

# GEOLOGIE UND PALÄONTOLOGIE IN WESTFALEN

Heft 91



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

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

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

### Vorbereitung des Manuskriptes

#### 1. Allgemeine Richtlinien

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

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

Jedes Manuskript sollte 3 bis 6 Schlüsselwörter haben.

Abschnittsüberschriften sollten knapp und präzise formuliert sein.

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

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

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

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

Autoren müssen sich an SI-Einheiten halten.

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

#### 2. Stilistische Richtlinien

##### Haupttext

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

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

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

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

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

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

##### Überschriften

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

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

##### Titel

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

##### Namen der Autoren und Institutszugehörigkeiten

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

##### Kurzfassung und Schlüsselwörter

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

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

##### Einleitung

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

##### Material und Methoden

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

##### Ergebnisse

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

vanten 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 arficana* Blumenbach, 1799); 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, KAPITALCHEN oder *kursive* Schrift.

##### Literaturverzeichnis

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

**Geben Sie den vollständigen Zeitschriftentitel an.**

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

##### Beispiele

*Wissenschaftliche Artikel*

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



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

*Artikel, die vor dem Druck online veröffentlicht wurden:*

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

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

*Online-Zeitschriften:*

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

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

*Bücher:*

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

*Buchkapitel:*

Blackmore, S. 1992. Scanning electron microscopy. In: Nilsson S. & Praglowski J., (Hrsg.). Erdman'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.

*Abchlussarbeiten:*

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 kurz, 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 **einzeln und getrennt vom Text** eingereicht werden. Abbildungen sollte 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, Farbabbildungen 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 sollte 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 ausfolgenden Bestandteilen zusammensetzt: das akzeptierte Manuskript in seiner endgültigen Form, inklusive Kurzfassung, Text und Literaturverzeichnis, sowie alle zugehörigen Tabellen, Abbildungen und Daten. Unser Autorenvertrag mit Ihnen bildet die gesamte und einzige Vereinbarung zwischen dem LWL-Museum für Naturkunde und Ihnen; es werden keine Änderung, Ergänzung oder sonstige Mitteilung bei der Auslegung der Rechte und Pflichten des LWL-Museums für Naturkunde im Rahmen dieser Vereinbarung berücksichtigt.

### Freie Verfügbarkeit/Sonderdrucke

Alle Artikel und Bände von *Geologie und Paläontologie in Westfalen* sind über die Webseite des LWL-Museums für Naturkunde (<https://www.lwl-naturkundemuseum-muenster.de/de/naturkundemuseum/literatur/schriftenreihen/download-geologie-u-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 15. Oktober 2018

# Geologie und Paläontologie in Westfalen seit 1983

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

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

**Titelbild** Ammoniten aus dem "Geologischen Garten" in Bochum-Wiemelshausen.  
Kaplan et al., Abb. 5

**Hinteres Umschlagbild** *Mytiloides* sp. aus den Ablagerungen des *Watinoceras*-bed im Steinbruch DIMAC, Halle i.W.  
Smith et al., Abb. 7

## Impressum

### 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](http://www.lwl-naturkundemuseum-muenster.de)

### Redaktionsleitung:

Achim H. Schwermann  
LWL-Museum für Naturkunde, Münster  
[achim.schwermann@lwl.org](mailto: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)

Steinmann-Institut für Geologie, Mineralogie und 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 978-3-940726-64-3

© 2019 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.



## The oldest articulated mosasaurian remains (earliest Turonian) from Germany

### Die ältesten artikulierten Mosasaurier-Überreste (frühestes Turonium) aus Deutschland

#### Schatzfund\*

Krister T. Smith, Achim H. Schwermann, Markus Wilmsen

Krister T. Smith  
Department of Messel Research  
and Mammalogy, Senckenberg  
Research Institute  
Senckenberganlage 25  
60325 Frankfurt am Main  
Germany

Achim H. Schwermann  
LWL-Museum of Natural History  
Westphalian State Museum  
and Planetarium  
Sentruper Straße 285  
48161 Münster  
Germany

Markus Wilmsen  
Senckenberg Natural History  
Collections, Dresden  
Museum of Mineralogy and Geology  
Section of Palaeozoology  
Königsbrücker Landstraße 159  
01109 Dresden  
Germany

corresponding author:  
krister.smith@senckenberg.de

Manuscript  
Received: 26.07.2018  
Accepted: 15.11.2018  
Available online: 21.05.2019

© LWL-Museum für Naturkunde

#### Abstract

The Turonian was a seminal time in the evolution of Mosasauria, a clade of active lizards that came to dominate Late Cretaceous oceans until their demise at the Cretaceous–Palaeogene boundary. It saw in that time the mosasauroids increase in body size, become at last fully aquatic, and disperse throughout much of the world, while their sister-group, the long-necked dolichosaurs, largely went extinct. Yet a paucity of fossils from this crucial time obscures the beginning of their radiation. On this background we report the discovery of the oldest articulated mosasaurian remains from continental western Europe, namely from the uppermost Cenomanian–lowermost Turonian Hesseltal Formation near Halle/Westfalen, Germany. We also review the taxonomic allocation of dolichosaur remains – *Coniasaurus crassidens* and *Dolichosaurus longicollis* – previously described from a slightly older level at the same locality, the DIMAC quarry. The new specimen derives from the lowermost Turonian *Watinoceras* bed, comprises an articulated tail and is referred to Mosasauroida indet. Vertebral proportions suggest some adaptation away from the primitive anguilliform mode of propulsion and toward greater capacity for sustained swimming. Deductions based on degree of articulation and palaeoenvironment suggest that the animal died far out at sea, which is consistent with improved swimming abilities as well. In contrast, the previously described dolichosaur material comprises exclusively isolated bones or bone fragments, which may have been transported some distance to the site during a phase when the sea-level was lower. The new find highlights the potential of the Hesseltal Formation generally and especially the DIMAC quarry to produce important vertebrate fossils that may throw further light on early mosasaurian evolution.

**Key words:** Cenomanian–Turonian, Hesseltal Formation, DIMAC quarry, Mosasauroida, *Coniasaurus*, *Dolichosaurus*, swimming ability

**Schlüsselwörter:** Cenomanium–Turonium, Hesseltal-Formation, Steinbruch DIMAC, Mosasauroida, *Coniasaurus*, *Dolichosaurus*, Schwimmanpassung

\*Nach dem Denkmalschutzgesetz NRW § 17 "Schatzregal" gehen Fossilien von besonderer wissenschaftlicher Bedeutung bei ihrer Entdeckung in das Eigentum des Landes NRW über. Werden Fossilien entdeckt, die unter

diese Kategorie fallen könnten, muss umgehend die zuständige Untere Denkmalbehörde (Gemeinde) oder das Referat Paläontologie des LWL-Museums für Naturkunde, Münster informiert werden.

## Kurzfassung

Das Turonium war eine entscheidende Zeit in der Evolution der Mosasauria, einer Gruppe von aktiven Echten, die in der späten Kreide die Ozeane dominierten, bis sie schließlich an der Kreide-Paläogen-Grenze verschwanden. Es scheint, als hätten die Mosasaurier in dieser Zeit an Körpergröße zugenommen und als wären sie schließlich vollständig aquatisch geworden, während ihre Schwestergruppe, die langhalsigen Dolichosaurier, weitgehend ausstarben. Der Mangel an Fossilien aus dieser Zeit verschleiert allerdings den Beginn ihrer Radiation. Vor diesem Hintergrund berichten wir über die Entdeckung des ältesten, artikulierten Mosasaurier-Materials aus dem kontinentalen Bereich Westeuropas, hier aus dem obersten Cenomanium–untersten Turonium der Hesseltal-Formation bei Halle/Westfalen. Weiterhin wird die taxonomische Zuordnung von Dolichosaurier-Material – *Coniasaurus crassidens* und *Dolichosaurus longicollis* – aus etwas älteren Ablagerungen der gleichen Fundstelle, des Steinbruchs DIMAC, überprüft. Das vorgestellte Stück stammt aus der *Watinoceras*-Schicht im untersten Turonium, umfasst einen artikulierten Schwanz und wird als Mosasauroida indet. eingeordnet. Die Proportionen der Wirbel zeigen Anpassungen, die über die primitive anguilliforme Undulation als Vortrieb hinausgehen und vielmehr eine erweiterte Fähigkeit zu ausdauerndem Schwimmen anzeigen. Die Artikulation des Stückes und die Paläoumgebung erlauben die Schlussfolgerung, dass das Tier auf offener See starb, was gleichermaßen eine verbesserte Schwimmfähigkeit voraussetzt. Im Gegensatz dazu umfasst das bisher beschriebene Dolichosaurier-Material nur isolierte Knochen oder lediglich Fragmente, die zu einer Zeit, als der Meeresspiegel niedriger war, vermutlich über eine gewisse Distanz transportiert worden sind, bevor sie abgelagert wurden. Der neue Fund zeigt, dass die Hesseltal-Formation, vor allem im Steinbruch DIMAC, das Potential hat, weitere wichtige Wirbeltierfossilien zu liefern und damit mehr Licht auf die frühe Evolution der Mosasaurier zu werfen.

## Introduction

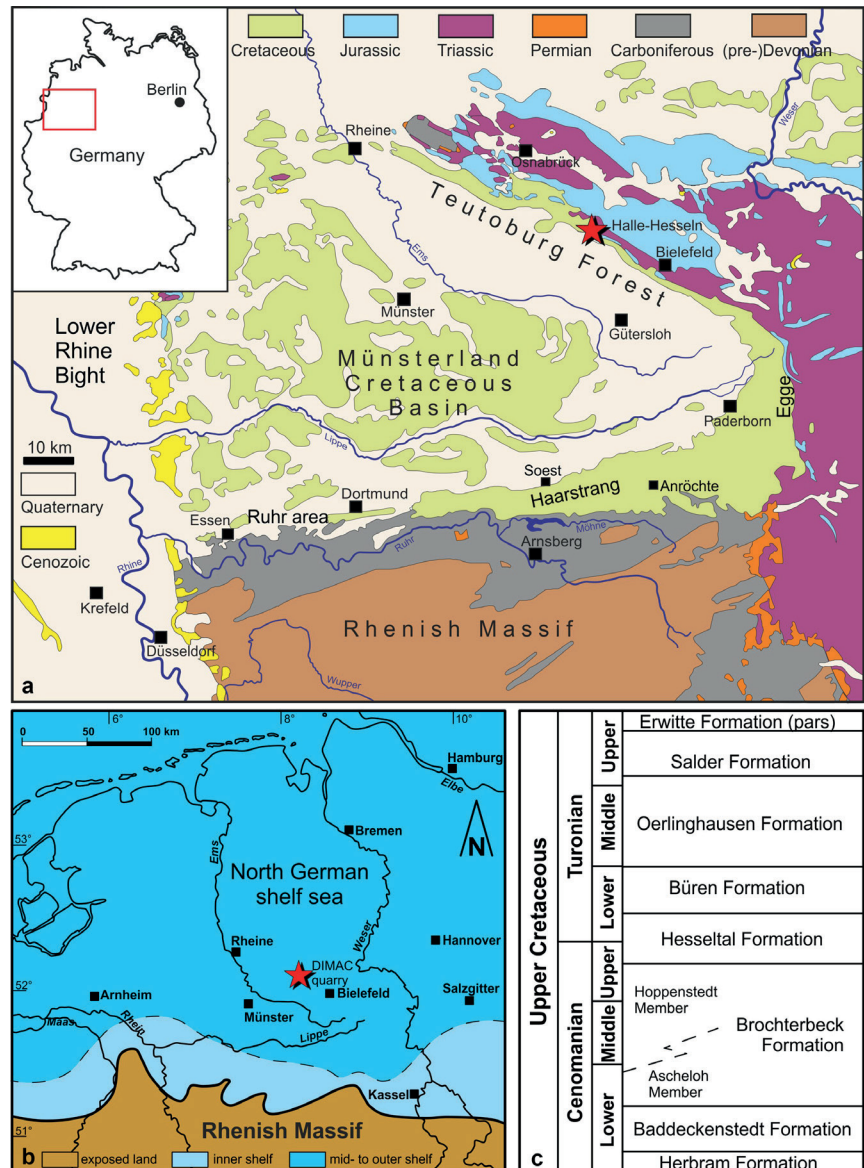
Mosasauria Marsh, 1880 is a clade of medium- to large-bodied semiaquatic or aquatic lizards whose known evolutionary history is confined to the Late Cretaceous (e.g., Williston 1898; Russell 1967; Polcyn et al. 1999; see also Evans et al. 2006). The earliest and most primitive representatives of the clade are less than 1.5 m in total length. They include Cenomanian species traditionally assigned to Dolichosauridae (e.g., Nopcsa 1908; Romer 1956; Carroll 1988) as well as basal mosasauroids – the latter traditionally assigned to Aigialosauridae – that might be related to different lineages of Mosasauridae (Bell & Polcyn 2005; Polcyn & Bell 2005; see also

Madzia & Cau 2017; Simões et al. 2017b). Most of these primitive representatives are found in Cenomanian strata of the Western Interior Seaway and adjacent regions of North America (Bell et al. 1982; VonLoh & Bell 1998), the English Chalk (Owen 1851), Germany (Diedrich 1997, 1999), Slovenia (Meyer 1860; Seeley 1881; Kornhuber 1893; Caldwell & Palci 2010), Croatia (Kornhuber 1873, 1901; Gorjanović-Kramberger 1892), and the Levant (dal Sasso & Pinna 1997; dal Sasso & Renesto 1999; Polcyn et al. 1999, 2003). A further dolichosaur specimen, from Kazakhstan, may be Cenomanian or Turonian in age (Averianov 2001); a Cenomanian specimen from the Saxonian Cretaceous Basin of Germany, initially referred to a dolichosaur (Geinitz 1871–1875), has not been confirmed (Sachs et al. 2017). Only the taxon *Coniasaurus* has been reported from the Cenomanian outside of the central Tethys and the European epicontinental shelf seas (Bardet et al. 2008), namely from the Western Interior Seaway and the Texas Gulf Coast (Bell et al. 1982; Liggett et al. 2005; Shimada et al. 2006; Cumbaa et al. 2010; Nagrodski et al. 2012). Many of these species are considered to have been semiaquatic or at best shallow-water dwellers (e.g., Jacobs et al. 2005; Ifrim et al. 2008).

A dramatic change took place during the approximately 4 million years of the succeeding Turonian. Many dolichosaurs went extinct, although there are reports, almost exclusively of fragmentary vertebrae, from younger horizons (Rage 1989; Shimada & Bell 2006; Shimada et al. 2007; Shimada & Ystesund 2007; Scanlon & Hocknull 2008; Paparella et al. 2018), while the geographic range of mosasauroids expanded substantially (Bardet et al. 2008; Jacobs et al. 2009; Polcyn et al. 2014). Primitive and more advanced mosasauroids are documented in the Turonian of North America (Bell & VonLoh 1998; Bell & Polcyn 2005; Polcyn & Bell 2005; Polcyn et al. 2008; Smith & Buchy 2008; Buchy & Smith 2011; Schumacher 2011), South America (Páramo-Fonseca 2000), and south-central Africa (Lingham-Soliar 1994) and are further found in a variety of Tethyan or European sites: England (Street & Caldwell 2014), Italy (Palci et al. 2013), Czech Republic (Zázvorka 1965; Ekrt et al. 2001; Wiese et al. 2004; Kear et al. 2014), and North Africa (Bardet et al. 2003). It is not yet clear how the Cenomanian occurrence of a mosasaurid reported by Grigor'ev et al. (2009) from south-western Russia fits into this story.

Biogeographic and ecomorphological expansion of mosasauroids continued into succeeding ages (Lindgren 2004; Polcyn et al. 2008, 2014). By the Campanian, highly aquatic mosasaurs of traditional aspect are found globally, including occurrences in much of Europe (Russell 1967), the East Coast of North America (e.g., Cope 1868; Miller 1955), Japan (Caldwell et al. 2008), New Zealand (Hector 1874), Antarctica, Argentina (e.g.,

**Figure 1:** Regional and geological framework of the Münsterland Cretaceous Basin (MCB). **a** Geological map of the study area and location of the Halle-Hesseln section (red star), the source of WMNM P64161. The DIMAC quarry is located near Hesseln in the municipality of Halle (North Rhine-Westphalia), Germany (map modified after Hiß 1995). **b** Palaeogeography of northern Germany during the Late Cenomanian (modified after Hiß 1995). **c** Chrono- and lithostratigraphy of the lower Upper Cretaceous in the northern part of the MCB (compiled after Niebuhr et al. 2007).



Fernández & Martin 2009; Fernández & Gasparini 2012), and Venezuela (Sánchez-Villagra et al. 2008). A further report from the Upper Cretaceous of Brazil is as yet uncorroborated (Branner 1890). Mosasaurs evolved some distinctive ecomorphological forms, including probable shell-crushers (Schulp 2005). And while Williston's (1904) speculation that mosasaurs regularly bred in freshwater has not found much support, fresh- or brackish water dwellers have in fact been discovered (Everhart 2005; Makádi et al. 2012). Some species achieved extraordinary size, at least 12 m in the case of *Tylosaurus proriger* (Cope, 1869a) (Everhart 2002) and more in other species (Everhart 2005). Mosasaurs went extinct at the end of the Cretaceous (e.g., Bardet 1994; Everhart 2005; Benson et al. 2009; Polcyn et al. 2014).

The patchy record of early mosasaurs has complicated the interpretation of their origins, quite apart from the differing perspectives on the nearest extant relatives

of Mosasauria (Osborn 1899; Fürbringer 1900; Nopcsa 1908; Camp 1923; Caldwell et al. 1995; Lee 1997; Conrad 2008; Gauthier et al. 2012; Reeder et al. 2015; Simões et al. 2017a). On this background, we report on a largely complete, articulated tail of a primitive mosasaurian from the lowermost Turonian of the DIMAC quarry between Halle and Hesseln, North Rhine-Westphalia, Germany (Fig. 1). In this paper, we describe the specimen, ascertain its phylogenetic affinities, and discuss the place of the animal that produced it in the history of mosasaurian locomotor evolution. This is the first partial skeleton known from continental western Europe during the early phase of mosasaurian evolution. It complements reports of isolated dolichosaur skeletal material from the region (Diedrich 1997, 1999) and highlights the potential for future discoveries in the mid-Cretaceous of Germany to shed light on the early evolutionary and dispersal history of Mosasauria.





**Figure 2:** Panoramic view of the inverted stratigraphy of the lower Upper Cretaceous strata at the DIMAC quarry. The Hesseltal Formation spans the uppermost Cenomanian and lowermost Turonian.

### Material and methods

The specimen was discovered by Marco Castens (Bielefeld) in dark grey marls of the Hesseltal Formation of the DIMAC quarry (see ‘Geological setting’ below), specifically in the *Watinoceras* bed (Figs 2, 3) of the lowermost Turonian (personal communication M. Castens, March 2017; cf. Hiß et al. 2010). The particular block of rock in which it was discovered has been stripped. However, the site was photographed, and the find was reported to the LWL-Museum of Natural History in Münster (WMNM). According to the law for the preservation of monuments for the state of North Rhine-Westphalia, DSchG NRW (§17 ‘Schatzregal’), it was classified as an important find for the fossil record of Westfalen-Lippe and thus became the property of North Rhine-Westphalia. Subsequently, it was assigned to WMNM, which houses it under accession number WMNM P64161. It was prepared at WMNM.

### Comparisons and palaeoecology

The specimen was compared in detail to other basal mosasaurs, particularly dolichosaurs previously described from the same quarry, and basal mosasauroids. Palaeoecological conclusions are based on a thorough review of the relevant geological literature on the palaeoenvironment as well as morphometric comparisons with the tails of other mosasaurs.

### Geological setting

The strata of the Münsterland Cretaceous Basin (MCB; Fig. 1a) in north-western Germany form an important element of the sedimentary and palaeontological record of the Boreal Cretaceous Realm in north-western Europe. Early surveys on their stratigraphy and fossil content thus date back well into the 19<sup>th</sup> century (e.g., Roemer 1841; Strombeck 1859). However, until the late part of the Early

Cretaceous, the MCB was still a non-depositional area to the north of the Rhenish Massif. A major sea-level rise during the Albian caused an onlap of nearshore and hemi-pelagic strata onto the northern part of the Rhenish Massif, transforming the Münsterland into a depositional area as a part of the wide north German epicontinental shelf sea (start of the 2nd sedimentary megacycle of Hiß et al. 2005; see synopsis by Wilmsen and Wiese 2008). A second major phase of this transgressive interval occurred during the Cenomanian to early Turonian when the coastline shifted far southwards and pelagic facies prevailed over much of the basin (e.g., Hiß 1982; Wilmsen et al. 2005; Berensmeier et al. 2018) (Fig. 1b). In connection with tectonic inversion at its north-eastern margin (‘Teutoburger Wald’, or Teutoburg Forest), the MCB experienced considerable subsidence during the Coniacian to early Campanian and a gradual withdrawal of the sea during the remainder of the Campanian (e.g., Voigt et al. 2008a). Today, the MCB is a bowl-shaped geomorphological and tectonic basin bordered in the north/northeast by the Teutoburg Forest (Osning), in the east by the Egge Mountains and in the south by the low-lying mountain ranges of the northern part of the Rhenish Massif (Ruhr area and northern Sauerland). The studied section at Halle-Hesseln is located in the central part of the Teutoburg Forest in the northern part of the MCB (Fig. 1a).

The quarry of DIMAC GmbH in Halle-Hesseln exposes strata of late early Cenomanian to early Coniacian age (Figs 1c, 2). It was recently restudied by Richardt (2010) and Kaplan (2011). The tectonically inverted succession starts with hemipelagic nodular limestones of the Ascheloh Member (upper lower Cenomanian) of the Brochterbeck Formation, followed by a thick succession of pelagic limestones of the Hoppenstedt Member (middle to lower upper Cenomanian, Fig. 1c). A conspi-

**Figure 3:** Strata of the Hesseltal formation at DIMAC quarry. Specimen WMNM P64161 was found at the *Watinoceras* bed. (Photo by Marco Castens, Bielefeld)



cuous facies change in the middle upper Cenomanian, corresponding to an intermittent short-term sea-level fall, forms the base of the uppermost Cenomanian-lowermost Turonian Hesseltal Formation. The Hesseltal Formation (Niebuhr et al. 2007, locally also known as 'Schwarzbunte Wechselfolge', 'Schwarzschiefer-Fazies', 'Rotpläner', or 'Schwarzweiße Wechselfolge') consists of alternating layers of dark (black, grey, reddish, greenish-grey) marls, clayey marlstones and greenish-grey or light grey limestones and marly limestones (Figs 2, 3). Up-section, a thick sequence of grey to white, fine-grained marly limestones and limestones of the Büren, Oerlinghausen, Salder and Erwitte formations continue the section in the DIMAC quarry into the lower Coniacian (Kaplan 2011) (Fig. 1c).

The Hesseltal Formation is known from offshore settings in northern Germany and outcrops are mainly restricted to the northern margin of the MCB (Teutoburg Forest) and to the low mountain ranges in Lower Saxony and Saxony-Anhalt. The black shales of the Hesseltal Formation represent the regional expression of the anoxic phase of the worldwide Ocean Anoxic Event 2 (OAE 2; Schlanger & Jenkyns 1976; Cetaan et al. 2008). The onset of OAE 2 was related to a large-scale magmatic episode (Kerr 1998; Turgeon & Creaser 2008; Du Vivier et al. 2014) and resulted in the formation of organic-rich sediments on a global scale, accumulating under dys- to anoxic conditions (e.g., Schlanger et al. 1987; Wignall 1994; Jenkyns 2010), and a major positive carbon stable isotope excursion that can be used for chemostratigraphic calibration and correlation (e.g., Gale et al. 1993; Paul et al. 1999; Tsikos et al. 2004). OAE 2 was associated with a major sea-level rise across the Cenomanian-Turonian boundary that culminated in a global earliest Turonian maximum flooding interval (K140 mfs of Sharland et al. [2001] on the Arabian Plate; 93.5 Ma

maximum flooding in the eustatic charts of Haq [2014]). The earliest Turonian maximum flooding corresponds to the *Watinoceras* bed at DIMAC, the layer in which the mosasauroid specimen described here was discovered. The Hesseltal Formation has been studied in detail by Voigt et al. (2007, 2008b), including high-resolution chemostratigraphic analyses.

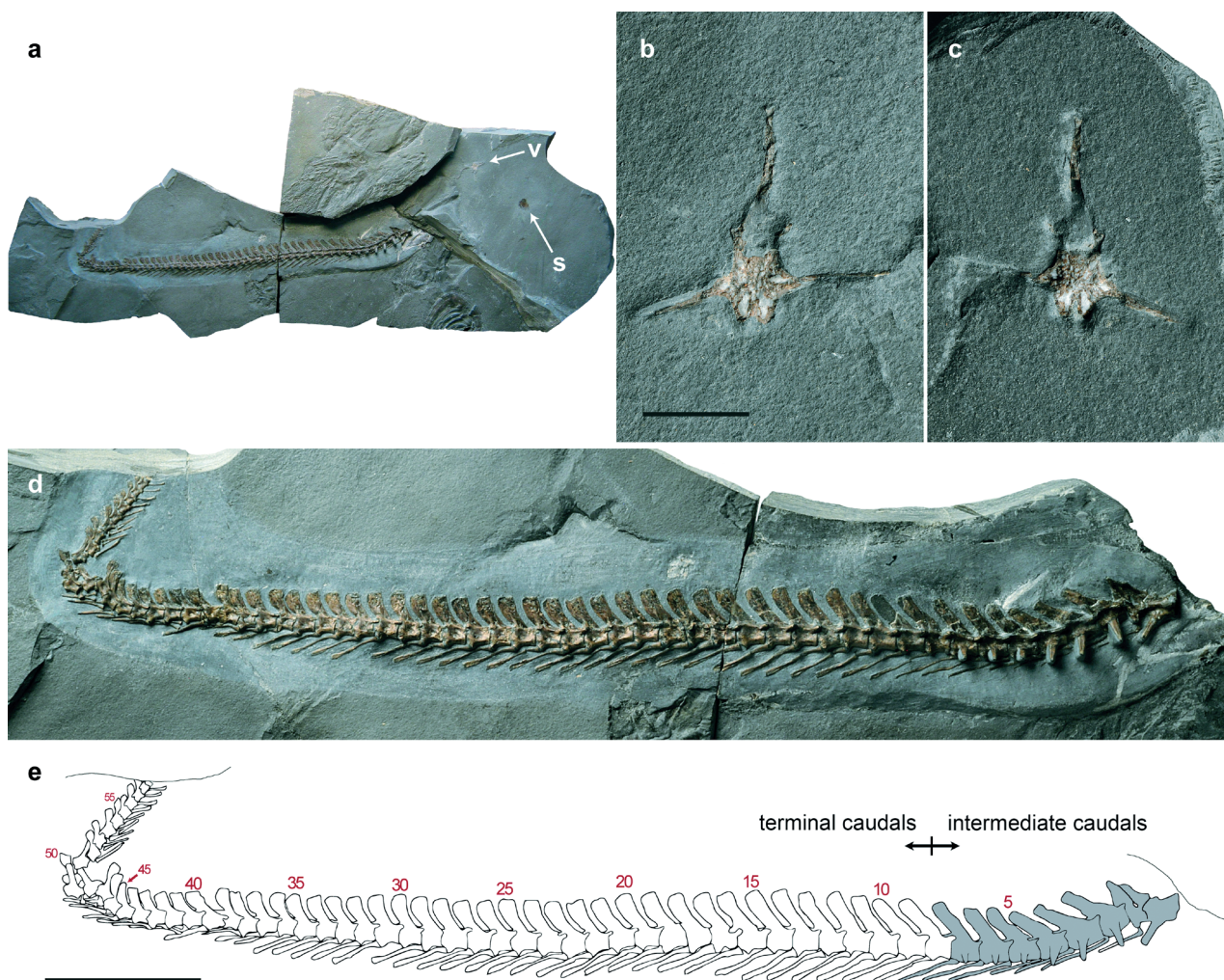
#### *Morphometrics*

Centrum length (CL) was measured at mid-height on the centrum (excluding the condyle). Centrum height (CH) cannot be measured in the same way as in previously studied mosasauroids (Lindgren et al. 2011a) because the dorsal part of the centrum is incompletely exposed in most cases. Instead, we measured CH from the base of the centrum at the cotyle vertically to the dorsoventral level of the deepest part of the notch separating the prezygapophysis from the centrum. This measurement is most consistently measurable and closely approximates CH as measured by Lindgren et al. (2011a). Conceivably, this measurement of CH overestimates true CH distally in the tail, as the prezygapophysis shift to a position dorsal to the centrum. Hemal arch length (HAL) was measured along the right or left side (whichever was better exposed) from the edge of the articulation facet with the centrum to the distal tip. Because the vertebrae are laterally embedded in the slab, centrum width (CW) cannot be measured without CT scans, which have not yet been attempted for LWL P64161.

#### *Abbreviations*

BMB – Booth Museum of Natural History, Brighton, UK  
BMNH – Natural History Museum, London, UK  
WMNM – LWL-Museum of Natural History, Münster, Germany





**Figure 4:** Largely articulated section of tail of WMNM P64161, preserving 61 complete or partial vertebrae with hemal arches. **a** Overview of the specimen, showing position of isolated vertebra (v) and ganoid scale (s). **b, c** Isolated vertebra of WMNM P64161, broken transversely, showing tall neural spine, long transverse processes, and peduncles for hemal arch. **d, e** Photograph and interpretive outline drawing, respectively, of WMNM P64161, articulated vertebral column. Vertebra numbers are above neural spines and refer to the articulated series. Grey-shaded vertebrae are intermediate caudals. Scale bars: b, c = 1 cm; d, e = 5 cm.

### Systematic palaeontology

Squamata Oppel, 1811  
 Mosasauria Marsh, 1880  
 Mosasauroides Gervais, 1853  
 Mosasauroides indet.

#### Description

The specimen comprises a section of tail with 61 vertebrae, all but one of which are almost perfectly articulated and preserved in lateral view (Fig. 4). They can be divided into nine intermediate caudal vertebrae (Fig. 4e, grey), or those possessing transverse processes (=caudal ribs) and a hemal arch, and 52 terminal caudal vertebrae, or those possessing a hemal arch but no transverse processes (Russell 1967). Pygals, those vertebrae at the base of the tail possessing transverse processes but no hemal arch, are not preserved. The length of the articulated series measured along the vertebral axis is about 404 mm. The

distal-most preserved vertebra is incomplete, and the tail would have continued onto an uncollected slab (see below). An additional slab, comprising part and counterpart, contains an isolated proximal caudal vertebra split transversely along a bedding plane.

**Intermediate caudal vertebrae:** The isolated vertebra (Fig. 4b, c) has not been fully prepared but has a triangular outline, with a tall neural spine and long transverse processes. It is taken to be the anterior-most of the preserved vertebral series. It is unknown whether it once articulated with the first-preserved vertebra of the larger slabs or was located more proximally. The ventral margin of the centrum evinces a notch bounded by two narrow ventral projections, suggestive of peduncles for a hemal arch. Thus, it pertains to the intermediate series. The term 'intermediate', however, should not be taken to imply that the vertebrae in question are found in the middle of the tail (see below).

The first vertebrae of the articulated series are robust (Fig. 4d, e). The first two neural spines are damaged, but subsequent neural spines taper only slightly toward their tip. The spines are laterally compressed, slightly thicker basally than apically, and the anterior and posterior margins are straight and strongly inclined distally. The tip is flat and perpendicular to said margins; it evinces a thin, well-finished cap, presumably of bone, suggesting the animal was ontogenetically advanced. Due to erosion, perhaps as a result of the splitting of the shale, the cap is clearly visible only on a few vertebrae (such as the 4<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> of the articulated series).

Both pre- and postzygapophyses are well developed. The postzygapophyses project more strongly posterior to the margin of the centrum than the prezygapophyses do anteriorly. The articular facets are inclined medially, but due to articulation and/or damage, their precise shape and orientation cannot be specified. The prezygapophyses project strongly laterally as well as anteriorly. The 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> vertebrae of the articulated series show that the right and left prezygapophyses were clearly separated by a notch in the neural arch. There is no evidence of a zygosphenon on any vertebra, and so presumably zygantra are also absent. A prominent interzygapophyseal ridge, rising slightly posteriorly, connects the pre- and postzygapophyses on the lateral surface of the neural arch.

The centrum is procoelous and slightly depressed, such that the exposed cotyle of the first vertebra of the articulated series is oval in outline. On the first eight vertebrae of the articulated series there is a strong pair of transverse process that project laterally and slightly ventrally from the centrum. Together with the isolated vertebra, this makes nine intermediate caudals. The processes diminish gradually in size from about 10 mm on the first vertebra to about 6 mm on the 8<sup>th</sup> vertebra. Their orientation also appears to shift from ventrolateral (~45°) to more nearly lateral (~20°); however, comparison with the isolated, transversely split vertebra suggests that the ventral component might be artifactually magnified by small breaks. The processes are abruptly absent on the 9<sup>th</sup> and more posterior vertebrae of the articulated series. The facets for the hemal arches are large protuberances located entirely on the preceding vertebra. They retain a connection, however, to the posterior margin of the vertebra (Gauthier et al. 2012, character 475).

Hemal arches articulated with all vertebrae in the articulated series. The hemal arches of the anterior caudal vertebrae are long (longer than the appertaining neural spines) and slender, with greatly expanded proximal articular processes. They grow slightly more robust posteriorly. They also increase in length from the first-preserved to the tenth. Thereafter, they decrease

in length at a slightly increasing rate. Hemal arches are almost always lacking on the first post-sacral vertebrae in squamates, including basal mosasauroids (Smith & Buchy 2008). The absence of any pygal vertebrae indicates that the tail WMNM P64161 is incomplete.

Terminal caudal vertebrae: The vertebrae undergo a number of changes behind the intermediate caudal vertebrae. As above, however, the word 'terminal' should not be taken to imply that these vertebrae were necessarily found only at the distal end of the tail; in fact, most of the tail, as preserved, consists of terminal caudals.

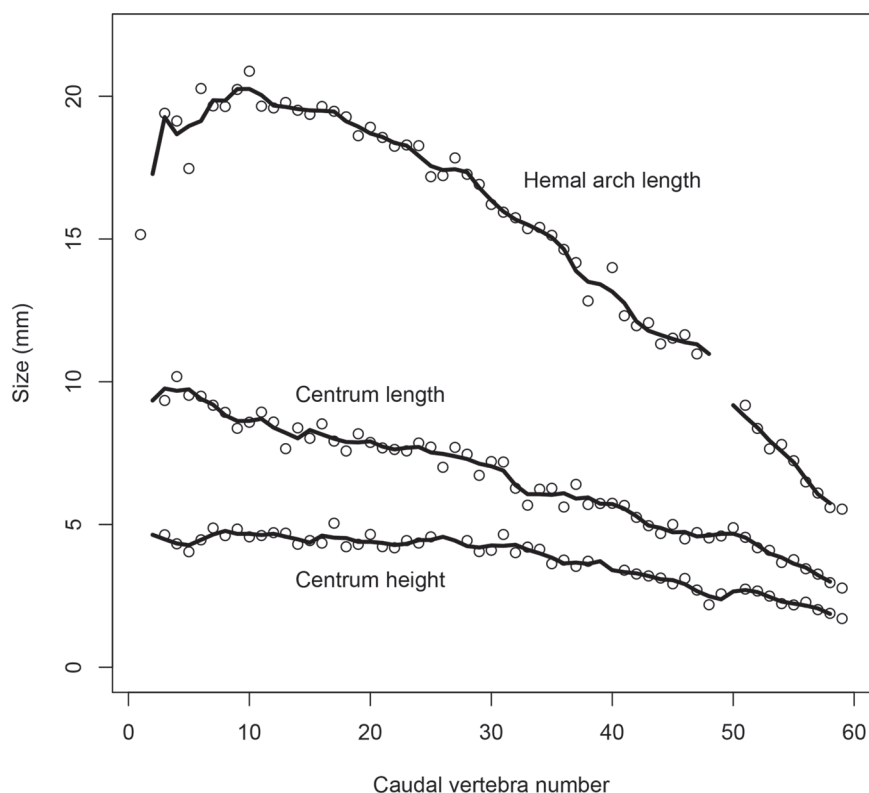
The neural spines grow longer absolutely and with respect to centrum length, before decreasing again in the posterior half of the tail. By the 11<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> vertebrae of the articulated series, they begin to expand slightly distally rather than tapering. This trend reaches a maximum distally in the tail, where the neural spine has twice the anteroposterior length distally as proximally. Meanwhile, the proximal part of the neural spine becomes rod-shaped. The posterior corner of the tip of the neural spine becomes slightly rounded, a shape that becomes more prominent posteriorly. Concomitantly, the anterior and posterior margins of the spine become anteriorly concave, so that the distal half of the neural spine becomes more dorsally directed rather than posterodorsally. The flattened tip of the neural spine thus becomes nearly horizontal. This change in orientation reverses in the distal third of the preserved segment, so that the tip is directed posterodorsally again.

Pre- and postzygapophyses become reduced in prominence posteriorly, but to different extents. The postzygapophyses – which on the anterior caudals projected strongly behind the margin of the centrum – are gradually reduced to small protuberances along the posterior margin of the neural spine. The last vertebra with a trace of an articular surface is the 42<sup>nd</sup> in the articulated series; thereafter, postzygapophyses appear to be completely absent. Prezygapophyses, on the other hand, are present on all of the preserved caudal vertebrae. However, they too diminish considerably in prominence, no longer projecting anteriorly or laterally beyond the margin of the centrum. On the posterior-most vertebrae they do not even reach the level of the centrum's anterior margin. They become closely apposed medially, and the notch between them disappears. The interzygapophyseal ridge becomes indistinct posteriorly, and as the postzygapophyses disappear, it begins to curve dorsally, ascending the lateral surface of the neural spine to some extent. This leads to the formation of a groove on either side of the anterior margin of the neural spine.

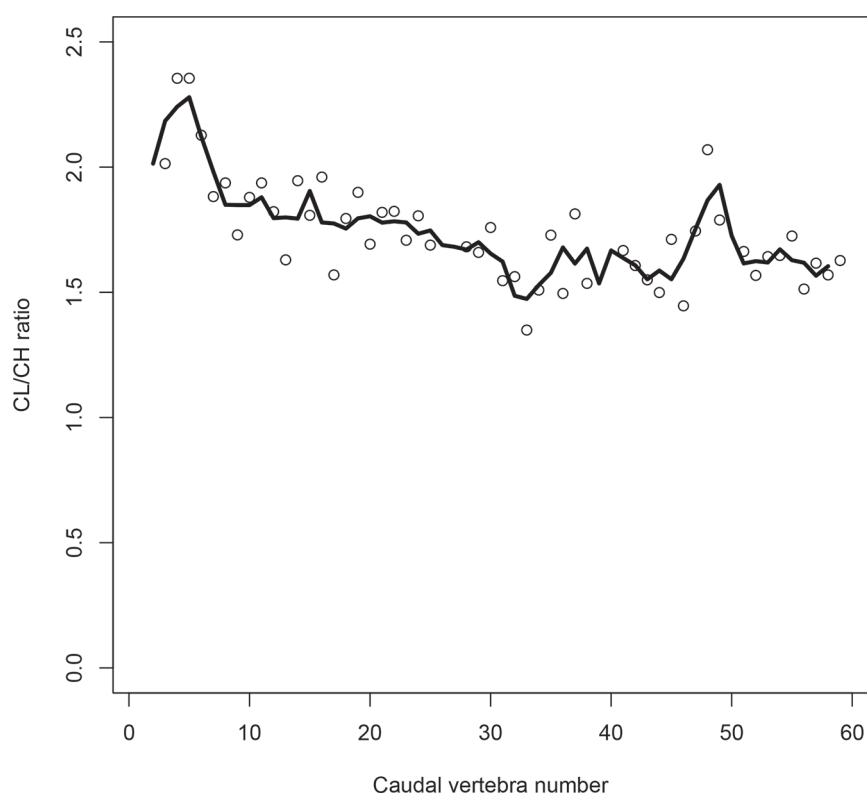
On the first vertebra on which transverse processes are lacking (the 9<sup>th</sup> of the articulated series), there are lateral



**Figure 5:** Morphometric trends in the vertebrae of the articulated section of WMNM P64161: centrum length (CL), centrum height (CH), and hemal arch length (HAL). The thick lines are 3-point moving averages, which more clearly show the trends. See text for explanation of potential bias in CH measurement posteriorly.



**Figure 6:** Change in the ratio of centrum length (CL) to centrum height (CH) along the articulated section of WMNM P64161. In the first half of the tail, the ratio declines from over 2.0 to about 1.7, whereas in the second half it only declines to 1.6. The thick line is a 3-point moving average, which more clearly shows the trends.



foramina (one on each side, presumably) in the same position. These can be recognised on nearly all of the vertebrae until the preserved end of the tail.

The hemal arches become longer and more robust posteriorly. Distally in each arch, they expand in anteroposterior length and, at least on the middle vertebrae of the articulated series, appear to become compressed. On more posterior vertebrae,

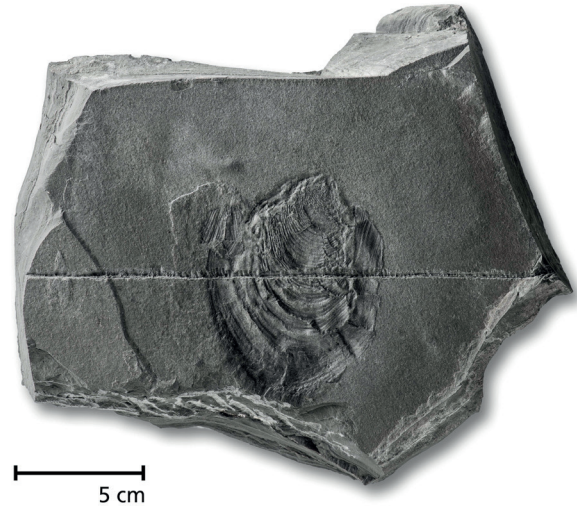
however, even the distal extent of the hemal arch is rod-shaped. The hemal arches of vertebrae 43–45 are disarticulated and show that the proximal articulations are clearly separated. By the 50<sup>th</sup> vertebra, however, similarly disarticulated hemal arches show that the proximal articulations become very closely spaced, just like the prezygapophyses approach one another medially.

**Morphometric trends:** Throughout the articulated tail section, CL decreases regularly from about 10 mm to 2.8 mm, the rate of decrease increasing slightly in the posterior half (Fig. 5). CH decreases very slightly in the first half, from about 4.7 mm to 4.1 mm, then more rapidly in the posterior half, to 1.7 mm. The greater rate of decrease in CL in the first half leads to a drop in the ratio CL/CH from around 2.0 to 1.7, thereafter it decreases only slightly until the preserved end of the tail, where the ratio is about 1.6 (Fig. 6). If CH is biased to higher values posteriorly in the tail (see above), then it is possible that the true CL/CH ratio flatlines or even rises slightly posteriorly. The particularly high value on vertebra 48 is probably an artefact resulting from a measurement of CH that is much too low (the vertebra in question is located in the 'kink' and so is difficult to measure accurately). HAL, as noted above, rises from 15.2 mm to 20.9 mm from the first to tenth preserved caudal; thereafter, it decreases at a regular and increasing rate until the posterior end, where HAL is 5.5 mm.

Estimates of the ratio of centrum length dorsally to centrum length ventrally are noisy but do not show a sustained positive departure from 1 at any point in the preserved column (data not shown). In fact, there may be a tendency for the ratio to decline below 1 in the distal third of the preserved column (i.e., ventral centrum length exceeds dorsal centrum length). In view of the noise and the difficulty of accurately measuring these embedded vertebrae, we do not accord this apparent decline any special significance. There is in any case no evidence that dorsal centrum length exceeds ventral centrum length in the preserved column, i.e., the vertebrae were nowhere 'wedged'.

#### Taphonomy

The earliest Turonian maximum flooding corresponds to the *Watinoceras* bed at DIMAC. This bed represents the uppermost thick, organic-rich horizon of the Hesseltal Formation in the DIMAC quarry (Richardt 2010); the 2-cm-thick slab, on which WMNM P64161 is preserved, is finely laminated and shows no clear evidence of bioturbation on fresh breaks. Several partially preserved bivalves are associated with WMNM P64161 and occur nearly on the same bedding plane. One is next to the middle section of the vertebral column (Fig. 4a), whereas the other is found sub- or superjacent to the proximal preserved end of the column (Figs 4a, 7). They are classified as *Mytiloides* sp., an inoceramid genus typically found in uppermost Cenomanian and Turonian strata (cf. Tröger 2009). The specimens are close to *Mytiloides hattinii* Elder, 1991, an index form characterising the Cenomanian–Turonian boundary interval (Kennedy et al. 2000; see Kaplan [2011] on problematical specific



**Figure 7:** *Mytiloides* sp., preserved in nearly the same bedding plane as WMNM P64161.

differentiation of different *Mytiloides* species at the DIMAC quarry). While bioturbation in other parts of the *Watinoceras* bed suggest that oxic conditions were sufficient at times to support a benthos of some kind, the finely laminated character of the slab, on which WMNM P64161 is preserved, and the absence of benthic taxa other than inoceramids, which are known to have tolerated low-oxygen conditions (Hilbrecht & Dahmer 1991; MacLeod & Hoppe 1992; Ifrim et al. 2008), suggest that a benthos was largely lacking at the time the specimen was embedded. There is also a large ganoid scale, about 10 mm in diameter, on the bedding plane (Fig. 4a, s), indicating that a nekton was present apart from ammonites and the specimen in question.

Of the 61 vertebrae comprising the specimen, 60 are largely articulated (Fig. 4d, e). The cranial end of the articulated portion of the tail is located at a crack, caused by the rock fragmentation procedure at the quarry. The laterally contiguous rock sample was recovered. It contains no further articulated vertebrae, but only an isolated one (Fig. 4a, v), thus suggesting that the specimen was indeed an isolated tail that came to rest on the sea floor. The articulated portion consists of a proximal and a distal section separated by a kink. The proximal section comprises 45 vertebrae. Posteriorly, this line is interrupted by five more or less displaced vertebrae, which lead to the distal articulated section, consisting of nine fully articulated vertebrae. This distal section is rotated 180° around the longitudinal axis and folded forward about 120° over the top of the proximal articulated section. The tip of the tail was not recovered; the specimen ends at a crack without further fitting pieces.

Major disarticulations affecting the specimen are restricted to its terminal ends. Whereas the main section of articulated vertebrae lies in a straight line, the distal

section with the lower mass was rotated and folded. The five anterior-most vertebrae turn slightly dorsally ( $< 30^\circ$ ) with respect to the main axis of the column. The isolated vertebra is separated from the rest of the tail by about 9 cm and also apparently located out of line with the main axis.

The articulation of the specimen, such as it is, must be original. The separation of the tail from the rest of the body, and of the isolation of the proximal vertebra from the rest of the tail, occurred either (1) prior to embedding or (2) subsequent to it. Under the first hypothesis, the minor disarticulation was enabled by decomposition of the soft-tissue and occurred prior to or during settling onto the seafloor. Considering the generally stagnant depositional environment, this hypothesis appears on its face to be more plausible. With regard to the second hypothesis, the absence of evidence of bioturbation in the immediate vicinity of the specimen makes bioturbation an unlikely explanation for the separation of the body, even if bioturbators could selectively move the body. However, without a more detailed study, it is not possible to exclude the possibility that a scavenger may have entered the low-oxygen zone and caused this separation.

## Discussion

### *Systematic position of the DIMAC quarry mosasauroians*

**Early Turonian-aged WMNM P64161:** The interpretation of some characters of WMNM P64161 could depend on what fraction of the tail the specimen represents, and unfortunately this must remain inconclusive. The known number of intermediate caudal vertebrae (9) is relatively low and therefore might suggest, by comparison with other mosasauroians, that a significant portion of the tail ( $\geq 20$  vertebrae) is missing. Namely, numerous mosasauroians have a high number (c. 25 or more) of intermediate vertebrae:  $\geq 32$  in a referred specimen of the dolichosaurid *Dolichosaurus longicollis* Owen, 1851 (Caldwell 2000), c. 26 in a referred specimen of the dolichosaurid *Adriosaurus suessii* Seeley, 1881 (Lee & Caldwell 2000), 28 in a specimen of the mosasaur *Platecarpus tympaniticus* Cope, 1869b (Konishi et al. 2012), and c. 24 in the mosasaur *Eonatator sternbergii* (Wiman, 1920) (Bardet & Pereda Suberbiola 2001; personal observation KTS, June 2004). In addition to these potentially missing intermediate caudals, there would be at least 1–2 pygals, the primitive number for Mosasauria (Smith & Buchy 2008). Furthermore, in other mosasaurs, a large number of pygals is found instead of intermediates – e.g., 28–37 in *Plotosaurus bennisonii* (Camp, 1942) (Lindgren et al. 2007) – so that the combined number of pygals and intermediates

is not very different from the aforementioned taxa. On the other hand, some basal mosasauroians have fewer intermediates (and a primitively low number of 1–2 pygals): 22 intermediates in the dolichosaurid *Aphanizocnemus libanensis* dal Sasso et Pinna, 1997 (dal Sasso & Pinna 1997), a mere eight in *Pontosaurus kornhuberi* Caldwell, 2006 (cf. Caldwell & dal Sasso 2004), and 14 in the basal mosasauroid *Vallecillosaurus donrobertoi* Smith et Buchy, 2008 (Smith & Buchy 2008).

Furthermore, there is no clear difference in the orientation or morphology of the anterior-most transverse processes that would provide more information (Etheridge 1967). Finally, HAL does not provide much guidance. HAL peaks around the 10<sup>th</sup> caudal of the articulated series in WMNM P64161 (Fig. 6). But whereas HAL peaks around the 20<sup>th</sup> (absolute) caudal in *Vallecillosaurus donrobertoi* (Smith & Buchy 2008), it decreases monotonically from the 1<sup>st</sup> caudal in *Pontosaurus kornhuberi* (based on Caldwell 2006: fig. 8). In other primitive mosasauroians, the tail is incomplete, the hemal arches obscured by the centra, or the character has not been examined in detail, so that the primitive state for Mosasauria or Mosasauroidae is uncertain. Therefore, whether few or many caudal vertebrae are missing in WMNM P64161 remains unknown.

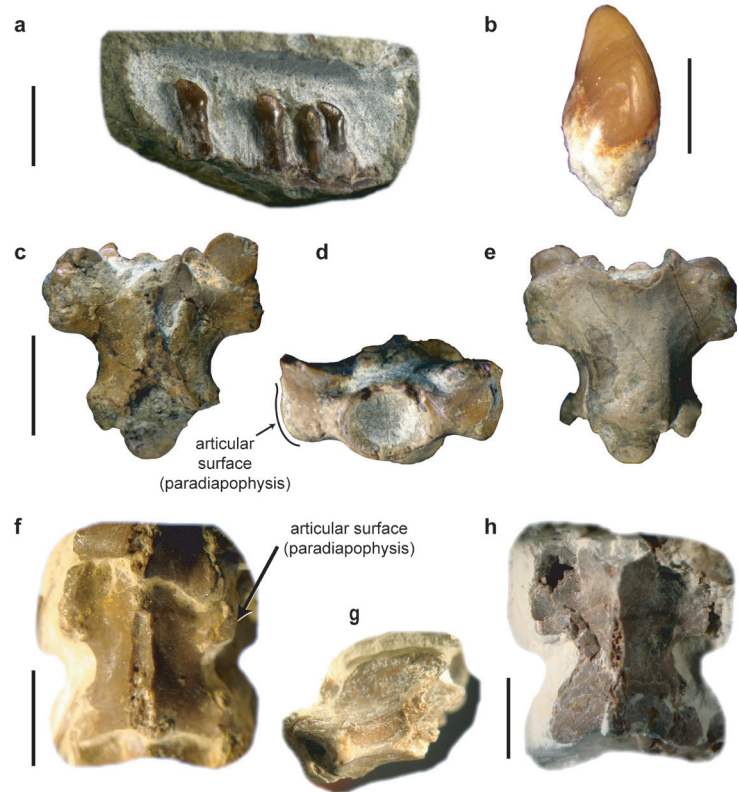
Still, a number of phylogenetically relevant characters are present. Several features of WMNM P64161 are considered synapomorphies of Mosasauria, such as the vertical intervertebral articulations, the elongate, posteriorly inclined neural and hemal arches, and the reduced postzygapophyses in the distal part of the tail (e.g., deBraga & Carroll 1993; Smith & Buchy 2008).

Further characters suggest that WMNM P64161 pertains to Mosasauroidae, the stem-based clade, according to Madzia and Cau (2017), encompassing taxa formerly assigned to Aigialosauridae and Mosasauridae. First, the ratio of neural spine length to length of the appertaining vertebral centrum ranges consistently between 1.6 and 1.7 over much of the tail. This value is intermediate between the value for basal mosasauroids like *Opetiosaurus buccichii* Kornhuber, 1901 and *Vallecillosaurus donrobertoi* (c. 1.9) and that for dolichosaurs like *Adriosaurus suessii* and *Pontosaurus kornhuberi* (c. 1.5–1.6), though closer to the latter (Smith & Buchy 2008). Second, the neural spines are broad, especially distally in the tail, compared with the length of the appertaining centra. While the neural spines can be very broad proximally in Dolichosauridae (e.g., *Pontosaurus kornhuberi*), they are distally narrow. The ratio of neural spine length (measured just below and perpendicular to the distal end of the neural spine) to centrum length is: 0.27 on the 50<sup>th</sup> caudal in *Pontosaurus kornhuberi*, 0.16 on the 53<sup>rd</sup> caudal in *Aphanizocnemus libanensis*,  $< 0.3$  on



**Figure 8:** Comparison of previously described dolichosaur material from the DIMAC quarry with dolichosaur type material.

**a** WMNM P19913, left dentary referred to *Coniasaurus crassidens*. Scale: 5 mm. **b** WMNM P22141, isolated tooth referred to *Coniasaurus crassidens* in mesial view. Scale: 1 mm. **c–e** WMNM P21960, dorsal vertebra referred to *Dolichosaurus longicollis* in dorsal, anterior, and ventral views, respectively. Scale: 5 mm. **f** Dorsal vertebra of type specimen, BMNH 49002, of *Dolichosaurus longicollis* in dorsal view. Scale: 5 mm. **g** Dorsal vertebra of type specimen, BMNH 44141, of *Coniasaurus gracilodens* in left lateral view. **h** Dorsal vertebra of type specimen, BMB 7155, of *Coniasaurus crassidens* in dorsal view. Scale bars: 5 mm.



the 53<sup>rd</sup> caudal in *Adriosaurus suessii*, <0.4 on the first vertebrae of the distal articulated tail in *Opetiosaurus buccichii*, and 0.39 on the 51<sup>st</sup> caudal in *Vallecillosaurus donrobertoi*. In contrast, the ratio is consistently 0.67–0.69 from the 20<sup>th</sup> to 50<sup>th</sup> preserved caudal in WMNM P64161, a higher ratio it shares with many mosasaurs: e.g., 0.70 on the 35<sup>th</sup> caudal in *Eonatator sternbergii* (KTS pers. obs.), c. 0.5 in the distal tail of *Halisaurus arambourgii* Bardet, Pereda Suberbiola, Iarochene, Bouya et Amaghazaz, 2005 (Polcyn et al. 2012), c. 0.7 in the distal tail of *Prognathodon* sp. (Lindgren et al. 2013), and c. 0.9 in *Platecarpus tympaniticus* (Konishi et al. 2012). Third, the ‘angling’, or shift in orientation, of the neural spines at mid-height in the distal part of WMNM P64161, while subdued, is reminiscent of the more significant shift seen in the fluke in some advanced mosasaurs (Lindgren et al. 2011a). The flat distal end of the neural spine becomes nearly horizontal. This angling is effectively absent in the dolichosaurids *Pontosaurus kornhuberi*, *Aphanizocnemus libanensis* and *Adriosaurus suessii* and in the basal mosasauroids *Opetiosaurus buccichii* and *Vallecillosaurus donrobertoi*, suggesting the possibility that WMNM P64161 comes from an animal closer to traditional mosasaurs than aigialosaurs.

In summary, there is sufficient evidence to refer WMNM P64161 to ‘Mosasauroida indet.’ Clearly, more complete material will be necessary before a firmer phylogenetic conclusion can be drawn. It may be worth noting that of the major mosasaur lineages that were probably present in the Turonian, the mosasaurines and

halisaurines have fused hemal arches (a derived feature), whereas members of Russellosaurina, like WMNM P64161, do not (a primitive feature).

#### Previously described late Cenomanian dolichosaurs:

Thus far only two aquatic squamate taxa have been reported (Diedrich 1997, 1999) from the DIMAC quarry: *Coniasaurus crassidens* Owen, 1851 and *Dolichosaurus longicollis*, both named based on specimens from the English Chalk. The former is represented by an isolated left dentary fragment with four teeth, WMNM P19913 (Fig. 8a), and an isolated tooth, WMNM P22141 (Fig. 8b), both found in different scour-marks at the base of the *plenus* bed in the lower part of the Hesseltal Formation (Diedrich 1999); the latter by an isolated dorsal vertebra lacking the neural spine, WMNM P21960 (Fig. 8c–e). In the case of the dentigerous specimens, the tooth morphology is highly distinctive. The teeth are bulbous with a mesiodistally expanded crown that rises distally to a blunt, posteriorly directed apex, and the lingual surface is heavily striated (Diedrich 1999). These features form part of the diagnosis of *Coniasaurus crassidens* (Caldwell and Cooper, 1999); the lack of a labial sulcus on the isolated tooth might raise questions about the identity, but the morphology appears consistent with variation seen in the type series (Owen 1851; personal observation KTS, May 2013; Caldwell & Cooper 1999). Thus, reference to *Coniasaurus crassidens* is well supported.

In the case of the vertebra of WMNM P21960, assignment was supported solely by biogeography (since only

*Coniasaurus* and *Dolichosaurus* had been described so far to the north) and general morphological resemblance, without a detailed comparison of the vertebrae of *Coniasaurus crassidens* or *Dolichosaurus dorsalis* (Diedrich 1999). Personal observation (KTS, May 2013) of the type material of both species suggests that the vertebrae of *Dolichosaurus dorsalis* show some distinctive features. The paradiapophysis on nearly all preserved dorsal vertebrae of the holotype, BMNH 49002, is particularly dorsoventrally elongate. This leads to a squaring of the anterolateral corner of the vertebrae (Fig. 8f), a feature found also in dorsal vertebrae of the holotype of *Coniasaurus crassidens*, BMB 7155 (Fig. 8h). In BMNH 49002, however, the paradiapophysis, including its articular surface, is expanded above the level of the interzygapophyseal ridge onto the dorsal surface of the neural arch (Fig. 8f); the functional significance of this highly unusual feature is unknown, but it appears to be absent in BMB 7155 and in the holotype of *Coniasaurus gracilodens* Caldwell, 1999, BMNH 44141 (Fig. 8g). The absence of this apparent autapomorphy in WMNM P21960 suggests that reference to *Dolichosaurus dorsalis* may be incorrect, but a firm identification will have to be based on more complete material. It is notable that the only cranial material from the same horizon as the vertebra is referable to *Coniasaurus crassidens* (see above).

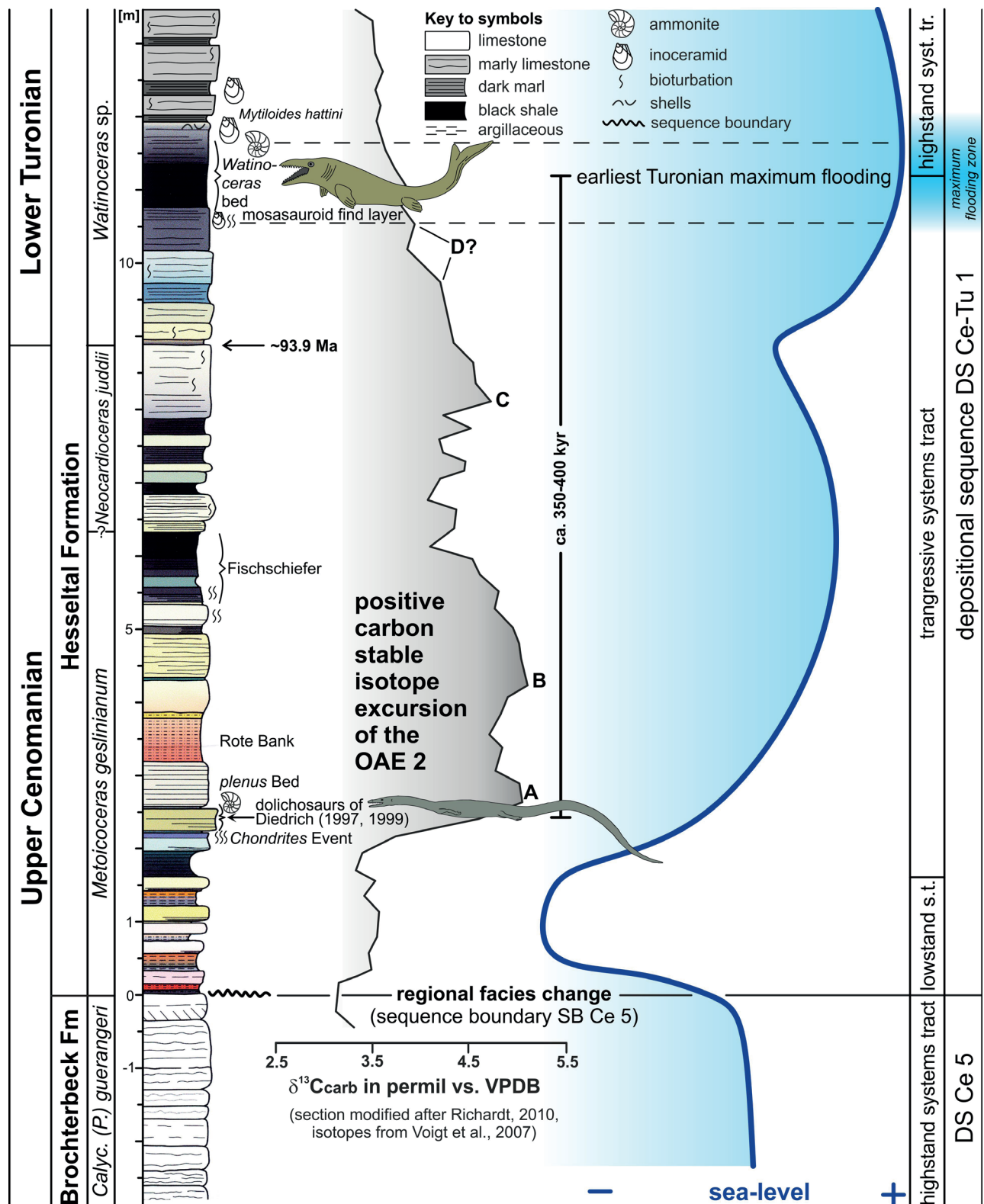
#### Palaeoecology

**Palaeoenvironment and palaeoautecology:** Mosasaurians were secondarily aquatic tetrapods, and the general open-marine environment represented by the DIMAC quarry is consistent with this. The dolichosaur material described earlier from this quarry derives from scours at a condensation horizon coincident with the so-called ‘*Puzosia* event’ near the base of the Hesseltal Formation, below the *plenus* Bed (Diedrich 1997, 1999, 2001) (Fig. 9). This horizon may represent a short-lived regressive phase, where bioturbation was abundant and fossil remains were concentrated by currents in scours (Diedrich 1997, 1999; Richardt 2010). However, Richardt (2010) did not recognise the *Puzosia* event identified by Diedrich (1997, 1999, 2001), and the stratigraphic interval belongs in general to the initial phase of a major transgression (the *plenus* transgression of authors, early transgressive systems tract of depositional sequence DS Ce-Tu 1; see Fig. 9). A sea-level fall occurred somewhat earlier, evidenced by the conspicuous facies change at the boundary of the Brochterbeck and Hesseltal formations (sequence boundary SB Ce 5; see Janetschke et al. [2015] for details on the regional early Late Cretaceous sequence stratigraphy). However, even during this short-lived phase of falling and low sea-level, the shoreline

was many tens of kilometres away (e.g., Hiß 1982), and the finds of Diedrich (1997, 1999) derive anyways from the lower part of the succeeding transgressive interval (Fig. 9).

In contrast, WMNM P64161 derives from dark marls of early Turonian age, specifically from the *Watinoceros* bed (Fig. 9). The latest Cenomanian–early Turonian transgression proceeded stepwise (Richardt et al. 2013) and, at the DIMAC quarry, a first intermittent maximum is reflected by the thick black shales of the Fischechiefer in the uppermost Cenomanian (Fig. 9). After a brief intermittent halt of transgression in the Cenomanian–Turonian boundary interval, sea-level rise accelerated into the earliest Turonian, culminating in the earliest Turonian maximum flooding, a global event. At DIMAC, this maximum flooding corresponds to the *Watinoceros* bed and thus the greatest distality during depositional sequence DS Ce-Tu 1 at DIMAC, with water depth and distance to the nearest shoreline certainly exceeding 100 m and 100 km, respectively. Ocean currents have not, to our knowledge, been studied in detail in the vicinity of the Teutoburg Forest. However, the coupled global climate model of Trabucho Alexandre et al. (2010) for the latest Cenomanian produced southward and south-westward sea-surface currents in the MCB of <10 cm/s. A south-westward palaeo-circulation for north-western Europe during the Cenomanian–Turonian boundary interval has also been reconstructed by Du Vivier et al. (2014). These currents were then moving toward the nearest shoreline, i.e. the Rhenish Massif, not away from it. The next closest subaerial exposures were thus on the Fennoscandian Shield, well over 500 km to the north-northeast.

It is noteworthy that the skeletal elements assigned to *Coniasaurus* and *Dolichosaurus* (Diedrich 1997, 1999) are isolated bones, whereas WMNM P64161 is a partial skeleton. The kind of transport that Diedrich (1997, 1999) envisaged for the former evidently did not occur with the latter, which is consistent with the different sequence stratigraphic positions of the layers in which they were found: current-swept early transgressive systems tract for the disarticulated elements and undisturbed maximum flooding conditions for the articulated specimen described herein. With regard to aquatic adaptations, the most conservative of the two taphonomic hypotheses above is that the tail of WMNM P64161 was lost by a decomposing, floating carcass and that the animal that bore it did not die immediately above the seafloor where it was emplaced. If we assume that the carcass was transported from a near-shore environment of the southern Fennoscandian Shield 500 km away and that a sustained ocean current of 10 cm/s obtained, it would have taken the carcass 57.9 days to reach the position of the DIMAC quarry. In the experiments of Richter and Wuttke (2012),



**Figure 9:** Section of the stratigraphic interval yielding the mosasauroid fossil (modified after Richardt 2010) including carbon stable isotopes (cf. Voigt et al. 2007) and eurybatic sea-level curve. Cenomanian-Turonian boundary age after Ogg & Hinnov (2012); the age difference between the two layers yielding mosasaurians is ca. 350–400 kyr according to the cyclostratigraphic model of Oceanic Anoxic Event (OAE) 2 by Voigt et al. (2008a).



who studied the disarticulation sequence in an immersed carcass of the spiny-tailed iguanid lizard *Oplurus cuvieri* (Gray, 1831), disarticulation was first found in the snout and middle of the tail (after the 8<sup>th</sup> caudal vertebra); the skeleton was almost completely disarticulated after 56 days, with only some of the appendicular elements (particularly hands and feet, and a few vertebrae) remaining in articulation. It is therefore highly implausible that the articulated tail came from so far. Thus, the animal represented by WMNM P64161 must have died at open sea and can be regarded as an open-water dweller. Ifrim et al. (2008) gave similar calculations in support of their hypothesis that the articulated mosasauroids of Vallecillo, Mexico, were open-water rather than near-shore dwellers.

To summarise, in case of the DIMAC specimens referred to *Coniasaurus* and *Dolichosaurus*, the circumstances may indicate that the isolated vertebra and dentigerous material derived from animals that may have died far from the present-day quarry and were carried thither by bottom currents associated with the sea-level fluctuations following the mid-late Cenomanian sequence boundary SB Ce 5. The partial skeleton described here, in contrast, represents an animal that died, and presumably lived, much closer to it and was buried parautochthonously. This, in turn, would be consistent with a significant enhancement of the swimming abilities of this mosasauroid in comparison with Dolichosauridae, which have been considered denizens of near-shore (Caldwell & Cooper 1999; Jacobs et al. 2005), crevice-filled, possibly reefal environments (Caldwell 1999), similar to some extant sea-snakes (Caldwell 2000). It may be speculated that the environmental pressure exerted by the major transgressions during the latest Cenomanian-early Turonian helped to precipitate the extinction of the dolichosaurs and the adaptive radiation of Mosasauroida.

**Swimming capabilities in marine reptiles:** Among aquatic vertebrates, there are substantial differences in the mode of locomotion that influence the ability of an animal to catch prey, amongst other things. As characterised by Massare (1988), these modes form a progression, in which the proportion of the body used to generate thrust or propulsion, is increasingly limited to the tail: anguilliform (or axial undulatory), in which propulsive waves pass through most of the body, the amplitude increasing posteriorly; subcarangiform (or axial subundulatory), in which the anterior part of the body is held stiff; carangiform (or axial suboscillatory), in which only the hind third of the body experiences undulation; and thunniform (or axial oscillatory), in which only the tail and its peduncle are moved.

Massare's (1988) study of body shape and drag concluded that mosasaurs were only capable of relatively low sustained swimming velocities – lower than ichthyosaurs and plesiosaurs, and considerably lower than extant cetaceans. Massare (1988) assumed an axial undulatory mode of locomotion for them, but sensitivity tests showed that the results were not particularly dependent on this point. In combination with the relatively long, presumably flexible bodies, a presumably deep caudal peduncle, and large, low aspect ratio tail, Massare (1988) concluded that mosasaurs were more likely optimised for transient or burst swimming, rather than for sustained swimming. Thus mosasaurs would have been ambush predators rather than roaming hunters.

Aspects of Massare's (1988) quantitative model were improved by Motani (2002), who, nevertheless, found that the mosasaur *Platecarpus* was significantly slower than ichthyosaurs. More recent specimen-based work has also questioned the conclusion that mosasaurs were anguilliform or subcarangiform. First, palaeopathological work has suggested that the highest stress induced by locomotion was concentrated in the proximal part of the tail (Mulder 2001). In particular, a number of specimens of the plioplatecarpine mosasaur *Plioplatecarpus marshalli* Dollo, 1882 show ligamentous ossification (also called diffuse idiopathic skeletal hyperostosis) of the pygal vertebrae, in this case fusion of adjacent centra by bony overgrowths that do not distort the internal structure of the vertebrae, unlike hyperostosis due to infection. Similar observations have been made in extant whales (Mulder 2001). In and of itself, this may not be surprising, since wave amplitude increases posteriorly in the body (see above). But an additional palaeopathological study of *Platecarpus* and *Tylosaurus* found common evidence in these taxa of decompression syndrome, which would result from returning to the surface from deep dives (Rothschild & Martin 1987). A movement from shallow to deep to shallow water again is suggestive of more sustained swimming capabilities.

More recently, extensive studies of exceptionally preserved mosasaur specimens have revealed new details about the anatomy and aquatic adaptations of mosasaurs. The scales of many mosasaurs, such as *Tylosaurus proriger* (Snow 1878), *Ectenosaurus clidastoides* Merriam, 1894 (Lindgren et al. 2011b), *Plotosaurus bennisonii* (Lindgren et al. 2009) and possibly the dolichosaur *Pontosaurus kornhuberi* (Caldwell 2006), were provided with longitudinal keels. These are apparently absent in the primitive mosasauroids *Vallecillosaurus donrobertoi* (Smith & Buchy 2008) and *Aigialosaurus dalmaticus* Gorjanović-Kramberger, 1892 (Gorjanović-Kramberger 1892) and may have reduced pressure drag (Lindgren et al. 2009; Palmer & Young 2015). The

dermis on the body of *Ectenosaurus clidastoides* was provided with superimposed, cross-woven layers of helical fibres, thought to reduce surface deformation and therefore frictional drag (Lindgren et al. 2011b). Finally, mosasaurs apparently possessed a semilunate, hypocercal caudal fluke, the vertebral column bending downward to support the ventral lobe. This conclusion is supported by the dimensions of the individual vertebrae in the vicinity of the peduncle (Osborn 1899; Wiman 1920) or terminal vertebrae, which are longer dorsally than ventrally, or 'wedged' in the terminology of Lindgren et al. (2007). Presumably, a fleshy dorsal lobe complemented the ventral lobe dorsally (Lindgren et al. 2011a, 2011b). Moreover, the orientation of the hemal arches in taxa where these are fused has suggested that the peduncle was reduced in dimensions in comparison with the proximal part of the tail. The vertebral proportions, in particular the CL/CH ratios, are similar to those of carangiform swimmers like certain sharks (Lindgren et al. 2011a, 2011b). A specimen of *Prognathodon* with exceptional soft-tissue preservation decisively demonstrated these inferences (Lindgren et al. 2013).

A resolution of these partly contradictory results is wanting. One model parameter worth emphasising in this context is metabolic rate (Motani 2002). Energy can be used for growth, maintenance, reproductive investment, and movement (work). Massare (1988) assumed that mosasaurs, like extant 'reptiles', had a metabolic constant (i.e., the intercept of the mass–metabolic rate power law) in the range of 11.6–29.0. Extant mammals have a metabolic constant an order of magnitude higher (Withers 1992). However, monitor lizards (*Varanus*) have a greater maximum metabolic rate and endurance than other extant lizards (Clemente et al. 2009). Oxygen isotope ratios (Bernard et al. 2010; Harrell et al. 2016) as well as bone tissues in mosasaurine mosasaurs (Houssaye et al. 2013) are furthermore consistent with a higher metabolic rate than previously assumed by Massare (1988) or Motani (2002), although it is worth noting that Motani (2002) excluded a metabolic rate like that of extant reptiles on theoretical grounds. A higher total power output would allow for more energy to be expended on work like sustained (aerobic) swimming. Further work should test the extent to which an increased metabolic rate in Mosasauria might contribute to explain the contradictions of theory and anatomy in that clade.

Morphometrics and palaeoautecology: Lindgren et al. (2007) proposed a four-part functional division of the tail in mosasaurs. From proximal to distal, these are: the tail stock or base, corresponding to the pygal vertebrae, which possess transverse processes but lack hemal arches

(Russell 1967); a displacement unit, corresponding to most of the intermediate caudal vertebrae; a peduncle, comprising the last few intermediate caudals; and a fluke, corresponding to the terminal caudals. A shifting in the orientation of the neural and hemal spines is associated with the caudal peduncle (Lindgren et al. 2011a). While any shift in orientation of the hemal spines could not be recognised clearly in WMNM P64161 due to the fact that they are not fused to the centra, there is only a slight indication in the morphology of the neural spines for any regional differentiation in function. In this respect, WMNM P64161 appears similar to the tail of primitive mosasauroids rather than mosasaurs of traditional aspect. In particular, in WMNM P64161 as in 'aigialosaurs', the number of intermediate caudal vertebrae, while probably exceeding the number of pygals, is also probably much lower than the number of terminal caudals.

The tail in WMNM P64161 shows some transformation toward a mosasaur pattern of vertebral proportions, with a decreasing CL/CH ratio in the proximal half and then a stable (or possibly increasing) ratio in the distal half, but the absolute values are considerably higher (because the individual vertebrae are relatively longer) and thus more primitive (deBraga & Carroll 1993) than in the mosasaurs and extant carangiform swimmers studied by Lindgren et al. (2011a, b). Additionally, CW/CH ratios tend to rise near the caudal peduncle in mosasaurine mosasaurs and may play an important role in stabilising the vertebral column during fluke excursion (Lindgren et al. 2011a). In view of the absence for any evidence of a caudal peduncle, we expect that these ratios, when studied in WMNM P64161, will not show the mosasaurine pattern.

The elongated, posteriorly inclined neural spines in WMNM P64161 are consistent with an increased lateral profile of the tail that would contribute to greater propulsion. Soft-tissue preservation in the primitive mosasauroid *Vallecilloisaurus donrobertoi* suggests that the dorsal caudal fin was more extensive than the ventral fin (Smith & Buchy 2008), potentially an intermediate state in the evolution of a typical hypocercal caudal fluke in mosasaurs (Lindgren et al. 2011a). There is no evidence of vertebral 'wedging' in the preserved caudal skeleton of WMNM P64161, suggesting that a well-developed caudal fluke was absent. Without soft-tissue preservation, it is impossible to make definite statements about the shape of the tail in the animal to which WMNM P64161 belonged. However, available evidence suggests some adaptation away from the primitive anguilliform mode of locomotion presumably used by the facultatively aquatic ancestors of Mosasauria, although a carangiform or thunniform mode associated with a semilunate caudal fluke can safely be excluded for WMNM P64161.

## Conclusion

WMNM P64161 is too incomplete to permit a firm taxonomic identification, yet it is clearly referable to Mosasauria and probably to Mosasauroidae. Furthermore, its age places it at the beginning of the mosasauroid radiation, which is marked by an increase in body size, improved swimming capabilities and dispersal to large parts of the world. The vertebral proportions of WMNM P64161 imply adaptation away from the primitive mode of locomotion in aquatic squamates, anguilliform swimming, and in the direction of animals that could sustain high rates of swimming. It is noteworthy, furthermore, that this articulated specimen became emplaced on the sea-floor in fine-grained offshore facies at least 100 km from the shore. This, in turn, suggests it lived and died far from shore, which is consistent with the improved swimming capabilities suggested by the vertebral proportions. While there is no evidence for a caudal peduncle or well-developed hypocercal tail in WMNM P64161, the animal was apparently more advanced than the dolichosaurs previously described from slightly older Cenomanian horizons in same quarry. Regardless, the find highlights the potential for discoveries in the DIMAC quarry to shed light on this seminal time in mosasaurian evolution.

## Acknowledgements

We thank Marco Castens for reporting the discovered specimen, bringing it to the attention of LWL-Museum of Natural History Münster, and availability for several questions. Manfred Schlösser (WMNM) prepared the specimen. Anika Vogel (Senckenberg/Frankfurt) and Chris Steinweg (WMNM) prepared the photographs. Sabine Köster (Senckenberg/Frankfurt) helped preparing Figure 4. We thank Michael Caldwell for discussion and Mike Polcyn and Martin Sander for their constructive reviews, which greatly improved the manuscript. KTS received funding through SYNTHESYS (GB-TAF-3113), which was made available by the European Community Research Infrastructure Action under the FP7 'Structuring the European Research Area' Programme.

## References

- Averianov, A. O. 2001: The first find of a dolichosaur (Squamata, Dolichosauridae) in central Asia. – *Paleontological Journal* 35: 525-527.
- Bardet, N. 1994: Extinction events among Mesozoic marine reptiles. – *Historical Biology* 7: 313-324.
- Bardet, N. & Pereda Suberbiola, X. 2001: The basal mosasaurid *Halisaurus sternbergii* from the Late Cretaceous of Kansas (North America): a review of the Uppsala type specimen. – *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, Série IIA* 332: 395-402.
- Bardet, N., Pereda Suberbiola, X., Iarochene, M., Bouya, B. & Amaghazaz, M. 2005: A new species of *Halisaurus* from the Late Cretaceous phosphates of Morocco, and the phylogenetical relationships of the Halisaurinae (Squamata: Mosasauridae). – *Zoological Journal of the Linnean Society* 143: 447-472.
- Bardet, N., Pereda Suberbiola, X. & Jalil, N.-E. 2003: A new mosasauroid (Squamata) from the Late Cretaceous (Turonian) of Morocco. – *Comptes Rendus Palevol* 2: 607-616.
- Bardet, N., Houssaye, A., Rage, J.-C. & Pereda Suberbiola, X. 2008: The Cenomanian-Turonian (late Cretaceous) radiation of marine squamates (Reptilia): the role of the Mediterranean Tethys. – *Bulletin de la Société Géologique de France* 179: 605-622.
- Bell, B. A., Murry, P. A. & Osten, L. W. 1982: *Coniasaurus* Owen, 1850 from North America. – *Journal of Paleontology* 56: 520-524.
- Bell, G. L. & VonLoh, J. P. 1998: New records of Turonian mosasauroids from the western United States. – *Dakoterra* 5: 15-28.
- Bell, G. L. & Polcyn, M. J. 2005: *Dallasaurus turneri*, a new primitive mosasauroid from the Middle Turonian of Texas and comments on the phylogeny of Mosasauridae (Squamata). – *Netherlands Journal of Geosciences (Geologie en Mijnbouw)* 84: 177-194.
- Benson, R. B. J., Butler, R. J., Lindgren, J. & Smith, A. S. 2009: Mesozoic marine tetrapod diversity: mass extinctions and temporal heterogeneity in geological megabiases affecting vertebrates. – *Proceedings of the Royal Society of London, Series B* 277: 829-834.
- Berensmeier, M., Dölling, B., Frijia, G. & Wilmsen, M. 2018: Facies analysis of proximal upper Cretaceous deposits in the southwestern Münsterland Cretaceous Basin (northwest Germany). – *Cretaceous Research* 87: 241-260.
- Bernard, A., Lécuyer, C., Vincent, P., Amiot, R., Bardet, N., Buffetaut, E., Cuny, G., Fourel, F., Martineau, F., Mazin, J.-M. & Prieur, A. 2010: Regulation of body temperature by some Mesozoic reptiles. – *Science* 328: 1379-1382.
- Branner, J. C. 1890: The Cretaceous and Tertiary geology of the Sergipe-Alagoas Basin of Brazil. – *Transactions of the American Philosophical Society* 16: 369-434.
- Buchy, M.-C. & Smith, K. T. 2011. New portions of the holotype of *Vallecillosaurus donrobertoi* (Squamata, Mosasauroidae) from the early Turonian (Upper Cretaceous) of Mexico. In: Calvo, J., Porfiri, J., González Riga, B. & Dos Santos, D., (eds.) *Paleontología y dinosaurios desde América Latina*, Mendoza, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo: 47-55.
- Caldwell, M. W. 1999: Description and phylogenetic relationships of a new species of *Coniasaurus* Owen, 1850 (Squamata). – *Journal of Vertebrate Paleontology* 19: 438-455.
- Caldwell, M. W. 2000: On the aquatic squamate *Dolichosaurus longicollis* Owen, 1850 (Cenomanian, Upper Cretaceous), and the evolution of elongate necks in squamates. – *Journal of Vertebrate Paleontology* 20: 720-735.
- Caldwell, M. W. 2006: A new species of *Pontosaurus* (Squamata, Pythonomorpha) from the Upper Cretaceous of Lebanon and a phylogenetic analysis of Pythonomorpha. – *Memorie della Società di Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale di Milano* 34: 1-42.
- Caldwell, M. W. & Cooper, J. A. 1999: Redescription, palaeobiogeography and palaeoecology of *Coniasaurus crassidens* Owen, 1850 (Squamata) from the Lower Chalk (Cretaceous; Cenomanian) of SE England. – *Zoological Journal of the Linnean Society* 127: 423-452.



- Caldwell, M. W. & dal Sasso, C. 2004: Soft-tissue preservation in a 95 million year old marine lizard: Form, function, and aquatic adaptation. – *Journal of Vertebrate Paleontology* 24: 980-985.
- Caldwell, M. W. & Palci, A. 2010: A new species of marine ophidomorph lizard, *Adriosaurus skrbinsensis*, from the Upper Cretaceous of Slovenia. – *Journal of Vertebrate Paleontology* 30: 747-755.
- Caldwell, M. W., Carroll, R. L. & Kaiser, H. 1995: The pectoral girdle and forelimb of *Carsosaurus marchesetti* (Aigialosauridae), with a preliminary phylogenetic analysis of mosasauroids and varanoids. – *Journal of Vertebrate Paleontology* 15: 516-531.
- Caldwell, M. W., Konishi, T., Obata, I. & Muramoto, K. 2008: A new species of *Taniwhasaurus* (Mosasauridae, Tylosaurinae) from the upper Santonian-lower Campanian (Upper Cretaceous) of Hokkaido, Japan. – *Journal of Vertebrate Paleontology* 28: 339-348.
- Camp, C. L. 1923: Classification of the lizards. – *Bulletin of the American Museum of Natural History* 48: 289-481.
- Camp, C. L. 1942: California mosasaurs. – *Memoirs of the University of California* 13: 1-68.
- Carroll, R. L. 1988: *Vertebrate Paleontology and Evolution*. New York: W. H. Freeman.
- Cetean, C. G., Balci, R., Kaminski, M. A. & Filipescu, S. 2008: Biostratigraphy of the Cenomanian-Turonian boundary in the eastern Carpathians (Dâmbovița Valley): preliminary observations. – *Studia Universitatis Babeș-Bolyai, Geologia* 53: 11-23.
- Clemente, C. J., Withers, P. C. & Thompson, G. G. 2009: Metabolic rate and endurance capacity in Australian varanid lizards (Squamata: Varanidae: *Varanus*). – *Biological Journal of the Linnean Society* 97: 664-676.
- Conrad, J. L. 2008: Phylogeny and systematics of Squamata (Reptilia) based on morphology. – *Bulletin of the American Museum of Natural History* 310: 1-182.
- Cope, E. D. 1868: [Remarks on *Clidastes iguanavus*, *Nectoporthes validus* and *Elasmosaurus*]. – *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 20: 181.
- Cope, E. D. 1869a: Remarks on *Holops brevispinus*, *Ornithotarsus immanis* and *Macrosaurus proriger*. – *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 21: 123.
- Cope, E. D. 1869b: On the reptilian orders Pythonomorpha and Streptosauria. – *Proceedings of the Boston Society of Natural History* 12: 250-266.
- Cumaba, S. L., Shimada, K. & Cook, T. D. 2010: Mid-Cenomanian vertebrate faunas of the Western Interior Seaway of North America and their evolutionary, paleobiogeographical, and paleoecological implications. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 295: 199-214.
- dal Sasso, C. & Pinna, G. 1997: *Aphanizocnemus libanensis* n. gen. n. sp., a new dolichosaur (Reptilia, Varanoidea) from the Upper Cretaceous of Lebanon. – *Paleontologia Lombarda (Nuova serie)* 7: 1-31.
- dal Sasso, C. & Renesto, S. 1999: Aquatic varanoid reptiles from the Cenomanian (Upper Cretaceous) lithographic limestones of Lebanon. In: Renesto, S., (ed.) *Extended Abstracts, Third International Symposium on Lithographic Limestones, Bergamo, Italy - September 1-5, 1999* (Rivista del Museo Civico di Scienze Naturali "Enrico Caffi" Suppl. 20). Bergamo, Italy: Museo Civico di Scienze Naturali "Enrico Caffi": 63-69.
- deBraga, M. & Carroll, R. L. 1993: The origin of mosasaurs as a model of macroevolutionary patterns and processes. – *Evolutionary Biology* 27: 245-322.
- Diedrich, C. 1997: Ein dentale von *Coniosaurus crassidens* Owen (Varanoidea) aus dem Ober-Cenoman von Halle/Westf. (NW-Deutschland). – *Geologie und Paläontologie in Westfalen* 47: 43-51.
- Diedrich, C. 1999: Ester Nachweis von *Dolichosaurus longicollis* Owen (Varanoidea) aus dem Ober-Cenoman von Halle/Westf. (NW-Deutschland). – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatsheft* 1999: 372-384.
- Diedrich, C. 2001: Die Großeammoniten-Kolktafaphozöosen des *Puzosia*-Event I (Ober-Cenoman) von Halle/Westf. (NW-Deutschland). – *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie* 90: 1-208.
- Dollo, L. 1882: Note sur l'ostéologie des Mosasauridae. – *Bulletin Musée Royal d'Histoire Naturelle Belgique* 1: 55-80.
- Du Vivier, A. D. C., Selby, D., Sageman, B. B., Jarvis, I., Gröcke, D. R. & Voigt, S. 2014: Marine  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  isotope stratigraphy reveals the interaction of volcanism and ocean circulation during Oceanic Anoxic Event 2. – *Earth and Planetary Science Letters* 389: 23-33.
- Eckert, B., Košťák, M., Mazuch, M., Valíček, J., Voigt, S. & Wiese, F. 2001: Short note on new records of late Turonian (Upper Cretaceous) marine reptile remains from the Úpohlavy quarry – *Bulletin of the Czech Geological Survey* 76: 101-106.
- Elder, W. P. 1991: *Mytiloides hattini* n. sp.: A guide fossil for the base of the Turonian in the western interior of North America. – *Journal of Paleontology* 65: 234-241.
- Etheridge, R. 1967: Lizard caudal vertebrae. – *Copeia* 1967: 699-721.
- Evans, S. E., Manabe, M., Noro, M., Isaji, S. & Yamaguchi, M. 2006: A long-bodied lizard from the Lower Cretaceous of Japan. – *Palaeontology* 49: 1143-1165.
- Everhart, M. J. 2002: New data on cranial measurements and body length of the mosasaur, *Tylosaurus nepaeolicus* (Squamata; Mosasauridae), from the Niobrara Formation of Western Kansas. – *Transactions of the Kansas Academy of Science* 105: 33-43.
- Everhart, M. J. 2005: *Oceans of Kansas: A Natural History of the Western Interior Sea*. Bloomington, Indiana: Indiana University Press.
- Fernández, M. & Martín, J. 2009: Description and phylogenetic relationships of *Taniwhasaurus antarcticus* (Mosasauridae, Tylosaurinae) from the upper Campanian (Cretaceous) of Antarctica. – *Cretaceous Research* 30: 717-726.
- Fernández, M. S. & Gasparini, Z. 2012: Campanian and Maastrichtian mosasaurs from Antarctic Peninsula and Patagonia, Argentina. – *Bulletin de la Société Géologique de France* 183: 93-102.
- Fürbringer, M. 1900: Zur vergleichenden Anatomie des Brustschulterapparates und der Schultermuskeln. – *Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft* 34: 215-718.
- Gale, A. S., Jenkins, H. C., Kennedy, W. C. & Corfield, R. M. 1993: Chemostratigraphy versus biostratigraphy: data from around the Cenomanian-Turonian boundary. – *Journal of the Geological Society, London* 150: 29-32.
- Gauthier, J., Kearney, M., Maisano, J. A., Rieppel, O. & Behlke, A. 2012: Assembling the squamate tree of life: Perspectives from the phenotype and the fossil record. – *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History* 53: 3-308.

- Geinitz, H. B. 1871–1875: Das Elbthalgebirge in Sachsen. Erster Teil. Der untere Quader. – *Palaeontographica* 20: 1-319.
- Gervais, M. P. 1853: Observations relatives aux Reptiles fossiles de France (deuxième partie). – *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris 36: 470-474.
- Gorjanović-Kramberger, C. 1892: *Aigialosaurus*, eine neue Eidechse aus den Kreideschiefern der Insel Lesina, mit Rücksicht auf die bereits beschriebenen Lacer-tiden von Comen und Lesina. – *Glasnik hrvatskoga naravoslovnoga društva (Societas historico-naturalis croatica) u Zagrebu* 7: 74-106.
- Gray, J. E. 1831. A synopsis of the species of Class Rep-tilia. In: Griffith, E. & Pidgeon, E., (eds.) The animal kingdom arranged in conformity with its organisation by the Baron Cuvier with additional descriptions of all the species hither named, and of many before noticed, Vol. 9 Part 2, 1-110. London: Whittaker, Treacher and Co.
- Grigor'ev, D. V., Averianov, A. O., Arkhangelsky, M. S., Per-vushov, E. M. & Zozyrev, N. Y. 2009: A mosasaur from the Cenomanian of Russia. – *Paleontological Journal* 43: 311-317.
- Haq, B. U. 2014: Cretaceous eustasy revisited. – *Global and Planetary Change* 113: 44-58.
- Harrell, T. L., Jr., Pérez-Huerta, A. & Suarez, C. A. 2016: Endothermic mosasaurs? Possible thermoregulation of Late Cretaceous mosasaurs (Reptilia, Squamata) indicated by stable oxygen isotopes in fossil bioapatite in comparison with coeval marine fish and pelagic seabirds. – *Palaeontology* 59: 351-363.
- Hector, J. 1874: On the fossil Reptilia of New Zealand. – *Transactions and Proceedings of the New Zealand Institute* 6: 333-358.
- Hilbrecht, H. & Dahmer, D.-D. 1991: Inoceramen aus den Schwarzschiefern des basalen Unterturon (Oberkreide) von Helgoland und Misburg. – *Geologisches Jahrbuch A* 120: 245-269.
- Hiß, M. 1982: Neue Ergebnisse zur Paläogeographie des Cenomans in Westfalen. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatsheft* 1982: 533-546.
- Hiß, M. 1995. Kreide. In: *Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen* (ed.), *Geologie im Münsterland*, 41–63. Krefeld: Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen.
- Hiß, M., Kaplan, U. & Wiese, F. 2010. Hesseltal-Formation; LithoLex online database: <http://www.bgr.bund.de/litholex>, Hannover. Accessed: 11/2017.
- Hiß, M., Mutterlose, J., Niebuhr, B. & Schwerd, K. 2005: Die Kreide in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. – *Newsletters on Stratigraphy* 41: 287-306.
- Houssaye, A., Lindgren, J., Pellegrini, R., Lee, A. H., Germain, D. & Polcyn, M. J. 2013: Microanatomical and histological features in the long bones of mosasaurine mosasaurs (Reptilia, Squamata) – implications for aquatic adaptation and growth rates. – *PLoS One* 8: e76741.
- Ifrim, C., Buchy, M.-C., Smith, K. T. & Giersch, S. 2008. Palaeoenvironment and preliminary description of early Turonian (Late Cretaceous) aquatic squamates from Vallecillo, north-eastern Mexico. In: Everhart, M. J., (ed.) *Proceedings of the Second Mosasaur Meeting (Fort Hays Studies, Special Issue 3)*, 47-62. Hays, Kansas: Sternberg Museum of Natural History.
- Jacobs, L. L., Polcyn, M. J., Taylor, L. H. & Ferguson, K. M. 2005: Sea-surface temperatures and palaeoenvironments of dolichosaurs and early mosasaurs. – *Netherlands Journal of Geosciences (Geologie en Mijnbouw)* 84: 269-281.
- Jacobs, L. L., Mateus, O., Polcyn, M. J., Schulp, A. S., Scotese, C. R., Goswami, A., Ferguson, K. M., Robbins, J. A., Vineyard, D. P. & Buto Neto, A. 2009: Cretaceous paleogeography, paleoclimatology, and amniote biogeography of the low and mid-latitude South Atlantic Ocean. – *Bulletin de la Société Géologique de France* 180: 333-341.
- Janetschke, N., Niebuhr, B. & Wilmsen, M. 2015: Inter-regional sequence stratigraphical synthesis of the Plänerkalk, Elbtal and Danubian Cretaceous groups (Germany): Cenomanian–Turonian correlations around the Mid-European Island. – *Cretaceous Research* 56: 530-549.
- Jenkyns, H. C. 2010: Geochemistry of oceanic anoxic events. – *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 11: Q03004.
- Kaplan, U. 2011: Turonium und Unterconiacium (Oberkreide) im Steinbruch DIMAC bei Halle (Westfalen), Teutoburger Wald (östliches Münsterländer Kreidebecken). – *Geologie und Paläontologie in Westfalen* 81: 75-105.
- Kear, B. P., Ekrt, B., Prokop, J. & Georgalis, G. L. 2014: Turonian marine amniotes from the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. – *Geological Magazine* 151: 183-198.
- Kennedy, W. J., Walaszczyk, I. & Cobban, W. A. 2000: Pueblo, Colorado, USA, candidate Global Boundary Stratotype Section and Point for the base of the Turonian Stage of the Cretaceous, and for the base of the Middle Turonian Substage, with a revision of the Inoceramidae (Bivalvia). – *Acta Geologica Polonica* 50: 295-334.
- Kerr, A. C. 1998: Oceanic plateau formation: a cause of mass extinction and black shale deposition around the Cenomanian-Turonian boundary? – *Journal of the Geological Society, London* 155: 619-626.
- Konishi, T., Lindgren, J., Caldwell, M. W. & Chiappe, L. 2012: *Platecarpus tympaniticus* (Squamata, Mosasauridae): osteology of an exceptionally preserved specimen and its insights into the acquisition of a streamlined body shape in mosasaurs. – *Journal of Vertebrate Paleontology* 32: 1313-1327.
- Kornhuber, A. 1873: Über einen neuen fossilen Saurier aus Lesina. – *Abhandlungen der kaiserlich-königlichen geologischen Reichsanstalt, Wien* 5: 75-90.
- Kornhuber, A. 1893: *Carsosaurus marchesettii*, ein neuer fossiler Lacertilier aus den Kreideschichten des Kars-tes bei Komen. – *Abhandlungen der Kaiserlich-Königlichen geologischen Reichsanstalt, Wien* 17(3): 1-15.
- Kornhuber, A. 1901: *Opetiosaurus Bucchichi*, eine neue fossile Eidechse aus der unteren Kreide von Lesina in Dalmatien. – *Abhandlungen der Kaiserlich-Königlichen geologischen Reichsanstalt, Wien* 17(5): 1-24.
- Lee, M. S. Y. 1997: The phylogeny of varanoid lizards and the affinities of snakes. – *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B* 352: 53-91.
- Lee, M. S. Y. & Caldwell, M. W. 2000: *Adriosaurus* and the affinities of mosasaurs, dolichosaurs, and snakes. – *Journal of Paleontology* 74: 915-937.
- Liggett, G. A., Shimada, K., Bennett, S. C. & Schumacher, B. A. 2005: Cenomanian (Late Cretaceous) reptiles from northwestern Russell County, Kansas. – *PaleoBios* 25: 9-17.
- Lindgren, J. 2004: Stratigraphical distribution of Campanian and Maastrichtian mosasaurs in Sweden – evidence of an intercontinental marine extinction event? – *GFF Journal of the Geological Society of Sweden* 126: 211-229.

- Lindgren, J., Jagt, J. W. M. & Caldwell, M. W. 2007: A fishy mosasaur: the axial skeleton of *Plotosaurus* (Reptilia, Squamata) reassessed. – *Lethaia* 40: 153–160.
- Lindgren, J., Polcyn, M. J. & Young, B. A. 2011a: Landlubbers to leviathans: evolution of swimming in mosasaurine mosasaurs. – *Paleobiology* 37: 445–469.
- Lindgren, J., Everhart, M. J. & Caldwell, M. W. 2011b: Three-dimensionally preserved integument reveals hydrodynamic adaptations in the extinct marine lizard *Ectenosaurus* (Reptilia, Mosasauridae). – *PLoS One* 6: e27343, 5 pp.
- Lindgren, J., Kaddumi, H. F. & Polcyn, M. J. 2013: Soft tissue preservation in a fossil marine lizard with a bilobed tail fin. – *Nature Communications* 4: doi: 10.1038/ncomms3423.
- Lindgren, J., Alwmark, C., Caldwell, M. W. & Fiorillo, A. R. 2009: Skin of the Cretaceous mosasaur *Plotosaurus*: implications for aquatic adaptations in giant marine reptiles. – *Biology Letters* 5: doi:10.1098/rsbl.2009.0097.
- Lingham-Soliar, T. 1994: The mosasaur “*Angolasaurus*” *bocagei* (Reptilia: Mosasauridae) from the Turonian of Angola re-interpreted as the earliest member of the genus *Platecarpus*. – *Paläontologische Zeitschrift* 68: 267–282.
- MacLeod, K. G. & Hoppe, K. A. 1992: Evidence that inoceramid bivalves were benthic and harboured chemosynthetic symbionts. – *Geology* 20: 117–120.
- Madzia, D. & Cau, A. 2017: Inferring ‘weak spots’ in phylogenetic trees: application to mosasauroid nomenclature. – *PeerJ* 5: e3782.
- Makádi, L., Caldwell, M. W. & Ósi, A. 2012: The first freshwater mosasauroid (Upper Cretaceous, Hungary) and a new clade of basal mosasauroids. – *PLoS One* 7: e51781.
- Marsh, O. C. 1880: New characters of mosasauroid reptiles. – *American Journal of Science, Ser. 3* 19: 83–87.
- Massare, J. A. 1988: Swimming capabilities of Mesozoic marine reptiles: implications for method of predation. – *Paleobiology* 14: 187–205.
- Merriam, J. C. 1894: Ueber die Pythonomorphen der Kansas Kreide. – *Palaeontographica* 41: 1–39.
- Meyer, H. v. 1860: *Acteosaurus Tommasinii* aus dem schwarzen Kreide-Schiefer von Comen am Karste. – *Palaeontographica* 7: 223–231.
- Miller, H. W., Jr. 1955: A check-list of the Cretaceous and Tertiary vertebrates of New Jersey. – *Journal of Paleontology* 29: 903–914.
- Motani, R. 2002: Swimming speed estimation of extinct marine reptiles: energetic approach revisited. – *Paleobiology* 28: 251–262.
- Mulder, E. W. A. 2001: Co-ossified vertebrae of mosasaurs and cetaceans: implications for the mode of locomotion of extinct marine reptiles. – *Paleobiology* 27: 724–734.
- Nagrodski, M., Shimada, K. & Schumacher, B. A. 2012: Marine vertebrates from the Hartland Shale (Upper Cretaceous: upper Cenomanian) in southeastern Colorado, USA. – *Cretaceous Research* 37: 76–88.
- Niebuhr, B., Hiß, M., Kaplan, U., Tröger, K.-A., Voigt, S., Voigt, T., Wiese, F. & Wilmsen, M. 2007: Lithostratigraphie der norddeutschen Oberkreide. – *Schriftenreihe der deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften* 55: 1–136.
- Nopcsa, F. B. 1908: Zur Kenntnis der fossilen Eidechsen. – *Beiträge zur Paläontologie und Geologie Österreich-Ungarns* 21: 33–62.
- Ogg, J. G. & Hinnov, L. A. 2012. Cretaceous. In: Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. & Ogg, G. M., (eds.) *The Geologic Time Scale 2012*, Vol. 2, 793–853. Amsterdam: Elsevier.
- Oppel, M. 1811: *Die Ordnungen, Familien, und Gattungen der Reptilien als Prodom einer Naturgeschichte derselben*. Munich: Joseph Lindauer.
- Osborn, H. F. 1899: A complete mosasaur skeleton, osseous and cartilaginous. – *Memoirs of the American Museum of Natural History* 1: 167–188.
- Owen, R. 1851: *Monograph on the Fossil Reptilia of the Cretaceous Formations*, Volume 5. London: The Palaeontographical Society.
- Palci, A., Caldwell, M. W. & Papazzoni, C. A. 2013: A new genus and subfamily of mosasaurs from the Upper Cretaceous of northern Italy. – *Journal of Vertebrate Paleontology* 33: 599–612.
- Palmer, C. & Young, M. T. 2015: Surface drag reduction and flow separation control in pelagic vertebrates, with implications for interpreting scale morphologies in fossil taxa. – *Royal Society Open Science* 2: 140163.
- Paparella, I., Palci, A., Nicosia, U. & Caldwell, M. W. 2018: A new fossil marine lizard with soft tissues from the Late Cretaceous of southern Italy. – *Royal Society Open Science* 5: 172411.
- Páramo-Fonseca, M. E. 2000: *Yaguarasaurus columbianus* (Reptilia, Mosasauridae), a primitive mosasaur from the Turonian (Upper Cretaceous) of Colombia. – *Historical Biology* 14: 121–131.
- Paul, C. R. C., Lamolda, M. A., Mitchell, S. F., Vaziri, M. R., Gorostidi, A. & Marshall, J. D. 1999: The Cenomanian–Turonian boundary at Eastbourne (Sussex, UK): a proposed European reference section. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 150: 83–121.
- Polcyn, M. J. & Bell, G. L. 2005: *Russellosaurus coheni*, n. gen., n. sp., a 92 million-year-old mosasaur from Texas (USA), and the definition of the parafamily Russellosaurina. – *Netherlands Journal of Geosciences (Geologie en Mijnbouw)* 84: 321–334.
- Polcyn, M. J., Tchernov, E. & Jacobs, L. L. 1999. The Cretaceous biogeography of the eastern Mediterranean with a description of a new basal mosasauroid from ‘Ein Yabrud, Israel. In: Tomida, Y., Rich, T. H. & Vickers-Rich, P., (eds.) *Proceedings of the Second Gondwanan Dinosaur Symposium (National Science Museum Monograph 15)*, 259–290. Tokyo: National Science Museum.
- Polcyn, M. J., Tchernov, E. & Jacobs, L. L. 2003: *Haasia-saurus* gen. nov., a new generic name for the basal mosasauroid *Haasia* Polcyn et al., 1999. – *Journal of Vertebrate Paleontology* 23: 476.
- Polcyn, M. J., Bell, G. L., Jr., Shimada, K. & Everhart, M. J. 2008. The oldest North American mosasaurs (Squamata: Mosasauridae) from the Turonian (Upper Cretaceous) of Kansas and Texas with comments on the radiation of major mosasaur clades. In: Everhart, M. J., (ed.) *Proceedings of the Second Mosasaur Meeting (Fort Hays Studies, Special Issue 3)*, 137–155. Hays, Kansas: Sternberg Museum of Natural History.
- Polcyn, M. J., Jacobs, L. L., Araújo, R., Schulp, A. S. & Mateus, O. 2014: Physical drivers of mosasaur evolution. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 400: 17–27.
- Polcyn, M. J., Lindgren, J., Bardet, N., Cornelissen, D., Verding, L. & Schulp, A. S. 2012: Description of new specimens of *Halisaurus arambourgi* Bardet & Pereda Suberbiola, 2005 and the relationships of Halisaurinae. – *Bulletin de la Société Géologique de France* 183: 123–136.



- Rage, J.-C. 1989: Le plus ancien lézard varanoïde de France. – *Bulletin de la Société d'Études scientifiques d'Anjou* 13: 19-26.
- Reeder, T. W., Townsend, T. M., Mulcahy, D. G., Noonan, B. P., Wood, P. L., Jr., Sites, J. W. & Wiens, J. J. 2015: Integrated analyses resolve conflicts over squamate reptile phylogeny and reveal unexpected placements for fossil taxa. – *PLoS One* 10: e0118199.
- Richardt, N. 2010: Das Cenoman im Teutoburger Wald bei Halle/Westfalen (NW-Deutschland): eine integrierte stratigraphisch-sedimentologische, mikrofazielle und geophysikalische Analyse. – *Geologie und Paläontologie in Westfalen* 78: 5-60.
- Richardt, N., Wilmsen, M. & Niebuhr, B. 2013: Late Cenomanian–Early Turonian facies development and sea-level changes in the Bodenwöhrer Senke (Danubian Cretaceous Group, Bavaria, Germany). – *Facies* 59: 803-827.
- Richter, A. & Wuttke, M. 2012: Analysing the taphonomy of Mesozoic lizard aggregates from Uña (Eastern Spain) by X-ray controlled decay experiments. – *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments* 92: 5-28.
- Roemer, F. A. 1841: *Die Versteinerungen des norddeutschen Kreidegebirges*. Hannover: Hahn.
- Romer, A. S. 1956: *Osteology of the Reptiles*. Chicago: University of Chicago Press.
- Rothschild, B. & Martin, L. D. 1987: Avascular necrosis: occurrence in diving Cretaceous mosasaurs. – *Science* 236: 75-78.
- Russell, D. A. 1967: Systematics and morphology of American mosasaurs (Reptilia, Sauria). – *Peabody Museum of Natural History Bulletin* 23: 1-241.
- Sachs, S., Wilmsen, M., Knüppe, J., Hornung, J. J. & Kear, B. P. 2017: Cenomanian-Turonian marine amniote remains from the Saxonian Cretaceous Basin of Germany. – *Geological Magazine* 154: 237-246.
- Sánchez-Villagra, M. R., Brinkmann, W. & Lozán, R. 2008: The Paleozoic and Mesozoic vertebrate record of Venezuela: an overview, summary of previous discoveries and report of a mosasaur from the La Luna Formation (Cretaceous). – *Paläontologische Zeitschrift* 82: 113-124.
- Scanlon, J. D. & Hocknull, S. A. 2008. A dolichosaurid lizard from the latest Albian (mid-Cretaceous) Winton Formation, Queensland, Australia. In: Everhart, M. J., (ed.) *Proceedings of the Second Mosasaur Meeting (Fort Hays Studies, Special Issue 3)*, 131-136. Hays, Kansas: Sternberg Museum of Natural History.
- Schlanger, S. O. & Jenkyns, H. C. 1976: Cretaceous oceanic anoxic events: causes and consequences. – *Geologie en Mijnbouw* 55: 179-184.
- Schlanger, S. O., Arthur, M. A., Jenkyns, H. C. & Scholle, P. A. 1987. The Cenomanian–Turonian Oceanic Anoxic Event. Stratigraphy and distribution of organic carbon-rich beds and the marine  $\delta^{13}\text{C}$ -excursion. In: Brooks, J. & Fleet, A. J., (eds.) *Marine Petroleum Source Rocks* (Geological Society of London Special Publication 26), 371-399. London: Geological Society of London.
- Schulp, A. S. 2005: Feeding the mechanical mosasaur: what did *Carinodens* eat? – *Netherlands Journal of Geosciences (Geologie en Mijnbouw)* 84: 345-357.
- Schumacher, B. A. 2011: A 'woollgari-zone mosasaur' (Squamata; Mosasauridae) from the Carlile Shale (Lower Middle Turonian) of central Kansas and the stratigraphic overlap of early mosasaurs and plesiosaurid plesiosaurs. – *Transactions of the Kansas Academy of Science* 114: 1-14.
- Seeley, H. G. 1881: On remains of a small lizard from the Neocomian rocks of Comén, near Trieste, preserved in the Geological Museum of the University of Vienna. – *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 37: 52-56, pl. IV.
- Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Heward, A. P., Horbury, A. D. & Simmons, M. D. 2001: Arabian Plate sequence stratigraphy. – *Geoscientific Special Publication* 2: 1-371.
- Shimada, K. & Bell, G. L. 2006: *Coniasaurus* Owen, 1850 (Reptilia: Squamata), from the Upper Cretaceous Niobrara Chalk of western Kansas. – *Journal of Paleontology* 80: 589-593.
- Shimada, K. & Ystesund, T. K. 2007: A dolichosaurid lizard, *Coniasaurus* cf. *C. crassidens*, from the Upper Cretaceous Carlile Shale in Russell County, Kansas. – *Transactions of the Kansas Academy of Science* 110: 236-242.
- Shimada, K., Everhart, M. J. & Ewell, K. 2007: A unique reptilian (large dolichosaurid lizard?) tooth from the Upper Cretaceous Niobrara Chalk of western Kansas. – *Transactions of the Kansas Academy of Science* 110: 213-219.
- Shimada, K., Schumacher, B. A., Parkin, J. A. & Palermo, J. M. 2006: Fossil marine vertebrates from the lowermost Greenhorn Limestone (Upper Cretaceous: middle Cenomanian) in southeastern Colorado. – *Paleontological Society Memoir* 63: 1-45.
- Simões, T. R., Caldwell, M. W., Palci, A. & Nydam, R. L. 2017a: Giant taxon-character matrices: quality of character constructions remains critical regardless of size. – *Cladistics* 33: 198-219.
- Simões, T. R., Vemygora, O., Paparella, I., Jimenez-Huidobro, P. & Caldwell, M. W. 2017b: Mosasauroid phylogeny under multiple phylogenetic methods provides new insights on the evolution of aquatic adaptations in the group. – *PLoS One* 12: e0176773.
- Smith, K. T. & Buchy, M.-C. 2008: A new aigialosaur (Squamata: Anguimorpha) with soft tissue remains from the Upper Cretaceous of Nuevo León, Mexico. – *Journal of Vertebrate Paleontology* 28: 85-94.
- Snow, F. H. 1878: On the dermal covering of a mosasauroid reptile. – *Transactions of the Kansas Academy of Science* 6: 54-58.
- Street, H. P. & Caldwell, M. W. 2014: Reassessment of Turonian mosasaur material from the 'Middle Chalk' (England, U.K.), and the status of *Mosasaurus gracilis* Owen, 1849. – *Journal of Vertebrate Paleontology* 34: 1072-1079.
- Strombeck, A. v. 1859: Beitrag zur Kenntnis des Pläners über der Westphälischen Steinkohlenformation. – *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 11: 27-77.
- Trabucho Alexandre, J., Tuenter, E., Henstra, G. A., van der Zwan, K. J., van de Wal, R. S. W., Dijkstra, H. A. & de Boer, P. L. 2010: The mid-Cretaceous North Atlantic nutrient trap: black shales and OAEs. – *Paleoceanography* 25: PA4201.
- Tröger, K.-A. 2009: Katalog oberkretazischer Inoceramen. – *Geologica Saxonica* 55: 1-188.
- Tsikos, H., Jenkyns, H. C., Walsworth-Bell, B., Pertrizzo, M. R., Forster, A., Kolonic, S., Erba, E., Premoli-Silva, I., Baas, M., Wagner, T. & Sinninghe Damsté, J. S. 2004: Carbon-isotope stratigraphy recorded by the Cenomanian – Turonian Oceanic Anoxic Event: correlation and implications based on three key localities. – *Journal of the Geological Society, London* 161: 711-719.

- Turgeon, S. C. & Creaser, R. A. 2008: Cretaceous oceanic anoxic event 2 triggered by a massive magmatic episode. – *Nature* 454: 323-326.
- Voigt, S., Aurag, A., Leis, F. & Kaplan, U. 2007: Late Cenomanian to Middle Turonian high-resolution carbon isotope stratigraphy: New data from the Münsterland Cretaceous Basin, Germany. – *Earth and Planetary Science Letters* 252: 196-210.
- Voigt, T., Niebuhr, B. & Reich, M. 2008a: North German Basin related to inversion. In: Voigt, S., Wagreich, M., Surlyk, S., Walaszczyk, I., Uličný, D., Čech, S., Voigt, T., Wiese, F., Wilmsen, M., Niebuhr, B., Reich, M., Funk, H., Michalík, J., Jagt, J. W. M., Felder, P. J. & Schulp, A. S., Cretaceous, 946–949. *The Geology of Central Europe* (McCann, T., ed.), Vol. 2: Mesozoic and Cenozoic. London, The Geological Society.
- Voigt, S., Erbacher, J., Mutterlose, J., Weiss, W., Westerhold, T., Wiese, F., Wilmsen, M. & Wonik, T. 2008b: The Cenomanian-Turonian of the Wunstorf section (North Germany): global stratigraphic reference section and new orbital time scale for Oceanic Anoxic Event 2. – *Newsletters on Stratigraphy* 43: 65-89.
- VonLoh, J. P. & Bell, G. L., Jr. 1998: Fossil reptiles from the Late Cretaceous Greenhorn Formation (late Cenomanian-middle Turonian) of the Black Hills region, South Dakota. – *Dakoterra* 5: 29-38.
- Wiese, F., Čech, S., Košťák, M., Mazuch, M. & Voigt, S. 2004: The Upper Turonian of the Bohemian Cretaceous Basin (Czech Republic) exemplified by the Úpohlavy working quarry: integrated stratigraphy and palaeoceanography of a gateway to the Tethys. – *Cretaceous Research* 25: 329-352.
- Wignall, P. B. 1994: *Black Shales*. Oxford: Oxford University Press.
- Williston, S. W. 1898: Paleontology (Part I. Upper Cretaceous.) V. Mosasaurs. – *The University Geological Survey of Kansas* 4: 81-221, pls. X-LXXII.
- Williston, S. W. 1904: The relationships and habits of the mosasaurs. – *Journal of Geology* 12: 43-51.
- Wilmsen, M., Niebuhr, B. & Hiß, M. 2005: The Cenomanian of northern Germany: facies analysis of a transgressive biosedimentary system. – *Facies* 51: 242-263.
- Wilmsen, M. & Wiese, F. 2008: North German intrashelf basins (middle Albian to early Coniacian). In: Voigt, S., Wagreich, M., Surlyk, S., Walaszczyk, I., Uličný, D., Čech, S., Voigt, T., Wiese, F., Wilmsen, M., Niebuhr, B., Reich, M., Funk, H., Michalík, J., Jagt, J. W. M., Felder, P. J. & Schulp, A. S., Cretaceous, 942–946. *The Geology of Central Europe* (McCann, T., ed.), Vol. 2: Mesozoic and Cenozoic. London, The Geological Society.
- Wiman, C. 1920: Some reptiles from the Niobrara group in Kansas. – *Bulletin of the Geological Institute of Upsala* 18: 9-18.
- Withers, P. C. 1992: *Comparative Animal Physiology*. New York: Saunders College Publishing.
- Zázvorka, V. 1965: Čelist mosasaurida ze svrchní křídý východních Čech. – *Časopis Národního Muzea, Oddíl Přírodovědný* 134: 217-219.





## Biostratigraphie kreidezeitlicher Transgressionssedimente im „Geologischen Garten“ von Bochum-Wiemelhausen (Münsterländer Becken, zentrales Ruhrgebiet)

Ulrich Kaplan, Tobias Püttmann & Udo Scheer

Ulrich Kaplan  
Eichenallee 141  
33332 Gütersloh

Tobias Püttmann  
Ruhr-Universität Bochum  
Institut für Geologie, Mineralogie  
und Geophysik  
Universitätsstraße 150  
44801 Bochum

Udo Scheer  
Jud. Dâmbovița, Sat. Mătășaru 93  
RO-137295 Com. Mătășaru  
Rumänien  
(vormals Stiftung Ruhr Museum  
Fritz-Schupp-Allee 15, 45141 Essen)

Korrespondierender Autor:  
U.K.Kaplan@t-online.de

Manuskript  
Eingereicht: 24.10.2018  
Akzeptiert: 31.01.2019  
Online Verfügbar: 21.05.2019

© LWL-Museum für Naturkunde

### Kurzfassung

Das Geotop „Geologischer Garten“ in Bochum-Wiemelhausen erschließt eine karbonische Schichtenfolge, die transgressiv von oberkretazischen Sedimenten (Cenomanium) überlagert wird. Diese werden hier mit einer aus Ammoniten und Inoceramen bestehenden Makrofossilfauna biostratigraphisch in die obere *Mantelliceras mantelli*- bis untere *M. dixonii*-Zone des Cenomaniums eingestuft. Die vorgestellte Fauna zeigt deutliche Spuren einer nachgehenden infracenomanen Aufarbeitung.

**Schlüsselworte:** Cenomanium, Westfalen, Ruhrgebiet/südliches Münsterland, küstennahe Ablagerungen, Biostratigraphie

### Abstract

In the outcrop „Geologischer Garten“ in Bochum-Wiemelhausen, a sequence of Carboniferous strata is covered by transgressive deposits of the Cenomanian (Upper Cretaceous). These are dated into the upper *Mantelliceras mantelli*- to the lower *M. dixonii*-zone by ammonites and an inoceramid. These faunal elements are obviously reworked within Cenomanian time.

**Keywords:** Cenomanium, Westphalia, Ruhr-area/southern Münsterland, coastal sediments, biostratigraphy

### 1. Einleitung

Im Jahre 2017 wurde bei der „Akademie der Geowissenschaften zu Hannover“ vorgeschlagen, den „Geologischen Garten“ in die Liste der bedeutendsten Geotope in Deutschland aufzunehmen (Abb. 1), allerdings ist noch nicht darüber entschieden; die Zertifizierung soll möglicher Weise in Kürze erfolgen (mündliche Auskunft von Frau Wolf, Stadt Bochum und Herrn Dr. Piecha, Geologischer Dienst NRW; übermittelt von Frau Bartolović, GeoPark Ruhrgebiet e.V. am 09.10.2018). Der Aufschluss ist zentraler Exkursionspunkt im „Nationalen GeoPark Ruhrgebiet“. Schwerpunkte aller seiner bisherigen geowissenschaftlichen Beschreibungen liegen auf sedimentologischen und tektonischen Erscheinungen der Karbon-Schichtenfolge sowie auf den transgressiven Kreideschichten mit ihrer ausgeprägten Winkeldiskordanz von etwa 45°. Die Ablagerungen der Kreide und ihre Stratigraphie wurden von Kahrs (1927), Hahne & Seidel (1958), Hiss (1982a, 2017) sowie Ganzelewski et al. (2008) thematisiert. In diesen Arbeiten werden Makrofossilien



**Abb. 1:** Geologischer Garten in Bochum, Lage im Stadtgebiet von Bochum und im Münsterländer Kreidebecken.

untergeordnet erwähnt, doch fehlende leitende Makrofossilien ermöglichten bislang keine Einstufung nach Standardzonen.

Im Jahre 2006 übereignete der Bochumer Sammler Hans-Harry Linke seine umfangreiche Mineralien- und Fossiliensammlung der Stiftung Ruhr Museum, damals Ruhrlandmuseum der Stadt Essen. Darunter befanden sich etwa 650 Fossilproben aus dem „Geologischen Garten“. Er sammelte sie noch während der Betriebszeit des Steinbruchs an der Querenburger Straße, damals im Besitz der Bochumer Bergbau AG. Sie enthalten eine Fauna von Ammonoideen und ein Einzelexemplar der in der Essen-Grünsand-Formation an dieser Lokalität sonst nur selten vorkommenden Inoceramen. Dieses Material ermöglicht, das kretazische Deckgebirge des „Geologischen Gartens“ erstmals mit Makrofossilien einzustufen. Denn mit Ausnahme der von Ganzelewski et al. (2008) aus der Literatur zusammengestellten Fossilnennungen zu den einzelnen Schichtgliedern ist bislang nichts über die Makrofossilführung und genauere biostratigraphische Stellung der Lokalität bekannt. Hiss (1982a) erwähnt eine horizontal gesammelte *Schloenbachia varians*, Mügge et al. (2005) nennen lediglich zusammenfassend „Muscheln, spiralig gerollte oder gerade Tintenfischgehäuse, die Ammoniten und Belemniten und mancherlei andere“. Hahne & Seidel (1958) sowie Ganzelewski et al. (2008) bilden je ein Exemplar von *Schloenbachia varians* aus der ehemaligen Sammlung der Westfälischen Berggewerkschaftskasse (WBK) im Bestand des Deutschen Bergbau-Museums, Bochum, ab. Diese stammen anscheinend aus einer 1936 von Dora Wolansky (WBK) im heutigen „Geologischen Garten“ getätigten Aufsam-

lung und sind biostratigraphisch nicht aussagekräftig. Einen Einblick in das reiche Spektrum anderer Invertebraten aus Bryozoen, Schwämmen, Brachiopoden, austernartigen Bivalven, Gastropoden und Ammoniten gibt Hiss (2017). Dazu kommt eine mit bislang 14 Arten hochdiverse Echinidenfauna (Piesoldt et al., in Vorbereitung). Nach einem ersten geologischen Führer von Hahne & Seidel (1958) erschienen mehrere aktualisierte Aufschlussbeschreibungen durch Hahne (1978), Hiss (1982a), Mügge et al. (2005), Ganzelewski et al. (2008) und Mutterlose (2011).

Die Betriebsgeschichte des Steinbruchs an der Querenburger Straße begann 1925, als auf dem Areal der 1907 stillgelegten Steinkohlen- und Eisensteinzeche Friederika (auch Friederica) ein Steinbruchbetrieb mit angeschlossener Ziegelei errichtet wurde (Polenz 1999) (Abb. 2). Nach mehrfachem Besitzerwechsel gelangte dieser an die Bochumer Bergbau AG (BBAG). 1959 erfolgte seine Stilllegung. Auf Betreiben von Carl Hahne (1904–1995), langjähriger Leiter der Geologischen Abteilung der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, wurde der Steinbruch bereits 1962 durch die Stadt Bochum unter Schutz gestellt, um ihn als Ausbildungsstätte für angehende Bergleute zu erhalten. 1965 wurde das Gelände von der Stadt Bochum angekauft und 1970–1971 als „Geologischer Garten“ für die Allgemeinheit hergerichtet.

## 2. Geologischer Rahmen

Das Geotop „Geologischer Garten“ liegt am Südrand des Münsterländer Beckens im Stadtgebiet von Bochum (Querenburger Straße, TK 25 Blatt 4509 Bochum, UTM Rechts 322585750, Hoch 5704500, NN + 113 m). Im





**Abb. 2:** Historische Aufnahme des Geologischen Gartens von 1936, damals Steinbruch von „Gockel und Niebuhr“ (Fotoarchiv Stiftung Ruhr Museum, Nr. Geol 1315, Glasplatte 6 x 6 cm). In der linken Bildhälfte ist der Bremsberg deutlich sichtbar, über den per Lorenbahn das abgebaute Gestein der Ziegelei zugeführt wurde. Der Bremsberg, heute nordwestlicher Zugang zum „Geologischen Garten“, durchschneidet den Dickebank-Sandstein. Am oberen linken Bildrand noch eben sichtbar befindet sich ein Ziegeleigebäude auf dem heutigen Sportplatzgelände am Schulzentrum Wiemelhausen. In der rechten Bildhälfte ist das diskordante nahezu söhligelagernde Essen-Grünsand-Formation über den Karbon-zeitlichen Ablagerungen deutlich erkennbar. Das Planum etwas unterhalb des Telegrafenturms beschreibt die Grenze zwischen den Kreide-Sedimenten und dem quartären Lösslehm.

späten Albium bis ins frühe Turonium transgredierte das Kreidemeer im Ruhrgebiet auf das eingerumpfte Rheinische Schiefergebirge. In dem küstennahen Flachwassermilieu schuf es ein ausgeprägtes Kleinrelief. Harte karbonische Sandsteinfolgen bildeten Klippen und Inseln, während die weicheren Ton-/Siltstein-Abfolgen mit den darin eingelagerten Steinkohleflözen verstärkt erodiert wurden. In diesen Erosionsbereichen lagerten sich Basiskonglomerate aus gerundetem Sandstein, aufgearbeiteten, feinkörnigerem Ton-/Siltstein und Bruchstücke karbonischer Toneisensteingeoden ab (Abb. 3). Sie bildeten die Basis der Essen-Grünsand-Formation. Erst mit steigendem Meeresspiegel wurde der glaukonitische und häufig fossilreiche eigentliche Essen-Grünsand sedimentiert (Hiss 1995). Diese Transgressionsgeschichte ist im „Geologischen Garten“ musterhaft erhalten. Ähnliche Verhältnisse sind im Ruhrgebiet sonst lediglich im

Steinbruch Rauen in Mülheim-Broich (Scheer & Stottrop 1995) und in mehreren Aufschlüssen im Raum Fröndenberg-Fröndern zu beobachten (Hiss 1982b).

### 3. Lithostratigraphie

Im „Geologischen Garten“ finden sich kreidezeitliche Sedimente nur in einer trogförmig erodierten Ton-/Siltstein-Folge. Dagegen bildete der widerstandsfähige Sandstein über Flöz Dickebank eine Klippe, an deren aufsteigender Flanke die kreidezeitlichen Sedimente aussetzen. Es ist anzunehmen, dass der Dickebank-Sandstein ursprünglich von Ablagerungen des jüngsten Cenomaniums (*plenus*-Mergel, heute Teil der Essen-Grünsand-Formation) und des Turoniums (*labiatus*-Mergel, heute Büren-Formation) überdeckt war. Im Zeitraum vom Paläogen bis ins Quartär wurde die Sandstein-Klippe durch Erosion wieder freigelegt. Heute wird sie durch Lösslehm des Quartärs überdeckt.





**Abb. 3:** Auflager des cenomanen Toneisenstein-Feinkonglomerates mit basalen Sandsteingeröllen (roter Pfeil) im Bereich des Ausbisses von Flöz Wasserfall. (Zustand April 2015)

Eine Zusammenstellung der kreidezeitlichen Schichtenfolge aus älterer Literatur geben Ganzelewski et al. (2008, S. 106 – 107). Ergänzt um aktuelle lithostratigraphische Begriffe und einzelne Anmerkungen, folgen wir ihr hier. Die Beschreibung erfolgt vom Liegenden zum Hangenden.

*Essen-Grünsand-Formation (Hiss & Wilmsen 2007)*  
(*Cenomanium*)

„Wenige Zentimeter bis Dezimeter: Transgressionskonglomerat aus gut gerundeten Geröllen und Blocklagen aus aufgearbeitetem Oberkarbon. Die Gerölloberflächen sind oft poliert und von den Oberseiten von Bohrmuscheln angebohrt. Die Matrix besteht aus dunklem Silt bzw. Feinsandmergel. Als Fossilien treten Algenkrusten um einzelne Gerölle auf. Selten sind Exemplare der Muschel *Entolium orbiculare* (J. Sowerby, 1817) sowie Pectiniden zu finden.“

Anmerkung: Schöne Beispiele für angebohrte Gerölle werden von Kukuk (1938) abgebildet.

„1,0 - 2,0 m: Toneisenstein-Horizont, grünlich-grau, ohne scharfe Grenze aus der Basallage hervorgehend. Klasten aus linsen- bis bohngroßen aufgearbeiteten Karbonsedimenten (stark glänzendem Toneisenstein, Ton-, Silt und Sandstein sowie Phosphorit). Die Matrix besteht aus siltigem, feinkiesigem, limonitischem und schwach

glaukonitischem Sandstein. Nach Foraminiferen handelt es sich um Ablagerungen aus der *mantelli*-Zone des unteren Cenomaniums (Stehn 1988, basierend auf Kaever 1985)“. Anmerkung: Kukuk (1938) geht ausführlich auf die Genese des Toneisenstein-Horizontes ein, allerdings ohne Bezug auf den „Geologischen Garten“ zu nehmen. Er weist darauf hin, dass im Ruhrgebiet an mehreren Stellen (Essen-Frohnhausen, Zeche Prosper II in Bottrop, Zeche Tremonia in Dortmund u.a.) dieser Horizont über 20 % Eisen enthält und zum Beispiel in Dortmund-Hörde versuchsweise als Eisenerz abgebaut wurde. Gleichzeitig weist Kukuk (1938) auf die Fossilarmut dieser Folge hin.

„1,5 - 3,0 m: Mergeliger Glaukonit-Sandstein mit Ammoniten *Schloenbachia varians*, Nautiliden, kleinen Brachiopoden (Rhynchonelliden, Terebratuliden, Muscheln (Ostreiden, Pectiniden, Inoceramen), Gastropoden (Pleurotomariiden), Schwämmen. Nach Foraminiferen handelt es sich um die *Acanthoceras rhotomagensense*-Zone des mittleren Cenomaniums (Stehn 1988, basierend auf Kaever 1985).“

Die im westlichen Ruhrgebiet zwischen Duisburg und Bochum verbreitete Abfolge des glaukonitischen, sogenannten *plenus*-Mergels, ist eine Sonderfazies im höchsten Abschnitt der Essen-Grünsand-Formation. Benannt ist sie nach dem eventartig auftretenden Belemniten *Praeactinocamax plenus* (Blainville, 1827) aus der *Metoicoceras geslinianum*-Zone, oberes Obercenoma-



nium. Diese Fazies fehlt offensichtlich im „Geologischen Garten“. Auf diese Erscheinung wies bereits Kahrs (1927) hin, ohne dass in jüngerer Literatur erneut darauf eingegangen wurde. Die sonst die obere Grenze des Cenomaniums bildende „Kalkknollenbank“, die sich vom westlichen Ruhrgebiet bis in das östliche Münsterland-Becken verfolgen lässt (Hiss 1985, Kaplan et al. 1998), wird nirgends erwähnt.

#### *Büren-Formation (Hiss et al. 2007) (Unterturonium)*

„Mehr als 1,0 m: Grauweißer, durch Verwitterung mürber Mergelkalkstein mit der Inocerame *Mytiloides labiatus* (Schlotheim, 1814).“

**Anmerkung:** Diese in historischer Literatur als *Labiatus*-Schichten oder *Labiatus*-Mergel bezeichnete Schichtfolge war anscheinend nur kurzzeitig im Südteil des Steinbruches aufgeschlossen. Die einzige Erwähnung, außer in Ganzelewski et al. (2008), findet sich in Kahrs (1927, S. 659) unter der Fundortbezeichnung „Ziegelei Luxemburg“. Hierbei handelt es sich offensichtlich um eine Verballhornung der „Deutsch-Luxemburgischen Bergwerks- und Hütten-AG“, einer zeitweiligen Besitzerin. Danach lag die Büren-Formation an der aufgeschlossenen Position direkt dem karbonischen Grundgebirge auf. Eine vergleichbare Situation wurde von Linnert & Mutterlose (2012) von Bochum-Altenbochum aus einer Baugrube in der Straße „Am Glockengarten“ beschrieben. Dieser Aufschluss liegt nur etwa 450 m nördlich des „Geologischen Gartens“.

#### 4. Makrofossilfauna

Alle Stücke stammen aus der Sammlung Hans-Harry Linke im Bestand der Stiftung Ruhr Museum. Sie sind mit der vorgesetzten Stammmnummer RE 551.763.310 für Cenomanium-Fossilien versehen, auf deren Anführung im Folgenden verzichtet werden kann.

Gattung *Inoceramus* J. Sowerby, 1814

**Typus-Art:** *Inoceramus cuvierii* J. Sowerby, 1814, nachträglich festgelegt durch Cox (1969, S. N315), aus dem Middle Chalk (*Terebratulina lata*-Zone) von Royston, England (Walaszczyk & Cobban, 2000, S. 27).

- Inoceramus crippsi* Mantell, 1822, Abb. 4
- 1822 *Inoceramus cripsii* Mantell, S. 133, Taf. 27, Fig. 11.
- 1982 *Inoceramus crippsi crippsi* Mantell, 1822; Keller S. 44, Taf. 1, Fig. 5.
- 1982 *Inoceramus crippsi hoppenstedtensis* Tröger, 1967; Keller S. 2, Fig. 3.
- 2001 '*Inoceramus*' *crippsi* MANTELL, 1822; Wilmsen, Niebuhr. & Wood, S. 129, Taf. 1, Fig. 1.



10 mm

**Abb. 4:** *Inoceramus crippsi* Mantell, 1822, A 6255, „Geologischer Garten“ Bochum ex Sammlung Linke, Essen-Grünsand-Formation, Untercenomanium, aufgearbeitete Fauna der *Mantelliceras mantelli*- bis *M. dixonii*-Zone.

**Typus:** *Inoceramus crippsi* Mantell, 1822, p. 133, Taf. 27, Fig. 11.

**Material:** A 6255.

**Beschreibung:** Das einzige vorliegende Exemplar hat eine Länge von 51 mm und eine Breite von 48 mm. Es ist fragmentarisch erhalten mit Resten der linken und rechten Schale sowie eines 20 mm langen Abschnitts des Schlossrands. Dieser ist kräftig entwickelt. Die Skulptur wird durch Anwachsstreifen bestimmt. Diese verlaufen konzentrisch. Die Wachstumsachse ist gerade. Nicht erhalten sind Wirbel, Flügel und Vorderrand.

**Diskussion:** Die typische Skulptur, die gerade Wachstumsachse und der kräftige Schlossrand sind typische Merkmale von *Inoceramus crippsi*. Seine fragmentarische Erhaltung lässt eine Zuweisung zu den von Tröger (1967) und Keller (1982) beschriebenen Unterarten *crippsi* oder *crippsi hoppenstedtensis* nicht zu.

**Vorkommen:** *Inoceramus crippsi* ist weltweit verbreitet und kommt vom Unter- bis unteres Mittelcenomanium vor (Keller, 1982, S. 47).

Gattung *Hyphoplites* Spath, 1922

**Typus-Art:** *Ammonites falcatus* Mantell, 1822, S. 117, Taf. 21, Fig. 6, 12, ursprünglich festgelegt durch Spath (1922, S. 110).

*Hyphoplites falcatus falcatus* (Mantell, 1822)

Abb. 5 A-D

- 1822 *Ammonites falcatus* Mantell; S. 117 (pars), Taf. 21, Fig. 12, non 6 (= *H. falcatus aurora* Wright & Wright (1949)).
- 1984 *Hyphoplites falcatus falcatus* (Mantell, 1822); Wright & Kennedy, S. 67, Taf. 6, Fig. 11, 13; Taf. 7., Fig. 2; Text-Fig. 7e-g, 9c (mit vollständiger Synonymie).
- 1998 *Hyphoplites falcatus falcatus* (Mantell, 1822); Kaplan et al., S. 94, Taf. 10, fig. 11; Taf. 12, Fig. 13; Taf. 13, Fig. 6-8, 17, 18; Taf. 17, Fig. 4, 5; Taf. 18, Fig. 3, 7.



**Abb. 5: A-B** *Hyphoplites falcatus falcatus* (Mantell, 1822) A 6301/3;

**C-K** *Schloenbachia varians* (J. Sowerby, 1817), **C-F** A 6512/1, C-D 1x, E-F 2x, **G-H** A 6318, I 1x, H 2x, **I** A 6305 1x, **J-K** A 6310 1x;

**L-M** *Mantelliceras saxbii* (Sharpe, 1857) A 6314 1x;

**N-Q** *Mantelliceras mantelli* (J. Sowerby, 1814), N-O A 6303 1x, P-Q A 6302 1x;

**R-S** *Mesoturritilites boerssumensis* (Schlüter, 1876) A 6298 S 1 X, T 2x;

**T** *Scaphites obliquus* J. Sowerby, 1813 A 6299 1x.

Alle Exemplare stammen aus dem „Geologischen Garten“ Bochum ex Sammlung Linke, Essen-Grünsand-Formation, Unteracenomanium, aufgearbeitete Fauna der *Mantelliceras mantelli*- bis *M. dixonii*-Zone.

Typus: Der Lectotypus, nachträglich durch Wright & Wright (1949, S. 484) festgelegt, ist das Original zu Mantell (1822, Taf. 21, Fig. 12). Paralectotypus ist das Original zu Mantell (1822, S. 117, Taf. 21, Fig. 6).

Material: A 6301/3

Beschreibung: Erhalten sind bei dem vorliegenden Steinkern etwa 90° der rechten Flankenseite ohne Umbilicalrand mit einer maximalen Windungshöhe von 15 mm. Sichtbar sind auf einem Abschnitt von 40° drei Rippen und auf einem Abschnitt von 8 mm der Venter. Der Windungsverlauf kann nicht beobachtet werden. Der erhaltene Windungsquerschnitt ist hoch trapezoidal, der Venter flach. Die Rippen sind breit gerundet und haben einen konkaven Zwischenraum. Soweit erhalten setzen sie ohne Umbilicalknoten ein und verlaufen leicht zurückgebogen prosiradiat. In Höhe des zweiten Flankendrittels werden sie unmittelbar abgeflacht. Schmale Zwischenräume trennen sie. Diese verlaufen retroradiat. Die Rippen gehen an der Ventrolateral-kante in adapical gerichtete und feine Clavi über. Die der linken Seite blieben erhalten. Den Zwischenraum bildet eine Siphonalfurche.

Diskussion: Das vorliegende Exemplar unterscheidet sich durch das Fehlen deutlicher innerer und äußerer Ventrolateralclavi von *Hyphoplites curvatus*. Von den anderen Unterarten von *Hyphoplites falcatus* unterscheidet sich *Hyphoplites falcatus falcatus* durch seine Einzelrippen (Kaplan et al. 1998, S. 94).

Vorkommen: *Hyphoplites falcatus* kommt im Münsterländer Kreidebecken von der oberen *M. mantelli*-Zone bis in die *M. dixonii*-Zone, *M. dixonii*-Event vor.

Gattung *Schloenbachia* Neumayr, 1875

Typus-Art: *Ammonites varians* J. Sowerby, 1817, S. 169, Taf. 176, nachträglich designiert durch H. Douvillé (1890, S. 290).

*Schloenbachia varians* (J. Sowerby, 1817)  
Abb. 5 C-K

- 1817 *Ammonites varians* Sowerby, S. 169 (pars), S. 176 oberste Figur, linke Figur in der untersten Reihe (zitiert nach Wright & Kennedy 2015, S. 419).
- 1958 *Schloenbachia varians* Sow., Hahne & Seidel, S. 61, Abb. 35.
- 1982b *Schloenbachia varians ventriosa* Stieler 1922, Hiss S. 195, Abb. 8, Fig. 1-2.
- 1982b *Schloenbachia varians varians* (J. Sowerby 1817), Hiss S. 195, Abb. 8, Fig. 3-5.
- 1982b *Schloenbachia varians subtuberculata* (Sharpe 1853), Hiss S. 195, Abb. 8, Fig. 6-7.
- 1982b *Schloenbachia varians costata* (Sharpe 1853), Hiss S. 196, Abb. 8, Fig. 8-10.
- 1982b *Schloenbachia varians subvariens* Spath 1926, Hiss S. 196, Abb. 8, Fig. 11-13.

1982b *Schloenbachia varians subplana* (Mantell 1822), Hiss S. 196, Abb. 8, Fig. 14-15.

1998 *Schloenbachia varians* (Sowerby, 1817), Kaplan et al. S. 107, Taf. 10, Fig. 12; Taf. 11, Fig. 5; Taf. 12, Fig. 1-4, 6, 9-12; Taf. 13, Fig. 3-5, 13, 14; Taf. 14, Fig. 1-21; Taf. 15, Fig. 1-13; Taf. 16, Fig. 1-14).

2008 *Schloenbachia varians* (J. Sowerby, 1817), Ganzelewski et al., S. 118, Abb. 14).

2011 *Schloenbachia varians* (J. Sowerby, 1817), Wilmsen & Mosavina, S. 174, Fig. 4-6, 7A-E, H.

2015 *Schloenbachia varians* (J. Sowerby, 1817), Wright & Kennedy, S. 419, Taf. 125, Fig. 2, 5; Taf. 126-135, Taf. 136, Fig. 1; Text-Fig. 161-164B, C; 169-173 (mit vollständiger Synonymie).

2017 *Schloenbachia varians* (Sowerby), Hiss, S. 183, unterste Reihe, links.

Typus: Lectotypus, nachträglich festgelegt durch Spath (1938a, S. 544), ist das Original zu J. Sowerby (1817, Taf. 176, obere Figur, BMNH 43962b).

Material: A 6301/1, A 6301/2, A 6301/4, A 6301/5, A 6304, A 6305, A 6306, A 6307, A 6308/1, A 6308/2, A 6308/3, A 6309, A 6310, A 6311, A 6512/1, A 6315, A 6316, A 6318.

Beschreibung: Die Maße der nachfolgend beschriebenen und abgebildeten Exemplare sind in Tab. 1 zusammengefasst. Das Exemplar A 6512/1 (Abb. 5 C-F) ist ein Wohnkammerfragment mit erhaltener letzter Lobenlinie. Es ist mäßig evolut gewunden. Der Windungsquerschnitt ist hochtrapezoidal. Die gerade Umbilicalkante ist nach außen geneigt. Auf ihr sitzen sieben runde Knötchen, von denen prosiradiat verlaufende Rippen ausgehen. Sie münden dicht am Umbilicus in eine zweite Knotenreihe. Von dort verlaufen sie als Einzelrippen oder Spaltrippen nach vorn geschwungen über die Flanke. Am Ventrolateralrand enden sie in kleinen clavaten Knoten. Der Venter ist flach fastigat mit einem schmalen Kiel. Beim Exemplar A 6310 (Abb. 5 L-M) sind nur die linke Seite und Abschnitte des Venters mit syndementären Beschädigungen erhalten. Der Windungsverlauf ist mäßig evolut, der Windungsquerschnitt hochtrapezoidal. Der Umbilicalrand ist gerundet. Auf der inneren Flanke können auf einem halben Umgang sieben Knoten gezählt werden. Diese sind der Ausgangspunkt für zweier bis dreier Rippenbündel, die leicht zurückgeschwungen, insgesamt radial verlaufend in clavaten Knoten auf der Ventrolateral-kante enden. Der Venter ist flach fastigat und hat einen schmalen Kiel. Beim Exemplar A 6305 (Abb. 5 J-K) sind die rechte Seite und Abschnitte des Venters erhalten. Der Umbilicus ist bedeckt. Der Windungsverlauf ist mäßig evolut, der Windungsquerschnitt hochtrapezoidal. Die noch erkennbaren Abschnitte des oberen Umbilicalrandes sind nach außen geneigt. Auf einem halben Umgang sitzen acht Knötchen. Diese sind



**Tab. 1:** Maße der beschriebenen und abgebildeten Exemplare von *Schloenbachia varians* (J. Sowerby 1817).

| Maße [mm]: | Durchmesser | Windungshöhe | Windungsbreite | Windungshöhe/-breite | Umbilicus   |
|------------|-------------|--------------|----------------|----------------------|-------------|
| A 6512/1   | 25,9 (100%) | 12,2 (46,7%) | 9,5 (36,7%)    | 1,28                 | 6,6 (25,5%) |
| A 6310     | 35,6 (100%) | 14,4 (40,4%) | 12,5 (35,1%)   | 1,15                 | 8,5 (23,9%) |
| A 6305     | 42,7 (100%) | 17,4 (40,7%) | 12,7 (29,7%)   | 1,37                 | -           |
| A 6318     | -           | 10,7 (-)     | 17,5 (-)       | 0,61                 | -           |

der Ausgangspunkt von Rippen, die in eine zweite, auf der inneren Flanke dicht am Umbilicalrand liegende Reihe kleiner Knoten übergehen. Diese sind der Ausgangspunkt für sichelförmig nach vorn geschwungene Rippenpaare, zwischen die sich auf dem ersten Flankendrittel einsetzende Einzelrippen einschalten. Die Rippen enden an der Ventrolateralkante in clavaten Knoten. Der Venter ist flach fastigat und hat einen schmalen Kiel. Das Exemplar A 6318 (Abb. 5 G-H) ist ein kleines, stark abgerolltes Fragment mit etwa 60° eines Umgangs. Soweit erkennbar, war der Windungsverlauf evolut. Der Windungsquerschnitt ist breit trapezoidal. Drei kräftige und spitze Umbilicalknoten korrespondieren mit vier spitzen Ventrolateralknoten. Der Venter ist flach eingetieft und lässt noch Ansätze eines schmalen Kiels erkennen.

**Diskussion:** Das vorliegende Material spiegelt die große Variationsbreite von *S. varians* wider, die bereits Hiss (1982b) vom östlich angrenzenden Haarstrang darstellte, und die Wilmsen & Mosavina (2011) von unterschiedlichen Fundpunkten und -horizonten als nicht untergliederbar in geographische Unterarten oder aufeinanderfolgende „Chrono-Unterarten“ weiter herausarbeiteten. Wright & Kennedy (2015) diskutieren umfänglich Umfang und Variation der Gattung *Schloenbachia*. Hinsichtlich ihrer Proportionen und ihrer Skulptur entsprechen die Exemplare A 6512/1 (Abb. 5 C-F), A 6310 (Abb. 5 J-K) und A 6305 (Abb. 5 I) ihrer „Forma *variens* sensu stricto“ (Wright & Kennedy 2015, S. 424). In diesen Formenkreis gehört auch das von Ganzelewski et al. (2008, S. 118, Abb. 14) abgebildete Stück aus dem „Geologischen Garten“ in Bochum. Das Exemplar A 6318 (Abb. 5 G-H) entspricht ihrer „Forma *ventricosa*“ (Wright & Kennedy 2015, S. 422). **Vorkommen:** *S. varians* ist im gesamten Untercenomanium des Münsterländer Kreidebeckens vertreten.

Gattung *Mantelliceras* Hyatt, 1903

**Typusart:** Ursprünglich festgelegt *Ammonites mantelli* J. Sowerby, 1814, S. 199 (IRZN Artspezifischer Name Nr. 1634).

*Mantelliceras mantelli* (J. Sowerby, 1814)

Abb. 5 N-Q

1814 *Ammonites mantelli* J. Sowerby, S. 119, Taf. 55, nur untere Figur.

1984 *Mantelliceras mantelli* (J. Sowerby, 1814); Wright & Kennedy, S. 99, Taf. 16, Fig. 5; Taf. 17, Fig. 1, 3; Taf. 18, Fig. 1-3; Taf. 19, Fig. 1-6; Taf. 21, Fig. 2, 4; Taf. 24, Fig. 3; Taf. 36, Fig. 1; Text-Fig. 20a-d; 26a, c, e (hier vollständige Synonymie).  
1998 *Mantelliceras mantelli* (J. Sowerby, 1814), Kaplan et al. S. 114, Taf. 11, Fig. 1, 2; Taf. 17, Fig. 12, 13; Taf. 19, Fig. 1-9; Taf. 22, Fig. 3, 4; Taf. 23, Fig. 8; Taf. 24, Fig. 4-6; Taf. 25, Fig. 1-5.

**Lectotypus:** Nachträglich festgelegt durch Kennedy (1971, S. 52), Original zu J. Sowerby (1814, Taf. 55, nur untere Figur). **Material:** A 6302, A 6303.

**Beschreibung:** Beide vorliegenden Exemplare sind durch syndementäre Abrasion stark beeinträchtigte fragmentarische Steinkerne, die die charakteristische Beknotung von *M. mantelli* nur noch ansatzweise erkennen lassen. Das Exemplar A 6303 (Abb. 5 N-O) ist ein 90° Segment eines Umgangs. Die größte erhaltene Windungshöhe beträgt 20 mm, die entsprechende Windungsbreite 22 mm. Der Windungsquerschnitt ist subquadratisch. Auf dem erhaltenen Abschnitt können die Ansätze von sechs Umbilicalknoten gezählt werden, von denen gerundete, leicht prosiradiat verlaufende Spalt- und Einzelrippen ausgehen. Die Lateralknoten sowie die inneren und äußeren Ventrolateralknoten sind nur noch ansatzweise zu erkennen. Das Exemplar A 6302 (Abb. 5 P-Q) ist ein stark beschädigtes Steinkernfragment, dessen Oberfläche auch durch eine Limonitinkrustation partiell überzogen ist. Es umfasst etwa 60° eines Umgangs. Der Windungsquerschnitt ist quadratisch. Die geraden und gerundeten Rippen verlaufen leicht prosiradiat. Vereinzelt sind Umbilical-, Lateral-, sowie innere und äußere Ventrolateralknoten zu beobachten.

**Diskussion:** Auch wenn die beiden Fragmente stark beschädigt sind, lassen sie die für *M. mantelli* charakteristischen Querschnitte und Beknotung erkennen.

**Vorkommen:** Die Art ist in den unteren zwei Dritteln des Untercenomaniums am häufigsten, darüber wird sie nur selten gefunden. Im Münsterländer Kreidebecken kommt sie von der *M. mantelli*-Zone bis in die *M. dixonii*-Zone, *M. saxbii*- & *M. dixonii*-Subzone, vor.

*Mantelliceras saxbii* (Sharpe, 1857)

Abb. 5 L-M

1857 *Ammonites saxbii* Sharpe, S. 45, Taf. 20, Fig. 3.

1984 *Mantelliceras saxbii* (Sharpe, 1857); Wright & Kennedy, S. 121, Taf. 23, Fig. 4; Taf. 32, Fig. 1-3; Taf. 33, Fig. 1-4; Taf. 34, Fig. 1-4; Taf. 35, Fig. 1-5; Taf. 36, Fig. 2, 3; Taf. 39, Fig. 1; Text-Fig. 25b-d, i; 26b; 281-p.

1988 *Mantelliceras saxbii* (Sharpe, 1857), Kaplan et al., S. 118, Taf. 18, Fig. 1, 9; Taf. 20, Fig. 1; Taf. 24, Fig. 3; Taf. 26, Fig. 7, 8; Taf. 41, Fig. 2, 4.

Lectotypus: Original zu Sharpe (1857, Taf. 20, Fig. 3), nachträglich festgelegt durch Wright & Wright (1951, S. 38).

Material: A 6314.

Beschreibung: Das einzige Exemplar ist ein kleines, etwa 35 mm langes Fragment mit der partiellen Erhaltung des oberen Flankenabschnitts und des Venters. Erkennbar ist ein hochmündiger Windungsquerschnitt. Die gerundeten Rippen verlaufen erst gerade, um dann in einer kleinen Verdickung leicht nach vorn zu schwenken. Ab hier und auf dem Venter wird der intercostale Raum gerundet. Die Rippen verlaufen trapezförmig gerade. Auf der Ventrolateralakante gehen sie in einen gerundeten Knoten über. Sie setzen sich mit gleicher Stärke über den Venter fort. Diskussion: Hinsichtlich Windungsquerschnitt, Berippung und Beknotung unterscheidet sich das vorliegende Exemplar von anderen *Mantelliceras*-Arten, wie von Wright & Kennedy (1984, S. 123) und Kaplan et al. (1998, S. 120) beschrieben.

Vorkommen: Im Münsterländer Kreidebecken tritt *M. saxbii* wahrscheinlich erstmals in der höheren *M. mantelli*-Zone, *M. saxbii*-Subzone auf und reicht bis in die *M. boerssumensis*-Subzone der *M. dixoni*-Zone (Kaplan et al. 1998, S. 120).

#### Gattung *Mesoturrilites* Breistroffer, 1953

Typus-Art: *Turrilites aumalensis* Coquand, 1862, S. 323, Taf. 35, Fig. 5, ursprünglich festgelegt durch Breistroffer (1953, S. 1351).

#### *Mesoturrilites boerssumensis* (Schlüter, 1876)

Abb. 5 R-S

1875 *Turrilites boerssumensis* Schlüter, S. 29.

1996 *Mesoturrilites boerssumensis* (Schlüter, 1876); Wright & Kennedy, S. 347, Taf. 105, Fig. 4, 20.

1998 *Mesoturrilites boerssumensis* (Schlüter, 1876), Kaplan et al. 1998, S. 210, Taf. 63, Fig. 7, 8, 10.

Typus: Lectotypus, nachträglich festgelegt durch Juignet & Kennedy (1976, S. 67), ist das Original zu Schlüter (1876, Taf. 38, Fig., 6,7).

Material: A 6298.

Beschreibung: Das einzige vorliegende Exemplar ist ein fragmentarischer Steinkern mit drei Umgängen, dessen Skulptur durch synsedimentäre Abrasion und Limonitinkrustationen stark beeinträchtigt ist. Der Durchmesser der unteren Windung beträgt 18 mm, deren Windungshöhe

9 mm, der Apicalwinkel etwa 17°. Die Windungsnäht ist nur wenig eingewölbt. Die Außenseite der Umgänge ist schwach konvex gewölbt. Auf einem halben Umgang treten 12 gerade verlaufende Rippen auf. Sie setzen an der oberen Umbilicalnaht ein und reichen bis zur unteren Flanke. Ihnen folgen zwei Reihen von feinen clavaten Knötchen, deren untere Begrenzung auf der Spiralkante aufsitzt.

Diskussion: Das vorliegende Exemplar stimmt mit seinen beschriebenen Merkmalen mit denen von Kaplan et al. (1998, S. 211) genannten überein. Dort und in Wright & Kennedy (1996, S. 345-349) gibt es Diskussionen zur Differentialdiagnose der Arten dieser Gattung.

Vorkommen: In der beckenwärtigen Fazies des Münsterländer Kreidebeckens kommt *M. boerssumensis* in der oberen *M. dixoni*-Zone vor (Kaplan et al. 1998, S. 211).

#### Gattung *Scaphites* Parkinson, 1811

Typus-Art: *Scaphites equalis* J. Sowerby, 1813, S. 53, Taf. 18, Fig. 1-3, nachträglich festgelegt durch Meek (1876, S. 413).

#### *Scaphites obliquus* J. Sowerby, 1813

Abb. 5 T

1813 *Scaphites obliquus* J. Sowerby, S. 54, Taf. 18, Fig. 4-7.

1997 *Scaphites obliquus* J. Sowerby, 1813; Wright & Kennedy, S. 390, Taf. 114, Fig. 7-20, Taf. 115, Fig. 1-17; Taf. 116, Fig. 6; Text-Fig. 150t, k (hier vollständige Synonymie).

1998 *Scaphites obliquus* J. Sowerby, 1813; Kaplan et al., S. 223, Taf. 13, Fig. 11, 12; Taf. 60, Fig. 3; Taf. 66, Fig. 1-7, 9, 10.

Typus: Lectotypus ist das Original zu Wright & Kennedy (1996, Taf. 114, Fig. 18).

Material: A 6299.

Beschreibung: Erhalten sind bei dem einzig vorliegenden Exemplar die Anfangsspirale und Teile des Schaftes. Das Ende des Schaftes und der Haken fehlen. Durch synsedimentäre Abrasion ist die Berippung unvollständig. Eine dünne Limonitinkrustation bedeckt Teile des Schaftes. Der Durchmesser der hochmündigen Anfangsspirale beträgt 16 mm, ihre Windungshöhe 10 mm. Der Schaft bedeckt Teile des engen Umbilicus und gewinnt rasch an Windungshöhe. Die Anfangsspirale ist mit feinen, dichtstehenden, geraden und radial verlaufenden Rippen bedeckt. Die linke Flanke des Schaftes lässt noch rudimentär drei breite, radial verlaufende Rippen erkennen. Diskussion: Mit seinen Größenverhältnissen, Proportionen und den erhaltenen Resten der Berippung stimmt das vorliegende Exemplar mit den Artmerkmalen überein. Der bedeckte Umbilicus und der aufgeblähte Schaft kennzeichnen es als Macroconch.

Vorkommen: *Scaphites obliquus* tritt von der untercenomanen *M. mantelli*-Zone bis zur mittelcenomanen *A. jukesbrownei*-Zone auf (Kaplan et al. 1998, S. 224).

| Stufe            | Ammoniten-Zonen & Subzonen |                                   | Inoceramen-Zonen            | Biostratigraphie, A Aufschluss, B primärer und C sekundärer Ablagerungshorizont |   |
|------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---|
| Obercenomanium   | Neocardioceras juddii      |                                   | Mytiloides hattini          |                                                                                 |   |
|                  | Metoicoceras geslinianum   |                                   | Inoceramus pictus bohemicus |                                                                                 |   |
|                  | Calycoceras guerangeri     |                                   | Inoceramus pictus pictus    |                                                                                 |   |
|                  |                            |                                   |                             |                                                                                 |   |
| Mittelcenomanium | Acanthoceras jukesbrownei  |                                   | Inoceramus atlanticus       | ?                                                                               | C |
|                  | Acanthoceras rhotomagensis | Turrilites acutus                 | Inoceramus schoendorfi      |                                                                                 |   |
|                  |                            | Turrilites costatus               |                             |                                                                                 |   |
|                  | Cunningtoniceras inerme    |                                   |                             |                                                                                 |   |
| Untercenomanium  | Mantelliceras dixonii      | Mesoturrilites boersumensis       |                             | A                                                                               | B |
|                  |                            | Mantelliceras dixonii & M. saxbii | Inoceramus virgatus         |                                                                                 |   |
|                  | Mantelliceras mantelli     | Mantelliceras saxbii              | Inoceramus crippsi          | ?                                                                               |   |
|                  |                            | Sharpeiceras schlueteri           |                             |                                                                                 |   |
|                  |                            | Neostlingoceras carcitanense      |                             |                                                                                 |   |

**Abb. 6:** Biostratigraphische Einstufung der kretazischen Ablagerungen im "Geologischen Garten" in Bochum sowie des primären und sekundären Ablagerungshorizonts der Inoceramen- und Ammonitenfauna.

## 5. Stratigraphische Diskussion

Die vorliegende Ammonitenfauna der Essen-Grünsand-Formation aus dem „Geologischen Garten“ in Bochum, zeigt deutliche Aufarbeitungsspuren einer küstennahen Fazies. Die Steinkerne besitzen eine Matrix aus limonitischem und glaukonitischem, gering verfestigtem Sandstein. Vereinzelt sind diese auch phosphatisiert. Da der Toneisenstein-Horizont generell sehr fossilarm ist und durch die starke Durchbewegung mit Verrundung der Geröllkomponenten kaum die Möglichkeit zur Überlieferung größerer Fossilien gegeben war, stammt die beschriebene Fauna wahrscheinlich aus dem überlagernden mergeligen Glaukonit-Sandstein (Abb. 6). Das Fehlen von *Sharpeiceras* und *Hypoturrilites* deutet darauf hin, dass Arten der unteren *Mantelliceras mantelli*-Zone fehlen. Alle vorkommenden Arten können sowohl in der *M. mantelli*- als auch in der *Mantelliceras dixonii*-Zone auftreten. Während *M. mantelli* in der *M. dixonii*-Zone selten wird, kommen gehäufte Vorkommen von *S. varians* in der unteren *M. dixonii*-Zone vor. Stehn (1988, basierend auf Kaefer, 1985) stufte den Toneisenstein-Horizont anhand von Foraminiferen in die *M. mantelli*-Zone ein, während der hangende mergelige Glaukonit-Sandstein Foraminiferen der *A. rhotomagensis*-Zone enthält. Die vorliegende Ammonitenfauna aus aufgearbeitetem Material präzisiert diese Einstufung

auf den Bereich der oberen *M. mantelli*- und unteren *M. dixonii*-Zone. Systematische Untersuchungen von kalkigen Nannofossilien, die aus den Wohnkammer-Füllungen bzw. dem direkt anhaftenden Sediment der hier beschriebenen Ammoniten gewonnen wurden, belegen eine stratigraphische Einstufung des Sediments in das untere Mittel-Cenomanium (Püttmann et al., im Druck). Dies bestätigt die Foraminiferen-Einstufung von Kaefer (1985), durch die der mergelige Glaukonit-Sandstein der Essen-Grünsand-Formation in die *Turrilites costatus*- und *Turrilites acutus*-Subzone des Mittelenomaniums gestellt wird.

## Danksagung

Unser Dank gilt posthum Hans-Harry Linke für die Überlassung seines wertvollen Sammlungsbestandes an die Stiftung Ruhr Museum. Michael Ganzelewski für Informationen über die Bestände des Deutschen Bergbaumuseums in Bochum, Martin Hiss, Geologischer Dienst NRW Krefeld, und Frank Wiese, Fakultät für Geowissenschaften und Geographie der Georg-August-Universität Göttingen, für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und wertvolle Verbesserungsvorschläge, sowie Jörg Mutterlose, Institut für Geologie, Mineralogie & Geophysik der Ruhr-Universität Bochum für Diskussionen zur Stratigraphie.



**Literaturverzeichnis**

- Breistroffer, M. 1953: L'évolution des Turrilitides Albiens et Cenomaniens. – *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences (D)* 237: 1349-1351.
- Ganzelewski, M., Kirnbauer, T., Müller, S. & Slotta, R. 2008: Karbon-Kreide-Diskordanz im Geologischen Garten Bochum und Deutsches Bergbau-Museum (Exkursion A am 25. März 2008). In: Kirnbauer, T., Rosendahl, W. & Wrede, V. (Hrsg.). *Geologische Exkursionen in den Nationalen GeoPark Ruhrgebiet. – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins* 90, 93-136.
- Hahne, C. 1978: Bochum – Der Geologische Garten. Bochum: Stadt Bochum.
- Hahne, C. & Seidel, G. 1958: 5. Der Ziegeleisteinbruch der Bochumer Bergbau A.G. in Bochum, Querenburger Straße. – In: Hahne, C. *Lehrreiche Geologische Aufschlüsse im Ruhrrevier*, 56-61; Essen: Verlag Glückauf.
- Hiss, M. 1982a: Cenoman-Transgression und kleinräumige Faziesänderungen der Transgressionssedimente am Beispiel des Geologischen Gartens in Bochum und der Steinbrüche bei Frömer (Westfalen). – *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie* 57: 137-162.
- Hiss, M. 1982b: Ammoniten des Cenomans von Südrand der westfälischen Kreide zwischen Unna und Möhnesee. – *Paläontologische Zeitschrift*, 56: 177-208.
- Hiss, M. 1985: Faziesanalyse der Cenoman-Sedimente am Haarstrang zwischen Unna und Möhnesee (S-Rand der Münsterschen Kreidebucht). – *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, 63: 109-170.
- Hiss, M. 1995: Kreide. In: *Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Geologie im Münsterland*, 41-65. Krefeld: Geologisches Landesamt NRW.
- Hiss, M. 2017: Meeresfossilien aus Bochum-Wiemelhausen im Ruhrgebiet. In: Scheer, U., Stottrop, U. & Ruhr Museum (Hrsg.). *Erdgeschichten. Geologie im Ruhr Museum*, 182-183. Essen: Verlag der Buchhandlung Walther König.
- Hiss, M. & Wilmsen, F. (2007): Essen-Grünsand-Formation. – In: Niebuhr, B., Hiss, M., Kaplan, U., Tröger, K.-A., Voigt, S., Voigt, T., Wiese, F. & Wilmsen, M.: *Lithostratigraphie der norddeutschen Oberkreide. – Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 55: 29-30.
- Hiss, M., Kaplan, U. & Wiese, F. (2007): Büren-Formation. – In: Niebuhr, B., Hiss, M., Kaplan, U., Tröger, K.-A., Voigt, S., Voigt, T., Wiese, F. & Wilmsen, M.: *Lithostratigraphie der norddeutschen Oberkreide. – Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 55: 38-40.
- Hyatt, A. 1903: Pseudoceratites of the Cretaceous. – *Mono-graphs of the United States Geological Survey* 44: 351.
- Juignet, P. & Kennedy, W.J. 1976: Faunes d'ammonites et biostratigraphie comparée du Cénomaniens du nord-ouest de la France (Normandie) et du sud d'Angleterre. – *Bulletin trimestriel de la Société géologique de Normandie et des amis du Muséum du Havre* 63: 1-193.
- Kaever, M.J. 1985: Referenzprofil des Cenoman und Unterturon im südlichen Ruhrgebiet. – In: Kollmann, H.A. (Hrsg.): *Contributions to the Stratigraphy and Palaeogeography of the Middle Cretaceous in Central Europe. – Schriftenreihe der Erdwissenschaftlichen Kommission* 7: 349-358.
- Kahrs, E. 1927: Zur Paläogeographie der Oberkreide in Rheinland-Westfalen. – *Neues Jahrbuch für Geologie, Paläontologie und Mineralogie, Beilageband LVIII (Pompeckj-Festband), Abt. B.*: 627-687.
- Kaplan, U., Kennedy, W.J., Lehmann, J. & Marcinowski, R. 1998: Stratigraphie und Ammonitenfaunen des westfälischen Cenoman. – *Geologie und Paläontologie in Westfalen* 51: 1-236.
- Kasielke, T. 2015: Geologie und Reliefentwicklung im Raum Bochum. – *Veröffentlichungen des Bochumer Botanischen Vereins* 7: 15-36.
- Kennedy, W.J. 1971: Cenomanian ammonites from southern England. – *Special Papers in Palaeontology* 8: 1-133.
- Kukuk, P. 1938: *Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengbietes*. Berlin: Verlag von Julius Springer.
- Linnert, C. & Mutterlose, J. (2012): Randaliche marine Sedimente der tiefen Ober-Kreide von Bochum – Biostratigraphie und Ablagerungsraum. – *Geologie und Paläontologie in Westfalen* 84: 17-32.
- Mantell, G.A. 1822: *The fossils of the South Downs; or illustrations of the geology of Sussex*. London: Lupton Relfe.
- Mügge, V.; Wrede, V. & Drozdowski, G. 2005: Von Korallenriffen, Schachtelhalmen und dem Alten Mann. Ein spannender Führer zu 22 Geotopen im mittleren Ruhrtal. Essen: Klartext.
- Mutterlose, J. 2011: *Geologischer Garten Bochum. Exkursionsführer durch ein Naturdenkmal*. Bochum: Stadt Bochum, Umwelt- und Grünflächenamt.
- Neumayr, M. 1875: *Die Ammoniten der Kreide und die Systematik der Ammonitiden. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 27: 854-942.
- Parkinson, J. 1811: *Organic remains of a former world*, 3. London: J. Robson.
- Piesoldt, H., Scheer, U. & Thiel, H.-V. (in Vorbereitung): *Die Echinidenfauna aus der Essen-Grünsand-Formation im südwestlichen Münsterland/Ruhrgebiet*.
- Polenz, H. 1999: *Klippe im Kreidemeer. – In: Polenz, H.: Lust auf Steine*, 47-50. Korb: Goldschneck-Verlag.
- Püttmann, T., Mutterlose, J., Kaplan, U. & Scheer, U., im Druck: *Reworking of Cenomanian ammonites decoded by calcareous nannofossils (southern Münsterland Basin, northwest Germany). – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 291: 1-17.
- Scheer, U. & Stottrop, U. 1995 mit einem Anhang von E. Voigt: *Die Kreide am Kassenberg*. In: Weidert, W. K. (Hrsg.): *Klassische Fundstellen der Paläontologie* 3: 127-141, 261-263. Korb, Goldschneck-Verlag.
- Schlüter, C. 1871-1876: *Cephalopoden der oberen deutschen Kreide. – Palaeontographica*, 21.
- Sowerby, J. 1812-1822: *The Mineral Conchology of Great Britain*. Selbstverlag des Autors.
- Sharpe, D. 1853-1857: *Description of the fossil remains of Mollusca found in the Chalk of England*. 1, Cephalopoda. – *Monograph of the Palaeontographical Society* 68: 1-68.
- Spath, I.F. 1922: On Cretaceous Ammonoidea from Angola, collected by Professor J.W. Gregory, D.Sc., F.R.S. – *Transactions of the Royal Society of South Africa* 53: 91-160.
- Spath, I.F. 1938: Problems of ammonite nomenclature. 3. On *Ammonites varians* J. SOWERBY. – *Geological Magazine* 75: 543-547.
- Stehn, O. 1988 mit Beiträgen von Herwig, R., von Kamp, H., Notting, J., Schrap, W.-G. & Vieth-Redemann, A.: *Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen* 1:25000.

- Erläuterungen zu Blatt 4509 Bochum (2. Auflage).  
Krefeld: Geologischer Dienst NRW.
- Wilmsen, M. & Mosavina, A. 2011: Phenotypic plasticity and taxonomy of *Schloenbachia varians* (J. Sowerby, 1817) (Cretaceous Ammonoidea). – *Paläontologische Zeitschrift* 85: 169-184.
- Wilmsen, M., Niebuhr, B. & Wood, C. J. 2001: Early Cenomanian (Cretaceous) inoceramid bivalves from the Kronsberg Syncline (Hannover area, Lower Saxony, Germany): stratigraphic and taxonomic implications. – *Acta Geologica Polonica*, 51: 121-136.
- Wright, C.W. & Kennedy, W.J. 1984-2017: The Ammonoidea of the Lower Chalk. – Monograph of the Palaeontographical Society, 591 S. 145 Taf., Part 1, 137: 1-126, Taf. 1-40 (1984); Part 2, 139: 127-218, Taf. 41-55 (1985); Part 3, 144: 219-294, Taf. 56-86 (1990); Part 4, 149: 295-319, Taf. 87-94 (1995); Part 5, 150: 320-403, Taf. 95-124 (1996); Part 6, 169: 404-459, Taf. 125-145 (2015); Part 7, 171: 461-561. London.
- Wright, C.W. & Wright, E.V. 1949: The Cretaceous ammonite genera *Discohoplites* SPATH and *Hyphoplites* SPATH. – *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 104: 477-497.
- Wright, C.W. & Wright, E.V. 1951: A survey of the fossil Cephalopoda of the Chalk of Great Britain. – Monograph of the Palaeontographical Society 104: 1-40.

## Eisenbahnbau und Geologie im südlichen Eggegebirge (Südost-Westfalen)

Eckhard Speetzen

Eckhard Speetzen  
Alleestr. 16  
48565 Steinfurt  
email: speetzen@web.de

Manuskript  
Eingereicht: 24.10.2018  
Akzeptiert: 31.01.2019  
Online Verfügbar: 01.07.2019

© LWL-Museum für Naturkunde

### Kurzfassung

Der in der Mitte des 19. Jahrhunderts einsetzende Eisenbahnbau im Eggegebirge führte zu einer engen Zusammenarbeit von Ingenieuren und Geologen. Die Geologen konnten aufgrund ihrer Geländekenntnis Aussagen über den entlang der geplanten Strecke zu erwartenden Baugrund und über Vorkommen geeigneter Naturbausteine für die Errichtung von Brücken und Bahnhöfen machen. Bei der Anlage tieferer Einschnitte entstanden ideale Aufschlüsse zum Studium der Schichtenfolgen. Sie lieferten stellenweise wichtige Fossilien, die zur genauen stratigraphischen Einstufung der Abfolgen führten.

Diese fruchtbare Zusammenarbeit begann 1846 beim Bau der Köln-Minden-Thüringischen Verbindungseisenbahn im südlichen Eggegebirge, setzte sich wenige Jahre später bei der Westfälischen Eisenbahn zwischen Warburg und Paderborn fort und fand seinen vorläufigen Abschluss im Jahr 1864 mit der Fertigstellung des Rehbergtunnels bei Altenbeken auf der Strecke Altenbeken-Höxter. Die beim Bau der Eisenbahnstrecken gewonnenen Erkenntnisse zur Schichtenfolge haben der geologischen Landesforschung erste wichtige Impulse gegeben.

Das Eggegebirge wird von Schichtenfolgen der Kreide, des Jura und der Trias aufgebaut. Es treten Kalksteine, Mergelsteine, Tonsteine und Sandsteine auf, die mit ihren Eigenschaften die Güte des Baugrundes und auch des Baumaterials der Dammschüttungen bestimmen. In einigen Bereichen ist es aufgrund ungünstiger Eigenschaften bestimmter Gesteinsschichten immer wieder zu Beeinträchtigungen des Bahnkörpers und zur Gefährdung des Bahnverkehrs gekommen.

Kurz nach 1900, etwa 40 Jahre nach dem Bau der Westfälischen Eisenbahn, wurden im Eggegebirge erstmalig geologische „Spezialkartierungen“ im Maßstab 1:25 000 durchgeführt, die den besonderen Charakter des geologischen Baus entschlüsselten. In den 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts fanden im südlichen Eggegebirge erneut umfangreiche geologische Untersuchungen der Schichtenfolgen im Rahmen von Revisionskartierungen statt.

Um die Jahrtausendwende, etwa 140 Jahre nach dem Bau der ersten Eisenbahnstrecken, wurde im südlichen Eggegebirge eine Teilstrecke einschließlich eines längeren Tunnels neu angelegt. Mit einer zeitgleich durchgeführten geologischen Revisionskartierung in diesem Raum kam es nochmals zu einer mehrjährigen Phase der intensiven und fruchtbaren Zusammenarbeit von Ingenieuren beziehungsweise Tunnelbauern und Geologen.

**Schlüsselwörter:** Südost-Westfalen, Eggegebirge, Eisenbahnbau, Geologische Landesforschung, Unterkreide, Bruchtektonik



### Summary

Railway construction which started in the middle of the 19th century in the Egge Mountains derived benefit from close cooperation between engineers and geologists. The latter were able to forecast both soil condition and occurrence of suitable building material for bridges and stations along the projected route. Deep clefts provided perfect outcrops to study stratigraphic columns which yielded fossils for more accurate stratigraphic assignment.

This fruitful cooperation began 1846 with the construction of a railway route called Cologne-Minden-Thuringian connection railway crossing the Southern Egge Mountains. Few years later the Westphalian railway followed connecting the towns of Warburg and Paderborn along a new routing. This early cooperation ended 1864 by completing the Rehberg tunnel near Altenbeken located on the route Altenbeken-Höxter. All the railway construction measures have provided important impact on knowledge of stratigraphic columns and consequently on geological research and development in the area.

The Egge Mountains consist of sedimentary rocks belonging to Cretaceous, Jurassic and Triassic formations. There are limestones, marlstones, claystones and sandstones, all of these rocks representing various quality concerning their suitability for foundation and as dam material. In some sections low quality of certain rock types resulted in negative effects on rail substructure and even endanger train services.

Some 40 years later, i.e. shortly after 1900 special geological mapping on scale 1:25 000 was executed for the first time. This work yielded essential knowledge related to stratigraphic sequences and tectonic structures.

In the 70ies and 80ies of the 20th century more geological field work including detailed mapping was done.

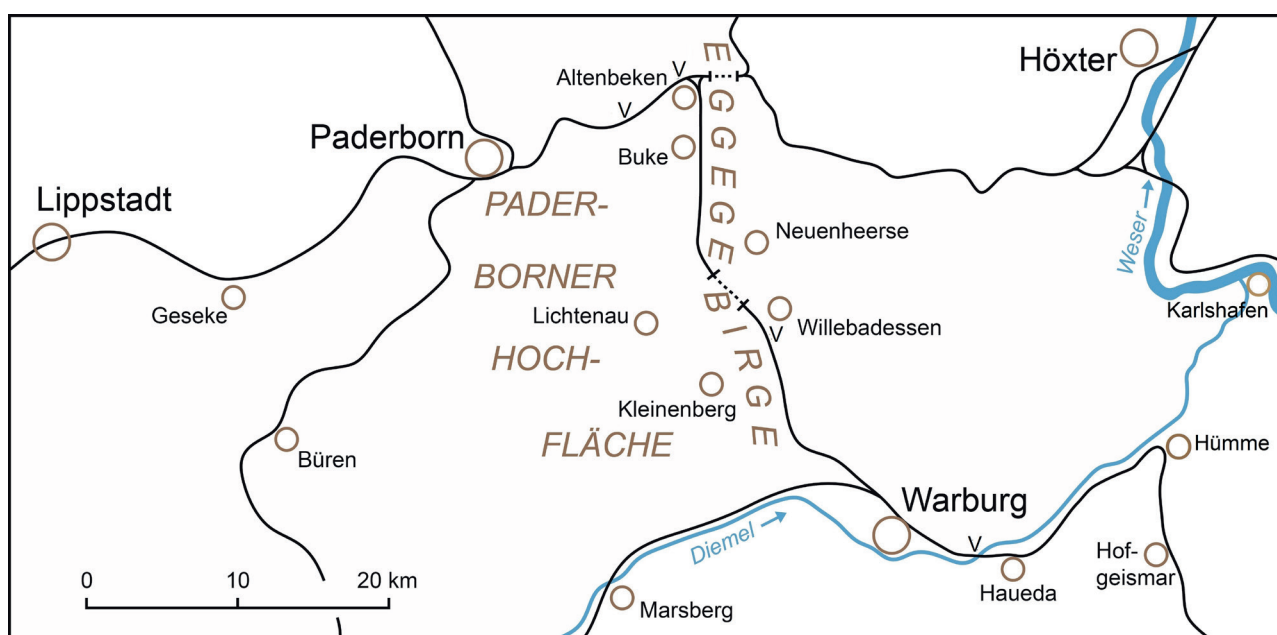
Around the turn of the millennium, i.e. 140 years after constructing the first railway route, a section including a longer tunnel was build up newly in the southern Egge Mountains. These activities and simultaneously executed geological revision mapping resulted in further fruitful cooperation of engineers as well as tunnel constructors and geologists.

**Keywords:** South-East Westphalia, Egge Mountains, railway construction, geological survey, Lower Cretaceous, fault tectonic

### Der Eisenbahnbau in Westfalen um 1850

Als 1835 die erste Eisenbahn in Deutschland zwischen Nürnberg und Fürth den Verkehr aufgenommen hatte und 1838 die erste Bahn in Preußen zwischen Berlin und Potsdam in Betrieb ging, wurde auch verstärkt über eine Verbindung des preußischen Kernlands mit seinen westlichen Provinzen Rheinlande und Westfalen nachgedacht. Schon im Jahr 1833 war der Plan einer Teilstrecke zwischen Köln und Minden vorgestellt worden. Sie sollte eine Verbindung vom Rhein zur Weser und damit einen Zugang zum Meer ohne die von den Niederlanden erhobenen Rheinzölle schaffen. Am 18. Dezember 1843 wurde die Konzession für die sogenannte Köln-Mindener Eisenbahn erteilt. Die Linie führt von Köln-Deutz über Düsseldorf, Dortmund, Hamm, Gütersloh und Bielefeld nach Minden und ging am 15. Oktober 1847 in Betrieb.

Für die Verbindung zwischen Berlin und den preußischen Westprovinzen wurden zwei Streckenführungen



**Abb. 1:** Der Raum Lippstadt – Paderborn – Höxter – Warburg mit den heutigen Eisenbahnlinien (Die Strecke vom Viadukt bei Hageda über Warburg-Altenbeken-Paderborn-Lippstadt und weiter bis Hamm entspricht abgesehen von dem neuen Teilstück mit Tunnel nordwestlich von Willebadessen der Westfälischen Eisenbahn von 1853; V = Viadukt).

**Abb. 2:** Stele am Nordostrand des heute verlassenen Bahneinschnitts bei Neuenheerse mit folgendem Text: Zur Erinnerung an die Eröffnung der Eisenbahn durch Seine Majestät Friedrich Wilhelm IV. am 21. Juli 1853 (Foto: Februar 2018).



erwogen, eine kürzere nördlich und eine etwas längere südlich des Harzes (Hohmann 1987). Die nördliche Strecke über Magdeburg und Hannover nach Minden hatte den Nachteil, dass sie durch das Königreich Hannover verlief, das zu der Zeit noch nicht Mitglied im Deutschen Zollverein war. Man befürchtete die Erhebung von Durchfahrtszöllen und vor allem auch Schwierigkeiten bei Militärtransporten. Aus diesen Gründen wurde die südliche Variante gewählt, die über Thüringen und Hessen verläuft.

Innerhalb von Hessen sollte diese Linie über Kassel zu dem an der Grenze zu Preußen gelegenen hessischen Ort Haudeda verlaufen. Von dort sollte sie weiter nach Warburg, Paderborn und Lippstadt führen (Abb. 1) und in Hamm Anschluss an die Köln-Mindener Eisenbahn finden. Im Jahr 1844 erhielt ein in Paderborn gebildetes „Provisorisches Eisenbahn-Comité“ die Genehmigung zur Annahme von Aktienzeichnungen und warb dazu mit dem „Prospectus Köln-Minden-Thüringer Verbindungsbahn von der kurhessischen Grenze nach Lippstadt“ (Wichert et al. 1994). Am 29. Mai 1845 fand in Paderborn eine Generalversammlung statt, auf der sich die Gesellschaft der Köln-Minden-Thüringer Verbindungsbahn etablierte.

Im November 1845 wurde der Bauinspektor A. E. Pickel, ein preußischer Baubeamter, als Leitender Ingenieur für das Bauvorhaben eingestellt (Wichert 1987a). Als erste Maßnahme verwarf dieser die bereits seit 1842 bestehende Streckenplanung für die Verbindung zwischen Haudeda und Paderborn über Driburg und Altenbeken. Er legte vom Diemel-Viadukt bei Haudeda eine neue Strecke fest, die über Warburg und Borling-

hausen zur Karlsschanze bei Willebadessen verläuft, dort den Egge-Kamm mit einem Tunnel quert und durch die Täler von Sauerbach, Altenau und Alme nach Paderborn führt. Der Bau eines Tunnels war notwendig, damit die Steigung der Strecke den Wert von 1:150 (1 m Steigung auf 150 m Strecke) nicht überschreitet (Wichert 1987b).

Kurz nach Baubeginn im Februar 1846 stellten sich jedoch schon erste Zahlungsschwierigkeiten ein, sodass es zeitweise zu einem schleppenden Fortgang und mehrfachen Unterbrechungen der Arbeiten kam. Die Anteilszeichner waren wegen der sich im Frühjahr 1848 zuspitzenden politischen Lage mit Unruhen und Aufständen in vielen deutschen Staaten nicht mehr willens, die zugesagten Gelder einzuzahlen, zumal auch die Aktien an Wert verloren (Hohmann 1987). Da sich die Lage nicht grundlegend besserte, wurde schließlich am 2. Dezember 1848 in Paderborn die Auflösung der Gesellschaft beschlossen und am 23. Dezember 1848 das gesamte Bauprojekt der Köln-Minden-Thüringer Verbindungsbahn per Vertrag dem preußischen Staat übereignet. Unter der neuen Bezeichnung Westfälische Eisenbahn wurde die zum großen Teil fertiggestellte Strecke zwischen Paderborn und Lippstadt unverändert übernommen, während die bisherige Streckenführung zwischen Paderborn und Warburg mit dem Egge-Tunnel an der Karlsschanze aufgegeben und für dieses Teilstück eine gänzlich neue Trasse über Neuenheerse und Altenbeken geplant wurde (Hohmann 1987).

Bereits im Oktober 1850 konnte die Teilstrecke Paderborn – Hamm freigegeben werden. Am 21. Juli 1853 wurde die gesamte Strecke mit einer Einweihungsfahrt von Haudeda über Warburg, Neuenheerse und Paderborn

bis Soest festlich eröffnet. An dieser Fahrt nahm auch der preußische König Friedrich Wilhelm IV. teil. Ein Halte- und Besichtigungspunkt war der Pass bei Neuenheerse, der zu der Zeit höchsten Stelle der Preußischen Eisenbahnen. Daran erinnert ein Obelisk, der einige Jahre später dort aufgestellt wurde (Abb. 2). Der so genannte Königsplatz wirkt heute allerdings nicht mehr königlich, sondern fristet ein bescheidenes und verborgenes Dasein „am Rande der Zivilisation“. Zudem ist die Stelle ohne genaue Ortskenntnis nicht zu finden, da kein Schild auf das in einem Wäldchen gelegene Denkmal hinweist.

### **Die ehemalige Tunnelbaustelle „Alte Eisenbahn“ im südlichen Eggegebirge**

Im südlichen Eggegebirge, an der Straße zwischen den Orten Kleinenberg und Willebadessen, befindet sich in der Kammregion des dort bis 366 m aufsteigenden Höhenzuges ein bemerkenswertes Bodendenkmal, das auf den frühen Eisenbahnbau zurückgeht. Es handelt sich um die im Jahr 1848 verlassene Baustelle des Tunnels für die Köln-Minden-Thüringer Verbindungsbahn. Dieser Bereich trägt heute den Namen „Alte Eisenbahn“\*. Zu Baubeginn des Tunnels im Jahr 1846 gab es für diese Region noch keine detaillierten geologischen Karten. Erst 1858, zehn Jahre nach Aufgabe der Tunnelbaustelle, erschien mit der Section 14 Warburg der Geologischen Karte 1:80 000 von Heinrich von Dechen eine erste noch sehr einfache Darstellung der verschiedenen Gesteinseinheiten.

Die geologischen Verhältnisse und die bodenmechanischen Eigenschaften des Baugrundes mussten deshalb durch eigene Untersuchungen vor Ort geklärt werden. Leider sind dazu keine entsprechenden Berichte oder Gutachten überliefert, das Archiv der Köln-Minden-Thüringer Verbindungs-Eisenbahn gilt als verschollen, doch wird man nicht „blauäugig“ an die Durchtunnelung des Egge-Kamms gegangen sein, sondern die Stelle genau geprüft und die geologischen Verhältnisse sehr gründlich erkundet haben. Für detaillierte Untersuchungen des Tunnelgeländes an der Karlschanze, wie sie später für den von 1861 bis 1864 erbauten Rehbergtunnel bei Altenbeken in Form von Schichtenbeschreibungen und einem geologischen Profil dokumentiert wurden (Simon 1868), gibt es allerdings indirekte Hinweise. So berichtet der Geologe und Paläontologe Ferdinand Roemer im Jahr 1852 von Fossilfunden aus dem Bereich der ehemaligen Tunnelbaustelle und bezieht sich bei deren Zuordnung zu bestimmten Gesteinseinheiten auf eine ihm „mündlich gemachte Mittheilung des Herrn Glidt, welcher ein geognostisches Profil der an der Karls-Schanze von der Eisenbahn zu durchschneidenden

Schichten aufnahm und später auch bei den Arbeiten an dem Tunnel selbst anwesend war“ (Roemer 1852a). Es ist also ziemlich sicher, dass man über die Schichtenfolgen und die Lagerungsverhältnisse sehr genaue Kenntnisse hatte.

Von März 1846 bis Juni 1847 wurde sehr intensiv an dem geplanten etwa 560 m langen Tunnel gearbeitet. Zunächst legte man mit Hilfe von Felssprengungen die Voreinschnitte, den 275 m langen Westeinschnitt und den 175 m langen Osteinschnitt an. Die Einschnitte erreichten an den geplanten Tunnelleingängen eine Tiefe von etwa 20 m. Von den bergseitigen Enden der Einschnitte wurden bis zur Einstellung der Arbeiten insgesamt noch etwa 180 m Richtstollen entlang der Tunnelachse vorgetrieben. Vor dem Osteinschnitt ist bereits ein etwa 130 m langes Stück der anschließenden Dammstrecke aufgeschüttet worden. Dass man insgesamt sehr überlegt und zielgerichtet zu Werke ging, kann man aus einem überlieferten Situationsplan der Tunnelbaustelle ersehen (Wichert 1987a, Wichert 1998). Er zeigt drei in gleichem Abstand auf der Tunnelachse angeordnete Parzellen mit der Bezeichnung Schacht. Diese Schächte sollten einerseits zur weiteren Erkundung der geologischen Verhältnisse beitragen, in der Hauptsache aber zusätzliche Arbeitsbereiche beim Ausbruch der Tunnelröhre schaffen.

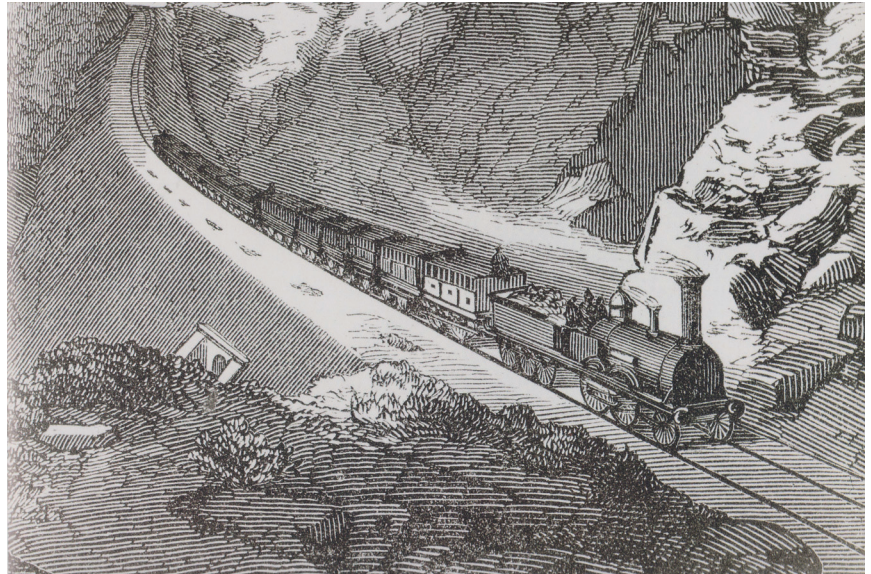
Als Gründe für die Einstellung des Tunnelbaus werden oft technische Schwierigkeiten oder Wassereinträge genannt. Diese Darstellungen entbehren aber jeder Grundlage, da es in dieser Hinsicht keine authentischen Berichte gibt. Auch aus der Situation der ehemaligen Tunnelbaustelle sind derartige Annahmen nicht zu belegen und sehr unwahrscheinlich. Die beiden Voreinschnitte des Tunnels haben jeweils ein nach außen gerichtetes Gefälle und sorgen somit für eine gute Entwässerung der relativ kurzen Tunnelstrecke nach beiden Seiten. Zudem war mit dem eigentlichen Ausbruch des Tunnels noch gar nicht begonnen worden (Wichert 1987b, 1998). Das soll allerdings nicht bedeuten, dass es bei weiter fortschreitendem Bau und dem Ausbruch der eigentlichen Tunnelröhre nicht zu unvorhergesehenen Schwierigkeiten gekommen wäre. Die durch spätere Untersuchungen nachgewiesene Besonderheit des geologischen Profils der Tunnelstrecke in Gestalt eines mit Tonmergelsteinen des Cenomaniums gefüllten tektonischen Grabens legt diese Vermutung sogar nahe.

Die tatsächliche Ursache für die Einstellung der Arbeiten an der Tunnelbaustelle lag in der bereits erwähnten zeitweiligen und schließlich endgültigen Insolvenz der Gesellschaft. Mit dem Ende der Bautätigkeit am Tunnel wurden die Eingänge der Richtstollen an den vorgesehenen Tunnelportalen gesprengt und die

\* Zur genauen Lage des Bodendenkmals „Alte Eisenbahn“ und einiger anderer Plätze und Bauwerke siehe Anhang.



**Abb. 3:** Ein von Süden aus Richtung Warburg kommender Zug der Westfälischen Staatseisenbahn am Pass von Neuenheerse im Jahr 1855, gesehen vom Standort der Stele beziehungsweise vom Besichtigungspunkt anlässlich der Einweihungsfahrt im Jahr 1853 (Aus: Illustrierte Zeitung, 24. Band, Jahrgang 1855, Febr. 17, Nr. 007; zitiert nach Wichert et al. 1994).



Schächte wieder verfüllt. Die damals gewonnenen geologischen Erkenntnisse scheinen sehr schnell in Vergessenheit geraten oder vielleicht sogar verloren gegangen zu sein. Es ist jedenfalls auffallend, dass auf dem 1904 erschienenen Blatt Lichtenau der Geologischen Spezialkarte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten im Maßstab 1:25 000 zwar die Bezeichnung „Alte Eisenbahn“ enthalten ist, sich aber in den zugehörigen Erläuterungen keine weiteren Angaben zu der geologischen Situation an der ehemaligen Baustelle finden.

Heute sind neben den tiefen Einschnitten nur noch einige Halden mit Aushubmaterial und planierte Flächen als Standorte ehemaliger Gebäude zu erkennen (Wichert 1998). An einigen Stellen der ehemaligen Baustelle wurden in den letzten Jahren durch Archäologen der Universität in Kiel und des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe in Münster Untersuchungen und Grabungen durchgeführt, die Steinfundamente von Gebäuden und auch Gebrauchsgegenstände der ehemaligen Belegschaft nachgewiesen haben (Jürgens & Wolpert 2017).

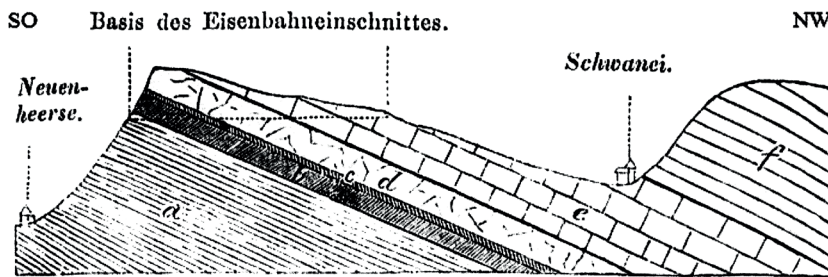
### Neuplanungen der Strecke zwischen Warburg und Paderborn

Nach der Übernahme des Bauprojekts der Köln-Minden-Thüringischen Eisenbahn durch den Staat Preußen und die Umbenennung in Westfälische Eisenbahn wurde zunächst der Streckenabschnitt zwischen Warburg und Paderborn neu geplant. Die neue Strecke sollte das Eggegebirge bei Neuenheerse in einem offenen Einschnitt ohne Tunnel queren. Die Gründe für die Verlegung lagen unter anderem in der Vermeidung enger Kurven, wie sie sich in den Tälern von Sauerbach und Altenau ergeben hätten, und in der Möglichkeit für einen späteren zweigleisigen Ausbau der Strecke (Wichert 1987b).

Die neue Bahnlinie wurde deshalb parallel zum Eggegebirge weiter nach Norden bis Neuenheerse geführt. Dort schneidet die Strecke den Egge-Kamm in einem leichten Bogen nach Nordwesten und setzt sich anschließend wieder in nördlicher Richtung fort. Bei Altenbeken biegt sie nach Südwesten in das Tal der Beke ein, überquert den Talgrund mit einem beeindruckenden Viadukt und erreicht schließlich Paderborn. Die als Einschnitt ausgebildete neue Querung des Eggegebirges am Pass von Neuenheerse befindet sich etwa 7,5 km nördlich der aufgegebenen Tunnelbaustelle an der Karlsschanze. Die Höhe dieses Übergangs liegt ähnlich wie am zunächst vorgesehenen Tunnel bei 340 m NHN, allerdings ergeben sich auf den Zufahrten zum Pass mit 1:60 und 1:90 deutlich größere Steigungen (Simon 1868).

Zur Zeit der Planung der ersten Eisenbahnlinie waren bei Steigungen von mehr als 1:100 für schwere Züge zwei Lokomotiven beziehungsweise eine weitere Vorspannlok oder eine zusätzliche Schiebelok an Ende des Zuges notwendig. Infolge der rasanten Entwicklung im Lokomotivbau standen wenige Jahre später bei der Eröffnung der neuen Linie im Jahr 1853 bereits stärkere Lokomotiven zur Verfügung, die die etwas größeren Steigungen am Pass von Neuenheerse (Abb. 3) gut bewältigen konnten (Wichert 1987b).

Geologisch gesehen wird das Eggegebirge von Schichtenfolgen der Kreide, des Juras und der Trias aufgebaut. Als Gesteinsarten treten Kalksteine, Mergelsteine, Tonsteine und Sandsteine auf. Der zur Querung der Egge bei Neuenheerse angelegte Einschnitt bot eine ausgezeichnete Möglichkeit für detaillierte geologische Untersuchungen der angetroffenen Schichtenfolgen. Im Zusammenhang mit Fossilfunden, nach denen Ferdinand Roemer im Jahr 1852 (Roemer 1852a) erstmalig den Sandstein „im südlichen Abschnitt des Teutoburger Waldes“ [d. h. des Eggegebirges] in die Unterkreide einstufen konnte,



**Abb. 4:** Geologisches Profil durch den Egge-Kamm bei Neuenheerse (stark überhöht) mit der Lage des Eisenbahneinschnitts (aus Roemer 1852b, leicht verändert, Bezeichnungen a – f siehe Text).

beschreibt er diesen Aufschluss, der „durch die Arbeiten der von Paderborn nach Warburg führenden Westphälischen Staats-Eisenbahn neuerlichst“ entstanden ist: „An dem Punkte, an welchem die genannte Bahn den hier breiten und sanft gegen Westen abfallenden Sandstein-Rücken des Gebirges überschreitet [...], hat man in den letzten Wochen den bedeutenden Einschnitt angefangen, durch welchen der höchste Kamm des Sandstein-Rückens für die Durchführung der Bahn ansehnlich erniedrigt werden wird“.

Roemer zeichnete auch ein geologisches Profil und versah es mit einer Schichtenbeschreibung (Roemer 1852b). Über roten und grauen Mergeln mit Sandstein-einlagerungen der Trias beziehungsweise des Keupers (a) und schwarzen Tonen und Mergeln mit Kalksteinbänken des Juras (b + c) folgt ein weißer, stark zerklüfteter Sandstein des Neocoms beziehungsweise der unteren Unterkreide (d), der heute als Osning-Sandstein beziehungsweise als Osning-Formation bezeichnet wird. Darüber liegt ein braunroter Sandstein mit Hornsteinknollen des Gaults beziehungsweise des Albiums und damit der höchsten Stufe der Unterkreide (e), der den Namen Gault-Sandstein trägt und heute als Kleinenberg-Formation benannt wird. In diesen Sandstein-Schichten wurde ein Exemplar des *Ammonites auritus* gefunden, der für den Zeitabschnitt des Albiums bestimmend ist. Die oberste Einheit besteht aus grauen Mergeln und gebankten Kalksteinen des Cenomaniums (f), der untersten Stufe der Oberkreide (Abb. 4). Eine ähnliche Abfolge von Gesteinen des Keupers bis in die Mergel des Cenomaniums liegt auch im Bereich der „Alten Eisenbahn“ vor.

Eine Verbindung zu der ehemaligen Tunnelbaustelle an der Karlsschanze ergibt sich durch eine weitere Bemerkung von Ferdinand Roemer zu den Fossilfunden bei Neuenheerse: „Schliesslich ist es mir eine angenehme Pflicht ausdrücklich hervorzuheben, dass ich das Exemplar des *Ammonites auritus* [...] der Güte des Herrn Glidt in Warburg verdanke, welchen ich nach meiner Anwesenheit bei Neuenheerse im vorigen Herbste ersucht hatte den bei dem Fortschreiten des Einschnittes etwa vorkommenden Fossilien seine besondere Aufmerksamkeit zu schenken“ (Roemer 1852b). Dieser Herr Glidt war bereits Jahre zuvor als Geologe auf der Baustelle an der Karlsschanze tätig gewesen und scheint dem Bahnbau in der

Region auch nach dem Übergang von der Gesellschaft der Köln-Minden-Thüringer Verbindungs-Eisenbahn zur Westfälischen Eisenbahn-Gesellschaft weiterhin als Sachverständiger und Gutachter zur Verfügung gestanden zu haben. Etliche Jahre später beteiligte er sich bei den geologischen Vorarbeiten für den Rehbertunnel der Altenbeken-Holzmindener Eisenbahn. Auch beim Bau des 1632 m langen Tunnels in der Zeit vom Herbst 1861 bis zum Sommer 1864 wurden seine Kenntnisse „oftmals zu Rathe gezogen“ (Simon 1868).

Die Eisenbahnstrecke über den Pass von Neuenheerse bis nach Willebadessen ist heute schon wieder Geschichte. Der Pass und die Strecke sind verlassen und die Schienen entfernt. Die heutige Strecke verläuft von Norden kommend noch drei Kilometer weiter auf der Westseite des Eggegebirges nach Süden und unterfährt dann den flachen Höhenzug in südöstlicher Richtung in einem 2880 m langen Tunnel. Etwa 1600 m nördlich des Bahnhofs Willebadessen kommt die neue Bahnlinie am Osthang des Eggegebirges wieder zutage und geht in die alte Strecke über.

Die Gründe für den Neubau eines Tunnels durch das Eggegebirge liegen in dem Teilstück der alten Strecke vom Pass bei Neuenheerse bis zum Bahnhof Willebadessen. Dieser Streckenabschnitt verlief auf überwiegend hohen Dämmen und in Einschnitten. Das Material der in den Jahren um 1850 aufgeschütteten Dämme wurde den Einschnitten in den Keuper- und Jura-Schichtern entnommen und besteht überwiegend aus Ton- und Tonmergelsteinen. Mit den damaligen technischen Mittel war dieses Gesteinsmaterial nur unzureichend zu verdichten. Zudem weist es besonders bei Wasserzutritt ausgesprochen schlechte bodenmechanische Eigenschaften wie zum Beispiel eine geringe Festigkeit und ein ausgeprägtes Fließverhalten auf. Gelegentlich traten in den Dammbereichen auch Schwelbrände auf, die durch Selbstentzündungen des stellenweise hohen Anteils von organischem Kohlenstoff in den Tonsteinen entstanden.

Die Dammstrecken waren deshalb von andauernden Senkungen und Rutschungen betroffen. Auch die Einschnitte waren nicht standfest. Besonders am Paderborner Berg, auf halber Strecke zwischen Neuenheerse und Willebadessen, traten häufiger Hangrutschungen

**Abb. 5:** Verschobene und verbogene Gleise nach Hangrutschungen am Paderborner Berg zwischen Neuenheerse und Willebadessen (Foto: Heinrich Glitz, 1988).



auf, die ein erhebliches Risiko für die Sicherheit des Bahnverkehrs darstellten (Abb. 5).

Die durch die ungünstigen Eigenschaften des Baumaterials und des Untergrundes hervorgerufenen Beeinträchtigungen ließen diesen Streckenabschnitt zu einem Risikobereich und zu einer ewigen Baustelle werden. Aus diesen Gründen hat man sich bei der Deutschen Bahn gegen Ende des 20. Jahrhunderts entschieden, den andauernden Reparatur- und Sanierungsmaßnahmen sowie der Einrichtung von Langsamfahrstrecken ein Ende zu setzen und den Streckenabschnitt aufzugeben.

Der Bau des Egge-Tunnels als Teil der neuen Strecke wurde im Februar 1998 begonnen. Im Frühjahr des Jahres 2000 trafen die von Nordwesten und Südosten vorgetriebenen Röhren aufeinander. Zwei Jahre später war die Ausbetonierung der Tunnelröhre fertiggestellt. Am 12. Dezember 2003 – 150 Jahre nach Eröffnung der ersten Strecke – fand die offizielle Freigabe des Tunnels und der Neubaustrecke statt.

Der Tunnel durchörtert im nördlichen Teil die Schichten des Gault-Sandsteins und des Osning-Sandsteins, die dort auf dünnsschichtigen Kalksteinen des Unteren Muschelkalks („Wellenkalk“) liegen. Auf diesen Kalksteinen ist ein deutlicher Bodenhorizont beziehungsweise ein toniger Paläoboden entwickelt, der auch im weiteren Umfeld durch Bohrungen nachgewiesen wurde und eine ehemalige Landoberfläche anzeigt (Skupin & Strauß 2004). Im südlichen Teil steht der Tunnel überwiegend in relativ weichen Tonsteinen des Lias und des Keupers. Je nach Gesteinsart wurde der Ausbruch im Spreng- oder Baggerbetrieb bewerkstelligt. Strecken mit einem häufigen Wechsel von lockerem Bodenmaterial und festen Felspartien wirkten sich erschwerend auf den Vortrieb aus. In tektonisch zerklüfteten Bereichen kam es durch das Eindringen von wassergesättigten breiigen Schuttmassen und durch starke Wassereinträge vor Ort zu erheblichen Schwierigkeiten, die letztlich die Fertig-

stellung des Tunnels um ein halbes Jahr verzögerten (Schenk & Liening 2000).

### **Frühe Eisenbahnbauwerke entlang der Bahnstrecke Hueda – Paderborn und ihr Baumaterial**

Schon beim Bau der ersten Eisenbahnlinie im südlichen Eggegebirge dürften bereits vorhandene geologische Erkenntnisse genutzt worden sein, so zum Beispiel bei der Begutachtung des Trassenuntergrundes oder bei der Suche nach geeigneten Naturbausteinen für die zu errichtenden Brücken, Bahnhöfe, Stützmauern und sonstige Bauwerke. Das Baumaterial wird man aus Kostengründen beziehungsweise wegen der Mitte des 19. Jahrhunderts noch sehr schwierigen Transportbedingungen nach Möglichkeit aus einem der Baustelle nahe gelegenen Vorkommen bezogen haben. Erst bei größerem Bedarf wurde auch auf andere weiter entfernte Steinbrüche zurückgegriffen.

Steinbrüche hat es im Eggegebirge schon lange vor dem Beginn des Eisenbahnbaus gegeben (Speetzen 2010). So konnte man sich bei der Beschaffung von Baumaterial auf bereits etablierte Betriebe und Steinmetzhütten stützen. Stellenweise wurden aber auch entlang der Strecke geeignete Naturbausteine gewonnen und in eigenen Bauhütten für den jeweiligen Bedarf hergerichtet. In diesem Zusammenhang werden einige der großen Bauwerke der Eisenbahnlinie, die Viadukte, vorgestellt. Sie galten in der Mitte des 19. Jahrhunderts als Wunderwerke der Technik, geben aber auch heute noch Anlass zur Bewunderung.

Südöstlich des Eggegebirges in der Nähe des hessischen Ortes Hueda quert die Eisenbahnlinie die Diemel an einer Engstelle des Tals. Der Fluss bildete zur Erbauungszeit der Bahn in dem Bereich die Grenze zwischen dem Kurfürstentum Hessen und dem Königreich Preußen (heute Grenze zwischen den Bundesländern Hessen und Nordrhein-Westfalen). Der Bau der Überführung beziehungsweise des etwa 150 m langen Viadukts wurde im Jahr 1848 von der Gesellschaft



der Köln-Minden-Thüringer Verbindungs-Eisenbahn begonnen. Nach der Insolvenz dieser Gesellschaft und der Übernahme durch den preußischen Staat wurden die Arbeiten im Rahmen der Westfälischen Eisenbahn im Jahr 1850 abgeschlossen. Für die Kosten des Bauwerks kamen die beiden angrenzenden Staaten auf, das heißt das Kurfürstentum Hessen und das Königreich Preußen.

Der Viadukt besteht aus hellen, bräunlichen und schwach rötlichen Sandsteinen, die vermutlich alle aus den Schichten des Mittleren Buntsandsteins stammen (Abb. 6). Das nächste Vorkommen dieser Gesteine beziehungsweise entsprechende Steinbrüche liegen am Süden des Eggegebirges bei Wrexen nördlich und südlich des Diemeltals. Sehr wahrscheinlich stammt das Baumaterial von dort und ist über eine Entfernung von etwa 25 km mit Pferdefuhrwerken angeliefert worden. Zumindest ein Teil des Materials könnte aber auch aus dem Reinhardswald beziehungsweise aus dem ähnlich weit entfernten unteren Diemeltal bezogen worden sein. Im Jahr 1848 sind nämlich die hessische Friedrich-Wilhelms-Nordbahn, benannt nach Landgraf und Kurfürst Friedrich-Wilhelm I. von Hessen-Kassel, von der Hauptstadt Kassel über Hofgeismar bis Hümme und auch die Stichbahn von Hümme nach Karlshafen (Carlsbahn) eröffnet worden (Abb. 1). Beim Bau der im Jahr 1966 stillgelegten Carlsbahn, die am Westrand des Reinhardswaldes verlief, wurden einige Einschnitte und auch Steinbrüche in den Schichten des Mittleren Buntsandsteins angelegt. Als im Jahr 1849 die Weiterführung der hessischen Nordbahn von Hümme nach Haueda dem Verkehr übergeben wurde, bestand eine direkte Eisenbahnverbindung zwischen den Steinbrüchen im unteren Diemeltal und dem noch im Bau befindlichen Diemel-Viadukt bei Haueda.

Ein relativ kleiner, nur etwa 120 m langer Viadukt befindet sich einen Kilometer südwestlich von Willebadessen. Er überquert das Tal des Hellebachs (Abb. 7). Die Besonderheit dieser Überführung ist ihr Verlauf, der eine sehr schwache s-förmige Krümmung aufweist. Beim Bau des Viadukts wurden sowohl Sandsteine aus dem Mittleren Buntsandstein als auch Osning-Sandstein aus der Unterkreide verwendet. Die hellen, fein geschichteten Sandsteine, aber auch die leicht rötlichen Sandsteine und die bei einem Wechsel von hellen und rötlichen Lagen streifig wirkenden Varietäten sind dem Mittleren Buntsandstein zuzuordnen. Der Osning-Sandstein ist meistens deutlich gröber und oft auch löcherig ausgebildet. Er zeigt ein auffälliges Farbspektrum von hellgrauen, braunen, ockerfarbenen und roten Tönen (Abb. 8). Ein ähnliches Farbenspiel ist auch am nördlichen Teil des Querhauses der mit Osning-Sandstein errichteten Stiftskirche St. Vitus in Willebadessen zu beobachten.

Die nächste Abbaustelle von Osning-Sandstein befindet sich etwa einen Kilometer südwestlich des Ortsrandes von Willebadessen in einem ehemaligen großen Steinbruch am Steilhang des Eggegebirges direkt unterhalb des Hirschsteins, der die Kammregion des Eggegebirges bildet. Der Steinbruch ist in der Luftlinie nur einen Kilometer vom Viadukt entfernt, aber auch die Wegeverbindung zwischen Steinbruch und Bauwerk ist mit etwa 2,5 km relativ kurz. Es ist deshalb sehr wahrscheinlich, dass ein Teil des Baumaterials für den Viadukt vom Hirschstein stammt, zumal dort auch braune, ockerfarbene und rote Sandsteine vorkommen. Das Buntsandstein-Material dürfte aus dem Raum Wrexen stammen. Es könnte aber auch vom Reinhardswald angeliefert worden sein, da ab 1850 – nach Fertigstellung des Diemel-Viadukts bei Haueda – auch Warburg mit der hessischen Nordbahn verbunden war.

Als ein Technik-Denkmal ersten Ranges gilt der von 1851 bis 1853 erbaute, 480 m lange und 35 m hohe Eisenbahnviadukt von Altenbeken (Abb. 9). Die aus 24 Gewölb Bögen bestehende Brücke wird auch als Großer Viadukt bezeichnet, im Gegensatz zu dem weiter südwestlich in Richtung Paderborn gelegenen Kleinen Viadukt. Die Brücke führt die Bahnlinie in einer leichten Kurve über das Beketal. Bei der Errichtung des Altenbekener Viadukts wurden verschiedene Naturbausteine verwendet (Abb. 10). Die Pfeiler bestehen überwiegend aus einem harten graublauen Kalkstein („Plänerkalkstein“ bzw. Baddeckenstedt-Formation) des Cenomaniums (Kaplan 2009). Dieses Gestein stammt aus der unmittelbaren Umgebung des Viadukts (Schlüter 1866) und wurde an den Stellen gewonnen, an denen das Bauwerk in die Hänge des Beketals übergeht.

Aus statischen Gründen und zur optischen Gliederung der Pfeiler wurden in den unteren Abschnitten einzelne Lagen mit Sandsteinen aus Wrexen (Mittlerer Buntsandstein) ausgeführt. Den Transport der Sandsteinblöcke von Wrexen zur Baustelle des Viadukts übernahmen die Bauern aus der Umgebung. Mit ihren Fuhrwerken und einer um 1500 Kilogramm schweren Steinfracht benötigten sie für die etwa 40 km drei Tage, wobei die Wagen wegen der schlechten Wege mit vier Pferden bespannt sein mussten. Der obere Teil des Viadukts mit den Gewölb Bögen besteht aus Osning-Sandstein, der zum Teil aus den Steinbrüchen an der Velmerstot im nördlichen Eggegebirge und aus dem Raum Neuenheerse herangefahren wurde (Neuheuser 1960).

Der 3,5 km südwestlich gelegene Kleine Viadukt oder auch Dune-Viadukt überquert das Dunetal, ein südliches Seitental der Beke. Die etwa 230 m lange und 33 m hohe Überführung wurde ebenfalls – wie der Große Viadukt – aus „Plänerkalksteinen“ des Cenomaniums (Baddeckenstedt-Formation) erbaut, obwohl der Viadukt selbst in

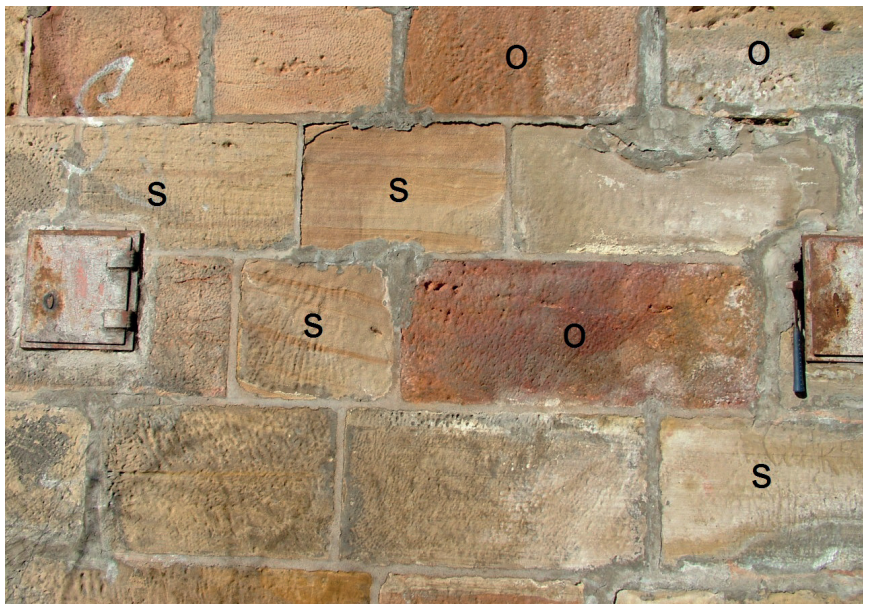
**Abb. 6:** Der Diemel-Viadukt bei Hueda – errichtet aus Sandsteinen des Mittleren Buntsandsteins (Foto: April 2018).



**Abb. 7:** Der Viadukt im Hellebachtal südwestlich von Willebadessen (Foto: Februar 2019).



**Abb. 8:** Viadukt im Hellebachtal – Nordseite des nördlichen Gewölbebogens mit Beispielen für Gesteinstypen aus dem Mittleren Buntsandstein (s) und dem Osning-Sandstein (o) (Foto: Februar 2019).





„Plänerkalksteinen“ des Turoniums (Oerlinghausen-Formation) steht (Kaplan 2009). Man hat das etwas festere Gestein der Baddeckenstedt-Formation vorgezogen und auch das Baumaterial für den Kleinen Viadukt im Bereich des Großen Viadukts gewonnen.

Als Beispiel für die damaligen Bahnhöfe wird der mit Osning-Sandstein errichtete Bahnhof in Buke vorgestellt (Abb. 11). Er ist noch weitgehend in seinem ursprünglichen Aussehen erhalten. Das Baumaterial stammt sehr wahrscheinlich aus der nur 2,5 km östlich gelegenen Kammregion des Eggegebirges, in der es am Stellberg und auf Hausheide gut erreichbare Steinbrüche im Osning-Sandstein gibt.

Bei dem für die Viadukte von Altenbeken und Willebadessen sowie für den Bahnhof in Buke verwendeten Osning-Sandstein könnte es sich zumindest teilweise auch um Gesteinsmaterial handeln, das beim Streckenbau gewonnen wurde. Bei der Anlage des tiefen Einschnitts am Pass bei Neuenheerse sind jedenfalls große Mengen an Osning-Sandstein angefallen. Dabei hat man die mürberen Partien sicherlich zur Aufschüttung der südlich anschließenden Dammstrecke verwendet, während die festeren Bereiche sehr wahrscheinlich als Bausandstein Verwendung fanden. Es könnte sogar sein, dass ein Teil dieses Materials nach Fertigstellung der normalen Strecke mittels kleiner von Pferden gezogener Loren über die Schienen an die entsprechenden Baustellen transportiert wurde. Darauf deutet auch die Tatsache hin, dass sich direkt am nördlichen Beginn des Einschnitts beziehungsweise südlich des ehemaligen Bahnhofs Neuenheerse ein stillgelegter größerer Steinbruch im Osning-Sandstein befindet, von dem aus das abgebaute Material direkt auf Waggons verladen werden konnte. Dieser Bruch wurde seit etwa 1860 von der ehemaligen Firma Theodor Schmitz betrieben (Mitteilung von U. Kaplan).

### Die geologischen Verhältnisse im südlichen Eggegebirge

Der mehr oder weniger in Nord-Süd-Richtung verlaufende Kamm des Eggegebirges wird von Sandsteinen der Unterkreide gebildet, zuunterst der so genannte Osning-Sandstein und direkt auflagernd der Gault-Sandstein\*. Sie fallen schwach nach Westen ein und bilden den flachen und breiten Westhang des Höhenzuges. Weiter im Westen folgen mit einer deutlichen Schichtstufe Mergel- und Kalksteine der Oberkreide. Der Osthang des Eggegebirges ist meistens steil und kurz ausgebildet und stellt eine markante Schichtstufe dar.

Unterhalb der festeren Sandsteinen der Unterkreide stehen verbreitet Ton- und Tonmergelsteine des Keupers (Obere Trias) und des Lias (Unterer Jura) an, die verwitterungsanfällig sind und häufig zu deutlichen Steilkanten in dem überlagernden Osning-Sandstein führen, wie zum Beispiel an den zwei Kilometer südöstlich der „Alten Eisenbahn“ gelegenen Teutoniaklippen.

Weiter im Süden liegen die Sandsteine der Unterkreide auf Ablagerungen der mittleren und unteren Trias mit Kalksteinen des Muschelkalks sowie Sandsteinen und Tonsteinen des Buntsandsteins. Sie werden von drei bedeutenden Verwerfungen durchzogen, die stellenweise vertikale Versatzbeträge von einigen hundert Metern aufweisen. Diese lang durchhaltenden Bruchstrukturen verlaufen mehr oder weniger parallel zum Egge-Kamm und wechseln zwischen der Nord-Süd- und der Nordnordwest-Südsüdost-Richtung. Sie machen sich auch noch in den auflagernden Schichten der Kreide bemerkbar, allerdings mit deutlich geringeren Versatzbeträgen. Diese Bruchstrukturen bilden den Ausgleich zwischen einem Hochgebiet im Westen und einem Senkungsbereich im Osten (Abb. 12 u. 13).

Unter dem Stockwerk mit Trias- und Jura-Ablagerungen (mittleres und älteres Mesozoikum) und dem Zechstein (jüngstes Paläozoikum) stehen die gefalteten Schichten des Karbons und Devons (mittleres Paläozoikum) an. Sie stellen den Rumpf des im Oberkarbon entstandenen und bereits kurz nach seiner Bildung stark abgetragenen Variszischen Gebirges dar. Die paläozoischen Schichten steigen in westlicher Richtung allmählich an und erreichen südwestlich des Eggegebirges im Diemeltal zwischen Westheim und Marsberg die Geländeoberfläche. In geographischer Sicht bildet die herausgehobene Großscholle das Sauerland beziehungsweise das Rheinische Schiefergebirge. Geologisch stellt der Komplex einen erdgeschichtlich langlebigen, auch als Rheinische Masse bezeichneten Festlandsblock dar, der nur an den Rändern von jüngeren Ablagerungen überdeckt wird. In der östlich angrenzenden Hessischen Senke ist das gefaltete Paläozoikum erst in einer Tiefe von mehr als tausend Metern anzutreffen.

### Zur Geschichte der geologischen Landesaufnahme im Eggegebirge

Das erste flächendeckende geologische Kartenwerk, das die preußischen Westprovinzen schon relativ detailliert darstellt, ist die von Heinrich von Dechen bearbeitete Geologische Karte der Rheinprovinz und der Provinz Westfalen im Maßstab 1:80 000. Das 1858, also fünf Jahre nach der Einweihung und Inbetriebnahme der Westfälischen Eisenbahn erschienene Blatt Section 14 Warburg umfasst auch den Bereich des südlichen Eggegebirges. In einer noch wenig differenzierten Unterteilung

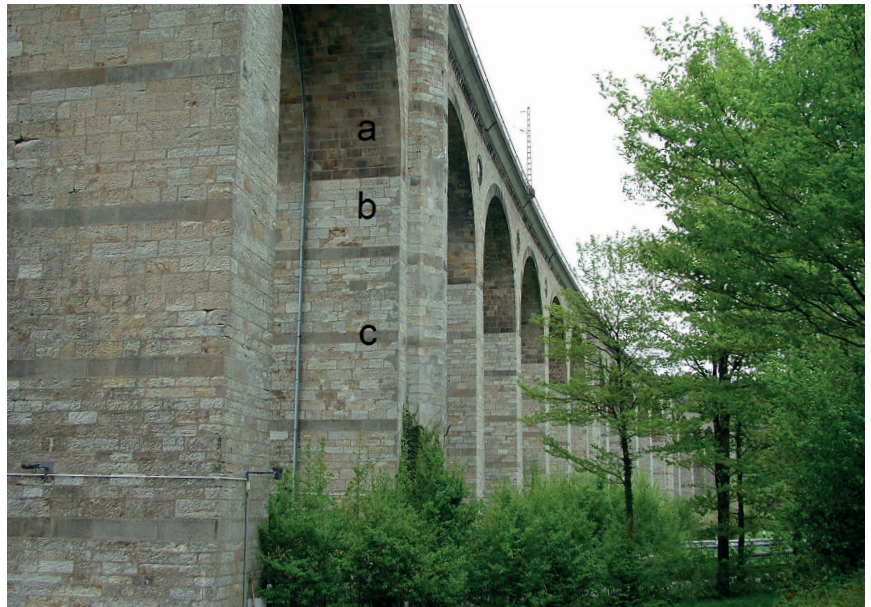
\* Diese Schichtenfolgen werden heute als Osning-Formation und Kleinenberg-Formation bezeichnet. Wegen der Vergleichbarkeit mit der zitierten geologischen Literatur und den geologischen Karten der betrachteten Region werden weiterhin die alten Bezeichnungen verwendet und zusätzlich die neuen Formationsnamen angegeben.



**Abb. 9:** Der Große Viadukt bei Altenbeken  
– Ansicht von Süden (Foto: Oktober 2018).



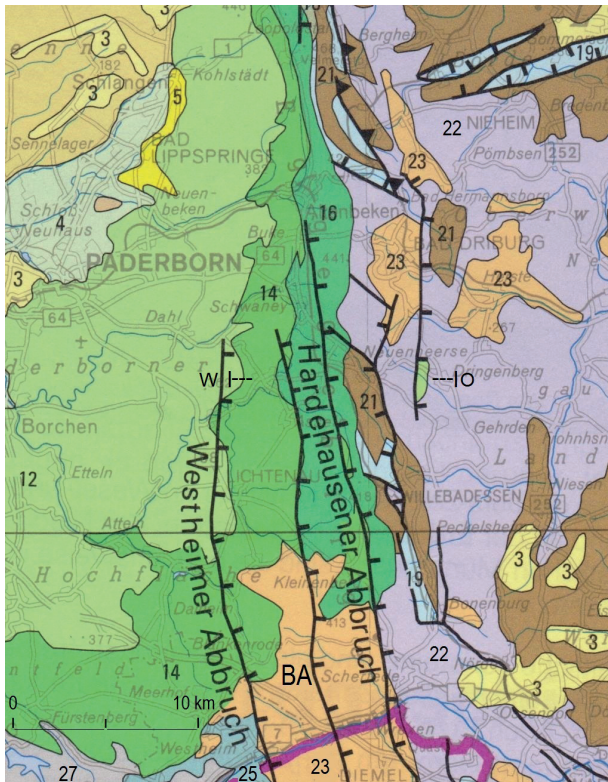
**Abb. 10:** Der Große Viadukt bei Altenbeken  
– Pfeiler mit unterschiedlichem Baumaterial:  
a Osning-Sandstein, b Plänerkalkstein bzw.  
Baddeckenstedt-Formation des Cenomaniums,  
c Sandstein aus dem Mittleren Buntsandstein bei  
Wrexen (Foto: Mai 2018).



**Abb. 11:** Der im Jahr 1853 mit Osning-Sand-  
stein errichtete Bahnhof in Buke südlich von  
Altenbeken (Foto: August 2008).







**Abb. 12:** Geologische Übersichtskarte mit den großen Verwerfungen im Bereich des Eggegebirges (BA Billinghamseener Abbruch, 3 Löss, 4 u. 5 Terrassenablagerungen, 12 höhere Oberkreide, 14 Cenoman, 16 Unterkreide, 19 Unterer Jura, 21 Keuper, 22 Muschelkalk, 23 Buntsandstein, 25 Zechstein, 27 Oberkarbon, violette Linie = Grenze zwischen NRW und Hessen, WL--JO Schnittlinie des Profils in Abb. 13; Ausschnitt aus der Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen 1:500 000, Krefeld 2004).

werden in dem Bereich von Willebadessen im Osten und Lichtenau im Westen die Einheiten Muschelkalk, Keuper, Lias, Neocom, Gault und Pläner ausgeschieden. Die Verbreitung der Gesteinseinheiten wird mit einfachen Begrenzungslinien dargestellt, tektonische Grenzen beziehungsweise Verwerfungen sind in der Karte noch nicht enthalten.

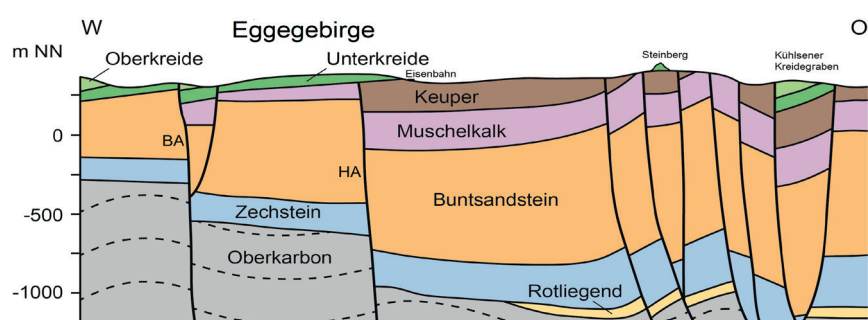
Gut 40 Jahre später führte Stille als Mitarbeiter der Königlich Preußischen Geologischen Landesanstalt in Berlin im Eggegebirge eine erste geologische „Spezialkartierung“ im Maßstab 1:25 000 durch. Mit einer bemerkenswerten Arbeitsleistung stellte er im Zeitraum von 1901 bis 1903 die Blätter 4219 Altenbeken, 4319 Lichtenau, 4419 Kleinenberg und 4318 Etteln (Borchen)

fertig, die im Jahr 1904 als Lieferung 70 der Geologischen Spezialkarte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten herausgegeben wurden. 1908 folgten als Lieferung 147 die östlich anschließenden Blätter 4220 Driburg, 4320 Willebadessen und 4420 Peckelsheim, wiederum von Stille in den Jahren 1903 bis 1905 kartiert, das letzte unter Mitarbeit von Mestwerdt.

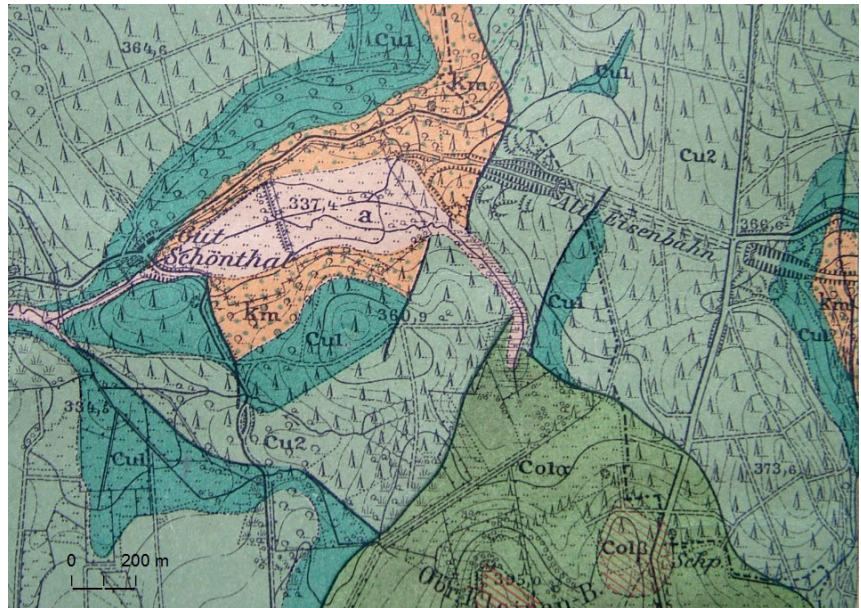
Schon zu diesem Zeitpunkt scheinen die etwa 50 Jahre früher beim Bau des Tunnels im Bereich der „Alten Eisenbahn“ zwischen Lichtenau und Willebadessen gewonnenen geologischen Erkenntnisse in Vergessenheit geraten oder vielleicht sogar verloren gegangen zu sein. Dadurch ließe sich erklären, dass Stille in den Erläuterungen seiner kurz nach der Jahrhundertwende durchgeführten geologischen Kartierungen die Tunnelbaustelle „Alte Eisenbahn“ mit keinem Wort erwähnt und auch auf Blatt Lichtenau an der entsprechenden Stelle den durch den westlichen Schacht der Baustelle nachgewiesenen Mergel des Cenomaniums nicht verzeichnet hat. Das Archiv beziehungsweise die Unterlagen und Bauakten der Köln-Minden-Thüringer Verbindung-Eisenbahn gelten heute jedenfalls als verschollen und sind vermutlich dem Zweiten Weltkrieg „zum Opfer gefallen“ (Wichert et al. 1994).

Stille gewann bei seinen Untersuchungen wichtige Erkenntnisse zum besonderen tektonischen Bau dieses Raumes in seiner Position zwischen der Rheinischen Masse im Westen und dem Nordteil der Hessischen Senke im Osten. Er erkannte in den Schichtenfolgen im südlichen Eggegebirge, insbesondere im Bereich von Blatt Kleinenberg, die großen in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Verwerfungen, an denen jeweils die östliche Scholle gegenüber der westlichen abgesunken ist. Die Hauptverwerfungen bezeichnete er nach Orten in ihrer Nähe als Hardehausener Abbruch und als Westheimer Abbruch (Stille 1935). Auf dem nördlichen Teil des Blattes Kleinenberg werden diese Verwerfungen von den Kreide-Schichten überdeckt, machen sich aber auch in diesen Ablagerungen stellenweise noch mit geringeren Versätzen bemerkbar. Daraus leitete Stille ab, dass im Eggegebirge sowohl vorkreidezeitliche als auch spät- bis nachkreidezeitliche tektonische Bewegungen stattgefunden haben müssen.

**Abb. 13:** Schematisches geologisches Profil durch das Eggegebirge und das östliche Vorland. (BA = Billinghamseener Abbruch, HA = Hardehausener Abbruch, Lage der W-O-Schnittlinie siehe Abb. 12; nach Geologischer Karte von Nordrhein-Westfalen 1:500 000, Krefeld 2004).



**Abb. 14:** Ausschnitt aus der Geologischen Spezialkarte 1:25 000 von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Blatt Lichtenau (1904) mit der „Alten Eisenbahn“ (a Ebener Talboden der Gewässer, co1  $\beta$  Cenoman-pläner (Baddeckenstedt-Formation), co1  $\alpha$  Cenomanmergel (Herbram-Formation), cu2 Gaultsandstein (Kleinenberg-Formation), cu1 Neocomsandstein (Osning-Formation), km Mittlerer Keuper).



Mit einer weiteren wichtigen Erkenntnis deutete Stille die Schichtlücke zwischen der aus Gesteinen des älteren Mesozoikums aufgebauten unteren Struktureinheit und den auflagernden Schichten der Kreide als Ergebnis einer festländischen Phase, die eine Unterbrechung der Sedimentation sowie Verwitterung und Abtragung zur Folge hatte. Er stand damit im Gegensatz zu Adolf von Koenen, Professor an der Universität Göttingen und Doktorvater von Stille, der die lückenhafte Abfolge auf eine tektonische Ursache beziehungsweise auf eine Überschiebung zurückführte. Die Auffassung von Stille fand hundert Jahre später noch eine schöne Bestätigung durch den Nachweis einer spätjurassischen bis frühkreidezeitlichen Bodenbildung (Skupin & Strauß 2004).

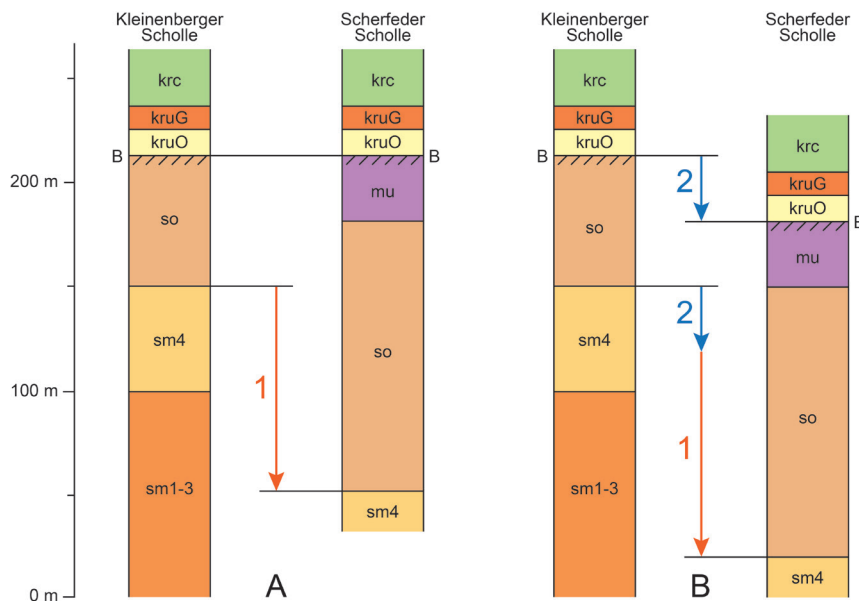
Die Geologische Karte Blatt Lichtenau umfasst auch den Bereich der „Alten Eisenbahn“ (Abb. 14). Nach dem im Jahr 1904 herausgegebenen Blatt besteht das Unterlager der Kreide dort aus Schichten des Mittleren Keupers, die sowohl östlich als auch westlich der ehemaligen Tunnelbaustelle verzeichnet sind. Im Bereich des Tunnels ist – wie bereits erwähnt – nur Gault-Sandstein dargestellt, der auch sonst im südlichen Eggegebirge nach der Kartierung von Stille weitgehend den zwei bis drei Kilometer breiten Westhang des Höhenzuges bedecken soll. Bei der Revision des Blattes für die 2. Auflage aus dem Jahr 1935 wurde in dem genannten Bereich nichts geändert.

Zwanzig Jahre später, im Jahr 1955, führte Dahm, Mitarbeiter des Geologischen Landesamts Nordrhein-Westfalen in Krefeld, bodenkundliche Kartierungen im südlichen Eggegebirge durch. Er fand dabei im Verbreitungsgebiet der Unterkreide-Sandsteine Reste einer fossilen weißlehmartigen tonreichen Verwitterungsdecke (Dahm 1958), deren Ursprung zunächst unbekannt blieb, die aber vermutlich von tektonisch eingesenkten

Mergelsteinen des Untercentomaniums stammen. Durch ein von Dahm in den 1970er Jahren vorwiegend im Bereich der Kartenblätter Kleinenberg und Lichtenau durchgeführtes umfangreiches Bohrprogramm wurden dann tatsächlich an verschiedenen Stellen schmale tektonische Gräben und Halbgräben mit entsprechenden Gesteinen nachgewiesen. Zudem führte Dahm im Bereich von Blatt Kleinenberg eine moderne Buntsandstein-Gliederung ein, die ein genaueres Bild der tektonischen Strukturen ergab und eine exaktere Ermittlung der vertikalen Verschiebungsbeträge erlaubte (Farrenschon 1990). Außerdem stufte er das Vorkommen von rötlich-braunen Tonsteinen westlich der „Alten Eisenbahn“, das von Stille als Mittlerer Keuper angesehen wurde, in die ähnlich ausgebildete Abfolge des Oberen Buntsandsteins (Röt-Formation) beziehungsweise in das Röt 3 ein. Es handelt sich um eine Schichteinheit, die bei normaler Lagerung der Schichtenfolgen 350 bis 400 m unterhalb der Schichten des Mittleren Keupers einzuordnen ist. Durch die Neueinstufung ergeben sich in diesem Bereich wesentliche Konsequenzen für die Darstellung des tektonischen Baus. Die neuen Erkenntnisse wurden in die 1979 beziehungsweise 1988 erschienenen Blätter C 4318 Paderborn und C 4718 Korbach der Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100 000 übernommen.

An dieser Stelle möchte der Autor eine besondere Begegnung und Erfahrung mit H.-D. Dahm schildern. Nach mehreren Treffen im südlichen Eggegebirge – meistens ging es dabei um die schwierige Unterscheidung von Osning-Sandstein und bestimmten, sehr ähnlich ausgebildeten Sandsteinen aus den Buntsandstein-Folgen – kam es im Jahr 1974 zu einem Treffen im Bereich der „Alten Eisenbahn“. Dabei wurde auch eine im Wald zwischen den beiden Voreinschnitten gelegene Anhäufung von Bodenmaterial und verwitterten





**Abb. 15:** Vor- und spät- bis nachkreidezeitliche Verschiebungen (A und B) am Beispiel von Schichtenfolgen westlich und östlich des Hardehausener Abbruchs im Raum Kleinberg (krc = Cenoman, kruG = Gault-Sandstein, kruO = Osning-Sandstein, B = Bodenbildung bzw. alte Landoberfläche, mu = Unterer Muschelkalk, so = Oberer Buntsandstein, sm1 – sm4 = Unterstufen des Mittleren Buntsandsteins, 1 = vorkreidezeitliche Bewegung, 2 = spät- bis nachkreidezeitliche Bewegung; nach Farrenschon 1990, Abb. 2).

Gesteinsstücken besucht. Es handelte sich um einen haldenförmigen Körper mit einer zentralen Vertiefung beziehungsweise um einen wieder verfüllten Schacht der ehemaligen Tunnelbaustelle aus dem Jahr 1848. Dem Autor war diese Stelle bis dahin völlig unbekannt. Sie befindet sich etwa 140 m ost-südöstlich des westlichen Tunnelportals und entspricht damit der westlichen Schachtparzelle des bereits erwähnten Situationsplans. Die damals modernste Geologische Karte, die 2. Auflage von Blatt Lichtenau aus dem Jahr 1935, weist für diesen Bereich ausschließlich Gault-Sandstein aus. Dahm reichte dem Autor einige Gesteinsstücke und bat um eine Meinung. Entgegen den zu erwartenden rötlichbraunen und stellenweise mit weißen Kieselsäureschlieren durchsetzten Sandsteinen handelte es sich um bröckelige tonig-mergelige Gesteine von grauer bis graubrauner Färbung, die mit großer Wahrscheinlichkeit dem Untercentomanium und damit einem jüngeren Schichtglied zuzuordnen waren. Nach einer entsprechenden Äußerung des Autors fühlte sich Dahm in seiner bereits bestehenden Meinung bestätigt, dass auch im Bereich der „Alten Eisenbahn“ innerhalb der Verbreitung der Unterkreide-Sandsteine eine schmale in Nord-Süd-Richtung verlaufende Grabenscholle mit einer Füllung aus Mergelsteinen des Cenomaniums vorkommt. So wurde etwa 125 Jahre nach dem Abteufen des Schachts für den geplanten Eisenbahn-Tunnel das Vorkommen von Oberkreide-Mergeln innerhalb des Verbreitungsgebiets der Unterkreide-Sandsteine neu entdeckt.

Aufbauend auf den umfangreichen Vorarbeiten von Dahm führten Farrenschon und Skupin, ebenfalls Mitarbeiter des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen, in den Jahren 1987-1989 für das Blatt Kleinberg eine Revisionskartierung durch (Farrenschon & Skupin 1991). Die von Stille in den Grundlagen erarbeitete Schollentektonik innerhalb der Buntsandstein-Schichten

konnte aufgrund der Anwendung der modernen Buntsandstein-Gliederung und der Auswertung zahlreicher neuer Bohrungen weiter ausgestaltet und präzisiert werden. Neben den von Stille erkannten Hauptabbrüchen wurde noch eine weitere, ebenfalls sehr weit nach Norden und Süden durchhaltende Verwerfung entdeckt, die den Namen Billingshausener Abbruch erhielt (von Zezschwitz 1988; Farrenschon & Skupin 1991).

Auch im nördlichen Bereich, in dem das ältere Mesozoikum durch die Kreideschichten überdeckt wird, wurde das Bild der sich durchpausenden Störungslinien durch weitere Strukturen ergänzt. Zudem ließen sich aufgrund der verfeinerten Buntsandstein-Stratigraphie die Versetzungsbeträge der vor- und der spät- bis nachkreidezeitlichen Bewegungen sehr genau quantifizieren (Abb. 15). Die überarbeitete Karte erschien im Jahr 1991 als Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000 Blatt 4419 Kleinberg.

Als nächste Karte der Stilleschen Lieferung von 1904 wurde das Blatt Lichtenau in der Zeit von Herbst 1998 bis Frühjahr 2001 durch Friedlein, Mitarbeiter der jetzt als Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen bezeichneten Fachbehörde in Krefeld, neu aufgenommen. Das Blatt erschien im Jahr 2004, genau 100 Jahre nach der ersten Ausgabe, als Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000 Blatt 4319 Lichtenau (Friedlein 2004). Der Zeitraum für die Revisionskartierung wurde bewusst mit einem Projekt der Deutschen Bahn AG, dem bereits erwähnten Neubau der Strecke zwischen Herbram-Wald und dem Bahnhof Willebadessen, gekoppelt. Für diese neue Linienführung mit einem fast drei Kilometer langen Tunnel waren bereits in den Jahren 1993 und 1994 im Auftrag der Deutschen Bahn erste Untersuchungen des Untergrundes durchgeführt worden. Der Bau des Tunnels begann im Frühjahr 1998 und dauerte zwei Jahre. Durch Bohrungen im Rahmen der Revisionskartierung und der

Vorerkundung zum Tunnelbau sowie durch den Ausbruch des Tunnels selbst ergaben sich etliche neue Erkenntnisse zu den Schichtenfolgen, zum geologischen Bau des Untergrundes und zu der bereits erwähnten spätjurassischen bis frühkreidezeitlichen Bodenbildung. Dabei wirkten sich die Synergieeffekte des intensiven wechselseitigen Erfahrungsaustausches zwischen den Geologen des Geologischen Dienstes Nordrhein-Westfalen und denen der von der Deutschen Bahn AG beauftragten Beraterfirmen positiv für beide Projekte aus.

Im Bereich des Blattes Lichtenau ist die Schichtenfolge des älteren Mesozoikums bis auf einen schmalen Streifen am Ostrand durch die überlagernden Schichten der Kreide verhüllt. Nur in einem Einschnitt im Oberlauf des Sauerbachs, unmittelbar westlich der „Alten Eisenbahn“, kommen unter dem Osning-Sandstein Schichten des Oberen Buntsandsteins zutage. Die Verwerfungslinien des tieferen Untergrundes lassen sich auch innerhalb der Verbreitung der Kreide-Schichten nachweisen. Aufgrund von spät- und nachkreidezeitlichen Bewegungen kam es an den bereits bestehenden Verwerfungen erneut zu Verschiebungen, die nun auch die Kreide-Schichten versetzten. In der unteren Einheit, dem älteren Mesozoikum, das schon vorkreidezeitlich in Schollen zerlegt wurde, können die vertikalen Versetzungsbeträge mehrere hundert Meter erreichen, während sie in den Kreide-Schichten maximal 50-60 m betragen. Für die in der Reihenfolge von Osten nach Westen als Hardehausener, Billinghausener und Westheimer Abbruch bezeichneten Hauptverwerfungen führte Friedlein die vom lokalen Bezug abstrahierenden Bezeichnungen Hardehausen-, Billinghausen- und Westheim-Abbruch ein (Friedlein 2004).

Für den Bereich der „Alten Eisenbahn“ zeigt die neue Geologische Karte gegenüber der alten Ausgabe von

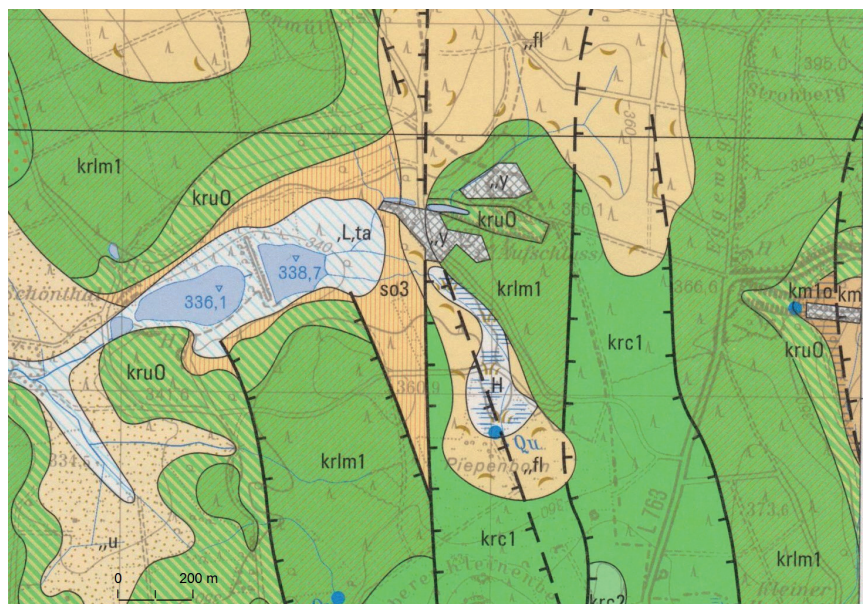
1904 ein deutlich verändertes Bild, das durch den dort etwa 250 m breiten Oberkreide-Graben bestimmt wird (Abb. 16). Allerdings fehlt in der Karte ein schmales Vorkommen von Osning-Sandstein, das südöstlich des West-Einschnitts in Nord-Süd-Richtung verläuft und nach Osten durch die Westrandstörung des Cenoman-Grabens begrenzt wird. Dieses Vorkommen findet sich bereits in der alten Ausgabe von 1904, wenn auch in einer nicht ganz korrekten Position.

### Schichtenfolgen und Strukturen im Bereich der „Alten Eisenbahn“

Die in der Kammregion des Eggegebirges gelegene ehemalige Tunnelbaustelle weist mit ihren langen und tiefen Einschnitten bedeutende geologische Aufschlüsse auf. Allerdings sind die Einschnitte schon sehr verfallen und verwachsen sowie stellenweise mit abgestürzten Bäumen versperrt. Im Westeinschnitt haben sich zudem durch aufgestauten Wasser kleine Teiche gebildet. In den 60er und 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts waren die Aufschlussverhältnisse noch wesentlich besser und die Wände der Einschnitte an einigen Stellen relativ gut zugänglich. Aus dieser Zeit datiert der erste persönliche Kontakt des Autors mit dem Bodendenkmal „Alte Eisenbahn“, als im Rahmen einer Untersuchung der Zusammensetzung und der Bildungsbedingungen des Osning-Sandsteins im Jahr 1968 auch die Schichtenfolge im Osteinschnitt der ehemaligen Tunnelbaustelle aufgenommen wurde (Speetzen 1970).

Etliche Jahre später, um 1975, legte der Autor mit einer kleinen Arbeitsgruppe einen Schurf an der nördlichen Wand des Osteinschnitts zur Erkundung des über dem Osning-Sandstein lagernden Gault-Sandsteins an. Mit diesen Untersuchungen ließ sich im Osteinschnitt der „Alten Eisenbahn“ – abgesehen von einigen Beobach-

**Abb. 16:** Ausschnitt aus der Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000 Blatt 4319 Lichtenau (Friedlein 2004) mit der „Alten Eisenbahn“ („y Künstliche Aufschüttung, H Moorbildungen, „L,ta Auenlehm, „u Schwemmlehm, „fl Fließerde, krc2 Cenoman-Pläner (Baddeckenstedt-Formation), krc1 Cenoman-Mergel (Herbram-Formation), krlm1 Gault-Sandstein (Kleinenberg-Formation), kru0 Osning-Sandstein (Osning-Formation), km Mittlerer Keuper, km1o Oberer Gipskeuper, so3 Oberer Buntsandstein 3 bzw. Röt 3).



tungslücken – eine Abfolge der Unterkreide-Sandsteine ermitteln, die etwa 16 m Osning-Sandstein und 10 m Gault-Sandstein umfasst. Die zunächst widersinnig erscheinende Tatsache, dass in einem etwa 20 m tiefen Einschnitt wenigstens 26 m Schichtenfolge vorkommen, erklärt sich dadurch, dass die Schichten nicht horizontal gelagert sind, sondern mit etwa 10° in westliche Richtung einfallen. Im schwer zugänglichen Westeinschnitt stehen im Bereich des ehemals vorgesehenen Tunnaleingangs zuoberst ein bis zwei Meter Gault-Sandstein an, darunter ist bis zum Grund des Einschnitts über 18 m Osning-Sandstein aufgeschlossen. Die Schichten fallen dort mit etwa 12° nach WNW ein (Nassiri 1977).

In einem ersten Jahresbericht über die Bauarbeiten an der Köln-Minden-Thüringer Verbindungs-Eisenbahn vom Oktober 1846 wird angegeben, dass zeitgleich zum Aushub der Einschnitte bereits auch „drei Tunnel-Schächte bis auf die Sohle abgeteuft“ worden sind (Wichert et al. 1994). Von den auf der Achse des Tunnels angeordneten Schächten (a, b und c in Abb. 17) hat nur der westliche heute noch eine gewisse Bedeutung für die Erforschung der geologischen Situation. Bei Geländearbeiten in den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts lieferte das aus dem Schacht geförderte und auf einer Halde deponierte Gesteinsmaterial einen neuen Hinweis auf das lokale, in Vergessenheit geratene Vorkommen von Ablagerungen der Oberkreide in der sonst von Schichten der Unterkreide aufgebauten Kammregion des Eggegebirges.

Die Schächte wurden nach Aufgabe des Bauvorhabens wieder verfüllt und sollen nur noch durch kleine, auf die Setzung des Füllmaterials zurückzuführende Senken zu erkennen sein (Wichert 1998). Dieses Argument ist nicht ganz stichhaltig, da ausgehobenes oder ausgebrochenes und in Halden aufgeschüttetes Gesteinsmaterial gegenüber dem ursprünglichen Festgestein deutlich lockerer gelagert ist und im Mittel ein um 40 % größeres Volumen einnimmt. Auch bei einer Wiederverfüllung der Schächte mit dem Aushubmaterial müssten deshalb an den betreffenden Stellen immer noch beträchtliche Reste der Halden vorhanden sein. Und so ist es tatsächlich, alle drei ehemaligen Schächte stellen sich heute noch im Gelände durch mehr oder weniger große Haldenreste mit zentralen Einsenkungen von zwei bis vier Meter Tiefe dar (Abb. 17).

Der westliche Schacht mit seiner noch relativ großen Resthalde von etwa 15 x 20 m seitlicher Ausdehnung und circa 1,5 m Höhe ist im lichten Wald sehr gut zu erkennen (Abb. 18 u. 19). Der mittlere Schacht mit einer rundlichen Resthalde mit einem Durchmesser von circa 20 m und einer Höhe von etwa 0,8 m liegt verborgen und schlecht zugänglich in einer dichten Schonung. Der östliche Schacht weist nur eine sehr kleine ringförmige

Resthalde auf und ist in dem unregelmäßigen Gelände schwer zu entdecken.

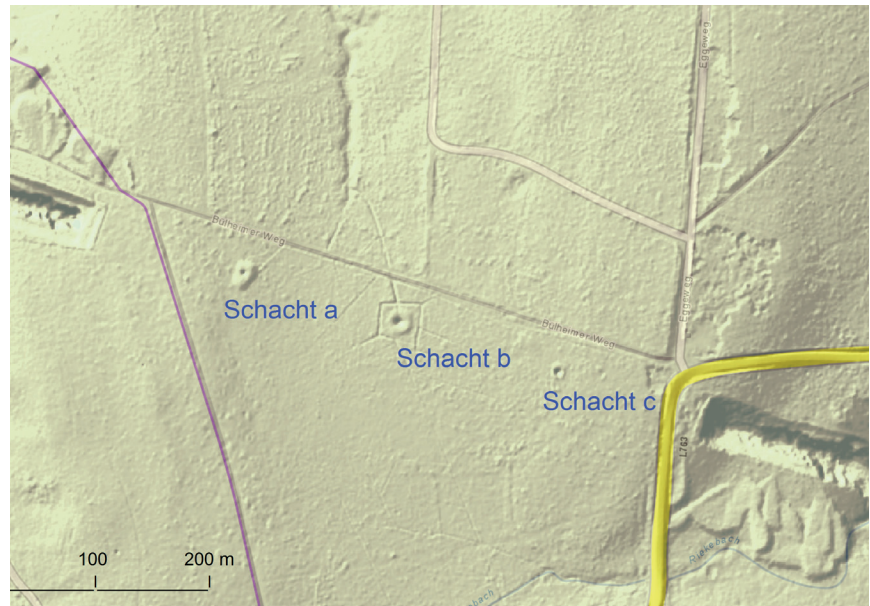
Im Folgenden soll der tektonische Bau im Bereich der „Alten Eisenbahn“ mithilfe eines Profilschnitts entlang der ehemaligen Tunnelbaustelle dargestellt und erläutert werden (Abb. 20). Dabei ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass ein geologisches Profil ein zweidimensionales Modellbild des Untergrundes darstellt, das unter Verwendung aller zur Verfügung stehenden Daten entworfen wird. Mit neuen Erkenntnissen beziehungsweise weiteren Bohrungen oder einer anderen Interpretation vorhandener Daten kann sich das Bild ändern. Es hängt somit zu einem Teil auch von der persönlichen Auffassung des Bearbeiters ab.

Der Tunnelbereich liegt in der Kammregion des Eggegebirges, die von einer leicht nach Westen geneigten Schichtenfolge der Unterkreide mit Gault-Sandstein und Osning-Sandstein gebildet wird. In zentraler Position befindet sich ein in Nord-Süd-Richtung verlaufender tektonischer Graben, in dem Schichten der Oberkreide beziehungsweise Mergelsteine des Cenomaniums bis in das Niveau des Osning-Sandsteins abgesenkt worden sind. Die Verwerfung am westlichen Grabenrand versetzt die Kreide-Schichten um etwa 40 m. Bezogen auf die tieferen Schichten ist der Verschiebungsbetrag vermutlich höher. Allerdings sind dazu keine genauen Aussagen möglich, da nicht genau bekannt ist, welche Schichten im Bereich der Grabenscholle und der nach Westen anschließenden Scholle das Unterlager des Osning-Sandsteins bilden.

Am östlichen Ende des Profils beziehungsweise am Osthang des Eggegebirges stehen unter dem Osning-Sandstein Ablagerungen des Mittleren Keupers an. Am westlichen Ende des Profils treten Schichten des Oberen Buntsandsteins beziehungsweise der Röt-Formation zutage. Zwischen diesen beiden „Festpunkten“ liegt eine Schichtenfolge von etwa 400 m Mächtigkeit, die das oberste Röt, den gesamten Muschelkalk, den Unteren Keuper und noch einen Teil des Mittleren Keupers umfasst. Bezogen auf diese Situation sind die Schichten am Ostende des Profils gegenüber dem Westende um den genannten Betrag abgesenkt worden. Es stellt sich nun die Frage, an welcher Stelle dieser vertikale Versatz erfolgt ist, an der westlichen Verwerfung des Cenoman-Grabens, an der Verwerfung am Westende des Profils oder aufgeteilt an beiden Verschiebungsflächen. Aus dem bereits genannten Grund lässt sich diese Frage nicht definitiv beantworten. Als Unterlager des Osning-Sandsteins in diesem Bereich wurde – ausgehend vom Mittleren Keuper der östlichen Scholle – generell Keuper angenommen, wobei es sich in der westlichen Teilscholle um Unteren Keuper oder auch um Oberen Muschelkalk handeln kann. In Anleh-



**Abb. 17:** Die ehemalige Tunnelbaustelle „Alte Eisenbahn“ mit den beiden Geländeeinschnitten und den zwischengeschalteten Schächten im Digitalen Geländemodell (violette Linie: Grenze zwischen den Kreisen Paderborn, links, und Höxter, rechts; gelbe Straße: L 763 zwischen Willebadessen und Kleinenberg; [www.tim-online.nrw.de](http://www.tim-online.nrw.de), 2018).

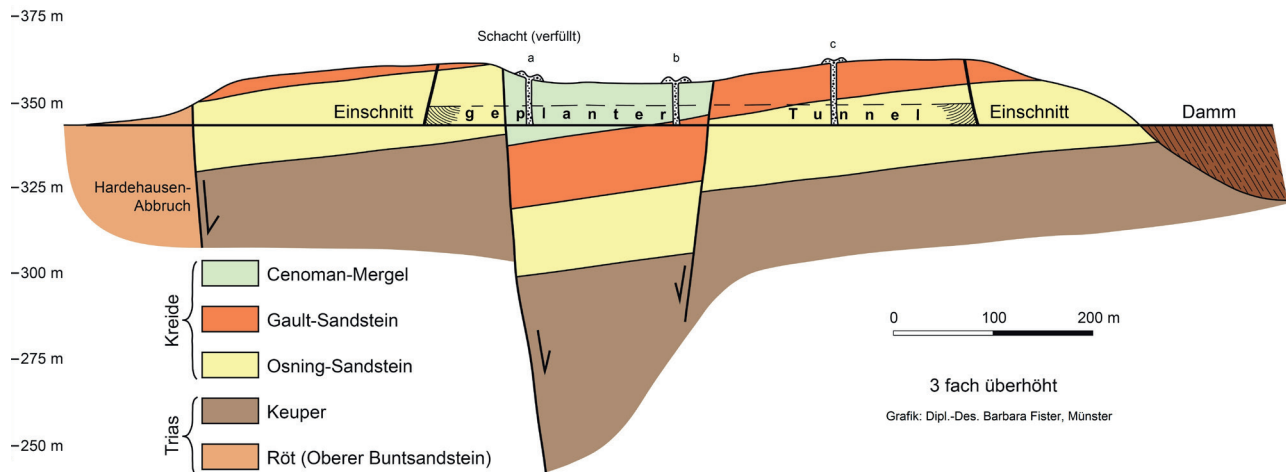


**Abb. 18:** Halde des in der Nähe des Westeinschnitts gelegenen ehemaligen Schachts a. Ansicht von Osten (Foto: Februar 2018).



**Abb. 19:** Ringförmige Halde am Schacht a, Blick nach Norden. Die zentrale durch Stangenholz abgedeckte etwa zwei Meter tiefe Einsenkung zeigt die Lage des verfüllten Schachts (Foto: Februar 2018).





**Abb. 20:** Geologisches Profil quer zum Kamm des Eggegebirges entlang der ehemaligen Tunnelbaustelle an der „Alten Eisenbahn“ (Cenoman-Mergel = Herbram-Formation, Gault-Sandstein = Kleinenberg-Formation, Osning-Sandstein = Osning-Formation; a, b und c: ehemalige wieder verfüllte Erkundungs- und Arbeitsschächte).

nung an die regionalen Verhältnisse wird der Hauptversatz auf die Verwerfung am Westrand des Profils gelegt, die damit dem Hardehausener Abbruch oder – nach moderner Nomenklatur – dem Hardehausen-Abbruch entspricht. Die westliche Verwerfung des östlich vorgelagerten Grabens hat den gleichen Verschiebungssinn wie die Hauptverwerfung und kann als parallele Begleitstruktur des Hauptabbruchs angesehen werden. Östlich des Hardehausen-Abbruchs schließt sich eine breitere sehr komplex aufgebaute Scherzone an, die als Egge-Störungssystem bezeichnet wird. Dieser Bereich stellt die eigentliche Schollengrenze zwischen der Rheinischen Masse und der Hessischen Senke dar (Friedlein 2004).

Zum Abschluss soll die Entstehung des engen räumlichen Neben- und Übereinander der verschiedenen Schichteinheiten, wie es im Bereich der „Alten Eisenbahn“ stellvertretend für das südliche Eggegebirge zu beobachten ist, in einer kurzen Darstellung des erdgeschichtlichen Werdegangs erläutert werden.

Die Bruch- und Bruchfaltentektonik in den Schichten des älteren Mesozoikums des Eggegebirges wurde hauptsächlich durch die so genannten „jungkimmerischen Bewegungen“ an der Wende von Jura zu Kreide hervorgerufen. Aufgrund von lokalen Hebungen des Untergrundes, insbesondere aber infolge einer globalen Regression zog sich das Meer im oberen Jura aus diesem Raum zurück. In der anschließenden Festlandsphase wurde das durch die Tektogenese geschaffene Relief relativ schnell wieder ausgeglichen und die Landschaft nahezu vollständig eingeebnet. Auf der leicht welligen Landoberfläche bildete sich durch die subaerische Verwitterung ein Boden, der sich mit Verfärbungen des Untergrundes und einem stellenweise noch erhaltenen Bodenprofil anzeigt.

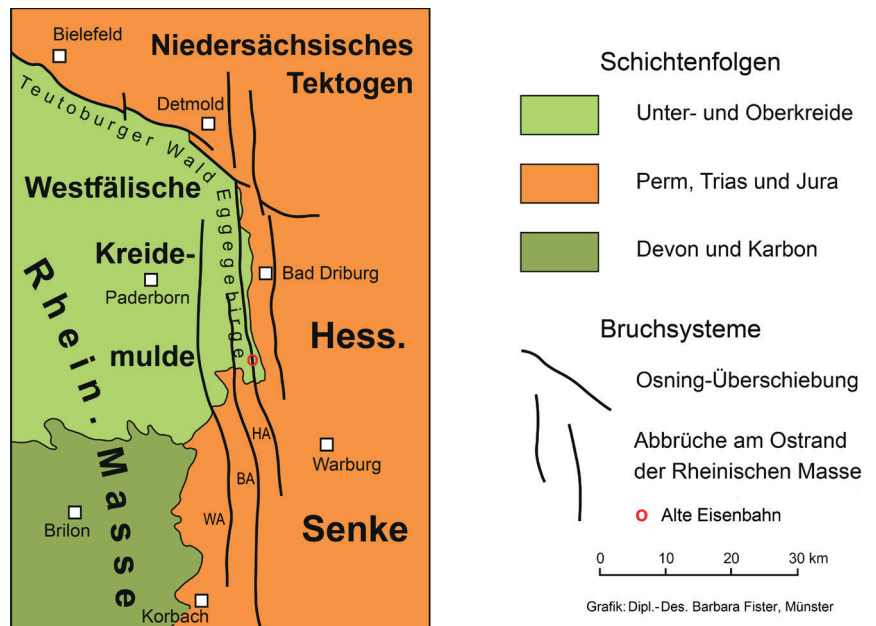
Während der älteren Unterkreide-Zeit drang das Meer in einem ersten Transgressionsschritt erneut in diesen Raum vor und es lagerten sich über der aus verschiedenen älteren Schichteinheiten gebildeten Landoberfläche sandige Sedimente ab. Sie repräsentieren einen Ästuar- und einen Strandbereich (mit Litoral- und Sublitoralzone) und werden heute als Osning-Sandstein beziehungsweise als Osning-Formation bezeichnet. Nach einer weiteren Transgressionsphase während der jüngsten Unterkreide-Zeit entstanden erneut sandige Ablagerungen, die Meeresbereichen von der unmittelbaren Küste bis zum flachen Schelf zugeordnet werden können und heute als Gault-Sandstein beziehungsweise als Kleinenberg-Formation bezeichnet werden (Speetzen 1970, 2005).

Osning-Sandstein und Gault-Sandstein, die für den Höhenzug des südlichen Eggegebirges bestimmenden Schichtglieder, verdanken ihre Entstehung also ersten kleineren Transgressionsschritten, mit denen das Meer während der Unterkreide-Zeit bis in den Bereich des heutigen Eggegebirges vordrang. Zu Beginn der Oberkreide, mit dem Cenomanium, kam es zu einer weiteren sehr bedeutenden Meeresstransgression, die eine Verschiebung der Küstenlinie um 30 bis 50 km nach Südwesten zur Folge hatte (Hiß 1995). Im Paderborner Raum und im Bereich des Eggegebirges lagerten sich zu dieser Zeit Mergel- und Kalksteine des küstenfernen Schelfs ab.

Diese Schichten kommen heute in geschlossener Verbreitung erst westlich des Eggegebirges vor. Auf dem Egge-Kamm im Bereich der „Alten Eisenbahn“ sind sie dagegen nur innerhalb eines tektonischen Grabens erhalten. Als weitere Folge der tektonischen Bewegungen während der höheren Oberkreide („subherzyne Tektogenese“) wurden die Schichten auch schräg gestellt,



**Abb. 21:** Großtektonische Einheiten im Bereich des Teutoburger Waldes und des Eggegebirges mit der Lage des Bodendenkmals „Alte Eisenbahn“ (WA Westheim-Abbruch, BA Billinghamusen-Abbruch, HA Hardehausen-Abbruch).



sodass die Schichtenfolge der Kreide heute mit 5° bis 10° nach Westen einfällt. Auch noch nach der Kreide-Zeit traten im gesamten Raum tektonische Bewegungen auf. Sie ließen die alten Bruchzonen stellenweise wiederaufleben. An den Verwerfungen sind aber nicht nur vertikale Verschiebungen erfolgt, auch Horizontal- beziehungsweise Seitenverschiebungen dürften einen erheblichen Anteil haben. Allerdings lassen sich diese Bewegungen kaum sicher nachweisen.

#### Das Bodendenkmal „Alte Eisenbahn“

Die ehemalige Tunnelbaustelle „Alte Eisenbahn“ ist das früheste Zeugnis der Eisenbahngeschichte im Eggegebirge. Es steht für die rasante Entwicklung im Eisenbahnbau zu Mitte des 19. Jahrhunderts und insbesondere auch für den ersten Versuch in Deutschland, einen Mittelgebirgskamm mit einem Eisenbahntunnel zu queren. Dazu hatte der damalige Leitende Ingenieur Pickel schon etliche Jahre vor seiner Anstellung bei der Gesellschaft der Köln-Minden-Thüringer Verbindungs-Eisenbahn auf mehreren Reisen in England einschlägige Erfahrungen gesammelt (Wichert 1987a, 1987b).

Der Tunnel- und der Streckenbau im Eggegebirge brachten für tausende von Menschen in der wirtschaftlich schwachen und überwiegend durch Landwirtschaft gekennzeichneten Region über einige Jahre relativ gute Verdienstmöglichkeiten (Neuheuser 1960). Besonders aber erwarteten Handel und Gewerbe durch die Eisenbahn eine deutliche und nachhaltige Verbesserung der wirtschaftlichen Lage. Das belegt eine Anzeige aus dem Jahr 1846, als gerade mit dem Bau der Eisenbahn begonnen worden war. Darin wird das am Sauerbach unmittelbar westlich des geplanten Tunnels gelegene ehemalige Gut Schönthal zur Pacht angeboten und

besonders hervorgehoben, „daß die Eisenbahn das Gut durchschneiden wird, und sich dasselbe der Gebäulichkeiten und Mühlen halber, zum Betriebe eines dahin einschlagenden Gewerbes vorzüglich eignet“ (Amtsblatt der Königlich Preußischen Regierung Minden 1846).

Neben der technikgeschichtlichen und kulturhistorischen Bedeutung stellt das Bodendenkmal aber auch eine geologische Besonderheit dar. Es zeigt einen Ausschnitt der großen Abbruchstrukturen, die den komplizierten Bau des Eggegebirges zwischen dem alten Festlandsblock der Rheinischen Masse im Westen und der Hessischen Senke im Osten bestimmen (Abb. 21).

Das seit 170 Jahren mehr oder weniger schlummernde Kleinod aus der jüngeren Geschichte des Eggegebirges sollte seiner Bedeutung entsprechend für die Öffentlichkeit allgemeinverständlich erklärt und dargestellt werden. Das kann man durch eine auf dem neusten Wissensstand basierende moderne Beschilderung an den verschiedenen Stellen des ausgedehnten Denkmals erreichen.

Zusätzlich sollte ergänzend zu dem vom Naturpark Eggegebirge und südöstlicher Teutoburger Wald veröffentlichten Informationsblatts „Alte Eisenbahn“ ein entsprechendes Faltblatt zur geologischen Situation des Bodendenkmals herausgegeben werden. Damit würde man dem bisher vernachlässigten geologischen Aspekt des Ortes Rechnung tragen und seiner besonderen Bedeutung für die Geologie des Eggegebirges gerecht werden.

Bei einer Ausstattung des Bodendenkmals mit Hinweistafeln ist allerdings zu berücksichtigen, dass es mittlerweile Teil eines über lange Zeiten gewachsenen sensiblen Ökotopt in der Kammregion des Eggegebirges geworden ist, dessen Erhalt und Schutz gleichrangig neben der touristischen Erschließung stehen.



## Literatur

- Dahm, H.-D. 1958: Merkmale und Verbreitung periglazialer Fließerden im südlichen Egge-Gebirge. – *Geologisches Jahrbuch*, 76: 25-36.
- Farrenschon, J. 1990: Stratigraphische und tektonische Verhältnisse am Südrand des Eggegebirges. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 181: 61-77.
- Farrenschon, J. & Skupin, K. 1991: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000 Blatt 4419 Kleinenberg. Krefeld: Geologisches Landesamt NRW.
- Friedlein, V. 2004: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000 Blatt 4319 Lichtenau. Krefeld: Geologischer Dienst NRW.
- Hiß, M. 1995: Kreide. – In: *Geologie im Münsterland*: 41-65. Krefeld: Geologisches Landesamt NRW.
- Hohmann, F. G. 1987: Die Anfänge der Eisenbahn im Hochstift Paderborn. – *Heimatkundliche Schriftenreihe der Volksbank Paderborn* 18: 3-16.
- Jürgens, F. & Wolpert, N. 2017: „... mit den Tunnels und den Gleisen ...“ Die Alte Eisenbahn im Eggegebirge (Kr. Paderborn). – *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit*, 30: 175-186.
- Kaplan, U. 2009: Naturbausteine historischer Bauwerke des Münsterlandes und seiner angrenzenden Gebiete. – *Geologie und Paläontologie in Westfalen*, 73: 1-178.
- Nassiri, A. 1977: Zur Stratigraphie, Petrographie und Tektonik der Unter-Kreide zwischen Neuenheerse und Kleinenberg (Egge-Gebirge). Diplom-Arbeit an der Universität Münster. [Unveröff.]
- Neuheuser, H. 1960: Geschichte der Gemeinde Altenbeken. Altenbeken.
- Roemer, F. 1852a: Über das Alter des Kreidesandsteins im südlichen Theile des Teutoburger Waldes. – *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefakten-Kunde*, 1852: 185-191.
- Roemer, F. 1852b: Notiz über die Auffindung von *Ammonites auritus* Sow. in Kreideschichten bei Neuenheerse im Teutoburger Walde als Beitrag zur Entscheidung der Frage nach der Art der Vertretung des Gault in Deutschland. – *Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft*, IV. Band: 728-733.
- Schenk, V. & Liening, B. 2000: Beherrschung von Wasser einbrüchen beim Bau des Eggetunnels, ABS Paderborn – Kassel. – *Bulletin für Angewandte Geologie*, 5: 191-204.
- Schlüter, C. 1866: Die Schichten des Teutoburger Waldes bei Altenbeken. – *Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft*, 18: 35-76.
- Simon, B. 1868: Die Ausführung des großen Tunnels bei Altenbeken auf der Altenbeken-Holzmindener Eisenbahn. – *Zeitschrift für Bauwesen*, Jg. XVIII: 252-274, 408-432, 564-578.
- Skupin, K. & Strauß, R. 2004: Neue Beobachtungen zur prä- bis frühkretazischen Bodenbildung am Westrand der südlichen Egge zwischen Neuenheerse und Willebadessen (Nordrhein-Westfalen). – *Scriptum*, 12: 17-37.
- Speetzen, E. 1970: Lithostratigraphische und sedimentologische Untersuchungen im Osning-Sandstein (Unter-Kreide) des Egge-Gebirges und des südöstlichen Teutoburger Waldes (Westfalen, NW-Deutschland). – *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, 18: 1-149.
- Speetzen, E. 2005: Schichtenfolge und Ausbildung der Unterkreide am Südostrand der Westfälischen Kreidemulde (NW-Deutschland). – *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, 100: 79-95.
- Speetzen, E. 2010: Osning-Sandstein und Gault-Sandstein (Unterkreide) aus dem Teutoburger Wald und dem Eggegebirge und ihre Verwendung als Naturbaustein. – *Geologie und Paläontologie in Westfalen*, 77: 1-59.
- Stille, H. 1935: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1:25 000 Blatt Lichtenau. Berlin: Preußische Geologische Landes-Anstalt.
- Wichert, H. W. 1987a: Baudirektor A. E. Pickel. – *Heimatkundliche Schriftenreihe der Volksbank Paderborn* 18: 17-21.
- Wichert, H. W. 1987b: Technik nach englischem Vorbild im Hochstift Paderborn. – *Heimatkundliche Schriftenreihe der Volksbank Paderborn* 18: 22-29.
- Wichert, H. W. 1998: Die „Alte Eisenbahn“ zwischen Kleinenberg und Willebadessen – Ein technisches Bodendenkmal der Eisenbahn pionierzeit. – *Lichtenauer Heimatblätter*, 3/1998: 19-22.
- Wichert, H. W., Werner, K. & Weiß, V. 1994: ... vom Streckenausbau zum Schnellausbau – Eine Dokumentensammlung. Waldbröl.
- Zezschwitz, E. von 1988: Die Böden des Hardehausener Waldes (Forstamtsbezirk Neuenheerse). Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen.

## Geologische Karten

- Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:500 000, Krefeld 2004.
- Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100 000, Krefeld:  
Blatt C 4318 Paderborn, 1979, Bearbeiter: H.- D. Dahm et al.  
Blatt C 4718 Korbach, 1988, Bearbeiter: O. Deutloff.
- Geologische Karte der Rheinprovinz und der Provinz Westfalen 1:80 000, Berlin:  
Blatt 14 Section Warburg, 1858, Bearbeiter: H. von Dechen.
- Geologische Spezialkarte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten 1:25 000, Berlin:  
Blatt Lichtenau, 1904, Bearbeiter: H. Stille.
- Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1:25 000, Berlin:  
Blatt Lichtenau, 2. weitgehend unveränderte Auflage, 1935, Bearbeiter: H. Stille.
- Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000, Krefeld:  
Blatt 4419 Kleinenberg, 1991, Bearbeiter: J. Farrenschon & K. Skupin.  
Blatt 4319 Lichtenau, 2004, Bearbeiter: V. Friedlein.

**Anlage**

Lage beziehungsweise Koordinaten der „Alten Eisenbahn“ und einiger anderer Plätze und Bauwerke

| Lokalität                | Topographische Karte 1 : 25 000 |               | UTM-Gitter Zone 32 |           |
|--------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------|-----------|
|                          | Nr.                             | Name          | Ost-Wert           | Nord-Wert |
| <b>"Alte Eisenbahn"</b>  |                                 |               |                    |           |
| Tunnelportal West        | 4319                            | Lichtenau     | 499050             | 5717590   |
| Tunnelportal Ost         | 4319                            | Lichtenau     | 499580             | 5717430   |
| Schacht a                | 4319                            | Lichtenau     | 499180             | 5717550   |
| Schacht b                | 4319                            | Lichtenau     | 499320             | 5717510   |
| Schacht c                | 4319                            | Lichtenau     | 499470             | 5717470   |
| <b>Neuenheerse</b>       |                                 |               |                    |           |
| Bahneinschnitt bzw. Pass | 4319                            | Lichtenau     | 498300             | 5725020   |
| Obelisk                  | 4319                            | Lichtenau     | 498390             | 5724995   |
| <b>Tunnel</b>            |                                 |               |                    |           |
| Tunnel bei Altenbeken    |                                 |               |                    |           |
| Westportal               | 4219                            | Altenbeken    | 497220             | 5735470   |
| Ostportal                | 4219                            | Altenbeken    | 498830             | 5735590   |
| Tunnel bei Willebadessen |                                 |               |                    |           |
| Nordportal               | 4319                            | Lichtenau     | 497490             | 5721960   |
| Südportal                | 4319                            | Lichtenau     | 499690             | 5720210   |
| <b>Viadukte</b>          |                                 |               |                    |           |
| Düne-Viadukt             | 4219                            | Altenbeken    | 491880             | 5733060   |
| Altenbekener Viadukt     |                                 |               |                    |           |
| NO-Seite                 | 4219                            | Altenbeken    | 495090             | 5734880   |
| SW-Seite                 | 4219                            | Altenbeken    | 494800             | 5734525   |
| Hellebach-Viadukt        | 4320                            | Willebadessen | 501480             | 5718235   |
| Diemel-Viadukt           | 4521                            | Liebenau      | 515520             | 5703900   |

### Wirbel eines Choristoderen schließt Lücke im Fossilbericht

Aus dem Ruhrgebiet ist von Reiss et al. (2019) ein einzelner Wirbel als Vertreter der Choristodera beschrieben worden. Der Fund stammt aus Mülheim an der Ruhr. Er wurde dort bereits vor dem 2. Weltkrieg gefunden und wird seitdem im Ruhr Museum in Essen verwahrt (RE 551.763.310 A 1448). Die Autoren schließen mit dieser Identifizierung sowohl eine geographische, als auch eine stratigraphische Lücke im lokalen Fossilbericht der Choristodera.

Die Gruppe der Choristodera (Reptilia, Archosauromorpha) umfasst fossile Formen, die man aus Nordamerika, Asien und Europa kennt. Die Choristodera hatten einen krokodilähnlichen Körperbau, wobei unterschiedliche Vertreter Längen von etwa 30 cm bis hin zu 3 m erreichen konnten. Die ältesten Belege, die wahrscheinlich aus dieser Gruppe stammen, sind aus der Mittel- und Obertrias bekannt. *Pachystropheus* gehört zu diesen Vertretern, die generell zu den Choristoderen gestellt werden, wenngleich die systematische Stellung der triassischen Formen nicht als gesichert angesehen wird (z.B. Storrs et al. 1996). Im Mittel- und Oberjura besteht ein Fossilbericht aus Nordamerika, Asien und Europa, während gesicherte kreidezeitliche Nachweise sich auf Nordamerika und Asien beschränken. Dass die Gruppe das Aussterbeereignis an der Kreide-Paläogen-Grenze überlebt hat belegen Funde von allen drei Kontinenten

der Nordhemisphäre. Der stratigraphisch jüngste Beleg stellt dabei *Lazarussuchus* aus dem frühen Miozän der Tschechischen Republik dar (Evans & Klembara 2005).

Der beschriebene Brustwirbel ist etwa 4 cm hoch und ebenso breit, bei einer Länge von etwa 2 cm. Er stammt aus der Essener Grünsand Formation und somit aus dem unteren Cenomanium. Der Fund wird mit Wirbeln anderer Choristoderen verglichen; die Autoren kommen zu dem Schluss, dass er Unterschiede zu den Wirbeln anderer Choristoderen besitzt, aber dennoch deutliche Gemeinsamkeiten aufweist, die eine Klassifizierung als Choristodera gen. et spec. indet zulassen. Trotz dieser offenen Nomenklatur hat das Fossil eine weitreichende Bedeutung, da es der einzige Nachweis für die Präsenz von Choristoderen zur Zeit der frühen Oberkreide in Europa ist. Genauer noch ist es der einzige fossile Beleg für den Zeitraum vom Kimmeridgium bis zum Campanium. (AS)

#### Literaturverzeichnis

- Evans, S.E. & Klembara, J. 2005: A choristoderan reptile (Reptilia: Diapsida) from the Lower Miocene of northwest Bohemia (Czech Republic). – *Journal of Vertebrate Paleontology* 25: 171-184.
- Reiss, S., Scheer, U., Sachs, S. & Kear, B.P. 2019: Filling the biostratigraphical gap: First choristoderan from the Lower - mid-Cretaceous interval of Europe. – *Cretaceous Research* 96: 135-141.
- Storrs, G.W., Gower, D.J., Large & N.F. 1996. The diapsid reptile, *Pachystropheus rhaeticus*, a probable choristodere from the Rhaetian of Europe. – *Palaeontology* 39: 323-349.



Vorderansicht des Wirbels aus Mülheim an der Ruhr. Die Breite beträgt ungefähr 4 cm.

(Foto: Rainer Rothenberg, Stiftung Ruhr Museum, Essen)



### Fossiles Holz aus Velen-Ramsdorf

Im Herbst 2018 wurde dem LWL-Museum für Naturkunde in Münster von Majo Storck aus Velen-Ramsdorf ein Stück fossiles Holz übergeben, das im Dorenfeld in der Umgegend von Velen-Ramsdorf im Kreis Borken Jahrzehnte zuvor am Rande einer landwirtschaftlichen Nutzfläche gefunden wurde, dort wo die Landwirte der angrenzenden Felder die durch das Umbrechen zutage geförderten Findlinge deponieren.

Fossile Hölzer aus Westfalen sind schon seit langem bekannt, Berichte darüber sind jedoch selten (Selmeier 1984), da es sich oft um Geschiebe handelt, deren geografische und geologische Herkunft in den meisten Fällen nur schwer zu ermitteln ist. Vielfach wird diesen Hölzern ein tertiäres Alter zugeschrieben, obwohl sie als Hölzer von Angiospermen (Laubhölzer und Palmen) oder Gymnospermen (zumeist Zypressen- oder Kieferngewächse) identifiziert werden, deren Ursprung in vielen Fällen im Mesozoikum angenommen wird. Das eben dies der Fall sein kann, ergab die Bestimmung des verkiesselten Holzes aus Velen-Ramsdorf.

Der rötlich gefärbte Gesteinsblock mit einer Größe von 19×15×13 cm repräsentiert das Kreissegment (etwa 40°) eines Stammes, dessen zentraler Teil nicht erhalten ist. Eine rechnerische Rekonstruktion des Stammes ergibt einen mindestmöglichen Durchmesser von 48–56 cm, was einem Stammumfang von 150–175 cm entspricht.

Die zelluläre Struktur des Holzes ist exzellent erhalten. Um die Anatomie des Holzes zu untersuchen, wurde der Gesteinsblock geschnitten, angeschliffen und poliert; am Institut für Geologische Wissenschaften der Freien Universität Berlin wurden anschließend Dünnschliffe in drei Ebenen – Quer-, Radial- und Tangentialschnitt – hergestellt. Anhand der dreidimensionalen Interpretation der unterschiedlichen Holzelemente kann nun das Holz bestimmt werden – bei fossilen Hölzern gelingt dies allerdings oft nur bis auf Gattungsniveau.

Die sehr homogene Struktur deutet auf das Holz eines Nadelbaums hin. Im Querschnitt sind zahllose eng stehende, etwa gleich große Tracheiden ( $\varnothing$  etwa 60  $\mu\text{m}$ ) mit dicken Zellwänden zu erkennen. Es gibt keine ausgeprägten Zuwachsringe. An wenigen Stellen sind vereinzelte Bänder englumigerer Tracheiden sichtbar, jedoch ohne Regelmäßigkeit. Diese Bereiche müssen daher als azyklische Perioden mit ungünstigen Wachstumsbedingungen interpretiert werden. Die monotone Struktur des Holzes wird nur durch zahlreiche einreihige Holzstrahlen unterbrochen, die sich ohne Unterbrechung vom zentralen Bereich des Stammes bis zur Peripherie erstrecken. Die im Querschnitt spindelförmigen Holzstrahlen bestehen aus mehreren übereinanderliegenden Reihen von Parenchymzellen, von denen einige dunkle

Inhaltsstoffe aufweisen. Die runden Hoftüpfel ( $\varnothing$  ~18  $\mu\text{m}$ ) auf den radialen Längswänden der Tracheiden erstrecken sich in den meisten Fällen über mehr als 80–90 % der Länge der Zellen und sind perlschnurartig ein- oder zweireihig angeordnet. Bei zweireihiger Anordnung liegen benachbarte Tüpfel stets versetzt. Gelegentlich wechseln sich ein- und zweireihige Bereiche innerhalb einer Zelle ab. In den Kreuzungsfeldern sind die Tüpfel cupressoid ausgebildet; ihre schräggestellte linsenförmige Pori (3×6  $\mu\text{m}$ ) überlappen den Hofumriss nicht. Die Wände der Parenchymzellen sind deutlich dünner (<3  $\mu\text{m}$ ) als die der Tracheiden (<11  $\mu\text{m}$ ); die Querwände der Parenchymzellen stehen nahezu senkrecht. Harzkanäle sind nicht vorhanden.

Aufgrund seiner Zusammensetzung und Struktur kann das Holz eindeutig als *Agathoxylon* identifiziert werden (Greguss 1955; Stockey 1982; Philippe & Bamford 2008). *Agathoxylon* (früher teilweise auch als *Araucarioxylon* bezeichnet) gehört zu den Araukariengewächsen (Araucariaceae), die eine alte Pflanzenfamilie innerhalb der Koniferen darstellen. Ihre wenigen rezenten Vertreter (37 Arten in den drei Gattungen *Araucaria*, *Agathis* und *Wollemia*; Farjon 2010) sind in einem disjunkten Areal auf der Südhalbkugel verbreitet – ein Relikt ihrer ehemals weltweiten Verbreitung auf dem Südkontinent Gondwana. Während des Mesozoikums, zur Zeit ihrer größten Verbreitung, erstreckte sich ihr Lebensraum auch auf die Nordhalbkugel, wo sie zum Ende der Kreide ausstarben; in Europa waren Araukarien, unter ihnen Bäume mit *Agathoxylon*-Holz, wohl nur im Jura vertreten (Harris 1979; Stockey 1982; Schultka 1991). Die wenigen Belege von *Agathoxylon* aus der Kreide Europas sind so schlecht erhalten, dass deren Bestimmung nicht unanfechtbar ist.

Da es sich bei dem vorliegenden Holz um einen Oberflächenfund und damit vermutlich um ein Geschiebe handelt, kann das Holz nicht eindeutig einem geologischen Zeitalter zugeordnet werden. Laut Fossilbefund (*Agathoxylon*) müsste das Holz aus dem Jura stammen. Allerdings gibt es in der Umgegend von Velen-Ramsdorf keine Juraablagerungen. Die nächstgelegenen Jurasedimente befinden sich im Teutoburger Wald bei Ibbenbüren und im Osnabrücker Hügelland mit den Ausläufern des Wiehengebirges. Aus letztem sind fossile Araukarien bekannt (Schultka 1991). Allerdings gab es im Raum Osnabrück im Jura keinen Vulkanismus, der die Verkiesselung des Holzes leicht erklären würde.

Die nächstgelegenen Regionen mit ausgeprägter vulkanischer Aktivität im Jura liegen in der westlichen Nordsee (mit Auswirkungen auf die Küsten von Yorkshire und Dorset, England) und in Schonen in Südschweden (Pieńkowski et al. 2008). Aus diesen Regionen sind verkiesselte Hölzer bekannt, wobei an der Küste von Dorset auch Holzreste von Araukarien gefunden



wurden (Francis 1984). Diese Hölzer zeigen allerdings deutliche Zuwachsringe, die dem für diese Regionen rekonstruierten mediterranen Klima geschuldet sind. Das Geheimnis um die geologische und geografische Herkunft dieses ‚westfälischen‘ *Agathoxylon*-Holzes soll in den kommenden Monaten durch eine wissenschaftliche Bearbeitung aufgeklärt werden. (CP)

#### Literaturverzeichnis

- Farjon, A. 2010: A handbook of the world's conifers, Volume 1. Leiden-Boston: Brill.
- Francis, J.E. 1984: The dominant conifer of the Jurassic Purbeck Formation, England. – *Palaeontology* 26: 277-294.
- Greguss, P. 1955: Xylotomische Bestimmung der heute lebenden Gymnospermen. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Harris, T.M. 1079: The Yorkshire Jurassic flora, V, Coniferales. London: Trustees of the British Museum (Natural History).
- Philippe, M. & Bamford, M.K. 2008: A key to morphogenera used for Mesozoic conifer-like woods. – *Review of Palaeobotany and Palynology* 148: 184-207.
- Pieńkowski, G., Schudack, M.E., Bosák, P., Enay, R., Feldman-Olszewska, A., Golonka, J., Gutowski, J., Hergreen, G.F.W., Jordan, P., Krobicki, M., Lathuiliere, B., Leinfelder, R.R., Michalík, J., Mönnig, E., Noe-Nygaard, N., Pálffy, J., Pint, A., Rasser, M.W., Reisdorf, A.G., Schmid, D.U., Schweigert, G., Surlyk, F., Wetzels, A. & Wong, T.E. 2008: Jurassic. In: McCann, T. (Hrsg.), *The Geology of Central Europe*. 823-922. London: The Geological Society.
- Schultka, S. 1991: Beiträge zur oberjurassischen Flora des Wiehengebirges. – *Geologie und Paläontologie in Westfalen* 19: 55-93.
- Selmeier, A. 1984: Ein verkieseltetes *Sequoia*-Holz aus Ahlen in Westfalen. – *Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Niederbayern* 30: 120-131.
- Stockey, R. 1982: The Araucariaceae: An evolutionary perspective. – *Review of Palaeobotany and Palynology* 37: 133-154.

#### Nichtmarine Wirbeltiere aus Warburg-Bonenburg

Die Tongrube III der Firma Lücking bei Warburg-Bonenburg ist seit 2015 Schauplatz einer wissenschaftlichen Ausgrabung, die rhätische Bonebeds im Fokus hat (Sander et al. 2016). Zusammen mit den Funden von Herrn Michael Mertens (ehrenamtlicher Mitarbeiter der paläontologischen Bodendenkmalpflege) ergibt sich durch diese Grabungen für diese Fundstelle ein immer detailliertes Bild der spätriassischen Lebewelt. Der Fossilinhalt der Bonebeds wird dominiert durch die Zähne und Knochen von Knorpel- und Knochenfischen. Darunter befinden sich aber auch die Überreste von anderen Wirbeltieren, namentlich von Tetrapoden.

Auslöser für die Grabungen war der Fund des Skeletts von *Rhaeticosaurus mertensi*. Von diesem Plesiosaurier

und auch von weiteren Arten liegt bereits ein Spektrum verschiedener Wirbel und anderer Skelettelemente vor, die die Diversität dieser Gruppe vor dem Massensterbeereignis an der Trias-Jura Grenze belegt (Wintrich et al. 2017). Neben Skelettresten von Ichthyosauriern sind auch vereinzelte Fossilien von Temnospondylen geborgen worden. Diese amphibisch lebende Gruppe von Tieren existierte von der frühen Karbonzeit bis in die frühe Kreide. Dabei lag der Schwerpunkt der Diversität und der globalen Verbreitung in der Zeitspanne von Perm und Trias. Aus der Zeit nach der Trias kennt man lediglich Vertreter einer Linie – den Brachyopoiden – aus dem Jura von Asien und bis in die frühe Kreide von Australien. Die Belege für Temnospondylen anderer Linien aus der späten Trias deuteten bislang darauf hin, dass diese Gruppe graduell in dieser Zeit ausgestorben ist.

Konietzko-Meier et al. (2018) konnten nun anhand eines Humerus (WMNM P64371) aus Warburg-Bonenburg zeigen, dass mindestens eine weitere Linie der Temnospondylen bis in das Rhätium überlebt hat. Es handelt sich um einen linken Oberarmknochen, den die Autoren als cf. *Cyclotosaurus* sp. ansprechen.

Während aus der frühen Trias auch randmarin lebende Temnospondylen belegt sind, geht man allgemein davon aus, dass Vertreter der dieser Gruppe an Süßwasser gebunden waren. Im Kontext der Grabung in Warburg-Bonenburg deutet dies darauf hin, dass es sich nicht ausschließlich um Reste von marin lebenden Tieren handelt, die in den Bonebeds gefunden werden. Darauf deuten auch die regelmäßig gefundenen Zähne von Lungenfischen (Sander et al. 2016) und der einzelne Nachweis eines Eucynodontia (Schwermann 2016). Ein weiterer Beleg für den Eintrag aus terrestrischen Habitaten stellt nun ein weiterer Fund von Herrn Mertens dar; es handelt sich um ein Krallenbein eines Tetrapoden, welches zurzeit am Institut für Geowissenschaften, Universität Bonn, analysiert wird.

Der stetige Erkenntnisgewinn über das Faunenspektrum in den Bonebeds von Warburg-Bonenburg zeigt, wie notwendig die weitere wissenschaftliche Arbeit in diesem Aufschluss ist. Die Grabungen werden daher auch in diesem Jahr fortgesetzt werden.

#### Literaturverzeichnis

- Konietzko-Meier, D., Werner, J. D., Wintrich, T. & Martin Sander, P. 2018: A large temnospondyl humerus from the Rhaetian (Late Triassic) of Bonenburg (Westphalia, Germany) and its implications for temnospondyl extinction. – *Journal of Iberian Geology* 171: 609. doi: 10.1007/s41513-018-0092-0.
- Sander, M., Wintrich, T., Schwermann, A. H. & Kindlimann, R. 2016: Die paläontologische Grabung in der "neuen Grube" der Fa. Lücking, Bonenburg, Stadt Warburg, April und Mai 2015. – *Geologie und Paläontologie in Westfalen*: 11–37.
- Schwermann, A. H. 2016: Über den Nachweis von *Lepagia gaumensis* (Eucynodontia incertae sedis) im Rhät (Trias) von Bonenburg. – *Geologie und Paläontologie in Westfalen*: 39–48.
- Wintrich, T., Hayashi, S., Houssaye, A., Nakajima, Y. & Sander, P. M. 2017: A Triassic plesiosaurian skeleton and bone histology inform on evolution of a unique body plan. – *Science advances* 3: e1701144. doi: 10.1126/sciadv.1701144.



**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.

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

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 '&'; references 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, 1799); 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 *Ptychodonta* aus dem Oberen Eozän von Westfalen. – *Geologie und Paläontologie in Westfalen* 70: 55-63.

##### Papers published online ahead of print:

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

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

##### Online-only journals:

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

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

##### Books:

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

#### Book chapters:

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

#### Conference proceedings/abstracts:

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

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

#### Theses:

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

#### Databases:

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

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

#### Tables

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

#### Illustrations

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

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

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

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

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

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

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

#### Table and figure captions

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

#### Example:

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

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

### 3. Miscellaneous

#### Review process

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

#### Publication charges

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

#### Reproduction of copyright material

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

You must ensure appropriate acknowledgement is given to the permission granted to you for reuse by the copyright holder in each figure or table caption. You are solely responsible for any fees, which the copyright holder may charge for reuse. The reproduction of short extracts of text, excluding poetry and song lyrics, for the purposes of criticism may be possible without formal permission on the basis that the quotation is reproduced accurately and full attribution is given.

#### Manuscript submission

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

#### Copyright and authors' rights

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

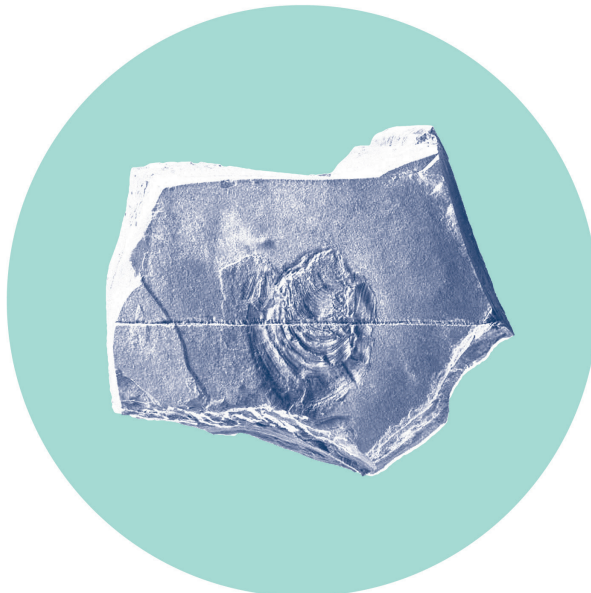
#### Free article access / Open access / Reprints

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

Last updated 15 October 2018

# Inhalt

|                                                                                                                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Krister T. Smith, Achim H. Schwermann &amp; Markus Wilmsen:</b><br>The oldest articulated mosasaurian remains<br>(earliest Turonian) from Germany                                                                     | <b>3</b>  |
| <b>Ulrich Kaplan, Tobias Püttmann &amp; Udo Scheer:</b><br>Biostratigraphie kreidezeitlicher Transgressionssedimente im<br>„Geologischen Garten“ von Bochum-Wiemelhausen<br>(Münsterländer Becken, zentrales Ruhrgebiet) | <b>25</b> |
| <b>Eckhard Speetzen:</b> Eisenbahnbau und Geologie<br>im südlichen Eggegebirge (Südost-Westfalen)                                                                                                                        | <b>37</b> |
| <i>Mitteilungen</i><br>Wirbel eines Choristoderen schließt Lücke im Fossilbericht                                                                                                                                        | <b>58</b> |
| Fossiles Holz aus Velen-Ramsdorf                                                                                                                                                                                         | <b>59</b> |
| Nichtmarine Wirbeltiere aus Warburg-Bonenburg                                                                                                                                                                            | <b>60</b> |



Geologie und Paläontologie in Westfalen Heft 91

ISSN 0176-148X  
ISBN 978-3-940726-64-3

