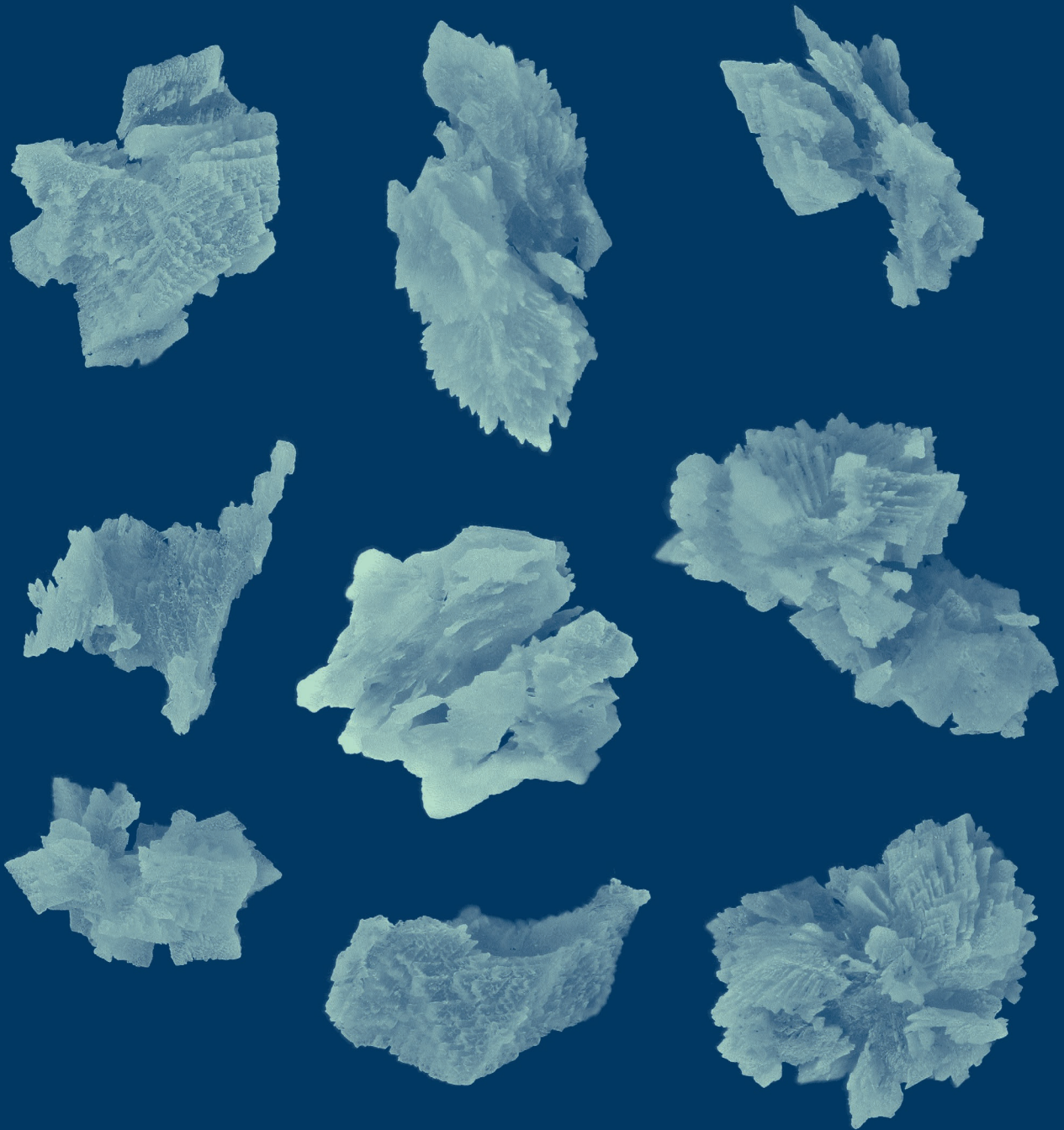


GEOLOGIE UND PALÄONTOLOGIE IN WESTFALEN

Heft 93



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 Zuschussung 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. Schreiben 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. IA, 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-*

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:10.1080/00171314.2013.829869.

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. & Pragowski 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, editierbarem 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 aus folgenden 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-palaeontologie/>) 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 geologische 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 hinters

Umschlagbild

Kalkwassercalcite aus der Fretter Wasserhöhle im Elspe-Riffkomplex

Ausschnitt aus Richter, Mueller et al., Abb. 6&7

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

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

ISSN 0176-148X
ISBN 978-3-940726-70-4

© November 2020 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.

Erste weichselzeitliche Kryocalcite im Attendorn-Elsper Riffkomplex (Frettermühler Wasserhöhle, Südwestfalen)

Detlev K. Richter, Mathias Mueller, Alexander Platte & Denis Scholz

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

Mathias Mueller
Institut für Geologie, Mineralogie
und Geophysik
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150
44801 Bochum

Alexander Platte
Diepke 4
58642 Iserlohn

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

Korrespondierender Autor:
mathias.mueller-11y@rub.de

Manuskript
Eingegangen: 24.04.2019
Akzeptiert: 10.09.2019
Online verfügbar: 10.12.2019

© LWL-Museum für Naturkunde

Kurzfassung

Erstmals werden weichselzeitliche Kryocalcite ($^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter: 22,4-23,5 tausend Jahre (ka)) aus einer Höhle des mittel-/oberdevonischen Riffkomplexes von Attendorn-Elspe (Südwestfalen) dokumentiert. Es handelt sich vorrangig um sphärolithische, bis zu 4 cm große Aggregate, die rhomboedrische Calcite überwachsen haben. Die Sphärolithgeneration (Zopfsinter) entspricht mit $\delta^{18}\text{O}$ -Werten zwischen -18,0 und -20,1 ‰ V-PDB kryogenen Kristallisaten, während die rhomboedrischen Calcite mit $\delta^{18}\text{O}$ -Werten zwischen -11,5 und -19,6 ‰ V-PDB Bildungsbedingungen zwischen Kaltwasser- und Kryocalciten widerspiegeln.

Die Genese der kaltzeitlichen Speläotheme wird im Zusammenhang mit der Entwicklungsgeschichte von Pools auf Höhleneis um das Interstadial 2 der Weichselkaltzeit oberhalb einer Relikteiszone eines bis über 100 m tief reichenden Permafrosts diskutiert. Die kryogenen Aggregate sowie die Kaltwassercalcite sind nach dem Abschmelzen des weichselzeitlichen Höhleneises mit anderen – kleineren – Kryocalcittypen (Rhomboeder und sphärolithische Hanteln) am Höhlenboden und auf Wirtsgesteinsblöcken vermengt abgelagert worden.

Die Kryocalcite sind jünger als eine zerbrochene eemzeitliche Sintergeneration ($^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter eines Stalagmiten: 124,6 ka). Eine spätglazial/holozäne Sintergeneration ($^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter einer Stalagmitenbasis: 14,0 ka) hat die Kryocalcitolagerungen teilweise vollständig überdeckt.

Schlüsselwörter: Weichselkaltzeit, Kryocalcite, Speläothemtypen, Attendorn-Elsper-Riffkomplex

Abstract

Cryogenic calcites from the Weichselian ($^{230}\text{Th}/\text{U}$ -age: 22.4-23.5 thousand years (ka)) are for the first time documented from a cave in the Middle-/Upper Devonian Attendorn-Elspe reef complex (South Westphalia). They predominantly consist of up to 4 cm large spherulitic aggregates, which overgrew rhomboedric calcites. The spherulitic generation ($\delta^{18}\text{O}$ values between -18.0 and -20.1 ‰ V-PDB) matches the composition of cryogenic crystallites, while the rhomboedric calcites ($\delta^{18}\text{O}$ values between -11.5 and -19.6 ‰ V-PDB) mirror precipitation conditions between coldwater- and cryocalcites. Genesis of coldwater to cryogenic speleothems is discussed in context with the evolution of cave pools on top of cave ice (permafrost zone down to 100 m depth and more) during interstadial 2 of the Weichselian time scale. Subsequent to the Weichselian, the cave ice melted and a mixture of cryogeneuous- (including several small rhomboedric and barbell-shaped types) and coldwater calcites were deposited at the cave bottom and on top of large host rock blocks.

The cryocalcites are younger than speleothems of Eemian age dated by a stalagmite with 124.6 ka. A late-glacial to Holocene speleothem-generation ($^{230}\text{Th}/\text{U}$ -age of a stalagmite base: 14.0 ka) partly covers the cryogenic calcite deposits.

Keywords: Weichselian glaciation, cryogenic calcites, speleothem types, Attendorn-Elspe reef complex

1. Einführung

Grobkörnige (bis > 1 cm Durchmesser) Kryocalcite sind in den letzten 15 Jahren aus 16 Höhlen des weichselzeitlichen Periglazialgebiets zwischen skandinavischem und alpinem Vereisungsgebiet belegt worden (Abb. 1). Die bisherige Kenntnis bezieht sich auf Höhlen des Rheinischen Schiefergebirges (Richter & Niggemann 2005; Richter et al. 2011), des Weserberglandes (Richter et al. 2013), des Harzes (Richter et al. 2017a) und der Frankenalb (Richter et al. 2017b). Die Genese dieser calcitischen Kristalle sowie Kristallaggregate (Rhomboider, Rhomboiderketten, Skelettkristalle, Sphärolithe und Komposit-Sphärolithe = Zopfsinter) wird in Höhlen der Mittelgebirgslandschaften auf langsam ausfrierende Pools auf Höhleneis im Umfeld von Interstadialen während der Weichselkaltzeit zurückgeführt (Zak et al. 2012, 2018). Bei diesem Prozess wird das schwerere ^{18}O -Isotop bevorzugt ins Eis eingebaut, sodass sich die Calcitkristallite durch sehr negative O-Isotopensignaturen (bis < -20 ‰ V-PDB) auszeichnen. Da warmzeitliche Kleinsinter mit deutlich positiveren $\delta^{18}\text{O}$ -Werten ähnlich strukturiert sein können

(u.a. Rafts, Coralloide), ist ein sicherer Beleg für die Kryogenese der Calcite nicht über ihre Form, sondern nur über deren O-Isotopenzusammensetzung möglich (vgl. Richter et al. 2018a).

Die speläogenen Kryocalcite haben für die Rekonstruktion der Klimaentwicklung der Weichselkaltzeit Mitteleuropas eine herausragende Bedeutung, da einerseits Ausfrierzeiten belegt werden und andererseits Mindesttiefen von Permafrostböden angegeben werden können (Zak et al. 2012). So sind inzwischen Mindestpermafroststärken von über 50 m für die Südalb (Richter et al. 2017b) und über 70 m für den Westharz (Richter et al. 2017a) rekonstruiert worden. Um ein vollständiges Bild zur weichselzeitlichen Permafrostentwicklung Mitteleuropas zu erhalten, sind allerdings noch viele weitere Funde und Datierungen speläogener Kryocalcite notwendig.

Die in dieser Studie vorgestellten Kryocalcite der Frettermühler Wasserhöhle sind als weiterer Puzzlestein zur Variabilität der Permafrosttiefe und somit zur weichselzeitlichen Klimarekonstruktion Mitteleuropas im

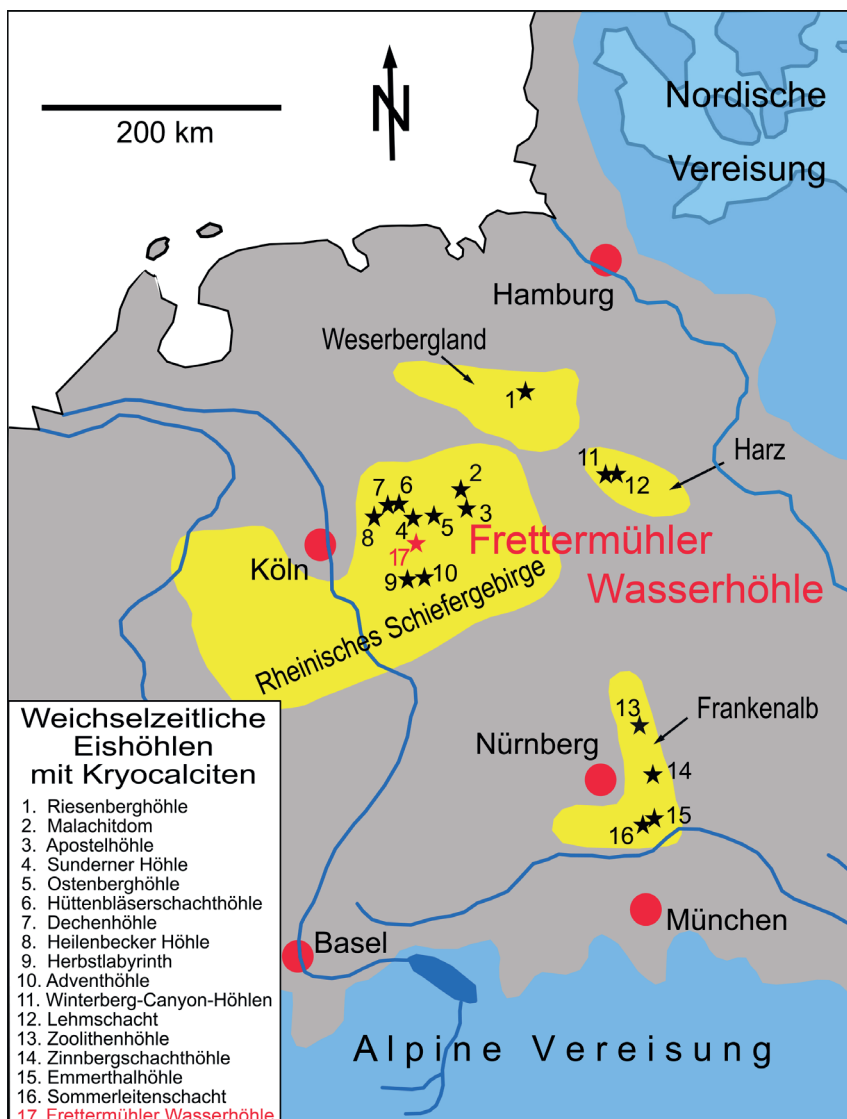
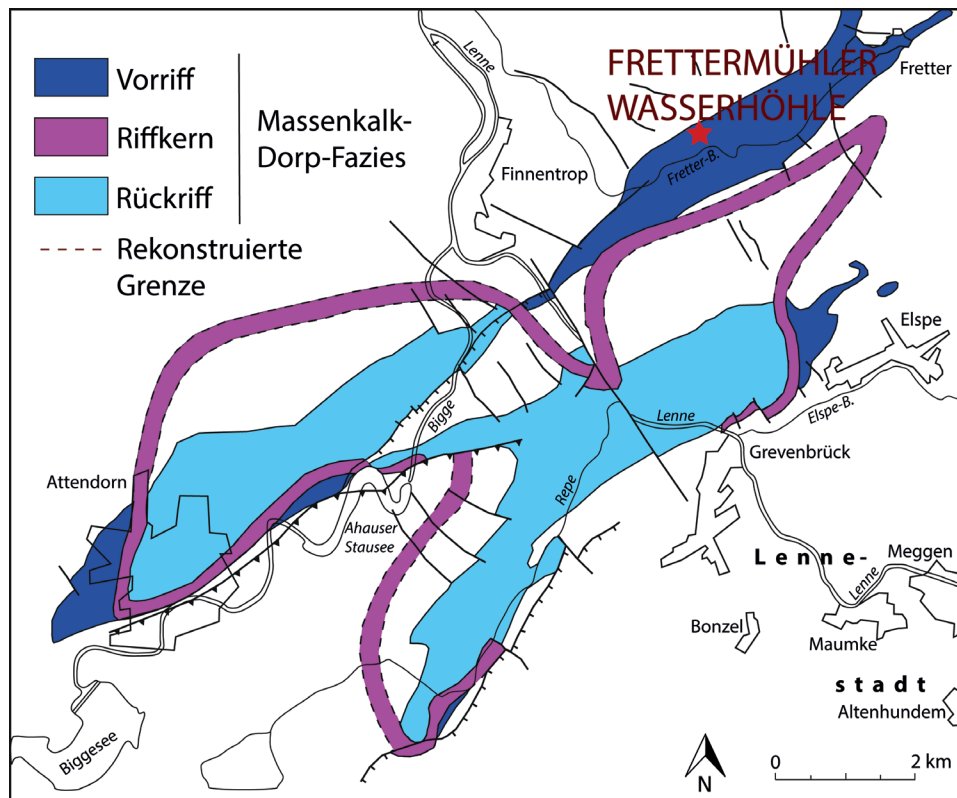


Abb. 1: Lage der Frettermühler Wasserhöhle im Rahmen der bislang bekannten Höhlen im zentralen Mitteleuropa mit grobkörnigen Kryocalciten zwischen nordischer und alpiner Vereisung der Weichselkaltzeit (ergänzt nach Richter et al. 2017, 2018a).

Abb. 2: Geologisches Umfeld der Frettermühler Wasserhöhle im Rahmen der Dorpfaziesverteilung des Attendorner-Elssper Riffkomplexes nach Gwosdz (1972) und Krebs (1978).



Allgemeinen und des Rheinischen Schiefergebirges im Speziellen zu sehen. Aufgrund der erst kürzlich erfolgten Entdeckung der Höhlenräume mit den Kryocalciten konnte hier der Originalzustand der Fundstelle in besonders begünstigter Weise begutachtet werden.

2. Geologisch-geographischer Überblick

Die im Zentralbereich des rechtsrheinischen Schiefergebirges gelegene Frettermühler Wasserhöhle (Abb. 1) ist nördlich des Fretterbachs – Nebenfluss der Lenne bei Finnentrop – im mittel- bis oberdevonischen Massenkalk des Attendorner-Elssper Riffkomplexes ausgebildet. Nach Gwosdz (1972) und Krebs (1978) handelt es sich beim Wirtsgestein um Vorriffgesteine des Attendorner-Elssper Atolls (Abb. 2). Dabei handelt es sich vorrangig um Riffschuttkalke mit unterschiedlichen Anteilen an Bioklasten von Stromatoporen, Korallen, Brachiopoden und Echinodermen, während lagige Stromatoporen in Lebendstellung nur partienweise auftreten. Die Kalke haben nach Krebs (1978) eine hohe Primärporosität, aber nach eigenen Beobachtungen gibt es im Umfeld der Höhle einen hohen Anteil an Kalkschlamm. Der hier dickbankige Massenkalk fällt in südöstliche Richtung zum Kern der Attendorner Mulde ein.

Die über 50 bislang bekannten Höhlen der Attendorner-Elssper Doppelmulde sind nach Ahrweiler (1995) vorrangig flachphreatisch unter Nutzung des Trennflächensystems (besonders N/NW – S/SE Richtungen) entstanden. Dabei hat die jungtertiär/quartäre Hebung des Rheinischen Schiefergebirges in Verbindung mit

großklimatischen Klimawechseln von Kalt- und Warmzeiten zu niveaubundenen Häufungen geführt. So konnten im Raum Iserlohn die Höhlenniveaus des Grünerbachtals mit den Flussterassen der Lenne korreliert werden (Niggemann et al. 2018). Allerdings weist Ahrweiler (1995) auch auf tiefphreatisch gebildete Hohlräume hin, die bei Bohrarbeiten zum Bau der Biggetalsperre angetroffen wurden. Zudem könnten postvariskische Hydrothermalaktivitäten eine Rolle zu initialer Hohlraumbildung gespielt haben, denn die Dolomitisierung der Massenkalke folgt nach Krebs (1978) den Schieferungs- und Klufflächen und ist nach eigenen Beobachtungen im südlich gelegenen Raum von Grevenbrück (Elssper Mulde) mit der Bildung von Hydrothermalquarzen (Zonarbau mit sich typischerweise schnell verändernden Kathodolumineszenzeigenschaften) verbunden. So sind auch die Bereiche der Frettermühler Wasserhöhle mit dekazentimetergroßen Calcitkristallen auf eine hydrothermale Versiegelung von Hohlräumen zurückzuführen. Derartige Hydrothermalmineralisationen sind im nördlichen Rheinischen Schiefergebirge weit verbreitet, wobei Hohlraumbildungen (>1 km Länge, 100-200 m Breite und 20 m Höhe bei Wülfrath) den Mineralisationen (besonders Hydrothermalquarz, Satteldolomit und Calcitspat) aufgrund von migrierenden aggressiven Lösungen unter Schiefergasbeteiligung zu Beginn tektonisch aktiver Zeiten (z.B. Jura/Kreide-Übergang) vorausgingen (Drozdowski et al. 2017). Insgesamt muss von einer mehrphasigen Hohlraumbildung im Bereich der Frettermühler Wasserhöhle ausgegangen

werden, wobei die flachphreatische Höhlenbildung sensu Ahrweiler (1995) lediglich die jüngste Höhlenbildungsphase darstellt. Die im Attendorn-Elsper Massenkalkgebiet weit verbreiteten Exokarsterscheinungen sind aufgrund der Großklimawechsel im Quartär wiederholt reaktiviert worden, wobei sich die Einzelphasen zeitlich bislang nicht erfassen lassen und somit diesbezüglich keine Korrelationsmöglichkeit mit verschiedenen Höhlenbildungsniveaus gegeben ist.

3. Frettermühler Wasserhöhle

Der vom Fretterbach aus beginnende Teil der Frettermühler Wasserhöhle wurde nach Ahrweiler (1995) von K. Scheller und D. Stoffels entdeckt, zu Beginn der 80er Jahre erstmals betachtet (Hammerschmidt, 1985) und von Weber (1987) unter der Nummer 4814/014 ins westfälische Höhlenkataster aufgenommen. Erst Anfang 2017 durch-

geführte geophysikalische Untersuchungen ermöglichten die Auffindung und Freilegung eines trockenen Zugangs auf einem Privatgrundstück (Besitzer: Daniel Gies). Von diesem inzwischen gefassten Höhlenzugang aus erfolgten 2017/2018 die Vermessungen zum Höhlenplan (Abb. 3). Die bislang vermessene Gesamtlänge der Frettermühler Wasserhöhle beträgt ca. 500 m. Der altbekannte Eingang (1) liegt im Fretterbachtal auf 270 m NN direkt über Bachniveau, während sich der neue Eingang (2) auf 300 m NN auf der Westseite des Bermecke Tales befindet. Die Höhle erstreckt sich großräumig in NS-Richtung, hat aber kleinräumig im nördlichen Teil einen labyrinthischen Charakter (maximale Erstreckung der Großen Versturzhalle ca. 45 x 20 x 15 m). Die Massenkalk-Überdeckung beträgt maximal 30 m, worauf maximal 3 m Mischsedimente aus Verwitterungsrückständen sowie Lösslehm mit Parabraunerde/Braunerde-Bodenbedeckung (Wirth 1978) lagern.

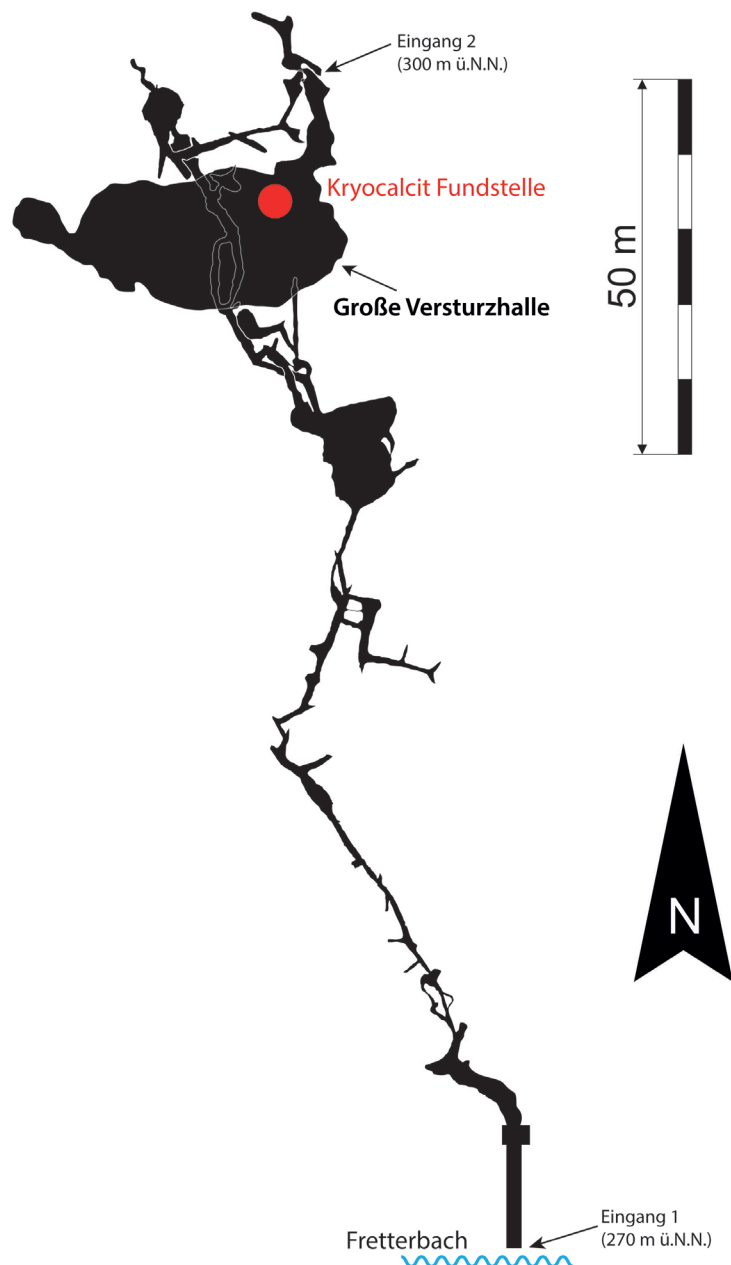


Abb. 3: Vereinfachter Höhlenplan nach Alexander Platte (SGL) und Stephan Schild (AKKH) mit roter Markierung für die Verbreitung der Kryocalcite in der Großen Versturzhalle. Gesamtlänge ca. 500 m, Höhendifferenz ca. 32 m.

4. Fundsituation

Vom neuen Eingang (2) erreicht man nach einem etwa 20 m langen Schrägabstieg die reichhaltig mit Sinterschmuck versehene Große Versturzhalle. Das untere Drittel der Halle wird von Versturzböcken bis mehrere Kubikmeter Größe dominiert, die überwiegend von jungen Bodensintern überzogen worden sind. Im unteren, zentralen Teil der Halle fallen im Umfeld von 10 m² auf einigen Blöcken aggregatreiche Lagen auf (Abb. 4A), die bei genauer Betrachtung viele 1-5 mm Durchmesser ausmachende, weiß/beigefarbene „Kuppen“ haben. (Abb. 4B). Zwischen den Aggregaten lagert feineres, mit der Lupe nicht exakt bestimmbares Sediment. Die Aggregatlagen sind bei den Hauptfundstellen nicht bis wenig übersintert (Abb. 4C), aber direkt benachbart sind sie vollständig von Bodensintern überzogen, die zerbrochen und wiederum übersintert vorliegen können (Abb. 4D). Die gleichen Partikeltypen finden sich weniger häufig mit Höhlenlehm vermengt auf dem Höhlenboden, zwischen und unter den Versturzböcken. Zur besseren Alterseingrenzung der Aggregatlagen wurden nicht nur die Speläopartikel datiert, sondern auch zwei kleinere Stalagmiten (Abb. 5). Der Stalagmit von Abb. 5A korres-

pondiert mit dem Bodensinter über den Aggregatlagen, während der Stalagmit von Abb. 5B zu einem verstellten Versturzblock gehört und von kleinen Stalagmiten überlagert wird.

5. Methodik

Nach Wässerung der Proben mit vorsichtigem Dekantieren der Trübe erfolgte eine Feinreinigung zur Entfernung des anhaftenden Höhlenlehms im Ultraschallbad. Anschließend wurde eine handverlesene Partikeltypisierung unter einem binokularen Auflichtmikroskop durchgeführt.

Die mesoskopischen Aufnahmen der Kleinsinter erfolgten mit einer Canon Eos 50D mit Makroobjektiv 60 mm EF-S in Kombination mit einem Balgengerät Novoflex Balcan AF. Zur Dokumentation der äußeren Feinstkonturen der Kleinsinterformen wurden goldbesputtete Präparate mit einem hochauflösenden Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop (HR-FEM) vom Typ LEO/Zeiss 1530 Gemini digital erfasst.

Die Kathodolumineszenzeigenschaften der Karbonate wurden mit einem Heisskathoden-Kathodolumineszenz-Mikroskop des Typs HC1-LM LUMIC (Neuser 1995)

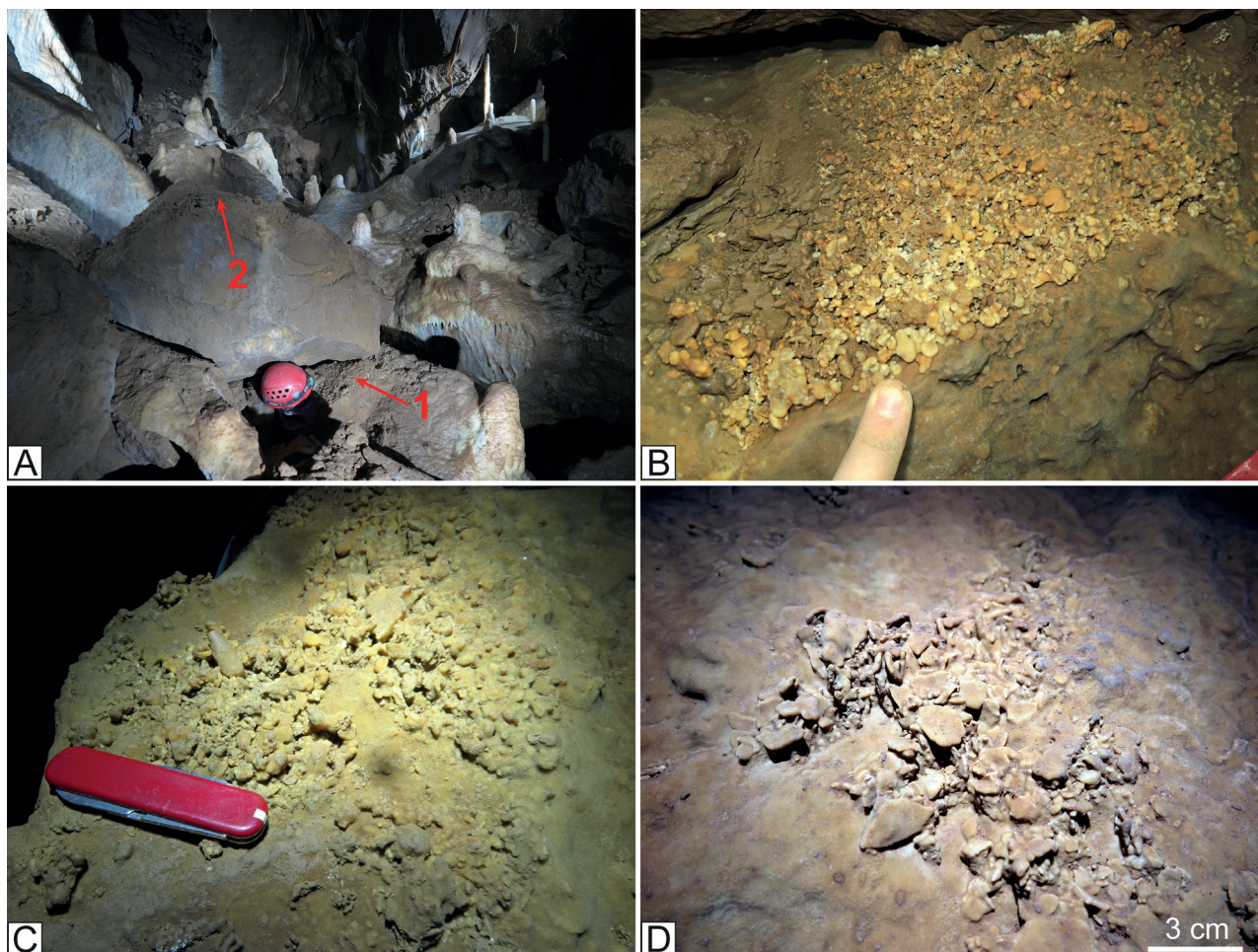


Abb. 4: A Hauptcryocalcit-Fundstellen auf Versturzböcken. 1 = unterer Block, 2 = oberer Block. B-D Detailaufnahmen: B. Partikel auf unterem Block mit Bereich der Partikeltypisierung sowie ²³⁰Th/U-datierten Kryocalciten. C. Partikel auf oberem Block. D. Verfestigte, aufgebrochene und wiederum inkrustierte Kryocalcitlage auf oberem Block.



Abb. 5: $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -datierte Stalagmiten vor der Probenentnahme. Die Stalagmiten sind jeweils mit einem roten Pfeil markiert. **A** Stalagmit auf Kryocalcinitniveau, **B** Stalagmit eines Sinterversturzblocks, auf dem wiederum kleine holozäne Stalagmiten gewachsen sind.

ermittelt, wobei ein Spektrograph mit hochempfindlichem CCD-Detektor (PIXIS, Princeton Instruments) zur Erfassung der Wellenlängen der Kathodolumineszenz (KL) –Farben eingesetzt wurde (u.a. Richter et al. 2003). Die Visualisierung des Organikanteils erfolgte mit einem Leica DM4500P Mikroskop, das mit einer „mercury short-arc“-Reflektorlampe und einer kompakten Leica EL6000 Lichtquelle ausgestattet wurde (Hoffmann et al. 2016).

Für die röntgenographischen Untersuchungen zur genauen Zusammensetzung der Karbonatphasen stand ein Panalytical-MPD-Diffraktometer zur Verfügung, wobei den achatgemörserten Proben Quarzpulver als interner Standard beigemischt wurde. Die C/O-Isotopenzusammensetzung wurde mit einem Massenspektrometer (Finnigan MAT) analysiert (V-PDB) (Standards: CO-1 und CO-8). Weitere Detailangaben sind den Arbeiten Richter et al. (2011, 2013 und 2015) zu entnehmen. Die $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Altersdatierungen wurden mit einem Multi-Kollektor Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (MC-ICP-MS) am Max-Planck-Institut für Chemie (MPIC) in Mainz durchgeführt. Probenaufbereitung und Analytik erfolgten nach Yang et al. (2015), Obert et al. (2016) sowie Gibert et al. (2016).

6. Ergebnisse

6.1 Partikelspektrum

Das Partikelspektrum der Hauptfundstelle (Abb. 4A (1) und 4B) setzt sich mesoskopisch (Lupenbetrachtung) aus glasigen bis weiß-beigen Komponenten zusammen. Über 90 % der Partikel lassen sich rhomboedrischen und sphärolithischen Formengruppen zuordnen, wie sie nach bisherigen Untersuchungen an entsprechenden Partikeln zentralmitteleuropäischer Höhlen aus ausfrierenden Pools auf Eis aufgrund ihrer anormal leichten (negativen) O-Isotopenzusammensetzung bekannt sind (Richter et al. 2014, 2015).

Im Gelände konnten lediglich die groben Partikel angesprochen und unterschieden werden, während bei einer mikroskopischen Analyse zusätzliche Formtypen identifiziert werden konnten. Daher wurde für alle Sedimentproben eine Siebtrennung (1 mm-Maschenweite) vorgenommen, sodass zwischen Grob- und Feinfraktion unterschieden werden konnte.

Grobfraktion: Das bereits im Gelände auszumachende Partikelspektrum der in dieser Studie besonders berücksichtigten Grobfraktion setzt sich zu gleichen Teilen aus (A) durchscheinenden bis milchigen Kristallen/Kristallaggregaten mit häufig nicht vollständig ausgebildeten Rhomboedern und (B) weißen, scheinbar kryptokristallinen Aggregaten mit rundlichen bis blumenkohlähnlichen Oberflächen zusammen (Abb. 6). Die hochporösen Rhomboedercalcite (Abb. 7A) haben häufig eine unvollständige Kristallflächenausbildung mit unregelmäßig scharfen Kanten, wodurch sich das Erscheinungsbild von Skelettcalciten ergibt. Die weißen Aggregate sind faserig, mit steilen Rhomboedern als Endbegrenzung der Fasern, aufgebaut (Abb. 7B, C). Diese Partikel sind häufig zu mehreren Sphärolithen verwachsen, womit sie den bereits wiederholt beschriebenen Zopfsintern gleichen (vgl. Richter et al. 2013, 2015). Oft überwachsen diese Sphärolithe krustenartig die zuvor beschriebenen durchscheinenden Rhomboedercalcite (Pfeile in Abb. 7B), sodass ein für die Ereignisabfolge wichtiger Altersbezug gegeben ist.

Feinfraktion: Als Hauptkomponententyp in der Feinfraktion treten durchscheinende, mitunter schwach milchige, meist unregelmäßig begrenzte Kristalle auf, die wohl als Zerfallsprodukte von größeren skelettösen Rhomboedercalciten (A) der Grobfraktion) anzusehen sind. Daneben treten zwei weiße eindeutig interpretierbare Partikeltypen auf (Abb. 7D): (a) Rhomboeder mit leicht gewölbten und stufenförmig ausgebildeten Flächen als Einzelkristalle sowie Ketten (Abb. 7E), (b) meist langgestreckte,

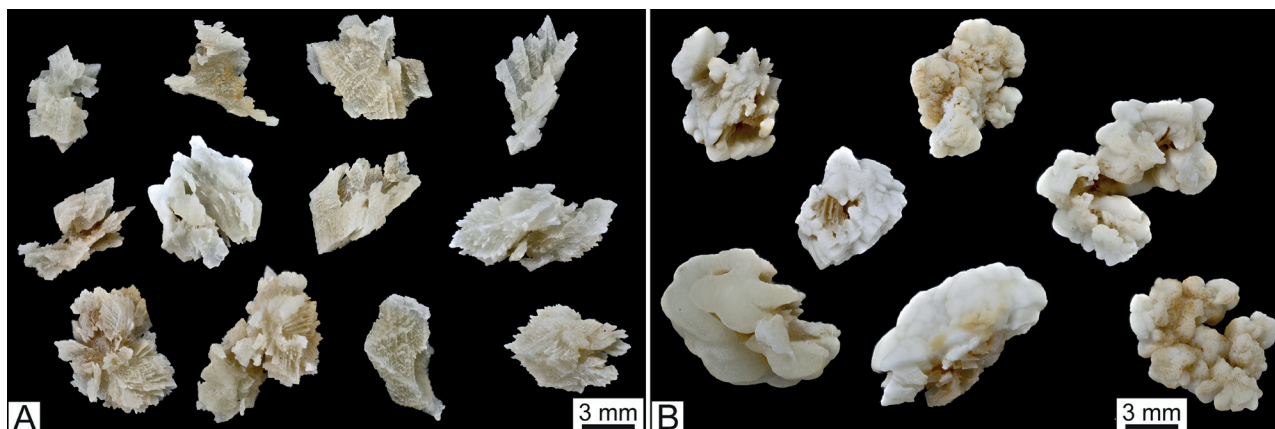


Abb. 6: Makroaufnahmen von rhomboedrischen, skelettartigen Kaltwassercalciten (A) und Mischpartikeln (B) mit kryogenen Sphärolithüberzügen (weiß) auf skelettartigen Calciten (vgl. A).

selten gedrungene Hanteln (Abb. 7F). Diese rhomboedrischen und sphärolithischen Ausbildungen sind bereits mehrmals in Kryocalcitspektren beschrieben worden (u.a. Richter et al. 2013, 2015).

6.2 Dünnschliffuntersuchungen

Die Mineralisationsabfolge in den Kryocalcitsedimenten der Hauptfundstelle (Abb. 4A/B) wurde durchlichtmikroskopisch, sowie mit Hilfe von Kathodolumineszenz (KL)- und Fluoreszenzmikroskopen, an Dünnschliffen von anverfestigtem Kryocalcitsediment erarbeitet. Wie bei den bisherigen Kryocalcibearbeitungen (u.a. Richter et al. 2013, 2018) wurden KL-Untersuchungen in den Vordergrund gestellt, da über die vielfältigen KL-Eigenschaften der Calcite aufgrund von Gitterdefekten, sowie von Aktivatoren (Mn^{2+} und Seltenerdelemente) (Richter et al. 2003), die meisten Differenzierungen zu erwarten waren. Insgesamt konnten vier Calcittypen unterschieden werden (vgl. Abb. 8).

Durchlichtmikroskopie: Durchlichtmikroskopisch erweisen sich die im Partikelspektrum morphologisch beschriebenen Skelettcalcite (Calcit 1) als pigmentarm bei deutlicher Undulosität (Abb. 8A-Sk). Die darauf ausgeschiedenen pigmentreicheren Sphärolithe (Calcit 2, Abb. 8A-Sph) setzen sich aus Calcitfasern zusammen, die bei stärkerer Mikroskopvergrößerung auch undulös zusammengesetzt sind (in Wachstumsrichtung divergierende optische Achsen). An die Sphärolithe schließt sich ein <1 mm dicker, ebenfalls faserig ausgebildeter Calcitsaum (Calcit 3) an, bei dem ein sehr feiner Wechsel von pigmentreicheren und pigmentarmen Zonen zu beobachten ist (Abb. 8E). Nur in einigen Mikrokavernen (<2 mm Ø) der anverfestigten Sedimente kann nach feinklastischen Sedimenteinspülungen ein blockiger Calcit (B) beobachtet werden (Abb. 8I-L).

KL-Mikroskopie: Das KL-Verhalten der Skelettcalcite (Calcit 1) und der Sphärolithe (Calcit 2) erscheint

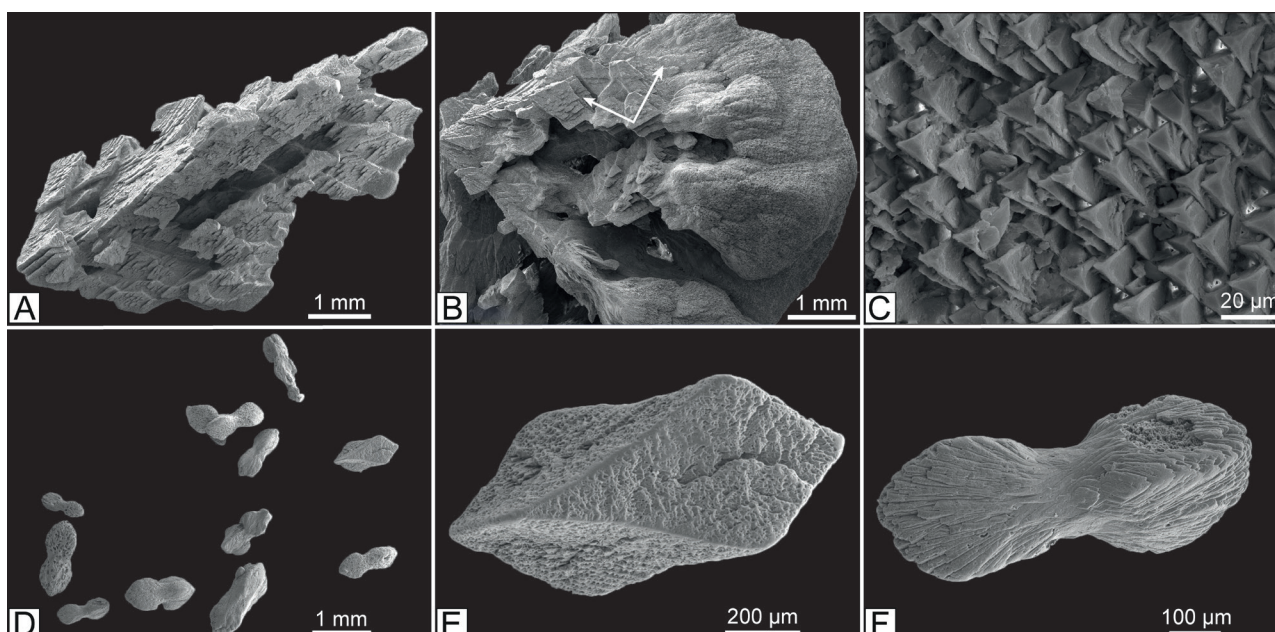


Abb. 7: Rasterelektronenmikroskopische (REM) Aufnahmen. **A-C** = Grobfraction, **D-F** = Feinfraktion. A. poröser Skelettcalcit, B. faseriger Aufbau (s. Pfeile) eines Zopfsinters, C. Faserenden eines Zopfsinters, D. Übersicht zur Feinfraktion, E. Rhomboeder, F. Hantel.

insgesamt intrinsisch (blau) zu sein, aber bei genauer Betrachtung können hell- und dunkelblaue Bereiche unterschieden werden. (Abb. 8C und G). Dieses fleckige KL-Muster zeichnet in den Sphärolithen die Faserrichtung der Calcite nach, sodass zwei Calcitphasen anzunehmen sind. In den Calcitfasern ist die dunkelblaue KL im Inneren und die hellblaue KL in den Randbereichen der Kristalle ausgebildet, was sich mit der Pigmentverteilung deckt. In den pigmentreicheren Calciten gibt es nach Richter et al. (2002, 2003) eine größere Gitterstörung, sodass die KL-Farben heller sind. Da hier hell- und dunkelblaue KL auf engstem Raum wechseln, erscheint die intrinsische Breitbande bei 410-430 nm

gegenüber klarem Calcit breiter (vgl. die Spektren A und E in Abb. 10). Die dünnen, auf den Sphärolithen beobachteten, feinstlaminierten Krusten der Calcitgeneration 3 setzen sich KL-mäßig aus einem Wechsel von intrinsischen sowie Mn^{2+} -aktivierten Laminae zusammen (Abb. 8G und 9). Nach Geländebeobachtungen können diese Krusten in holozäne Stalagmiten übergehen. Dabei gibt es eine weitere interne Gliederung der Calcitgeneration 3, indem der erste Bereich verwaschene KL-Farben aufweist, während die mittleren und äußeren Bereiche nur wechselnde intrinsische (blaue) und Mn^{2+} -aktivierte (orangene) Laminae enthalten. In den verwaschenden Lagen kann eine Anreicherung der Seltenerdelemente

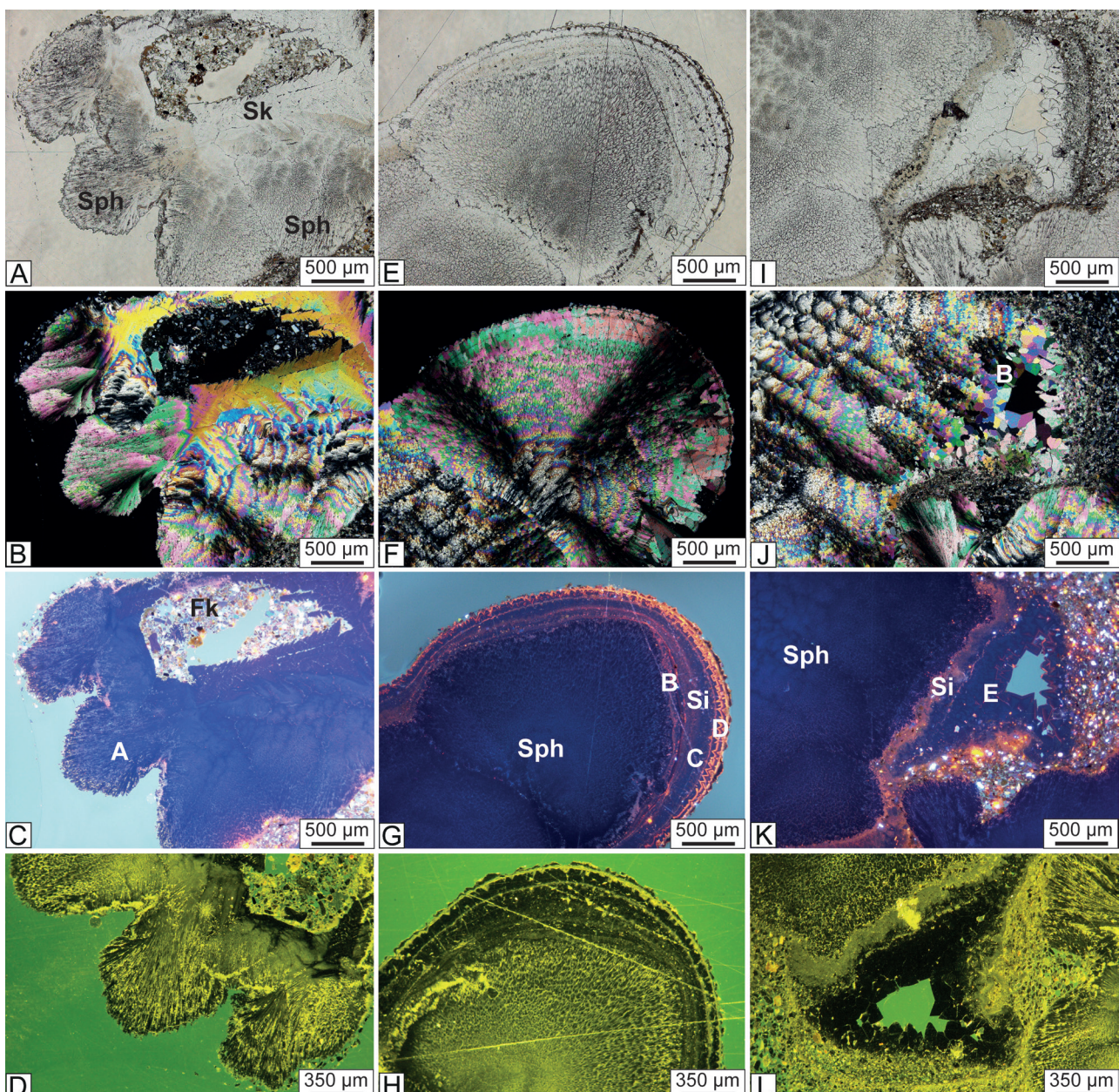


Abb. 8: Dünnschliffaufnahmen der Kristallsande (A,E,I = normales Durchlicht, B,F,J = polarisiertes Licht, C,G,K = Kathodolumineszenz, D,H,L = Fluoreszenz): **A-D** = Sphärolithcalcit (Sph) auf Skeletcalcit (SK) mit Spektrienlokation A in C; **E-H** = fibröser Sinter (Si, blau/orange laminiert mit Spektrienlokationen B bis D) homoaxial auf Sphärolithcalcit (Sph, blaue KL in G); **I-L** = Blockcalcit (B) in Restpore mit Spektrienlokation K, L (dunkelblaue KL), Sph = Sphärolithcalcit, Si = fibröser Sinter auf Sphärolithcalcit, Fk = feinklastische Einspülung. Das Fluoreszenzbild „L“ ist um 90° im Uhrzeigersinn gedreht worden, um eine optimale Formatabdeckung zu bewahren.

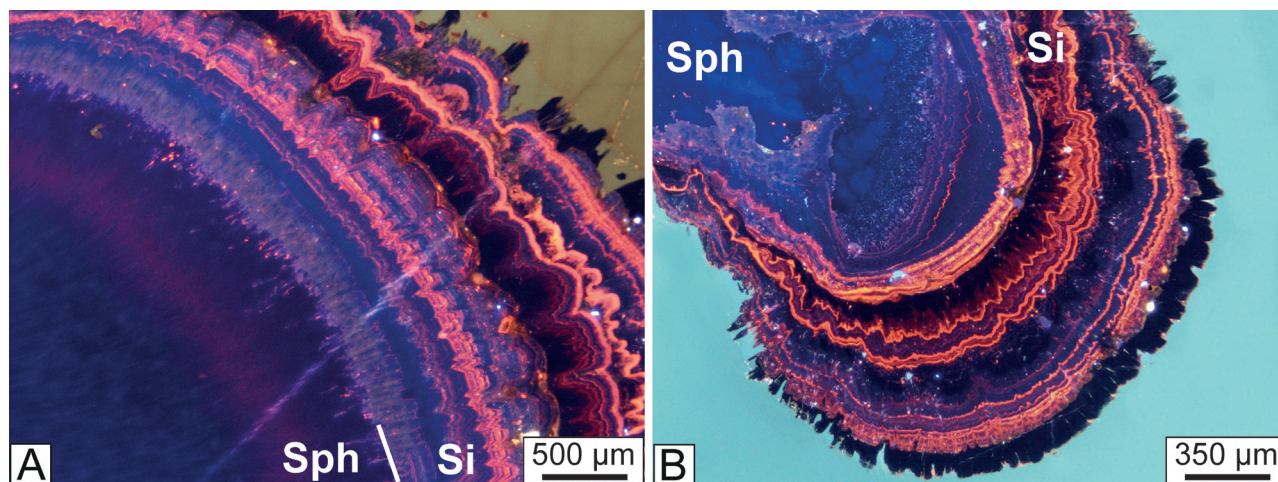


Abb. 9: KL-Aufnahmen eines kontinuierlichen (A) und eines diskontinuierlichen (B) Übergangs von kryogenen Sphärolithen (Sph) in eine holozäne Sinterphase (Si).

Sm und Dy beobachtet werden (Spektrum B in Abb. 10) und die übrigen Bereiche enthalten nur intrinsische und Mn^{2+} -aktivierte Calcite (Spektrum C und D in Abb. 10).

Die durchlichtmikroskopisch als Restporen (s.o.) ausgemachten Mikrokavernen der anverfestigten Kryocalcitedimente sind lokal von einem Blockcalcit (Calcit 4) versiegelt, der überwiegend intrinsisch luminesziert, aber einzelne feinste orangefarbene (Mn^{2+} -aktivierte) KL-Laminae enthält (Abb. 8K-Spektrum E). Diese Ausbildung entspricht meteorisch-phreatischen Zementen, wie sie für viele Karbonatgesteine des Phanerozoikums nach einer umfassenden Zusammenstellung von Bruckschen & Richter (1994) typisch sind.

Fluoreszenzmikroskopie: Fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen werden seit über 20 Jahren bei der Bearbeitung von Speläothemen durchgeführt, um Zusatzinformationen (u.a. bei der Jahresschichtung) zur Klimaentwicklung oberhalb der Höhlen zu gewinnen (Fairchild & Baker 2012). Im Fall der anverfestigten Kryocalcitedimente der Frettermühler Wasserhöhle zeigen alle vier Calcitgenerationen einen Einfluss von Organik. Besonders ausgeprägt ist die lagenmäßige Organikverteilung in den Calcitgenerationen 2 und 3 (Abb. 8D-H-L), wobei die im Durchlicht pigmentreicheren Bereiche fluoreszenzmäßig einen höheren Organikanteil wiedergeben. Dieses Phänomen ist bereits bei den Fasern der Calcitgeneration zu sehen, fehlt aber in der letzten Calcitgeneration 4.

6.3 Geochemische Zusammensetzung

Die geochemischen Untersuchungen wurden aufgrund größerer erforderlicher Probenmengen auf die Partikel der Grobfraction fokussiert. Eine entsprechende Bearbeitung der Partikel der Feinfraction ließ sich nur stichprobenartig durchführen (10-20 Partikel pro Probe). Zum besseren Gesamtverständnis wurden die wichtigsten kaltzeitlichen Speläotheme sowie der Massenkalk

mineralogisch mittels Röntgendiffraktometrie pilotartig untersucht. Ein nahezu stöchiometrisch zusammengesetztes Calcitgitter charakterisiert die Rhomboeder ($d_{(104)} = 3,033\text{-}3,036 \text{ \AA}$, 5 Proben) sowie Sphärolithe ($d_{(104)} = 3,032\text{-}3,036 \text{ \AA}$, 5 Proben). Diese Zusammensetzung ähnelt dem Wirtsgestein Massenkalk ($d_{(104)} = 3,032\text{-}3,033 \text{ \AA}$, fünf Proben), in welchem dolomitische Partien ($d_{(104)} = 2,888\text{-}2,897 \text{ \AA}$, zwei Proben) nur untergeordnet auftreten und somit zu keiner wesentlichen Erhöhung des Mg/Ca-Verhältnisses der Tropfwässer geführt haben.

Die C/O-Isotopenuntersuchungen an den warm- und kaltzeitlichen Calciten haben sensu Richter et al. (2013, 2015) zu verschiedenen Datenkollektiven geführt (Abb. 11). Warmzeitliche „normale“ Speläotheme (Boden-/Decken-/Wandsinter) weisen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen $-6,96$ und $-9,58 \text{ ‰ V-PDB}$ und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen $-5,21$ und $-8,80 \text{ ‰ V-PDB}$ auf, wie es für warmzeitlich entstandene quartärzeitliche Speläotheme des mittel-/oberdevonischen Iserlohner Massenkalks gut bekannt ist (Fohlmeister et al. 2012; Riechelmann et al. 2013; Richter et al. 2018). Kaltzeitliche Speläotheme (kryogene und nicht-kryogene Calcite) weisen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen $-0,26$ und $-4,86 \text{ ‰ V-PDB}$ und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen $-11,54$ und $-20,08 \text{ ‰ V-PDB}$ auf. Im Datenkollektiv ergibt sich ein Trend zu schwererer C- mit leichterer O-Isotopenzusammensetzung, wie es u.a. nach Zak et al. (2012) und Richter et al. (2013) für Calcite langsam ausfrierender Becken typisch ist.

Bei Betrachtung der C/O-Daten der verschiedenen Partikeltypen der Grobfraction (Abb. 11) verdeutlichen die Zopfsinter ($\delta^{13}\text{C} = -0,26$ bis $-1,68 \text{ ‰ V-PDB}$, $\delta^{18}\text{O} = -18,04$ bis $-20,08 \text{ ‰ V-PDB}$) eine für Ausfrierprozesse typische leichte O-Isotopenzusammensetzung (Zak et al. 2012, 2018). Die grobkörnigen, klaren bis milchigen Rhomboedercalcite weisen aber mit $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von $-1,38$ bis $-4,86 \text{ ‰ V-PDB}$ und $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von $-11,54$ und $-18,15 \text{ ‰ V-PDB}$ positivere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte und

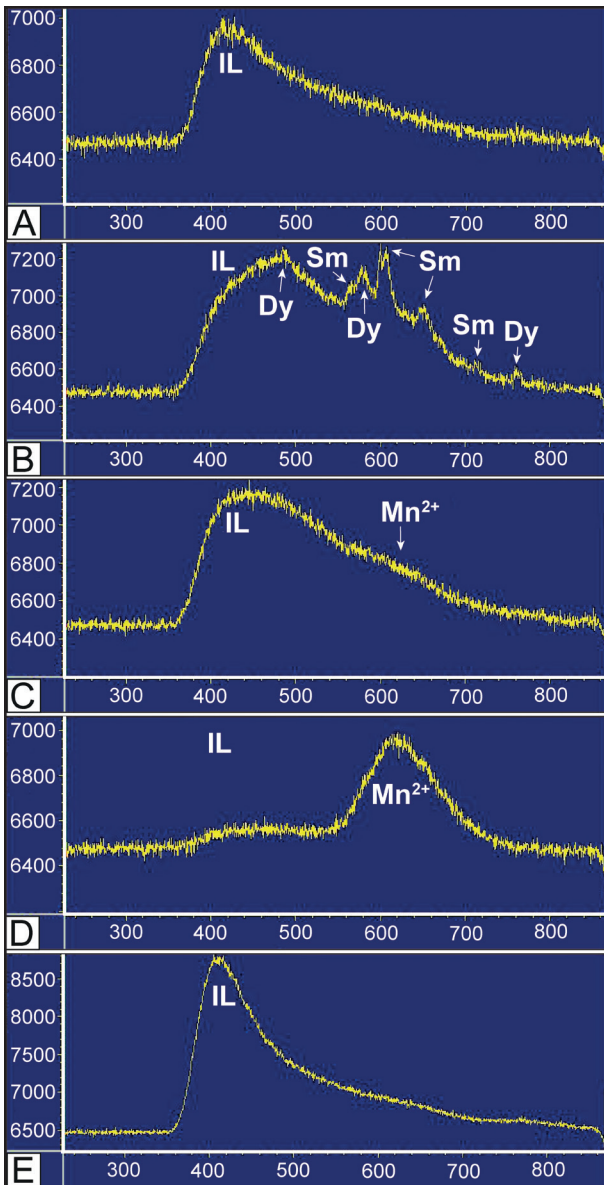


Abb. 10: Spektren zu den KL-Eigenschaften in Calciten der Kristallsande – vgl. Spektrenpunkte in Abb. 8. X-Achse: Wellenlänge [nm], y-Achse: Intensität. Spektrum **A** Sphärolith (8C), Spektrum **B-D** holozäne Sintergenerationen (8G), Spektrum **E** Blockcalcit (B) (8K). IL = Intrinsische Lumineszenz; Mn²⁺, Dy, Sm = Extrinsische elementaktivierte Lumineszenz.

negativere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte gegenüber den sphärolithisch aufgebauten Zopfsintern auf. Nach Beobachtungen von Richter et al. (2013, 2015, 2017) aus dem Herbstlabyrinth-Advent-Höhlensystem (N-Hessen), der Riesenberghöhle (Weserbergland) und der Lehmschachthöhle (Harz), entspricht eine derartige Zusammensetzung dem weiten Übergangsbereich zwischen Kaltwassercalciten (positivere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte) und Kryocalciten (negativere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte). Vermutlich ist der Milieuwechsel kristallintern ausgebildet und deckt sich mit dem nicht exakt zu fixierenden Übergang von klarem zu milchigem (einschlussreichem) Calcitwachstum. Zu dieser Interpretation passt die Beobachtung, dass drei ausschließlich klare Rhomboedercalcite mit relativ schweren Sauerstoff-

daten im Endbereich der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte liegen (Abb. 11) und somit die reinen Kaltwasserbedingungen widerspiegeln.

Vor wenigen Jahren hat die Heidelberger Geochemiegruppe um Tobias Kluge versucht, die geochemischen Bedingungen von grobkörnigen Kryocalciten exakter zu charakterisieren, um zu präzisen Temperaturentscheidungen zu kommen. Es konnte jedoch lediglich die kryogene Entstehung der Calcite mit sehr niedrigen $\delta^{18}\text{O}$ -Signaturen über „clumped isotope“- und „noble gas“-Analysen verifiziert werden. „Clumped isotope“-basierte Temperaturen von Kryocalciten des Rheinischen Schiefergebirges und des Weserberglandes haben Temperaturen von 4-18 °C für die Calcitbildung ergeben, was deutlich über angenommenen Temperaturen für die Kryogenese liegt, wodurch jedoch eine unvollständige Isotopenequilibration während der Kristallisation grobkörniger Kryocalcite angezeigt wird (Kluge et al. 2014a). Edelgaskonzentrationen in Flüssigkeitseinschlüssen in Kryocalciten haben eine Anreicherung von schweren Edelgasen in der flüssigen Phase ergeben, was durch eine unterschiedliche Verteilung der Edelgase zwischen Eis und verbleibender Flüssigkeit bei der Kryogenese zu erklären ist (Kluge et al. 2014b).

Die Partikel der Feinfraktion (milchige Rhomboeder und Hanteln) konnten aufgrund des hohen Zeitaufwands bei der Probenselektion nur punktuell untersucht werden. Bei jeweils einer analysierten Kollektivprobe von rhomboedrischen Einzelkristallen und sphärolithisch aufgebauten Hanteln haben sich C/O-Werte ergeben, die den Zopfsintern der Grobfraktion entsprechen (Abb. 11). Offensichtlich spiegeln diese Kleinspeläotheme nur das Ausfrierstadium des Pools wider.

6.4 ²³⁰Th/U-Datierungen

Die ²³⁰Th/U-Datierungen an den Kryocalcittypen Skelettcalcit (23,5 ka) und Zopfsinter (22,4 ka) markieren den Bereich der relativ schwachen Warmphase des Interstadials 2 im Hochglazial der Weichselkaltzeit (Abb. 12, Tab. 1). Beim Vergleich der Daten mit bearbeiteten Kryocalciten aus der Rätselhalle des Herbstlabyrinth-Advent-Höhlensystems/N-Hessen (Richter et al. 2010), aus Höhlen des Iberg/Winterberg-Riffkomplexes/Harz (Richter et al. 2017a), sowie aus der Zinnbergschachthöhle/Frankenalb (Richter et al. 2018b), entsprechen die Skelettcalcite dem Übergang vom Kaltwasser- zum Kryogenstadium von Pools auf Eis. Die jeweils etwas jüngeren Zopfsinter stellen schließlich das ausfrierende Stadium der Pools zur anschließenden Kaltphase dar.

²³⁰Th/U-Datierungen an gegenüber den Kryocalciten älteren sowie jüngeren Stalagmiten belegen warmzeitliche Phasen. Während eine Basisprobe von FMWH Stalagmit 2 mit 124,6 ka die Eemwarmzeit anzeigt, gibt

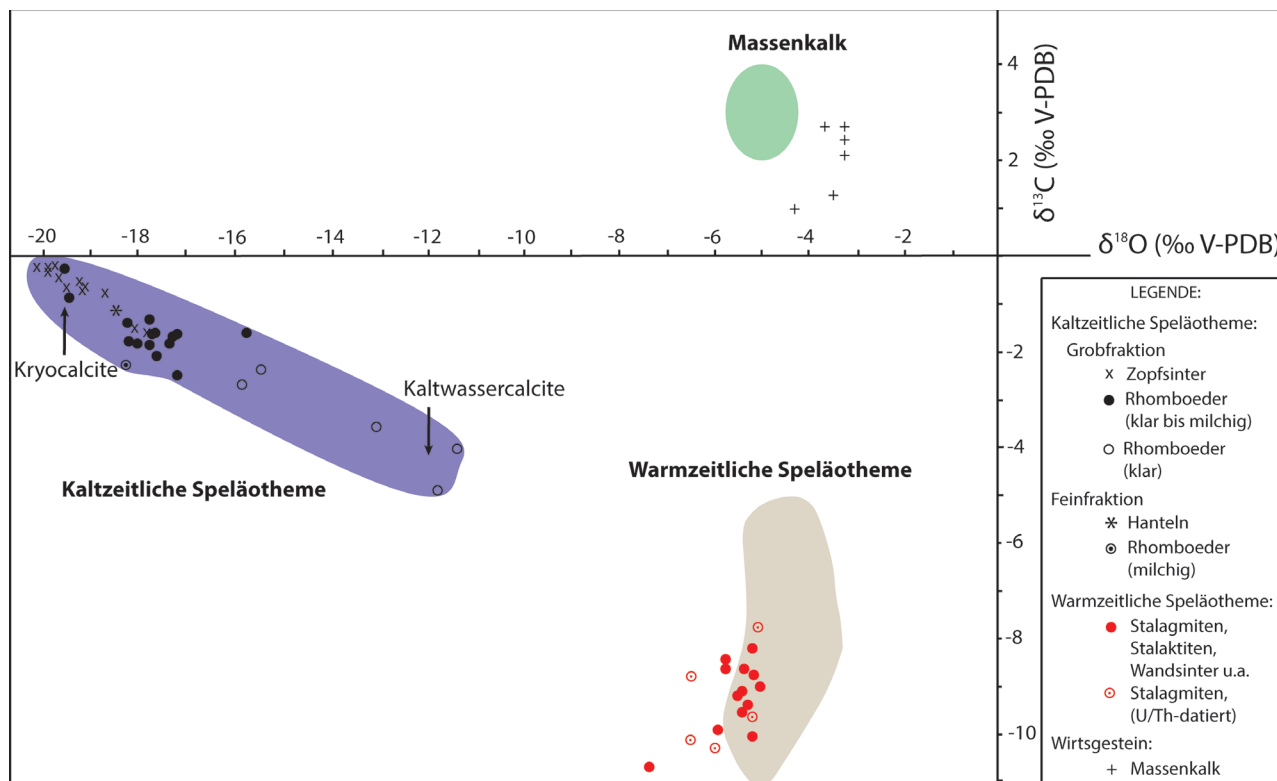


Abb. 11: δ13C- und δ18O-Werte der kalt- und warmzeitlichen Speläotheme sowie des Wirtsgesteins (Massenkalk). Farbliche Flächen – hellgrün (mitteldevonischer Massenkalk) und beige (holozäne und pleistozäne Stalagmiten) – markieren Datenbereiche der Dechenhöhle nach Richter et al. (2018a).

das Alter der Basisprobe von FMWH Stalagmit 1 mit 14,0 ka die spätglaziale Bölling-Warmphase (= Interstadial 1) wieder (vgl. Abb. 12). Da beim jüngeren Stalagmiten lediglich eine Basislage datiert wurde, dürfte der Hauptteil des Stalagmiten holozänen Alters sein.

7. Zusammenfassende Diskussion

7.1 Ereignisabfolge

In der Weichselkaltzeit war das Periglazialgebiet zwischen nordischem und alpinem Vereisungsgebiet nach Liedtke (1993) und Vandenberghe & Pissart (1993) zumeist von diskontinuierlichem bis kontinuierlichem Permafrostboden bedeckt, wobei sich in den extremen Kaltphasen zwischen 72 und 61 ka sowie 27 bis 17 ka nach Literaturkompilationen von Zak et al. (2012, 2018) Permafrostdicken bis über 100 m bilden konnten. Somit lagen alle Tropfsteinhöhlen des betrachteten Bereichs von Mitteleuropa innerhalb der Permafrostzone, d.h. Tropf-

steinbildungen waren zumeist nicht möglich. Lediglich im oberflächennahen Bereich von Höhlen war wohl in Auftauperioden unter temporär etwas wärmeren Bedingungen eine Bildung „normaler“ Speläotheme möglich (Richter et al. 2018a – Beispiele aus der Dechenhöhle). Die ²³⁰Th/U-Alter von 22,4-23,5 ka der kaltzeitlichen Speläopartikel der Frettermühler Wasserhöhle belegen nun Auftau- und Gefrierzeiten in der Höhle im Bereich der Zeitspanne für weichselzeitlichen Permafrost (Abb. 12), so wie es bereits für etliche Höhlen Mitteleuropas belegt werden konnte (u.a. Zak et al. 2012, 2018; Richter et al. 2017, 2018). Die Daten der Frettermühler Wasserhöhle markieren eine von der Oberfläche ausgehende stärkere Auftauphase während des Interstadials 2 der Weichsel-Eiszeit nach der O-Isotopenkurve des NGRIP-Eiskerns (North Greenland Ice Core Project Members 2004, Wolff et al. 2010) (Abb. 12).

Tab. 1: ²³⁰Th/U-Altersdatierungen warm- und kaltzeitlicher Speläotheme der Frettermühler Wasserhöhle/Große Versturzhalle (neu) und sphärolithischer Kryocalcite der Dechenhöhle (Richter et al. 2018a).

Probe	²³⁸ U [µg/g]	±	²³² Th [ng/g]	±	(²³⁴ U/ ²³⁸ U)	±	(²³⁰ Th/ ²³⁸ U)	±	Alter [ka]	±
FMWH Zopsinter	1,634	0,020	2,911	0,044	1,234	0,013	0,2303	0,0028	22,40	0,41
FMWH Skelettsinter	2,174	0,018	3,512	0,033	1,2340	0,0083	0,2408	0,0019	23,54	0,27
FMWH Stalagmit 1	0,05816	0,00059	0,997	0,026	1,1266	0,0094	0,1356	0,0044	13,97	0,49
FMWH Stalagmit 2	0,1522	0,0016	7,933	0,081	1,126	0,012	0,780	0,012	124,6	4,4
Dechenhöhle Kryocalcit	1,379	0,009	27,3	0,3	1,2109	0,0018	0,2939	0,0024	30,10	0,28

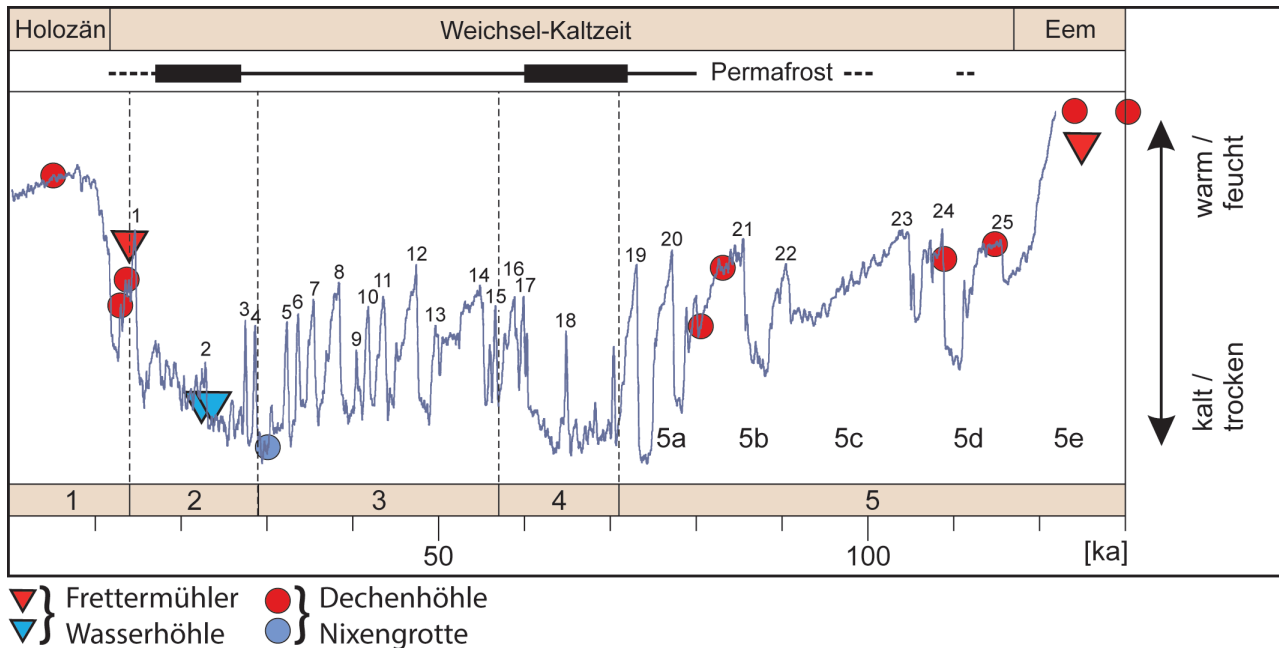


Abb. 12: 230Th/U-datierte spät/postglaziale Calcite, weichselzeitliche Kryocalcite und Calcite der MIS 5-Zeit (MIS = Marines Isotopenstadium) in der Klimakurve ($\delta^{18}\text{O}$) des NGRIP-Eiskerns von Grönland nach North Greenland Ice Core Project Members (2004) und Wolff et al. (2010). Permafrostverbreitung: Balken = kontinuierlicher Permafrost, gestrichelt = diskontinuierlicher Permafrost (Liedtke 1993, Vandenberghe & Pissart 1993). Rot = warmzeitliche Speläotheme (meist Stalagmiten, untergeordnet Stalaktiten und Bodensinter), blau = Kryocalcite. Frettermühle Wasserhöhle (neue Daten), Dechenhöhle nach Richter et al. (2018a).

Nach Erreichen der Auftaufront der Höhlendecke erreichte Tropfwasser die Höhle und am Höhlenboden konnte sich je nach Menge des Tropfwassers eine unterschiedlich dicke Eisschicht bilden, sofern nicht eine ältere Eisfüllung bereits vorlag. Im Bereich des Maximums des Interstadials 2 bildeten sich Pools auf dem Eis, in denen nun Kaltwassercalcite mit $\delta^{18}\text{O}$ -Werten zwischen warmzeitlichen Calciten und Kryocalciten in Form der rhomboedrischen Calcite der Grobfraction entstehen konnten. Entsprechende Kaltwassercalcite sind vermengt mit Kryocalciten bislang aus der Rätzelhalle des Herbstlabyrinth-Adventhöhlen-Systems bei Breitscheid (Richter et al. 2010a), der Riesenberghöhle des Süntels (Richter et al. 2013), der Hüttenbläser Schachthöhle in Iserlohn (Richter et al. 2015) und der Lehmschachthöhle des W-Harzes (Richter et al. 2017) bekannt.

Beim Übergang vom Interstadial 2 zum nachfolgenden Stadial breitet sich erneut ein Permafrost von oben nach unten (wahrscheinlich diskontinuierlich) aus und die Pools gefrieren unter sehr langsamen Bedingungen. Dabei wird ¹⁸O bevorzugt ins Eis eingebaut (Souchez & Jouzel 1984), sodass die sich zeitgleich bildenden grobkörnigen Kryocalcite negativere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aufweisen (bis zu -20 ‰ im Fall der Frettermühle Wasserhöhle). Diese Entwicklung steht mit der mesoskopischen Beobachtung im Einklang, dass die Kryocalcite (Zopfsinter) häufig die Kaltwassercalcite (Rhomboeder) überwachsen. Daneben konnten sich natürlich auch kleinere Kryocalcite (einschlussreiche Rhomboder und Hanteln der Feinfraktion) an submikroskopischen Keimen bilden.

Spätestens mit der Erwärmung zur heutigen Warmzeit tauten Permafrostboden und Höhleneis auf, sodass die kryogenen und nicht-kryogenen Speläopartikel miteinander vermengt am Höhlenboden sowie auf Versturzböcken abgelagert wurden. Bei diesem Vorgang konnten bezüglich Calcit untersättigte Lösungen aus dem aufgetauten Überlager lokal die Poolcalcite anlösen. Nach erneuter Übersättigung bezüglich Calcit werden in der ersten Calcitlage Seltenerdelemente als umgelagerte Elemente aus dem Bodenbereich in die Calcitstrukturen eingebaut.

Mehrfache Wechsel von Vereisungen (Stadiale) und Auftauphasen (Interstadiale) konnten für Höhlen des zentralen Mitteleuropas für die Riesenberghöhle im Süntel (Richter et al. 2013) bereits nachgewiesen werden. Darüber hinaus sind die verschiedenen Alter für Kryocalcite der Weichselkaltzeit (u.a. Zak et al. 2012, 2018) nur durch wiederholte Auftau- und Gefrierprozesse erklärbar. Im Fall der Frettermühle Wasserhöhle ist die Beobachtung von zerbrochenen und wiederum überkrusteten Kryocalcitlagen als erster Hinweis für mehrere Auftau/Gefrierprozesse in der Höhle zu sehen.

7.2 Schlussbemerkungen

Nach einer Zusammenstellung von Zak et al. (2018) entspricht das Vorkommen grobkörniger Kryocalcite der Frettermühle Wasserhöhle dem Verbreitungstyp I, der in den Höhlen der zentraleuropäischen Flachland- bis Mittelgebirgslandschaften mit ihren kaltzeitlichen Periglazialbedingungen als Normalfall gilt. Natürlich

sind beispielsweise in Hochgebirgen (Alpen, Pyrenäen u.a.), aufgrund teilweise extremer Luftbewegungen in den Höhlen bei insgesamt niedrigeren Temperaturen und mitunter noch heute vorhandener Permafrostbedingungen in einzelnen Gebirgsstöcken, auch andere Bedingungen sowie Genesezeiten für die Bildung grobkörniger Kryocalcite gegeben. Eine bislang ungeklärte Schwierigkeit für „Kryocalcite“ ergibt sich bei quantitativen Betrachtungen. Aufgrund der Verbreitung in der Großen Versturzhalle der Frettermühler Wasserhöhle von etwa 10 m² und einer Annahme von durchschnittlich 10 cm Wasserstandshöhe für den Pool auf Eis ergibt sich für das Ausfrieren des Wassers mit etwa 40 ppm Ca eine resultierende Calcitmenge von etwa 10 g. Dies ist aber bei einer geschätzten Lagendicke der „Kryocalcite“ von 1 cm (Zak et al. 2018, geben allgemein 1-50 mm an) viel zu wenig. Diese Diskrepanz ist zumindest teilweise auf die alleinige Annahme einer Kryogenese zurückzuführen. Ein hoher Calcitanteil ist aber auf eine Kaltwassergenese ohne Eisbildung und bei Tropfwasserzufuhr vom Höhlendach zurückzuführen. Darüber hinaus sind viele Calcitkristalle inhomogen zusammengesetzt, wobei der beginnende Anteil Kaltwasserbedingungen und der finale Anteil kryogene Bedingungen widerspiegeln. Der tatsächliche kryogene Anteil lässt sich ohne Zusatzuntersuchungen zurzeit nicht angeben. Der Erstautor versucht zurzeit bei pilzförmigen Aggregaten des Malachitdoms (Briloner Massenkalk) Pilzhut und Pilzschaft getrennt bezüglich ihrer C/O-Isotopenzusammensetzung zu untersuchen, um zwischen Kaltwassercalciten und Kryocalciten zu unterscheiden.

Die an Material der Zoolithenhöhle (Frankenalb, Dolomit als Wirtsgestein) beobachtete Mineralisationsabfolge von Tief-Mg-Calcit über Hoch-Mg-Calcit zu Aragonit (Richter et al. 2018b) mag hierzu als ein weiterer Ansatz bei einem einmaligen Ausfriervorgang zu sehen sein. Für allgemeingültige Betrachtungen müssten die Calcite der vielen von Zak et al. (2018) angegebenen „Kryocalcit“-Vorkommen bezüglich ihrer geochemischen Internverteilung genauer untersucht werden. Bei künftigen Diskussionen müsste dann auch der Zeitfaktor berücksichtigt werden: a. Dauer des Kaltwasserstadiums, b. Dauer der beginnenden Eisbildung, c. Dauer des ausschließlichen Ausfrierens vom Pool. Auch klimatisch bedingte Temperaturschwankungen, sowie inhomogene Zusammensetzungen der Höhlenüberlagerung, sollten nicht außer Acht gelassen werden.

Ein weiteres Problemfeld stellt die große Mikroporosität der Skelett- sowie Sphärolithcalcite dar. Dabei könnte die rasterelektronisch beobachtete Mikroporosität an den Oberflächen der Calcitkristalle auch sekundär entstanden sein, aber das über KL-Mikroskopie erkannte fleckenartige Gefüge aus unterschied-

lich zusammengesetzten Calciten deckt eine primäre Mikroporosität auf. Eine derartige Musterung wurde erstmalig bei kryogenen Calcitrhoedern des Herbstlabyrinth-Adventhöhlen-Systems bei Breitscheid-Erdbach (N-Hessen) beobachtet (Richter et al. 2011), aber eine logisch erscheinende Erklärung steht bis heute aus. Entweder handelt es sich um eine beim Wachstum der Calcite entstandene Mikroporosität, oder wasserhaltige Minerale wie Ikaite oder Hydrocalcit wurden durch Calcit ersetzt. Insgesamt ist eine Klärung zur Genese der filigranen Calcitausbildung nur über Beobachtungen möglich, die sich auf rezente Kryocalcitbildungen beziehen.

Ein weiteres Problem ergibt sich aus dem noch keineswegs geklärten genauen Klimaverlauf für die Weichselkaltzeit Mitteleuropas (vgl. umfangreiche Diskussionen in Vandenberghe et al. 2014). So fällt die Kaltwasser- und Kryocalcitgenese der Frettermühler Wasserhöhle mit 22,4-23,5 ka in die jüngere markante Permafrostzeit (Last Permafrost Maximum LPM = 25-17 ka BP) nach den genannten Autoren, womit ein stärkeres Permafrosttauen um das Interstadial 2 angezeigt ist (Abb. 12). Wenn auch für Tiefe und Zeitdauer dieser Auftauzeit keine genauen Daten angegeben werden können, so wird zumindest eine diskontinuierliche Permafrostzeit angezeigt. In diesem Zusammenhang sind auch jüngere Detailstudien aus der Dechenhöhle/Sauerland von Interesse, da hier für die Weichselkaltzeit mehrere ²³⁰Th/U-datierte warmzeitliche Speläothemenphasen mit zwischengeschalteten Phasen von Frostsprengung nachgewiesen werden konnten (Richter et al. 2018a). Insgesamt unterstreichen die bislang – allerdings nur punktuell – durchgeführten Untersuchungen an ²³⁰Th/U-datierten Speläothemen das enorme Potential der Höhlenforschung für die Entschlüsselung des genauen Klimaverlaufs der Quartärzeit nicht nur Mitteleuropas.

8. Zusammenfassung

Petrographische und geochemische Untersuchungen an Kristallsanden auf und neben Versturzböcken eines etwa 10 m² ausmachenden Bereichs der Großen Versturzhalle der Frettermühler Wasserhöhle östlich Attendorn hat zur Entschlüsselung eines weichselzeitlichen Vereisungsprozesses beigetragen:

1. Im Spektrum der Kristallsande dominieren filigran strukturierte, skelettartige Rhomboederkristalle und sphärolithische Calcitaggregate, die häufig die erstgenannten Skelettcalcite überwachsen.
2. Die Kathodolumineszenzmikroskopie deckt ein sehr feines KL-Muster in den Kristallen beider Partikeltypen auf, was auf eine mehrphasige Genese hinweist, wobei kristallintern pigment-

- tierte Bereiche mit hellblauer KL von nicht pigmentierten Bereichen mit dunkelblauer KL umgeben sind. Die aufliegenden holozänen Sinter sind überwiegend laminiert mit einem Wechsel von intrinsischen (blauen) und Mn^{2+} -aktivierten (orangenen) Lagen, aber die erste Lage weist SEE-aktivierte fahlviolett lumineszierende Calcite auf. Zwischen der Kryocalcitgeneration und den holozänen Sintern ist mitunter eine Korrosionsphase ausgebildet.
3. Die $\delta^{18}O$ -Werte der Skelett- sowie der Sphärolithcalcite sind mit Werten bis -20.1‰ V-PDB deutlich negativer gegenüber der Zusammensetzung normaler Speläotheme (Stalagmiten, Stalaktiten, Wandsinter - $\delta^{18}O$ -Werte bis -7.4‰).
 4. Bei den $\delta^{18}O$ -Werten der Partikel ist ein Trend zu erkennen, indem die Skelettcalcite mit zunehmendem Wachstum negativere Werte aufweisen und die Sphärolithe die negativsten Werte widerspiegeln.
 5. Die $^{230}Th/U$ -Datierungen belegen für Skelett- und Sphärolith-Calcite mit 22,4-23,5 ka wechselzeitliche Alter, während ein umgestürzter, von holozänen Sintern überzogener Stalagmit mit 124,6 ka ein eemzeitliches Alter und ein über den Kristallsanden gewachsener Stalagmit mit 14,0 ka ein spätglaziales Alter für den Basisbereich ergaben. Der Hauptteil des letztgenannten Stalagmiten dürfte holozänen Alters sein.
 6. Die Fakten der Punkte 1-5 lassen sich in Zusammenhang mit den Geländebefunden nur mit einer wechselzeitlichen Genese für die Skelett- und Sphärolithcalcite sensu Zak et al. (2012, 2018) und Richter et al. (2013, 2018) sinnvoll interpretieren:
 - a. Bildung eines Permafrostbodens bis >100 m Tiefe in der ersten extremen Kaltphase zwischen 72 und 61 ka.
 - b. Eisbildung in der Höhle und Poolbildung auf Eis während darauffolgender Warmphasen (Interstadialen).
 - b. Kristallisation von Kaltwassercalciten in den Pools.
 - c. Genese von echten Kryocalciten beim Ausfrieren der Pools infolge erneuter Ausdehnung des Permafrostbodens.
 - d. Auftauen des Höhleneises und Absinken der Kaltwasser- und Kryocalcite auf den Höhlenboden unterhalb der ehemaligen Pools. Bei dieser Phase können die Poolcalcite lokal korrodiert worden sein.
 - e. Übersinterung der Kristallsande in der heutigen Warmzeit (Spätglazial bis Holozän). Die erste Calcitphase führt aufgrund von Restlösungen aus dem aufgetauten überlagernden Boden Seltenerdelemente (Sm und Dy).
 6. Für Kaltwasser- und Kryocalcite sind neben der sehr negativen $\delta^{18}O$ -Werte Organikanreicherungen aufgrund ihrer Bildung aus Restlösungen sowie eine primär hohe Mikroporosität typisch, wobei die genaue Genese noch keineswegs geklärt ist.
 7. Im Fall der Frettermühler Wasserhöhle ist nur eine Kryocalcitgenese belegt, aber in anderen Höhlen zwischen nordischer und alpiner Vereisung sind bereits mehrere zeitlich verschiedene Kryocalcitgenesen im selben Höhlenbereich nachgewiesen worden (u.a. Richter et al. 2013)

9. Danksagung

Für technische Unterstützungen danken wir M. Born (Dünnschliffherstellung), Dr. D. Buhl (Makrofotografie), B. Gehnen (C/O-Isotopenanalytik), Dr. R. Hoffmann (Fluoreszenzmikroskopie) und Dr. R.D. Neuser (Kathodolumineszenzmikroskopie) vom Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum. D. Scholz dankt dem MPIC, Mainz, für die jahrelange erfolgreiche Zusammenarbeit auf dem Gebiet der $^{230}Th/U$ -Datierung.

Literatur

- Ahrweiler, R. (1995): Die Höhlen der Attendorn-Elssper Doppelmulde. – *Karst und Höhle* 1991/1992: 11-203.
- Bruckschen, P. & Richter, D.K. (1994): Zementstratigraphische Grundmuster in marinen Karbonatablagerungen des Phanerozoikums – ein Abbild der normalen Beckenentwicklung. – *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil I*, 1993: 959-972.
- Drozdowski, G., Richter, D.K. & Wrede, V. (2017): Hydrothermalkarst im nördlichen Rheinischen Schiefergebirge. – *Karst und Höhle*, 2015-2017, 88 S.
- Fairchild, I.J. & Baker, A. (2012): *Speleothem Science – From Process to Past Environments*. – Blackwell Quaternary Geoscience Series, Wiley-Blackwell, Oxford, 432 S.
- Fohlmeister, J., Schröder-Ritzrau, A., Scholz, D., Spötl, C., Riechelmann, D.F.C., Mudelsee, M., Wackerbarth, A.K., Gerdes, A., Riechelmann, S., Immenhauser, A., Richter, D.K. and Mangini, A. (2012): Bunker Cave stalagmites: An archive for central European Holocene climate variability. *Climate of the Past* 8, 1751-1764.
- Gibert, L., Scott, G.R., Scholz, D., Budsky, A., Ferrandez, C., Martin, R.A., Ribot, F. and Leria, M. (2016): Chronology for the Cueva Victoria fossil site (SE Spain): Evidence for Early Pleistocene Afro-Iberian dispersals. – *Journal of Human Evolution* 90, 183-197.
- Gwosdz, W. (1972): Stratigraphie, Fazies und Paläogeographie des Oberdevons und Unterkarbons im Bereich des Attendorn-Elssper Riffkomplexes (Sauer-

- land, Rheinisches Schiefergebirge). – Geologisches Jahrbuch 2: 71 S.
- Hammerschmidt, E. (1985): Tauchversuch in der Frettermühler Wasserhöhle. – Speläogruppe Letmathe, Mitteilungen und Berichte 2 (6): 124-125.
- Hoffmann, R., Richter, D.K., Neuser, R.D., Jöns, N., Linzmeier, B.J., Lemanis, R.E., Füsseis, F., Xiao, X. & Immenhauser, A. (2016): Evidence for a composite organic-inorganic fabric of belemnite rostra: Implications for palaeoceanography and palaeoecology. – *Sedimentary Geology* 341: 203-215.
- Kluge, T., Affek, H.P., Dublyansky, Y., Spötl, C., Immenhauser, A. & Richter, D.K. (2014a): Clumped isotope thermometry of cryogenic cave carbonates. – *Geochimica et Cosmochimica Acta* 126, 541-554.
- Kluge, T., Marx, T., Aeschbach-Hertig, W., Spötl, C. & Richter, D.K. (2014b): Noble gas concentrations in fluid inclusions as tracer for the origin of coarse-crystalline cryogenic cave carbonates. – *Chemical Geology* 368: 54-62.
- Krebs, W. (1978): Massenkalk. – In: Clausen, C.D.: Erläuterungen zu Blatt 4814 Lennestadt (Geol. Landesamt NRW, Krefeld): 141-154.
- Liedtke, H. (1993): Phasen periglaziär- geomorphologischer Prägung während der Weichselzeit im norddeutschen Tiefland. – *Zeitschrift für Geomorphologie* 93: 69-94.
- Neuser, R.D. (1995): A New High-Intensity Cathodoluminescence Microscope and its Application to Weakly Luminescing Minerals. – *Bochumer geologische und Geotechnische Arbeiten* 44: 116-118.
- Niggemann, S., Richter, D.K., Hammerschmidt, E., Dreyer, R., Grebe, W. & Platte, A. (2018): Dechenhöhle – Erdgeschichten. – 304 S.
- North Greenland Ice Core Project Members (2004): High-resolution record of northern hemisphere climate extending into the last interglacial period. – *Nature* 431: 147-151.
- Obert, J.C., Scholz, D., Felis, T., Brocas, W.M., Jochum, K.P. and Andreea, M.O. (2016): ²³⁰Th/U dating of Last Interglacial brain corals from Bonaire (southern Caribbean) using bulk and theca wall material. – *Geochimica et Cosmochimica Acta* 178: 20-40.
- Richter, D.K., Götte, T., Niggemann, S. & Wurth, G. (2002): Cathodoluminescence of carbonate speleothems: state of the art. – In: Carrasco, E., Duran, I.J. & Andreo, B. (eds.): *Karst and Environment*. 381-387, Nerja, Malaga.
- Richter, D.K., Götte, 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 Deutscher Höhlen- und Karstforscher* 51: 129-132.
- Richter, D.K., Meissner, P., Immenhauser, A., Schulte, M. & Dorsten, I. (2010): Cryogenic and non-cryogenic pool calcites indicating permafrost and non-permafrost periods: a case study from the herbstlabyrinth-Advent cave system (Breitscheid-Erdbach cave, Germany). – *The Cryosphere* 4: 501-509.
- 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 Herbstlabyrinth-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 (2): 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 Deutscher Höhlen- und Karstforscher* 60 (2): 36-41.
- Richter, D.K., Goll, K., Grebe, W., Niedermayr, A., Platte, A. & Scholz, D. (2015): Weichselzeitliche Kryocalcite als Hinweise für Eisseen in der Hüttenbläser Schachthöhle Iserlohn/NRW. – *E & G Quaternary Science Journal* 64 (2): 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 Deutscher 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., Dreyer, R., Niggemann, S. & Scholz, D. (2018a): ²⁰³Th/U-datierte warm- und kaltzeitliche Sinter der Dechenhöhle und die großklimatische Entwicklung der letzten 200.000 Jahre. – *Mitteilungen des Verbandes Deutscher Höhlen- und Karstforscher* 64: 16-24.
- Richter, D.K., Scholz, D., Jöns, N., Neuser, R.D. & Breitenbach, S.F.M. (2018b): Coarse grained cryogenic aragonite as end-member of mineral formation in dolomite caves. – *Sedimentary Geology* 376: 136-146.
- Riechelmann, D.F.C., Deininger, M., Scholz, D., Riechelmann, S., Schröder-Ritzrau, A., Spötl, C., Richter, D.K., Mangini, A. and Immenhauser, A. (2013): Disequilibrium carbon and oxygen isotope fractionation in recent cave calcite: Comparison of cave precipitates and model data. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 103, 232-244.
- Souchez, R. & Jouzel, J. (1984): On the isotopic composition in δD $\delta^{18}O$ of water and ice during freezing. – *Journal of Glaciology* 30: 369-372.
- Vandenberghe, J. & Pissart, A. (1993): Permafrost changes in Europe during the last glacial. – *Permafrost and Periglacial Processes* 4: 121-135.
- Vandenberghe, J., French, H.M., Gorbuivov, A., Marchenko S., Velichko, A.A., Jin, H., Cui, Z., Zhang, T. & Wan, X. (2014): The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25-17 ka BP. – *Boreas* 43: 652-666.
- Weber, H.W. (1987): Höhlenkataster Westfalen 1987. – *Der Antberg, Mitteilungen zur Karst- und Höhlenkunde in NRW*, 31/32, 73 S.
- Wirth, W. (1978): Böden. – In: Clausen, C.D.: Erläuterungen zu Blatt 4814 Lennestadt (Geol. Landesamt NRW, Krefeld): 429-454.
- Wolff, E.W., Chappellaz, 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.
- Yang, Q., Scholz, D., Jochum, K.P., Hoffmann, D.L., Stoll, B., Weis, U., Schwager, B. and Andreea, M.O. (2015): Lead isotope variability in speleothems - A promising new proxy for hydrological change? First results from a

- stalagmite from western Germany. – *Chemical Geology* 396, 143-151.
- Zak, 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 permafrost depth in central Europe. – *Climate of the Past* 8: 1821-1837.
- Zak, K. Onac, B.P., Kadebskaya, O.I., Filippi, M., Dublyansky, Y. & Luetscher, M. (2018): Cryogenic Mineral Formation in Caves. – In: Persoin, A. & Lauritzen, M. (eds.): *Ice Caves*: 123-162.

„Holstein“-zeitliche Speläotheme der Dechenhöhle (Sauerland) Erste Ergebnisse zur Klimarekonstruktion

Detlev K. Richter, Dana F. C. Riechelmann, Rasmus Dreyer, Stefan Niggemann, Klaus P. Jochum
& Denis Scholz

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

Dana F. C. Riechelmann &
Denis Scholz
Institut für Geowissenschaften
Johannes Gutenberg-Universität
Mainz J.-J.-Becher-Weg 21
55128 Mainz

Rasmus Dreyer &
Stefan Niggemann
Dechenhöhle und Deutsches
Höhlenmuseum
Dechenhöhle 5
58644 Iserlohn

Klaus P. Jochum
Max-Planck-Institut für Chemie,
Abteilung Klimageochemie
Hahn-Meitner-Weg 1
55128 Mainz

Korrespondierende Autoren:
Rasmus Dreyer &
Stefan Niggemann
dechenhoehle@t-online.de

Manuskript
Eingegangen: 24.04.2019
Akzeptiert: 07.11.2019
Online verfügbar: 10.12.2019

© LWL-Museum für Naturkunde

Kurzfassung

$^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierungen an Speläothemen mehrerer Lokalitäten der Dechenhöhle (Sauerland) belegen mit 340–280 ka eine mittelpleistozäne Warmzeit, die dem Marinen Isotopenstadium MIS 9 entspricht. Über Revisionsbearbeitungen der Grabungsprofile Knochengrube, Königshalle und Brückengang kann das Warmzeitniveau in die quartärzeitlichen Abfolgen eingehängt werden. Der näher untersuchte Stalagmit De-Kö S 3 (Königshalle) wuchs während der Warmphasen MIS 9c/e, und die Kohlen- und Sauerstoffisotopenprofile entlang der Wachstumsachse zeigen einen Trend von kühleren zu wärmeren Klimabedingungen. Entsprechende Untersuchungen weiterer bereits vorhandener Speläotheme des MIS 9 werden die Klima-Entwicklung der mittelpleistozänen Warmzeit komplettieren.

Schlüsselwörter: Dechenhöhle, Speläotheme, Paläoklima, Warmzeit, Geochemie

Abstract

$^{230}\text{Th}/\text{U}$ -dating of speleothems from several locations in the Dechenhöhle (Sauerland, Western Germany) shows ages between 340 and 280 ka and is indicative for a Mid-Pleistocene Interglacial period, corresponding to Marine Isotope Stage MIS 9. Revisional work on the excavation sites enables us to place profiles from the Königshalle, Knochengrube and Brückengang within this interglacial period in the quaternary sequence. The investigation of stalagmite De-Kö S 3 (Königshalle) marks MIS 9c/e, and carbon and oxygen isotope profiles along the growth axis indicate a trend from colder to warmer climate conditions. Further investigation of already available speleothems corresponding to the Holstein period will lead to a better understanding of climate evolution during this middle Pleistocene interglacial period.

Keywords: Dechenhöhle, speleothems, paleoclimate, interglacial, geochemistry

Einführung

In den letzten 30 Jahren haben sich Speläotheme (insbesondere Stalagmiten) aufgrund der Datierungsmöglichkeiten über die $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Methodik zu einem guten Archiv zur Klimarekonstruktion der letzten 500 ka für terrestrische Bereiche etabliert (u.a. Fairchild & Baker 2012). In der Dechenhöhle (Abb. 1) sind auf diese Art und Weise inzwischen alle Interglaziale der genannten Zeitspanne belegt worden (neueste Zusammenfassung: Niggemann et al. 2018). Aber bei dieser klimatischen Zuordnung mit Speläothemenwachstum ausschließlich in Warmzeiten ist natürlich Vorsicht geboten, denn Speläotheme (Boden-Decken-Wandsinter) gibt es im mitteleuropäischen Raum zwischen nordischen und alpinen Vereisungsgebieten auch in Interstadialphasen von Glazialzeiten, wie es Einzeldatierungen an Stalagmiten aus Höhlen der schwäbischen Alb (Kempe

et al. 2002) und Detailstudien über Speläothemengenerationen der Dechenhöhle (Richter et al. 2018), sowie der Bunkerhöhle (Weber et al. 2018), gezeigt haben.

Der Fokus der Klimarekonstruktionen mittels Stalagmiten lag bislang vorrangig auf holozänen Speläothemen, da die geochemischen Daten in Verbindung mit mehrjährigen Höhlenmonitoringprogrammen gut interpretierbar waren, wie es von Niggemann (2000) am Stalagmiten STAL-DH-3 aus der Orgelgrotte (Dechenhöhle) und von Fohlmeister et al. (2012) sehr umfassend an Speläothemen aus der Bunkerhöhle (2 km östlich der Dechenhöhle) gezeigt worden ist. Ein eemzeitlicher Stalagmit aus der Dechenhöhle wurde bislang lediglich im Rahmen zweier Bachelorarbeiten untersucht (Iden 2013; Nickl 2013), wobei der Stalagmit BR-5 vom Brückengang stammt und den Zeitabschnitt mit warmzeitlichem Wachstum ($\delta^{18}\text{O}$ -Werte vorrangig zwischen -4,0 und -6,0 [‰ VPDB]) charakterisiert.

Von Speläothemen der Dechenhöhle der Warmzeiten Dömnitz (Marines Isotopen-Stadium MIS 7), Holstein (MIS 9) und Rhume (MIS 11) liegen bislang nur einzelne $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierungen vor (Niggemann et al. 2018). In der vorliegenden Studie wird die Holstein-Warmzeit im Sinne von Geyh & Müller (2005) und Litt et al. (2007) mit MIS 9 korreliert. Allerdings ist eine klare Zuordnung zu MIS 9 oder MIS 11 international noch nicht erfolgt, sodass die Holstein-Warmzeit besonders in osteuropäischer Literatur (u.a. Nitychoruk et al. 2006; Marks et al. 2018) häufig mit MIS 11 korreliert wird. Nach der letztgenannten Arbeit entspricht MIS 9 der Wacken-Warmzeit und MIS 11 der Holstein-Warmzeit.

Ungeachtet der genannten nomenklatorischen Unklarheiten sind die Forschungsaktivitäten über Sinterwachstum, -zerbruch und -umlagerung in der Dechenhöhle nun so weit fortgeschritten, dass hier eine größere Verbreitung an Speläothemen des Mittel-

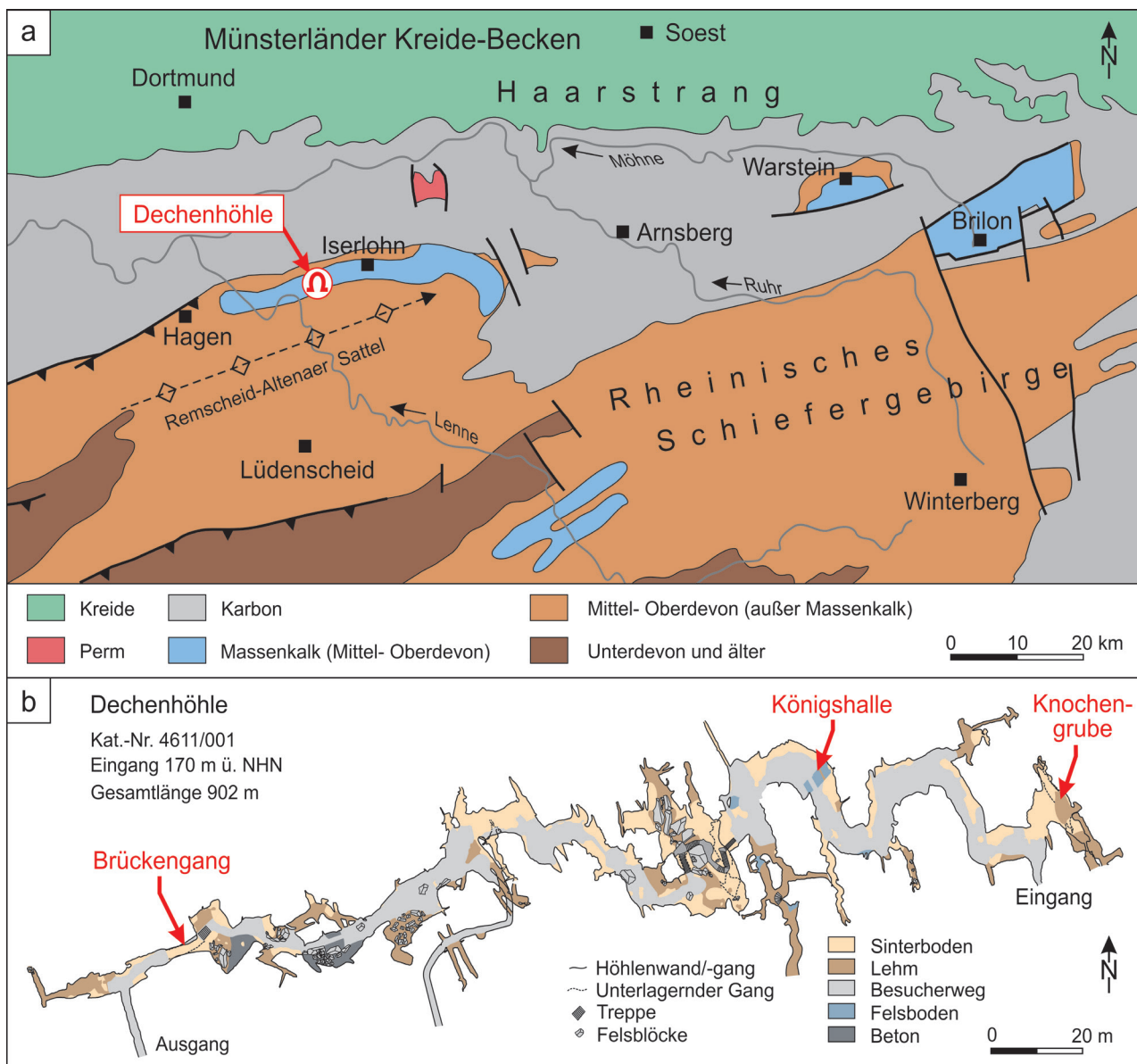


Abb. 1: Übersichtsskizzen zur geographischen/geologischen Lage der Dechenhöhle auf dem N-Flügel des Remscheid-Altenaer Sattels (a) und zur Lage der bearbeiteten Profile (rot) in der Dechenhöhle (b).

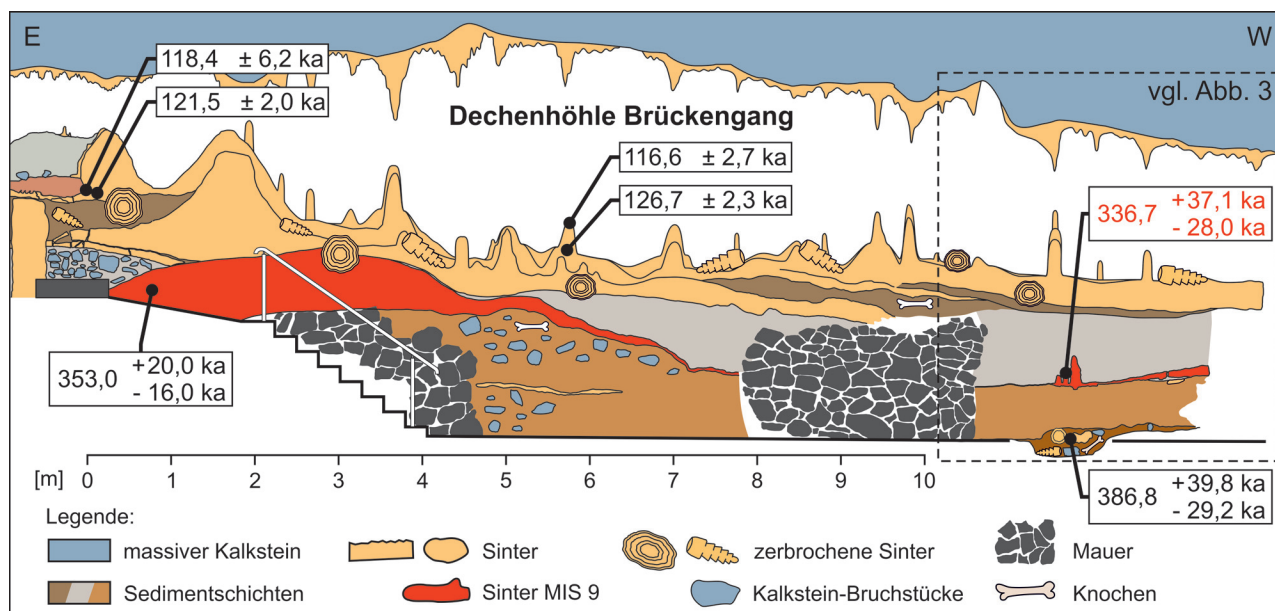


Abb. 2: Schemaprofil des Aufschlusses „Brückengang“; rot markiert: Holsteinbodensinter.

pleistozäns für die Warmzeit von MIS 9 (340–280 ka BP) vorzuliegen scheint. Erste Projektanträge des Erstators vor 10–17 Jahren wurden leider nicht gefördert, wodurch etliche Ergebnisse der Vorarbeiten (u.a. C/O-Isotopenreihen) liegen geblieben sind. Nach Bewilligung eines neuen Projekts von Dana Riechelmann und Denis Scholz (Mainz) sollen nun erste Ergebnisse zur Klimarekonstruktion über „Holstein“-zeitliche Speläotheme Mitteleuropas, aufgrund der geochemischen Vorarbeiten und umfassender geländebezogener Revisionsarbeiten, vorgestellt werden.

2. Überblick zur Dechenhöhle

Eine umfassende Darstellung zur Genese, Entwicklungsgeschichte sowie Nutzung der Dechenhöhle ist im Jubiläumsband zur 150-jährigen Entdeckung gegeben worden (Niggemann et al. 2018), sodass nachfolgend nur die wichtigsten Rahmenfaktoren aufgelistet werden: Wirtsgestein = mitteldevonische Flachwasserkalke mit Biostromen (vorrangig globulare und ästige Stromatoporen); Gesamtganglänge Dechenhöhle = 902 m; Höhleneingang = 170 m über NHN; Niveauhöhe über Talau = 30–40 m (\cong Mittelterrasse nach der Terrassengliederung von Lenne und Ruhr); Temperatur = 11°C.

Besonders NW- bis NNW-streichende Trennflächen des Massenkalks haben postvariszisch (Hauptphase um die Jura/Kreide-Wende) unter Mitwirkung von Schiefergas und Hydrothermalkonvektion zu Anlösungen des Kalks und anschließender Mineralisation (Calcit, Dolomit, Quarz u. a.) geführt, was im Iserlohner Raum nur untergeordnet nachzuweisen ist, aber beim westlich gelegenen Wülfrath zu großdimensionierten Hydrothermalhöhlen bis über 1 km Länge, 100–200 m Breite und 20 m Höhe geführt hat (Drozdowski et al. 2017). Das hydrothermal

genutzte Trennflächensystem wurde ab dem Jungtertiär für oberflächennahe Kalklösung durch meteorische Wässer genutzt. Aufgrund des Zusammenspiels von Hebung des Rheinischen Schiefergebirges, Eintiefung der Flusssysteme und großklimatischen Schwankungen, können im Raum des Iserlohner Massenkalks mehrere Höhlenniveaus sowie Speläothemgenerationen unterschieden werden. Das im Bereich eines westwärts abfallenden Grundwasserspiegels gebildete Dechenhöhlenniveau gehört zum zweithöchsten und somit einem relativ alten Höhlenniveau, das entsprechend viele Speläothemgenerationen enthält (älteste Speläothemprobe: 489 ka \cong vermutlich Warmzeit von MIS 13).

3. Lokalitäten mit „Holstein“-Speläothemen

²³⁰Th/U-datierte Bruchstücke bis über 30 cm Größe der Holstein-Warmzeit kommen in der Dechenhöhle von der Knochengrube im Osten bis zum Brückengang im Westen vor (Lage der Lokalitäten s. Abb. 1). Drei Lokalitäten sollen hier kurz vorgestellt werden, bevor $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte eines Stalagmiten gezeigt und interpretiert werden. Auf ausführliche Schichtbeschreibungen soll hier verzichtet werden, da diese dem Jubiläumsband (Niggemann et al. 2018) entnommen werden können.

3.1 Brückengang

Im EW-Längsschnitt von 15 m lassen sich im Brückengang-Profil die Speläothemgenerationen der letzten 400 ka am besten nachvollziehen, obwohl zur genauen Verifizierung noch zusätzliche ²³⁰Th/U-Datierungen benötigt werden (Abb. 2, 3). Über mehrere Meter können die Bodenspeläotheme der Holstein (MIS 9)- und der Eem (MIS 5e)-Warmzeit verfolgt werden, während in



Abb. 3: Foto des westlichsten Profilabschnittes der Lokation „Brückeneingang“ mit Situation des MIS 9 Bodensinters.

den unter- und zwischengeschalteten Schichten bisher lediglich umgelagerte Bruchstücke der Rhume (MIS 11)- und der Dömnitz (MIS 7)-Warmzeiten gefunden wurden.

3.2 Königshalle

Das in den 1990er Jahren aufgegrabene Königshallen-Profil (Abb. 4, 5) wurde zunächst sedimentologisch und zur Gewinnung von Fossilien (besonders Höhlenbärenknochen) aufgenommen (Dreyer et al. 2000). Über Dünnschliffbearbeitungen konnten gut gerundete, quarzementierte Silt- und Sandsteinklasten im Basiskonglomerat (Schicht 9 in Abb. 4) belegt werden, wodurch Ablagerungen des ehemaligen Grüner Bachs in etwa 168 m über NHN (heutige Höhenlage des Grüner Bachs 135 m über NHN) angezeigt werden. Über $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierungen konnten im höheren Profilabschnitt (Schicht 1-5) annähernd durchhaltende pleistozäne Bodenspeläotheme nachgewiesen werden, aber in den Schichten 6-9 gibt es in den Massflowablagerungen nur Klasten von Sintern, wobei das höchste Alter 489 ka (? MIS 13) ergeben hat (Niggemann et al. 2018). Im Zuge von Revisionsarbeiten im Vorfeld des Holstein-Projekts konnte nun ein umgelagerter Holstein-Stalagmit (De-Kö S 3) in die Schicht-

folge eingehängt werden (Abb. 4). Dieser Stalagmit ist offensichtlich vom Rand der intakten Schichtfolge mit Holsteinbodensinter zur Zeit der Schicht 3 abgebrochen und stellt nun das Kernstück der vorliegenden Studie dar.

3.3 Knochengrube

Im Knochengrubebereich nahe des Höhleneingangs wurden schon früh (1910) Grabungen zur Erkundung einer Dechenhöhlen-Fortsetzung durchgeführt, aber ein vollständiges Profil mit ersten $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierungen konnte erst im Jubiläumsband vorgestellt werden (Niggemann et al. 2018). Im Rahmen von Vorarbeiten für das zukünftige Holstein-Projekt von Dana Riechelmann und Denis Scholz wurde eine Revisionsaufnahme der Knochengrube mit gezielten $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierungen von Speläothemproben der Sintersequenz des kompliziert zusammengesetzten Topbereichs des Profils durchgeführt (Abb. 6, 7). Die Basis der mächtigen Massflowsequenz der Abfolge konnte noch nicht ergraben werden, sodass hier das zu erwartende Konglomerat des ehemaligen Grüner Bachs mit gut gerundeten Siltquarzit- und Sandsteinklasten von Schichtfolgen des Unterdevons und unteren Mitteldevons des Remscheid-Altenaer Sattels (vgl. Königshallenprofil) offensichtlich erst tiefer zu erreichen ist.

4. „Holstein“-Stalagmit De-Kö S 3

4.1 Aufbau

Der 11 cm lange Stalagmit setzt sich mesoskopisch aus einem mm-laminierten Anlagerungsgefüge zusammen, wobei die dunklen Bereiche nach Dünnschliffbearbeitungen klarer ausgebildet sind als die weißen einschlussreicheren Lagen (vgl. Abb. 8). Eine wenig deutlich ausgeprägte Wachstumsunterbrechung (Hiatus) kann bei etwa 5 cm Höhe ausgemacht werden. Das Calcitgefüge wird von kolumnaren Kristallen (Abb. 9a) dominiert, während dendritische Kristalle (Abb. 9b) seltener auftreten. Flanken und Top des Stalagmiten werden von einer beigefarbenen Zone abgeschlossen, in der phosphatische Minerale sowie winzige Quarze neben und über den Calcitkristallen ausgemacht werden können (Abb. 9c). Röntgendiffraktometeraufnahmen belegen im phosphatischen Material vorrangig Hydroxylapatit, was in reineren Proben von Apatitkrusten des NE-Profilabschnitts noch eindeutiger zu belegen ist (Abb. 10). In der Phosphatkruste von De-Kö S 3 sind röntgenographisch neben Hydroxylapatit noch Spuren von Quarz und möglicherweise von den selteneren Phosphaten Crandallit und Woodhouseit nachzuweisen. Die von Fledermauskot abzuleitende Hydroxylapatitbildung (u.a. Hill & Forti 1997; Miko et al.

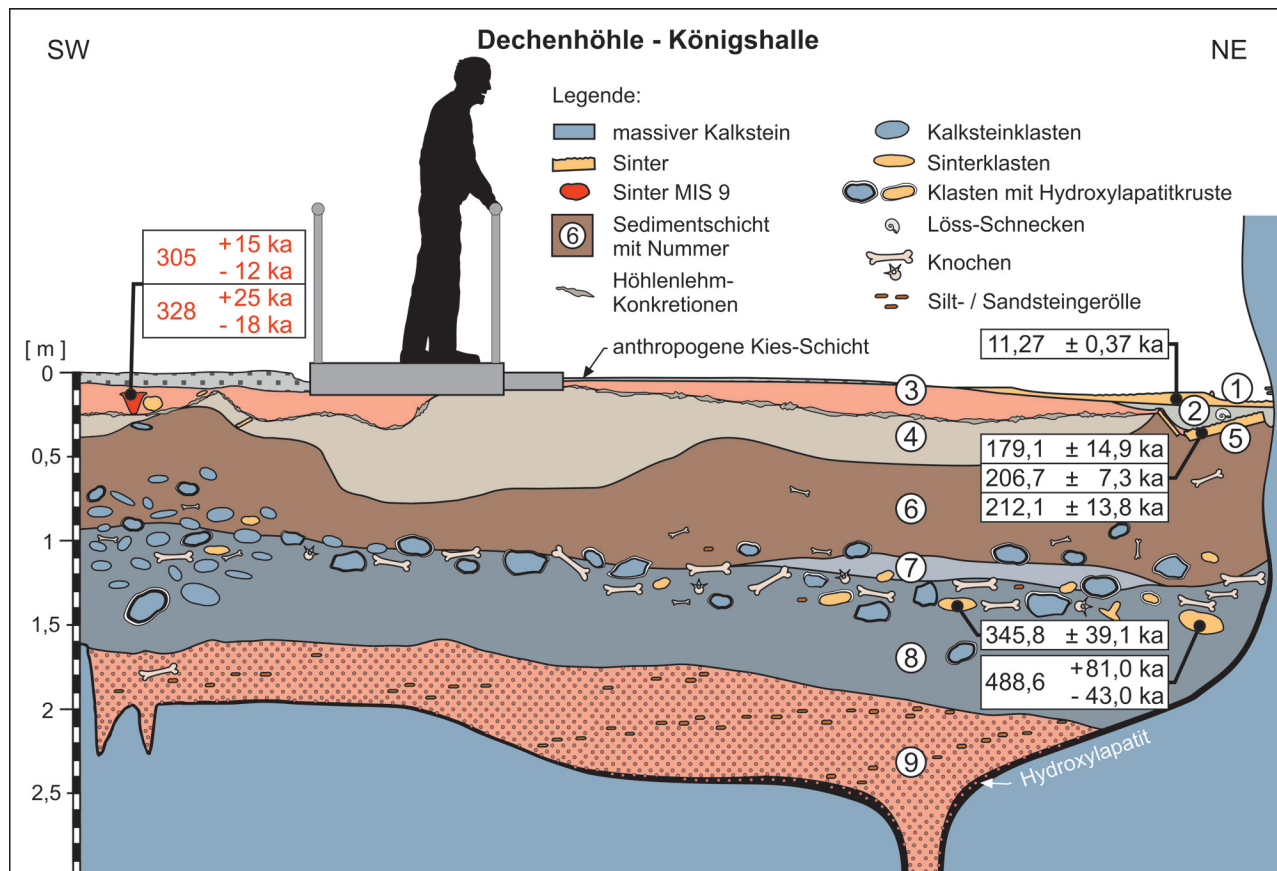


Abb. 4: Schemaprofil des Aufschlusses „Königshalle“; rot markiert: Holsteinbodensinter.

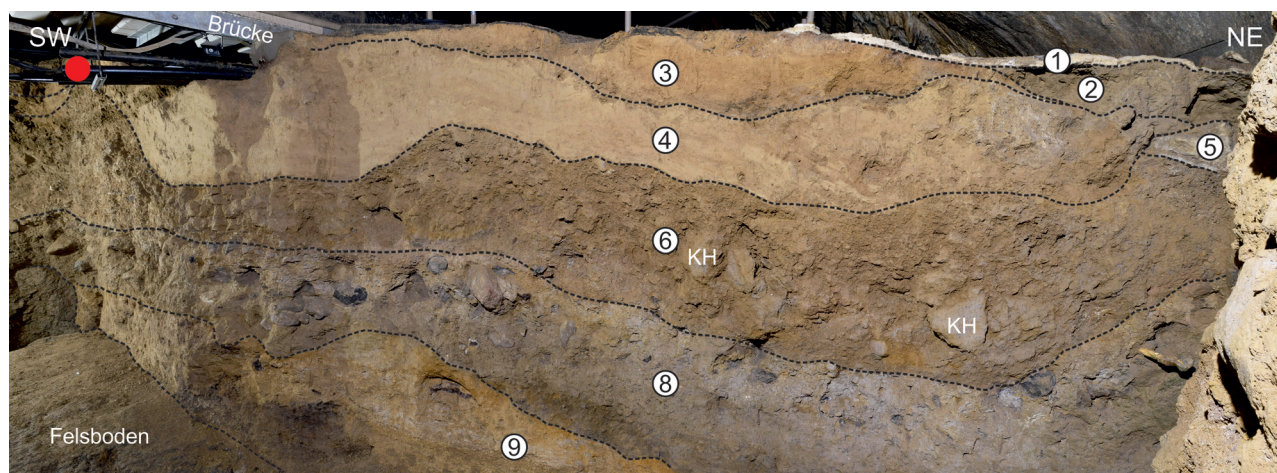


Abb. 5: Foto der Lokation „Königshalle“ (leicht verzerrtes Panorama). Roter Punkt: Entnahmestelle von De-Kö S 3. Schichtnummern vgl. Abb. 4. Die Klasten anverfestigten Höhlenlehms, die in Schicht 8 Dekazentimetergröße erreichen (KH), sind im Profil von Abb. 4 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt worden. Schicht 7 ist auf dieser Profilsseite nicht erkennbar.

2001; Onac et al. 2001) ist wahrscheinlich noch in der Warmzeit des Stalagmitenwachstums erfolgt, da an der Stalagmitenunterseite keine Kruste ausgebildet ist und die Umlagerung des Stalagmitenbruchstücks offensichtlich präeemzeitlich (? Saale-Kaltzeit) erfolgt ist (vgl. Abb. 4).

4.2 ²³⁰Th/U-Datierungen

Zwei ²³⁰Th/U-Datierungen über Thermionenmassenspektrometrie im radiometrischen Labor der Heidelberger Akademie der Wissenschaften haben 328 (+25-18) ka für den unteren Abschnitt und 305 (+15 -12) ka für den oberen Abschnitt des Stalagmiten ergeben, was einer Speläothembildung in der Holstein-Warmzeit (MIS 9) entspricht (vgl. Geyh & Müller 2005; Lisiecki & Raymo

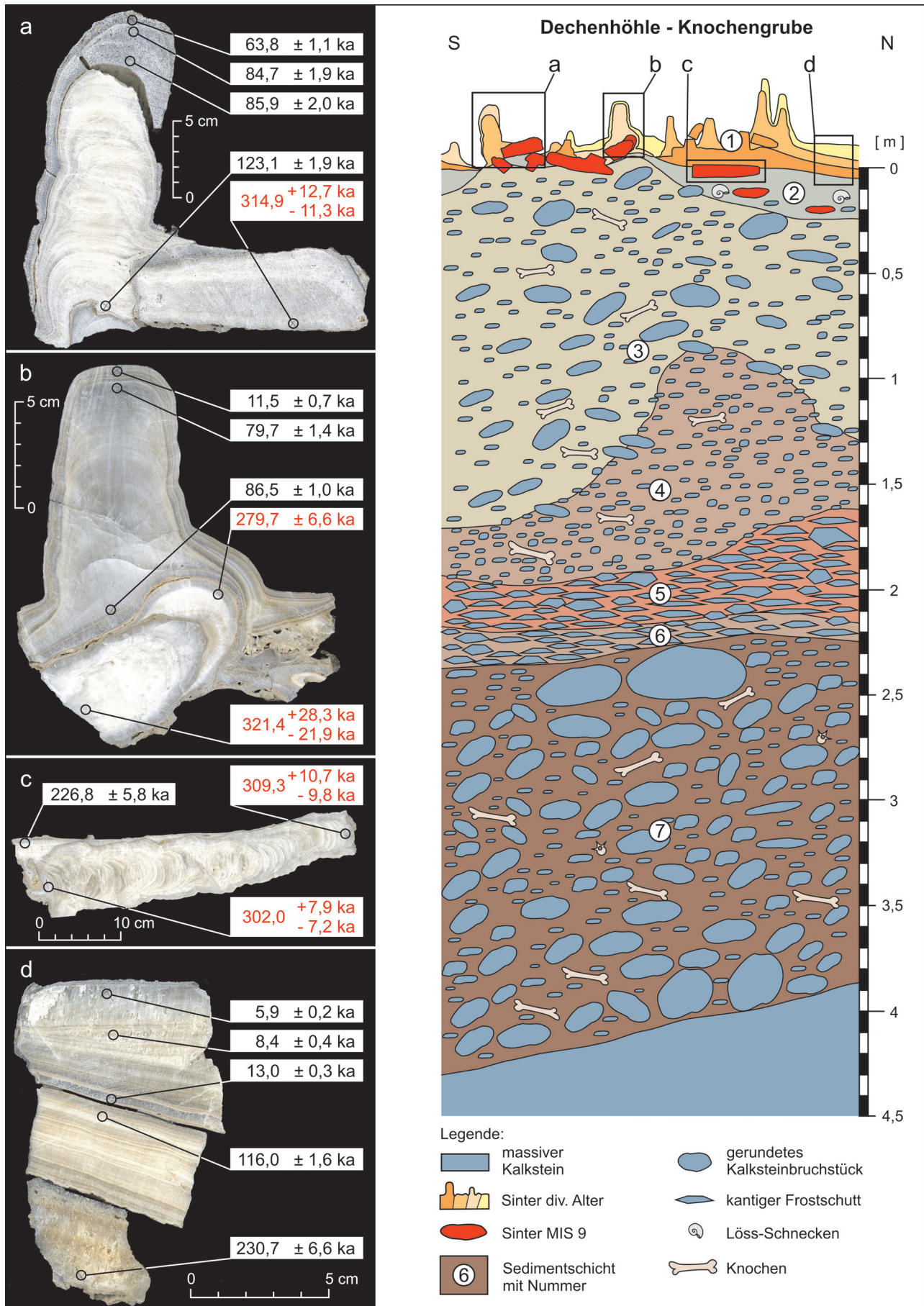


Abb. 6: Schemaprofil des Aufschlusses „Knochengrube“; rot markiert: Holsteinbodensinter; a-d: beprobte Sinter aus der „Knochengrube“.

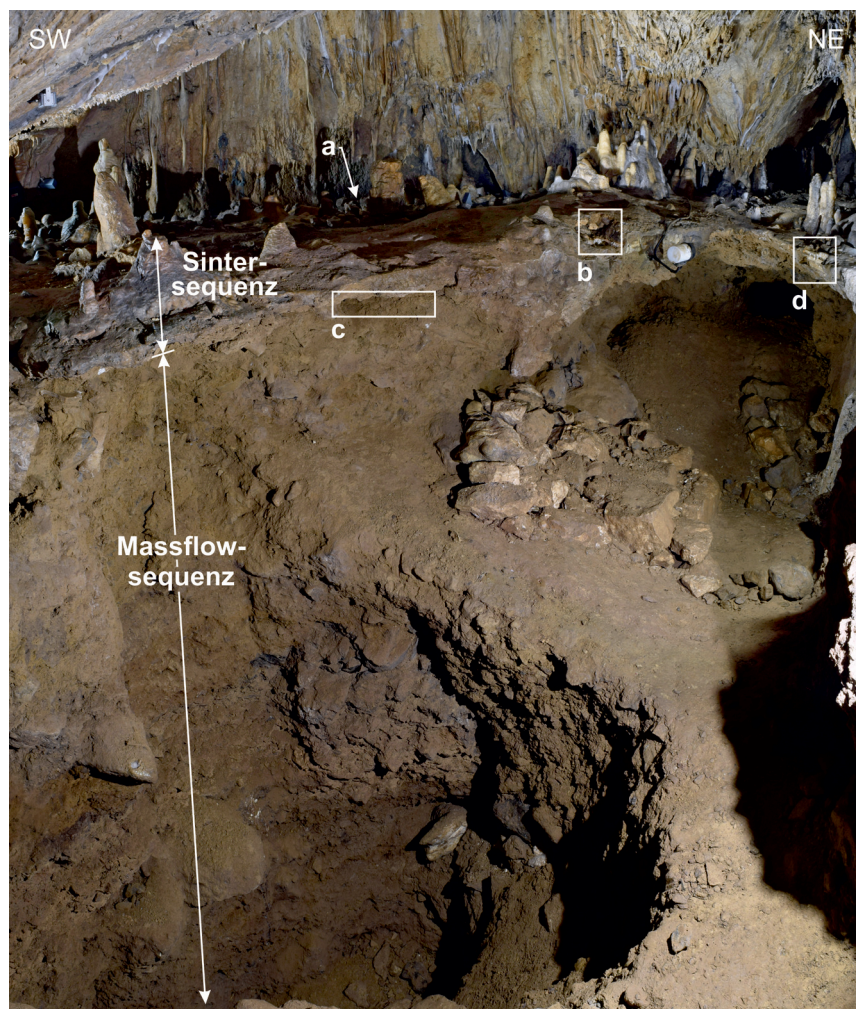


Abb. 7: Foto der Lokation „Knochengrube“ (leicht verzerrtes Panorama) mit Markierung der Sinter- und Massflowsequenz und Entnahmestellen der beprobten Sinter a-d.

2005; Litt et al. 2007). Zur Korrelation von Holstein zu MIS 9 oder MIS 11 siehe auch die Diskussionen von Nitychoruk et al. (2006) und Marks et al. (2018).

Die gemessene Spanne entspricht lediglich dem älteren Teil, der von 340 bis 280 ka reichenden MIS 9-Zeit (Abb. 11). Für genauere Aussagen fehlen noch einerseits eine hochaufgelöste Zeitreihe an $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten für De-Kö S 3, und andererseits müssen noch weitere, inzwischen geborgene, Speläotheme der MIS 9-Warmzeit (vgl. Abb. 11) entsprechend untersucht werden.

4.3 Stabile Kohlen- und Sauerstoffisotope

Die C/O-Isotopenanalysen wurden im Jahr 2009 mit einem ThermoScientific MAT253 IR-GC Massenspektrometer ausgerüstet mit einer GASBECH II im Isotopenlabor des Instituts für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt. Die Stalagmitencalcite haben $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -4,8 und -10,5 [‰ VPDB] und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen -5,0 und -9,5 [‰ VPDB] ergeben (Abb. 8). Insgesamt entsprechen diese Werte den Literaturdaten für holozäne Speläotheme des zentralen Mitteleuropas (u.a. Wurth 2002; Fohlmeister et al. 2012; Mischel et al. 2017). Die

Abschnitte mit relativ hohen $\delta^{13}\text{C}$ -Werten (bis -5 ‰) lassen sich sicherlich erst im Zusammenhang mit umfangreicheren Untersuchungen für holsteinzeitliche Stalagmiten erklären (? Wachstumsunterbrechungen/Schichtenkondensationen/wechselnde Vegetationen sowie Bodenaktivitäten oberhalb der Höhle), aber für die Verteilung der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte mit niedrigeren Werten (-7,0 bis -9,5 ‰) im unteren Abschnitt und mit höheren Werten (-5,0 bis -6,5 ‰) im oberen Abschnitt kann bereits eine erste Interpretation angeboten werden. Nach umfangreichen petrographisch/geochemischen Untersuchungen von Wurth (2002) an holozänen Stalagmiten des Sauerlands und der Fränkischen Schweiz (d.h. gleicher Abstand für die Herkunft des über dem Atlantik verdunstenden Wassers, aber unterschiedlicher Höhenlage der Höhlen über dem Meeresspiegel) sind die Calcite des Iserlohner Raums gegenüber denjenigen der Fränkischen Schweiz unter wärmeren Höhlenbedingungen gebildet worden (11 °C versus 9 °C).

Unter Berücksichtigung dieses Temperatureffekts entspricht der untere Abschnitt des Stalagmiten DE-Kö S 3 einem kühleren Klima und der obere Abschnitt einem wärmeren Klima oberhalb der Höhle (vgl. Datenverteilung in Abb. 12). Somit dürfte der

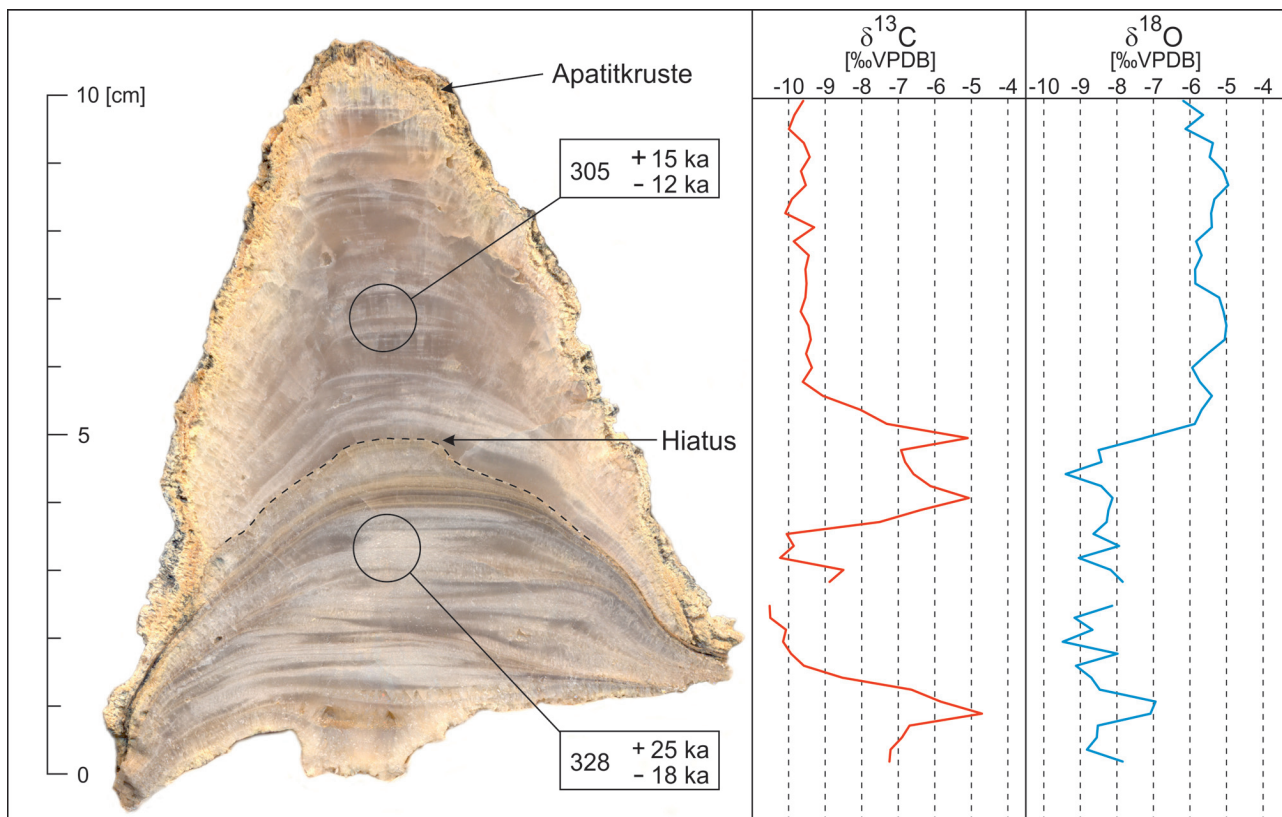


Abb. 8: Stalagmit De-Kö S 3. Links: aufgeschnittener Stalagmit mit Positionen der Proben für die $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierungen; rechts: C/O-Isotopenprofile.

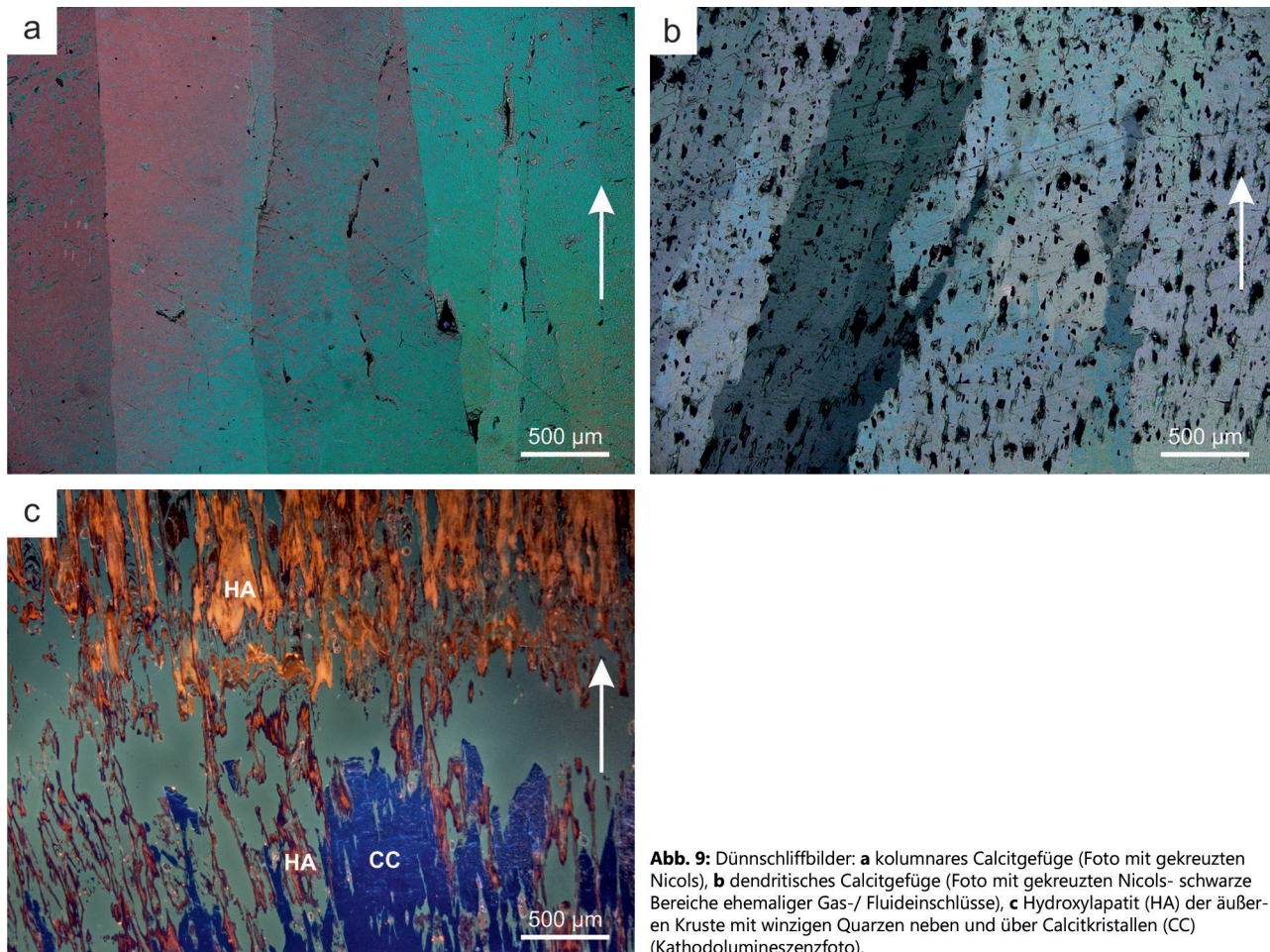


Abb. 9: Dünnschliffbilder: **a** kolumnares Calcitgefüge (Foto mit gekreuzten Nicols), **b** dendritisches Calcitgefüge (Foto mit gekreuzten Nicols- schwarze Bereiche ehemaliger Gas-/ Fluideinschlüsse), **c** Hydroxylapatit (HA) der äußeren Kruste mit winzigen Quarzen neben und über Calcitkristallen (CC) (Kathodolumineszenzfoto).

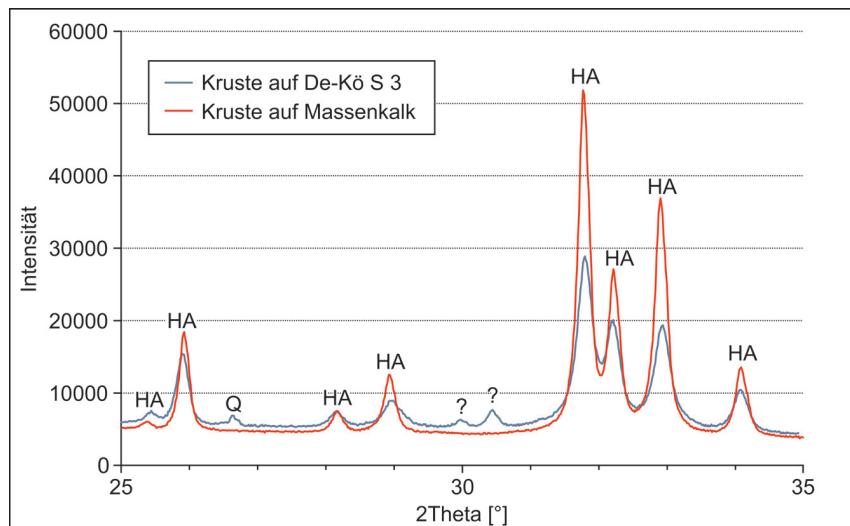


Abb. 10: Röntgendiffraktogramme für die Hydroxylapatitkruste mit Quarz auf dem Stalagmiten De-Kö S 3 und für eine reine Hydroxylapatitkruste vom NE-Abschnitt des Königshallenprofils (HA = Hydroxylapatit, Q = Quarz, ? = Crandallit/Woodhouseit).

Stalagmit De-Kö S 3 lediglich den Abschnitt vom Beginn bis zum Optimum der Holstein-Warmzeit widerspiegeln, bevor er von der Hydroxylapatitmineralisation von Fledermauskot versiegelt worden ist. Für die Klimarekonstruktion der vollständigen Warmzeit MIS 9a-e müssen die bereits gewonnenen und vorab datierten Proben (vgl. Abb. 11) entsprechend untersucht werden.

5. Diskussion und Schlussfolgerung

Erstmals sind Holstein-zeitliche Speläotheme einer mitteleuropäischen Höhle petrographisch/geochemisch näher untersucht worden, um Aussagen zur Klimaentwicklung der Warmzeit MIS 9 zu gewinnen. Diese Warmzeit entspricht nach Literaturrecherchen (u. a. Petit et al. 1999; Geyh & Müller 2005; Lisiecki & Raymo 2005; Litt et al. 2007) einem Altersabschnitt von 340-280 ka. Die Dechenhöhle ist für die Entschlüsselung der Klimaentwicklung von MIS 9 im zentralen Europa

bestens geeignet, da Speläotheme aus dem MIS 9 mittlerweile über die gesamte Höhle bis in die direkt östlich gelegene Pferdestall-Höhle bekannt sind. Zudem lässt sich das Niveau in den drei Grabungsprofilen Knochengrube, Königshalle und Brückengang in die quartäre Schichtfolge mit warmzeitlichen Speläothemen und kaltzeitlichen Klastika gut einhängen und verfolgen.

Der bereits vor 20 Jahren entnommene Stalagmit De-Kö S 3 ist mit TIMS ²³⁰Th/U-Altern von 328 und 305 ka trotz größerer Fehlergrenzen in den wärmeren unteren bis mittleren Abschnitt von MIS 9 einzuordnen (Abb. 9). Der liegende Teil des Stalagmiten ist, nach $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von -7,0 bis -9,5 ‰, unter etwas kühleren Bedingungen gegenüber dem jüngeren Teil, mit $\delta^{18}\text{O}$ -Werten zwischen -5,0 bis -6,5 ‰, entstanden. Die letztgenannten Werte entsprechen Daten holozäner Stalagmiten der Dechenhöhle (Niggemann 2000; Wurth 2002), der nahegelegenen Bunkerhöhle

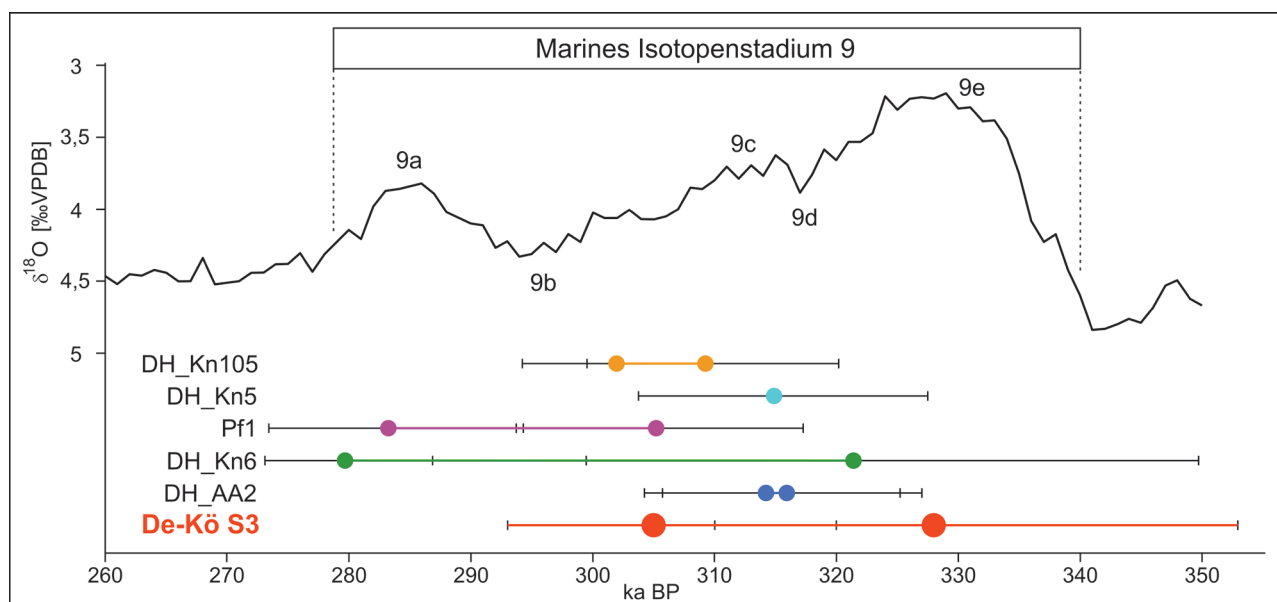


Abb. 11: ²³⁰Th/U-Alter mit Fehlerbalken für den Stalagmiten De-Kö S 3 (rot) und für die noch hochaufgelöst zu bearbeitenden Stalagmiten. Im Vergleich der MIS 9-Abschnitt des $\delta^{18}\text{O}$ -Profils für benthonische Foraminiferen nach Lisiecki & Raymo (2005).

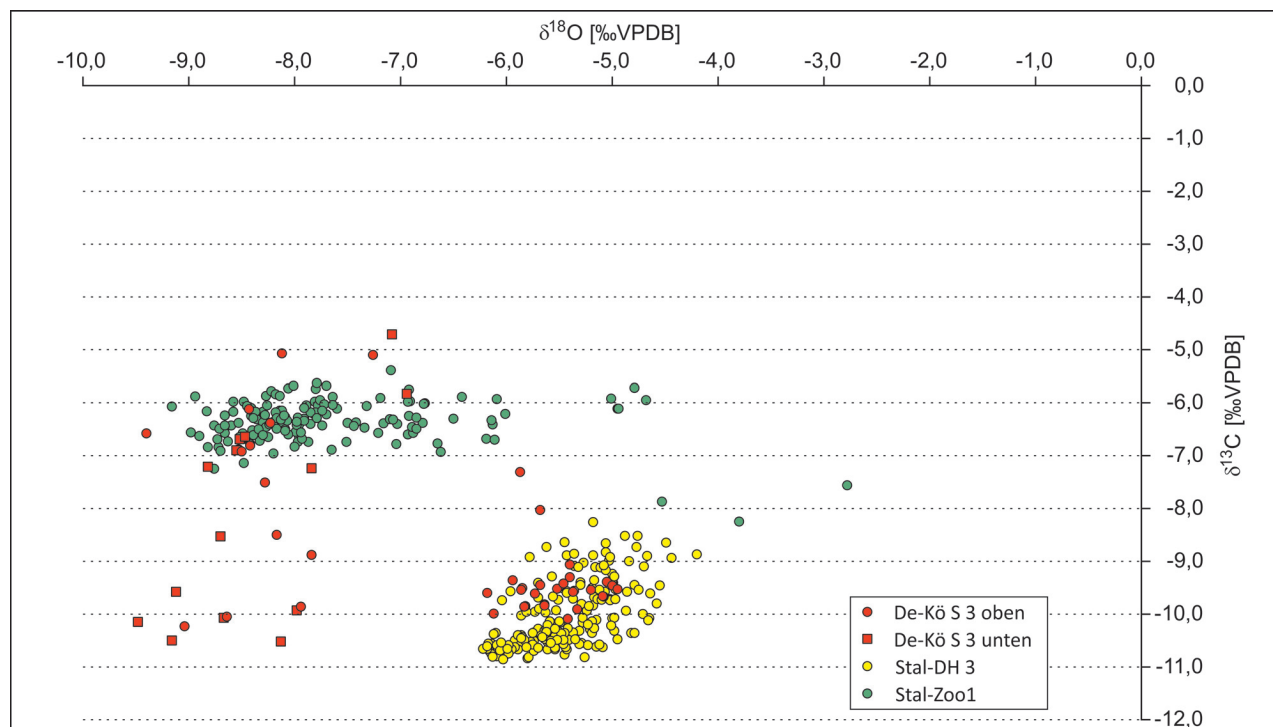


Abb. 12: $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte für De-Kö S 3 und für spätglazial/holozäne Stalagmiten der Dechenhöhle (Stal-DH 3 nach Wurth 2002) und der Zoolithenhöhle (Stal-Zoo 1 nach Wurth 2002).

(Fohlmeister et al. 2012) und des Herbstlabyrinths bei Breitscheid/N-Hessen (Mischel et al. 2017), sodass die Klimata der holsteinzeitlichen und der heutigen Warmzeit pauschal gesehen ähnlich gewesen sein dürften. Möglicherweise ist der wärmste Abschnitt von MIS 9 in De-Kö S 3 nicht ausgebildet, da eine Kruste aus Hydroxylapatit den Stalagmiten versiegelt hat. Schließlich war das Klima der Holstein-Warmzeit nach einer Literatur-Kompilation von Ehlers (2011) gegenüber dem heutigen Klima im zentralen Mitteleuropa etwas wärmer (3°C nach Petit et al. 1999).

Die zurzeit von Dana Riechelmann und Denis Scholz am Institut für Geowissenschaften der Universität Mainz durchgeführten Detailuntersuchungen an insgesamt sechs Stalagmiten werden das Bild der Klimaentwicklung des MIS 9 im zentralen Mitteleuropa sicherlich deutlich erweitern.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden dankenswerterweise durch technische Hilfen von Mathias Born, Beate Gehnen, Hartmut Mammen und Rolf D. Neuser (Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Ruhr-Universität Bochum) sowie René Eichstätter (Akademie der Wissenschaften, Heidelberg) unterstützt. Die C/O-Isotopenanalytik wurde dankenswerterweise durch den Förderverein Dechenhöhle und Deutsches Höhlenkundemuseum e. V. finanziell gefördert. D. Scholz und D. F. C. Riechelmann danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft

für Forschungsmittel (SCHO 1274/9-1, 11-1, 13-1) sowie dem Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, für die jahrelange erfolgreiche Kooperation. Konstruktive Hinweise verdanken wir den Begutachtungen von S. Kempe und F. Knolle.

6. Literatur

- Dreyer, R., Graw, R., Niggemann, S. & Richter, D.K. 2000: Forschungsgrabung „Dechenhöhle 2000“: Erste Ergebnisse. – Bochumer geologische und geotechnische Arbeiten 55: 169-178.
- Drozdowski, G., Richter, D.K. & Wrede, V. 2017: Hydrothermalkarst im nördlichen Rheinischen Schiefergebirge. – Karst und Höhle, 2015-2017: 1-88.
- Ehlers, J. 2011: Das Eiszeitalter. Heidelberg: Springer Spektrum.
- Fairchild, I. J. & Baker, A. 2012: Speleothem Science. From Process to Past Environments. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Fohlmeister, J., Schröder-Ritzrau, A., Scholz, D., Spötl, C., Riechelmann, D.F.C., Mudelsee, M., Wackerbarth, A., Gerdes, A., Riechelmann, S., Immenhauser, A., Richter, D.K. & Mangini, A. 2012: Bunker cave stalagmites: an archive for central European Holocene climate variability. – *Climate of the Past* 8: 1751-1764.
- Geyh, M. A. & Müller, H. 2005: Numerical $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating and a palynological review of the Holsteinian/Hoxnian Interglacial. – *Quaternary Science Reviews* 24: 1861-1872.
- Hill, C. & Forti, P. 1997: *Cave Minerals of the World*. – Second Edition, Huntsville: National Speleological Society.
- Iden, E. 2013: Datierung des Stalagmiten BR-5 aus der Dechenhöhle, Iserlohn und Erstellung eines Altersmodells. – Bachelorarbeit, Johannes Gutenberg-Universität, Mainz, Deutschland.

- Kempe, S., Rosendahl, W., Wiegand, B. & Eisenhauer, A. (2002): New speleothem dates from caves in Germany and their importance for the Middle and Upper Pleistocene climate reconstruction. – *Acta Geologica Polonica* 52: 55-61.
- Lisiecki, L. E. & Raymo, M. E. 2005: A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. – *Paleoceanography* 20, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.
- Litt, T., Behre, 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.
- Marks, L., Karabanov, A., Nitychoruk, J., Bahda-Sarau, M., Krzywicki, T., Majecka, A., Pochocka-Szwarc, K., Rychel, J., Woronko, B., Zbuckl, L., Hradunova, A., Hrychanik, M., Mamchyk, S., Rylova, T., Nowacki, L. & Pielach, M. 2018: Revised limit of the Saalian ice sheet in central Europe. – *Quaternary International* 478: 59-74.
- Miko, S., Kuhta, M. & Kapelj, S. (2001): Bat guano influence on the geochemistry of cave sediments from Modrič Cave, Croatia. – 13th International Congress of Speleology, Brasilia DF, 187-192.
- Mischel, S. A., Scholz, D., Spötl, C., Jochum, K. P., Schröder-Ritzrau, A. & Fiedler, S. 2017: Holocene climate variability in Central Germany and a potential link to the polar North Atlantic: A replicated record from three coeval speleothems. – *The Holocene* 27(4): 509-525.
- Nickl, A.-L. 2013: Messung der stabilen Sauerstoff- und Kohlenstoff-Isotope in einem Stalagmiten aus dem Sauerland. – Bachelorarbeit, Johannes Gutenberg-Universität, Mainz, Deutschland.
- Niggemann, S. 2000: Klimabezogene Untersuchungen an spät- und postglazialen Stalagmiten aus Massenkalkhöhlen des Sauerlandes. – *Bochumer geologische und geotechnische Arbeiten* 55: 5-129.
- Niggemann, S., Richter, D. K., Hammerschmidt, E., Dreyer, R., Grebe, W. & Platte, A. 2018: Dechenhöhle Erdgeschichten. Iserlohn: Dechenhöhle.
- Nitychoruk, J., Binka, K., Ruppert, H. & Schneider, J. 2006: Holsteinian Interglazial = Marine Isotope Stage 11?. – *Quaternary Science Reviews* 25: 2678-2681.
- Onac, B.P., Mylroie, J.E. & White, W.B. (2001): Mineralogy of cave deposits on San Salvador Island, Bahamas. – *Carbonates and Evaporates* 16: 8-16.
- Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. L., Barnola, J. M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, J., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V. M., Legrand, M., Lipenkov, V., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E. & Stievenard, M. 1999: Climate and atmospheric history of the past 420.000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica. – *Nature* 399: 429-436.
- Richter, D.K., Dreyer, R., Niggemann, S. & Scholz, D. 2018: $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -datierte warm- und kaltzeitliche Sinter der Dechenhöhle und die großklimatische Entwicklung der letzten 200.000 Jahre. – *Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- u. Karstforscher* 64: 16-24.
- Weber, M., Scholz, D., Schröder-Ritzrau, A., Deininger, M., Spötl, C., Lugli, F., Mertz-Kraus, R., Jochum, K. P., Fohlmeister, J., Stumpf, C. F. & Riechelmann, D. F. C. 2018: Evidence of warm and humid interstadials in central Europe during early MIS 3 revealed by a multi-proxy speleothem record. – *Quaternary Science Reviews* 200: 276-286.
- Wurth, G. 2002: Klimagesteuerte Rhythmik in spät- bis postglazialen Stalagmiten des Sauerlandes, der Fränkischen Alb und der Bayerischen Alpen. – Dissertation, Ruhr-Universität, Bochum, Deutschland.

The oldest record of the genus *Torvosaurus* (Theropoda: Megalosauridae) from the Callovian Ornatenton Formation of north-western Germany

Oliver W. M. Rauhut, Achim H. Schwermann, Tom R. Hübner & Klaus-Peter Lanser

Oliver W. M. Rauhut
SNSB, Bayerische Staatssammlung
für Paläontologie und Geologie
Sektion Paläontologie und
Geobiologie, Department für Geo-
und Umweltwissenschaften
Ludwig-Maximilians-Universität;
GeoBioCenter
Ludwig-Maximilians-Universität;
Richard-Wagner-Str. 10
80333 München
Germany

Achim H. Schwermann &
Klaus-Peter Lanser
LWL-Westfälisches Museum für
Naturkunde
Westfälisches Landesmuseum mit
Planetarium
Sentruper Str. 285
48161 Münster
Germany
(Current address for K.-P. Lanser:
Langebusch 9, 48159 Münster,
Germany)

Tom R. Hübner
Stiftung Schloss Friedenstein
Gotha
Schloss Friedenstein
Schlossplatz 1
99867 Gotha
Germany

Corresponding author:
rauhut@snsb.de

Manuscript
Received: 03.06.2020
Accepted: 07.09.2020
Available online: 06.10.2020

© LWL-Museum für Naturkunde

Abstract

A fragmentary maxilla from the middle Callovian Ornatenton Formation of the Wiehengebirge, north-western Germany, shows two autapomorphies of the theropod dinosaur genus *Torvosaurus*, a maxilla fenestra that is developed as a large and shallow but not sharply defined depression and an anteroposteriorly oriented ridge transversing the ventral part of the maxillary fenestra. This specimen represents the first occurrence of this genus from Germany and the oldest record of *Torvosaurus*, which is otherwise securely known from the Kimmeridgian-Tithonian of Portugal and the western USA. Given that the two closest relatives of *Torvosaurus*, *Megalosaurus* and *Wiehenvenator*, are known from the Bathonian of England and the Callovian of Germany, respectively, an evolutionary origin of derived megalosaurines in north-central Europe is indicated. The records of *Torvosaurus* in the Kimmeridgian-Tithonian of Portugal and the Morrison Formation of the western USA most probably represent dispersal of the genus from this area in the Late Jurassic.

Key words: Middle Jurassic, Europe, Germany, Tetanurae, Megalosauridae, *Torvosaurus*

Kurzfassung

Eine fragmentarische Maxilla aus der mittel-callovischen Ornatenton-Formation aus dem Wiehengebirge (nördliches Nordrhein-Westfalen, Deutschland) zeigt zwei Autapomorphien der theropoden Dinosaurier-Gattung *Torvosaurus*, ein Maxillarfenster, das nur als große, flache, aber nicht scharf begrenzte Depression entwickelt ist, und einen schräg von posteroventral nach anterodorsal verlaufenden Grat im unteren Teil des Maxillarfensters. Dieser Rest stellt somit den ersten Nachweis dieser Gattung aus Deutschland und den ältesten Fund von *Torvosaurus* generell dar, der bisher nur aus dem Kimmeridgium-Tithonium von Portugal und der USA bekannt ist. Da die beiden nächsten Verwandten von *Torvosaurus*, *Megalosaurus* und *Wiehenvenator*, aus dem Bathonium von England und dem Callovium von Norddeutschland stammen, weist dies auf einen Ursprung der fortschrittlichen Megalosaurinen im nördlichen Mitteleuropa hin. Die Vorkommen von *Torvosaurus* im Kimmeridgium-Tithonium von Portugal und der Morrison Formation Nordamerikas dürfte somit durch eine Einwanderung dieser Gattung im oberen Jura erklärt werden.

Schlüsselwörter: Mittlerer Jura, Europa, Deutschland, Tetanurae, Megalosauridae, *Torvosaurus*

Introduction

Megalosaurids represent the first successful radiation of the Tetanurae, the most important lineage of theropod dinosaurs, which also includes modern birds (Benson 2010a; Carrano et al. 2012; Rauhut et al. 2016; Rauhut & Pol 2019). The oldest representatives of this clade appear in the fossil record in the earliest Bajocian (Benson 2010b), and the family is taxonomically diverse, especially in Europe, in the late Middle Jurassic (Bathonian-Callovian; Carrano et al. 2012; Rauhut et al. 2016). However, if a Middle Jurassic age is assumed for the African taxon *Afrovenator* (Sereno et al. 1994; Rauhut & López-Arbarelló 2009), only few megalosaurids have been identified from the Late Jurassic. Apart from the Callovian-Oxfordian taxon *Streptospondylus* (Allain 2001) and the so far only preliminarily described *Leshansaurus* from China (Li et al. 2009), the best known Late Jurassic megalosaurid is the genus *Torvosaurus*, with two species, the North American *Torvosaurus tanneri* (Galton & Jensen 1979; Britt 1991) and the European *Torvosaurus gurneyi* (Hendrickx & Mateus 2014). The occurrences of *Torvosaurus* in the Tithonian of the Morrison Formation and the Lusitanian Basin are the youngest records of megalosaurids; the clade apparently went extinct at the end of the Jurassic.

Other Late Jurassic occurrences of megalosaurids are usually fragmentary, undiagnostic at species or genus level, and/or of questionable affinities (see overview in Rauhut et al. 2018). An exception to the fragmentary nature of most remains is the excellently preserved type specimen of *Sciurumimus*, which was found to be a megalosaurid in at least one of the analyses carried out by Rauhut et al. (2012). However, as this taxon is based on an early post-hatchling individual and possible ontogenetic changes in basal tetanurans are poorly understood, the exact affinities of this taxon should be regarded as uncertain at the moment. Some fragmentary remains, such as a poorly preserved maxilla fragment and a tibia from the Kimmeridgian Kimmeridge Clay Formation of England show megalosaurid affinities and are similar to *Torvosaurus* and thus might represent the same genus (Benson & Barrett 2009; Carrano et al. 2012). The Gondwanan Late Jurassic theropod fossil record is exceedingly poor (Rauhut & López-Arbarelló 2008), and remains of a large, robustly built megalosauroid from the Tendaguru Formation (Rauhut 2011) might represent either a megalosaurid, or a spinosaurid. Recently, Soto et al. (2020) identified the genus *Torvosaurus* from the Tendaguru Formation and the Tacuarembó Formation of Uruguay on the basis of isolated teeth. However, even though these teeth might be referable to megalosaurids, an identification on lower taxonomic levels, such as genera, should be seen with caution. With the possible

exception of *Leshansaurus* (Carrano et al. 2012), no megalosaurids have so far been reported from the Late Jurassic of Asia.

Torvosaurus is one of the most recently recognized, but at the same time one of the largest taxon of theropod from the Morrison Formation (Galton & Jensen 1979; Britt 1991). As noted by Hanson & Makovicky (2014), the genus is not only recognizable because of its large size, but also because of the massiveness of its bones, a feature that it shares with its closest relatives *Megalosaurus* and *Wiehenvenator* (Benson 2010a; Rauhut et al. 2016). Although Foster (2007) noted that *Torvosaurus* is the second most abundant theropod taxon in the Morrison Formation, few specimens have been recorded so far, and the vast majority are fragmentary and occur in multi-taxon bonebeds in association with the much more abundant *Allosaurus* (Hanson & Makovicky 2014). Likewise, the European species of *Torvosaurus* is also the largest and most massive theropod dinosaur from the Late Jurassic of this continent, but, although megalosaurids seem to have been less rare in the European Late Jurassic than in North America (Rauhut et al., 2018), all specimens recorded so far are fragmentary (Antunes & Mateus 2003; Mateus et al. 2006; Malafaia et al. 2008, 2017a; Hendrickx & Mateus 2014).

The occurrence of shared taxa in the Morrison Formation and the Lusitanian Basin has been recognized repeatedly recently (e.g., Pérez-Moreno et al. 1999; Antunes & Mateus 2003; Mateus 2006; Escaso et al. 2007; Malafaia et al. 2007, 2015), but the direction of faunal exchange is largely unclear. Mateus (2006) considered it to be more likely that the shared taxa in the Lusitanian Basin result from immigration events from North America, whereas Hendrickx & Mateus (2014) noted that the close relationship between *Torvosaurus* and the Middle Jurassic English taxon *Megalosaurus* might indicate a dispersal of this genus from Europe to North America.

Here we report a fragmentary theropod specimen from the Callovian Ornatenton Formation of Westphalia, north-western Germany, which can be referred to the genus *Torvosaurus* and thus represents the oldest record of this genus.

Abbreviations

BYU	Brigham Young University, Provo, USA
ML	Museu da Lourinhã, Lourinhã, Portugal
OUMNH	Oxford University Museum of Natural History, Oxford, England, UK
SHN	Sociedade de História Natural, Torres Vedras, Portugal
UC	University of Chicago, Chicago, USA
UMNH	Utah Museum of Natural History, Salt Lake City, USA
WMNM	LWL-Museum für Naturkunde, Münster, Germany

Geological and paleontological context

The specimen comes from the Ornatenton Formation of the locality of Lutternsche Egge in the Wiehengebirge, close to the city of Minden (Fig. 1), from the same locality where the megalosaurid *Wiehenvenator albatii* was reported by Rauhut et al. (2016). The specimen is stored at the paleontological collection of the LWL-Museum für Naturkunde, Münster, Germany (WMNM).

The Ornatenton Formation is a shallow marine sequence dominated by dark, mainly pelitic or fine sandy sediments that crops out both in northern and southern Germany (Rieggraf 1994). In northern Germany, the Ornatenton Formation has three members, from bottom to top the Lower Siltstone Series, the Upper Siltstone Series, and the Phosphoritic Clay Member. The latter is missing in many outcrop areas, thus the Upper Siltstone Series being capped by a condensation horizon that represents a sedimentation gap, followed by the hard sandstones of the Oxfordian Heersumer Beds (Mönning 1993). In the area of Minden, the Ornatenton Formation crops out on the crest of the Wiehengebirge and Weserberge, a chain of low hills with a NW-SE orientation that represents the northernmost outlier of the central German mountain ranges. For details of the section of the locality Lutternsche Egge see Rauhut et al. (2016). The current specimen was found in 1999 some 28 m away from the site that yielded the remains of the only known *Wiehenvenator*-specimen, and most remains were found weathered in the float, with only one piece found in situ just below the condensation horizon. Apart from *Wiehenvenator* and the specimen described here, the vertebrate fauna of the locality Lutternsche Egge includes isolated vertebrae and teeth of the pliosaur *Liopleurodon*.

Nearby outcrops of the Ornatenton have documented other vertebrates in the past. These include various chondrichthyes and osteichthyes, sparse evidence of ichthyosaurs, various plesiosaur remains, as well as skulls, mandibles and postcranial elements of teleosaurid and metriorhynchid crocodiles (Michelis et al. 1996, Waskow et al. 2018). The identification of *Lexovisaurus* could not be confirmed, corresponding finds have rather been assigned to *Leedsichthys* (Liston 2010). Furthermore, a long bone was identified as a possible dryosaurid (Michelis et al. 1996), but this identification is questionable.

Systematic palaeontology

Dinosauria Owen, 1842

Theropoda Marsh, 1881

Megalosauroida (Fitzinger, 1843)

Megalosauridae Fitzinger, 1843

Torvosaurus Galton & Jensen, 1979

Torvosaurus sp.

Description

The material includes several fragmented remains of a left maxilla (Fig. 2) and a pedal phalanx. Most fragments of the maxillary body were found in the float and are strongly weathered and poorly preserved, but the base of the ascending process, which was found in situ, is well-preserved and shows important anatomical details.

Maxilla

Several fragments represent the maxillary body anterior to and below the anterior end of the antorbital fenestra (Fig. 2, 3). One of these fragments (WMNM P27690 and P27691, which represent the separate, but fitting

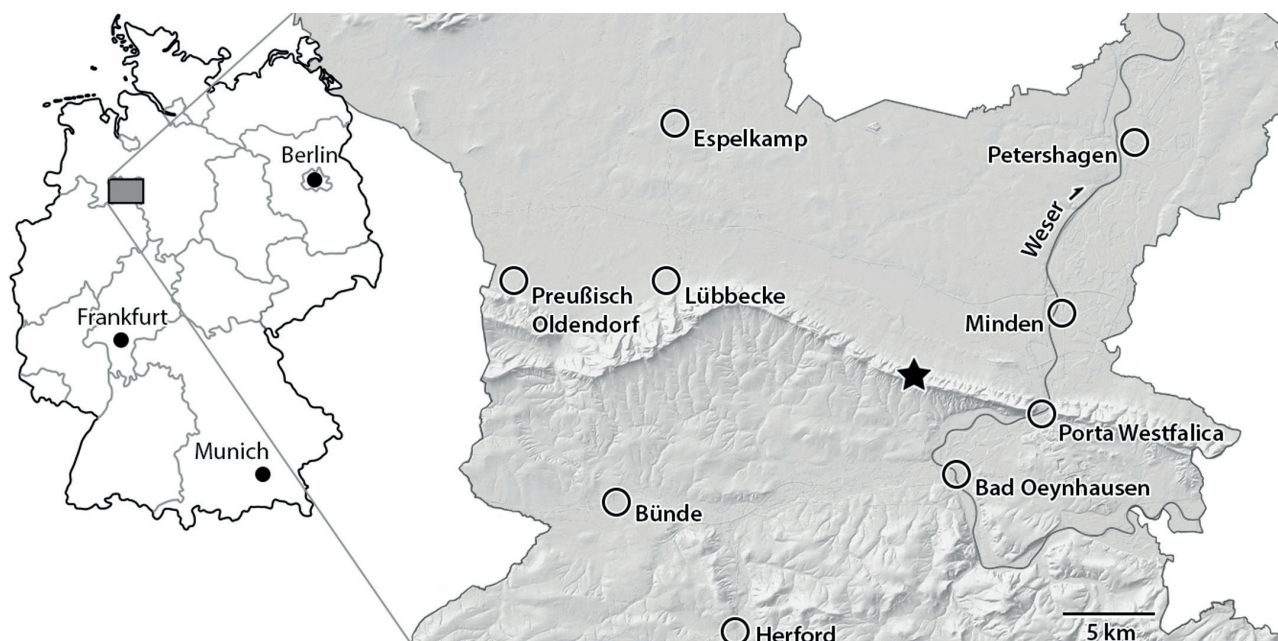


Figure 1: Map of north-eastern North Rhine-Westphalia, showing the geographic location of the locality Lutternsche Egge.



Figure 2: Fragments of a left maxilla of *Torvosaurus* from the Ornatenton Formation of Lutternsche Egge, superimposed on the left maxilla of *Torvosaurus tanneri* to show approximate position of preserved parts. Scale bar is 5 cm.

labial and lingual wall of the alveoli of the same part of the maxillary body) fits onto the base of the ascending process (WMNM P80969; Fig. 3A-E) and thus shows the height of the maxillary body below the anterior end of the antorbital fossa (Fig. 2), which was approximately 110 mm. The total height of the maxilla up to the dorsal break of the ascending process is thus c. 250 mm. Two other large fragments (WMNM P 27685 and 27686; Fig. 3F-I) might represent the maxillary body directly in front of the fragment that fits to the base of the ascending process. Although their breaks do not fit exactly, the shapes are close, and fitting them together results in alveoli of congruent sizes. If these two fragments fit in front of WMNM P27690 and P27691, the height of the anterior process of the maxilla right in front of the base of the ascending process can be estimated to be approximately 18 cm.

Two fragments of the maxillary body show broken alveoli that extend high into the maxillary body (Fig. 3I, 4A), as in *Megalosaurus*, *Wiehenvenator* and *Torvosaurus*. The most informative piece of the alveolar border (WMNM P 27690 and 27691), representing a fragment of the mid-section of the maxilla below the base of the ascending process, is broken along the alveolar row, but preserves both the outer and inner surface of the maxillary body (Fig. 3J, K), as well as an unerupted replacement tooth (Fig. 4A, B). The outer surface is high and largely smooth over its entire preserved height (Fig. 3J), showing a very slight

medial inflection at the dorsal break towards the rim of the antorbital fossa. A large, ventrolaterally opening nutrient foramen with a well-developed groove extending ventrally from it is present some 3-4 cm above the alveolar margin at about the mid-width of each of the two preserved alveolous on the lateral side. At the level of the wall separating the alveoli, a smaller and slightly more ventrally placed foramen is found. The ventral margin of the lateral wall is broken off at the level of these foramina and slightly displaced ventrally and medially, being preserved with the medial side of the alveolar wall.

Medially, the interdental plates are poorly preserved (Fig. 3K). They seem to be partially fused, unlike the unfused plates in the megalosaurines *Duriavenator*, *Megalosaurus* and *Wiehenvenator* (Benson 2008, 2010a; Rauhut et al. 2016) and other megalosaurids (Allain 2002; Sadleir et al. 2008; Benson 2010b), but do not form a continuous interdental wall, as it is found in *Torvosaurus* (Britt 1991; Hendrickx & Mateus 2014; Malafaia et al. 2017a). Thus, the plates seem to be fused at about their mid-height, but are separated ventrally, where the more anterior plate preserved terminates in a broad, V-shaped tip, as in *Torvosaurus tanneri* (Britt 1991). Dorsally, there are large suprainterdental plate foramina (Britt 1991) between the interdental plates at the base of the alveoli. Fragments of the paradental lamina are preserved, and the lamina ascends anteriorly, indicating that this fragment probably represents approximately the mid-length

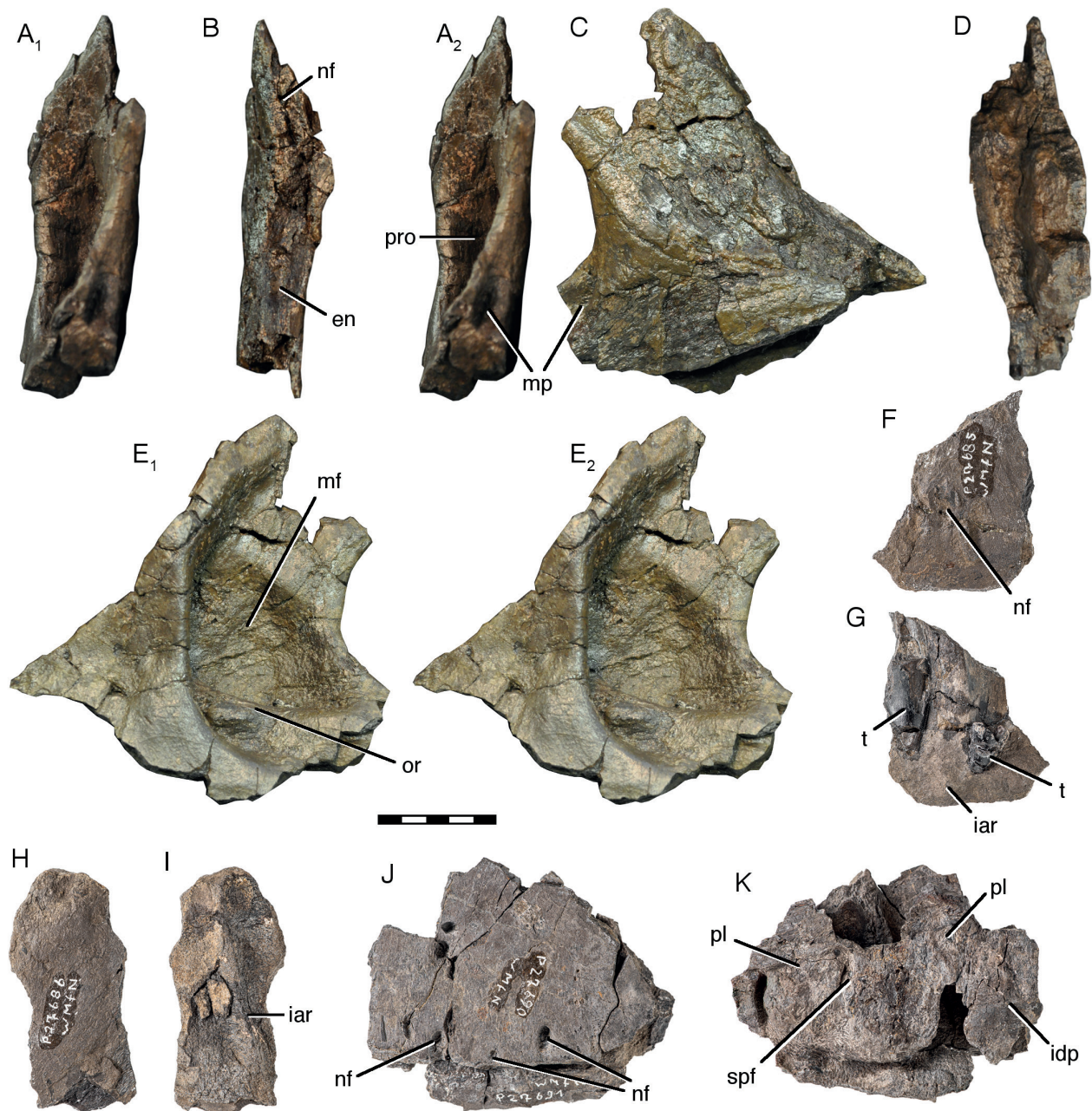


Figure 3: Fragments of a left maxilla of *Torvosaurus* from the Ornatenton Formation of the locality Lutternsche Egge. **A–E**, Base of the ascending process (WMNM P80969) in posterior (A, stereophotographs), anterodorsal (B), medial (C), ventral (D), and lateral (E, stereophotographs) views. **F, G**, Fragment of alveolar border (WMNM P27685) in lateral (F) and medial (G) views. **H, I**, Fragment of alveolar border (WMNM P2786) in lateral (H) and medial (I) views. **J, K**, Part of the maxillary body below the ascending process (WMNM P2690 and P2691) in lateral (J) and medial (K) views. Abbreviations: en, border of external nares; fn, facet for nasal; iar, interalveolar ridge; idp, interdental plate; mf, maxillary fenestra; mp, medial pneumaticity; nf, nutrient foramen; or, oblique ridge; pl, paradental lamina; pro, promaxillary recess; spf, suprainterdental plate foramen; t, tooth. Scale bar is 5 cm.

of the tooth row, as the lamina flexes ventrally in the anterior part in *Torvosaurus* and other megalosaurids (Benson 2010a; Carrano et al. 2012). Ventrally, the interdental plates do not reach the level of the lateral alveolar wall, but fall considerably short, as in *Torvosaurus* (Britt 1991), *Megalosaurus* (Benson 2010a) and *Wiehenvenator* (Rauhut et al. 2016).

The alveoli are elongate oval in outline, being slightly wider in their anterior than their posterior half, and closely spaced, being separated by thin, very slightly

posterodorsally flexed interalveolar walls. The alveoli in total are slightly inclined anteroventrally (Fig. 4A). The more anterior preserved alveolus is c. 40 mm long anteroposteriorly, whereas the second alveolus is considerably smaller, with an anteroposterior length of c. 32 mm.

The most informative fragment of the maxilla is certainly the base of the ascending process (WMNM P80969). Preserved is the base of the ascending process with anterior, anterodorsal, and anteroventral margin of the antorbital fossa as well as the anterior margin of the

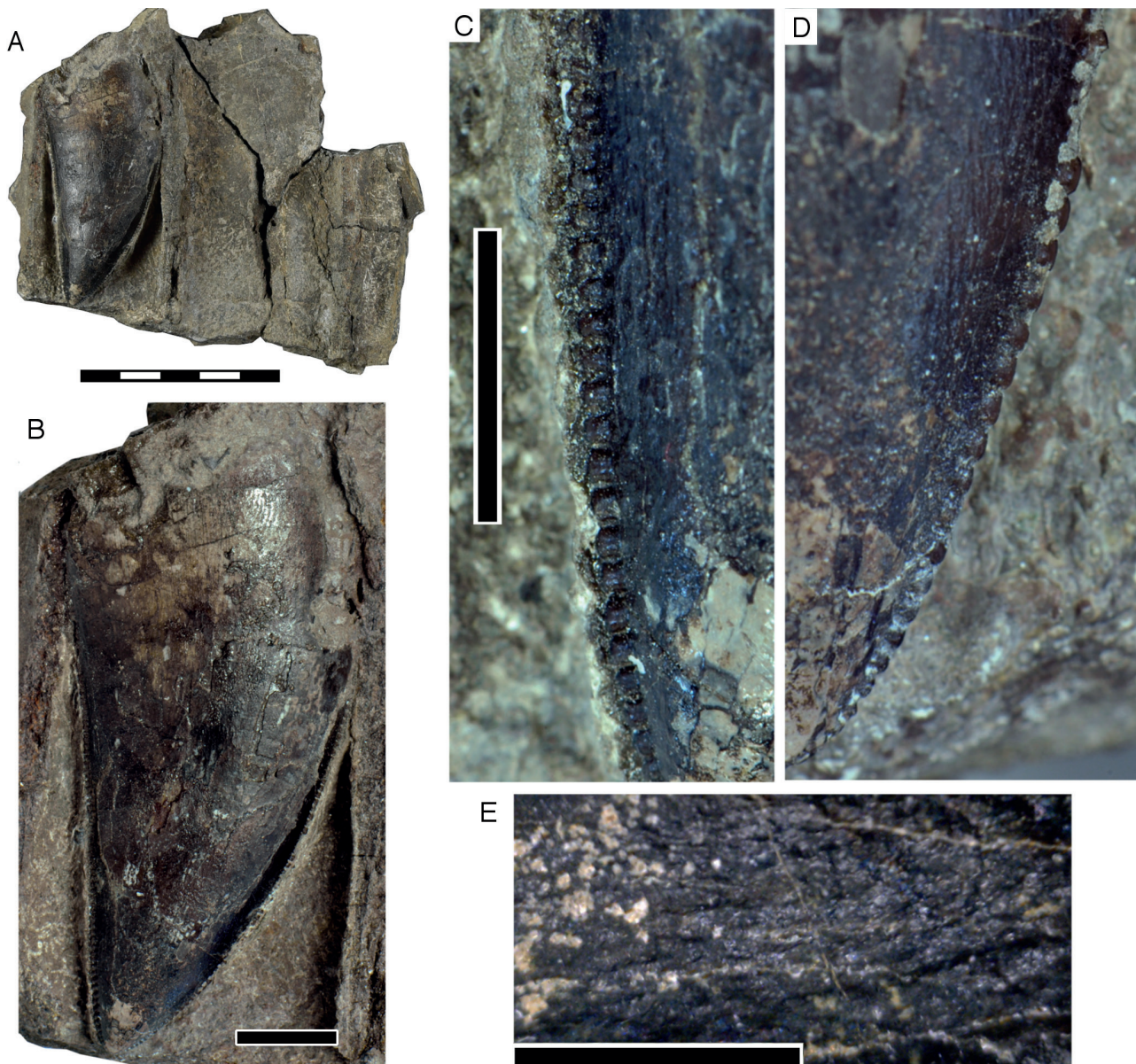


Figure 4: Replacement tooth in the maxillary body (WMNM P27690). **A**, Maxillary body broken along the alveoli in medial view. **B**, Replacement tooth in the posterior alveolus in medial view. **C**, Detail of the distal serrations of replacement tooth. **D**, Detail of the mesial serrations of replacement tooth. **E**, Enamel ornamentation close to the carina. Scale bars are 5 cm (A), 1 cm (B), 5 mm (C, D), and 1 mm (E).

antorbital fenestra and the posterior margin of the narial cavity (Fig. 3A-E). The base of the process is robust transversely, being up to c. 45 mm wide, indicating a generally robust maxillary bone, as in other megalosaurines (Britt 1991; Benson 2010a; Rauhut et al. 2016). The base of the ascending process between the anteriormost margin of the antorbital fenestra and the point where the anterior margin flexes notably dorsally is c. 85 mm long, and the maximum thickness of the base below the anterior end of the antorbital fossa is c. 43 mm.

The anterior margin of the base of the ascending process is generally concave, but with a marked kink in the anterior rim at about a third of the preserved length of the margin. In the dorsalmost preserved part, the anterior margin of the ascending process becomes

convex. The transversely thick anterior margin of the base of the ascending process is poorly preserved, and so nothing can be said about the possible presence of a facet for the posterodorsal process of the premaxilla or the ventral process of the nasal, so that it is unclear whether the maxilla took part in the rim of the external nares. However, the surface seems to have been slightly concave transversely, which might indicate the presence of such a facet.

The anterior rim of the antorbital fenestra is notably concave over its preserved portion. Most of the base of the ascending process anterior to the fenestra is occupied by the antorbital fossa, the margin of which curves from its ventral rim abruptly dorsally at about the anterior third of the base of the ascending process

(Fig. 3E). It extends straight for some 6 cm, until it curves posterodorsally and becomes less conspicuous towards the anterior rim of the ascending process. Anterior to the antorbital fossa, a triangular surface of the lateral side of the ascending process is slightly concave both antero-posteriorly and dorsoventrally.

The antorbital fossa is deeply depressed, especially in the area of the maxillary fenestra, which is developed as a shallow, but large, and not sharply defined depression, which occupies almost the entire ventral part of the base of the ascending process. Anteriorly, the maxillary fenestra is deeply excavated into the anterior rim of the ascending process, forming a promaxillary recess, but without a promaxillary foramen. Ventrally, a stout, dorso-laterally directed and slightly anterodorsally curving ridge transverses the ventral part of the antorbital fossa.

Medially, the base of the antorbital fossa is slightly convex anteroposteriorly. Posteriorly, close to the posterior break, the maxillary body bifurcates below the antorbital fenestra to form a higher and more sharply defined ridge delimiting the antorbital fossa laterally, and a lower, more rounded medial ridge. In between the two ridges, a posterodorsally directed, narrow depression is present (Fig. 3A), the medial pneumaticity of the ascending process of Carrano et al. (2012).

Dentition

Four teeth are at least partially preserved, including two strongly broken replacement teeth in a small alveolar fragment (WMNM P27685; Fig. 3G), a large replacement tooth in the maxillary body (WMNM P27690) below the anterior end of the antorbital fossa (Fig. 4), and two poorly preserved isolated tooth crowns (WMNM P27683 and P27684). Only the replacement tooth in the maxillary body (WMNM P27690) is informative, so most of the description of the dentition is based on this element, but the other tooth fragments confirm the morphology seen in this tooth, as far as this can be established. The terminology used follows Hendrickx et al. (2015a, 2019).

The teeth are ziphodont, as in the vast majority of non-maniraptoriform theropods (Hendrickx et al. 2019), and large, in absolute terms, but also in relation to the size of the maxilla, as already indicated by the large size of the alveoli. The isolated tooth crown has a Crown Base Length (CBL) of approximately 40–45 mm and an estimated Crown Height (CH) of c. 95 mm, although both measures should be seen with caution, since the poor preservation of this crown makes an evaluation of its completeness difficult. The replacement tooth in the more posterior alveolous of the fragment of the maxillary body below the anterior end of the antorbital fossa (Fig. 4) has a CBL of c. 30 mm (the basal part of the mesial carina is hidden by bone), a CH of c. 60 mm and a Crown

Base Width (CBW) of 11 mm as preserved, but as this tooth is a replacement tooth, these values are minimal estimates for the size of the functional tooth. The tooth is thus strongly labiolingually compressed, with a Crown Base Ratio (CBR) of 0.37. This value is similar to the very strongly compressed teeth of *Carcharodontosaurus* (see Hendrickx et al. 2015b), but it should be kept in mind that this is not necessarily the ratio at the base of the functional tooth.

Whereas the apical part of the isolated crown is recurved so that the distal carina is concave apically, the distal carina of the replacement tooth is almost straight, being only very slightly concave apicobasally (Fig. 4B). In contrast, the mesial carina of the tooth is strongly convex. Both carinae seem to be more or less centrally placed on their respective sides and continue to where they are hidden by bone basally. Both mesial and distal carinae are serrated, but in contrast to *Wiehenvenator* and a well-preserved replacement tooth in *Megalosaurus* (Rauhut et al. 2016), the denticles are not continuous over the apex of the tooth, which bears only a very low, unserrated carina; as the tooth is a replacement tooth, it seems unlikely that this might be due to wear. The denticles are rectangular, chisel-shaped, and are clearly separated from another by well-developed, narrow interdental slits (Fig. 4C, D). The mesial denticles remain of approximately equal size over the entire preserved length of the carina, only diminishing rapidly in size on the last c. two mm towards the apex. On the distal carina, denticle size is also more or less constant over most of the preserved length of the carina, but diminishes similarly rapidly towards the apex, and more gradually towards the basal end of the preserved crown. There are eight denticles per five mm on the central part of the distal carina, but only 6–7 on the mesial carina. However, whereas denticle length is slightly higher on the mesial than the distal carina, the opposite is true for denticle height. Thus, whereas denticle height is slightly less than denticle length on the mesial carina, it is slightly more on the distal carina.

Only the lingual side of the tooth crown is exposed, so the absence or presence of enamel ornamentation can only be evaluated for this side. No interdental sulci are present on either the mesial or distal serration, and the crown also lacks any flutes, ridges, grooves or undulations. The areas adjacent to the carinae are notably convex mesiodistally both mesially and distally. The enamel surface is poorly preserved in most parts of the crown, making it difficult to establish any pattern of enamel texture. In the few areas where enamel texture can be seen it seems to be irregular to braided (see Hendrickx et al. 2015a). However, the irregular structure might be due to weathering of an originally braided



Figure 5: Theropod pedal phalanx II-2 (WMNM P27698, P27693) from the same locality as the maxillary fragments. **A**, Dorsal view. **B**, Lateral view. **C**, Proximal view. Scale bar is 5 cm.

texture, as better preserved areas close to the carinae seem to show the latter (Fig. 4E).

Pedal phalanx

One piece of a pedal phalanx was found in the float in October of 1999 (WMNM P27693). It fits together perfectly with another piece (WMNM P29438), which was found also in the float in April of 2000, right below the point where the maxillary fragment was found in situ the year before. Although it thus seems likely that this phalanx represents the same individual as the maxilla, it cannot be completely excluded that this element belongs to the type of *Wiehenvenator*, which was found less than 30 m away and includes remains of the hindlimbs (Rauhut et al. 2016). As little is known about the pedal morphology of megalosaurine megalosaurids (or even megalosauroids in general), this phalanx has little diagnostic value and is thus not discussed further below, but it will be briefly documented here.

The element (Fig. 5) is rather short and broad, but retains a distinct neck between the proximal and distal end. Both the proximal and distal ends are damaged, so that no precise measurements can be given. However, the element is approximately 10 cm long proximodistally, 7 cm wide and 6 cm high proximally, and 5.5 cm wide and 3.5 cm high distally. The central part of the bone is constricted to a minimal width of 4.5 cm and a height of 3 cm, so the proximal end is strongly expanded, both mediolaterally as well as dorsally. The proximal end was obviously semioval in outline, with a flattened to slightly concave ventral margin. It is subdivided into a narrower medial and a wider lateral articular surface by a low medial dorsoventral ridge, but most of the articular surfaces are lost due to erosion. Whereas the dorsomedial margin of the articular end is convex, the dorsolateral margin is convex only dorsally, but then becomes straight towards a small lateroventral expansion of the articular end. Thus, the two articular surfaces were slightly asymmetrical not only in respect to their size, but also their shape.

The shaft of the phalanx rapidly descends distoventrally from the high dorsal margin of the articular surface,

its dorsal side being strongly convex mediolaterally. The ventral side is concave mediolaterally, being bounded by a broad, and slightly rugose swelling medially and a more sharply defined, low and broad ridge laterally. The latter flexes slightly medially towards its distal end and disappears at approximately one third of the length of the phalanx from the proximal end. The distal end is gynglimoidal, with the articular condyles extending further proximally on the ventral than on the dorsal side. The ventral side of the distal articular end is also wider than the dorsal side, especially due to the medial condyle flaring medioventrally. Both condyles are separated by a well-defined groove that extends slightly obliquely from dorsolateral to medioventral and continues between the condyles on the distal end of the ventral side. An extensor groove on the dorsal side seems to be absent (but the dorsomedial part of the medial condyle is strongly damaged), and the collateral ligament pits were obviously displaced dorsally from the mid-height of the distal end.

Several features of this element indicate that it is a pedal phalanx II-2 of the left pes, including the asymmetrically subdivided proximal articular surface, lack of an extensor groove, and the presence of a ventrolateral ridge at the proximal end of the ventral surface (see Madsen 1976; Currie & Zhao 1993; Malafaia et al. 2019).

Discussion

Taxonomic identification of the Ornatenton theropod

Given that the material comes from the same locality as the type material of *Wiehenvenator albatii*, just some 28 m away from the site of the excavation of the latter, and represents the other (left) maxilla than the one preserved with the *Wiehenvenator* specimen, the question arises whether it represents this taxon and might even be derived from the same individual. However, marked differences between the type maxilla of *Wiehenvenator albatii* and the material described here indicate that this is not the case. The maxilla of *Wiehenvenator* has a tunnel-like promaxillary foramen that leads into a large promaxillary antrum within the base of the ascending

process (Rauhut et al. 2016: figs. 6-8), as it is the case in the spinosaurid *Suchomimus* (Serenó et al. 1998) and some other megalosauroids. Furthermore, as noted by Rauhut et al. (2016), the medial wall of the antorbital fossa, although damaged, seems to have been rather small in this taxon, and there is no indication of the oblique ridge seen in WMNM P80969. Although pneumatic features associated with the paranasal sinus system might be quite variable in theropods (Witmer 1997), the differences seen seem to be outside of individual variability in basal tetanuran theropods. A further difference is seen in the dentition: whereas in *Wiehenvenator*, the serrations are continuous across the tooth tip in a replacement tooth (Rauhut et al. 2016), this is not the case in WMNM P27690. Furthermore, denticle density on the teeth seems to be slightly different; whereas Rauhut et al. (2016) noted 15 denticles per 10 mm on both the mesial and distal carinae in *Wiehenvenator*, the material described here shows 12-14 on the mesial and 16 denticles per 10 mm on the distal carina. Thus, we consider it to be rather unlikely that the material described here represents the same taxon or even the same individual as the type of *Wiehenvenator albatii*.

However, despite the fragmentary nature of the remains, the preserved material allows an identification on generic level. The presence of a large maxillary fenestra, even if just developed as a depression, and of a medial pneumaticity in the base of the ascending process of the maxilla indicate that the animal represented is a tetanuran (Gauthier 1986; Rauhut 2003; Carrano et al. 2012). On the other hand, the lack of sharply defined margins of the fenestra is a character rarely seen in tetanurans, and gradually deepening rims of this opening are only known in the English Callovian afrovenatorine megalosaurid *Eustreptospondylus* (Sadleir et al. 2008) and the Late Jurassic megalosaurine *Torvosaurus* (Britt 1991; Hendrickx & Mateus 2014; Malafaia

et al. 2017a). Another conspicuous character of the maxillary fragment is the presence of an oblique ridge transversing the ventral part of the antorbital fossa and forming the ventral margin of the maxillary fenestra. Such a ridge is only present in *Torvosaurus* (Fig. 6) and represents an autapomorphy of this taxon (Britt 1991; Hendrickx & Mateus 2014). Thus, the combination of the presence of a shallow, poorly defined maxillary fossa and of the apomorphic character of the oblique ridge allows a referral of this material to the genus *Torvosaurus*.

Other characters of the material described here are consistent with this identification. One character shown by the Ornatenton material, the ventral extent of the tips of the interdental plates being considerably dorsal to the ventral extent of the lateral alveolar wall, was found to be a synapomorphy of the clade including the megalosaurines *Megalosaurus*, *Wiehenvenator* and *Torvosaurus* (Carrano et al. 2012; Rauhut et al. 2016), and thus further supports a placement of these remains among derived megalosaurines. In many megalosaurids, including *Dubreuillosaurus* (Allain 2002), *Afrovenator* (UC OBA 1; Sereno et al. 1994), *Eustreptospondylus* (OUMNH J 13558; Sadleir et al. 2008), *Duriavenator* (Benson 2008) and *Megalosaurus* (Benson 2010a), the antorbital fossa of the maxilla reaches ventrally to at least the half height of the maxillary body below the anterior end of the antorbital fenestra. In contrast, *Torvosaurus* and its closest relative, *Wiehenvenator*, have a reduced ventral extend of the maxillary antorbital fossa, which reaches one third or less of the height of the maxillary body below the anterior end of the antorbital fenestra. This is also the case in the material from the Ornatenton. Furthermore, megalosaurid theropods usually have separate interdental plates (e.g. Allain 2002; Benson 2008, 2010a; Sadleir et al. 2008), and this is also the case in *Wiehenvenator* (Rauhut et al. 2016). In contrast, the interdental plates are fused into a high medial interdental wall in *Torvosaurus* (Britt

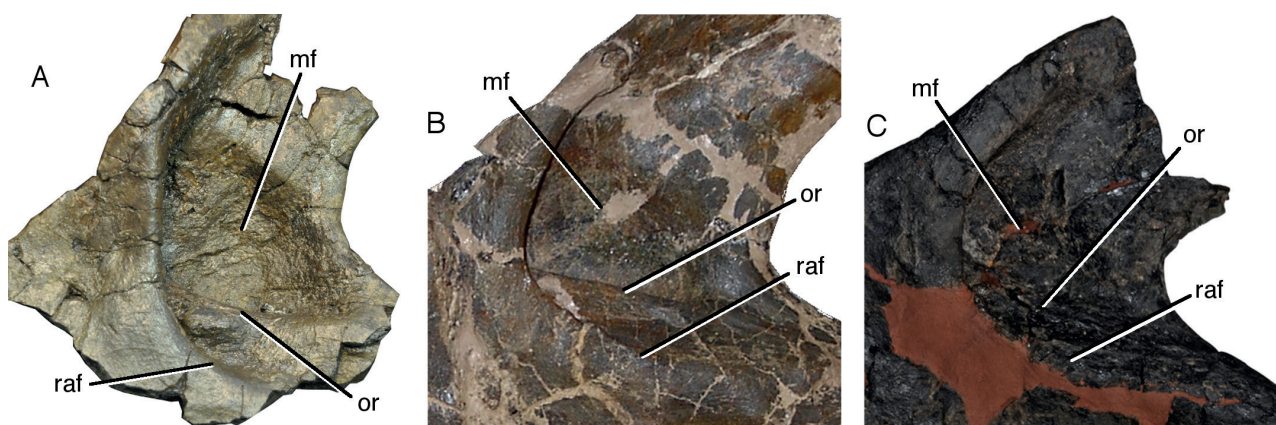


Figure 6: Comparison of the anterior end of the antorbital fossa in different specimens of *Torvosaurus*. **A**, *Torvosaurus* sp. from the Ornatenton Formation of Lutternsche Egge, North Rhine Westphalia, Germany (WMNM P80969). **B**, *Torvosaurus tanneri* from the Morrison Formation of Dry Mesa Quarry, Utah, USA (BYU VP 9122). **C**, *Torvosaurus gurneyi* from the Praia da Amoreira-Porto Novo Formation of Praia de Vermelha, Peniche, Portugal (SHN.400; right maxilla, reversed for comparison). Abbreviations: mf, maxillary fenestra; or, oblique ridge; raf, rim of antorbital fossa.

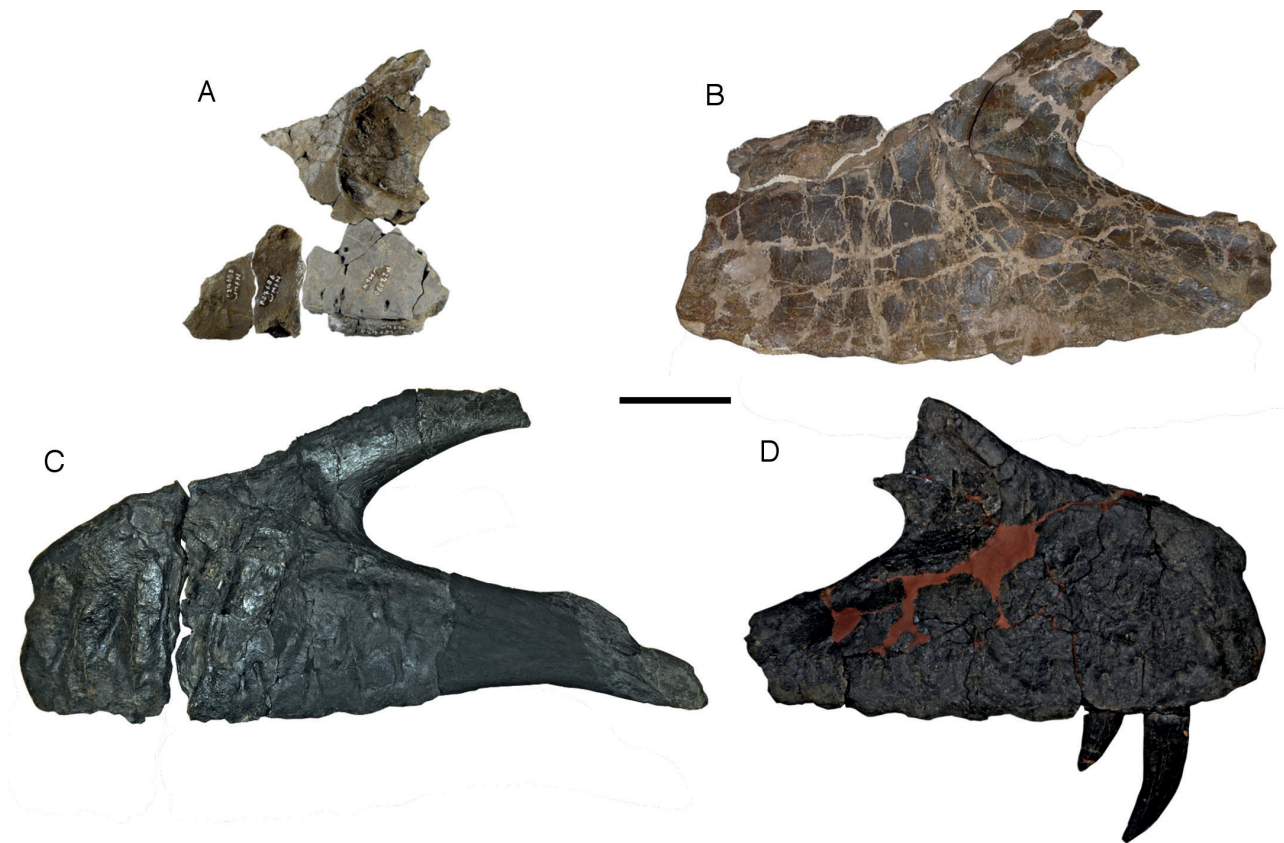


Figure 7: Comparison of maxillae of *Torvosaurus*. **A**, *Torvosaurus* sp. from the Ornatenton Formation of Lutternsche Egge, Germany. **B**, *Torvosaurus tanneri* from the Morrison Formation of Utah, USA (BYU VP 9122). **C**, *Torvosaurus gurneyi* from the Praia da Amoreira-Porto Novo Formation of Portugal, holotype left maxilla (ML 1100). **D**, *Torvosaurus gurneyi* from the Praia da Amoreira-Porto Novo Formation of Portugal, right maxilla from the same locality and probably the same individual as the holotype (SHN.400; see Malafaia et al. 2017a). Scale bar is 10 cm.

1991; Hendrickx & Mateus 2014; Malafaia et al. 2017a). Although the partial fusion of the interdental plates in the Ornatenton material might be argued to reflect the subadult and not fully mature state of the material, this seems unlikely, as fusion of the interdental plates happens very early in ontogeny in other theropods that have this feature, such as *Allosaurus* (e.g., UMNH VP 3113; see also Rauhut & Fechner 2005). The partially fused interdental plates in WMNM P27691 thus seem to represent an intermediate stage between the typical megalosaurid morphology and the derived condition in the Late Jurassic representatives of *Torvosaurus*.

Finally, the morphology of the teeth, as far as it can be compared, also agrees with the structures seen in *Torvosaurus* (Hendrickx & Mateus 2014; Hendrickx et al. 2015b, 2019; Malafaia et al. 2017a, b). As pointed out by Hendrickx et al. (2015b, 2019), megalosaurine lateral teeth have centrally placed carinae, quadrangular to rectangular denticles, and mesial denticles that are as large or even slightly larger than distal denticles, all features also shown in WMNM P27691. Furthermore, the size of the teeth, and the serration density (number of denticles per 5 mm) are within the range seen in *Torvosaurus*. Although undulations and interdenticular sulci are common in megalosaurid teeth (Hendrickx et al.

2015b, 2019), their presence is very variable, and might vary within one dentition or even between the labial and lingual side of a single tooth. Thus, the absence of these structures in the only observable tooth in the material described here is no argument against its referral to *Torvosaurus*.

Within the genus *Torvosaurus*, the temporal difference from the Late Jurassic representatives of c. 10 Ma and a few morphological differences indicate that the material described here cannot be referred to any of the two known species and thus most probably represents a different species. However, we consider the material too poor to base a new taxon on it. The only partially fused interdental plates are plesiomorphic in respect to the Late Jurassic species *T. tanneri* and *T. gurneyi*, and thus indicate that this taxon is outside a sister group relationship between the latter, which is in agreement with its stratigraphic position.

Implications for the evolution and biogeography of megalosaurine megalosaurids

The Late Jurassic species of *Torvosaurus*, *T. tanneri* from the Morrison Formation of the western USA, and *T. gurneyi* from the Praia da Amoreira-Porto Novo Formation of Portugal, are among the largest theropods

known from that time (Britt 1991; Hendrickx and Mateus 2014), and both the American and the Portuguese species seem to be of closely comparable size (Fig. 7). The *Torvosaurus* maxilla from the Ornatenton Formation of Germany seems to be comparable in size with the maxilla of the sister taxon of *Torvosaurus*, *Wiehenvenator* (Rauhut et al. 2016), and is approximately 10% smaller than the maxilla of *T. tanneri* in the only comparable measure, the height of the bone at the level of the end of the antorbital fossa (Fig. 7). Thus, these derived megalosaurines were already among the largest terrestrial predators in the late Middle Jurassic, and there seems to have been only a moderate increase in body size in the genus *Torvosaurus* in the Late Jurassic. Furthermore, it is impossible to establish the ontogenetic stage of the individual represented by the remains from the Ornatenton Formation, and it thus cannot be ruled out that this genus had already reached the giant size seen in the Tithonian representatives in the Callovian.

The megalosaurid subclade Megalosaurinae includes the genera *Duriavenator*, *Megalosaurus*, *Wiehenvenator* and *Torvosaurus* (Carrano et al. 2012; Rauhut et al. 2016), with a total of five nominal species. The phylogenetic relationships between these taxa are in complete congruence with their stratigraphic occurrence, with *Duriavenator* coming from the Late Bajocian (Benson 2008), *Megalosaurus* from the Bathonian (Benson 2010a), *Wiehenvenator* from the mid-Callovian (Rauhut et al. 2016) and the two nominal species of *Torvosaurus* from the Kimmeridgian-Tithonian (Britt 1991; Hendrickx & Mateus 2014). The discovery of a Callovian species of *Torvosaurus* not only from the same levels, but even the same locality as its direct sister genus, *Wiehenvenator*, does not only increase the already remarkable diversity of Middle Jurassic megalosaurids in Europe, but also closes the temporal gap between the two genera. Together with the occurrence of the stratigraphically older consecutive sister taxa in adjacent European regions this indicates a primarily central European evolution of megalosaurines and an origin of the genus *Torvosaurus* in this area as well. Thus, the Late Jurassic occurrences of *Torvosaurus* in the Iberian peninsula and North America might be explained by dispersal from this region in the early Late Jurassic.

Soto et al. (2020) recently identified isolated teeth from the Kimmeridgian-Tithonian of the Tendaguru Formation of Tanzania and the probable Tithonian of the Tacuarembó Formation of Uruguay as *Torvosaurus* sp. However, 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*. Even accounting for the unusual large size of these teeth, similarly large teeth are also found

in *Wiehenvenator* (Rauhut et al. 2016), ceratosaurids (Madsen & Welles 2000; Rauhut 2004) and carcharodontosaurids (e.g., Stromer 1931; Sereno et al. 1996). Furthermore, both in respect to morphometric data, as well as qualitative characters, the teeth of *Torvosaurus* are similar to carcharodontosaurid teeth (Hendrickx et al. 2015b, 2019; Soto et al. 2020), a group that has also been reported from the Tendaguru Formation (Rauhut 2011). Thus, although it is possible that the teeth described by Soto et al. (2020) represent a large megalosaurine megalosaurid, the identification as the genus *Torvosaurus* should be regarded as tentative at best. If megalosaurine megalosaurids were present in the Late Jurassic of the southern Hemisphere, Europe probably acted as a biogeographical turntable for this group in the Middle to early Late Jurassic (see Dunhill et al. 2016).

However, despite the conspicuous cluster of megalosaurine megalosaurids in the Middle Jurassic of Europe, the biogeographic conclusions presented above should be seen as tentative, due to the very poor Middle Jurassic theropod record from most other continents. With the identification of a Late Jurassic age for the Shaximiao Formation of China (Wang et al. 2018), and given the stratigraphic uncertainty of the Tiouraren Formation of Niger (Sereno et al. 1994; Rauhut & López-Arbarello, 2009), Europe is the only continent that has yielded a notable Middle Jurassic theropod fauna, with the exception of the Cañadón Asfalto Formation of Argentina (Bonaparte 1979, 1986; Rauhut 2005; Pol & Rauhut 2012; Rauhut & Pol 2019). However, the latter fauna is probably earliest Middle Jurassic in age (Cúneo et al. 2013) and might thus be too old to provide information on the evolution of megalosaurines. Therefore, the interpretations presented here need to be tested in the light of discoveries from other continents.

Acknowledgements

We thank Friedrich Albat, who found the specimen. Furthermore, we thank the geoscientific preparators of the LWL-Westfälisches Museum für Naturkunde, especially Michael Ludorf and Manfred Schlösser, who carried out the excavation and prepared the finds. We furthermore thank Brooks Britt for access to *Torvosaurus tanneri*, and Alexandra Fernandes, Elisabete Malafaia, Octávio Mateus, Simão Mateus, and B. Silva for access to various specimens of *Torvosaurus gurneyi*. Critical comments by the handling editor Rico Schellhorn and two anonymous reviewers helped to improve the manuscript.

References

Allain, R. 2001: Redescription de *Streptospondylus altdorfensis*, le dinosaure théropode de Cuvier, du Jurassique de Normandie. – *Geodiversitas* 23(3): 349-367.

- Allain, R. 2002: Discovery of megalosaur (Dinosauria, Theropoda) in the Middle Bathonian of Normandy (France) and its implications for the phylogeny of basal Tetanurae. – *Journal of Vertebrate Paleontology* 22(3): 548-563.
- Antunes, M. T. & Mateus, O. 2003: Dinosaurs of Portugal. – *Comptes Rendus Palevol* 2: 77-95.
- Benson, R. B. J. 2008: A redescription of '*Megalosaurus hesperis* (Dinosauria, Theropoda) from the Inferior Oolite (Bajocian, Middle Jurassic) of Dorset, United Kingdom. – *Zootaxa* 1931: 57-67.
- Benson, R. B. J. 2010a: A description of *Megalosaurus bucklandii* (Dinosauria: Theropoda) from the Bathonian of the UK and the relationships of Middle Jurassic theropods. – *Zoological Journal of the Linnean Society* 158: 882-935.
- Benson, R. B. J. 2010b: The osteology of *Magnosaurus nethercombensis* (Dinosauria, Theropoda) from the Bajocian (Middle Jurassic) of the United Kingdom and a re-examination of the oldest records of tetanurans. – *Journal of Systematic Palaeontology* 8(1): 131-146.
- Benson, R. B. J. & Barrett, P. M. 2009: Dinosaurs of Dorset: Part I, the carnivorous dinosaurs (Saurischia, Theropoda). – *Proceedings of the Dorset Natural History and Archaeological Society* 130: 133-147.
- Bonaparte, J. F. 1979: Dinosaurs: a Jurassic assemblage from Patagonia. – *Science* 205: 1377-1379.
- Bonaparte, J.F. 1986: Les Dinosaures (Carnosaures, Allosauridés, Sauropodes, Cétiosauridés) du Jurassique moyen de Cerro Cóndor (Chubut, Argentine). – *Annales de Paléontologie* 72: 247-289, 326-386.
- Britt, B. B. 1991: Theropods of Dry Mesa Quarry (Morrison Formation, Late Jurassic), Colorado, with emphasis on the osteology of *Torvosaurus tanneri*. – *BYU Geology Studies* 37: 1-72.
- Carrano, M. T., Benson, R. B. J. & Sampson, S. D. 2012: The phylogeny of Tetanurae (Dinosauria: Theropoda). – *Journal of Systematic Palaeontology* 10(2): 211-300.
- Cúneo, R., Ramezani, J., Scasso, R. A., Pol, D., Escapa, I. H., Zavattieri, A. M. & Bowring, S. A. 2013: High-precision U–Pb geochronology and a new chronostratigraphy for the Cañadón Asfalto Basin, Chubut, central Patagonia: Implications for terrestrial faunal and floral evolution in Jurassic. – *Gondwana Research* 24: 1267-1275.
- Currie, P. J. & Zhao, X.-J. 1993: A new carnosaur (Dinosauria, Theropoda) from the Jurassic of Xinjiang, People's Republic of China. – *Canadian Journal of Earth Sciences* 30: 2037-2081.
- Dunhill, A. M., Bestwick, J., Narey, H. & Sciberras, J. 2016: Dinosaur biogeographical structure and Mesozoic continental fragmentation: a network-based approach. – *Journal of Biogeography* 43(9): 1691-1704.
- Escaso, F., Ortega, F., Dantas, P., Malafaia, E., Pimentel, N., Pereda-Suberbiola, X., Sanz, J., Kullberg, J., Kullberg, M. & Barriga, F. 2007: New evidence of shared dinosaur across Upper Jurassic Proto-North Atlantic: *Stegosaurius* from Portugal. – *Naturwissenschaften* 94(5): 367-374.
- Fitzinger, L. 1843: *Systema Reptilium. Fasciculus Primus. Amblyglossae*. Apud Braumüller and Seidel Bibliopolas, Vienna. (In Latin)
- Foster, J. R. 2007: *Jurassic West. The dinosaurs of the Morrison Formation and their world*. Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press.
- Galton, P. M. & Jensen, J. A. 1979: A new large theropod dinosaur from the Upper Jurassic of Colorado. – *BYU Geology Studies* 26(2): 1-12.
- Gauthier, J. 1986: Saurischian monophyly and the origin of birds. – *Memoirs of the Californian Academy of Science* 8: 1-55.
- Hanson, M. & Makovicky, P. 2014: A new specimen of *Torvosaurus tanneri* originally collected by Elmer Riggs. – *Historical Biology* 26(6): 775-784.
- Hendrickx, C. & Mateus, O. 2014: *Torvosaurus gurneyi* n. sp., the largest terrestrial predator from Europe, and a proposed terminology of the maxilla anatomy in nonavian theropods. – *PLoS ONE* 9(3): e88905.
- Hendrickx, C., Mateus, O. & Araújo, R. 2015a: A proposed terminology of theropod teeth (Dinosauria, Saurischia). – *Journal of Vertebrate Paleontology* 35(5): e982797.
- Hendrickx, C., Mateus, O. & Araújo, R. 2015b: The dentition of megalosaurid theropods. – *Acta Palaeontologica Polonica* 60(3): 627-642.
- Hendrickx, C., Mateus, O., Araújo, R. & Choiniere, J. N. 2019: The distribution of dental features in non-avian theropod dinosaurs: Taxonomic potential, degree of homoplasy, and major evolutionary trends. – *Palaeontologia Electronica* 22(3): 1-110.
- Li, F., Peng, G., Ye, Y., Jiang, S. & Huang, D. 2009: [A new carnosaur from the Late Jurassic of Qianwei, Sichuan, China]. – *Acta Geologica Sinica* 83(9): 1203-1213. (in Chinese)
- Liston, J. 2010: The occurrence of the Middle Jurassic pachycormid fish *Leedsichthys*. – *Oryctos* 9: 1-36.
- Madsen, J. H. 1976: *Allosaurus fragilis*: a revised osteology. – *Utah Geological and Mineralogical Survey Bulletin* 109: 3-163.
- Madsen, J. H. J. & Welles, S. P. 2000: *Ceratosaurus* (Dinosauria, Theropoda). A revised osteology. – *Miscellaneous Publication, Utah Geological Survey* 00-2: 1-80.
- Malafaia, E., Dantas, P., Ortego, F. & Escaso, F. 2007: Nuevos restos de *Allosaurus fragilis* (Theropoda: Carnosauria) del yacimiento de Andrés (Jurásico Superior; Centro-Oeste de Portugal). In: Cambra-Moo, O., Martínez-Pérez, C., Chamero, B., Escaso, F., de Esteban Trivigno, S. & Marugán-Lobón, J. (eds), *Cantera Paleontológica*, 255-271. Cuenca: Diputación Provincial de Cuenca.
- Malafaia, E., Escaso, F., Mocho, P., Serrano-Martinez, A., Torices, A., Cachao, M. & Ortega, F. 2017b: Analysis of diversity, stratigraphic and geographical distribution of isolated theropod teeth from the Upper Jurassic of the Lusitanian Basin, Portugal. – *Journal of Iberian Geology* 43(2): 257-291.
- Malafaia, E., Mocho, P., Escaso, F., Dantas, P. & Ortega, F. 2019: Carcharodontosaurian remains (Dinosauria, Theropoda) from the Upper Jurassic of Portugal. – *Journal of Paleontology* 93(1): 157-172.
- Malafaia, E., Mocho, P., Escaso, F. & Ortega, F. 2017a: New data on the anatomy of *Torvosaurus* and other remains of megalosauroid (Dinosauria, Theropoda) from the Upper Jurassic of Portugal. – *Journal of Iberian Geology* 43(1): 33-59.
- Malafaia, E., Ortega, F., Escaso, F. & Silva, B. 2015: New evidence of *Ceratosaurus* (Dinosauria: Theropoda) from the Late Jurassic of the Lusitanian Basin, Portugal. – *Historical Biology* 27(7): 938-946.
- Malafaia, E., Ortega, F., Silva, B. & Escaso, F. 2008: Fragmento de un maxilar de terópodo de Praia da Corva (Jurásico Superior. Torres Vedras, Portugal). – *Palaeontologica Nova* 8: 273-279.

- Marsh, O.C. 1881: Principal characters of American Jurassic dinosaurs. – Part V. American Journal of Science (Series 3) 21: 417-423.
- Mateus, O. 2006: Late Jurassic dinosaurs from the Morrison Formation (USA), the Lourinha and Alcobaca Formations (Portugal), and the Tendaguru Beds (Tanzania): A comparison. – New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 36: 1-9.
- Mateus, O., Walen, A. & Antunes, M. T. 2006: The large theropod fauna of the Lourinha Formation (Portugal) and its similarity to that of the Morrison Formation, with a description of new species of *Allosaurus*. – New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 36: 123-129.
- Michelis, I., Sander, P. M., Metzendorf, R. & Breitzkreuz, H. 1996: Die Vertebratenfauna des Calloviums (Mittlerer Jura) aus dem Steinbruch Störmer (Wallücke, Wiehengebirge). – Geologie und Paläontologie in Westfalen 44: 5-66.
- Mönning, E. 1993: Die Ornatenton-Formation in NW Deutschland. – Newsletter in Stratigraphy 28(2/3): 131-150.
- Owen, R. 1842: Report on British fossil reptiles, part II. – Reports of the British Association for the Advancement of Science, 11: 60-204.
- Pérez-Moreno, B. P., Chure, D. J., Pires, C., Marques da Silva, C., Dos Santos, V., Dantas, P., Póvoas, L., Cachão, M., Sanz, J. L. & Galopim de Carvalho, A. M. 1999: On the presence of *Allosaurus fragilis* (Theropoda: Carnosauria) in the Upper Jurassic of Portugal: first evidence of an intercontinental dinosaur species. – Journal of the Geological Society 156: 449-452.
- Pol, D. & Rauhut, O. W. M. 2012: A Middle Jurassic abelisaurid from Patagonia and the early diversification of theropod dinosaurs. – Proceedings of the Royal Society London B 279(1741): 3170-3175.
- Rauhut, O. W. M. 2003: The interrelationships and evolution of basal theropod dinosaurs. – Special Papers in Palaeontology 69: 1-213.
- Rauhut, O. W. M. 2004: Provenance and anatomy of *Genyodectes serus*, a large-toothed ceratosaur (Dinosauria: Theropoda) from Patagonia. – Journal of Vertebrate Paleontology 24(4): 894-902.
- Rauhut, O. W. M. 2005: Osteology and relationships of a new theropod dinosaur from the Middle Jurassic of Patagonia. – Palaeontology 48(1): 87-110.
- 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. & Fechner, R. 2005: Early development of the facial region in a non-avian theropod dinosaur. – Proceedings of the Royal Society London B 272: 1179-1183.
- Rauhut, O. W. M., Foth, C., Tischlinger, H. & Norell, M. A. 2012: Exceptionally preserved juvenile megalosauroid theropod dinosaur with filamentous integument from the Late Jurassic of Germany. – Proceedings of the National Academy of Sciences 109(29): 11746-11751.
- Rauhut, O. W. M., Hübner, T. R. & Lanser, K.-P. 2016: A new megalosaurid theropod dinosaur from the late Middle Jurassic (Callovian) of north-western Germany: implications for theropod evolution and faunal turnover in the Jurassic. – Palaeontologia Electronica 19(2.26A): 1-65.
- Rauhut, O. W. M. & López-Arbarello, A. 2008: Archosaur evolution during the Jurassic: a southern perspective. – Revista de la Asociación Geológica Argentina 63(4): 557-585.
- Rauhut, O. W. M. & López-Arbarello, A. 2009: Considerations on the age of the Tiouaren Formation (Iullemeden Basin, Niger, Africa): Implications for Gondwanan Mesozoic terrestrial vertebrate faunas. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 271: 259-267.
- Rauhut, O. W. M., Piñuela, L., Castanera, D., García-Ramos, J.-C. & Sánchez Cela, I. 2018: The largest European theropod dinosaurs: Remains of a gigantic megalosaurid and giant theropod tracks from the Kimmeridgian of Asturias, Spain. – PeerJ 6: e4963.
- Rauhut, O. W. M. & Pol, D. 2019: Probable basal allosauroid from the early Middle Jurassic Cañadón Asfalto Formation of Argentina highlights phylogenetic uncertainty in tetanuran theropod dinosaurs. – Scientific Reports 9: 18826.
- Rieggraf, W. v. 1994: Der Ornatenton in Deutschland und seine Äquivalente. In: Martill, D.M. & Hudson, J. D. (eds), Fossilien aus Ornatenton und Oxford Clay, 7-72. Korb: Goldschneck-Verlag.
- Sadleir, R., Barrett, P. M. & Powell, H. P. 2008: The anatomy and systematics of *Eustreptospondylus oxoniensis*, a theropod dinosaur from the Middle Jurassic of Oxfordshire, England. – Monograph of the Palaeontographical Society 160: 1-82.
- Sereno P. C., Beck A. L., Dutheil D. B., Gado B., Larsson H. C. E., Lyon G. H., Marcot J. D., Rauhut O. W. M., Sadleir R. W., Sidor C. A., Varricchio D. J., Wilson G. P. & Wilson J. A. 1998: A long-snouted predatory dinosaur from Africa and the evolution of the spinosaurids. – Science 282: 1298-1302.
- Sereno, P. C., Dutheil, D. B., Iarochene, M., Larsson, H. C. E., Lyon, G. H., Magwene, P. M., Sidor, C. A., Varricchio, D. J. & Wilson, J. A. 1996: Predatory dinosaurs from the Sahara and Late Cretaceous faunal differentiation. – Science 272: 986-991.
- Sereno, P. C., Wilson, J. A., Larsson, H. C. E., Dutheil, D. B. & Sues, H.-D. 1994: Early Cretaceous dinosaurs from the Sahara. – Science 266: 267-271.
- Soto, M., Toriño, P. & Perea, D. 2020: A large sized megalosaurid (Theropoda, Tetanurae) from the Late Jurassic of Uruguay and Tanzania. – Journal of South American Earth Sciences 98: 102458.
- Stromer, E. 1931: Ergebnisse der Forschungsreisen Prof. E. Stromers in den Wüsten Ägyptens. II. Wirbeltierreste der Baharije-Stufe (unterstes Cenoman). 10. Ein Skelett-Rest von *Carcharodontosaurus* nov. gen. – Abhandlungen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung, Neue Folge 9: 1-23.
- Wang, J., Ye, Y., Pei, R., Tian, Y., Feng, C., Zheng, D. & Chang, S.-C. 2018: Age of Jurassic basal sauropods in Sichuan, China: A reappraisal of basal sauropod evolution. – GSA Bulletin 130(9-10): 1493-1500.
- Waskow, K., Grzegorzczak, D. & Sander, P. M. 2018: The first record of *Tyrannoneustes* (Thalattosuchia: Metriorhynchidae): a complete skull from the Callovian (late Middle Jurassic) of Germany. – PalZ 92: 457-480.
- Witmer, L.M., 1997: The evolution of the antorbital cavity of archosaurs: a study in soft-tissue reconstruction in the fossil record with an analysis of the function of pneumaticity. – Society of Vertebrate Paleontology, Memoir 3: 1-73.

Zwei neue paläontologische Bodendenkmale aus der Unterkreide von Oerlinghausen (Kreis Lippe)

Einleitung

Anfang des Jahres 2019 führte eine größere Baumaßnahme am Tönsberg in Oerlinghausen zum großflächigen Aufschluss des oberen Teils der Osning-Formation. Der Abriss der ehemaligen Jugendherberge Oerlinghausen und Ausschachtungsarbeiten für den Bau einer Wohnanlage mit Tiefgarage legten über 40 Profilmeter – vom Oberbarremium bis in das obere Aptium – frei (Abb. 1). Dieser Aufschluss war in vielerlei Hinsicht interessant:

- Frische Aufschlüsse sind im Osning-Sandstein generell sehr selten, da der Abbau seit Jahrzehnten stillgelegt ist und die Ausstrichflächen des Sandsteins meist Schutzstatus genießen.
- Aufgeschlossen war der obere Bereich des Osning-Sandsteins nahe des Übergangs zum hangenden Osning-Grünsand; die meisten historischen Steinbrüche entlang des Teutoburger Waldes liegen stratigraphisch tiefer.
- Der Aufschluss bot gute Gelegenheiten für strukturgeologische Aufnahmen und zur Fossil suche.

Zwischen Mitte April und Ende Mai 2019 konnte die Baugrube dank geduldiger Kooperation der Bauherren

(Roland und Jutta Murschall) und der Abbruchfirma (Wimmelbücker Abbruch GmbH) mehrmals begangen werden. Dabei wurden zahlreiche Fossilien geborgen (archiviert im Naturkunde-Museum Bielefeld, Inventarnummern ES/kru-11410 bis ES/kru-11438).

Zwei herausragende Stücke wurden allerdings durch die Paläontologische Bodendenkmalpflege des LWL geborgen: eine große Platte mit eingeregeltten Belemnitenhöhlräumen und ein Block mit mehreren Exemplaren von *Camptonectes (Maclearnia) cf. cinctus* sowie weiteren Fossilien (Belemniten und Pflanzenreste).

Beschreibung der Funde, Fundsituation und Bedeutung Belemnitenplatte (Inv.Nr WMNM P 78621)

An einer freigelegten, leicht überkippten Schichtfläche im nordwestlichen Teil der Baugrube zeigten sich zahlreiche Belemnitenhöhlräume, von denen insgesamt 17 vor der Bergung *in situ* als lineare Elemente eingemessen und mit der Orientierung der Schichtfläche in Beziehung gesetzt werden konnten. Nach Rückrotation der Daten auf eine ursprünglich horizontal gelagerte Schichtfläche zeigte sich eine deutliche Vorzugsorientierung der Belemniten, die mit großer Wahrscheinlichkeit auf Einregelung durch Strömung zurückzuführen ist. Dieses Objekt ist in seiner Art ein Erstfund in der Osning-Formation



Abb. 1: **A** Panoramafoto der Baugrube, Blick nach NE. Die starke Rotfärbung im rechten Bereich ist auf eine Zone intensiver Eisenoxid/-hydroxid-Imprägnation zurückzuführen, die den hangenden Teil der Abfolge durchzieht. **B** Blick von oben in den nordwestlichen Teil des Aufschlusses. Aus diesem stratigraphisch tieferen Bereich wurden die meisten der Fossilien geborgen. (Fotos: Christian Höcker, Bielefeld).



Abb. 2: **A** Ausschnittfoto der Belemnitenplatte. Blick nach NE auf die leicht überkippte Schichtoberseite. **B** Anordnung der in Abb. 2a vorhandenen Belemnitenhöhlräume. Weitere eingeregelt Belemniten (außerhalb des Bildausschnitts) wurden *in situ* eingemessen. **C** Die Bergung der Belemnitenplatte gelang nur als „Puzzle“. Die Fragmente wurden später in Münster wieder zusammengesetzt. (Fotos: Keiter & Kaplan).

und stellt einen der wenigen direkten Nachweise küstenparalleler Strömungen dar.

Die Bergung fand am 29. April 2019 durch die beiden Präparatoren Michael Ludorf und Manfred Schlösser des LWL-Museum für Naturkunde statt (Abb. 2).

Camptonectes-Block (Inv.Nr. WMNM P 78620)

Größere zusammenhängende Faunenassoziationen sind in der Osning-Formation selten, was diesen Fund besonders macht – auch wenn er nicht *in situ* aufgefunden, sondern in frisch herausgebrochenem Material entdeckt wurde.

Mit Hilfe des Baggers der Firma Wimmelbücker GmbH konnte der Block zur Seite gelegt und wenige Tage

später durch den LWL abgeholt werden. Eine sanfte Nachpräparation in Münster brachte die Fossilansammlung noch einmal deutlicher hervor (Abb. 3). Der *Camptonectes*-Block ist damit eine der größten bekannten Fossilstufen, bzw. Taphozönos, aus dieser Formation – und ein beeindruckendes Schaustück.

Abschließende Bemerkungen

Funde wie die hier beschriebenen Objekte sind Seltenheiten. Die Aufschlusslage in der Osning-Formation macht jeden Neufund zu etwas Besonderem. Insofern war es erfreulich, dass im Falle des Aufschlusses Tönsberg alle Beteiligten hervorragend kooperiert und den Autoren reichlich Gelegenheit zur Fossilsuche und geo-

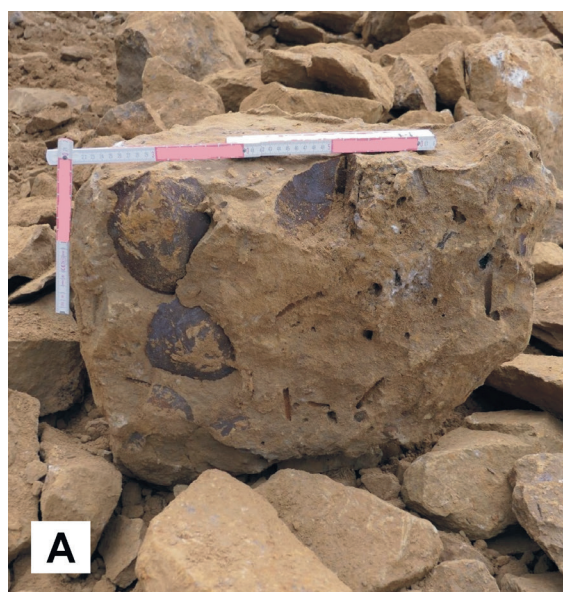


Abb. 3: **A** Der *Camptonectes*-Block kurz nachdem er aus der Wand gebrochen wurde. Das Gegenstück wurde leider nicht aufgefunden. **B** Der Block nach der Präparation. Maßstab: 10 cm. (Fotos: Kaplan).

logischen Bearbeitung der Baugrube gegeben haben. Die Ergebnisse sind im Detail durch Kaplan et al. (2020) dargestellt.

Viele Gelegenheiten, den geologischen Untergrund zu untersuchen, verstreichen, weil Geologen keine Kenntnis von laufenden Bauarbeiten haben. Daher sei an dieser Stelle an alle Bürger (und Bauherren) appelliert, geplante Ausschachtungsarbeiten oder vorhandene Baugruben an die entsprechenden Stellen zu kommunizieren.

Baustellen-Funde in der *Parkinsoni*-Zone (Bajocium, Mitteljura) von Bielefeld-Bethel

„Bethel“ ist für Paläontologen und Fossilien Sammler ein klingender Name, der unwillkürlich den Gedanken an doppelklappige Trigonien aus dem Mittleren Jura aufkommen lässt, wie sie im Zeitraum von zirka 150 bis noch vor etwa 50 Jahren zu Hunderten in vorzüglicher Erhaltung in den Bethelschen Tongruben gefunden wurden (z. B. Althoff 1914). Fossilien aus Bethel befinden sich in vielen öffentlichen und privaten Sammlungen, darunter längst nicht nur Trigonien. Da die Bethelschen Tongruben verfüllt und überbaut sind, beschränken sich die Möglichkeiten in Bethel heutzutage Fossilien zu finden auf Baumaßnahmen. Im Jahr 2019 bemerkten die Autoren zufällig eine Baustelle, die Belegmaterial aus Schichten des Bajocium (Mittlerer Jura) lieferte. Diese konnte mit Erlaubnis der v. Bodelschwingschen Stiftungen und in Abstimmung mit den vor Ort tätigen Baufirmen begangen werden. Das hierbei geborgene Fossilienpektrum wird, da Mitteljura-Aufschlüsse in Westfalen heutzutage rar sind und es sich bei Bethel um eine „klassische Fundstelle“ handelt, in diesem Bericht zusammenfassend vorgestellt.

Mitteljura in Bethel

Bethel ist ein Ortsteil des Bielefelder Stadtteils Gadderbaum und Hauptsitz der v. Bodelschwingschen Stiftungen Bethel. Im Bereich des Längstales des Teutoburger Waldes, in dem Gadderbaum liegt, gibt es einen rund 2.500 m langen und etwa 200-400 m breiten Mitteljura-Ausstrich, der jedoch im Bereich seiner westlichsten Erstreckung lokal durch eiszeitliche Ablagerungen überdeckt ist.

Baumaßnahme

Im Jahr 2019 gab es in Bethel eine Baustelle am Quellenhofweg auf Höhe der Deckertstraße (52°00'21.6"N 8°31'20.9"E; Abb. 1A). Auf dem Gelände der ehemaligen

Veröffentlichung

Kaplan, U., Keiter, M. & Höcker, C. (2020): Stratigraphie, Paläontologie und Tektonik eines temporären Aufschlusses der Unterkreide in Oerlinghausen (Teutoburger Wald, NW-Deutschland). – Berichte des Naturwissenschaftlichen Vereins Bielefeld 57, 4-28.

Mark Keiter, Naturkunde-Museum Bielefeld

Ulrich Kaplan, Gütersloh

Wäscherei Bethel wurde 2019 und 2020 der Neubau der Sekundarschule Bethel errichtet. Diese ist zwischenzeitlich zu Beginn des Schuljahres 2020/2021 eröffnet worden. Die Bauarbeiten begannen im Juli 2019. Die zu Fossilfunden führenden Erdbauarbeiten fanden im Herbst 2019 statt. Eine erste Sondierung mit freundlicher Erlaubnis des ausführenden Bauunternehmens zeigte, dass die aufgeschlossenen Sedimente fossilführend sind. Die v. Bodelschwingschen Stiftungen erteilten daraufhin im November des Jahres den Autoren die Erlaubnis zum gezielten Nachsuchen. Aufgrund des bereits fortgeschrittenen Baustadiums konnten keine Grabungen durchgeführt werden, das geborgene Belegmaterial ermöglicht jedoch eine ungefähre stratigrafische Einordnung des Aufchlusses. Die Aufsammlung beschränkte sich auf Lesefunde sowie das gezielte Herauspicken von maschinell oder durch Regen freigelegten Fossilien und Konkretionen.

Das Grundstück auf dem die Schule errichtet wurde, hat eine Grundfläche von ca. 6.000 m². Die Ausschachtungsarbeiten reichten nur in der Nordhälfte des Geländes tief genug, dass dort der anstehende Tonstein mit bergungswürdigen Fossilien zum Vorschein kommen konnte. In der Südhälfte flachte das Gelände zu sehr ab und es fand kein nennenswerter Tiefbau statt. In den Fundamentgräben im nordwestlichen Bereich des Geländes und in einer tiefen Baugrube im nordöstlichen Teil wurde der anstehende Ton in unverwittertem Zustand angetroffen - er zeigte sich dunkelgrau bis schwarz. In durch oberflächennahe Lagerung angewittertem Zustand war der Ton hingegen durch Oxidation braun gefärbt. In Übergangsbereichen von verwittertem zu unverwittertem Gestein zeigten nur die Oberflächen der Tonsteine bräunliche Anlauffarben, während das Gestein im Kern noch unverwittert war. Der Ton war in weiten Bereichen sehr reich an Kalkkonkretionen, die meist mineralisch ausgeheilte Schrumpfungsrisse zeigten.

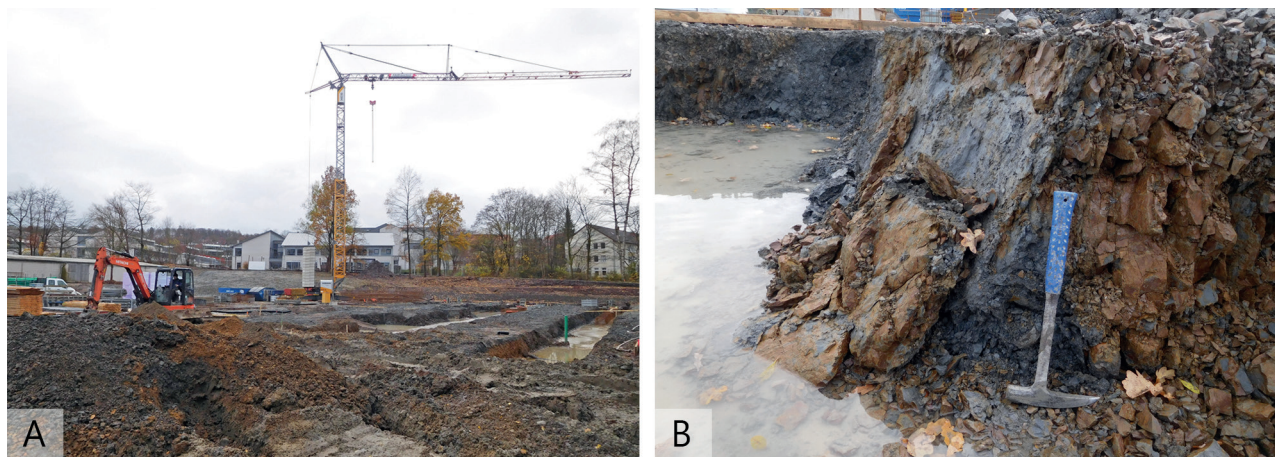


Abb. 1: **A** Baustelle der Sekundarschule Bethel am 29. November 2019. In den Fundamentgräben in der rechten Bildhälfte konnte eine Fauna der Parkinsoni-Zone gesammelt werden. **B** Nahezu senkrecht stehende Schichten der Parkinsoni-Zone.

Im nordwestlichen Teil der Baugrube war in den tiefen Fundamentgräben gut zu erkennen, dass die Schichten annähernd senkrecht stehen, was auf die tektonische Bildung des Teutoburger Waldes zurückzuführen ist (Abb. 1B). Bedingt durch die Auffaltung der Schichten waren trotz der geringen Größe des Aufschlusses durchaus einige Profilmeter des Bajocium aufgeschlossen. Eindrucksvolle Zeugnisse der Beanspruchung der Sedimente während der Gebirgsentstehung ließen sich in Form der Fragmente großer Belemniten bergen. Diese waren z. T. deutlich verformt. In diesem Zuge entstandene Bruchnähte sind nachträglich kalzitisch verheilt (Abb. 3C₃).

Fossilführung

Die aufgeschlossenen Schichten waren überwiegend fossilreich (Abb. 2). Vertreter von *Megateuthis*, der größten Belemnitengattung der Erdgeschichte, traten in mehreren Schichten auf (Abb. 2C). Größere Rostren waren, da es sich um Lesefunde handelte, ausnahmslos bruchstückhaft vorzufinden. Ammoniten kamen lose im Tonstein und in Konkretionen steckend vor. Die ohne schützende Konkretionen im Tonstein liegenden Stücke waren entweder diagenetisch komprimiert oder es sind lediglich die mit Sediment gefüllten Wohnkammern körperlich erhalten geblieben. Die Ammoniten in den Konkretionen zeigen zahlreiche breite, kalzitverheilte Schrumpfungsrisse. Aus diesem Grund waren nur wenige Exemplare mit gutem Ergebnis präparierbar (Abb 3A₂).

Muscheln traten als Einzelstücke im gesamten Profil auf. Eine Lage mit gut erhaltenen Trigonien war leider nicht aufgeschlossen, immerhin aber konnte eine fast vollständige doppelklappige *Myophorella* geborgen werden (Abb. 3E). Diese Gattung zählt wie *Trigonia* zur Familie Trigoniidae.

Nahe dem Westrand der Baugrube wurde ein markanter Kondensationshorizont beobachtet, der auffällig viele Fossilien führte. Es handelte sich vor allem um Schalensplitter und sonstige Fossilbruchstücke, was hinsichtlich der Entstehung des Horizonts auf ein hochenergetisches Ereignis hindeutet. Zur Fauna dieses auffälligsten Horizonts des gesamten Profils zählen neben *Megateuthis* auch kleine Belemniten der Gattung *Belemnopsis*, Muscheln (Fragmente von *Trigonia*, *Myophorella* und Exemplare von *Nicaniella*) und *Parkinsonia*-Fragmente (Abb. 3D, F, H).

Stratigrafische Einordnung

Anhand der Ammoniten ist eine relativ genaue stratigrafische Einordnung des Profils möglich (Abb. 2). Der größte Teil der geborgenen Ammoniten entfällt auf die Gattung *Parkinsonia*. Es handelt sich überwiegend um kräftig berippte, weitnabelige *Parkinsonia*-Formen, die stratigrafisch in die Acris-Subzone der Parkinsoni-Zone zu stellen sind. Wetzel (1911) beschrieb diesen Bereich als „Untere Parkinsonien-Schichten“. Typisch für diese Schichten ist neben dem Auftreten von *Parkinsonia*

	Zone	Subzone
Oberes Bajocium	Parkinsoni	Bomfordi
		Truellei
		Acris
	Garantiana	Tetragona
		Garantiana
		Dichotoma
	Niortense	Baculata
		Polygyralis
		Banksii

Abb. 2: Stratigrafische Einordnung des aufgeschlossenen Gesteins (vereinfacht nach Dietze et al. 2011)



subarietis, zu der die abgebildeten Exemplare von *Parkinsonia* gestellt werden, auch das vereinzelte Vorkommen von späten Vertretern der Gattung *Garantiana*. Ein entsprechender Beleg ist mit einem Fragment gegeben, welches zu *Garantiana tetragona* gehört (Abb. 3B).

Im östlichen Teil des Geländes konnten in den ältesten aufgeschlossenen Schichten mehrere dreidimensional erhaltene Wohnkammern sehr breitmündiger Vertreter der Gattung *Orthogarantiana* als Lesefunde geborgen werden (Abb. 4). Hierbei handelt es sich höchstwahrscheinlich um Vertreter der Art *O. schroederi* (vgl. Schlegelmilch 1985). Diese Funde belegen das Vorhandensein eines Abschnitts der der Polygyralis-Subzone der Niortense-Zone im östlichen Teil der Baustelle.

Zusammenfassend kann zur Stratigrafie festgehalten werden, dass es gelungen ist, die Acris-Subzone in der Baugrube sicher zu belegen. Ferner reichte der Aufschluss an der Basis des Profils bis in die Polygyralis-Subzone. Von Störungen und Schichtlücken im Profil ist auszugehen, da zwischen Polygyralis-Subzone und Acris-Subzone vier Subzonen fehlen. Dadurch, dass das Profil nicht durchgängig studiert werden konnte, der Einblick in den Aufschluss zeitlich eng begrenzt war und nicht im Anstehenden nachgegraben werden konnte, sind keine weiteren Aussagen möglich.

Danksagung

Für die Begehungs- und Sammlerlaubnis auf der Baustelle möchten wir Katharina Primas und Benedikt Pankoke vom Immobilienmanagement der v. Bodelschwingschen Stiftungen herzlich danken. Das freundliche Entgegenkommen der v. Bodelschwingschen Stiftungen auf Vermittlung des LWL-Museums für Naturkunde Münster ermöglichte die Untersuchung des interessanten Aufschlusses und die anschließenden Publikationen darüber (Simonsen 2020). Christian Pott (LWL-Museum für Naturkunde Münster) vermittelte freundlicherweise den Kontakt. Volker Dietze (Nördlingen) gab uns wertvolle Hinweise zur Bestimmung der Ammoniten und zu deren stratigrafischer Signifikanz bei der Einordnung des Profils.



Abb. 4: Wohnkammerbruchstück von *Orthogarantiana* aff. *schroederi* aus dem östlichen Bereich der Baugrube, der somit in der Polygyralis-Subzone (Niortense-Zone) zu verorten ist. Maßstab: 1 cm.

Literaturverzeichnis

- Althoff, W. (1914): Die geologischen Aufschlüsse Bielefelds. - Berichte des Naturwissenschaftlichen Vereins Bielefeld: 193-225.
- Dietze, V., Schweigert, G. & Dietl, G. (2011): Chrono-/Biostratigraphie im Mitteljura von SW-Deutschland. 1. Teil: Bajocium. - Jahreshefte der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg, 167: 49-71.
- Schlegelmilch, R. (1985): Die Ammoniten des süddeutschen Doggers, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- Simonsen, S. (2020): Seltener Einblick in eine historische Lokalität: Fundstücke aus einem Baustellenaufschluss im Bajocium (Mitteljura) von Bielefeld-Bethel. - Der Steinkern, 41: 34-45.
- Wetzel, W. (1911): Faunistische und stratigraphische Untersuchung der Parkinsonienschichten des Teutoburger Waldes bei Bielefeld. - Palaeontographica, 58: 139-277.

Sönke Simonsen, Hermann Simonsen, Anneliese Simonsen-König, Bielefeld

Abb. 3: (gegenüberliegende Seite) Fossilfunde aus der Acris-Subzone/Parkinsoni-Zone. **A**₁ *Parkinsonia* in Konkretion nach dem Abwaschen in einer Pfütze am Fundort. **A**₂ *Parkinsonia subarietis*. **B** *Garantiana* cf. *tetragona*. **C** *Megateuthis suevica*, **C**₁ Phragmokon, **C**₂ Rostrum, **C**₃ Tektonisch stark beanspruchtes *Megateuthis*-Fragment mit kalzitisch verheilten Rissen. **D** *Belemnopsis* sp. **E** *Myophorella* sp. **F** *Trigonia* sp. **G** *Gresslya* sp. **H** *Nicaniella* sp. Maßstab: 1 cm.

Eine Unterkreideflora aus Tecklenburg-Brochterbeck

In einem aufgelassenen Steinbruch nördlich von Tecklenburg-Brochterbeck, der »Klöpper's Kuhle«, wurde schon vor mehr als 160 Jahren ein dünnes Kohleflöz festgestellt, eingefasst von sehr feinkörnigen Sandsteinen der Oesede-Formation (Roemer 1857). Der unter Denkmalschutz stehende Steinbruch am Nordrand des Teutoburger Waldes stellt einen der westlichsten Aufschlüsse des deutschen Wealden dar. Allerdings wurden erst gegen Ende des 20. Jahrhunderts die im Flöznebergestein enthaltenen Pflanzenfossilien entdeckt (Wilde & Schultka 1996). Die ausführliche systematische wissenschaftliche Bearbeitung der Makrofossilien erfolgte schließlich im vergangenen Jahr (Pott 2019).

Der Wealden bezeichnet in der regionalen Geologie Westeuropas im Süß- und Brackwasser abgelagerte Sedimente oder die daraus hervorgegangenen Sedimentgesteine der untersten Kreide (Berriasium–Valanginium); er ist auf Südostengland, Nordfrankreich, Belgien und Nordwestdeutschland beschränkt. Der Begriff leitet sich von Sedimentgesteinen (Weald Clay) ab, die diesen Namen wegen ihrer Ausdehnung in den Wäldern (wealds) der südenglischen Grafschaften Sussex und Kent erhielten (Dunker 1843).

In Nordwestdeutschland besteht der Wealden im Liegenden aus Sandsteinen, im Hangenden aus Tonen, in dem Schiefertone und Steinkohlenflöze auftreten. Regional bedeutende Vorkommen der in der unteren Kreide entstandenen Wealdenkohle finden sich im Osna-brücker Umland (Wesergebirge) sowie südwestlich von Hannover (Deister, Bückeberg). Nicht nur im Flöznebergestein sind oft sehr gute Pflanzenfossilien erhalten, die eine überwiegend aus Farnen und Verwandten der Palmfarne (Nilssoniales, Bennettitales) sowie subtropisch anmutenden Koniferen und Ginkgobäumen bestehende Flora abbilden, die hier vor etwa 140 Millionen Jahren gedieh (Pott et al. 2014).

Die in Brochterbeck geborgene Flora ist relativ artenarm mit nur wenigen filigranen Farnen und sumpfyypressenartigen Koniferen; sie wird dominiert von *Nilssonia schauburgensis*, deren Blätter und Fragmente auf fast jedem Handstück zu finden sind. Schachtelhalme (*Equisetites burchardii*) sind vergleichsweise selten, wie auch die Echten Farne (Polypodiopsida), die mit je einer Art der Tüpfelfarnartigen (Polypodiales: *Cladophraxis albertsii*) und der Schizaeales (»Spaltfarne«: *Ruffordia* sp.) nachgewiesen werden konnten. Alle Arten sind nur durch kleine Fragmente belegt.

Die etwa 9 cm langen Blätter von *Nilssonia schauburgensis* (Nilssoniales) bilden seitlich an einer robusten Rhachis (Mittelrippe) quadratische bis rechteckige Blatt-



Oben: mehrere Blätter von *Nilssonia schauburgensis* (Nilssoniales, Nilssoniaceae; WMNM P19442). **Unten links:** verzweigtes Astfragment von *Brachyphyllum* sp. mit kleinen schuppenförmigen Blättern (Pinales, Cheirolepidiaceae; WWU PBo-BRO-2019-53). **Unten rechts:** verzweigtes Astfragment von *Sphenolepis sternbergiana* mit kleinen sichelförmigen Nadelblättern (Pinales, Cupressaceae; WWU PBo-BRO-2019-08). Maßstäbe: 5 mm (Fotos: LWL-Museum für Naturkunde/C. Pott).

segmente oder Fiedern aus, die von zahlreichen parallelen Nerven durchzogen sind. Die Segmente zeigen eine hohe Variabilität, ähnlich den Blättern von *Ginkgo*. Die Nilssoniales sind eine ausgestorbene Pflanzengruppe, die bisher zu den Palmfarnen (Cycadales) gestellt wurde. Die Kurztrieb-/Langtrieb-Wuchsform und die Blattvariabilität deuten jedoch auf eine nähere Verwandtschaft mit den Ginkgogewächsen hin; vermutlich stellen sie eine eigenständige, mit letzteren nahe verwandte Pflanzenordnung dar (Pott et al. 2012). *Nilssonia schauburgensis* wird als locker buschartig verzweigte, mitunter kletternde Pflanze rekonstruiert, deren Blätter in Büscheln (Wirteln) an Kurztrieben standen, die in regelmäßigen Abständen an den Hauptästen gebildet wurden (Watson und Cusack, 2005).

Ein junges Blatt von *Ginkgoites pluripartitus* belegt das Vorkommen dieses in der Unterkreide weit verbreiteten Ginkgobaums. *Sphenolepis sternbergiana* ist eine Sumpfyypresse mit charakteristischen, sichelartig gekrümmten Nadelblättchen, die durch einige Zweigfragmente nachgewiesen werden konnte, von denen eines terminal zwei kleine Zapfen trägt; weitere isolierte Zapfen sind mit diesen identisch. Weitere Koniferen sind durch einige filigrane Zweigfragmente mit enganliegenden, schuppenartigen Blättern der Gattung *Brachyphyllum* (Chei-

rolepidiaceae) belegt; eine Artbestimmung ist wegen der hohen Variabilität dieser Gruppe und der wenigen, fragmentarischen Fossilien nicht möglich.

Die Kohleflöze in Brochterbeck und Umgebung zeigen an, dass die Umweltbedingungen über einen längeren Zeitraum stabil waren. So konnten sich große Mengen an Pflanzenmaterial ablagern. Der – in Brochterbeck nicht nachgewiesene – Nadelbaum *Abietites* gilt als Hauptproduzent der Wealdenkohle (Schenk 1871); vergesellschaftet waren die Bäume der Wealden-Vegetation mit Moosen, Farnen und mehreren Sumpfpfropfenarten sowie Bennettiten, Palmfarnen und Ginkgobäumen (Pott et al. 2014).

Die während des Wealden vorherrschende Vegetation im östlichen Teil des niedersächsischen Beckens wird aufgrund ihrer Zusammensetzung als Bruchwald rekonstruiert (örtlich überstaute, langfristig geflutete, sumpfige Wälder), die die Mündungen der Flüsse prägte, die das rheinisch-böhmische Massiv nach Norden und Nordwesten entwässerten. Die Pflanzen waren an durch wiederkehrende natürliche Störungen oder Stress geprägte Habitate angepasst. An den seitlichen Ausläufern der Flussmündungen oder Deltas – wie in Brochterbeck – ging die Vegetation wohl in nur gelegentlich überflutete Auenwälder mit ephemeren Teichen, träge dahinfließenden Mäandern und Totarmen über. Daher unterscheidet sie sich in ihrer Zusammensetzung deutlich von der üblicherweise in deutschen Wealden-Ablagerungen gefundenen Flora (Pott et al. 2014; Pott 2019). Auch die feinere Körnung des Sediments deutet auf ruhige Umstände hin.

Während des Berriasiums war das niedersächsische Becken ein See mit Flusseinträgen (inklusive Landpflanzenmaterial), aus dem Süden und Osten. Gelegentliche Meereseinbrüche über eine westliche Verbindung zum borealen Ozean führten zu einer Durchmischung mit Seewasser und damit zu einem Ost-West-Gefälle der

brackisch-limnischen Bedingungen mit unterschiedlichen Ablagerungsumgebungen. Die relativ feinkörnigen Sandsteine der Oesede-Formation, die die Pflanzenfossilien enthalten, stellen terrestrische Ablagerungen der Wealden-Fazies am Südrand des Beckens dar, die unter deltatischen Süßwasserbedingungen in einer brackisch-limnischen Umgebung in einem feuchten, subtropischen Klima abgelagert wurden.

Literaturverzeichnis

- Dunker, W. 1843: Ueber den norddeutschen sogenannten Wälderthon und dessen Versteinerungen. Studien des Göttingischen Vereins bergmännischer Freunde 5: 105–185.
- Pott, C., 2019: Plant fossils from the Wealden facies (Lower Cretaceous, Berriasian) of Tecklenburg, Westphalia, Germany. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen 294: 213–228.
- Pott, C., Guhl, M. & Lehmann, J. 2014: The Early Cretaceous flora from the Wealden facies at Duingen, Germany. Review of Palaeobotany and Palynology 201: 75–105.
- Pott, C., McLoughlin, S., Lindström, A., Wu, S. & Friis, E. M., 2012: *Baikalophyllum lobatum* and *Rehezamites anisolobus*: Two seed plants with “cycadophyte” foliage from the Early Cretaceous of eastern Asia. International Journal of Plant Sciences 173: 192–208.
- Roemer, C. F. von 1857: Die jurassische Weserkette. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 9: 581–728.
- Schenk, A., 1871. Die fossile Flora der nordwestdeutschen Wealdenformation. 66 S. Fischer, Kassel.
- Watson, J. & Cusack, H. A., 2005. Cycadales of the English Wealden. Monograph of the Palaeontographical Society, London 622: 1–189.
- Wilde, V. & Schultka, S. 1996: Die sandige Wealden-Fazies (Bückeberg Formation, Berrias, Unterkreide) am Westrand eines Schüttungskörpers bei Osnabrück (NW-Deutschland). Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen 199: 249–268.

Christian Pott, LWL Museum für Naturkunde, Münster

Seltener Plesiosaurier-Nachweis aus dem Turonium von Unna

In der Fachzeitschrift *Cretaceous Research* ist eine Arbeit erschienen, die ein Fossil zum Gegenstand hat, das nun schon seit über 70 Jahren bekannt ist (Sachs et al. 2020). Es handelt sich um die Reste eines Plesiosauriers, die in der Sammlung des Ruhrmuseums Essen (RE 551.763.320 A0166) verwahrt werden.

Hinter der Inventarnummer des Ruhrmuseums Essen verbergen sich acht zum Teil artikuliert überlieferte Halswirbel und dazugehörige Rippen eines

Plesiosauriers. Die Reste dieses Tieres wurden bereits vor 1945 in marinen Ablagerungen der Oberkreide entdeckt und geborgen, sie stammen aus einer heute stillgelegten Kohlegrube bei Unna. Die Ablagerungen gehören zum Bochum-Grünsand-Member der Duisburg Formation, die Autoren der Studie konnten anhand einer Nannofossilanalyse eine stratigraphische Einordnung in das untere Mittelturonium (UC8a-UC8b) belegen. Das Alter beträgt damit rund 92 Millionen Jahre.

Das Fossil wurde bereits in der Vergangenheit ausgestellt und abgebildet (vgl. Wittler und Roth

2004), eine genaue Analyse ist erst durch die jüngste Studie erfolgt. Die systematische Zuordnung konnte bis zum Familienniveau erfolgen. Demnach handelt es sich um einen Vertreter der Polycotylidae. Diese Gruppe war in der Kreide mit mehreren Gattungen weltweit verbreitet und erlebte im Turonium eine Diversifikation. Für Europa stellt dieses Fossil den einzigen Skelettfund aus der Gruppe der Polycotylidae dar. Mit einer Körperlänge von schätzungsweise 4 m gehört dieser Vertreter zu den kleineren Plesiosauriern und zeigt, dass letztere im Turonium nicht nur die Spitze der Nahrungspyramide bildeten, sondern auch auf mittleren trophischen Stufen vertreten waren.

Balve: Grabungssaison 2020 und ein neuer Salamander

Eine fossilführende Karstschlotte bei Balve bietet eindrucksvolle Einblicke in die Lebewelt der Unterkreide (Barremium bis Aptium). Das LWL-Museum für Naturkunde führt hier seit dem Jahre 2002 regelmäßig Grabungen durch. Geborgen werden dabei vor allem fossile Reste von Wirbeltieren, wobei es sich in der Regel um stark fragmentiertes Material handelt. Vollständigere Knochen und Zähne sind sehr selten (Lanser 2015; Lanser und Heimhofer 2013; Schwermann et al. 2018).

Im Jahr 2020 konnte, bedingt durch hygienische Schutzbestimmungen (Covid-19), nur eine kleine Grabung vor Ort durchgeführt werden. Ein wesentlicher Fokus lag in dieser Grabungssaison in der Aufbereitung der Sedimente. Die Schlämmarbeiten wurden im Gesteinshof des Museums durchgeführt, wobei mehrere Tonnen Material aufbereitet wurden. Als Zwischenergebnis wird durch die Schlämmprozedur ein Konzentrat hergestellt, das alle Partikel, die größer als 0,5 mm sind, aus dem tonigen Sediment beinhaltet.

Da sich diese aufwendigen Arbeiten lohnen, zeigt die Veröffentlichung von Skutschas et al. (2020). Die Autoren beschreiben anhand von isolierten Wirbeln eine neue, bislang unbekannte Salamandergattung und -art aus den Sedimenten von Balve. Als besonders merkmalsreich gilt der erste Halswirbel der Salamander. Dieser sogenannte Atlas diente auch in diesem Fall zur Beschreibung von *Balveherpeton hoennetalensis* Skutasch, Kolchanov & Schwermann, 2020. Funde dieser Art sind in Europa selten. Aus der Unterkreide von England und Spanien sind bislang vier benannte Salamandergattungen

Literaturverzeichnis

- Sachs, S., Madzia, D., Püttmann, T. & Kear, B. P. 2020: Enigmatic plesiosaur vertebral remains from the middle Turonian of Germany. – *Cretaceous Research* 110: 104406. doi: 10.1016/j.cretres.2020.104406.
- Wittler, F. & Roth, R. 2004: Dortmund zur Zeit der Saurier. Begleitbuch zur Ausstellung im Dortmunder Museum für Naturkunde, 10. Juli - 22. September 2004. Dortmund.

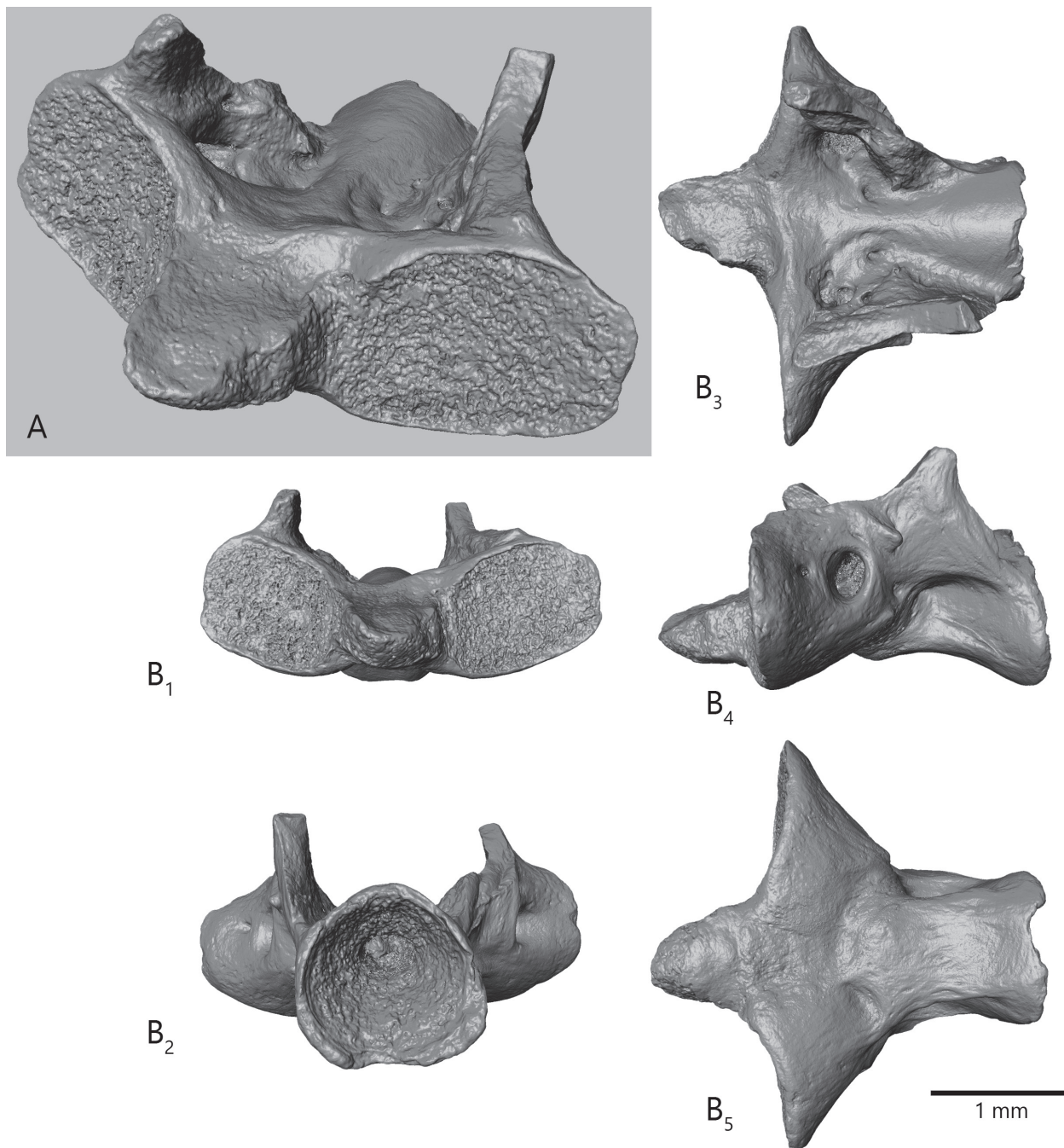
Achim H. Schwermann, LWL Museum für Naturkunde, Münster

bekannt. Fundstellen, in denen terrestrische Organismen der Unterkreide überliefert worden sind, sind in Europa recht selten. Die Beschreibung einer bislang unbekanntes Salamanderart aus Balve stellt somit keine Überraschung dar, da das reiche Fundspektrum der Wirbeltierfauna von Balve auch kleine und kleinste Formen miteinschließt. Zu diesen gehören naturgemäß auch Amphibien, wie eben Salamander. Es ist zu erwarten, dass dieser Entdeckung noch weitere folgen werden. Ein Schwerpunkt bei der Analyse der Mikrovertebratenreste liegt dabei auf den Säugetieren. Auch diese sind in den Ablagerungen von Balve enthalten und werden in naher Zukunft weitere Erkenntnisse über die terrestrische Lebewelt in Westfalen zur Zeit der Unterkreide sorgen.

Literaturverzeichnis

- Lanser, K.-P. 2015: Nachweise von Pterosauriern aus einer unterkreidezeitlichen Karstfüllung im nördlichen Sauerland (Rheinisches Schiefergebirge, Deutschland). – *Geologie und Paläontologie in Westfalen*: 93-117.
- Lanser, K.-P. & Heimhofer, U. 2013: Evidence of theropod dinosaurs from a Lower Cretaceous karst filling in the northern Sauerland (Rhenish Massif, Germany). – *Paläontologische Zeitschrift* 89: 79-94.
- Schwermann, A. H., Schöllmann, L. & Pott, C. 2018: Vertebrate fauna of a fissure filling from the Lower Cretaceous (Barremian–Aptian) of Balve, Westphalia, Germany. – *Terra Nostra*: 111-112.
- Skutschas, P. P., Kolchanov, V. V. & Schwermann, A. H. 2020: First salamander from the Lower Cretaceous of Germany. – *Cretaceous Research* 116: 104606. doi: 10.1016/j.cretres.2020.104606.

Achim H. Schwermann, LWL Museum für Naturkunde, Münster



Oben: Erster Halswirbel von *Balveherpeton hoennetalensis* aus Balve. A Schrägansicht, B₁ Vorderansicht, B₂ Rückansicht, B₃ Aufsicht auf Rückenseite, B₄ Seitenansicht und B₅ Ansicht der Bauchseite. (LWL/Schwermann)

Neue Ausstellung ab 21.08.2020
im LWL-Museum für Naturkunde

ÜBERLEBENS- KÜNSTLER



MENSCH

LWL-Museum für Naturkunde
Sentruper Str. 285 | 48161 Münster
Telefon 0251.591-05
ueberlebenskuenstler-mensch.lwl.org

 **Stiftung Münster**
Sparda-Bank West

 **LWL-KULTUR**
Westfalen-Lippe Stiftung

LWL

Für die Menschen.
Für Westfalen-Lippe.

Überlebenskünstler Mensch

Sonderausstellung im LWL-Museum für Naturkunde

In seiner 300.000-jährigen Geschichte hat der moderne Mensch eines bewiesen: Er ist ein Überlebenskünstler. Das stellen die Menschen immer wieder durch ihren Erfindungsreichtum unter Beweis. Die Sonderausstellung „Überlebenskünstler Mensch“ geht im LWL-Museum für Naturkunde in Münster diesem Thema nach und sucht nach Antworten auf Fragen rund um die Spezies Mensch.

Auf über 1.200 Quadratmetern lernen die Museums-gäste, in der deutschlandweit umfassendsten Darstellung zu diesem Thema, den Menschen in all seinen Facetten kennen. Dabei spannen die Ausstellungsmacherinnen Lisa Klepfer, Dr. Ramona Dölling und Dr. Hanna Rüschoff einen Bogen von den Anfängen des *Homo sapiens* als Jäger und Sammlerin bis hin zur möglichen Besiedlung des Mars durch die Menschheit.

Der Mensch als Säugetier ist nicht nur Teil der Natur, er beeinflusst seit langem seine eigenen Lebensräume wie keine andere Art. Grund genug, dem Menschen eine eigene Ausstellung im Naturkundemuseum zu widmen. Von den ersten Faustkeilen über die Erfindung des Computertomographen bis zu Pflanzen-Experimenten auf dem Mars scheint es ein weiter Weg zu sein – eine lange Kette von Erfindungen, die das Leben erleichtern oder sogar retten. Doch die Entwicklung des Menschen ist keine Perlenkette schillernder Verbesserungen. Es ging immer auch um die Ausbreitung des Menschen auf der ganzen Welt, um effizientere Methoden des Tötens und um die industrielle Ausbeutung der Natur zum Beispiel – mit weitreichenden Folgen für Artenvielfalt und Klima. Dieser Mehrdeutigkeit von Innovationen können die Museumsbesucher und -besucherinnen beim Gang durch die Menschheitsgeschichte nachspüren, wenn sie an über 1.000 Exponaten vorbeigehen. Dabei wird klar: der Klimawandel ist für den Überlebenskünstler Mensch die bisher größte Herausforderung.

Die Ausstellung wird getragen durch vier Leitfragen. Was macht uns aus? Wo kommen wir her? Wie haben wir uns ausgebreitet? Wohin gehen wir? Um diese Fragen zu beantworten, werden die Kerneigenschaften des Menschen, wie die Sprache oder Spiritualität beleuchtet.

Viele Originalobjekte in der Ausstellung dienen als Zeugen dieser Entwicklung, wie zum Beispiel ein Original-Kompass, den der berühmte Polarforscher Robert Falcon Scott auf seiner Antarktis-Expedition eingesetzt hat. Der Kompass ist das Symbol für Entdeckergeist und Aufbruch in unbekannte Welten. Zu den Höhepunkten der Ausstellung gehört eine geologische Probe,

die der Forscher Alexander von Humboldt von seinen Expeditionen mitgebracht hat. Und die älteste Schrift der Menschheit wird gezeigt: eine Schrifttafel aus dem mesopotamischen Uruk. Erstmals werden zudem Virtual-Reality-Brillen in die Ausstellung integriert.

Hintergrund zur Ausstellung

Das Museum des LWL in Münster zeigt bis zum 26.09.2021 die Sonderausstellung „Überlebenskünstler Mensch“. Die Ausstellung ist für alle Menschen geeignet. Sie beinhaltet: Brailleschrift, einen mehrsprachigen Audioguide (D, EN, NL sowie Audiodeskription in D) sowie Tastmodelle für Menschen mit Sehbehinderung, Mitmachstationen und untertitelte Filme. Bedingt durch Hygienemaßnahmen gegen die Covid19-Pandemie wird es im laufenden Betrieb derzeit noch Einschränkungen an Tast-Objekten geben. Blinde und sehbehinderte Menschen sollten sich bei der Museumsinformation am Eingang melden, damit ihnen die volle Ausstellungserfahrung dennoch möglich gemacht werden kann. Alle Ausstellungsbereiche sind für gehbehinderte Menschen und Familien mit Kinderwagen zugänglich. Begleitend zur Ausstellung werden museumspädagogische Programme für Schüler und Schülerinnen, Kinder und Jugendliche sowie Führungen für Erwachsene, Werkstatt-nachmittage und Literarische Rundgänge angeboten.

Möglich ist die Ausstellung durch Kooperationen mit Museumspartnern, wie der LWL-Kulturstiftung und der Sparda-Stiftung Münster, die die Ausstellung finanziell unterstützen.

Ausstellungsdauer Überlebenskünstler Mensch

21.08.2020 - 26.09.2021

www.ueberlebenskuenstler-mensch.lwl.org

Begleitbuch

Dölling, Ramona und Rüschoff, Hanna (2020): Überlebenskünstler Mensch. LWL-Museum für Naturkunde. ISBN 978-3-940726-68-1, 116 Seiten, Preis: 14,80 Euro. Das Buch ist im Museumsshop und über den Buchhandel erhältlich.

Adresse/Hinweise

LWL-Museum für Naturkunde
Westfälisches Landesmuseum mit Planetarium
Sentruper Str. 285
48161 Münster

Telefon: 0251 591 05

Geöffnet: dienstags bis sonntags von 9-18 Uhr

Eintritt: 7,50 Euro Erwachsene, Minderjährige unter 18 Jahre haben freien Eintritt

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 in **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. & Pragłowski 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 Fridericiana, 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 separate 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 (En-

capsulated 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, Mathias Mueller,
Alexander Platte & Denis Scholz** 3
Erste weichselzeitliche Kryocalcite
im Attendorn-Elsper Riffkomplex
- Detlev K. Richter, Dana F. C. Riechelmann,
Rasmus Dreyer, Stefan Niggemann,
Klaus P. Jochum & Denis Scholz** 19
„Holstein“-zeitliche Speläotheme
der Dechenhöhle (Sauerland)
- Oliver W. M. Rauhut, Achim H. Schwermann,
Tom R. Hübner & Klaus-Peter Lanser** 31
The oldest record of the genus
Torvosaurus from the Callovian Ornatenton
Formation of north-western Germany
- Mitteilungen** 44

