. & Stapel, B., eds.), Westfalen in der Alt- und Mittelsteinzeit, 64-65. Münster: LWL-Archäologie für Westfalen.
- Schlösser, M. 2013b. Werk- und Lagerplätze der Neandertaler im Ur-Lippe-Tal bei Lippstadt. In: Baales, M., Pollmann, H.-O. & Stapel, B., eds.), Westfalen in der Alt- und Mittelsteinzeit, 62-63. Münster: LWL-Archäologie für Westfalen.
- Schneider, C.A., Rasband, W.S. & Eliceiri, K.W. 2012: NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. - Nature Methods 9 (7): 671-675.
- Siegfried, P. 1983: Fossilien Westfalens: eiszeitliche Säugetiere – eine Osteologie pleistozäner Großsäuger. - Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie 60: 1-163.
- Sisson, S. 1914: The anatomy of the domestic animals. Philadelphia and London: W. B. Saunders Company.
- Tütken, T. & Vennemann, T. 2009: Stable isotope ecology of Miocene large mammals from Sandelzhausen, southern Germany. - Paläontologische Zeitschrift 83 (1): 207-226.
- Wall, W.P. 1983: The correlation between high limb-bone density and aquatic habits in recent mammals. - Journal of Paleontology 57 (2): 197-207.
- Wang, B. & Secord, R. 2020: Paleoecology of *Aphelops* and *Teleoceras* (Rhinocerotidae) through an interval of changing climate and vegetation in the Neogene of the Great Plains, central United States. - Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 542: 109411.
- Wang, K.-M. 1928: Die obermiozänen Rhinocerotiden von Bayern. - Paläontologische Zeitschrift 10 (2): 184-212.
- Wood 2nd, H.E. 1937: Perissodactyl suborders. - Journal of Mammalogy 18 (1): 106-106.
- Yalden, D.W. 1971: The functional morphology of the carpus in ungulate mammals. - Acta Anatomica 78 (4): 461-487.
- Zeuner, F.E. 1934: Die Beziehungen zwischen Schädelform und Lebensweise bei den rezenten und fossilen Nashörnern. - Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br. 34: 21-80.
- Zeuner, F.E. 1945: New reconstructions of the woolly rhinoceros and Merck's rhinoceros. - Proceedings of the Linnean Society of London 156 (3): 183-195.

Plate I

Left radius (**A-F**) and radiale (**G-J**) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) from Wadersloh. Radius in A cranial, B lateral, C caudal, D medial, E proximal, and F distal view. Radiale in G dorsal, H distal, I palmar, and J proximal view. Scale bar 5cm.



Plate II

Left carpale 3 (**A-E**) and carpale 4 (**F-J**) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) from Wadersloh. Carpale 3 in A medial, B dorsal, C lateral, D distal, and E proximal view. Carpale 4 in F medial, G dorsal, H lateral, I distal, and J proximal view. Scale bar 5cm.



Plate III

Left metacarpale II (**A-F**) and metacarpale III (**G-L**) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) from Wadersloh. Metacarpale II in A dorsal, B lateral, C palmar, D medial, E proximal, and F distal view. Metacarpale III in G proximal, H distal, I dorsal, J lateral, K palmar, and L medial view. Scale bar 5cm.



Plate IV

Left metacarpale IV (**A-F**), proximal phalanx of second digit (**G-L**), and proximal phalanx of third digit (**M-R**) of *Coelodonta antiquitatis* (WMNM P75078) from Wadersloh. Metacarpale IV in A dorsal, B lateral, C palmar, D medial, E proximal, and F distal view. Phalanx proximalis of anterior digitus II in G medial, H dorsal, I lateral, J palmar, K proximal, and L distal view. Phalanx proximalis of anterior digitus III in M palmar, N medial, O dorsal, P lateral, Q proximal, and R distal view. Scale bar 5cm.



Ungewöhnlich große Gerölle im Tal der Beke und des Ellerbachs (Paderborner Hochfläche/Eggegebirge)

Klaus Skupin & Eckhard Speetzen

Klaus Skupin
Leipziger Straße 126
47918 Tönisvorst

Eckhard Speetzen
Alleestr. 16
48565 Steinfurt

Korrespondierender Autor:
speetzen@web.de

Manuskript
Eingegangen: 27.04.2021
Akzeptiert: 06.09.2021
Online verfügbar: 06.10.2021
© LWL-Museum für Naturkunde

Kurzfassung

Die Landschaften der Paderborner Hochfläche und des Eggegebirges im SO-Winkel der Westfälischen Kreidemulde werden von Stufen aus Schichtenfolgen der Unter- und Oberkreide geprägt. Diese Schichtstufenlandschaft wird von den Tälern der Beke und des Ellerbachs von Osten nach Westen und Südwesten durchzogen. In diesen Tälern liegen unter einer Decke von Auelehmen des Holozäns Niederterrassen-Schotter der Weichsel-Zeit. In den letzten Jahren sind im Beke- und im Ellerbachtal ungewöhnlich große Gerölle gefunden worden, die die üblichen Korngrößen der Terrassenablagerungen um ein Vielfaches übersteigen. Überwiegend handelt es sich dabei um Blöcke aus bräunlich-gelbem Sandstein der Unterkreide („Osning-Sandstein“), der am Westhang und im Kammbereich des Eggegebirges ansteht.

Die großen Gerölle befinden sich in einer der Niederterrasse auflagernden Blocklage. Im Ellerbachtal kommen sie zusätzlich noch in einem Ponor („Bachschwinde“) bis in 13 m Tiefe vor. Alle Vorkommen stehen vermutlich in einem zeitlichen und ursächlichen Zusammenhang. Es handelt sich um Ablagerungen aus extremen Oberflächenabflüssen, die sich im Verlauf eines schweren, vermutlich über Tage andauernden Unwetters bildeten. Aufgrund der Situation im Beketal lässt sich das Ereignis in die ausgehende Weichsel-Zeit beziehungsweise auf den Beginn des Allerød-Interstadials (13.350 – 12.700 J. v. h.) datieren.

Schlüsselwörter: Paderborner Hochfläche, Eggegebirge, Unter- und Oberkreide, Terrassenschotter, Niederterrasse, Allerød-Interstadial

Summary

The landscapes in the SE corner of the Westphalian Cretaceous Basin, the Egge Hills and the Paderborn Plateau, are dominated by sedimentary rocks of Lower and Upper Cretaceous age. This stratigraphic series is cut through by the Beke and Ellerbach valleys following east to west/southwest direction. Within these valleys terrace gravels of Weichselian age (Low Terrace) are encountered. In the past few years in both valleys exceptional large boulders were found, which by far exceed normal grain size of terrace deposits. The blocks predominantly consist of brownish-yellowish sandstone of Lower Cretaceous age („Osning sandstone“) outcropping on the western slope and the ridge area of the Egge Hills.

The large boulders are enriched in a layer on top of the Low Terrace. In the Ellerbach valley such boulders additionally are found in a sinkhole (ponor) down to 13 metres depth. All occurrences are likely to agree chronologically and causally. The deposits were probably formed through extreme discharge caused by severe weather lasting several days. The situation in the Beke valley suggests that this weather event took place in the outgoing Weichselian or in the early Allerød interstadial (13.350 – 12.700 bp.) respectively.

Keywords: Paderborn Plateau, Egge Hills, Lower and Upper Cretaceous, terrace deposits, Low Terrace, Allerød interstadial

1 Einleitung

Die Landschaften der Paderborner Hochfläche und des Eggegebirges im Südosten der Westfälischen Kreidemulde werden von Schichtstufen der unterschiedlichen Ablagerungen aus der Unter- und Oberkreide geprägt. Der Ostrand, das Eggegebirge, besteht überwiegend aus Sandstein-Schichten der Unterkreide, während die nach Westen anschließende Paderborner Hochfläche aus Kalk- und Kalkmergelsteinsfolgen der Oberkreide aufgebaut wird. Die Schichten fallen mit etwa 5 Grad in westliche Richtung ein (Abb. 1).

Diese Schichtstufenlandschaft wird von den Tälern der Beke und des Ellerbachs durchzogen. Die Bäche verlaufen von ihren Quellgebieten im Eggegebirge in westlicher und südwestlicher Richtung quer durch die Paderborner Hochfläche (Abb. 2). In den Bachtälern finden sich neben feinkörnigen Sedimenten und Auenlehmen vor allem Schotter, deren Zusammensetzung den durchflossenen Gesteinsschichten entspricht. In den Quellbächen bestehen die Gerölle aus verschiedenen Sandsteinen der Unterkreide; mit dem Eintritt in die Oberkreide bei Altenbeken sowie Schwaney (Abb. 2) führen die Bäche zunehmend Gerölle aus den Kalksteinen und Kalkmergelsteinen der Oberkreide, die sehr bald die Hauptkomponente ausmachen.

Beim Bau einer Wasserleitung und bei der Erforschung einer Karsthöhle sind in den letzten Jahren im Beke- und im Ellerbachtal ungewöhnlich große Gerölle gefunden worden, die die üblichen Korngrößen der Bachablagerungen um ein Vielfaches übersteigen. Insbesondere handelt es sich dabei um rundliche bis kantengerundete Blöcke aus bräunlich-gelbem Sandstein der Osning-Formation. Derartige Gerölle wurden bisher aus den Tälern von Beke und Ellerbach noch nicht erwähnt. In der vorliegenden Arbeit werden diese Funde bekannt gemacht und beschrieben sowie mögliche Ablagerungsbedingungen diskutiert.

2 Zur Geologie des Beke- und des Ellerbachtals

Die Quellgebiete von Beke und Ellerbach liegen im Eggegebirge. Der Untergrund wird aus Gesteinsabfolgen der Unterkreide aufgebaut, bei denen es sich im Wesentlichen um sandige Ablagerungen handelt (Speetzen 2005). Sie werden heute vom Älteren zum Jüngeren in die Osning-, Kleinenberg- und Flammenmergel-Formationen gegliedert.

Die Osning-Formation besteht im Eggegebirge überwiegend aus einer reinen Sandstein-Abfolge, dem Osning-Sandstein. Er wird von einer nur in geringer Mächtigkeit entwickelten tonig-sandig-glaukonitischen Folge, dem Osning-Grünsand, überlagert. Der Osning-Sandstein ist massig bis bankig ausgebildet und weist gelblich-weiße bis bräunliche Farben auf. Im Raum Altenbeken – Schwaney liegt die Mächtigkeit des dort fein- bis mittelkörnigen Sandsteins bei etwa 20 m (Speetzen 1970). Stellenweise kommen im Osning-Sandstein auch an Kluft- und Schichtfugen gebundene Ausfällungen von Brauneisenstein vor, die harte Krusten bilden und auch als „Eisenschwarten“ bezeichnet werden.

Die Kleinenberg-Formation wird hauptsächlich aus einer Abfolge von fein- und mittelkörnigen Sandsteinen gebildet, die früher als Gault-Sandstein bezeichnet wurde. Die gut geschichteten bankigen bis dickbankigen Ablagerungen zeigen im Süden des Eggegebirges überwiegend rotbraune Farben, im Norden sind sie aber mehr bräunlich und weisen nur stellenweise rötlich-violette Verfärbungen auf. In einigen Schichten sind weiße schlierenartige Verkieselungen zu beobachten. Die Mächtigkeit beträgt bei Altenbeken etwa 40 m, bei Schwaney um 35 m. Auch in den Schichten der Kleinenberg-Formation treten besonders im Raum Altenbeken häufiger Klüfte mit Brauneisenstein-Ausfällungen auf.

Die Flammenmergel-Formation wird im Eggegebirge durch entkalkte feinkörnige Gesteine repräsentiert. Es handelt sich um helle weißgraue bis gelbgraue poröse leicht verkieselte Feinsandsteine. In einigen Bänken treten auch markante graue Kieselknollen auf. Die

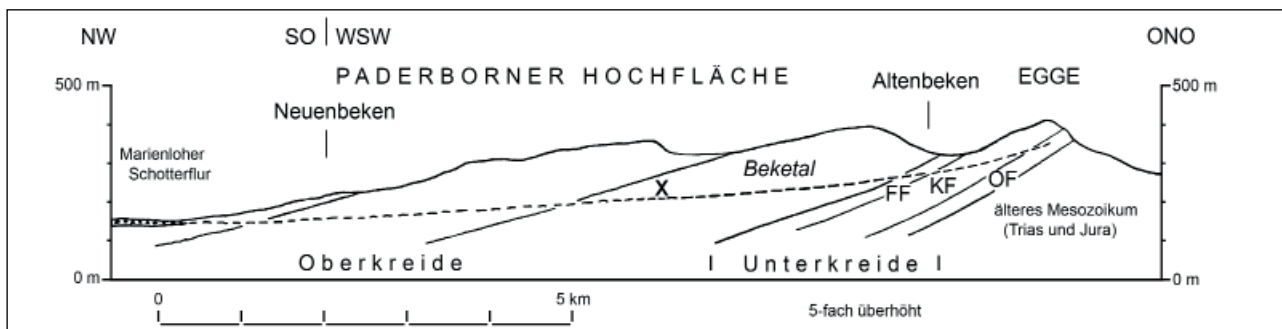


Abb. 1: Geologischer Profilschnitt entlang des Beketals (schematisch). OF = Osning-Formation, KF = Kleinenberg-Formation, FF = Flammenmergel-Formation, x Vorkommen von groben Geröllen aus Osning-Sandstein.

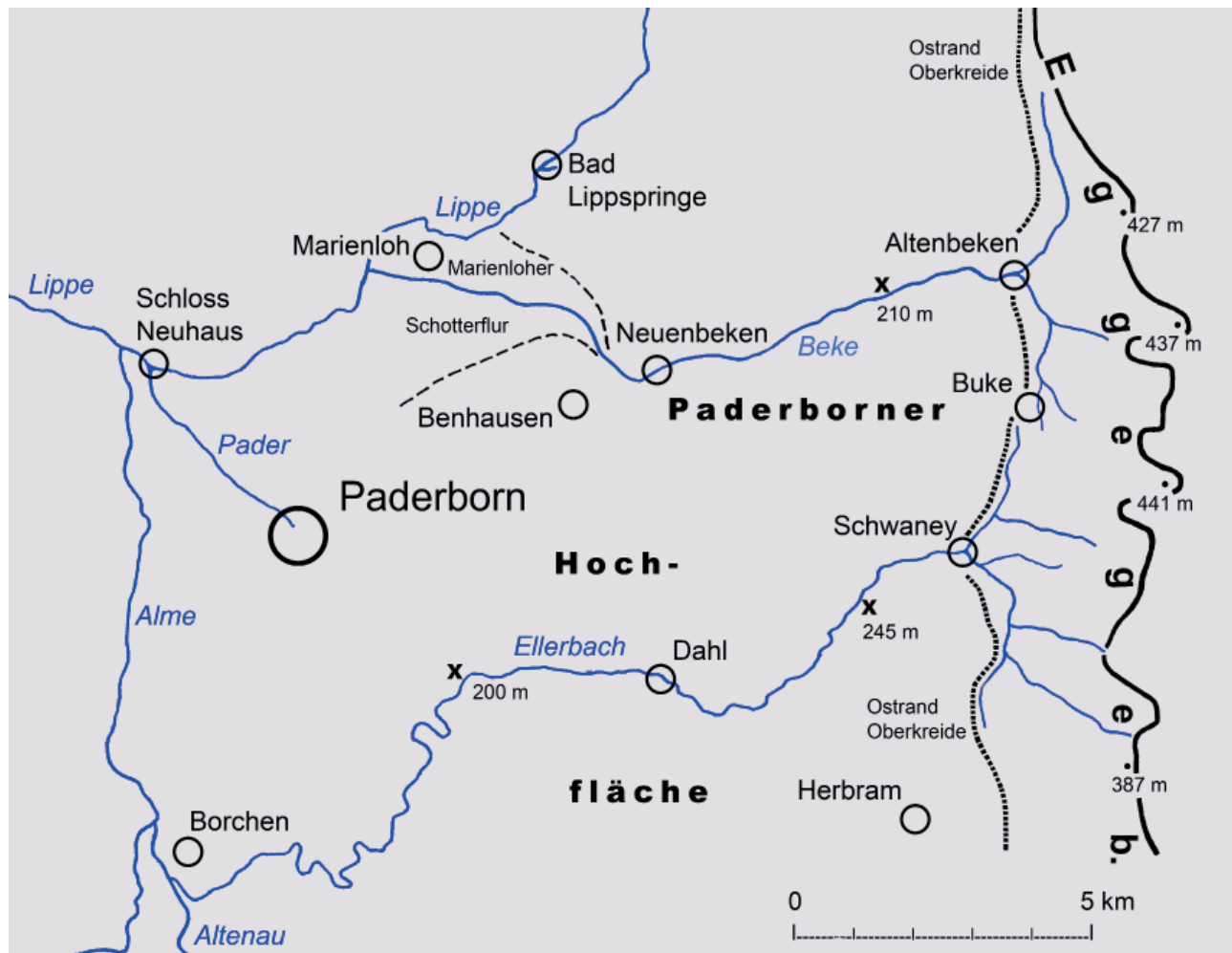


Abb. 2: Verlauf von Beke und Ellerbach mit Vorkommen grober Gerölle. x Beke: Südlich des ehemaligen Forsthauses Durbeke x Ellerbach: Am Hof Ellermeier westlich von Schwaney, Bachschwinde am Haxter Grund westlich von Dahl; Dicke Linie = Ostrand der Unterkreide bzw. Ostrand der Westfälischen Kreidemulde, Gestrichelte Linie = Ostrand der Oberkreide.

Mächtigkeit der Abfolge beträgt bei Altenbeken etwa 15 m, weiter nach Süden geht sie sehr schnell zurück. Im Raum Schwaney gibt es nur noch lokale Vorkommen von geringer Mächtigkeit.

Westlich von Altenbeken und Schwaney ändern sich die Verhältnisse in den Tälern von Beke und Ellerbach, da ab dort Kalkstein- und Mergelsteinsfolgen der Oberkreide den Untergrund bilden. Die stärker kalkigen Folgen werden zusammenfassend auch als Plänerkalkstein oder auch als Pläner bezeichnet. Diese Gesteine zerfallen überwiegend in plattig-scherbige, mehr oder weniger eckige Stücke, die dann in den Bachtälern die typischen flachen kantengerundeten „Plänerschotter“ bilden.

Mit dem Eintritt in die Paderborner Hochfläche und damit in die stark verkarsteten Kalksteine der Oberkreide verlieren die Bäche einen großen Teil ihrer Abflussmenge an den Untergrund. Das geschieht überwiegend an so genannten Bachschwinden oder Ponoren. Häufig fehlen an diesen Stellen die jungen Bachablagerungen weitgehend, sodass die Kalksteine der Oberkreide mit ihren häufig zu Spalten erweiterten Klüften das Bachbett bilden. Der Ellerbachs fällt deshalb

schon zwischen Schwaney und Dahl für die meiste Zeit des Jahres trocken. Die Beke führt normalerweise ab Neuenbeken kein Wasser mehr, zeitweise versiegt sie schon westlich von Altenbeken. Diese überwiegend trockenen Abschnitte werden nur in Tauwetterperioden nach starken Schneefällen und nach länger anhaltenden Starkregen von Wasser durchflossen. Der aus der Beke oder dem Ellerbach in den verkarsteten Untergrund übergehende Teil des Abflusses kommt nach einer Dauer von ein bis zwei Tagen vorwiegend in Karstquellen am nordöstlichen Rand und im Innenstadtbereich von Paderborn wieder an die Oberfläche (Michel 1979).

Die Täler von Beke und Ellerbach sind als Sohlentäler zu bezeichnen. Sie weisen relativ ebene Talböden auf, die von feinkörnigen Sedimenten und kiesigen Ablagerungen gebildet werden. Aufgrund der unterschiedlichen Neigung der Talhänge hat das Beketal eine mehr kastenförmige und das Tal des Ellerbachs bis westlich von Dahl eine mehr muldenförmige Form.

Das Material der kiesigen Ablagerungen wurde während der Weichsel-Kaltzeit vorwiegend durch Solifluktion von den Talhängen zugeführt und anschließend

Tab. 1: Die stratigraphische Gliederung der pleistozänen und holozänen Ablagerungen in den Tälern von Beke und Ellerbach (Jahreszahlen nach Geologischer Dienst NRW 2016: Stratigraphische Gliederung des Quartärs)

Zeitabschnitte			Ablagerungen
Holozän	J. v. h.		Auenterrassen
	11 700		Hochflutlehme jüngere Niederterrasse
Pleistozän		Weichsel	ältere Niederterrasse
	115 000		
	126 000	Eem	
		Saale	Grundmoräne Schmelzwasser- Ablagerungen
	340 000	Holstein	
		Elster	

durch die fröhsommerlichen Schmelzwässer umgelagert und verteilt. Der auf diese Weise gebildete Schotterkörper wird als Niederterrasse bezeichnet (Tab. 1). Mit dem Übergang zur heutigen Warmzeit, dem Holozän, wurden die Niederterrassen-Ablagerungen durch überwiegend feinkörnige Hochflutlehme überdeckt. Im weiteren Verlauf haben sich die Bäche in die Niederterrassenablagerungen eingeschnitten und stellenweise den Kalkstein-Untergrund freigelegt. Der junge Talboden beziehungsweise die holozäne Terrasse (Auenterrasse) weist oft eine dünne Decke von Auenlehmen auf.

3 Die Niederterrasse im Beketal

Im oberen Beketal treten die Niederterrassenablagerungen nicht offen zutage. Nur im Unterlauf, im Bereich der Marienloher Schotterflur (Seraphim 1977), waren sie vor etlichen Jahren noch in einigen Kiesgruben gut aufgeschlossen (Abb. 1, 2). Dort hat die Beke mit dem Verlassen der Kreidehöhen und dem Eintritt in die Westfälische Tieflandsbucht einen ausgedehnten, durch feinkörnige Ablagerungen unterteilten Schotterkörper gebildet, der eine Mächtigkeit von 2–4 m, maximal auch von 7 m erreicht (Skupin 1982).

Die kiesigen Komponenten bestehen überwiegend aus hellen Kalksteinen der Oberkreide und zu etwa 15–20% aus Geröllen von Unterkreide-Gesteinen (gelbliche und rötliche, fein- und mittelkörnige, teilweise verkie-selte Sandsteine sowie Brauneisensteinschwarten). Die

Korngrößen liegen zum großen Teil im Bereich von Mittel- und Grobkies (Tab. 2). Nur einige Gerölle erreichen Durchmesser bis 20 cm (insbesondere Plänerkalksteine und Eisenschwarten) und sind damit in die nächst höhere Korngrößenfraktion (Steine) einzustufen. Korndurchmesser über 20 cm wurden nicht beobachtet (Greving 1981, Skupin 1982).

Durch sandig-schluffige Einlagerungen lassen sich im Bereich der Marienloher Schotterflur drei Schotterkörper unterscheiden. Von der unteren zur oberen Einheit ist innerhalb der Kiesfraktion eine Verschiebung zu geringeren Korngrößen zu erkennen. In gleicher Richtung nimmt der Anteil von Geröllen aus Gesteinen der Unterkreide ab, was sich auch an der Änderung des farblichen Eindrucks der Kiese von dunkelgrau-rotbraun im unteren Bereich bis zu weißgrau im oberen Bereich anzeigt. Auch Gerölle aus kristallinen Gesteinen beziehungsweise nordische Geschiebe kommen in geringer Anzahl vor. Sie leiten sich von saalezeitlichen Ablagerungen (Schmelzwassersande und Grundmoräne) ab und treten besonders in der unteren Einheit auf. Dort können sie beträchtliche Größen mit Durchmessern bis zu 2 m erreichen (Skupin 1982). Diese Blöcke sind wahrscheinlich nicht sehr weit transportiert worden, sondern wurden vermutlich aus der im unteren Beketal verbreiteten Grundmoräne der Saale-Kaltzeit ausgespült.

Im Herbst 2020 wurde in der Grube Bee (UTM 32N: O 486600, N 5733400), der letzten der ehemaligen Kiesgruben im Bereich der Marienloher Schotterflur,

Tab. 2: Korngrößeneinteilung klastischer Lockersedimente (nach DIN 4022).

Korngrößengruppen		Korngrößengrenzen
Blöcke		> 200 mm
Steine		200 mm
Kies	Grobkies	63 mm
	Mittelkies	20 mm
	Feinkies	6,3 mm
		2 mm
Sand	Grobsand	0,63 mm
	Mittelsand	0,2 mm
	Feinsand	0,063 mm
		0,02 mm
Schluff	Grobschluff	0,02 mm
	Mittelschluff	0,0063 mm
	Feinschluff	0,002 mm
		< 0,002 mm
Ton bzw. Feinstkorn		< 0,002 mm

eine Besonderheit entdeckt. Die Grube wird heute überwiegend als Bauschuttdeponie betrieben. An der westlichen Abbauwand, etwa 2,5 m unter der Geländeoberfläche, ist in den Kiesen der Niederterrasse eine unregelmäßig wellig verlaufende, sehr feinkörnige Lage von dunkelbrauner bis schwarzer Farbe ausgebildet. Die Dicke beträgt 1–2 cm. In dieser Lage treten auch dunkle Splitter von vulkanischem Glas mit vereinzelt feinen Bläschen auf. Es handelt sich bei der Lage demnach um einen feinkörnigen Aschentuff, der sehr wahrscheinlich mit dem auf etwa 12.900 Jahre vor heute (J. v. h.) datierten Ausbruch des Laacher See-Vulkans in Zusammenhang steht. Seine Auswurfprodukte wurden über weite Teile Mitteleuropas verbreitet und in einem nach Nordosten reichenden Fächer bis in den Ostseeraum und über die Insel Gotland hinaus verfrachtet. In einer Entfernung von 120–330 km vom Vulkanschlott bestehen die Tuffablagerungen dieses Fächers aus einer unteren hellen und einer oberen dunklen Lage (Bogaard & Schminke 1985).

Die Aschenlage des Laacher See-Vulkans ist ein Leithorizont für das Alleröd-Interstadial (13.350–12.700 J. v. h.), der letzten Warmphase innerhalb der späten Weichsel-Zeit. Der unregelmäßig wellige Verlauf der Aschenlage in der Grube Bee zeichnet das aus Kiesbänken und flachen Rinnen bestehende Bett des Abflusssystems nach, geht zum Teil aber wohl auch auf spätere Kryoturbationen („Frostverwürgungen“) während der letzten kalten Phase der Weichsel-Zeit zurück. Während der Ablagerung der Tuffe muss der Schotterkörper trocken gelegen haben. Durch nachfolgende Niederschläge sind die Aschenpartikel in den Porenraum der sandigen Matrix der Schotter eingetragen worden und blieben dadurch nach dem erneuten Einsetzen der Aufschotterung erhalten.

Die zeitliche Einordnung stimmt mit einem ca. 1,5 km westlich der Kiesgrube Bee gelegenen Vorkommen überein. Dort wurde in den obersten Schichten der Niederterrassen-Schotter eine Torflage des Alleröd zusammen mit einem Holzkohle-Horizont nachgewiesen (Skupin 1982).

Während des Alleröd wird die Terrassenaufschotterung unterbrochen. Das verzweigte Abflusssystem bündelt sich zu einem einheitlichen ganzjährig wasserführenden Gerinne, das sich im Oberlauf in die kiesigen Ablagerungen einschneidet. Mit der Jüngeren Dryas-Zeit (12.700–11.700 J. v. h.), dem kalten letzten Zeitabschnitt der Weichsel-Zeit, setzte die Aufschotterung wieder ein.

Über der Aschenlage folgen zunächst noch deutlich kryoturbat verformte Kiesschichten. Die Strukturen sind im Oberflächenbereich des Dauerfrostbodens der Jüngeren Dryas-Zeit durch den jahreszeitlich bedingten Wechsel von Tauen und Gefrieren entstanden. Die Ablagerung der Schotter reichte vermutlich noch bis in das frühe Holozän. Jedenfalls treten in der Grubenwand über den verformten Kiesen noch ungestörte beziehungsweise horizontal gelagerte Kies-Schichten auf. Darüber liegt mit scharfer Grenze ein brauner Verwitterungslehm.

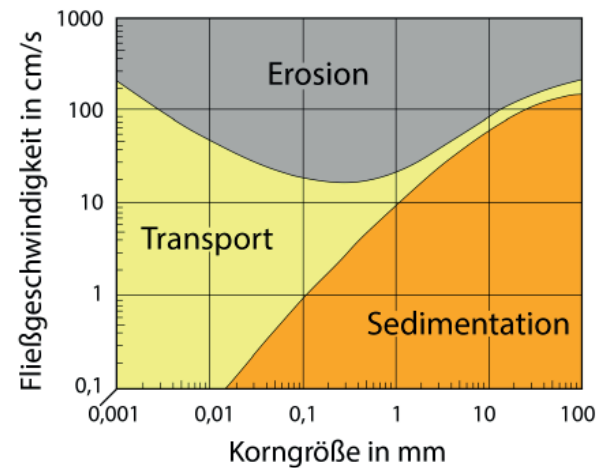


Abb. 3: Hjulström-Diagramm – Beziehung zwischen Erosion, Transport und Sedimentation klastischer Partikel im fließenden Wasser in Abhängigkeit von Korngröße und Fließgeschwindigkeit (nach Hjulström 1935).

gerung der Schotter reichte vermutlich noch bis in das frühe Holozän. Jedenfalls treten in der Grubenwand über den verformten Kiesen noch ungestörte beziehungsweise horizontal gelagerte Kies-Schichten auf. Darüber liegt mit scharfer Grenze ein brauner Verwitterungslehm.

Das Korngrößenspektrum der Niederterrassen-Schotter, das über den Grobkiesbereich hinaus gerade noch bis in den Bereich der Steine reicht, entspricht dem Transportvermögen der frühlommerlichen Schmelzwässer, die sich aus den ergiebigen winterlichen Schneefällen ableiten. Die zugehörigen Fließgeschwindigkeiten lassen sich aus dem Hjulström-Diagramm ermitteln (Abb. 3). Das Diagramm mit logarithmischen Skalen veranschaulicht den Zusammenhang zwischen den Korngrößen der Bestandteile klastischer Lockersedimente und den für die Erosion, den Transport und die Sedimentation der Partikel in einem fluviatilen Milieu erforderlichen kritischen Fließgeschwindigkeiten. Die Fließgeschwindigkeit v ist direkt proportional zum Durchmesser d des transportierten Korns: Je größer der Korndurchmesser, desto höher muss auch die Fließgeschwindigkeit des Wassers sein. Für den fluviatilen Transport von Geröllen zwischen 2 und 63 mm (Kiesfraktion) sind nach dem Hjulström-Diagramm Fließgeschwindigkeiten von 0,3 m/s bis 2 m/s erforderlich. Die maximale Fließgeschwindigkeit bei der Bildung der Niederterrasse im Beketal dürfte wegen des Transports von Geröllen mit Durchmessern bis zu 20 cm bei etwa 2,5 m/s gelegen haben.

Die vertikale Korngrößenabnahme von der unteren zur oberen Einheit der Kiesablagerungen in der Marienloher Schotterflur (Skupin 1982) weist auf eine allmähliche Abnahme der Transportkraft hin. Die Ursachen können in Veränderungen des Klimas beziehungsweise in Verschiebungen der Niederschlagsmengen liegen, werden aber zu einem gewissen Teil auch auf die Gefälleverringering durch die Aufhöhung der Niederterrasse im Bereich

der Marienloher Schotterflur und ihre Tieferlegung im Oberlauf der Beke zurückgehen. Die relativ kurzfristige Unterbrechung der Aufschotterung im Alleröd-Interstadial, verbunden mit der Eintiefung des Abflusssystems, erlaubt eine Unterteilung der Niederterrassenablagerungen in zwei Folgen, die als Ältere Niederterrasse und Jüngere Niederterrasse bezeichnet werden (Tab. 1).

4 Vorkommen großer Gerölle im Beketal

Die Blocklage am Alten Forsthaus Durbeke

An der nördlichen Talflanke der Beke, südlich des Alten Forsthauses und östlich der Einmündung des Durbeketals, wurde vor etwa 10 Jahren bei der Anlage eines Grabens für eine Wasserleitung eine kompakte Lage grober Gerölle entdeckt (UTM 32N: O 493640, N 5734255). Alle Gerölle zeigten Durchmesser von über 20 cm und sind damit in den Korngrößenbereich der Blöcke einzustufen (Tab. 2). Leider ist die Blocklage nicht mehr aufgeschlossen. Zudem gibt es keinerlei schriftliche Aufzeichnungen über die Fundsituation. Die Schichtenfolge wurde deshalb nach detaillierten Angaben der Anwohner Kristin und Hans Walter Wichert rekonstruiert und in einer Skizze dargestellt (Abb. 4).

In der Blocklage kommen Gerölle mit Durchmessern von etwa 30–100 cm vor. Es handelt sich um gelblich-braune bis gelbliche, fein- bis mittelkörnige Sandsteine, die dem Osning-Sandstein zuzuordnen sind. Die mehr oder weniger gerundeten oder oft nur kantengerundeten Blöcke haben damit einen Weg von 4–6 km von ihrem Ursprungsgebiet im Eggegebirge zurückgelegt. Nach bisheriger Kenntnis kommen in der Blocklage neben dem Osning-Sandstein keine anderen Gesteinsarten vor.

Einige der Blöcke befinden sich noch mehr oder weniger an Ort und Stelle. In dem südlich des Forsthauses gelegenen Wiesengrundstück steckt ein Block

in ursprünglicher Lagerung noch zur Hälfte im Boden (Abb. 5 a). Ein weiterer Block lag am südlichen Zaun der Wiese (Abb. 5 b). Er stammt aus dem ehemaligen Graben der Wasserleitung, die südlich des umzäunten Wiesengrundstücks auf dem Grundstück des Landwirts Bernhard Stelte aus Benhausen verläuft. Die größeren Blöcke aus dem Wasserleitungsgraben wurden vom Grundeigentümer nach Benhausen abtransportiert und im Garten seines Anwesens am Schmittenweg 20 abgelegt (Abb. 5 c, d).

Schon vor etwa 30 Jahren wurde vom Vater des jetzigen Grundeigentümers beim Pflügen des ehemaligen Ackers ein großer Block aus Osning-Sandstein (100x70x50 cm) freigelegt, der heute in die Terrasse des Gartens in Benhausen integriert ist. Bereits zu Zeiten der Preußischen Oberförsterei, also vor über einhundert Jahren, dürften an der Stelle größere Gerölle aus Osning-Sandstein gelegen haben. Jedenfalls wurden zur Abgrenzung eines im südlichen Teil des umzäunten Wiesengrundstücks gelegenen ehemaligen Friedhofs für die Jagdhunde des Forstamtes etliche größere Steine zu einer kreisförmigen Umrandung ausgelegt. Von diesen Steinen sind heute noch sieben vorhanden.

Zur Einstufung der Blocklage in die Quartär-Abfolge des Beketals kann wegen des Fehlens von Aufschlüssen nur die Geländemorphologie herangezogen werden. Allerdings wurde die natürliche Morphologie auf der Nordflanke des Beketals leicht verändert. Die Gründe liegen im Bau eines auf der Blocklage verlaufenden Weges mit fester Asphaltdecke, in Grabungen bei der Verlegung von Wasser- und Stromleitungen sowie im Pflügen der zeitweilig als Ackerland genutzten Fläche. Dennoch sind die durch den Wechsel von Erosion und Ablagerung erzeugten schwachen Geländestufen und Einebnungsflächen noch zu erkennen (Abb. 6). Besonders auf einer Ansichtspostkarte (Abb. 7) aus der Zeit um 1900 zeigt sich die ursprüngliche Morphologie der

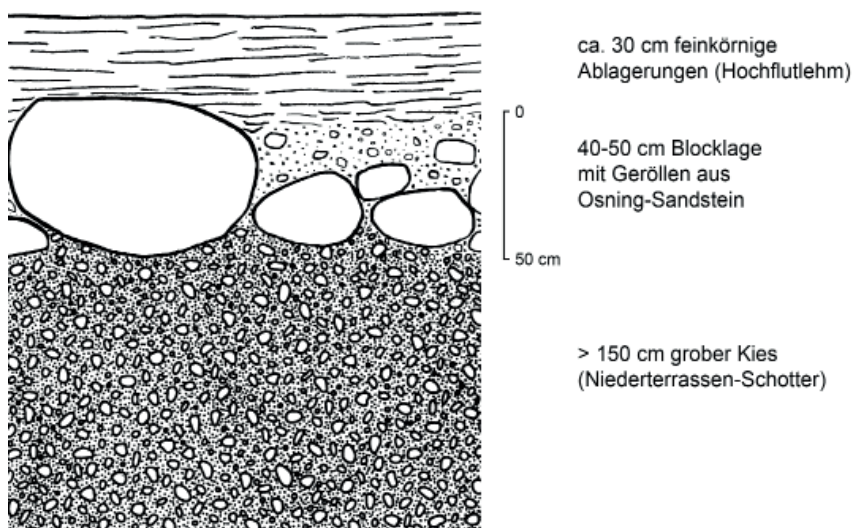


Abb. 4: Schichtenabfolge im ehemaligen Wasserleitungsgraben südlich des Alten Forsthauses Durbeke



Abb. 5 : Blöcke aus Osning-Sandstein von der nördlichen Talflanke der Beke beim Alten Forsthaus Durbeke. **A** Block in der Wiese südlich des Alten Forsthauses (40x27x25 cm). **B** Block aus dem Wasserleitungsgraben südlich des Alten Forsthauses, heutige Lage am südlichen Zaun der Wiese (Länge ca. 30 cm). **C** Block aus dem Wasserleitungsgraben, heutige Lage im Garten des Anwesens Stelte in Benhausen (100x50x40 cm). **D** Block aus dem Wasserleitungsgraben, heutige Lage im Garten des Anwesens Stelte in Benhausen (80x60x50 cm)

Nordflanke des Beketals sehr deutlich und stützt die geologische Interpretation der Blocklage als jüngere Auflage auf die Schichten der Niederterrasse.

Aus der morphologischen Situation des Beketals am Alten Forsthaus Durbeke lassen sich drei Terrassenstufen ableiten, eine obere Stufe mit der Blocklage, eine mittlere und eine untere Stufe (Abb. 8 c). Diese Stufen repräsentieren die Ältere Niederterrasse, die Jüngere Niederterrasse und die Auenterrasse. Die Blocklage liegt somit auf der Älteren Niederterrasse und endet an der Erosionskante zur Jüngeren Nieder-

terrasse (Abb. 8 b). Diese Terrasse ist am Alten Forsthaus Durbeke etliche Meter in die Ältere Niederterrasse eingeschnitten, während sie in der Marienloher Schotterebene über der Älteren Niederterrasse liegt. Es ergibt sich somit das Bild einer Kreuzung der Oberflächen von Älterer und Jüngerer Niederterrasse.

Die Blocklage ist somit nach der Aufschotterung der Älteren Niederterrasse und vor der Bildung der Jüngeren Niederterrasse entstanden. Die Bildung der Lage fällt damit in das frühe Alleröd-Interstadial und ist auf etwa 13.300 J. v. h. zu datieren. Ehemals wird die

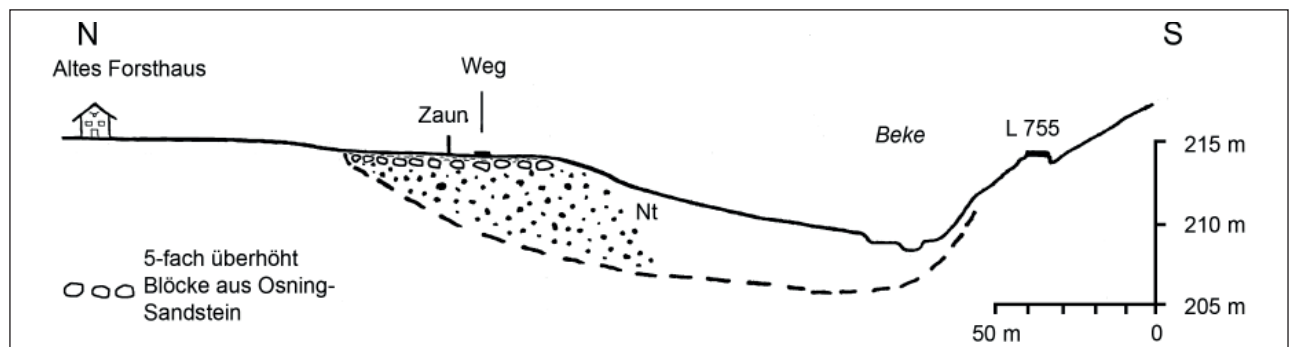


Abb. 6: Profilschnitt durch die Niederterrassen-Ablagerungen (Nt) im Beketal am Alten Forsthaus Durbeke (Skizze nach der Geländesituation).



Abb. 7: Ansicht des Beketals und des Forsthauses Durbeke um 1900 mit geologischer Ausdeutung der Morphologie (vgl. Abb 6).

Blocklage die Oberfläche der Älteren Niederterrasse in der gesamten Talbreite eingenommen haben (Abb. 8 a). Aus der Lage auf der Älteren Niederterrasse und wegen der ungewöhnlichen Gerölldurchmesser, die deut-

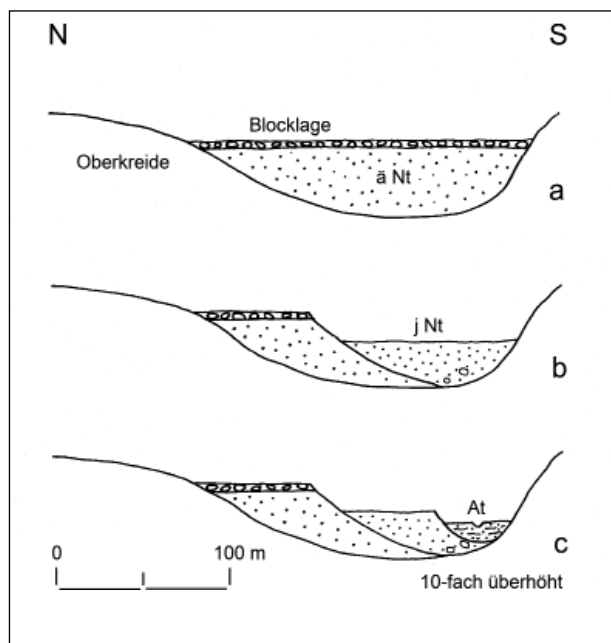


Abb. 8: Terrassenabfolge im Beketal am Alten Forsthaus Durbeke (schematisch). **a** Ende Ältere Dryas-Zeit – Beginn Alleröd-Interstadial, **b** Ende Jüngere Dryas-Zeit – Beginn Holozän, **c** Holozän (ä Nt Ältere Niederterrasse, j Nt Jüngere Niederterrasse, At Auenterrasse).

lich über denen der Niederterrassenschotter liegt, ist ersichtlich, dass die Ablagerung der Blocklage nicht im Zusammenhang mit der Terrassenbildung steht.

Wie weit die Blocklage noch talabwärts gereicht hat, ist nicht bekannt. In der etwa 7 km entfernten Marienloher Schotterflur sind große Blöcke aus Osning-Sandstein jedenfalls nicht mehr vorhanden. Dort erreichen die Gerölle nur noch Durchmesser von maximal 20 cm (Greving 1981, Skupin 1982). Mit der Eintiefung des Abflusssystems der Beke im Alleröd wurden die Blöcke aus dem betroffenen Teil der Lage in den tieferen Bereich der neuen Talrinne verlagert und dort von den Schottern der Jüngeren Niederterrasse überdeckt (Abb. 8 b).

Sandstein-Blöcke im Ort Altenbeken

Sandstein-Blöcke mit Durchmessern von 35–80 cm sind auch aus dem Ort Altenbeken bekannt. So wurden vor einigen Jahren bei einem Neubau an der Adenauerstraße, etwa 300 m westlich der Heilig-Kreuz-Kirche, unter einer torfigen Schicht („Mooreerde“) gerundete Sandstein-Blöcke mit Längen bis 80 cm und auch Kiese gefunden (persönliche Mitteilung von Hans Walter Wichert, Altenbeken, 2.9.2020). Auch südöstlich der Heilig-Kreuz-Kirche, im Bereich östlich der Dr.-Pentrup-Straße und nördlich der Straße Am Brande, sind im Lauf der Zeit einige Blöcke

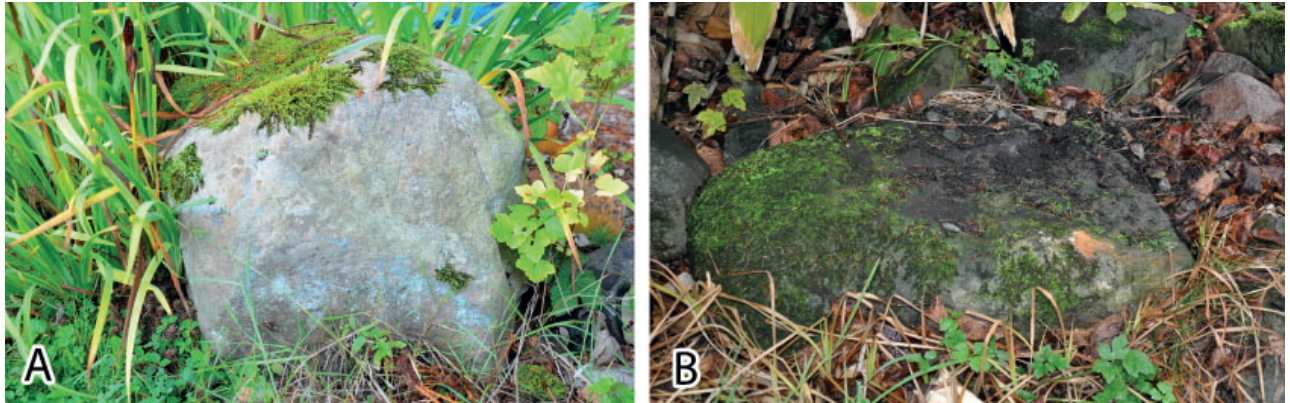


Abb. 9: Blöcke aus Osning-Sandstein im Ort Altenbeken. A Fundort nördlich der Straße Am Brande (Länge 45 cm). B Fundort östlich der Dr.-Pentrup-Straße (Länge 60 cm). (Fotos: M. Bieling, Altenbeken)

freigelegt worden. Vor circa 50 Jahren wurde auf einem Grundstück am westlichen Ende der Straße Am Brande ein Sandstein-Block entdeckt, der noch heute dort an einem Gartenteich liegt (Abb. 9 a). Auf dem Nachbargrundstück soll sich noch ein weiterer Stein mit einer Länge von etwa einem Meter unter der Erdoberfläche befinden. Auf der Ostseite der Dr.-Pentrup-Straße wurde ein Block mit einer Länge von 60 Zentimetern geborgen (Abb. 9 b). Er liegt heute zusammen mit zwei weiteren Blöcken aus dem Bereich auf einem privaten Gartengrundstück in der Nähe der ursprünglichen Vorkommen (persönliche Mitteilung von Manfred Bieling, Altenbeken, 07.12.2020). Sämtliche Fundstellen befinden sich auf einem etwa 2 m über dem heutigen Bekelauf gelegenen Terrassenniveau.

Bei den Blöcken aus dem Ortsbereich von Altenbeken scheint es sich nahezu ausschließlich um Osning-Sandstein-Blöcke zu handeln. Es ist auffallend, dass diese Blöcke die gleiche Größenordnung wie die der zwei Kilometer bachabwärts gelegenen Blocklage im Bereich des Alten Forsthauses Durbeke aufweisen. Auf dieses Problem wird später noch eingegangen.

5 Vorkommen von großen Geröllen im Ellerbachtal

Auch im Tal des Ellerbachs sind die Talfüllungen beziehungsweise die holozänen und pleistozänen Ablagerungen nicht aufgeschlossen. Hinweise über ihre Zusammensetzung ergeben sich jedoch aus einigen Bohrungen. Die Niederterrassen-Ablagerungen werden von Kiesen und Sanden mit einer schluffigen Grundmasse gebildet. Die Kiese bestehen aus Sandsteinen der Unterkreide und Kalksteinen der Oberkreide und erreichen Mächtigkeiten bis zu 4,5 m. Darüber folgen Auenlehme, die bis zu 3 m mächtig werden können (Friedlein 2004). Gerölle der Korngrößenfraktionen Steine oder Blöcke sind bisher aus dem Tal der Eller nicht beschrieben worden.

Gerölle und Schotter aus dem Bakenponor im Haxter Grund

Im Juli 2017 wurde im Haxter Grund südöstlich von Paderborn von einem Anwohner ein im Ellerbach neu entstandener Ponor beobachtet (UTM 32N: 486050, N 5727170). Er erhielt den Namen Bakenponor, der sich von den Baken beziehungsweise Warnschildern ableitet, mit denen die Einbruchsstelle zunächst abgesichert wurde. Da sich der Ponor direkt neben einem Brücken-



Abb. 10: Gesicherter und ausgebauter Bakenponor im Haxter Grund auf der Westseite der Brücke der alten Warburger Straße über den überwiegend trocken liegenden Ellerbach (März 2021).

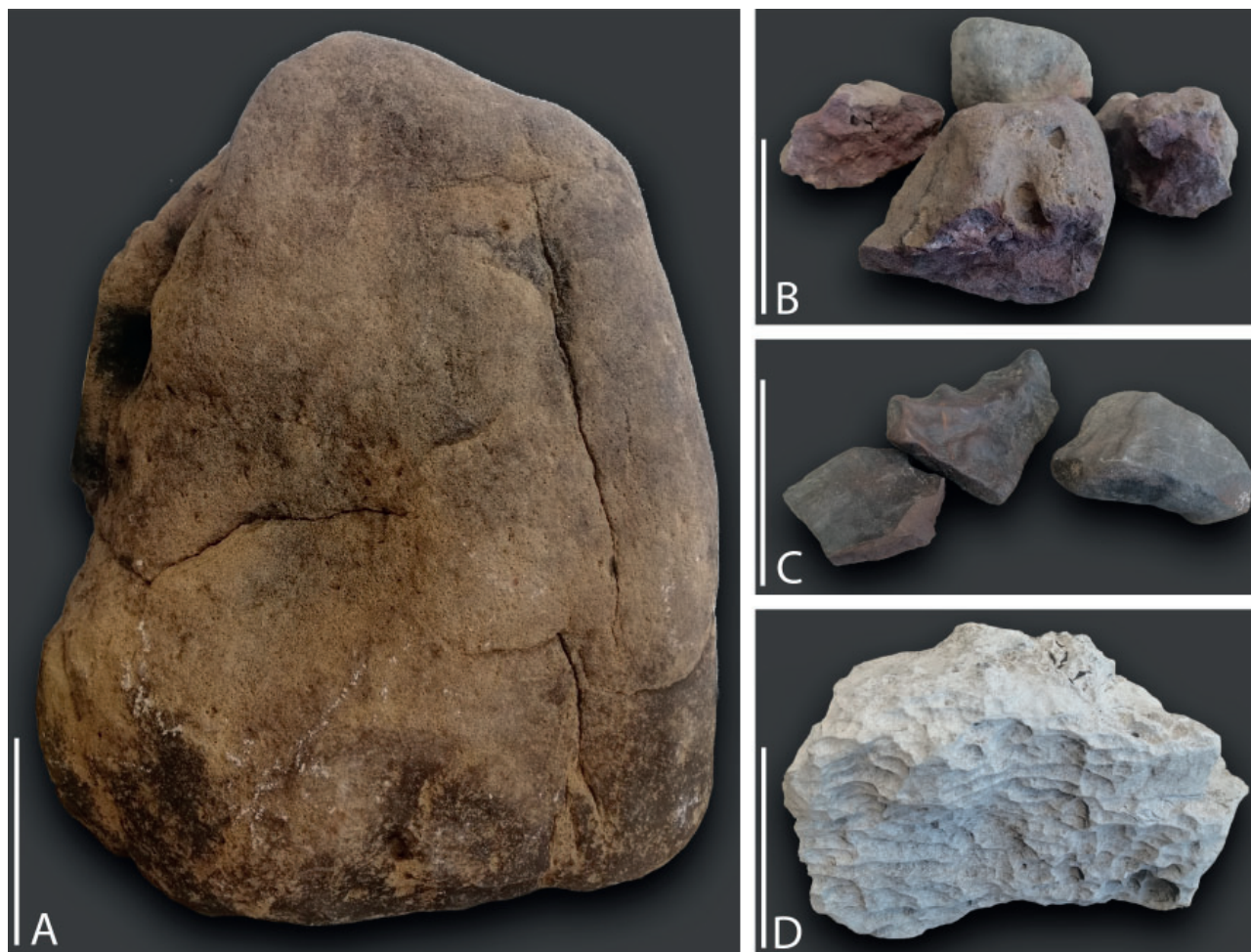


Abb. 11: Gerölle aus dem Bakenponor (Maßstab 10 cm): **A** kantengerundeter bis rundlicher Block aus Osning-Sandstein (43x25x18 cm), **B** unregelmäßig knollige Gerölle aus braurotem bis violetter Gault-Sandstein, stellenweise mit verkieselten Bereichen (vorne), **C** dunkel- bis rotbraune Eisenschwarten, **D** Geröll aus Plänerkalkstein mit starken Lösungserscheinungen auf der Oberfläche

bauwerk der alten Warburger Straße befindet, hatte der Anwohner das zuständige Straßen- und Brückenbauamt verständigt. In Zusammenarbeit mit Höhlenforschern und dem Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen, Krefeld, wurden erste Untersuchungen und eine Grabung in dem an ein Kluftsystem gebundenen Ponor durchgeführt (Thesing 2018). Mittlerweile ist der Ponor durch den Einsatz von Betonringen dauerhaft gesichert, sodass auch weiterhin Forschungsarbeiten möglich sind. Der Einstieg wurde etwa 1 m über dem Bachbett angelegt (Abb. 10).

Der Ponor entstand durch den Einbruch einer bis zu 80 cm mächtigen Überdeckung aus lehmigen und steinigen Bachablagerungen über einem an eine Kluftzone gebundenen, teilweise mit Verbruch gefüllten

Karsthohlraum. Er erreicht eine Tiefe von 6,5 m und weist dort eine Breite von 1,4 m auf. In diesem Bereich liegen kiesige Ablagerungen aus Geröllen von Gesteinen der Unter- und Oberkreide auf festen Kalkstein-Bänken. Zur Tiefe setzen sich zu Spalten erweiterter Klüfte fort. Das bereits seit langem bestehende Karstwassersystem wurde durch heftige Regenfälle zwischen dem 23. und 27. Juli 2017 und dem daraus resultierenden starken Oberflächenabfluss in dem normalerweise trockenen Talabschnitt der Eller reaktiviert.

Während der ersten Untersuchung wurden in dem Ponor neben eingespültem Lehm und Kiesen auch größere Komponenten angetroffen. Sie fanden sich bis zu einer Tiefe von 13 m. Die aus dem Ponor geborgenen Gerölle umfassen die Korngrößenbereiche Kiese, Steine

Tab. 3: Gerölle aus dem Bakenponor westlich von Dahl nach Herkunft, Korngröße und Anzahl.

Gesteinsart	Blöcke > 200 mm	Steine 200 - 63 mm	Grobkies 63 - 20 mm	Mittelkies 20 - 6,3 mm	Feinkies 6,3 - 2 mm	Gesamtzahl der Stücke
Osning-Sandstein	4	11	6	1		22
Gault-Sandstein		11	33	49	8	101
Eisenschwarten		44	21	4		69
Plänerkalkstein	4	7	6	33	58	108

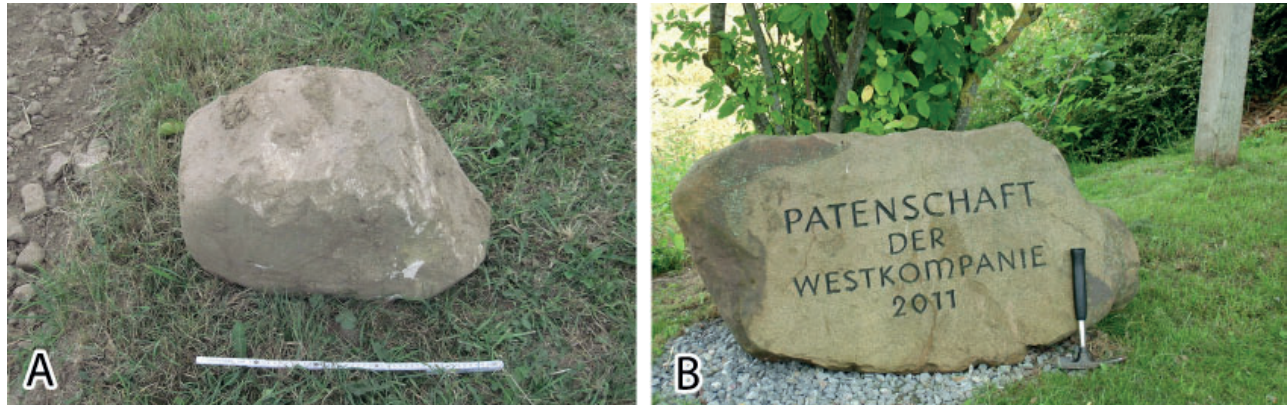


Abb. 12: Blöcke aus Osning-Sandstein aus dem Ellerbachtal in der Nähe des Hofs Ellermeier. **A** Kantengerundeter Block (50x33x20 cm) am Ackerrand auf der linken Talseite etwa 150 m südwestlich des Hofs Ellermeier (Situation September 2020; Foto: G. Römhild, Dörenhagen). **B** Kantengerundeter bis gerundeter Block (155x62x55cm) mit limonitischen Verfärbungen aus dem Acker auf der rechten Talseite etwa 150 m westsüdwestlich des Hofs Ellermeier, aufgestellt am Antonius-Bildstock etwa 1 km westlich von Schwaney.

und Blöcke. Das größte Geröll erreicht einen Durchmesser von 43 cm. Die überwiegende Zahl der Gerölle besteht aus Gesteinen der Unterkreide (Osning-Sandstein, Gault-Sandstein, Eisenschwarten), die im Quellgebiet des Ellerbachs anstehen. Der übrige Teil stammt aus Gesteinen der Oberkreide (Plänerkalksteine), die im übrigen Einzugsgebiet des Ellerbachs verbreitet sind (Tab. 3).

Bei dem größten der im Ponor aufgefundenen Blöcke handelt es sich um einen fein- bis mittelkörnigen gelbbraunen Osning-Sandstein. Der Block mit den Maßen 43x25x18 cm zeigt eine deutliche Abrundung und weist damit auf einen fluviatilen Transport hin (Abb. 11 A). Die anderen Exemplare der Osning-Sandstein-Gerölle zeigen eine vergleichbare Ausbildung. Bei den oft knolligen Geröllen aus Gault-Sandstein handelt es sich um mehr oder weniger poröse, mittel- bis feinkörnigen Sandsteine, die durch Hämatit (Fe_2O_3) intensiv braunrot bis violett gefärbt sind und stellenweise verkieselte Bereiche aufweisen (Abb. 11 B). Eine weitere, besonders in der Kornfraktion 63 bis 200 mm (Steine) sehr stark vertretene Komponente sind die so genannten Eisenschwarten (Abb. 11 C). Sie kommen sowohl im Gault-Sandstein als auch im Osning-Sandstein als gangartige Ausfällungen von Eisenoxiden und -hydroxiden auf Kluft- und Schichtfugen vor. Bei der Verwitterung der Sandsteine bleiben die harten Ausfällungen als krustenartige Stücke zurück, die bei weiterem Zerfall auch scherbige Formen bilden können.

Die Gerölle aus den Plänerkalksteinen der Oberkreide zeigen hauptsächlich unregelmäßig flache Formen, die sich aus der überwiegend flaserigen Struktur der Ursprungsgesteine ableiten. Bei dem in Abb. 11 D dargestellten Geröll handelt es sich hingegen um einen kompakten, nur schwach kantengerundeten Block. Er zeigt nicht mehr die durch einen rollenden Transport erzeugte relativ glatte Außenfläche, sondern eine durch

Lösung hervorgerufene feinskulpturierte Oberfläche mit der Nachzeichnung von Internstrukturen. Dieser Block war vermutlich längere Zeit dem von oben in den Ponor einströmenden frischen Bachwasser ausgesetzt.

Die Frage nach dem Zeitpunkt der Ablagerung der groben Sedimente im Bakenponor kann nicht eindeutig beantwortet werden. Durch die seit Jahrmillionen, seit der Heraushebung der Kalkstein-Schichten gegen Ende der Kreidezeit wirkende Verkarstung der Paderborner Hochfläche werden fortlaufend Klüfte zu Spalten und Hohlräumen erweitert und damit immer wieder Eintrittsstellen für das Oberflächenwasser beziehungsweise neue Ponore in den Bachtälern geschaffen. Bestehende Bachschwinden können im Lauf der Zeit durch das in den Bächen besonders nach Hochwässern mitgeführte organische Material (Bäume, Äste, Gräser und Kräuter) verstopft und überschottert, zu einem späteren Zeitpunkt aber auch wieder geöffnet werden. Die im Bakenponor vorgefundenen Schotter sind mit Sicherheit schon lange vor seiner Entdeckung oder Reaktivierung im Jahr 2017 in den Untergrund eingetragen worden. Einen entsprechenden Hinweis liefert auch das große Plänerkalkstein-Geröll (Abb. 11 D), das aufgrund der Lösungserscheinungen über lange Zeit frisch einströmendem Wasser ausgesetzt war. Eine genaue Alterseinstufung der Schotterfüllung oder eine Zuordnung zu einem bestimmten Ereignis ist derzeit nicht möglich. Vielleicht ergeben sich bei zukünftigen Forschungsarbeiten in dem unterirdischen Abflusssystem eindeutige Hinweise auf die Bildungszeit der Schotterfüllung.

Sandsteinblöcke im Ellerbachtal zwischen Schwaney und Dahl
Im Mittellauf des Ellerbachs sind in letzter Zeit mehrere Blöcke aus Osning-Sandstein bekannt geworden (persönliche Mitteilungen von Georg Römhild, Borch-Dörenhagen, 02. und 17.07.2021). Im Herbst 2020 hat ein Landwirt einen Block mit 50 cm Durchmesser

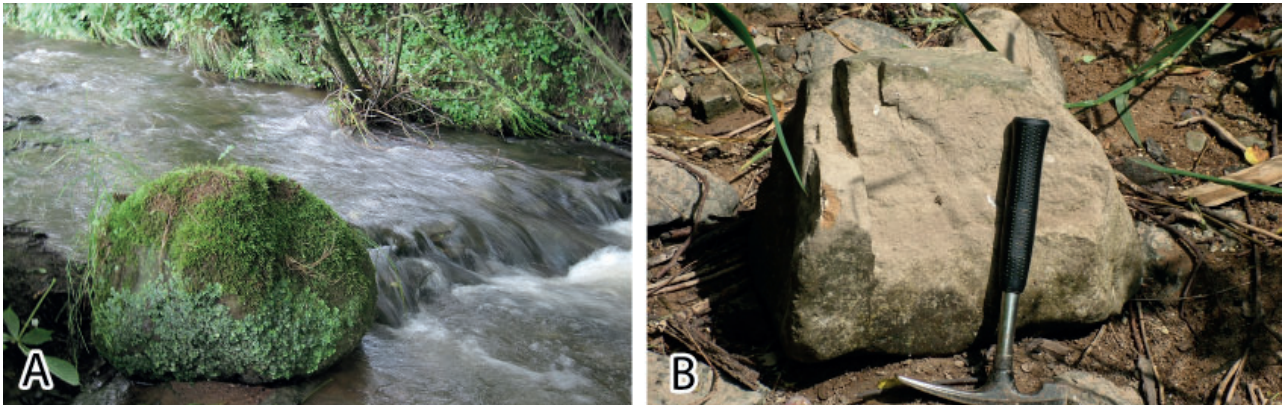


Abb. 13: Blöcke aus Osning-Sandstein im Ellerbach südwestlich des Hofs Ellermeier. **A** Gut gerundeter Block (85x60x60 cm) etwa 450 m unterhalb des Hofs Ellermeier (Foto: G. Römhild, Dörenhagen), **B** Kantengerundeter und stellenweise von Kluftflächen begrenzter Block (25x25x15 cm) ca. 750 m unterhalb des Hofs Ellermeier.

auf einem Acker auf der linken Talseite des Ellerbachs aus etwa 70 cm Tiefe gehoben und zunächst am Acker- rand gelagert (Abb. 12 A). Der Fundpunkt (UTM 32N: O 493360, N 5728710) liegt etwa 50 m bachabwärts von der Brücke über den Ellerbach in der Nähe des Hofes Ellermeier. Der Block wurde kurze Zeit später neben kleineren Blöcken und Steinen aus früheren Funden an der Böschung auf der rechten bachabwärts gelegenen Seite der Brücke abgelegt.

Bereits um 2010 wurde auf dem Acker auf der gegenüber liegenden nordwestlichen Talflanke ein besonders großer, etwa 1,5 m langer Sandsteinblock gefunden. (UTM 32 N: O 493270, N 5728805). Es handelt sich um bräunlich-grauen Osning-Sandstein mit unregelmäßigen dunkelbraunen, an Kluft- und Schichtflächen gebundenen Limonitauflagerungen. Der Block wurde bald nach seiner Bergung etwa 1,3 km weiter nordöstlich an dem zur Gemeinde Schwaney gehörenden Antonius-Bildstock als Gedenkstein abgelegt (Abb. 12 B).

Weitere Blöcke von Osning-Sandstein befinden sich talabwärts vom Hof Ellermeier direkt im Bett des Ellerbachs. Ein größerer rundlicher Block (85x60x60 cm, Abb. 13 A) liegt ca. 450 m südwestlich vom Hof Ellermeier (UTM 32N: O 493138, N 5728461). Etwa 750 m vom Hof Ellermeier entfernt (UTM 32N: O 492990, N 5728160) folgt ein kleinerer eckiger, schwach kantengerundeter Block (25x25x15 cm, Abb. 13 B). In seiner Nähe kommen weitere Blöcke und Steine aus Osning-Sandstein vor. Gut 1100 m unterhalb von Hof Ellermeier (UTM 32N: O 492805, N 5727875) liegen zwei Blöcke nebeneinander im Bachbett, ein mehr runder (55x45x30 cm) und ein eckig-plattiger Block (75x45x20 cm).

Die Fundstelle des im Jahr 2020 auf der linken, südöstlichen Talflanke des Ellerbachs geborgenen Blocks liegt ca. 0,5 m über der an den Bachlauf grenzenden Talfläche. In diesem Bereich wurde der Eller-

bach allerdings begradigt und dabei der Uferbereich auf beiden Seiten leicht aufgehöht. Der Block und die in der Umgebung der Fundstelle auffallend starke Bestreuung des Ackers mit Kiesen und auch Steinen deuten auf eine Lage mit hohem Anteil an groben Geröllen hin. Es handelt sich vermutlich um das Äquivalent der am Alten Forsthaus im Beketal beobachteten Blocklage (s. Abschnitt 4). Auch die Fundstelle des großen Blocks auf der rechten, nordwestlichen Flanke des Ellerbachtals liegt auf einem Acker, der sich um 0,5–1 m über die zum Bachlauf anschließende Fläche erhebt.

In beiden Fällen scheint es sich um das Niveau der Älteren Niederterrasse zu handeln. In die ca. 200 m breite, relativ ebene Oberfläche der Talfüllung ist ein etwa 50 m breiter Streifen um ca. 1 m eingesenkt, in dem auch der Ellerbach fließt. Es handelt sich dabei um die jüngste Talstufe, die Auenterrasse. Etwa 1 km unterhalb des Hofs Ellermeier zeigt das Ellerbachtal ein stärkeres Relief. Das Niveau der Auenterrasse liegt dort 2–2,5 m tiefer als das der Älteren Niederterrasse.

Große Sandsteingerölle in einem Quellbach der Eller

Es gibt noch eine weitere Stelle im Tal des Ellerbachs, an der große Gerölle oder Blöcke aus Osning-Sandstein nachgewiesen wurden. Sie befindet sich an einem Quellbach der Eller, der im Rauen Grund östlich von Schwaney entspringt und sich nach zwei Kilometern im Ort Schwaney mit dem von Süden kommenden Hauptbach vereinigt.

Die Stelle liegt am Ostrand des Ortes, dort wo die in Nord-Süd-Richtung verlaufende Ortsumgehung (L 828) diesen Quellbach und den auf seinem südlichen Talhang verlaufenden Diekweg quert (UTM 32N: 496040, N 5729100). Zur Erkundung des Baugrundes für das Brückenbauwerk, mit dem die Ortsumgehung über den Diekweg geführt wird, wurden im Jahr 1966 Kernbohrungen durchgeführt. In den überwiegend

lehmig-kiesigen Lockersedimenten der Talfüllung wurden häufiger einige Dezimeter lange Kernstrecken aus gelbbraunem Sandstein erbohrt, die eindeutig auf große Gerölle (Steine und Blöcke) aus Osning-Sandstein hinweisen. Leider existieren zu diesen Befunden keine schriftlichen Berichte oder Gutachten mehr. Die Angaben stammen vom zweiten Autor, der damals die Bohrarbeiten für die Brückenbauwerke überwacht und die Bohrungen aufgenommen hat.

6 Ursprung und Transportweiten der großen Gerölle

Verhältnisse im Beketal

Der von Süden kommende Oberlauf der Beke nimmt im Ort Altenbeken den von Norden zufließenden Sagebach auf; gemeinsam setzen sie dann den Lauf in südwestlicher Richtung fort (Abb. 2). Die in Altenbeken und in der Blocklage beim Alten Forsthaus Durbeke auftretenden Blöcke aus Osning-Sandstein sind allerdings nur über den von Süden kommenden Arm zugeführt worden. Sie stammen aus den Bachtälern beziehungsweise Talgründen, die von Südosten her in das gut drei Kilometer lange Tal der oberen Beke einmünden. Diese zwischen fünfhundert und tausend Meter breiten und etwa 2,5 km langen Seitentäler ziehen bis zur Kammlinie des Eggegebirges herauf und erschließen die gesamte Schichtenfolge der Unterkreide von der Flammenmergel- über die Kleinenberg- bis zur Osning-Formation. Der 4,5 km lange Zufluss von Norden, der Sagebach, weist keine Nebenbäche aus dem Eggegebirge auf und erreicht somit nur die Flammenmergel- und die Kleinenberg-Formation sowie Kalkmergelsteine der Oberkreide.

In den zur oberen Beke auslaufenden Talgründen bildet der Osning-Sandstein deutliche Schichtstufen. Er ist im unteren Teil massig bis grobbankig, im höheren Teil bankig bis feinkbankig ausgebildet (Speetzen 1970). Besonders während der kalten Perioden der Weichsel-Zeit wurden an den Außenrändern der Schichtstufen durch Frostsprengung große Mengen an Gesteinsschutt und auch große durch Kluft- und Schichtfugen vorgezeichnete Gesteinsblöcke gelöst und durch gravitativen Transport (Abstürzen oder Gleiten) sowie durch Solifluktion in die Talgründe befördert. In Abhängigkeit von der Transportkraft der Abflüsse, insbesondere der aus der frühlommerlichen Schneeschmelze während der Kaltphasen der Weichsel-Zeit, wurden Gesteinsstücke bis zu der Korngrößenfraktion Steine weiter talabwärts transportiert und in der Niederterrasse als Gerölle abgelagert. Die Blöcke blieben zunächst an den Hangfüßen und in den Talgründen liegen. Erst durch besondere Ereignisse, die mit einer erheblichen Steigerung des Oberflächenab-

flusses verbunden waren, wurde der Anteil der Blöcke mit Durchmessern bis zu etwa einem Meter weiter bis in das Haupttal der Beke verfrachtet.

Von den Talgründen bis in den Ort Altenbeken und bis zum Zusammenfluss von Beke und Sagebach haben die Sandsteine-Blöcke Transportwege zwischen etwa 1,8 km und maximal 3,6 km zurückgelegt. Von Altenbeken bis zum Vorkommen der Blocklage am Alten Forsthaus Durbeke sind es nochmals 2,5 km. Die Osning-Sandstein-Gerölle aus der Blocklage weisen somit Transportweiten von gut 4–6 km auf. In der etwa 7 km weiter bachabwärts beginnenden Marienfelder Schotterebene beziehungsweise in dem Bereich der ca. 8 km entfernten ehemaligen Kiesgruben scheinen Blöcke aus Osning-Sandstein nicht mehr vorzukommen (Greving 1981, Skupin 1982).

Nach bisherigen Beobachtungen handelt es sich bei den Blöcken im Beketal ausschließlich um Osning-Sandstein. Größere Gerölle aus der Flammengel- und der Kleinenberg-Formation fehlen. Die Ursache liegt darin, dass die entsprechenden Gesteine deutlich geschichtet sind und deshalb kaum große Blöcke liefern können. Zudem sind die Gesteine, abgesehen von den verkieselten Bereichen, im Allgemeinen nicht so fest wie der Osning-Sandstein.

Daraus ergibt sich, dass der Osning-Sandstein bei der Verwitterung „in große gerundete Blöcke“ und der Gault-Sandstein „in kleine Brocken und Grus“ zerfällt (Stille 1935, S. 10).

Verhältnisse im Ellerbachtal

Das Abflusssystem des Ellerbachs beginnt, wie bei der Beke, ebenfalls mit zwei mehr oder weniger parallel zum Schichtstreichen verlaufenden Armen, die sich in Schwaney vereinigen. Von dort setzt sich der Abfluss quer zum Streichen der Schichten nach Westen fort (Abb. 2). Im Gegensatz zur Beke nehmen aber beide Arme, sowohl der von Südosten kommende, etwa 4 km lange Oberlauf des Ellerbachs als auch der von Nordosten zufließende, ca. 3,5 km lange Rotebach, Zuflüsse aus den in östlicher oder südöstlicher Richtung verlaufenden und bis zum Eggekamm reichenden Tälern auf.

Diese Täler sind mehr oder weniger breit in den Schichten der Unterkreide angelegt. Sie weisen Längen zwischen 2,8 und 4 km und Breiten zwischen 400 und 2000 m auf. Dazu gehört auch der bereits erwähnte Raue Grund östlich von Schwaney, ein schmaler und langer Talzug mit einer Länge von 3,4 km und einer Breite zwischen 400 und 600 m. Wegen eines erosionsbedingten Auskeilens der Flammenmergel-Formation nach Süden (Speetzen 2005) stehen südöstlich von Schwaney nur noch Gesteine der Kleinenberg- und

der Osning-Formation an, stellenweise bei flacherem Einfallen in weitflächiger Verbreitung.

Die Transportentfernung zwischen den Vorkommen von Osning-Sandstein in den Tälern östlich von Rotebach und Ellerbach und dem Zusammenfluss dieser Bäche in Schwaney liegt zwischen 1,0 und 2,8 km. Vom Zusammenfluss bis zu den Vorkommen am Hof Ellermeier sind es etwa 2,5 km. Die dort abgelagerten Blöcke aus Osning-Sandstein haben somit einen Transportweg von 3,5–5,3 km zurückgelegt. Vom Hof Ellermeier bis zum Bakenponor sind es etwa 9,5 km. Die im Bakenponor vorgefundenen Gerölle aus Osning-Sandstein haben demnach einen Transportweg von 13–15 km hinter sich.

Vergleichende Aussagen zum Gerölltransport

Die im Beketal beobachteten Blöcke aus Osning-Sandstein zeigen Werte für den größten Durchmesser von 35–80(–100) cm im Ort Altenbeken und von 30–100 cm am Alten Forsthaus Durbeke. Damit scheint der um 2,5 km längere Transportweg bis zum Vorkommen am Alten Forsthaus keinerlei Auswirkungen auf die Größe der Gerölle gehabt zu haben. Das spricht für einen einheitlichen schnell ablaufenden Transportvorgang.

Die im Ellerbachtal in der Nähe des Hofes Ellermeier gefundenen Blöcke aus Osning-Sandstein haben Durchmesser von 25–155 cm und entsprechen damit in der Größenordnung den Blöcken aus dem Beketal. Die aus dem Bakenponor geborgenen Blöcke zeigen nur maximale Durchmesser von 20–43 cm. Sie sind also bedeutend kleiner als die Blöcke aus dem Bereich des Hofes Ellermeier. Die geringere Größe lässt sich mit dem etwa dreimal so langen Transportweg der Osning-Sandstein-Gerölle erklären (Hof Ellermeier: 3,5–5,3 km, Bakenponor: 13–15 km).

Die übrige Geröllfracht aus dem Ponor entspricht sowohl von der Materialzusammensetzung her als auch nach der Korngrößenverteilung den Niederterrassen-Ablagerungen in der Marienloher Schotterflur im Unterlauf der Beke. Diese Übereinstimmung korrespondiert mit der vergleichbaren Lage der Vorkommen im jeweiligen Abflusssystem beziehungsweise mit der nahezu identischen Distanz zu den Quellregionen von 12–14 und 13–15 km. Bei einem Teil der Gerölle des Bakenponors spricht also alles für eine normale Schotterfracht des Ellerbachs, die sich im Lauf der Zeit in dem Ponor angesammelt hat. Nur die ungewöhnlich großen Sandsteingerölle beziehungsweise die Blöcke aus Osning-Sandstein fallen aus dem Rahmen und sind einem anderen Transportgeschehen zuzuordnen, das vermutlich in sachlichem und auch zeitlichem Zusammenhang mit der Bildung der Blocklage im Beketal steht.

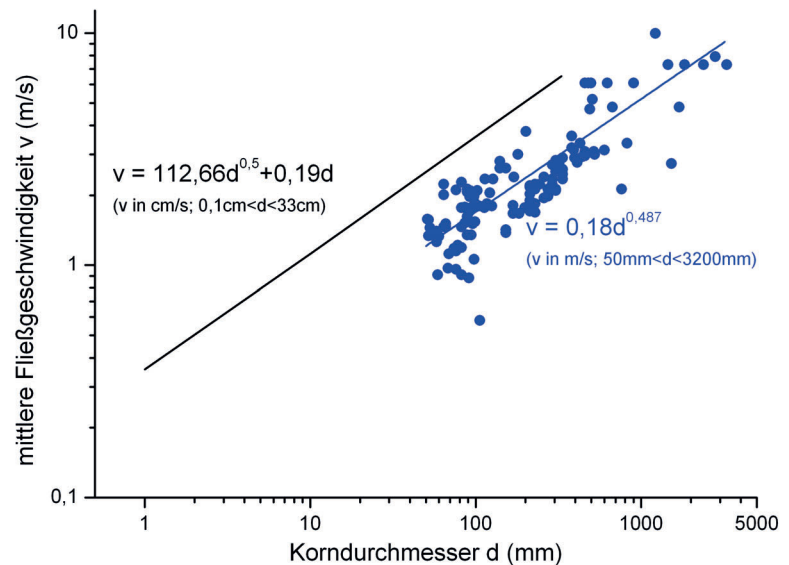
7 Mögliche Ursachen für Erosion, Transport und Ablagerung der großen Gerölle

Ausbrüche von Eisstauseen

Um Sandstein-Blöcke der im Beke- und Ellerbachtal beobachteten Größe über längere Strecken zu transportieren, bedarf es großer Wassermassen mit hoher Strömungsgeschwindigkeit. Derartige extreme Abflussverhältnisse treten beispielsweise bei Dammbrüchen an Stauseen oder auch bei Ausbrüchen von natürlichen Eisstauseen auf. Während der Saale-Zeit hat es im Weserbergland östlich des Eggegebirges einen Eisstausee gegeben. Er bildete sich vor dem Rand des von Norden her bis in den Oberweserraum vorstoßenden Inlandeises (Thome 1983, Winsemann & Lang 2020). Die Höhe des Wasserspiegels dürfte zeitweilig mehr als 200 m über NHN gelegen haben, hat aber wohl nie den Wert von 350 m über NHN erreicht, ab dem erst ein Abfließen des Sees über die Pässe des Eggegebirges nach Westen möglich gewesen wäre. Für die Inlandvereisung während der Elster-Zeit nimmt Thome (1983: Abb. 1) ähnliche Konstellationen an. Die Darstellung, insbesondere die Außengrenze des elsterzeitlichen Inlandeises und sein Angrenzen an das nördliche Eggegebirge, sind allerdings nicht bewiesen und eher unwahrscheinlich. Sie beruhen ausschließlich auf theoretischen Erwägungen und werden nicht durch gesicherte Daten gestützt. Die Verfrachtung der großen Blöcke aus Osning-Sandstein vom Kammbereich des Eggegebirges bis in die nach Westen gerichteten Täler von Beke und Ellerbach wird daher mit großer Wahrscheinlichkeit nicht durch Ausbruchsfuten von Eisstauseen erfolgt sein.

Diese Aussage wird durch die Tatsache gestützt, dass auf den höher gelegenen, vermutlich saale- und elsterzeitlichen Terrassenniveaus im Bereich der Täler von Beke und Ellerbach keine größeren Blöcke aus Osning-Sandstein bekannt geworden sind. Nur östlich des Redinger Hofes, etwa 1 km nördlich von Neuenbeken, wurde um 2010 in einem 30 m über dem heutigen Beketal gelegenen, sehr wahrscheinlich elsterzeitlichen Niveau ein ca. 1 m großer Sandsteinblock entdeckt und geborgen. Allerdings ist über die Art des Sandsteins und den Verbleib des Blockes nichts mehr bekannt (persönliche Mitteilung von Hans Walter Wichert, 14.8.2020). Dieser Block könnte durch Drifttransport auf einem westlich des Eggegebirges entstandenen Eisstausee in seine Lage gekommen sein. Während der Maximalausdehnung des Inlandeises der Saale-Zeit bestand zeitweilig auch im SO-Winkel der Westfälischen Tieflandsbucht zwischen dem Rand des Inlandeises und den südlich und östlich gelegenen Höhen ein Eisstausee mit einer Spiegelhöhe von etwa 365 m über NHN. Auf diesem See wurden durch treibende Eisberge

Abb. 14: Zusammenhang zwischen Korndurchmesser erodierter Sedimente und der Fließgeschwindigkeit des Wassers mit Regressionsgeraden nach Hjulström (links) und Costa (rechts) (nach Herget 2012, verändert)



zahlreiche Kristallingesteine nordischen Ursprungs nach Süden über die eigentliche Vereisungsgrenze hinaus verfrachtet und auf den Höhen der Paderborner Hochfläche abgesetzt (Herget 1998).

Schichtfluten nach Starkregenereignissen

Die Verfrachtung der Osning-Sandstein-Blöcke von ihrem Ursprung im Eggegebirge bis in die Täler von Beke und Ellerbach wird sehr wahrscheinlich mit lokalen Wetterereignissen mit extremen Niederschlägen und stark erhöhtem Oberflächenabfluss in Zusammenhang stehen. Das Transportvermögen eines Flusses oder Bachs wird durch das Gefälle und den Querschnitt des Gerinnes sowie durch die Wassertiefe und die Abflussmenge bestimmt. Für Erosion, Transport und Sedimentation klastischer Partikel ist die Fließgeschwindigkeit von entscheidender Bedeutung. Für den Korngrößenbereich vom Feinstkorn bis zur Kiesfraktion gilt das Hjulström-Diagramm (Abb. 3). Für die Kornfraktionen Steine und Blöcke zeigt die dem Diagramm zugrundeliegende Regressionsgerade (Abb. 14, links) höhere Fließgeschwindigkeiten, als sie für Erosion und Transport dieser Komponenten tatsächlich erforderlich sind (Herget 2012). Deshalb wurde für die gröberen Fraktionen eine neue empirische Funktion abgeleitet, für die neben physikalischen Gesetzmäßigkeiten und Kenngrößen vor allem Erfahrungswerte aus Geländebefunden Berücksichtigung fanden (Abb. 14, rechts). Aus der entsprechenden Regressionsgeraden ergeben sich für Blöcke mit Durchmessern von 20 cm und 100 cm Werte für die zum Transport notwendige Fließgeschwindigkeit von etwa 2,5 m/s und 5,0 m/s. Der letzte Wert liegt doppelt so hoch wie der für die Bildung der Niederterrasse angenommene Maximalwert (s. Abschnitt 3). Da die kinetische Energie einer fließenden Wassermenge mit dem Quadrat der Geschwindigkeit korreliert, nimmt bei verdoppelter

Geschwindigkeit die Transportkraft des Wassers um das Vierfache zu.

Neben der Funktion von Korngröße und Fließgeschwindigkeit ist der Gerölltransport weiterhin abhängig von der Art des Fließens. So wird beim turbulenten Fließen, bei dem das Wasser infolge der Umströmung von Hindernissen wie z. B. Geröllen Wirbel bildet, ein zusätzlicher Auftrieb für die Gerölle erzeugt. Der Transport der Geröllfracht erfolgt dabei meist in kleinen Schüben während einzelner Hochwasserereignisse um jeweils einige Meter oder Zehnermeter von einer Schotterbank im Flussbett zur nächsten. Größere Transportentfernungen während eines einzelnen Ereignisses sind selten und – abgesehen von großen, wasserreichen und schnell fließenden Flüssen – auf extreme Abflussverhältnisse beschränkt. Hochenergetische Abflüsse mit heftigen Turbulenzen und starken Auftriebskräften können auch große Blöcke in Schwebe halten. Je nach örtlichen Gegebenheiten weisen diese Abflüsse oft hohe Anteile an feinkörnigen Sedimenten wie Ton, Schluff und auch Sand auf und erreichen dadurch eine höhere Dichte und eine größere Tragkraft als reines Wasser. Zudem verringert die feinkörnige Matrix den internen Reibungswiderstand in dem Gemisch aus Wasser und Gesteinskomponenten unterschiedlichster Größe. Derartige aus extremen Niederschlags- und Abflussverhältnissen resultierende Schlamm- und Schuttströme scheinen für den Transport der großen Blöcke aus Osning-Sandstein und für die Bildung der Blocklage im Beketal verantwortlich zu sein (Dikau et al. 2019, Schäfer 2020).

Modellunwetter von 1965

Unwetter mit Überschwemmungen sind in den Tälern der Paderborner Hochfläche und dem angrenzenden Lippetal in den vergangenen Zeiten relativ häufig aufgetreten (Herget & Schlömer 2015). Besonders schwere



Abb. 15: Während des Unwetters im Juli 1965 gebildete Decke aus Steinen und Blöcken am westlichen Ende des Minstales südlich von Etteln (aus Mrass, Lohmeyer & Olschowy 1966).

Ereignisse verzeichnet die Dahlemer Chronik für das Jahr 1738 und auch für die letzten Tage im Mai 1931. Ein Beispiel für ein Unwetter mit heftigen und ausgiebigen Niederschlägen und einem verheerenden Abfluss, der auch zur Verlagerung großer Gesteinsblöcke führte, stellt das gut dokumentierte Wettergeschehen vom Juli 1965 dar. „Nach stärkeren, doch zunächst nur vereinzelt aufgetretenen Regenfällen kam es am 15. und 16. Juli 1965 über Nordhessen, dem östlichen Westfalen und strichweise auch dem südlichen Niedersachsen zu schweren Gewittern und Wolkenbrüchen, die in kürzester Zeit harmlose Bäche in reißende Flüsse verwandelten“ (Roschke 1967, S. 102).

In einem schmalen, nur etwa 7 km breiten Streifen, der sich von Paderborn über 20 km nach Süden und Südosten über die Paderborner Hochfläche erstreckte, fielen in der Zeit zwischen dem 14. Juli (7 Uhr) und dem 17. Juli (7 Uhr), also in 72 Stunden, etwa 200 mm Niederschlag (Karrenberg 1968). Örtlich wurde dieser Wert noch deutlich überschritten. Östlich dieses Streifens nahm die Niederschlagshöhe sehr schnell ab und lag im Eggegebirge nur noch bei 100–150 mm.

Größere Erosionsschäden auf der Paderborner Hochfläche gab es erst 12 km südlich von Paderborn, beziehungsweise 2 km südlich von Etteln im Minstal, einem von Osten in das Tal der Altenau mündenden Trockental. Dort entstand eine 1,5 km lange und bis

zu 5 m tiefe Rinne, die bis in die Kalk- und Kalkmergelsteine der Oberkreide reichte (Karrenberg 1968). Aus der Rinne ist nicht nur Lockermaterial ausgespült worden, es wurden auch große Felsblöcke erodiert und Richtung Altenautal transportiert (Abb. 15). Als Ursache wird ein lokaler Wolkenbruch angenommen, bei dem in kürzester Zeit eine Regenmenge von über 150 l/m² fiel. Vergleichbare Erosionsschäden wurden auch im südlichen Teil der Paderborner Hochfläche beobachtet (Zezschwitz 1967).

Östlich von Paderborn, im Raum Neuenbeken, Altenbeken und Buke, hat es keinerlei Erosionsschäden gegeben, im Einzugsgebiet des Ellerbachs sind die Schäden relativ gering geblieben. Eine Ausnahme stellt der Ort Schwaney dar. Er wurde von Hochwasser betroffen. „Am 14. Juli gab es ein längeres, mittelschweres Gewitter mit schauerartigem Regen. Am 15. Juli folgte ein neues Gewitter mit heftigen Regenschauern. Am Morgen des 16. Juli kamen schwere Wolkenbrüche, die einige Stunden anhielten und alle Bäche des Dorfes im wahrsten Sinne des Wortes zu reißenden Flüssen werden ließen“ (Auszug aus der handschriftlichen Chronik für 1965, S. 106, des damaligen Schwaneyer Heimatpflegers und Chronisten Heinz Küting). Am Ostrand von Schwaney bildeten sich in den Ausgängen des Rauhen Grundes und des Bodentals tiefe Erosionsrinnen. Vermutlich haben die Niederschläge in

einem begrenzten Bereich östlich des Ortes die Menge von 100 l/m² weit überschritten und sind in sehr kurzer Zeit gefallen (Karrenberg 1968). Der extreme Abfluss löste die Erosionen aus und führte zur Überflutung des Ortes.

Die hier beschriebenen Verhältnisse eines „Jahrhundertunwetters“ mit lang andauernden Starkregen und entsprechend hohen Abflüssen, die starke Erosionen verursachten und die Umlagerung großer Gesteinsblöcke bewirkten, können als Modellfall für die Ereignisse dienen, die zur Bildung der Blocklage im Beketal vor etwa 13.300 Jahren führten.

Das Paläohochwasser im Beketal vor ca. 13.300 Jahren

Im Übergang von der Älteren Dryas-Zeit, der vorletzten Kaltphase der Weichsel-Zeit, in die Warmphase des Alleröd-Interstadials veränderte sich das Landschaftsbild. Die kaltzeitliche Tundra wechselte durch das allmähliche Aufkommen von Sträuchern und ersten vereinzelter Bäume ihr Aussehen zu einer sogenannten Strauch- und Parktundra. Dabei dürfte die Veränderung des Vegetationsbildes wegen der erforderlichen Zeit für die Wiedereinwanderung der Flora erst zeitlich verzögert zur klimatischen Erwärmung eingesetzt haben. In dem frühen Abschnitt des Alleröd, in den das zur Bildung der Blocklage führende Starkregenereignis einzuordnen ist (s. Abschnitt 4), hat wahrscheinlich noch eine weitgehend offene Landschaft bestanden. Das außerordentliche Niederschlagsgeschehen muss in kurzer Zeit extrem hohe Regenmengen geliefert haben. Der geringe Bewuchs setzte dem oberflächlichen Abfluss kaum Widerstand entgegen und ließ die Niederschläge nahezu ungehindert von den Höhen in die Täler abfließen. Die damalige Situation im Raum Altenbeken dürfte den Verhältnissen im Bereich Schwaney während des Unwetters im Jahr 1965 ähnlich gewesen sein.

Der Schwerpunkt der heftigen Niederschläge hat wahrscheinlich auf der Westabdachung des Eggegebirges gelegen. Die NW-SO-ausgerichteten Täler führten die gesammelten Niederschläge sehr schnell von der zwischen 400 und 430 m über NHN liegenden Kammlinie des Eggegebirges in die in Höhen von 300 bis 270 m über NHN verlaufende oberen Beke ab. Hier sind besonders das südöstlich von Altenbeken gelegene Tal des Driburger Grunds und die nach Süden folgenden Täler Appelbaumsgrund und Hossengrund zu nennen. Sie weisen Längen zwischen 2,3 und 2,9 km auf, das durchschnittliche Gefälle liegt bei 40–60 m pro Kilometer.

Besonders in dem flaschenförmigen Driburger Grund mit dem engen Ausgang wirkte der konzentrierte Abfluss stark erosiv, spülte das Feinmaterial aus und riss Gesteinsblöcke bis zu einer bestimmten Größe mit

sich. Im Zentrum von Altenbeken wird der aus dem oberen Beketal abfließende Schlamm- und Blockstrom durch den von Norden über den Sagebach kommenden Abfluss aus dem nördlichen Eggegebirge verstärkt. Durch diese zusätzliche Wassermenge konnte das erodierte und aus den Hangschuttfächern aufgenommene Gesteinsmaterial weiterhin in Schwebelage gehalten und bis in den Bereich des ehemaligen Forsthauses Durbeke transportiert werden. Erst dort hatten infolge der allmählichen Verringerung des Gefälles und der Verbreiterung des Beketals die Fließgeschwindigkeit und die Transportkraft des Gemisches aus Wasser, Matrix und Gesteinsmaterial soweit abgenommen, dass die großen Blöcke aus Osning-Sandstein abgelagert wurden.

Auch im Bereich Schwaney hat das Unwetter des Alleröd-Interstadials vermutlich große Auswirkungen gehabt. Der Ablauf wird ähnlich wie bei dem Unwetter von 1965 gewesen sein. Der starke Abfluss aus den östlich angrenzenden Tälern führte Lockermaterial und auch große Blöcke von Osning-Sandstein mit sich. Sie sind zum Beispiel am Ausgang des Rauen Grundes in Bohrungen nachgewiesen (s. Abschnitt 5). Auch im Ortskern von Schwaney sind im Bereich der Talzüge von Ellerbach und Rotenbach Blöcke von Osning-Sandstein zu erwarten. Derartige Funde wurden bisher aber nicht beschrieben. Erst etwa 2,5 km unterhalb von Schwaney, im Bereich des Hofs Ellermeier, sind entsprechende Blöcke im Tal des Ellerbachs entdeckt worden. Weitere Funde stammen aus dem 9,5 km weiter bachabwärts am Beginn des Haxter Grunds gelegenen Bakenponor.

Die großen Gerölle aus Osning-Sandstein wurden vermutlich während des Alleröd-zeitlichen Unwettergeschehens über weite Strecken im Ellerbachtal abgelagert und wahrscheinlich auch schon in die Karstspalten am Haxtergrund eingespült (s. Abschnitt 5). Aber auch später noch können im Lauf der fortschreitenden Verkarstung des Untergrundes zunächst im Tal abgesetzte Gerölle durch neu gebildete Öffnungen in das Karstsystem eingetragen worden sein.

Nimmt man für den durch das Unwetter vor ca. 13.300 Jahren ausgelösten Blockstrom eine Fließgeschwindigkeit von 5 m/s beziehungsweise von 18 km/h an, würde der Strom im Beketal vom Zusammenfluss in Altenbeken bis zum Alten Forsthaus Durbeke etwa 8 Minuten gebraucht haben. Im Ellerbachtal hätte der Strom die Strecke von Schwaney bis zum Hof Ellermeier in der gleichen Zeit zurückgelegt und würde bis zum Bakenponor weitere 32 Minuten benötigt haben. Es spricht viel dafür, das Auftreten der großen Gerölle aus Osning-Sandstein im Tal des Ellerbachs und im Kluftsystem des Bakenponors ebenfalls mit dem Ereignis des Alleröd-zeitlichen Unwetters in Verbindung zu bringen.

Diese Ansicht lässt sich nach dem bisherigen Erkenntnisstand zwar nicht beweisen, sie stellt aber ein in sich schlüssiges Gesamtbild dar.

Das Paläohochwasser des Alleröd hat aber nicht nur das Beke- und Ellerbachtal überflutet. Die gewaltigen Wassermassen haben sich über die Beke und über den Ellerbach und die Alme bis in die Lippe ausgebreitet (Abb. 2) und dürften im Lippetal zu einem extremen Hochwasser geführt haben. Die Ur-Lippe floss während der Weichsel-Zeit bei Lippstadt, etwa 25 km westlich von Paderborn, nach Norden in Richtung des heutigen Emstals. Erst gegen Ende der Weichsel-Zeit brach sie nach Westen durch und fand Anschluss an den Rhein (Lenz & Skupin 2002). Es ist nicht unwahrscheinlich, dass das beschriebene Hochwasserereignis des Alleröd auch die Ursache für den Durchbruch der Lippe nach Westen gewesen ist.

8 Fazit

In der heutigen Zeit hätte das Hochwasser von vor 13.300 Jahren im Bereich der Beke und des Ellerbachs den Katastrophenfall ausgelöst. Stärker noch als das Unwetter von 1965 hätte es gewaltige Zerstörungen der Infrastruktur wie Unterspülungen von Straßen und Eisenbahnlinien, Wegreißen von Brücken und Häusern und Verwüstungen in der Landschaft durch Entwurzelung von Bäumen, Unterspülung und Rutschungen von Hängen, Ausspülung von Rinnen und Ablagerungen von Schlamm und Schotterdecken hervorgerufen. Darüber hinaus hätte das Unwetter vermutlich auch sehr viele Menschenleben gekostet.

Genau dieses Szenario ist am 14. und 15. Juli 2021 in Teilen von NRW und Rheinland-Pfalz abgelaufen. Nach sintflutartigen Regenfällen ergossen sich besonders im Sauerland und Bergischen Land, in der Eifel und an der Ahr gewaltige Schichtfluten in die Täler und ließen innerhalb kürzester Zeit selbst kleine Bäche zu reißenden Flüssen anschwellen. Die abfließenden Wassermassen richteten verheerende Zerstörungen in den Städten und Gemeinden dieser Regionen an und forderten über 180 Todesopfer. Die Beseitigung der Schäden dürfte Jahre in Anspruch nehmen.

Die Beschreibung des während des Alleröd in den Tälern von Egge und Paderborner Hochfläche abgelaufenen Unwetters mit seinen Auswirkungen auf die Landschaft hat somit nicht nur eine erdgeschichtliche und urgeschichtliche Bedeutung, sondern steht auch in einem deutlichen Bezug zur aktuellen Situation. Für die damaligen Menschen, die als Jäger in einzelnen Gruppen durch die Landschaft im südöstlichen Westfalen streiften (Pollmann 2002, Baales et al. 2013), war das Unwetter in einem noch nicht von den Menschen

beeinflussten Klima ein reines Naturereignis, mit dem sie leben mussten.

Das Ausmaß der aktuellen Unwetterkatastrophe vom 14. und 15. Juni 2021 wird dagegen häufig als eine direkte Folge des Klimawandels angesehen, der auf die von den modernen Menschen erzeugte globale Erwärmung zurückgeführt wird. Derartige Ereignisse hat es aber eben schon in urgeschichtlichen und auch in geschichtlichen vorindustriellen Zeiten gegeben, wie zum Beispiel das extreme Hochwasser im Ahrtal vom 21. Juli 1804 (Roggenkamp & Herget 2014), das dem Hochwasser der Ahr vom Juli 2021 in nichts nachsteht. Allerdings scheint die Häufigkeit extremer Wetterlagen und Unwetter mit länger anhaltenden Starkregen in den letzten Jahrzehnten zuzunehmen. Um diese Entwicklung zu stoppen, bedarf es weltweit einschneidender Maßnahmen der Umwelt-, Klima- und Wirtschaftspolitik, und sie müssen unverzüglich erfolgen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Jürgen Herget, Bonn, und Roland Vinx, Elmshorn, für die kritische Durchsicht des Manuskripts und für wertvolle Anmerkungen und Hinweise.

Unser Dank geht auch an Stefan Henscheid und Volker Wrede vom Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen, Krefeld, für die Überlassung der Ergebnisse einer geologischen Untersuchung des Bakenponors.

Hans Walter Wichert und Manfred Bieling, Altenbeken, und Georg Römhild, Borchon-Dörenhagen, gilt unser Dank für die hilfreiche Unterstützung während der Geländearbeiten. Für eine anregende Diskussion danken wir Margret Bunzel-Drüke, Bad Sassendorf-Lohne. Bei Herrn Carsten Haubrock, Münster, bedanken wir uns für die Beschaffung des Original-Fotos der Abb. 15.

Literatur

- Baales, M., Pollmann, H.-O. & Stapel, B. 2013: Westfalen in der Alt- und Mittelsteinzeit. Münster: LWL.
- Bogaard, P. v. d. & Schminke, H.-U. 1985: Laacher See Tephra: A widespread isochronous late Quaternary tephra layer in central and northern Europe. – Geological Society of America Bulletin, 96: 1554-1571.
- Costa, J. E. 1983: Paleohydraulic reconstruction of flash-flood peaks from boulder deposits in the Colorado Front Range. – Geological Society of America Bulletin, 94: 986-1004.
- Dikau, R., Eibisch, K., Eichel, J., Meßenzehl, K., Schlummer-Held, M. 2019: Geomorphologie. Berlin: Springer Verlag.
- Friedlein, V. 2004: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25 000 Blatt 4319 Lichtenau. Krefeld: Geologischer Dienst NRW.
- Greving, A. 1981: I. Geologische Kartierung der Kreide/Quartär-Grenze im Raum Bad Lippspringe und Neuenbeken. II. Vergleichende Analyse pleistozäner Grobsedimente. III. Die Höhenlage quartärer Schotter

- als Hilfsmittel zur relativen Alterseinstufung. Diplom-Arbeit an der Universität Münster. [Unveröff.]
- Herget, J. 1998: Temporäre Entwässerungsbahnen am Südrand der Westfälischen Tieflandsbucht – ein Szenario. – In: Glatthaar, D. & Herget, J. (Hrsg.): *Physische Geographie und Landeskunde – Festschrift für Herbert Liedtke*: 23-30.
- Herget, J. 2012: *Am Anfang war die Sintflut – Hochwasserkatastrophen in der Geschichte*. Darmstadt: Primus Verlag.
- Herget, J. & Schlömer, O. 2015: Historische Hochwasser an der Lippe. – In: Eggenstein, G. (Hrsg.): *Imfluss Lippe – Kultur- und Naturgeschichte einer Landschaft*: 37-42.
- Hjulström, F. 1935: Studies of morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. – *Bulletin of the Geological Institute of the University of Uppsala*, 25: 221-527.
- Karrenberg, H. 1968: Niederschlagsintensität und Erosion im Karstgebiet von Paderborn beim Unwetter vom 16. Juli 1965. – *Fortschritte der Geologie der Rheinlande und Westfalens*, 16: 41-64.
- Lenz, A. & Skupin, K. 2002: Zur Flußgeschichte von Alme, Lippe und Ems. – In: *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 100 000 Blatt C 4314 Gütersloh*: 58-63. Krefeld: Geologischer Dienst NRW.
- Michel, G. 1979: Paderquellen. – In: *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 100 000 Blatt C 4318 Paderborn*: 48-51. Krefeld: Geologisches Landesamt NRW.
- Mrass, W., Lohmeyer, W. & Olschowy, G. 1966: Gutachten über Landschaftsschäden im Einzugsgebiet der Altenau und ihrer Nebenbäche in den Landkreisen Büren und Paderborn (Westf.) infolge des durch das Unwetter am 16./17. Juli 1965 ausgelösten Hochwassers. – Herausgeber Landschaftsverband Westfalen-Lippe, Amt für Landespflge. Münster: LWL.
- Pollmann, H.-O. 2002: Die Steinzeiten. – In: Bérenger, D. (Hrsg.): *Führer zur Vor- und Frühgeschichte der Hochstiftkreise Paderborn und Höxter*, Bd. 1: 37-195.
- Roggenkamp, T. & Herget, J. 2014: Historische Hochwasser der Ahr. – In: *Landkreis Ahrweiler (Hrsg.): Heimatjahrbuch Kreis Ahrweiler 2015*, 150-154.
- Roschke, G. 1967: Das Katastrophen-Hochwasser 1965 am Dreiländereck Nordrhein-Westfalen – Hessen – Niedersachsen, seine natürlichen Ursachen und seine verheerenden Folgen. – *Die Wasserwirtschaft*, 2/1967: 102-109.
- Schäfer, A. 2020: *Klastische Sedimente – Fazies und Sequenzstratigraphie*. Berlin: Springer Verlag.
- Seraphim, E. T. 1977: Die Senne – Begriff und räumliche Abgrenzung im Rahmen der Landschaftsplanung und -entwicklung. – *Spieker*, 25: 123-136.
- Skupin, K. 1982: *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25 000 Blatt 4218 Paderborn*. Krefeld: Geologischer Dienst NRW.
- Speetzen, E. 1970: Lithostratigraphische und sedimentologische Untersuchungen im Osning-Sandstein (Unter-Kreide) des Egge-Gebirges und des südöstlichen Teutoburger Waldes (Westfalen, NW-Deutschland). – *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, 18: 1-149.
- Speetzen, E. 2005: Schichtenfolge und Ausbildung der Unterkreide am Südostrand der Westfälischen Kreidemulde (NW-Deutschland). – *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, 100: 79-95.
- Stille, H. 1935: *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1 : 25 000 Blatt 4219 Altenbeken*. Berlin: Preußische Geologische Landesanstalt.
- Thesing, B. 2018: *Tätigkeitsbericht der Arbeitsgemeinschaft Höhle und Karst Lippe 2017*. – *Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher e.V.*, Jg. 64: 25.
- Thome, K. N. 1983: Gletschererosion und -akkumulation im Münsterland und angrenzenden Gebieten. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 116: 116-138.
- Winsemann, J. & Lang, J. 2020: Flooding Northern Germany: Impacts and Magnitudes of Middle Pleistocene Glacial-Lake Outburst Floods. – In: *Palaeohydrology – Traces, Tracks and Trails of Extreme Events*: 29-47.
- Zeischwitz, von, E. 1967: Boden- und Vegetationseinflüsse auf Überschwemmungen und Erosionen beim Unwetter am 16.7.1965 im Gebiet der Paderborner Hochfläche. – *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau*, 125: 189-210.

Karten

- Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1 : 25 000, Berlin:
 Blatt 4219 (2368) Altenbeken, 1935. Bearbeiter H. Stille
 Blatt 4319 (2468) Lichtenau 1935. Bearbeiter H. Stille
 Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25 000, Krefeld:
 Blatt 4218 Paderborn, 1982. Bearbeiter K. Skupin
 Blatt 4319 Lichtenau, 2004. Bearbeiter V. Friedlein
 Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 100 000, Krefeld:
 Blatt C 4318 Paderborn, 1979. Bearbeiter H.-D. Dahm et al.

Reply to
**Rauhut et al. 2020: The oldest record of the genus *Torvosaurus*
(Theropoda: Megalosauridae) from the Callovian Ornatenton Formation
of north-western Germany.**

Geologie und Paläontologie in Westfalen. 93: 31–43

Matías Soto, Pablo Toriño & Daniel Perea

Matías Soto
Pablo Toriño
Daniel Perea
Facultad de Ciencias
Iguá 4225
11400 Montevideo
Uruguay

Corresponding author:
msoto@fcien.edu.uy

Manuscript
Received: 24.04.2021
Accepted: 02.06.2021
Available online: 16.11.2021
© LWL-Museum für Naturkunde

Rauhut et al. (2020, p.41), in their description of *Torvosaurus* remains from the Middle Jurassic of Germany, made some references to our (Soto et al. 2020a) referral to isolated teeth from Uruguay and Tanzania to the genus *Torvosaurus*.

We will address some of their statements below.

a) "Hendrickx et al. (2019) pointed out that isolated teeth of theropods are rarely diagnostic on genus level, and this also applies to the teeth of *Torvosaurus*."

Hendrickx et al. (2019) also listed several genera that are indeed diagnostic, such as *Majungasaurus*, *Piatnitzkysaurus*, *Afrovenator*, *Acrocanthosaurus*, *Tyrannosaurus*, *Saurornitholestes* and *Troodon*. We would add to this list *Torvosaurus* and *Ceratosaurus* (see Soto et al. 2020a, 2020b). Soto et al. (2020a) clearly demonstrated that the teeth from Uruguay belong to a megalosaurid theropod, and particularly to a megalosaurine distinct from *Duriavenator* or *Megalosaurus*. Only *Torvosaurus* and the lesser known *Wiehenvenator* are likely candidates on morphological grounds. The Middle Jurassic age of *Wiehenvenator* favour the assignment to *Torvosaurus*, given that the Tacuarembó Formation has been independently dated as Late Jurassic based on conchostracans (Shen et al. 2004) and the presence of taxa not recorded in the Middle Jurassic such as the shark *Priohybodus* (Perea et al. 2001), the theropod *Ceratosaurus* (Soto et al. 2020b) and a *Gnathosaurus*-like pterosaur (Soto et al. 2021). The radiometric dating of the Gaspar Formation basalts (165 Ma) which underlies the Itacumbú Formation (de Santa Ana & Veroslavsky 2004), which in turn underlies the Tacuarembó Formation, should be taken into account.

b) "Even accounting for the unusual large size of these teeth, similarly large teeth are also found in *Wiehenvenator*, ceratosaurids and carcharodontosaurids" (references omitted for clarity).

Soto et al. (2020a) did not base their referral just on crown height. The study covered all aspects of dental anatomy, such as cross-sectional shape, carinae development and placement, denticle size (the largest among theropods) and morphology, enamel texture, enamel undulations, interdenticular sulci, etc. were taken into account. *Torvosaurus* and ceratosaurid lateral teeth differ morphometrically: *Torvosaurus* teeth are larger (e.g., maximum crown height 152.8 mm, compared with 75.0 mm in *Ceratosaurus*; see supplementary information in Young et al. 2019) and

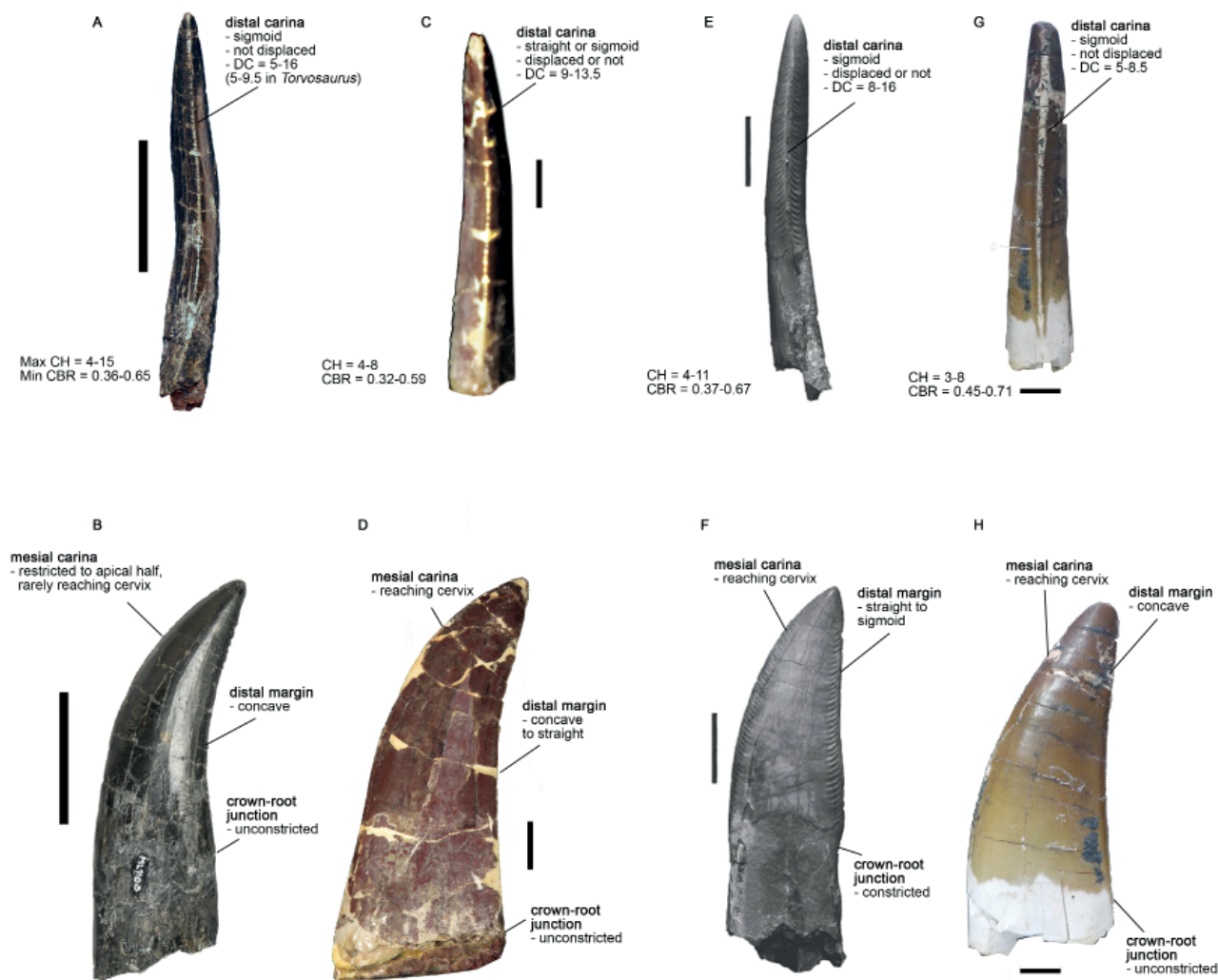


Fig. 1: Comparison of lateral teeth of **A, B** *Torvosaurus gurneyi* (Hendrickx & Mateus, 2014), **C, D** *Ceratosaurus* sp. (photographs kindly provided by C. Hendrickx), **E, F** *Carcharodontosaurus saharicus* (Brusatte et al., 2007) and **G, H** the Uruguayan megalosaurid (Soto et al., 2020a) in distal (A, C, E, G) and labial/lingual views (B, D, F, H). Characters that do not vary among these taxa (mesial carina straight, braided enamel texture, transverse undulations, marginal undulations (although more conspicuous and consistently present in *Carcharodontosaurus saharicus* than in most megalosaurid and ceratosaurid teeth), well-developed interdenticular sulci) are not depicted. Measurements taken from supplementary information in Young et al. (2019), considering the ranges of the families. Scales: 1 cm (C, D, G, H), 3 cm (E, F) and 5 cm (A, B). Photos courtesy of C. Hendrickx and S. Brusatte.

have coarser denticles (distocentral density of 5–10 in *Torvosaurus* versus 8–13 in *Ceratosaurus*; see supplementary information in Young et al. 2019). Moreover, they also differ morphologically, to mention a few characters: *Torvosaurus* bears subsymmetrical lateral teeth, with mesial carinae restricted to the apical portion of the tooth in most cases and distal carinae not labially displaced, whereas *Ceratosaurus* has asymmetrical lateral teeth (the labial face being flat; Hendrickx et al. 2019), with mesial carinae reaching the cervix, and a labially displaced distal carinae (Fig. 1). The mesial teeth (both of which have been found in Uruguay) are even more different (Fig. 2), with *Ceratosaurus* having a conspicuously fluted lingual face and strongly labially displaced and bowed distal carina, versus non-fluted lingual face and centrally positioned and straight distal carina in *Torvosaurus* (Fig. 2), besides the already mention diffe-

rences in denticle density. Although in both genera the mesial carina is restricted to the apical portion of the crown in mesial teeth, in *Ceratosaurus* it can be either straight or lingually twisted (C. Hendrickx, pers. comm., 2021) whereas it is always straight in *Torvosaurus*. Differences between *Torvosaurus* and carcharodontosaurids are addressed below.

c) "Furthermore, both in respect to morphometric data, as well as qualitative characters, the teeth of *Torvosaurus* are similar to carcharodontosaurid teeth, a group that has also been reported from the Tendaguru Formation" (references omitted for clarity).

Although we agree that there are some similarities, such as the crown base ratio range, and presence of braided enamel texture, transverse and/or marginal undulations and long interdenticular sulci in some taxa, many differences do exist. Both maximum crown height and denticle size in *Torvosaurus* (see

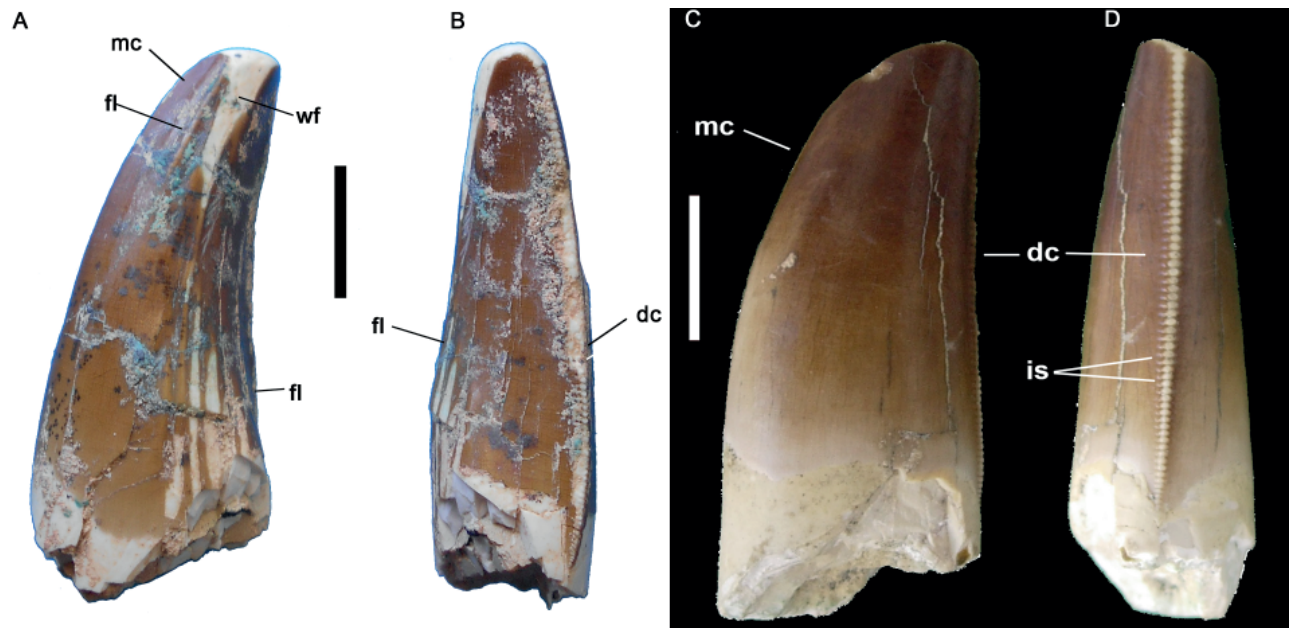


Fig. 2: Mesial teeth of *Ceratosaurus* in lingual (A) and distal (B) view. Distal teeth of *Torvosaurus* in lingual (C) and distal (D) views. Taken from Soto et al. (2020a, 2020b). Abbreviations: dc, distal carina; fl, flutes; is, interdenticular sulci; mc, mesial carina; wf, wear facet. Scales: 1 cm. Taken from Journal of South American Earth Sciences, 98, M. Soto, P. Toriño & D. Perea, "A large sized megalosaurid (Theropoda, Tetanurae) from the late Jurassic of Uruguay and Tanzania", Copyright Elsevier and Journal of South American Earth Sciences, 103, M. Soto, P. Toriño & D. Perea, "*Ceratosaurus* (Theropoda, Ceratosauria) teeth from the Tacuarembó Formation (Late Jurassic, Uruguay)", Copyright Elsevier.

above) are significantly larger than in carcharodontosaurids (102.6 mm and 7–17.5 distocentral denticle density; see supplementary information in Young et al. 2019). Morphologically (Fig. 1), the distal profile is concave in *Torvosaurus* whereas it is straight, convex or even sigmoid in carcharodontosaurids (Hendrickx et al. 2019). In addition, the distal carina is labially displaced in some carcharodontosaurid teeth whereas there is no displacement in *Torvosaurus* (Hone &

Rauhut 2009). Finally, a weak constriction between crown and root can be seen in some carcharodontosaurids whereas no crowns are constricted in *Torvosaurus* (Hendrickx et al. 2019).

It should be noted that the Uruguayan and Tanzanian teeth fell into the *Torvosaurus* morphospace in both principal component and discriminant analyses (Fig. 3) performed by Soto et al. (2020a). They were also retrieved among *Torvosaurus* teeth in two diffe-

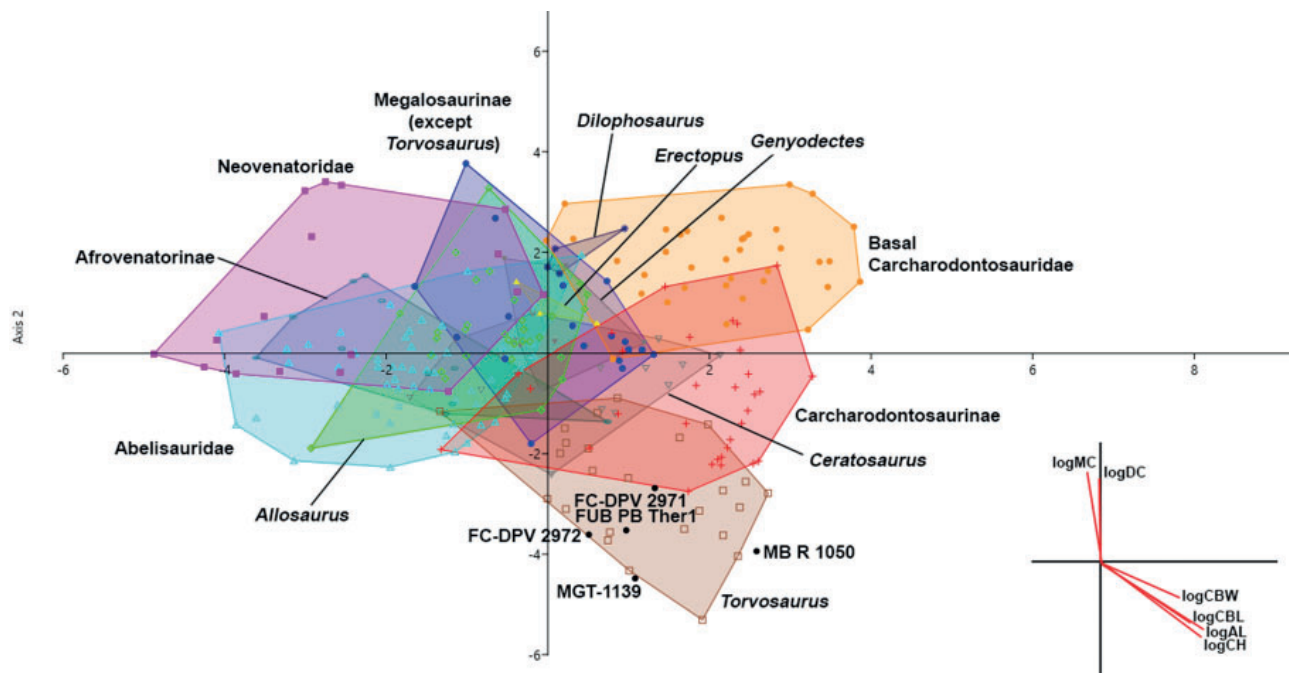


Fig. 3: Results of the discriminant analysis on the first dataset of Soto et al. (2020a). Taken from Journal of South American Earth Sciences, 98, M. Soto, P. Toriño & D. Perea, "A large sized megalosaurid (Theropoda, Tetanurae) from the late Jurassic of Uruguay and Tanzania", Copyright Elsevier.

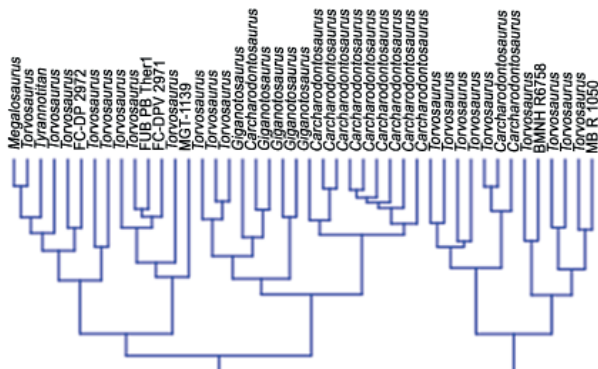


Fig. 4: Results of a cluster analysis (detail) on the first dataset of Soto et al. (2020a). Teeth from Uruguay: FC-DPV 2971, FC-DPV 2972, MGT-1139. Teeth from Tanzania: BMNH R 6758, MB R 1050. Tooth from Portugal: FUB PB Ther1. Taken from Journal of South American Earth Sciences, 98, M. Soto, P. Toriño & D. Perea, "A large sized megalosaurid (Theropoda, Tetanurae) from the late Jurassic of Uruguay and Tanzania", Copyright Elsevier.

rent cluster analyses (although some carcharodontosaurid teeth are included, they do not form part of the small clusters; Fig. 4), and in a polytomy with *Torvosaurus* and *Megalosaurus* in the phylogenetic analysis (Fig. 5). Forcing these teeth to be related with ceratosaurids or carcharodontosaurids in the latter analysis would require 13 steps in the former case and between 9 and 13 steps in the latter. Finally, and perhaps more importantly, a large, robust megalosauroid was also represented in the Tendaguru Formation by skeletal material (Rauhut 2011). Nevertheless, having not examined the teeth from Tendaguru at first hand and given that a carcharodontosaurid is represented by skeletal material (Rauhut 2011), we cannot discard the fact that carcharodontosaurid teeth are also present among the material Janensch (1920, 1925) originally referred to '*Megalosaurus*' *ingens*.

In conclusion, we agree with Rauhut et al. (2020) that caution should be used when studying isolated theropod teeth. However, the morphology of some particularly well preserved and particularly diagnostic teeth enables confident taxonomic referrals, especially when this identification is further supported by multivariate (Figs. 3, 4) and phylogenetic (Fig. 5) analyses. As stated by Soto et al. (2020a), the large size of both teeth (lateral crown height > 70 mm, fragments of larger teeth do exist) and denticles (less than 7 denticles per 5 mm at mid-crown), the well-visible braided enamel texture, the centrally placed and apically restricted mesial carina in mesial teeth, and general shape of the teeth strongly resembles those of *Torvosaurus*.

Theropod teeth offer a wealth of information, and are often phylogenetically informative despite homoplasy, as recent work by Hendrickx et al. (2019) shows clearly. We emphasize that a megalosaurine theropod different from *Duriavenator* and *Megalosaurus* was present in the Late Jurassic of Gondwana, which is biogeographically and biostratigraphically relevant.

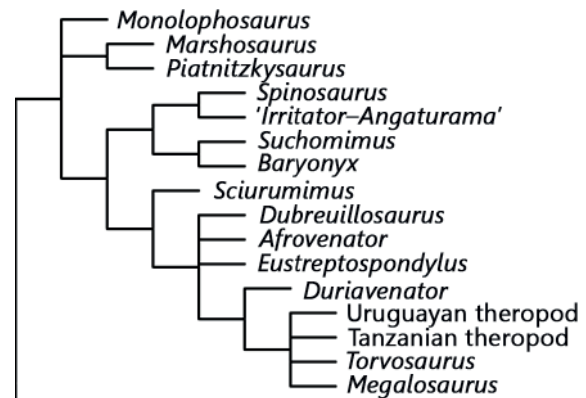


Fig. 5: Results of the phylogenetic analysis with emphasis on megalosauroids. Based on data from Soto et al. (2020a).

Acknowledgements

We are grateful to C. Hendrickx (CONICET-Unidad Ejecutora Lillo, Museo Miguel Lillo De Ciencias Naturales, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina) for providing photos from the *Ceratosaurus* lateral dentition and kindly reviewing an early draft of this contribution.

References

- Brusatte, S.L., Benson, R.J., Carr, T.C., Williamson, T.E. & Sereno, P.C. 2007. The systematic utility of theropod enamel wrinkles. - *Journal of Vertebrate Paleontology* 27: 1052–1056.
- de Santa Ana, H., Veroslavsky G. 2004. La tectosecuencia volcanosedimentaria de la Cuenca Norte de Uruguay. Edad Jurásico – Cretácico Temprano. Pp. 53–75 in Veroslavsky, G.; Ubilla, M., Martínez, S. (eds.), *Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales – Mesozoico*. 2ª Edición. DIRAC – Facultad de Ciencias.
- Janensch, W. 1920. Über *Elaphrosaurus bambergi* und die Megalosaurier aus den Tendaguru-Schichten Deutsch-Ostafrikas. - *Sitzungsberichte der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin*, XX, 225–235.
- Janensch, W. 1925. Die Coelurosaurier und Theropoden der Tendaguru-Schichten Deutsch-Ostafrikas. - *Palaeontographica Supplement* 7 :1–99.
- Hendrickx, C. & Mateus, O. 2014. *Torvosaurus gurneyi* sp. nov., the largest terrestrial predator from Europe, and a proposed terminology of the maxilla anatomy in nonavian theropods. - *PLoS ONE* 9: e88905.
- Hendrickx C., Mateus O., Araújo R. & Choiniere J. 2019. The distribution of dental features in non-avian theropod dinosaurs: Taxonomic potential, degree of homoplasy, and major evolutionary trends. - *Palaeontologia Electronica* 22: 1–110.
- Hone, D.W.E. & Rauhut, O.W.M. 2009. Feeding behaviour and bone utilization by theropod dinosaurs. - *Lethaia* 43: 232–244.
- Perea, D.; Ubilla, M.; Rojas, A. & Goso, C. 2001. The West Gondwanan occurrence of the hybodontid shark *Prionhybodus*, and the Late Jurassic-Early Cretaceous age of the Tacuarembó Formation, Uruguay. - *Palaeontology* 44(6): 1227–1235.

- Rauhut, O.W.M. 2011. Theropod dinosaurs from the Late Jurassic of Tendaguru (Tanzania). - *Special Papers in Palaeontology* 86: 195-239.
- Rauhut, O.W.M.; Schwermann, A.H.; Hübner, T.R. & Lanser, K.-P. 2020. The oldest record of the genus *Torvosaurus* (Theropoda: Megalosauridae) from the Callovian Ornatenton Formation of north-western Germany. - *Geologie und Paläontologie in Westfalen* 93: 31–43.
- Shen, Y.B., Gallego, O.F. & Martínez, S. 2004. The conchostracan subgenus *Ortheastheria* (*Migransia*) from the Tacuarembó Formation (Late Jurassic–?Early Cretaceous, Uruguay) with notes on its geological age. - *Journal of South American Earth Sciences* 16: 631-638.
- Soto, M.; Toriño, P. & Perea, D. 2020a. A large sized megalosaurid (Theropoda, Tetanurae) from the late Jurassic of Uruguay and Tanzania. - *Journal of South American Earth Sciences*. 98: 102458.
- Soto, M.; Toriño, P. & Perea, D. 2020b. *Ceratosaurus* (Theropoda, Ceratosauria) teeth from the Tacuarembó Formation (Late Jurassic, Uruguay). - *Journal of South American Earth Sciences*. 103: 102781.
- Soto, M.; Montenegro, F.; Mesa, V. & Perea, D. 2021. A new ctenochasmatid (Pterosauria, Pterodactyloidea) from the late Jurassic of Uruguay. - *Journal of South American Earth Sciences*, 111: 103472.
- Young, C.M.E., Hendrickx, C., Challands, T.J., Foffa, D., Ross, D.A., Butler, I.B. & Brusatte, S.L. 2019. New theropod dinosaur teeth from the Middle Jurassic of the Isle of Skye, Scotland. - *Scottish Journal of Geology* 55: 7-19.

Nannofossilien als Werkzeug für Archäologie

Dass kalkige Nannofossilien nicht nur in Natursteinen, sondern auch in Mörtel und mörtelbasierten Baumaterialien aufzufinden sind, zeigen Falkenberg et al. (2020). Die Autoren haben Proben aus mittelalterlichen Bauwerken in Padernborn untersucht und hier entsprechende Fossilien angetroffen. Sie lassen sich verwenden, um den Herkunftsort des ursprünglichen Kalksteins auszumachen, der für die Herstellung des Mörtels verwendet wurde. Es lässt sich so das Einzugsgebiet der Baurohstoffe für die damaligen Bauten noch detaillierter rekonstruieren, als es ansonsten durch den reinen Naturstein möglich ist. Außerdem zeigen die Autoren, dass die Nannofossilien

als Temperaturanzeiger ausgewertet werden können: da diese Fossilien bei einer Erhitzung auf 800 °C–900 °C zerstört werden, zeigt ihre Präsenz an, dass der Kalk damals auf weniger als 800 °C gebrannt wurde. Paläontologische Methoden liefern auf diese Weise Ergebnisse für die Archäologie und Kunstgeschichte.

Literaturverzeichnis

Falkenberg, J., Mutterlose, J. & Kaplan, U. 2020: Calcareous nannofossils in medieval mortar and mortar-based materials: a powerful tool for provenance analysis. – *Archaeometry* 63(1): 19–39.

Achim H. Schwermann, LWL-Museum für Naturkunde

Das Rhät von Warburg-Bonenburg

Nach der Entdeckung eines Plesiosaurierskeletts bei Warburg-Bonenburg wurden in der Tongrube seit 2015 jedes Jahr wissenschaftliche Ausgrabungen durch die Arbeitsgruppe von Prof. Martin Sander (Institut für Geowissenschaften, Universität Bonn), in Kooperation mit dem LWL-Museum für Naturkunde in Münster, durchgeführt (Sander et al. 2016, Wintrich et al. 2017). Die Bedingungen der Covid 19-Pandemie haben die Fortsetzung der Grabung im Sommer 2020 verhindert. 2021 konnte die Feldarbeit wieder aufgenommen werden, im Oktober wurde eine zweiwöchige Grabung durch die Arbeitsgruppe von Prof. Martin Sander und Mitarbeiter des LWL-Museums für Naturkunde durchgeführt. Die Zwangspause im Jahr 2020 betraf maßgeblich die Ausgrabung, während die wissenschaftliche Analyse der Fundstelle weiter vorangetrieben werden konnte.

Der Aufschluss bei Bonenburg bietet ein sehr umfassendes Rhät-Profil, inklusive der Trias-Jura-Grenze. Nachdem Schobben et al. (2019) eine stratigraphische Analyse auf Grundlage von Isotopendaten, Lithologie und Fossilien veröffentlicht haben, ist durch Gravendyck et al. (2020) eine Auswertung der palynologischen Daten erfolgt. Sie belegen, dass die Veränderung der terrestrischen Flora zum Ende der Trias graduell und nicht abrupt verlaufen ist. Das Vorhandensein von aberranten Palynomorphen wird als Anzeiger für gestresste Lebensräume interpretiert.

Eine weitere Publikation erweitert die bekannte Wirbeltierfauna von Bonenburg. Hartung et al. (2021) belegen anhand von zwei isolierten Basisphenoiden die Familie der Mawsoniidae. Diese Fleischflosser sind nah verwandt mit den Latimeriidae, zu denen die heute noch lebenden Quastenflosser (*Latimeria*) gehören. Vertreter der Mawsoniidae sind von der späten Trias bis in die

Kreide hinein bekannt und werden generell als Süßwasserbewohner angesehen. Die Belege aus dem marinen Ablagerungsraum in Bonenburg unterstützen jüngst bekannt gewordene Funde aus ähnlich alten Meeresablagerungen von Frankreich (Deesri et al. 2018).

Literaturverzeichnis

- Deesri, U., Cavin, I., Amiot, R., Bardet, N., Buffetaut, E., Cuny, G., Giner, S., Martin, J.E., & Suan, G. 2018: A mawsoniid coelacanth (Sarcopterygii: Actinistia) from the Rhaetian (Upper Triassic) of the Peygros quarry, Le Thoronet (Var, southeastern France). *Geological Magazine* 155: 187–192.
- Hartung, J., Sander, P.M., Friedman, M. & Wintrich, T. 2021. First record of mawsoniid coelacanths (Acrinistia, Sarcopterygii) from the marine Rhaetian (Upper Triassic) of Bonenburg, Germany. – *Journal of Vertebrate Paleontology* 412: e1931258.
- Gravendyck, J., Schobben, M., Bachelier, J.B. & Kürschner, W.M. 2020: Macroecological patterns of the terrestrial vegetation history during the end-Triassic biotic crisis in the central European Basin: A palynological study of the Bonenburg section (NW-Germany) and its supra-regional implications. – *Global and Planetary Change* 194: 103286.
- Sander, M., Wintrich, T., Schwermann, A. H. & Kindlimann, R. 2016: Die paläontologische Grabung in der "neuen Grube" der Fa. Lücking, Bonenburg, Stadt Warburg, April und Mai 2015. – *Geologie und Paläontologie in Westfalen* 88: 11–37.
- Schobben, M., Gravendyck, J., Mangels, F., Struck, U., Bussert, R., Kürschner, W.M., Korn, D., Sander, P.M. & Aberhan, M. 2019: A comparative study of total organic carbon- $\delta^{13}\text{C}$ signatures in the Triassic–Jurassic transitional beds of the Central European Basin and western Tethys shelf seas. – *Newsletters on Stratigraphy* 52: 461–486.
- Wintrich, T., Hayashi, S., Houssaye, A., Nakajima, Y. & Sander, P. M. 2017: A Triassic plesiosaurian skeleton and bone histology inform on evolution of a unique body plan. – *Science advances* 3: e1701144.

Achim H. Schwermann, LWL-Museum für Naturkunde

Grabung Bonenburg im Oktober 2021. Kooperation der Universität Bonn und des LWL-Museums für Naturkunde Münster. Foto: LWL/C. Pott.



Großammonit nach mehr als einem halben Jahrhundert beschrieben

Mit einer Publikation in den Dortmunder Beiträgen zur Landeskunde haben Kaplan et al. (2021) einen Großammoniten wissenschaftlich beschrieben, der bereits 1964 geborgen wurde (s. auch Scheer et al. 2020). Das Fossil wurde während des Abteufens des Wetterschachtes 3 der Zeche Lohberg/Osterfeld im westlichen Münsterland gefunden. Die Analyse ergab, dass es sich um den Steinkern einer *Parapuzosia (Parapuzosia) leptophylla* aus der Osterfeld-Subformation (Obersantonium) handelt. Diese Spezies ist ansonsten aus dem Santonium von England bekannt. Die Autoren der vorliegenden Arbeit stellen des Weiteren einen Fund aus Gosau, Österreich, zu dieser Art. Für das Münsterland, aus dem vor allem *P. (P.) seppenradensis* als Riesenammonit bekannt ist, und auch für Deutschland, stellt dieser Fund also den ersten Nachweis

dieser Art dar. Die Größe des Fossils kann nur schätzungsweise angegeben werden, da es stark verdrückt ist. Sie liegt bei 1270 bis 1400 mm, was diesen Ammoniten zu den größten bekannten aus Nordwest-Deutschland zählen lässt. Neben einer systematischen Aufarbeitung liefern die Autoren auch eine Ansprache der Begleitfauna und eine Diskussion der Ablagerung und Palökologie.

Literaturverzeichnis

Kaplan, U., Püttmann, T. & Scheer, U. 2021: *Parapuzosia (Parapuzosia) leptophylla* – ein Großammonit aus dem Santonium vom Westrand des Münsterländer Kreide-Beckens. – Dortmunder Beiträge zur Landeskunde 50: 87-106.

Scheer, U., Kaplan, U. & Püttmann, T. 2020: Ein „wiederentdeckter“ Riesenammonit aus dem Schacht. – Geo-Park Ruhrgebiet News 1/2020: 11-13.

Achim H. Schwermann, LWL-Museum für Naturkunde

Grabung Balve 2021

Die diesjährige Grabungssaison des LWL-Museums für Naturkunde Münster in Balve dauerte von Anfang Mai bis Ende August 2021. Unter Leitung des LWL-Museums für Naturkunde haben ungefähr 45 Personen an einer erfolgreichen Grabung mitgewirkt. Das Team setzte sich zusammen aus Studierenden der Geowissenschaften verschiedener Universitäten, aber auch aus Präparatoren, ehrenamtlichen Mitarbeitern und Wissenschaftlern. Erstmals in der 20-jährigen Grabungsgeschichte war ein Teil des Teams vor Ort untergebracht. So konnte gewährleistet werden, dass von Anfang Juni bis Ende August an fünf Tagen in der Woche gearbeitet werden konnte. Dies bedeutete eine deutliche Steigerung der Grabungs-

aktivität gegenüber den Vorjahren. Entsprechend reichhaltig ist die Fundlage in diesem Jahr verlaufen. Im Museum in Münster warten nun hunderte Stücke darauf, in der Präparationswerkstatt freigelegt und dauerhaft konserviert zu werden.

Schon jetzt ist klar, dass die diesjährige Grabung spannende Funde hervorgebracht hat. Darunter Reste von Krokodilen, Schildkröten und Dinosauriern aus der Zeit der Unterkreide (Barremium-Aptium). Ebenfalls auf Präparation wartet ein etwa 1,5 t schwerer Sedimentblock, der aus dem Grabungsareal geborgen wurde. Es





Grabung des LWL-Museums für Naturkunde in Sedimente der Unterkreide in einer Karstschlotte bei Balve im Sauerland im Jahr 2021.

Foto: LWL/C. Steinweg.

Bergung eines 1,5 t schweren Blocks aus dem einem Bereich mit konzentrierten Funden. Die Präparation erfolgt unter Laborbedingungen im LWL-Museum für Naturkunde in Münster.

Foto: LWL/A. Klement



ist sicher, dass darin etliche Fossilien verborgen sind. Welche es sind, wird erst die Präparation zeigen.

Erstmals wurde die Grabung in diesem Jahr durch ehrenamtliche Mitarbeiter unterstützt. Dieser Kreis setzt sich aus Personen zusammen, die sich schon seit Jahren mit Fossilien befassen, aber auch aus solchen, die in oder um Balve-Beckum wohnen und ihre private Zeit einsetzen wollten, um die Forschung vor Ort tatkräftig zu unterstützen. Das Konzept ist durchaus erfolgreich gewesen und soll im nächsten Jahr fortgesetzt werden.

Insgesamt wächst das Interesse an der Grabung und auch an den wissenschaftlichen Ergebnissen. So zog die Grabung in diesem Jahr auch Studierende aus Bonn, Köln, Hamburg und aus der Schweiz an. Internationale Kooperation des Museums zur Auswertung der Funde reichen mittlerweile bis in die Schweiz, nach England, Polen und nach Russland. Wissenschaftlich sind bislang eine neue Salamanderart (Skutschas et al. 2020) und zwei Säugetierarten (Martin et al. 2021) aus den Grabungs-

funden beschrieben worden. Drei weitere Säugetierarten werden voraussichtlich noch in diesem Jahr veröffentlicht werden. Ein Abschluss der wissenschaftlichen Untersuchungen steht allerdings noch lange nicht in Sicht. Derzeit laufen Projekte, die sich mit den unterschiedlichen Amphibien, Schildkröten und Dinosauriern befassen. Weitere Erkenntnisse über die Bandbreite der Wirbeltierfossilien und deren Aussagen über das Ökosystem vor 125 Ma dürfen also in Zukunft erwartet werden.

Literaturverzeichnis

- Skutschas, P.P., Kolchanov, V.V. & Schwermann, A.H.
2020: First salamander from the Lower Cretaceous of Germany. – *Cretaceous Research* 116: 104606.
Martin, T., Averianov, A., Schultz, J.A. & Schwermann, A.H.
2021: First multituberculate mammals from the Lower Cretaceous of Germany. – *Cretaceous Research* 119: 104699.

Achim H. Schwermann, LWL-Museum für Naturkunde

Please follow these instructions during the preparation of a manuscript for submitting to *Geologie und Paläontologie in Westfalen*.

Geologie und Paläontologie in Westfalen considers all manuscripts on the strict condition that

- the manuscript is your own original work, and does not duplicate any other previously published work, including your own previously published work;
- the manuscript has been submitted only to *Geologie und Paläontologie in Westfalen*; it is not under consideration, peer review, accepted for publication, in press, or published elsewhere;
- the manuscript contains nothing that is abusive, defamatory, libellous, obscene, fraudulent, or illegal.

Manuscript preparation

1. General guidelines

Geologie und Paläontologie in Westfalen publishes only research papers as 'Original Articles'. Articles should preferably be related to topics and/or material from Westphalia-Lippe or adjacent areas.

Primary language for manuscripts is German; manuscripts are also accepted in English. British English spelling and punctuation are preferred.

Manuscripts should be compiled in the following order: title page; abstract; keywords; main text; acknowledgements; references; appendices (as appropriate); table(s) with caption(s) (on individual pages); figure caption(s) (as a list).

Abstracts are required for all manuscripts; manuscripts in German require an additional English abstract; for English manuscripts, an additional German abstract is obligatory. If preferred by the author, the editorial office provides translation of abstracts into either language.

All authors of a manuscript should include their full names, affiliations, postal addresses and email addresses on the cover page of the manuscript. One author should be identified as the corresponding author. Please give the affiliation where the research was conducted. Please note that the email address of the corresponding author will normally be displayed in the article PDF and the online article.

The corresponding author must be authorized by all co-authors to act as an agent on their behalf in all matters pertaining to publication of the manuscript. Please supply all details required by any funding and grant-awarding bodies in the acknowledgement as follows: "This work was supported by the [Funding Agency1] under Grant [number] and [Funding Agency2] under Grant [number]."

Authors must adhere to SI units.

When using a word which is or is asserted to be a proprietary term or trade mark, authors must use the symbol ® or TM.

2. Style guidelines

Main text

Organise the paper: Introduction, Materials and methods, Results, Discussion, Conclusions, Acknowledgements, References.

Section headings should be concise.

All text should be formatted as it is to appear in the journal (i.e., italicised text to be *italicised* and bold to be **bold**).

Spell out: all numbers from one to twelve inclusively, any number that begins a sentence, generic names that begin sentences, generic names when mentioned the first time in a paragraph, and compass points (i.e., north-east, not NE).

Use a hyphen (-) when giving ranges of, e.g., size, measurements, pages, geological stages, years, figure references, etc. (i.e., 4-7 µm, p. 56-59, Triassic-Jurassic, 1959-1963, Figure 3A-B etc.) and in compound words (e.g., north-east, well-preserved, self-pollination, S-haplotype).

Abbreviations and symbols should conform to those in *Biological Abstracts*. SI units (Système International d'Unités) should be used throughout (see <http://physics.nist.gov/cuu/Units/index.html>).

Note the difference between **contractions** and **abbreviations**! Abbreviations are words that are shortened by deletion of letters including the last letter and should end in a full stop. Contractions are words

shortened by the deletion of letters excluding the last letter of the word and should not terminate in a full stop. For example, 'figures' is contracted to 'figs' but 'figure' is abbreviated to 'fig'. This also should be observed in reference lists: please note the difference between one editor (ed.) and two or more (eds).

Authorities for species should be given the first time the name is mentioned in the text; authorities for taxa above species rank may be given in the systematic section.

Scientific names of genera and taxa of lower rank must be in *italics*. Scientific names of genera and species should follow the AnimalBase Index (see <http://www.animalbase.org/>) for animals, the International Plant Names Index (see <http://ipni.org/>) and the International Fossil Plant Names Index (see <http://fossilplants.info/>) for plants.

Headings

Three orders of heading are available. Pay particular attention to the formatting:

1. **Results**
2. *Description of the skull*
3. Dental formula: This heading is followed by a colon and text on the same line (as shown here).

Title

The title should be concise and informative. It should not be longer than 150 characters, including space.

Author names and affiliations

Complete author names and affiliations should be given here. An email address is required only for the corresponding author.

Abstract and keywords

Abstract: A short abstract not exceeding 250 words should appear directly below the affiliations. The abstract must be clear and concise and should distil in brief the important findings of the study. It should not be a summary of the paper. Where the paper describes new taxa these should also be included.

Keywords: 3 to 6 keywords are required for each submission.

Introduction

This section should be concise but provide the reader with enough up to date background information to understand the problems raised and discussed in the paper. Do not include any results in this section.

Materials and methods

This section should outline in enough detail the nature of the material and the methods used so another researcher could repeat them. Describe also the **Geological setting** here. Do not include any results in this section.

Results

Primary data and observations that form the basis for the Discussion that follows should be included in this section. Avoid the use of statements such as "Table 1 shows ..." or "... as shown in Figure 1". Acceptable usage is a statement or sentence followed by the relevant reference in parentheses. Note that figure, table and appendix are abbreviated (i.e., Fig. 1a, Pl. IA, Tab. I, App.) or contracted (i.e., Figs, Pls, Tabs, Apps).

Discussion

This section should provide an interpretation of the results and should not contain any additional primary results or data.

Conclusions

Please include a separate Conclusion outlining the importance of the work and the main findings.

Acknowledgements

When acknowledging individual persons, always give affiliation, city, country; avoid academic titles.

References in the text

The references should be cited in the text as Müller (2008) or (Müller 2008) or where referring to particular text or figures (quotation) as "Direction of movement of the lower jaw (Crompton 1971, fig. 1E)" or "... no valid published reason to exclude the humeri and jaw fragments (Hutchison 1974, p. 223)". In references with two authors, connect the names with '&'; refer-

ences with three or more authors should be abbreviated to First author et al. in the text.

Note that the authors are **not** separated from the year by a comma, and that references should appear in chronological order. Where multiple papers are cited, the papers should be separated by semicolons (e.g., Cantrill 1995, 1996; Schulte et al. 2002a; Meyer and Bertrand 2004; Poole et al. 2005).

Authority of taxa: Authority names of animal taxa (species and lower-rank taxa) should follow the style recommended by the International Code of Zoological Nomenclature, ICZN, Art. 51 (i.e. *Loxodonta africana* Blumenbach, 1797); authority names of plant taxa (species and lower-rank taxa) should follow the standard abbreviations provided by The International Plant Names Index, IPNI (<http://www.ipni.org/>); in case of two or more authors, use the Latin 'et'. Always format author names in regular text, do not use CAPS or LOWER CAPS or *italicised* lettering.

Reference list

All publications cited in the text, tables and figures should appear in the Reference list. Pay particular attention to ensure all cited references appear in the list and that all references in the list are cited. Please cross-check these before submitting your manuscript. List references alphabetically under the author or editor name regardless of the number of authors. Where more than one publication by the same set of authors is listed, these should be listed chronologically. Use **Arabic numerals for volume numbers, do not include part numbers** except where the journal paginates each part individually from page one. **Provide journal titles in full.**

Pay particular attention to the format of the references; please consult the latest issue of the journal for style. Where a title has been transliterated or translated, the original language should be stated in parentheses at the end of the reference. Please check for **correct spelling** in all titles, especially in non-English titles (i.e., in German titles initial capital letters should be used for proper nouns)!

Examples

Research papers:

Müller, A. 2008: Ein artikulierter Fund von *Ptychodus* aus dem Obercenoman von Westfalen. – *Geologie und Paläontologie in Westfalen* 70: 55-63.

Papers published online ahead of print:

Almaguer M., Aira M.-J., Rodríguez-Rajo F.-J. & Rojas T.-I. 2013: Study of airborne fungus spores by viable and non-viable methods in Havana, Cuba. – Grana, in press. doi:10.1080/00173134.2013.829869.

Please note: Include the doi number: A search for the doi will always be directed to the most recent version, so the reader will be able to find the final published paper as soon as it appears.

Online-only journals:

Bates, K.T., Manning, P.L., Hodgetts, D. & Sellers, W.I. 2009: Estimating mass properties of dinosaurs using laser imaging and 3D computer modelling. – *PLoS ONE* 4: e4532. doi: 10.1371/journal.pone.0004532

Please note: Include the doi number after the volume and article number.

Books:

Kielan-Jaworowska, Z., Cifelli, R.L. & Luo, Z.-X. 2004: *Mammals from the age of dinosaurs*. New York: Columbia University Press.

Book chapters:

Blackmore S. 1992. Scanning electron microscopy. In: Nilsson S. & Praglowski J., (eds) *Erdtman's handbook of palynology*, 403-431. Copenhagen: Munksgaard.

Conference proceedings/abstracts:

Loch, C. 2014: The enamel ultrastructure of fossil cetaceans (Cetacea, Archaeoceti and Odontoceti). – Meeting and abstracts of the 74th Annual Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology, Berlin, Germany, 5-8 November 2014, 170.

Please note: Include title, locality and dates of the conference.

Theses:

Ifrim, C. 2006: The fossil fagerstätte at Vallecillo, north-eastern Mexico: pelagic plattenkalks related to Cenomanian-Turonian boundary anoxia. – PhD Thesis, Universität Friderician, Karlsruhe, Germany.

Databases:

Astúa de Moraes, D., La Sancha, N. de & Costa, L. 2011: *Didelphis aurita*. – IUCN Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org>; accessed 3 April 2013.

Please note: Include date of last accession of the database.

Tables

Each table has to be uploaded as a separate file (.xlsx or .xls). They should be numbered with **Latin numerals** (e.g., Tab. I, Tab. II, Tab. III, ...) according to their sequence in the text, and have a short self-explanatory heading. Use SI units. Authors should keep in mind **the page layout of the journal when designing tables**. Tables that fit onto one printed page are preferred. Detailed explanations of symbols, units, abbreviations should follow below the table.

Illustrations

Please pay particular attention to the guidelines below. The editorial office cannot undertake preparation of manuscripts and illustrations not conforming to journal style. A high standard of illustration (both line and photo) is an editorial priority.

All figures must be sent electronically and at adequate resolution; care and attention to these guidelines are essential as importing graphics packages can often be problematic.

- Figures must be saved **individually and separately to text**. Please do not embed figures in the manuscript file.
- Coloured figures are at no charge.
- All illustrations should be prepared for printing to fit 80 mm (column width), 113 mm (2/3 page width), or 169 mm (full page width), by up to 254 mm in length. **It is preferred that the full-page length is not used and that authors keep in mind that the caption will be placed underneath the figure.** In the event that full-page length is necessary for plates, captions will have to appear on adjacent (facing) pages.
- Computer prepared photographic images must have a minimum resolution of **300 dpi** at the final publication size, colour figures a minimum of **600 dpi**.
- Figures should be numbered with **Arabic numerals** (e.g., Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3,...) according to their sequence in the text.
- All figures must be numbered in the order in which they appear in the paper. In multi-part figures (plates), each part should be labelled with capital letters in lower left corner.
- Avoid **SEM and light microscopy images** on the same multi-part figure.
- Figure captions must be saved **separately as part of the file containing the complete text of the paper**, and numbered correspondingly.
- Files should be saved and submitted as one of the following file formats: TIFF (Tagged Image

File Format; **preferred!**), PostScript or EPS (Encapsulated PostScript), and should contain all the necessary font information and the source file of the application. For reducing file sizes, LZW compression while saving the file may be used.

- Please submit line art as Adobe Illustrator or EPS files. These must be at a minimum resolution of **600 dpi** at publication size. High resolution may be necessary where fine line detail is present.
- Graphical results (graphs, diagrams, etc.) from statistical software packages might be **printed from the original software directly into PDF files**, which then can be submitted.
- Microsoft Excel graphs are acceptable. Note that vertical axes must all be at the same scale especially where the paper compares between them. Otherwise they should be produced as separate figures. Avoid 3d plots when presenting 2d data.

Please note: It is in the author's interest to provide the highest quality figure format possible. Please do not hesitate to contact the editorial office if you have any queries.

Please note: Lettering of figures and plates should be of a **sans-serif type** (i.e., Segoe UI or Arial) with a minimum size of 12 pt and maximum size of 20 pt. Lettering should run from left to right and illustrations should be separated from each other by a **uniform gutter of 2 mm**. Descriptive labelling in the figures should be clearly readable; for all lettering, a minimum size of 6 pt for labelling items on photographs or in line art is recommended and a maximum size of 10 pt is suggested.

Use a **scale bar** to indicate magnifications and place it in the lower right corner if possible; do not label scale bars in the **micrographs**; include this information in the figure caption.

Please note: Electronic scale bars and lettering produced by SEM graphics packages are inadequate and must be **removed**.

Table and figure captions

Figure captions should include a statement at the end of each caption about reproduction size (e.g., at full page width, at column width). They should be typed in the journal format. Explanations should be brief and authors should keep in mind that captions will be placed below figures.

Example:

Fig. 5: *Parapuzosia* (*Parapuzosia*) *seppenradensis*. Dimorphism, red arrow points to the living chamber. **a** Microconch, restored. **b** Lectotypus, largest specimen, LWL-Museum für Naturkunde, Münster, macroconch. Scale bars 10 cm (A), 30 cm (B). [full page width]

Pl. V: *Alphadon marshi*, left upper tooth row in **A** labial, **B** lingual and **C** occlusal view.

3. Miscellaneous

Review process

The author is asked to name two potential reviewers, including contact details. Additional suggestions are appreciated.

Publication charges

There are no publication charges for *Geologie und Paläontologie in Westfalen*.

Reproduction of copyright material

If you wish to include any material in your manuscript in which you do not hold copyright, you must obtain written permission from the copyright owner, prior to submission. Such material may be in the form of text, data, tables, illustrations, photographs, line drawings, maps and screenshots, and any supplemental material you propose to include. This applies to direct (verbatim or facsimile) reproduction as well as "derivative reproduction" (where you have created a new figure or table which derives substantially from a copyrighted source).

You must ensure appropriate acknowledgement is given to the permission granted to you for reuse by the copyright holder in each figure or table caption. You are solely responsible for any fees, which the copyright holder may charge for reuse.

The reproduction of short extracts of text, excluding poetry and song lyrics, for the purposes of criticism may be possible without formal permission on the basis that the quotation is reproduced accurately and full attribution is given.

Manuscript submission

All submissions should be sent as email-attachments to the editor-in-chief. Manuscripts may be submitted in any standard editable format, preferably in Microsoft Word. The files will be converted into a PDF file for the review process.

Copyright and authors' rights

To assure the integrity, dissemination and protection against copyright infringement of published articles, you will be asked to assign to LWL-Museum of Naturkunde Münster, via a Publishing Agreement, the copyright in your article. Your article is defined as the final, definitive and citable Version of Record, and includes the accepted manuscript in its final form, including the abstract, text, bibliography and all accompanying tables, illustrations, data. Our Publishing Agreement with you will constitute the entire agreement and the sole understanding between LWL-Museum für Naturkunde and you; no amendment, addendum or other communication will be taken into account when interpreting your and LWL-Museum of Naturkunde's rights and obligations under this Agreement.

Free article access / Open access / Reprints

All articles and volumes of *Geologie und Paläontologie in Westfalen* are freely available (Open Access) through the website of the LWL-Museum für Naturkunde, Münster (<https://www.lwl-naturkundemuseum-muenster.de/de/naturkundemuseum/literatur/schriftenreihen/download-geologie-u-palaeontologie>). The corresponding author is provided with a free article PDF and five reprints of the article; additional authors get one free reprint each.

Last updated 06 October 2020

Inhalt

- Detlev K. Richter, Andreas Schudelski,
Rolf D. Neuser & Denis Scholz** 3
Weichselzeitliche Umbrellacalcite
aus der Höhle „Malachitdom“ (NE-Sauerland):
vom Kaltwasser- zum Ausfrierstadium in Pools auf Eis
- Rico Schellhorn & Manfred Schlösser** 15
A partial distal forelimb of a woolly rhino
(*Coelodonta antiquitatis*) from Wadersloh
(Westphalia, Germany) and insights from
bone compactness
- Klaus Skupin & Eckhard Speetzen** 37
Ungewöhnlich große Gerölle im Tal der Beke und
des Ellerbachs (Paderborner Hochfläche/Eggegebirge)
- Matías Soto, Pablo Toriño & Daniel Perea** 57
Reply to Rauhut et al. 2020: The oldest record of the
genus *Torvosaurus* (Theropoda: Megalosauridae)
from the Callovian Ornatenton Formation
of north-western Germany.
Geologie und Paläontologie in Westfalen. 93: 31–43
- Mitteilungen** 62

