

## Neufunde von Branchiosauriern aus dem Rotliegend von Freital bei Dresden im UV-Licht

## New specimens of branchiosaurs from the Rotliegend (Sakmarian) of Freital near Dresden in ultra-violet light

Bernd Eichler<sup>1</sup>, Ralf Werneburg<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Rabenauer Weg 1a, 01734 Rabenau, Deutschland

<sup>2</sup> Naturhistorisches Museum Schloss Bertholdsburg Schleusingen  
Burgstrasse 6, 98553 Schleusingen, Deutschland

### Kurzfassung

An zwei neuen Fundpunkten (Bauaushub) im Döhlen-Becken wurden mehrere Skelette der Branchiosaurier *Melanerpeton gracile* und *Branchierpeton amblystomus* geborgen. Vom ersten Fundpunkt im Bereich Zschiegde – Gossburgker Dorfbach stammen die meisten Skelette (37 Exemplare) aus einem dolomitisierten, laminierten Peloidkalk (Bindstone), der dem Oberen Niederhäslicher Kalkflöz zugeordnet wurde. Am zweiten Fundpunkt im Gebiet Deuben-Schweinsdorf-Wartburgstrasse wurden in einem nicht-dolomitisierten Kalkstein, der vermutlich vom Unteren Niederhäslicher Kalkflöz stammt, nur drei Skelette gefunden. Im langwelligeren UV-Licht wurde an Skelettkomponenten, Hautbildungen und Koprolithen in laminiertem Kalkstein Fluoreszenz festgestellt. Die fossilen Reste im Dolomit und im reinen Kalkstein zeigten keine Fluoreszenzeffekte. Die Ursachen werden diskutiert. Die Fluoreszenzbilder ausgewählter Funde wurden digital fotografiert und zur Hervorhebung des jeweils interessierenden Informationsgehaltes in den Varianten color, schwarz-weiß oder schwarz-weiß-negativ dargestellt.

Diese verbesserte Untersuchungsmethodik führte bei *Melanerpeton gracile* zum Nachweis einer mineralisierten Chorda dorsalis im Schwanzbereich sowie von mineralisierten Überresten des Seitenlinienorgans im Rumpfbereich. In einem stark fluoreszierenden größeren Koprolithen konnten Knochen kleiner Branchiosaurier nachgewiesen werden, die Nahrungsquelle größerer Tetrapoden im Niederhäslich-See waren.

### Abstract

Several skeletons of the branchiosaurs *Melanerpeton gracile* and *Branchierpeton amblystomus* were found at two new sites in the Döhlen Basin near Dresden. 37 skeletons were recovered in the region Zschiegde – Gossburgker Dorfbach from dolomitic laminated peloid limestone attributed to the Upper Niederhäslich limestone horizon. Only three skeletons were excavated in the region Deuben-Schweinsdorf-Wartburgstrasse in non-dolomitic limestone, presumably from the Lower Niederhäslich-limestone-Horizon. Skeleton parts, skin formations, and coprolites in the laminated limestone show strong fluorescence using long-waved UV-light. However, fossil parts found in the dolomite and the pure limestones were not fluorescent. The reasons for the different fluorescence behaviour are discussed in this work. We present colour and black-and-white digital fluorescence images of selected findings. Using this technique, we provide evidence of a mineralized notochord in the tail region and mineralized relicts of the postcranial lateral line in the trunk region. Bones of small branchiosaurids, being a food source for greater tetrapods in the Niederhäslich lake, were detected in a strong fluorescent coprolite.

### 1. Einführung

*Melanerpeton gracile* und *Branchierpeton amblystomus* sind die häufigsten Branchiosaurier im Kalkstein der Niederhäslich-Formation des Döhlen-Beckens. Sie sind seit lan-

gem gut bekannt (Geinitz 1855 ff.) und auch in den letzten Jahrzehnten mehrfach neu bearbeitet worden (Boy 1972 ff.). Die Neufunde erweitern das Verbreitungsareal

der Niederhäslicher Tetrapoden-Fauna im Döhlen-Becken. Da die Funde nicht unmittelbar aus dem Anstehenden stammen, sind auch vergleichende Untersuchungen an anstehendem Kalkstein erforderlich, um die wahrscheinlichste Zuordnung zu einem der beiden Kalksteinflöze in der Niederhäslich-Formation treffen zu können. Darüber hinaus bietet sich die Möglichkeit eine für Branchiosaurier neue Abbildungsmethode zu demonstrieren – die Fluoreszenztechnik. Dabei sollen Anwendungsmöglichkeiten für skelettmorphologische und weichteilanatomische Untersuchungen durch Variation der Bildwiedergabemodi gezeigt werden.

Für die Effizienz dieser Methode müssen die geochemischen Voraussetzungen der Fluoreszenzaktivität und deren Erhaltung erfüllt sein. Im Rückschluss könnte der Nachweis der Fluoreszenzaktivität auch Schlussfolgerungen auf Lebens-, Fossilisations-, Sedimentations- und Diagenese-Bedingungen zulassen.

## 2. Der Niederhäslich-See-Horizont und die Branchiosaurier

### 2.1. Die Kalksteinhorizonte des Döhlen-Beckens

Der Niederhäslich-See-Horizont im Döhlen-Becken war der Fundhorizont einer Vielzahl von Branchiosauriern und anderer Tetrapoden. Der Niederhäslich-See war der Sedimentationsraum für das Untere und Obere Kalksteinflöz der Niederhäslich-Formation. Nach den Branchiosaurierfunden (Werneburg 1991, 1996; Werneburg & Schneider 2006) erfolgte ihre Alterseinstufung in das höchste Unter-Rotliegend (Sakmarian).

Das Untere Kalkflöz war lange Zeit Objekt bergbaulicher Kalksteingewinnung (Reichel & Schauer 2006) bei Schweinsdorf und vorrangig bei Niederhäslich (Typenlokalität). Über die Paläontologie und Geologie des Döhlen-Beckens liegt neuere zusammenfassende Literatur vor: Werneburg & Schneider (2001); Schneider & Hoffmann (2001); Schneider & Werneburg (2005) sowie Reichel & Schauer (2006). Über die interessante Kalkalgenflora im Niederhäslich-See berichten Schneider & Gebhardt (1992), Gebhardt & Schneider (1993). Schneider (1994) modelliert die palökologischen Gegebenheiten des Niederhäslich-Sees. Dessen Ausdehnung und mit Einschränkungen

die Gestalt des Tiefenprofils kann ausgehend von den Aufschlüssen, den Bohrungen, dem Kalkabbau und der Position autochthoner Verwitterungsresistate in Form von Hornstein bei Kleincarsdorf (Reichel & Schauer 2006) abgeschätzt werden. Nach Werneburg & Schneider (2001) wird für das Untere Flöz eine durchgehende Verbreitung mit einer Mächtigkeit zwischen 0,3 und 2,0 m und die mit dem Flöz kongruente Seefläche mit 60 km<sup>2</sup> angenommen.

Das obere Flöz ist vermutlich nicht durchgängig ausgebildet. Nach Schneider (1994) wird ein begrenztes Areal von etwa 6 km<sup>2</sup> angenommen. Aber auch weiter südöstlich von Niederhäslich wird nach Reichel & Schauer (2006) in den Bohrungen F 7, F 9 und F 16 sowie im Meiselschacht das Obere Kalkflöz angetroffen. In beiden Flözen weist die variierende Mächtigkeit auf abweichende Stoffzufuhr und eventuell ein gestaffeltes Seegrundprofil hin. Schwankungen im Wasserzulauf und allen Formen des Stofftransportes haben zu einer Bankausbildung des Kalkes sowie innerhalb der Kalkbänke zu einer deutlich geschichteten, z. T. feinlaminaren Struktur (lakustrischer laminiertes Peloidkalk nach Schneider & Gebhardt 1992) geführt.

Der Kalkstein des Unteren Flözes weist eine Reihe typischer Merkmale auf. Dunkle Färbung und charakteristischer Geruch belegen einen auffälligen Gehalt an organischen Stoffen, die als Kerogen (Rothe 2005) angesprochen werden könnten. Der unvollständige Abbau organischer Reste und ihr frühdiagenetischer Einbau in das Sediment zeigen eindeutig reduzierende Bedingungen in den bodennahen Wasserschichten an. Das Auftreten der sulfidischen Minerale Pyrit und Chalkopyrit (Thalheim et al. 1991) in den Drusen Hohlräumen ist dafür ein weiterer Indikator.

Die durch semiarides Klima bedingte hohe Verdunstungsrate an der Seeoberfläche ist im See mit einer meerwasser- bzw. brackwasserähnlichen Salinität und mit dem zeitweilig gebietsweisen Trockenfallen zu rechnen (Schneider 1994). Bei Zustrom von Niederschlagswasser kann eine Übersichtung des schwereren Salzwassers mit dem leichteren Süßwasser erfolgen. Damit bildet sich ein in Richtung Seegrund ansteigender Konzentrationsgradient der gelösten Salze aus. Zusätzlich existiert wegen der absinkenden organischen Zersetzungsprodukte ein Gradient des reduzierenden Potentials. Beiden Effekten entsprechend ist eine von der Oberfläche nach unten abnehmende Konzentration des gelösten Sauerstoffs wahrscheinlich. Daraus können begrenzende Bedingungen

für tierisches, aber auch pflanzliches Leben resultieren (Schneider 1994).

Im Kalkstein des Unteren Flöztes tritt häufig roter bzw. rotbrauner Hornstein in Form von Linsen oder auch stratiform ausgerichtet im geschichteten Karbonat auf (Reichel & Schauer 2006). Der Hornstein tritt aber wohl hauptsächlich als massive Schicht auf und kann das Karbonat partiell substituieren (Reichel & Schauer 2006; Reichel et al. 1984, Reichel & Lange 2007) oder als Sediment ganz ablösen (z. B. in Kleincarsdorf). Die bisher vorliegenden Nachweise des Oberen Flöztes zeigen ebenfalls diese charakteristischen Merkmale des Unteren Flöztes – hier nicht in dieser gleichförmigen Verteilung (Reichel & Schauer 2006). Auch im Oberen Flöz werden Hornstein, „Bitumen“ und eine Mächtigkeit von mehr als 2 m vorgefunden – aber jeweils immer nur einzeln an getrennten Stellen. Auffällige Unterschiede und lokale Schwankungen in der Zusammensetzung treten offenbar hinsichtlich des Magnesiumgehaltes auf. Das Obere Kalkflöz wird nach Naumann (1845) als weitgehend dolomitisch eingestuft.

## 2.2. Bisherige Branchiosaurierfunde im Niederhäslicher Kalkstein

Eine Auflistung von Fundberichten über Tetrapoden im Niederhäslich-Kalk-Horizont reicht weit zurück. Bereits Geinitz (1855, 1861) berichtete über die von ihm erworbenen fossilen Skelettreste aus dem Kalkabbau bei Niederhäslich. 1880 erhält er eine größere Zahl fossiler Funde aus den tiefsten Lagen des Kalksteinlagers: eine Wirbelsäule, drei Schädel und etwa 65 komplette Exemplare und berichtet darüber (Geinitz 1881a, b).

Im gleichen Jahr teilte Credner (1881a, b) die Aufsammlung von über 500 Individuen, die überwiegend aus den mittleren Lagen der untersten vier Bänke des Unteren Kalkflöztes stammen, mit. Die Verteilung der häufigsten Funde charakterisierten Sauer & Beck (1914) in einer Profildarstellung, in der das Obere Flöz (0,5–1,0 m) und das Untere Flöz (hier Hauptkalksteinflöz) mit vier Bänken aus reinem, dichten, grauen Kalkstein (1 m) erfasst sind.

Nach Sauer & Beck (1914) sind im Oberen Kalksteinflöz nur Reste von den „kiementragenden Larven des *Branchiosaurus amblystomus* CRED. in großer Zahl erhalten“, gemeint ist *Melanerpeton gracile*.

Wanderer (1912) berichtet über Funde aus dem Kalksteinflöz am Einschnitt der so genannten „Kohlenbahn“

(ebenfalls Unteres Flöz) bei Birkigt. Dabei handelt es sich um Reste von etwa 50 Individuen, „die sich von den Niederhäslicher Funden nicht unterscheiden“. Hier haben Werneburg, Schneider und Gebhardt bei Grabungen in den 1980er Jahren auch viele Exemplare von *Melanerpeton gracile* und ein oder zwei Belege von *Branchierpeton amblystomus* nachgewiesen. Im Bohrkern der Bohrung F9 bei Boderitz konnten mehrere *Melanerpeton gracile*-Exemplare von Reichel geborgen werden (Werneburg 1991). Amphibienreste wurden auch in einer Baugrube am Weißeritzufer in der Nähe der Leskestrasse gefunden (Hoffmann 2000).

Die Aufzählung zeigt, dass von einer weiten Verbreitung der Branchiosaurier im Niederhäslich-See ausgegangen werden kann, obwohl die schwerpunktmäßige Besammlung in den Kalkabbaugebieten Schweinsdorf und vorrangig Niederhäslich Akzente setzt. Als Folge variierender Lebens- und Sedimentationsbedingungen ist eine differenzierte Verteilungsdichte fossiler Reste wahrscheinlich und auch ein wiederholtes Massensterben der Branchiosaurier nicht auszuschließen. Die Besiedlung von wiederholten Frischwasser-Zuflüssen als Überlebensnische hat wahrscheinlich die Kontinuität der Besiedlung der Niederhäslich-Seen gesichert.

Eine umfangreiche skelettmorphologische Bearbeitung der bisherigen Branchiosaurierfunde von Niederhäslich liegt von Werneburg (1991) vor. Für *Melanerpeton gracile* aus dem Döhlen-Becken wurde erstmalig unter den etwa 20 Branchiosaurierarten Europas das vollendete Metamorphose-Stadium bei 15 mm Schädelhöhe nachgewiesen. Der Nachweis des metamorphisierten Zustandes ist für die Ontogenie, Phylogenie, aber auch für die Einschätzung des Migrationspotentials, z. B. der Überwindung von Wasserscheiden von höchster Relevanz. Boy (1987), Schoch & Fröbisch (2006) und Schoch & Milner (2008) rechnen diese Art zur Gattung *Apateon*. *Branchierpeton amblystomus* ist nur aus dem Döhlen-Becken bekannt. Beide Arten lebten wie der überwiegende Teil der übrigen Branchiosaurier neotenisch. Im Mittelpunkt gegenwärtiger Forschungen stehen die Evolutionsgeschichte, Paläobiogeographie, Palökologie und Biostratigraphie der Branchiosaurier.

### 3. Neufunde von Branchiosauriern im Niederhäslich-See-Horizont

#### 3.1. Neue Fundpunkte

Die Skelette der Branchiosaurier wurden an zwei Fundstellen im Freitaler Verbreitungsgebiet der Niederhäslicher Kalksteinflöze gefunden. In beiden Fällen waren die Kalksteine Bestandteil von Bauaushub. Am ersten Fundpunkt im Bereich Zschiedge – Gossburgker Dorfbach (Fp. 1) war das Aushubmaterial auf einer Halde abgelagert.

Am zweiten Fundpunkt im Gebiet Deuben-Schweinsdorf – Wartburgstrasse (Fp. 2) wurde der Kalkstein im Aushub eines Rohrleitungsbaus aufgefunden. Beide Positionen sind in Abb. 1 markiert.

#### 3.2. Charakterisierung der Kalksteine und Fossilien

##### 3.2.1. Methoden

##### 3.2.1.1. Fluoreszenzuntersuchungen im langwelligen UV

Lumineszenz-Effekte können zur Verdeutlichung von Konturen, Kontrasten von strukturellen Einzelheiten, bei der Inspektion und Darstellung fossiler Objekte genutzt werden. Voraussetzung ist dabei unterschiedliche Lumineszenz-Intensität der interessierenden Details. Solche Abstufungen werden sowohl von der chemischen Zusammensetzung des Objekts und des Matrixmaterials bestimmt, als auch von variierenden Verteilungsmustern der Mikrokomponenten und strukturellen Besonderheiten determiniert. Boden et al. (1981, 1986) konnten mittels Röntgen-Lumineszenz an verkieselten Hölzern und Korallen Bereiche kristallinen Quarzes und amorphe SiO<sub>2</sub>-Bereiche deutlich unterschiedlich sichtbar machen und damit strukturelle Details darstellen.

Die Anwendung der UV-Fluoreszenz als Hilfsmittel bei der Präparation, zur Aufklärung anatomischer Strukturen und hochauflösender, kontrastreicher Darstellung fossiler Objekte hat sich in den vergangenen Jahren breit etabliert (Tischlinger 2002).

Träger der Fluoreszenzeigenschaften können Apatit, andere Phosphate, aber auch Calcit mit unterschiedlichen Mikrokomponenten sein. Auf Solnhofener Plattenkalk

wurden Fluoreszenzbilder von Krebsen (Polz 1995, Mundlos 1976); vom *Archaeopteryx* (Tischlinger 2002); von einer Feder des *Archaeopteryx* (Tischlinger & Unwin 2004); von Arthropoden (Polz 2000) u. a. dokumentiert. Auch im Schamhaupter Kieselplattenkalk wurden Fossilien aufgefunden, an denen unter UV-Licht skelettmorphologische Details und Weichteilstrukturen beobachtet, aufgeklärt und dargestellt werden konnten: *Juravenator starki* (Göhlich et al. 2006), aber auch neben Florenresten Krebse und Excuvien (Viohl & Zapp 2006). Technische Details zur Mikroskopier- und Aufnahmetechnik unter langwelliger UV-Strahlung teilt Tischlinger (2002) mit. Mikroskop und Kamera wurden zusätzlich mit UV-Sperrfilter und verschiedenen Farbfiltern versehen. Dokumentiert wurde auf Diafarbfilm.

Mit unseren UV-Fluoreszenzuntersuchungen an Branchiosaurierskeletten aus dem Döhlen-Becken sollte ermittelt werden, inwieweit die Fluoreszenzeigenschaften von Knochen, Zähnen, Schuppen und postmortal gebildeten Phosphaten unter den Fossilisationsbedingungen und der Diagenese eines dolomitischen Kalkstein erhalten bleiben.

Für unsere Untersuchungen an Branchiosauriern wurde eine stark modifizierte Aufnahmetechnik, die für die kleineren Dimensionen der Fossilien geeignet und an verschiedene Präsentationstechniken adaptionsfähig war, verwendet. Als Quelle für langwelliges UV wurde eine Leuchtröhre vom Typ „Sylvania“ Blacklight 15W/BLB-T8 (Made in Japan) verwendet. Deren Emission liegt (nach Angabe des Herstellers) im Wellenlängen zwischen 300 und 400 nm. Die Fotodokumentation erfolgte mit einer Digitalkamera (Canon PowerShot A 630 ohne Filter. Die wichtigsten Leistungsparameter sind:

4 × digitales Zoom; Sensorauflösung: 8,0 Megapixel; minimaler Scharfbereich: 1 m; Makro-Fokusbereich: 1–45 cm; unterstützt MS Windows XP. Am PC erfolgte die Auswahl des Bildausschnittes und die Bildbearbeitung mit ArcSoft Photo-Studio (Farbanteil und tiefe, Helligkeit, Kontrast, Beschriftung und Retusche, Darstellung in Graustufen oder Negativ). Der verwendete Drucker (HP-Officejet Pro K 5400) erzielt im Schwarz-Weiß-Bild 1200 × 1200 dpi, im Farbbild 4800 × 1200 dpi.

Mit dieser Technik sind optische Filtersysteme nicht erforderlich. Die hohe Kameraauflösung gestattet Nahaufnahmen und Ausschnittsvergrößerungen, so dass in der Regel auch auf den Mikroskopeinsatz verzichtet werden kann.

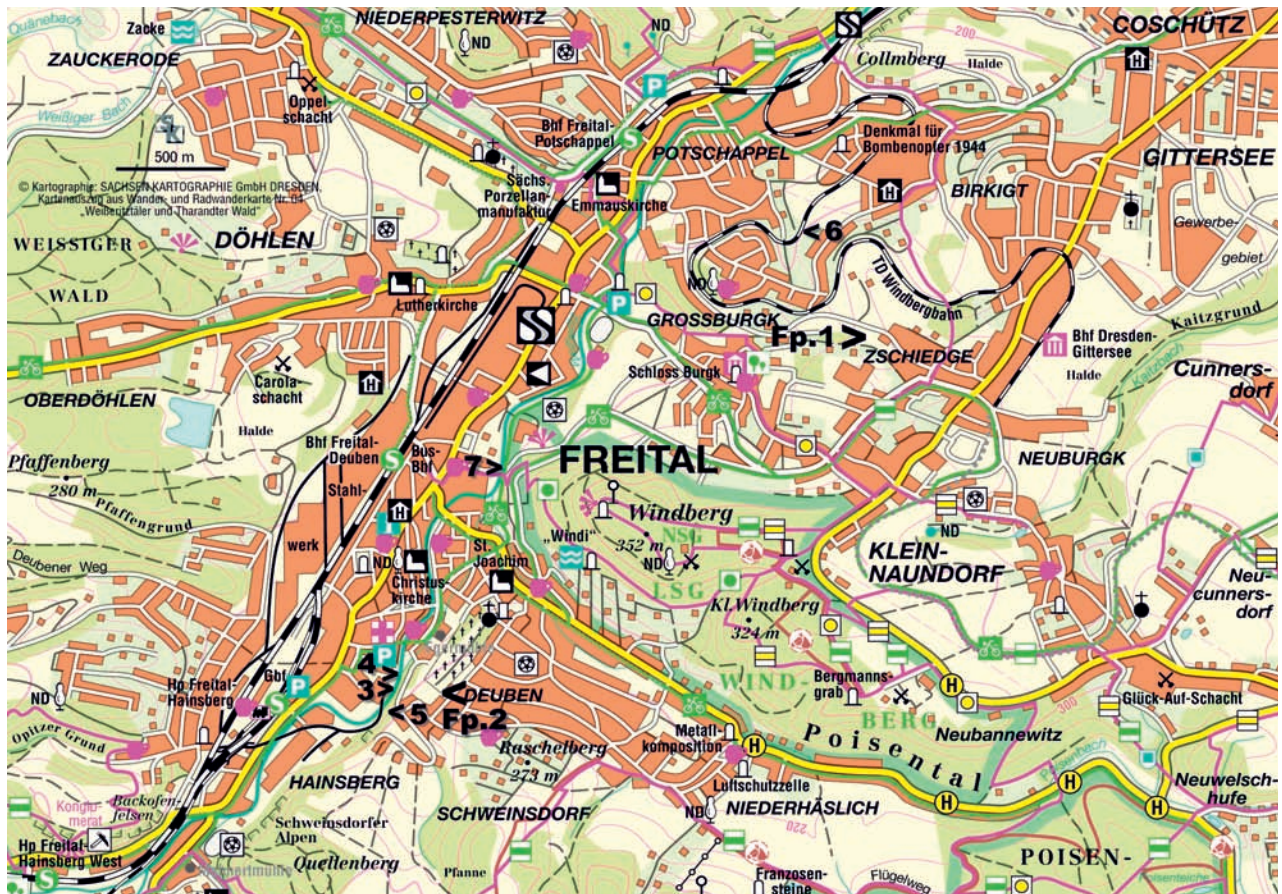


Abb. 1: Positionen der Funde und Probenahme für die Analysen. © Sachsen Kartographie GmbH Dresden.

Fig. 1: Positions of finds and analytical tests.

### 3.2.1.2. Dichtebestimmung

Als Probekörper wurden Kalksteinstücke und Tuffit im Massebereich 250–700 g von den Fundpunkten und von anstehendem Vergleichsmaterial (Positionen siehe Abb. 1) entnommen.

Wegen der heterogenen Zusammensetzung der Kalksteinbänke wurde die Dichte von jeweils zwei Proben aus verschiedenen Lagen mit der Auftriebsmethode bestimmt:

Der Kalkstein vom Fp. 1 bestand aus einem laminar geschichteten Kalkstein und einer kompakten fast weißen Karbonatschicht die sich gut voneinander trennen ließen und einzeln bestimmt werden konnten.

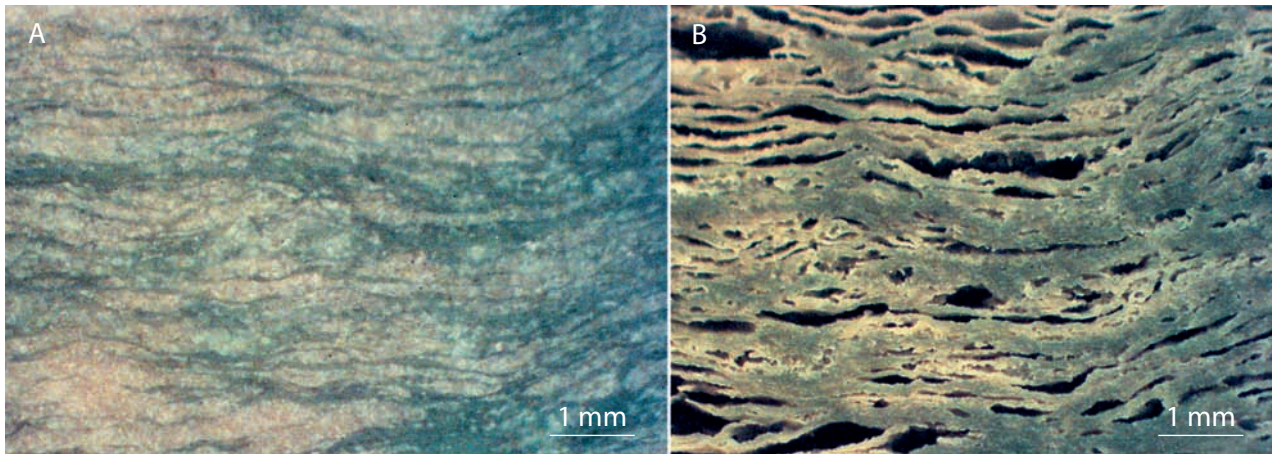
Die Dichte des Löserückstandes des laminierten Kalksteins wurde pyknometrisch ermittelt.

### 3.2.1.3. Chemische Analysen und Identifizierungstests

Zur Elementaranalyse wurden aus den Kalksteinplatten senkrecht zur Schichtung stabförmige Proben geschnitten, um einen möglichst repräsentativen Bereich zu erfassen. Die Auflösung erfolgte mit konzentrierter Salpetersäure. Nach dem Eindampfen wurde mit HCl abgeraucht, mit 3 n Salpetersäure aufgenommen und auf Ca, Mg, Fe, Mn, Sr und Ba mit OES-ICP analysiert. Der unlösliche Rückstand wurde bei 160 °C getrocknet und ausgewogen.

Zur Identifizierung einzelner Elemente und Minerale wurden mehrere Testreaktionen ausgeführt:

- Nachweis von Phosphat in fossilem Material mit Ammoniummolybdat (Jones 1997)
- Nachweis von Calcit mit Hämatoxylin (Maresch 1996)



**Abb. 2:** Laminiertes Kalkstein. **A:** Schnitt, Originaloberfläche. **B:** Gleicher Ausschnitt geätzt.

**Fig. 2:** Laminated limestone. **A:** Section, original surface. **B:** The same section after etching.

- Mn-Test mittels katalytischer Perhydrol-Zersetzung (Jones 1997) und
- Nachweis von Mg mit Titangelb (Rösler 1981).

### 3.2.2. Beschreibung und Untersuchungsergebnisse des Fundmaterials

#### 3.2.2.1. Das Sediment

Am wesentlich ergiebigeren Fp. 1 bestand das Fundmaterial aus Kalksteinplatten. Die Plattenflächen waren mit  $\sim 300 \text{ cm}^2$  bis  $\sim 2000 \text{ cm}^2$  ebenso unterschiedlich wie die Schichtdicken mit 4 cm bis 15 cm. Häufig war Spaltung in der Schichtebene zu beobachten. Die Mächtigkeit der Original-Bankung war sicher größer als die vorgefundene Plattendicke. Im Schnitt zeigen die Platten deutlichen Schichtaufbau. Dabei wechseln fast weiße cm-dicke Karbonatschichten mit grau-grünen-weißen fein laminierten Schichten.

In Abbildung 2 wird ein Originalschnitt dieser laminierten Zonen (a) verglichen mit dem Zustand nach der Ätzung mit halbkonzentrierter Salzsäure (b). Beim Ätzprozess wurden die weißen Karbonate herausgelöst. Die Reststruktur belegt die Durchgängigkeit der Laminen. Die Karbonate füllen vorzugsweise abgegrenzte flache linsenförmige Räume aus. Das verbleibende Gerüst lässt sich problemlos mit der Hand zu einem feinen Pulver zerdrücken. Diese Bestandteile werden im Kalkstein offensichtlich durch Karbonate zementiert.

Die hellen, fast weißen Schichten repräsentieren etwa 50 % des Kalksteins. Grau-grüne Laminen sind nur noch andeutungsweise zu erkennen. Dieses Karbonat unterscheidet sich vom laminar geschichteten Kalk sehr deutlich in der Spaltbarkeit. Während letzteres sehr gut in der Ebene der Laminen spaltet, zeigt der helle Kalkstein keine definierte Spaltbarkeit. Er bricht fast muschelig in Bögen, die Bruchflächen sind aber uneben und rau. Im Schnitt treten in diesen Schichten Hinweise auf gestörte Sedimentation auf: Intraklasten, eingeknetete grün-graue Knollen (?Tuffite) und deformierte dünne, rote Hornsteinschichten.

Beim Ätzversuch an einer Schnittfläche blieben nur in einzelnen Bereichen Laminen stehen. Für diesen Kalkstein ergab sich eine Dichte (s. Tab. 1) von  $\rho = (2,91 \pm 0,01) \text{ g cm}^{-3}$ . Mit einem Löserückstand (s. Tab. 2) von nur  $4,9 \pm 0,04 \%$  kann diese Schicht als nahezu reiner Dolomit angesprochen werden. Für den grau-grünen glimmerhaltigen Tuffit wurde mit drei Proben eine Dichte von  $\rho = (2,53 \pm 0,1) \text{ g cm}^{-3}$  und für den Löserückstand des laminierten Kalksteines vom Fundpunkt 1 die Pulverdichte zu  $\rho = 2,45 \text{ g cm}^{-3}$  bestimmt.

Für die fein laminierten Kalksteinschichten ergab sich die Dichte zu  $\rho = (2,84 \pm 0,01) \text{ g cm}^{-3}$ . In diesem Kalkstein tritt in kleinen Mengen roter Hornstein auf, der parallel zur Karbonatschichtung kleine ( $< 50 \text{ mm}$ ), dünne ( $< 3 \text{ mm}$ ) Lagen ausbildet. Neben dieser stratiformen Anordnung treten auch tröpfchenförmige Einschlüsse auf. In den häufigen kleinen Drusen mit einigen cm Durchmesser sind rhomboedrische Kristalle von Calcit

**Tab. 1:** Dichte der Kalksteine.**Tab. 1:** Density of the limestones.

Nr.	Ort	Position	Probe	Dichte (g/cm <sup>-3</sup> ) a)	Dichte (g/cm <sup>-3</sup> ) b)
1	Zschiegde	Fp. 1	laminiertes Kalkstein	2.877	2.798
			kompakter Kalkstein	2.902	2.920
			grau-grüner Tuffit	2.53±0.10	
			Löserückst. Lam. Kalkst.	2.45	
2	Schweinsdorf Deuben	Fp. 2	Kalkstein	2.692	2.669
3	Hainsberg Weißeritz	Flöz Oberkante	Kalkstein	2.847	2.930
4		Flöz Unterkante	Kalkstein	2.823	2.711
5	Hainsberg	Weißeritz Hang	Kalkstein	2.962	2.871
6	Birkigt	Kohlebahn	Kalkstein	2.733	2.719
			Faserkalk	2.626	
7	Deuben	Weißeritz Ufer	Kalkstein	2.588	2.717

ausgebildet. In den Drusen sind kleine tafelförmige, völlig farblose Barytkristalle und gelblicher auf Calcit aufgewachsener Dolomit zu finden. Die Barytkristalle können aus Löserückständen solcher Drusen herausgelesen werden. Die laminare Schichtung verläuft z.T. gebogen um die Drusen herum. Im Entstehungszeitraum war offensichtlich noch eine Verformbarkeit dieser Schichten vorhanden. Trockenrisse oder andere Schwundrisse (z. B. hervorgerufen durch die Dolomitbildung) sind mit grobkristallinem Calcit (Sparit) ausgefüllt. Der Calcit-Nachweis erfolgte mit dem Hämatoxylin-Test. Auf Spaltflächen sind in großer Zahl schwarze Dendriten (Eisen-Mangan-Oxidhydrat) ausgebildet. Der Mangan-Nachweis erfolgte mit dem Perhydrol-Test.

Das Erscheinungsbild des Kalksteins vom Fp. 2 unterscheidet sich gravierend von dem des Fp 1. Hier traten nur Bruchstücke mit maximal 20 cm Durchmesser auf. Die Oberflächen zeigten deutliche Verwitterungsspuren. Teilbereiche mit feinen Laminierungen bzw. kompakte Schichten reiner heller Karbonate wurden hier nicht gefunden. Der Kalkstein weist eine deutliche Porosität auf.

Eine angeätzte Schnittfläche zeigt nur einzelne durchgehende Laminen. Letztere bilden leicht gewellte Matten (vermutlich Algenbeteiligung), die z.T. kleine Karbonatbereiche umschließen. Diese Matten sind beige und grau gefärbt. Auch bezüglich der Beimengungen und Begleitminerale gibt es deutliche Unterschiede. Der Anteil an rotem Hornstein ist wesentlich höher. Dieser tritt in feinen Linien, als massive Linsen bzw. Schichten oder auch in völlig deformierter Form auf. Der gravierendste Unterschied besteht im hohen Gehalt an organischen Resten, die eine graue oder schwarz-graue Färbung des Kalksteins bedingen. Beim Schnitt tritt ein typischer Geruch nach „Bitumen“ auf. In den extrem flachgedrückten spaltförmigen Drusen sind ebenfalls Barytkristalle ausgebildet. Dendriten aus Eisen-Mangan-Oxidhydraten sind sehr häufig in diesem Kalkstein. Die Dichte (s. Tab. 1) dieses Kalksteins ist mit  $\rho = 2.67 \pm 0.01$  deutlich niedriger gegenüber dem Kalkstein von Fp. 1 – verursacht durch Porosität, einen hohen Anteil an organischen Resten und hauptsächlich durch den geringen Magnesiumgehalt (s. Tab. 2).

**Tab. 2:** Zusammensetzung der Kalksteine (in Gewichtsprozent).**Tab. 2:** Composition of the limestones (in mass-%).

Nr.	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	FeCO <sub>3</sub>	MnCO <sub>3</sub>	SrCO <sub>3</sub>	BaCO <sub>3</sub>	unlöslich
1	66.11	19.51	0.19	1.24	0.048	0.012	15,93
	–	–	–	–	–	–	4.90
2	78.04	0.97	0.12	0.90	0.067	0.007	18.96
3	48.21	38.17	1.25	1.67	0.002	0.002	12.87
4	59.58	28.63	1.83	2.51	0.025	0.018	8.88
5	50.78	42.68	0.61	1.39	0.011	0.006	6.28
6	82.03	1.27	0.256	0.56	0.127	0.006	15.00

Die Ergebnisse der Dichtebestimmungen sind in Tab. 1 zum Vergleich mit den Werten für die an anderen Positionen anstehenden Kalksteinen zusammengestellt. Die Werte umfassen den Bereich von 2.588 gcm<sup>-3</sup> bis 2,93 gcm<sup>-3</sup>. Das entspricht etwa dem Übergang von Calcit (2,7 gcm<sup>-3</sup>) [Faserkalk] bis zum Dolomit (~ 2,9 gcm<sup>-3</sup>). Nach der Dichte ist eine nicht-dolomitisierte Gruppe (Fp. 2 und Nr. 6 und Nr. 7) signifikant unterscheidbar von den Kalksteinen der übrigen Positionen.

Die Ergebnisse der Analyse der Zusammensetzung der Kalksteine sind in Tab. 2 erfasst. Für die Elemente Sr und Ba betreffen die Angaben lediglich den karbonatischen und den aus der geringen Löslichkeit der Sulfate resultierenden Anteil. Fe und Mn können als Karbonat oder Oxidhydrat vorliegen. Beide Formen werden aufgeschlossen. Sie sind als Karbonat bilanziert. Als Ergänzung sind Analysenergebnisse (Literaturdaten) für den Kalkstein aus dem Niederhäslicher Kalkabbau in Tab. 3 aufgelistet. Wie im Fall der Dichte zeigt sich ein Übergang vom calcitischen zum dolomitischen Charakter. In Abbildung 3 ist der Magnesiumkarbonat-Gehalt (in Gewichtsprozent der gelösten (!) Karbonate) als Funktion der Dichte dargestellt. Bei einem Regressionskoeffizienten von 0,89 ist die Beziehung  $\text{MgCO}_3 \text{ (w/o)} = 162 \cdot \rho - 434$  zur Abschätzung des Magnesiumkarbonat-Gehaltes aus der Dichte geeignet.

Dolomit liegt in der Regel mit einem Ca-Überschuss, dem mit der Formulierung  $\text{Ca}_{0,55}\text{Mg}_{0,45}\text{CO}_3$  entsprochen werden kann, vor. Dieser Zusammensetzung entspricht ein Gewichtsanteil von 40.80 w/o und nach dieser Korrelation einer Dichte von 2.93 gcm<sup>-3</sup>. Für den „Dolomit“ vom Fp. 1 wäre ein MgCO<sub>3</sub>-Gehalt von (38 ± 1) w/o zu erwarten. Ein magnesiumfreies Karbonat hätte nach dieser Korrelation eine Dichte von 2,68 (nahe Calcit).

Innerhalb der Analysenergebnisse ist wieder eine Gruppenbildung möglich: die Kalksteine der Proben-Nr. 3–5 sind stark dolomitisiert, die Kalksteine vom Fp. 2 und Nr. 6 enthalten nur sehr geringe Mg-Anteile. Im Kalkstein von Fp. 1 ist die laminierte Komponente in erheblichem Umfang dolomitisiert – in der kompakten Komponente dagegen vollständig.

Der Eisen- und Mangan-Gehalt ist in den Kalksteinen von Fp. 2 und Nr. 6 vergleichsweise zu den übrigen Kalksteinen niedrig, der Sr-Gehalt dagegen höher. Diese Analysenergebnisse sollen lediglich als Vergleichsparameter dienen, sie stützen aber die Gruppenbildung.

### 3.2.2.2. Die Fossilien

In den aufgefundenen fossilen Resten der Branchiosaurier widerspiegeln sich verschiedene Abläufe der Fossilbildung und der Erhaltung. Die Sedimentationsprozesse einschließlich abgestorbener organischer Reste regeln die Einbettung der toten Individuen im Sediment. Zusammen mit den frühdiagenetischen Vorgängen determinieren sie die Mineralisationsprozesse der fossilen Reste und deren Erhaltung. Im Zusammenhang mit unserer Untersuchung ist dabei die Wechselwirkung der Komponenten des Environments mit den anorganischen und organischen Phosphorverbindungen besonders relevant. Die Kadaver der Branchiosaurier bringen als stoffliche Reste das Knochenskelett, Zähne und Weichteile ein. Knochen und Zähne enthalten ursprünglich Hydroxylapatit, der etwas schwerer löslich ist als Calcit. Im Verlaufe der Zersetzung der organischen Masse werden die Knochen porös und gegebenenfalls durch Mineralausscheidungen unter Erhalt des Apatits verdichtet – z. B. calcitisiert.



**Tab. 3:** Zusammensetzung der Kalksteine (in Gewichtsprozent) – Literaturdaten.**Tab. 3:** Composition of the limestones (in mass-%) – literature data.

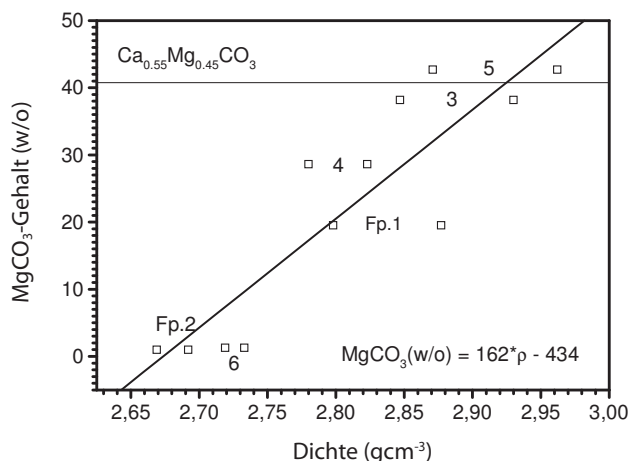
Nr.	Ort	Position	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>			Rückstand	
1	Niederhäslich	Unteres Flöz	74.45	1.01	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 3.98		19.29	Credner (1881c)
2		Unteres Flöz		29.97				Naumann (1845)
3	Niederhäslich	a)	61–87					Beck (1891)
		b)	40–60					
4		Oberes Flöz	82.99					Reichel (1966)
5	Niederhäslich	Obere Bank	86.9	1.55			12.55 28.81 38.20	Sauer (1914)
			69.65	1.44				
		Mittlere Bank	60.94	0.76				
		Untere Bank						
6	Niederhäslich	Obere Bank	93.88	0.21	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1.4		4.2 36.7	Wunder (1867)
		Untere Bank	61.40	0.21	1.4			
7	Schweinsdorf	Dolomit	54.76	42.10	FeCO <sub>3</sub> 4.19			Sauer (1914)
8	Schweinsdorf	Dolomit	50.47	45.66	FeCO <sub>3</sub> 4.18	MnCO <sub>3</sub> 0.70		Thalheim et al. (1991)

In den Weichteilen ist Phosphor in Form von Phosphorproteinen, Nucleinsäuren, phosphatischen Kohlehydrat-Estern, Coenzymen u. a. angereichert. Bei der Zersetzung von Weichteilen werden Phosphorsäure bzw. ihre Derivate freigesetzt. In einem alkalischen Medium können diese Verbindungen sofort von Kalziumionen abgefangen und adsorbiert werden oder direkt mit einer angrenzenden festen Karbonatoberfläche reagieren. Kopolithen stellen eine weitere Anreicherungsmöglichkeit für Phosphate dar. In der Nahrungskette der Fleischfresser kommt es zu besonders hoher Phosphoranreicherung, die sich in den Ausscheidungen zeigt.

Erfolgt die Verwesung am Seegrund ohne Zutritt von Sauerstoff, werden die Weichteile zu Kohlenwasserstoffen abgebaut und wie pflanzliche Reste als Faulschlammkomponente sedimentiert. Unter diesen Bedingungen ist eine fixierte Phosphaterhaltung im o. g. Sinne als „Abbildung“ nicht möglich.

Eine komplette Skeletterhaltung in der ursprünglichen Ablagerungsposition ist nur möglich, wenn keine starke Wasserströmung auftritt und kein Aasfresser den Kadaver zerlegt.

Die aufgefundenen Fossilien demonstrieren in auffälliger Weise unterschiedliche Abbau- und Einbaubedingungen. Am Fundpunkt 1 wurden etwa 16 m<sup>2</sup> Spaltoberfläche freigelegt. Dabei wurden 34 Skelette bzw. wesentliche Teile davon gefunden. Die Zahl der Fragmente wie Schädel, Einzelknochen u. a. übersteigt 200 Exemplare. Die Farbe der Knochen reicht von braun, graubraun, beige bis zu weiß. Der Zustand der Skelette hinsichtlich Vollständigkeit und Formerhaltung ist besonders gut bei Exemplaren, die in den fein laminierten Partien des Kalksteins gefunden wurden. Das wird offensichtlich begünstigt durch die Einbettung der abgestorbenen Tiere in das feinteilige, eingeschwemmte grau-grüne Lockermaterial, das den Zusammenhalt der Teile und den Fossilisationsprozess beeinflusst. Darüber hinaus erfolgt in diesen Ebenen die bevorzugte Aufspaltung des Kalksteins. Die Wahrscheinlichkeit, dass der fossile Rest in einer einzigen definierten Kalklamine liegt ist natürlich nur in den so geschichteten Kalksteinbänken hoch. An vielen Skeletten und an der breiten Streuung von Einzelknochen ist der Zugriff von Fressfeinden bzw. die Disartikulation durch Aasfresser nicht auszuschließen.



**Abb. 3:** Korrelation des Magnesiumkarbonat-Gehaltes mit der Dichte des Kalksteins.

**Fig. 3:** Correlation between content of magnesium carbonate and the density of limestone.

In den Dolomitschichten wurden ebenfalls Skelettreste und Einzelknochen von Branchiosauriern gefunden. Diese Reste weisen einige Besonderheiten auf. Zunächst sind sie nie in nur einer Spaltebene (oder besser Bruchebene) vollständig erhalten. Die Skelette sind stark disartikuliert und die Knochen völlig flachgedrückt. So entsteht das Bild eines dunkelbraunen bis schwarzen Abdruckes. Wegen des Farbkontrastes zum hellen Dolomit sind die Umrisse gut erkennbar. Die Sedimentation bzw. die frühdiagenetische Dolomitbildung müssen für die Einbettung und Erhaltung andere Bedingungen dargestellt haben, als im Fall der Bildung des fein laminierten Kalksteins. In die Dolomitschicht ist ein wesentlich geringerer Eintrag feinteiligen Materials erfolgt, der für eine schnelle Abdeckung erforderlich gewesen wäre. Das könnte aus einem geringeren Wasserzustrom evtl. mit weniger „Trübe“ resultieren. Möglich ist auch ein Trockenfallen des Sees und eine Trocknung (Mumifizierung) der Kadaver. Eine auffällige Häufung dieser Fossilisationsvariante ist aber nicht zu beobachten. Auszuschließen ist eine Einbettung in großer Wassertiefe, da im fast weißen Dolomit keinerlei pflanzliche bzw. kohlige Reste auftreten.

Am Fundpunkt 2 (Fp. 2) wurden nur 3 Skelette auf etwa 0,5 m<sup>2</sup> Spaltoberfläche gefunden. Die Skelette sind unvollständig und schlecht erhalten. Erkennbar sind Schädel und Wirbelsäule. Zwei Exemplare haben hellbeige bis hellbraune Farbe – ein Skelett ist außer dem

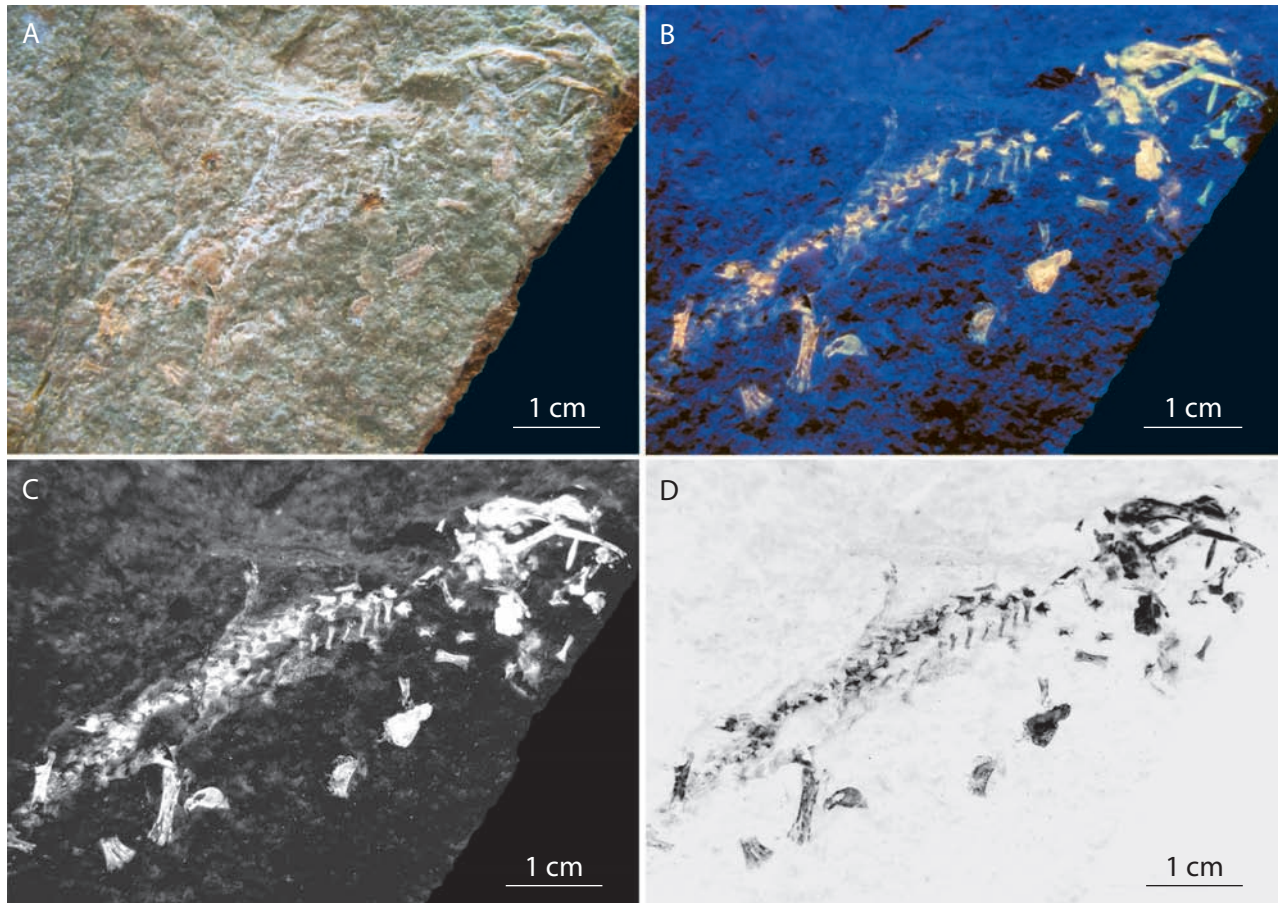
Schädel völlig schwarz. Die Färbung wird nicht durch Manganverbindungen hervorgerufen (geprüft mit Perhydrol-Test). Diese Erhaltungsform (kohlig oder „bituminöser“ Zustand) deutet auf eine anaerobe Fossilisation in tiefem Wasser hin. Der Kalkstein ist ebenfalls durch einen hohen Anteil an organischen Resten dunkel gefärbt (offensichtlich kohliges Material). Bei einem Skelett reichen dendritische Ausscheidungen von Eisen- und Mangan-Oxidhydraten bis an das Fossil heran. Die Skelette wurden auf leicht spaltbaren dünnen Platten gefunden, die an Schnittflächen auch eine feine Schichtung zeigen. Diese Form ist aber für den Fp. 2 nicht repräsentativ und eher selten.

Die Beschreibung der Erhaltungsform der Reste des „*Branchiosaurus gracilis*“ durch Credner (1881c) trifft sehr genau auf diese Funde vom Fp. 2 zu. Einige Charakteristika sollen zitiert werden:

„– dünnplattiger Kalkstein; – schlechte Erhaltung; – zusammengedrückt zu Papierdünn; – gewölbte Form des Schädels verloren; – verschobene Becken- und Schultergürtel; – Dislocation der Extremitäten; – staubartig lockere Beschaffenheit der Knochen; – leichte Ablösbarkeit vom Gestein.“

Aus der Lage des Fundpunktes und den Eigenschaften des Kalksteins kann mit einiger Sicherheit auf die Herkunft des Materials aus dem Unteren Kalkflöz geschlossen werden. Credners fossile Reste stammten ebenfalls aus diesem Flöz, aber aus dem benachbarten Niederhäslich. Die Fossilisationsmerkmale stützen diese Zuordnung.

Ein Hinweis Credners ist im Zusammenhang mit dem Fluoreszenzverhalten der Branchiosaurierreste besonders wichtig. Er beschreibt eine gelb-braune Zone, die eine Art Umrandung der Fossilien bildet. Mit großer Wahrscheinlichkeit handelt es sich um Eisenverbindungen. Die Dendriten auf den hier beschriebenen Skeletten vom Fp. 2 belegen die Anwesenheit von Eisen am und im Fossil. Seine Verbindungen können das Mineralisationsverhalten der organischen Phosphorverbindungen oder auch das Verhalten bereits am Kalk fixierter Phosphate durch die Bildung von Eisenphosphaten variabler Zusammensetzung (Vivianit oder Strengit bzw. Eisenphosphaten mit unterschiedlichen OH/PO<sub>4</sub>-Verhältnissen) beeinträchtigen. Diese Vivianit-Bildung in fossilen Knochen ist als bläuliche Färbung von Saurierknochen gut bekannt. Die selektive Phosphatabtrennung mit Eisen gegenüber Erdalkalitionen ist ein Standardprozess der analy-



**Abb. 4:** *Melanerpeton gracile*; variable Aufnahme und Wiedergabe. **A:** Tageslicht/color; **B:** Fluoreszenz/color; **C:** Fluoreszenz/schwarz-weiß; **D:** Fluoreszenz/schwarz-weiß, negativ.

**Fig. 4:** *Melanerpeton gracile*; variable photography and representation. **A:** daylight/colour; **B:** fluorescence/colour; **C:** fluorescence/black-white; **D:** fluorescence/black-white, negative.

tischen Chemie. Diese Phosphatbindung an Eisen bedeutet Fluoreszenzlöschung. An beiden Fossiltypen vom Fp. 1 sowie vom Fp. 2 wurde der Phosphattest (Ammoniummolybdatophosphat) mit positivem Ergebnis durchgeführt. Die Gründe für das Auftreten der UV-Fluoreszenz an den Branchiosaurierskeletten vom Fp. 1 und das Ausbleiben dieses Effekts am Fp. 2 müssen in den Einbettungsbedingungen der abgestorbenen Tiere, ihrer Fossilisation und der gesamten Kette der geochemischen Folgeprozesse bis zum Aufbau des vorliegenden Kalkstein der Niederhäslich-Formation gesucht werden. Da die Fluoreszenzaktivität nicht regenerierbar ist, sind ihre Ursachen in der gesamten Kette dieser Prozesse erhalten geblieben. Da besonders die ersten Phasen des Fossileinschlusses für die Langzeiterhaltung der Fluoreszenzakti-

vität entscheidend sind, können aus dem gegenwärtig erfolgten Nachweis Rückschlüsse auf die Sedimentationsbedingungen im See und damit auf die Lebensbedingungen der Branchiosaurier gezogen werden.

Wenn als unterer Grenzwert für die Magnesiumcalcitabscheidung als Einbettungsprozess bzw. die frühdiagenetische Dolomitbildung  $\text{pH} > 8,3$  (Rösler 1980) angenommen wird, ist seit der Einbettung und Fossilbildung die Aufrechterhaltung eines alkalischen Milieus garantiert. Unter solchen Bedingungen (bereits bei  $\text{pH} = 7$ ) ist das Bikarbonat das absolut dominante Teilchen des Kohlensäuredissoziations-Gleichgewichts (Kaufmann 1979). Bei starkem Algenbewuchs kann die Bikarbonat-Assimilation einsetzen (Lampert 1999), die wegen des Wasserstoffionen-Verbrauchs zu einem beträchtlichen ph-

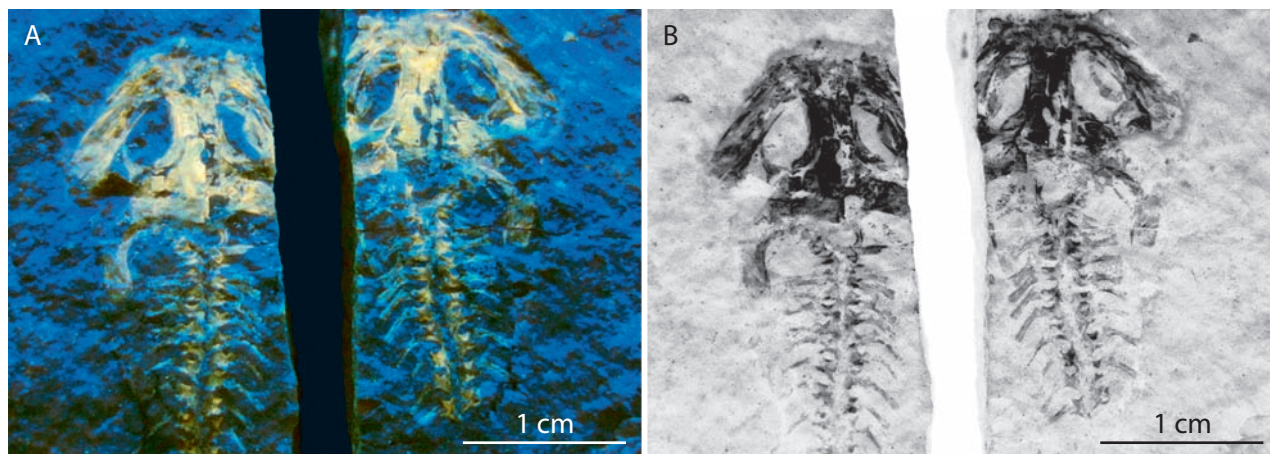


Abb. 5: *Melanerpeton gracile*; Spaltung im Skelett. A: Fluoreszenz/colour. B: Fluoreszenz/schwarz-weiß, negativ.

Fig. 5: *Melanerpeton gracile*; splitting in skeleton. A: fluorescence/colour. B: fluorescence/black-white, negative.

Wert-Anstieg führt. Das bedeutet sowohl chemische Karbonatfällung, als auch Ammoniakfreisetzung aus Ammoniumverbindungen mit katastrophalen Folgen für Flora und Fauna im See.

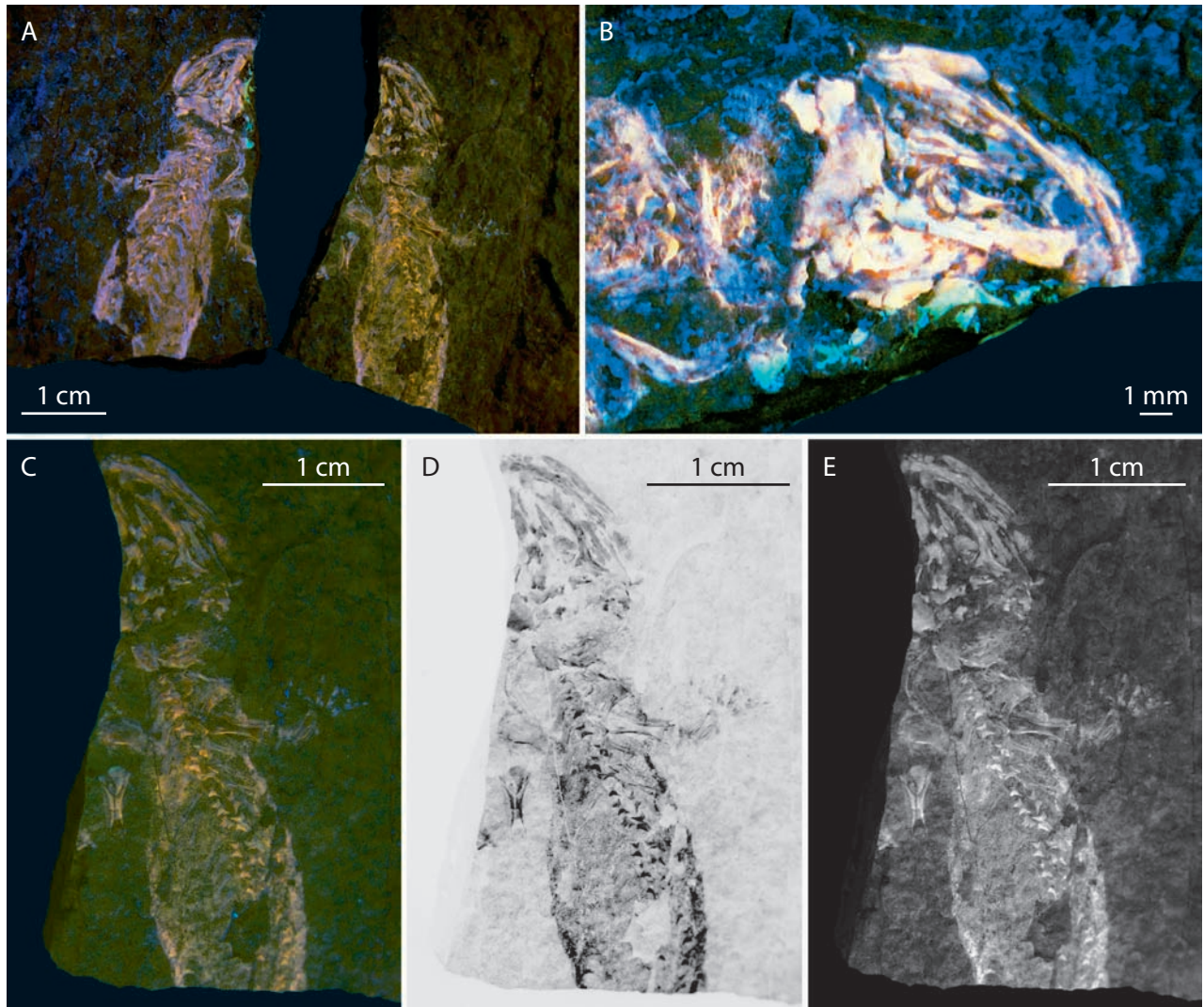
Für das Löschen der Fluoreszenzaktivität der Skelette vom Fp. 2 und der „schwarzen Mumien“ vom Dolomit des Fp. 1 kommt eine Phosphatauflösung bei niedrigerem pH-Wert wegen der immensen Pufferkapazität der Karbonate nicht in Betracht. Der Einfluss des Eisens ist wahrscheinlicher. Quellen des Eisens können der Kadaver selbst und Minerale des unmittelbar umgebenden Gesteins sein. Wegen des pH-Wertes würden die Eisenverbindungen bei der Verwesung in der näheren Umgebung des Kadavers hydrolysiert. Das entspricht dem von Credner (1881c) beschriebenen Bild von den Skeletten aus dem Unteren Kalkflöz von Niederhäslich. Bei den „getrockneten“ Kadavern im Dolomit verbleibt das Eisen in der „Mumie“. Im Fall der Eisenerfreisetzung aus den Kadavern, die im dolomitischen Kalkstein fossilisiert wurden, ist mit einem Einbau in das Dolomitgitter zu rechnen. Aus kristallchemischen Gründen ist die Substitution von  $Mg^{2+}$  durch  $Fe^{2+}$  (Radiendifferenz: 0.008 nm) im Dolomitgitter leichter möglich, als die Substitution von  $Ca^{2+}$  im Calcitgitter durch  $Fe^{2+}$  (Radiendifferenz: 0.019 nm). Auf diese Weise könnte die Konkurrenzreaktion des „Eisens“ um das Phosphation bei den fluoreszierenden Skeletten behindert werden. Bei den Fossilien vom Fp. 2 und aus dem Dolomit vom Fp. 1 ist so die Wechselwirkung des „Eisens“ mit dem Phosphation aus voneinander verschiedenen Gründen wahrscheinlich.

### 3.3. Zuordnung des Fundmaterials zu den Kalkflözen der Niederhäslich-Formation

Der Kalkstein vom Fp. 2 kann nach der Position und dem Verlauf des Unteren Flözes im Bereich Weißeritz-Schweinsdorf-Deuben diesem Kalkflöz zugeordnet werden (vergl. Abb. 1). Diese Zuordnung wird unterstützt durch die Analyseergebnisse und Dichtebestimmungen des anstehenden Kalkflözes Nr. 6 von Birkigt (Bahneinschnitt) und Nr. 7 von Deuben Weißeritzufer, Aufschlüsse die ebenfalls zum Unteren Flöz gehören (Reichel 2006), ebenso wie die magnesiumarmen Niederhäslicher Kalkbänke (s. Tab. 3). Der Zustand der Fossilien (*Melanerpeton gracile*) gleicht exakt der Beschreibung der Funde vom Niederhäslicher Kalkabbau (Credner 1881a). Auch hinsichtlich des Fe-, Mn- und Sr-Gehaltes sowie des Gehaltes an unlöslichen Komponenten gibt es weitgehende Übereinstimmung zwischen Fp. 2 und Nr. 6 (s. Tab. 2).

Der hohe Dolomitierungsgrad des Unteren Flözes im Hainsberger bzw. Schweinsdorfer Gebiet ist eine der beträchtlichen Inhomogenitäten in der Kalksteinzusammensetzung innerhalb des Unteren Flözes. Qualitative gemeinsame Merkmale des Kalksteines vom Fp. 2 und allen anderen Kalksteinen außer Fp. 1 ist das Auftreten von organischen bzw. kohligen Resten in hoher Konzentration, die im Kalkstein die graue bis schwarz-graue Färbung verursachen. Darüber hinaus tritt in allen Kalksteinen dieser Gruppe roter oder rotbrauner Hornstein auf.

Der Kalkstein vom Fp. 1 unterscheidet sich sehr stark in den qualitativen Eigenschaften von den dolomitier-



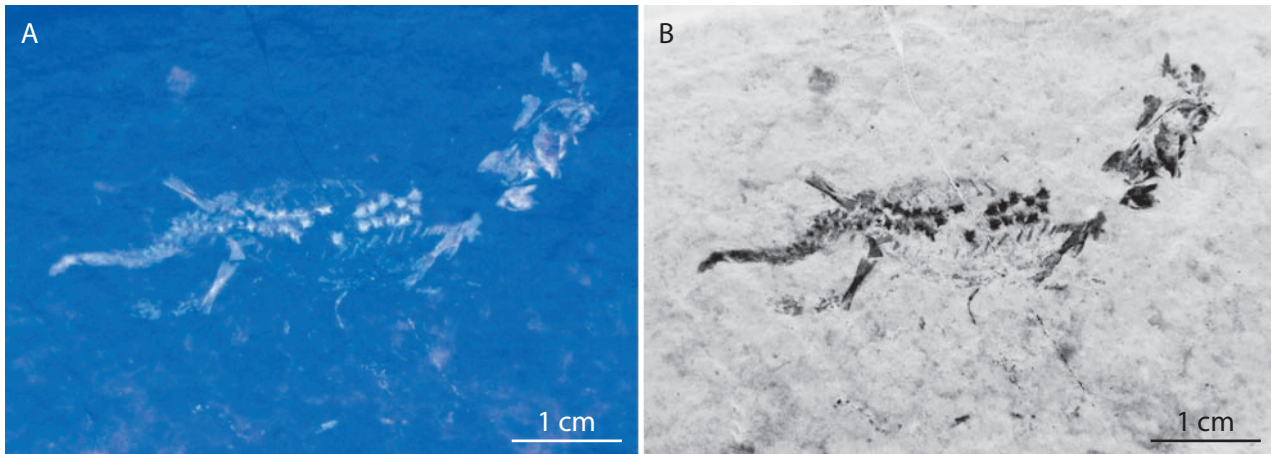
**Abb. 6:** *Melanerpeton gracile*; Spaltung durch das Skelett. Alle Aufnahmen: Fluoreszenz; **A:** color; **B:** color; **C:** color; **D:** schwarz-weiß, negativ; **E:** schwarz-weiß.

**Fig. 6:** *Melanerpeton gracile*; splitting through the skeleton. All photographs: fluorescence; **A–C:** colour; **D:** black-white, negative; **E:** black-white.

ten und den magnesiumarmen Vertretern des Kalksteins im Unteren Flöz. Typisch sind folgende Merkmale:

- Stapelung cm-dicken, laminierten Kalksteins und reiner Dolomitschichten
- deutlich hellere Farbe
- kein Hinweis auf organische bzw. kohlige Reste
- und nur sehr geringe Mengen roten Hornsteins.

Von Naumann (1845), Reichel (2006) und Schneider (1994) wird das Obere Kalksteinflöz als stark dolomitisch beschrieben. Es erstreckt sich über ein größeres Gebiet als ursprünglich angenommen (s. Abschnitt 2.1.) und umfasst auch die Position des Fp. 1. Als Sedimentationsraum für die Ablagerung des Oberen Flözes kann ein wesentlich stärker strukturiertes Gewässer mit stärker gestaffeltem Grundprofil und damit vielfältigeren Sedimentationsbedingungen vorausgesetzt werden als für das Untere Flöz anzunehmen ist. Der Kalkstein vom Fp. 1 gehört



**Abb. 7:** *Melanerpeton gracile*; **A:** Fluoreszenz/color; **B:** Fluoreszenz/schwarz-weiß, negativ.

**Fig. 7:** *Melanerpeton gracile*; **A:** fluorescence/colour; **B:** fluorescence/black-white, negative.

mit größerer Wahrscheinlichkeit in den Bereich des Oberen Kalkflözes. Dieser Kalkstein zeigt keine übereinstimmenden Merkmale mit den Kalksteinen des Unteren Flözes und unterscheidet sich auch deutlich von den ebenfalls dolomitisierten Teilbereichen dieses Flözes.

### 3.4. Ergebnisse der Fluoreszenzuntersuchungen an den neuen Branchiosauriern

Am gesamten Fundmaterial vom Fp. 1 erfolgten Inspektionen unter langwelligem UV-Licht. Deutliche, lichtstarke Fluoreszenz wurde an Skeletten und Einzelknochen festgestellt. Die Fluoreszenz-Farben variierten zwischen weiß, gelb, beige und orange. Nur kompaktere Knochenanteile erscheinen grünlich-gelb. Außerordentlich starke Fluoreszenz wurde an Koprolithen, die in verschiedenen Größen und Formen aufgefunden worden, festgestellt. Das Grundgestein zeigt bis auf einige Rissfüllungen und Drusen keinerlei Fluoreszenz, so dass grundsätzlich ein guter Kontrast zum Einbettungsgestein gewährleistet ist. Selten, aber deutlich kann Fluoreszenzaktivität beobachtet werden, die aus der Wechselwirkung von Weichteilen wie Hautbildungen u. a. mit dem umgebenden Karbonatgestein resultiert. Diese phosphormarkierten Flächen geben Hinweise auf die gesamte Körpergestalt (aber auch die Deformationen als Folge der Diagenese) sowie die Struktur der Hautschuppenflur der Branchiosaurier. Die Koinzidenz zweier helligkeitsbestimmender Faktoren sind für eine gute Auflösung bzw. Bildschärfe wichtig: die be-

grenzte Fluoreszenzintensität und die geringe Reichweite sowohl der anregenden UV-Strahlung als auch des Fluoreszenzlichtes, das vom fossilen Material ausgeht. Dadurch wird eine „Überstrahlung“ der Umrisse selbst sehr kleiner Objekte vermieden und es entsteht ein bezüglich Helligkeit weitgehend homologes Fluoreszenzbild. Die Sättigungsintensität der Fluoreszenz wird auch von sehr dünnen aktiven Schichten erreicht. Diese Bedingungen sind beim vorliegenden Material erfüllt. Die Fluoreszenzuntersuchungen haben gezeigt, dass manches anatomische Detail der Branchiosaurier mit dieser Methode dokumentierbar wurde, was bei Tageslicht z. T. gar nicht erkennbar wäre.

### 3.5. Darstellungsvarianten der Fluoreszenzbilder

Der große Vorteil der Erzeugung und Aufnahme von Fluoreszenzbildern besteht nicht nur in der Erzeugung eines definierten Kontrastes fossiler Details gegenüber dem Gestein, sondern auch in der Vielfalt der Möglichkeiten der Bildwiedergabe. Eine farbtreue Wiedergabe des Fluoreszenzbildes würde in der Regel den eigentlichen Zweck dieser Bilderzeugung verfehlen. Fotografiert wird eine Lichtquelle und gesucht wird eine Struktur. Mit dieser Zielstellung sind alle Wiedergabemöglichkeiten unter Variation der Farbe, der Farbtiefe, der Helligkeit und des Kontrastes auf dieses Ziel zu optimieren. Je nach Objekt und subjektiver Wahrnehmung muss die informativste Darstellungsvariante gefunden werden. Die Möglichkei-

ten sind bereits in der Farbgestaltung sehr vielfältig. Für die Betonung von Helligkeitsunterschieden und Kontrasten sind auch die Varianten schwarz-weiß und schwarz-weiß-negativ prädestiniert. In den nachfolgenden Abbildungen werden ausgewählte Funde in verschiedenen Darstellungsmoden gezeigt und diskutiert.

### 3.6. Erläuterungen zu den Darstellungsvarianten der Branchiosaurier-Fluoreszenzbilder

In den Abbildungen 4–14 werden ausgewählte Fluoreszenzbilder von *Melanerpeton gracile* und *Branchierpeton amblystomus* wiedergegeben und bildtechnische, skelettmorphologische und weichteilanatomische Besonderheiten diskutiert.

In **Abbildung 4** sind die vier grundsätzlichen Darstellungsmöglichkeiten einer einzigen Aufnahme zum Vergleich gegenübergestellt.

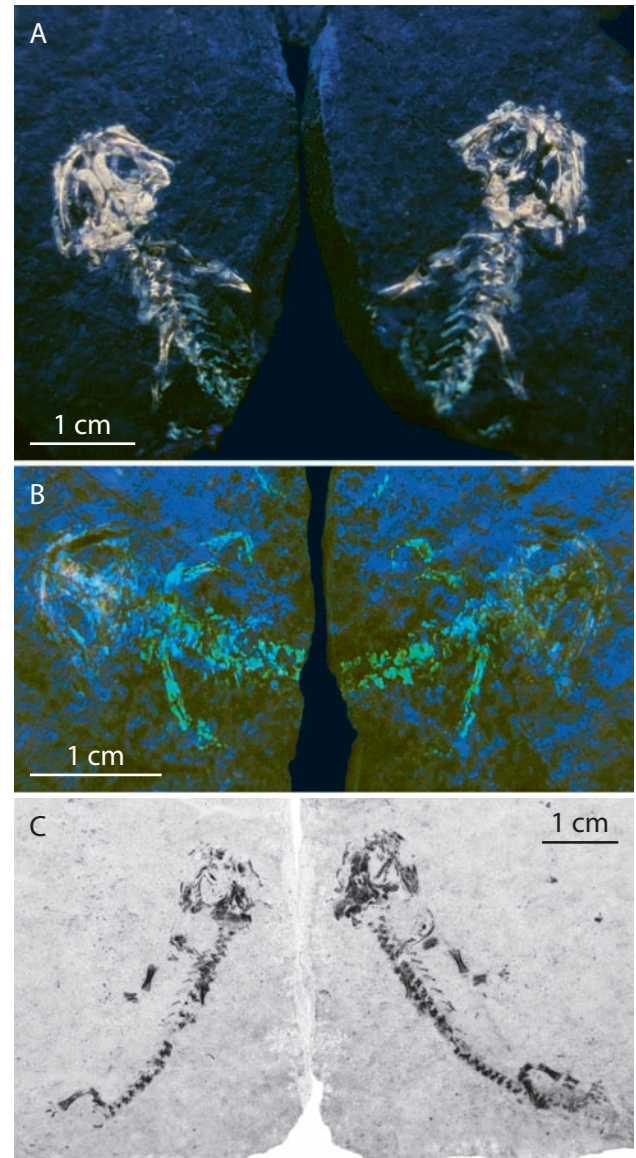
*Melanerpeton gracile* in Ventralansicht, auffällig der Parasphenoid-Knochen: hohl, porös, durch Mineralisierung verdichtet, inhomogene Phosphatverteilung im Femur.

In allen Fällen wird mit dem Fluoreszenzbild (B, C, D) eine kontrastreichere Darstellung und ein höheres Auflösungsvermögen erzielt. Besonders scharfen Kontrast bieten die Schwarz-Weiß-Darstellungen. Das Negativbild D vermittelt die Wahrnehmung einer Zeichnung und garantiert die beste Differenzierungsmöglichkeit zwischen Fossildetail und Gestein.

**Abbildung 5** zeigt das vordere Skelett eines *Melanerpeton gracile* in dorsaler und ventraler Erhaltung. Im Abdruckbereich der Rippen (linkes Bild) wird noch von der bei der Spaltung verbleibenden dünnen Schicht bzw. von der Kontaktfläche zum Kalkstein eine vergleichbare Fluoreszenzintensität erreicht wie an den kompakten Knochen im rechten Bild.

Im Bild B sind die Sklerotikalringelemente und Kiemendenticel kontrastbedingt besser erkennbar.

**Abbildung 6:** Wesentliche Teile des Hautschlauches von *Melanerpeton gracile* sind erkennbar. Mit den verschiedenen Abbildungsmoden derselben Aufnahme wird die rechte Seite in A, in C, D und E dargestellt (Ventralansicht). In den Schwarz-Weiß-Varianten sind die Skelettteile (Ulna, Radius), Hand und Schuppen der Bauchseite deutlicher zu sehen. Mit B wird die Auflösungsgrenze der



**Abb. 8:** *Melanerpeton gracile*. A: Fluoreszenz/color; B: Fluoreszenz/color; C: Fluoreszenz /schwarz-weiß, negativ.

**Fig. 8:** *Melanerpeton gracile*. A: fluorescence /colour; B: fluorescence/colour; C: fluorescence / black-white, negative.

Vergößerung seitens des Objekts erreicht (siehe Maßstab). Die Reichweite des Fluoreszenzlichts setzt dabei die Grenzen. Die Kiemendenticel sind mit Abstrichen noch darstellbar.

Der Abbildungsvergleich von *Melanerpeton gracile* in **Abbildung 7** zeigt die Notwendigkeit der empirischen Opti-

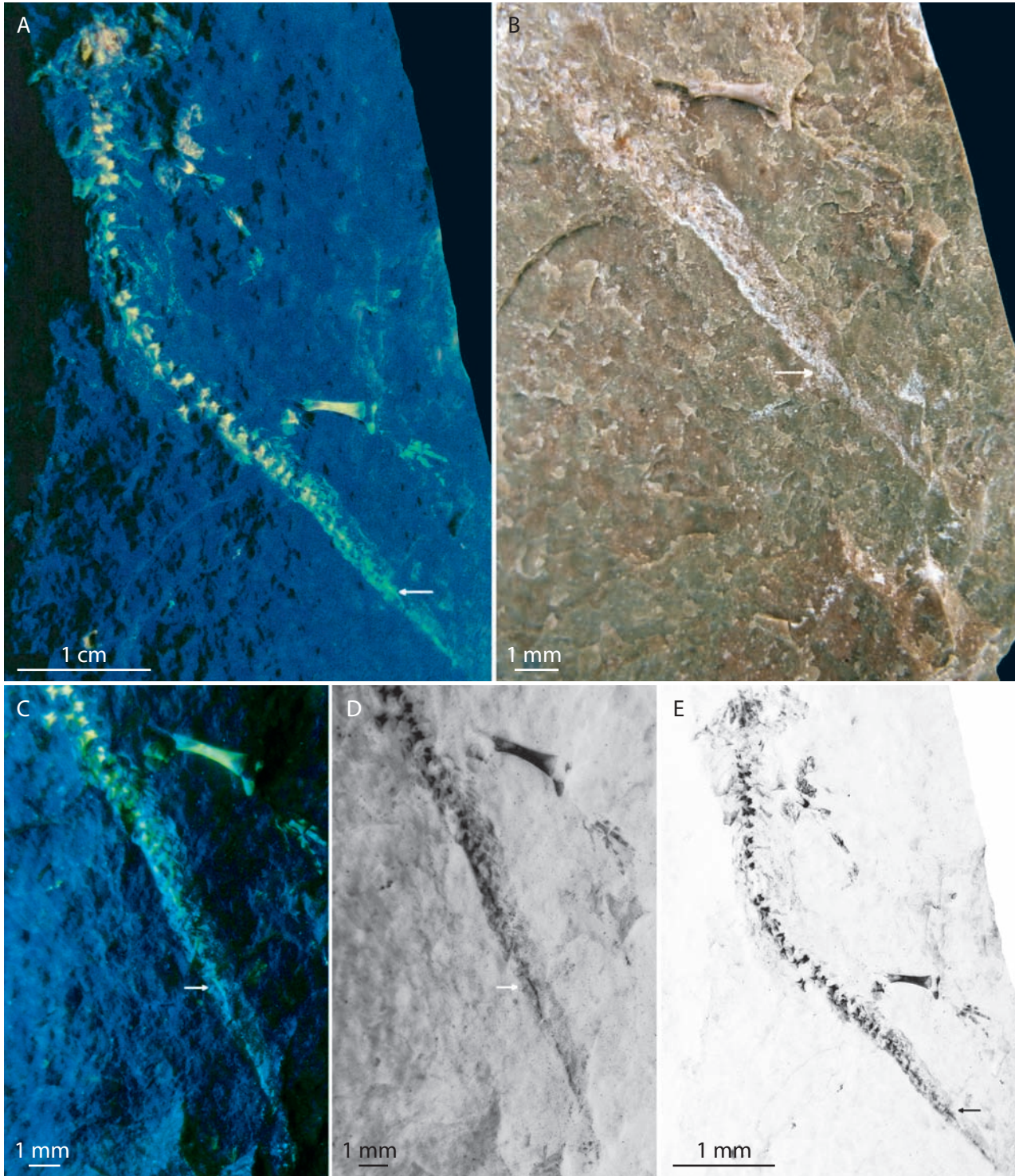
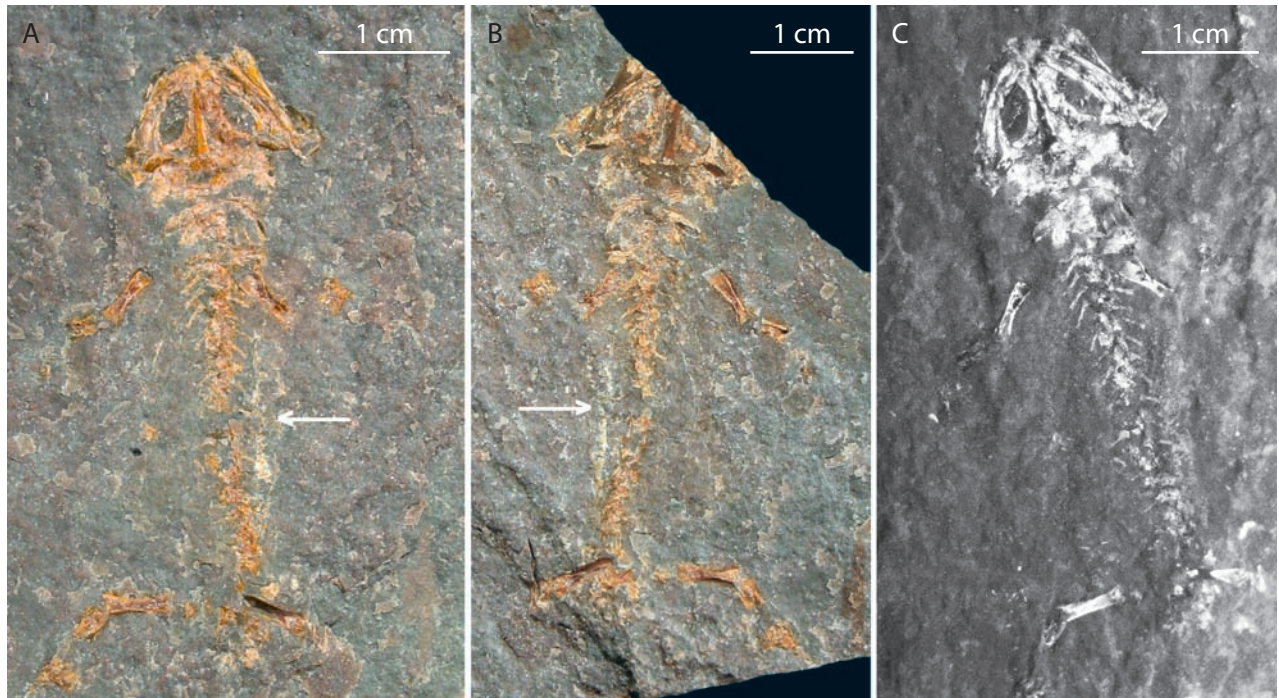


Abb. 9: *Melanerpeton gracile* mit mineralisierter Chorda dorsalis. A: Fluoreszenz/color; B: Tageslicht/color; C: Fluoreszenz/color; D: Fluoreszenz/schwarz-weiß, negativ; E: Fluoreszenz/schwarz-weiß, negativ.

Fig. 9: *Melanerpeton gracile* with mineralized notochord. A: fluorescence/color; B: daylight/color; C: fluorescence/color; D: fluorescence/black-white, negative; E: fluorescence/black-white, negative.





**Abb. 10:** *Melanerpeton gracile* mit mineralisierten Überresten der Seitenlinie im Rumpfbereich. **A** und **B:** Tageslicht/color; **C:** Fluoreszenz/schwarz-weiß.

**Fig. 10:** *Melanerpeton gracile* with mineralized remains of the lateral line in the trunk region. **A** and **B:** daylight/colour; **C:** fluorescence/black-white.

mierung der Darstellung. Auch durch Farbkorrekturen kann die Unterscheidbarkeit von fossilen Details und Gesteinshintergrund erhöht werden. Das Fossil ist durch die Spaltung nicht vollständig freigelegt worden. Gut erhalten und zu sehen ist der Schwanz in Hauterhaltung. Die Körperform ist deformiert, wie die Lage der Rippen zeigt.

In **Abbildung 8** sind zwei vordere Skelette (A, B) und ein vollständigeres Skelett (C) von *Melanerpeton gracile* dargestellt. Wegen des sehr guten Erhaltungszustandes von Objekt A kann mit dem farbigen Fluoreszenzbild eine kontrastreiche Wiedergabe erzielt werden.

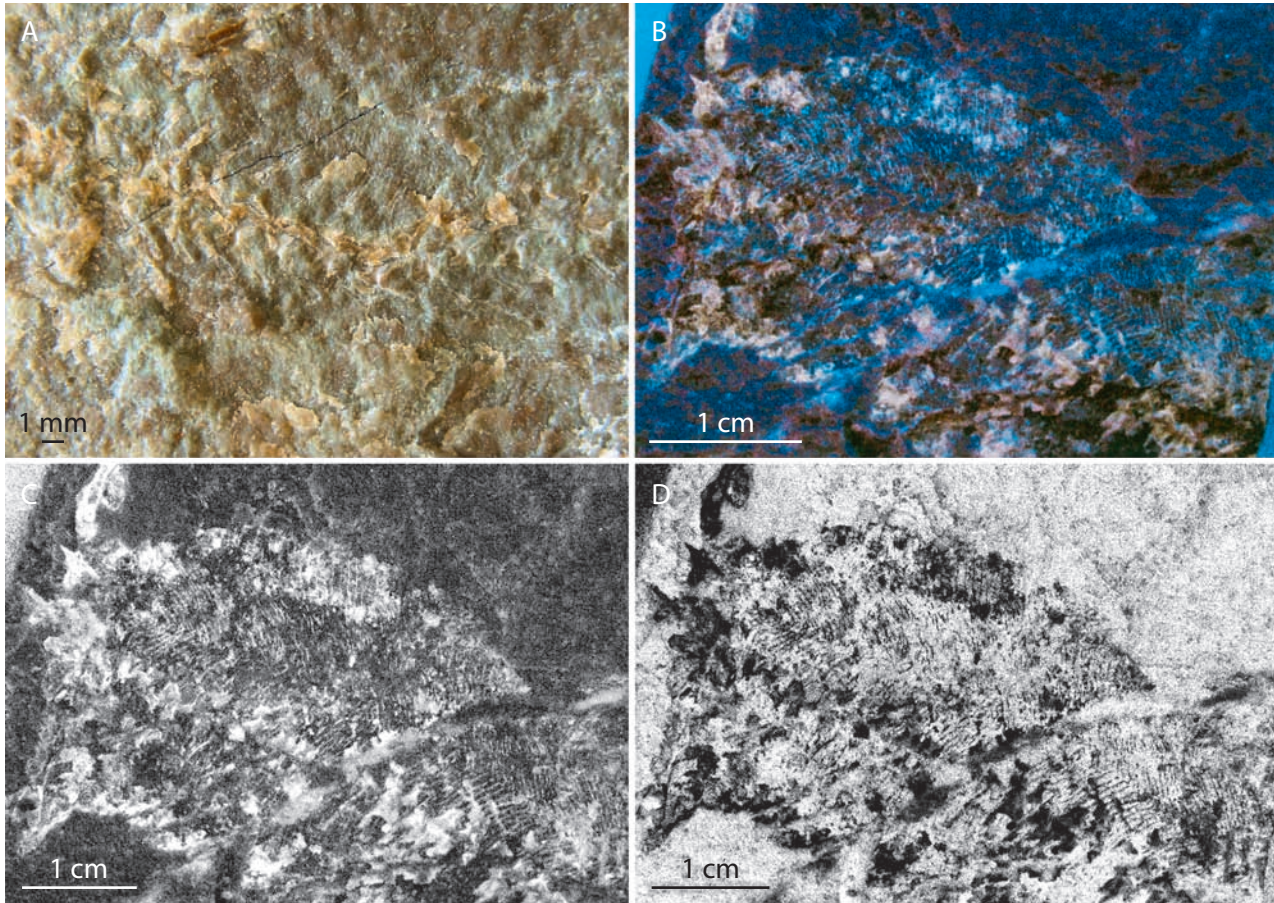
Der Sklerotikalring ist in der Dorsalansicht von Objekt A (links) gut zu sehen.

Im Fall des Objektes B ist der Erhaltungszustand außerordentlich schlecht. Aber mit dem farbigen Fluoreszenzbild können noch die Zersetzungsreste dokumentiert werden. Im Gegensatz dazu können vom Objekt C (weitgehend in Dorsalansicht) viele skelettanatomische Einzelheiten sehr scharf abgebildet werden.

In **Abbildung 9** ist der Schwanzbereich eines *Melanerpeton gracile* in den Modi Tageslicht – color; Fluoreszenz-color; schwarz-weiß und schwarz-weiß – negativ dargestellt. Das Objekt, auf das sich das Interesse konzentriert, ist die mineralisierte Chorda dorsalis im Schwanzbereich. Offensichtlich ist es eine Frage der subjektiven Wahrnehmung, welcher Darstellungsmodus am besten zur Inspektion und Dokumentation skelettmorphologischer Details geeignet ist.

Eine mineralisierte Chorda dorsalis wurde bisher u. a. bei 10 verschiedenen Arten der Branchiosaurier nachgewiesen (Werneburg 2008). Eine Chorda dorsalis tritt bei allen Wirbeltieren im Embryonalzustand auf und bleibt bei einigen Fischen und Amphibien zeitlebens erhalten. Bei der Regeneration eines Eidechschwanzes erfolgt sogar noch die „phylogenetische Retardation“ des Reptils mit der Ausbildung eines wirbellosen Knorpelstranges.

Die Chorda dorsalis besteht aus spindelförmigen Stäbchen mit einem inneren offenen Kanal und verläuft prinzipiell von der Schwanzspitze bis zur Schädelbasis.



**Abb. 11:** *Branchierpeton amblystomus*, Rumpfbereich mit Ventralschuppenflur. **A:** Tageslicht/color; **B:** Fluoreszenz/color; **C:** Fluoreszenz/schwarz-weiß; **D:** Fluoreszenz/schwarz-weiß, negativ.

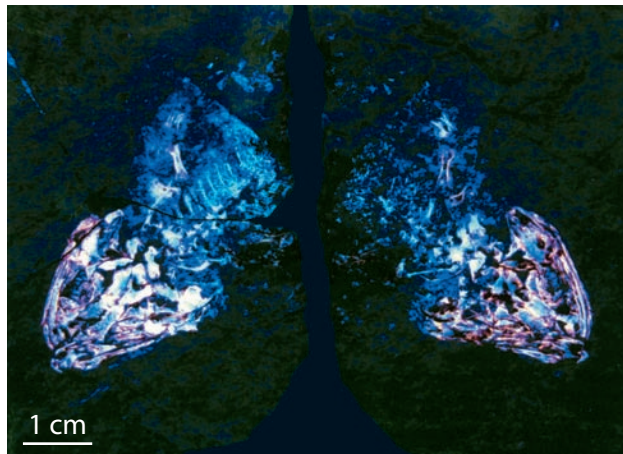
**Fig. 11:** *Branchierpeton amblystomus*, region of the trunk with ventral scales. **A:** Daylight/colour; **B:** fluorescence/colour; **C:** fluorescence/black-white; **D:** fluorescence/black-white, negative.

Sie begünstigt eine schlängelnde Bewegung der Tiere. Auch bei einem larvalen *Melanerpeton gracile* aus der Niederhäslich-Formation (Werneburg 2008) wurde schon ein Exemplar mit einer mineralisierten Chorda dorsalis nachgewiesen, neben sieben gleich gut erhaltenen Exemplaren ohne eine solche. Dieser Unterschied, der bei anderen Branchiosaurierarten in ausgeglicheneren Relationen auftrat, wurde als Sexualdimorphismus interpretiert. Das neu aufgefundene, hier abgebildete Exemplar mit einer mineralisierten Chorda dorsalis stellt danach ein Männchen dar.

**Abbildung 10** zeigt *Melanerpeton gracile* mit den mineralisierten Resten des Seitenlinienorgans im Rumpfbereich. Erstmals berichtet Werneburg (2004) über die Erhaltung

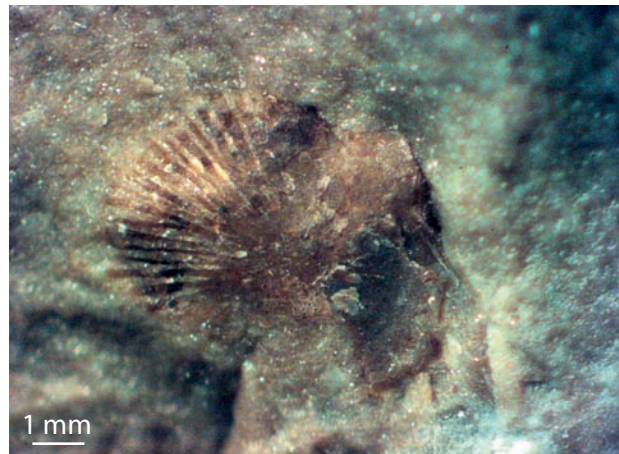
von Resten des Seitenliniensystems im Rumpfbereich bei fossilen Amphibien aus dem Saar-Nahe-Becken. Die Seitenlinienorgane sind durch mineralisierte Partikel verstärkt. Derartig sensible Details können nur in besonders dafür geeigneten Sedimenten fossil erhalten bleiben. Im dolomitischen Kalk von Niederhäslich war das gewährleistet. Das Seitenlinien-Organ ist als Sensor für die Wahrnehmung von Strömungen und Druckdifferenzen für alle Lebensfunktionen wie Fortbewegung, Futterjagd, Orientierung und Flucht von höchster Relevanz.

Das farbige Fluoreszenzbild von Ventralschuppen im Bereich des Rumpfes zweier *Branchierpeton amblystomus* (A und B) gibt **Abbildung 11** wieder. C und D sind die Schwarz-Weiß-Varianten von B. In A und B sind noch



**Abb. 12:** *Branchierpeton amblyostomus*; vorderes Skelett mit Ventral-schuppenflur.

**Fig. 12:** *Branchierpeton amblyostomus*; anterior skeleton with ventral scales.



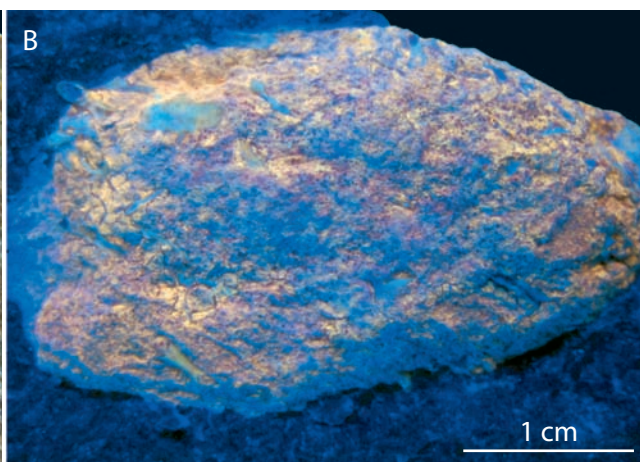
**Abb. 13:** *Branchierpeton amblyostomus*; mittlere Brustplatte (Inter-clavicula).

**Fig. 13:** *Branchierpeton amblyostomus*; middle pectoral plate (inter-clavicle).



**Abb. 14:** Tetrapoden-Koprolith mit diversen Branchiosaurierknochen.

**Fig. 14:** Tetrapod coprolite with various bones of branchiosaurids.



Knochenreste auf der Innenseite der Schuppenhaut vorhanden und durch den farbigen Kontrast besser zu erkennen als im Schwarz-Weiß-Bild. Für die Darstellung der Ventralschuppenflur sind die Schwarz-Weiß-Darstellungen deutlich kontrastreicher.

Ein vorderes Skelett des *Branchierpeton amblyostomus* ist als Fluoreszenzbild in **Abbildung 12** wiedergegeben. Im blauen Bildbereich sind Ventralschuppen erkennbar. Die Vielzahl von Knochenelementen des Schädels ist – wie im gegebenen Fall – nur durch begrenzte Fluoreszenz-

intensität und Reichweite des Fluoreszenzlichtes voneinander abgegrenzt zu differenzieren.

**Abbildung 13** zeigt in starker Vergrößerung einen einzelnen Knochen des *Branchierpeton amblyostomus*: die mittlere Brustplatte (Interclavicula) mit radialen Schlitzten im vorderen Bereich.

Koprolithen stellen wichtige Dokumente der Nahrungskette dar. Der in **Abbildung 14** wiedergegebene Koprolith eines größeren Tetrapoden zeigt deutliche Wirkung

fluoreszenzaktiver Phosphate. Der Koprolith enthält mehrere Knochen, die weitgehend unverändert den Verdauungsprozess durchlaufen haben. Lediglich die Enden der Extremitätenknochen sind nicht erhalten (Knorpel). Die Knochen gehören sehr wahrscheinlich zu dem kleineren Branchiosaurier *Melanerpeton gracile*, der in der Nahrungspyramide des Niederhäslich-Sees weit unten stand.

## Dank

Für die Unterstützung bei den chemischen Analysen danken wir dem Labor für Radio- und Umweltchemie des Paul-Scherer-Instituts, Villigen PSI, Schweiz.

## Literatur

- Beck, R. (1891): Über das Rothliegende des Plauenschen Grundes oder des Döhleener Beckens im Lichte neuester Untersuchungen. – Zeitschr. der Deutsch. Geol. Gesellschaft, **43**: 767–777, Berlin.
- Boden, G.; Blankenburg, H.-J.; Eichler, B. (1981): Untersuchungen zur Lumineszenz an einigen ausgewählten kryptokristallinen Quarzvarietäten. – Chem. Erde, **40**: 72–82, Jena.
- Boden, G. (1986): Lumineszenzautoradiographische Untersuchungen an quarzhaltigen Versteinerungen und Gesteinen. – Chem. Erde, **45**: 167–175, Jena.
- Boy, J. A. (1972): Die Branchiosaurier (Amphibia) des saarländischen Rotliegenden (Perm, SW-Deutschland). – Hessisches Landesamt für Bodenforschung, **65**: 1–137, Wiesbaden.
- Boy, J. A. (1987): Studie über die Branchiosauridae (Amphibia: Temnospondyli, Ober-Karbon – Unter-Perm). 2. Systematische Übersicht. – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, **174** (1): 75–104, Stuttgart.
- Credner, H. (1881a): Über *Branchiosaurus amblystomus* – einen neuen Stegocephalen aus dem Rothliegend-Kalke von Niederhäslich im Plauenschen Grunde. – Berichte der Naturforsch. Gesellsch. zu Leipzig, **8**: 43–44, Leipzig.
- Credner, H. (1881b): Über *Melanerpeton* FR. aus dem Rothliegend-Kalke des Plauenschen Grundes bei Dresden. – Berichte der Naturforsch. Gesellsch. zu Leipzig, **8**: 45–46, Leipzig.
- Credner, H. (1881c): Die Stegocephalen (Labyrinthodonten) aus dem Rothliegenden des Plauen'schen Grundes bei Dresden. 1. Theil. – Zeitschr. der Deutsch. Geol. Gesellschaft, **33**: 298–33, Berlin.
- Credner, H. (1881d): Die Stegocephalen des Plauen'schen Grundes bei Dresden, 2. Theil. – Zeitschr. der Deutsch. Geol. Gesellschaft, **33**: 574–603, Berlin.
- Gebhardt, U.; Schneider, J. W. (1993): Palökologie und Paläobiogeographie „mariner“ Kalkalgen im kontinental-lakustrischen Niederhäslich-Kalk des intramontanen Döhleener Beckens (Unterrotliegend, Assel, Elbe-Zone). – Freiburger Forschungsheft **C 450**: 82–107, Leipzig.
- Geinitz, H. B. (1855): Die Versteinerungen der Steinkohlenformation in Sachsen. Leipzig (Engelmann).
- Geinitz, H. B. (1861): Dyas oder die Zechsteinformation und das Rotliegende – Heft I. Die animalischen Überreste. Leipzig (Engelmann).
- Geinitz, H. B. (1881): Die Entdeckung fossiler Saurier aus der Gruppe der Stegocephalen in dem Kalke des Rothliegenden von Niederhäslich. – Sitzungsberichte und Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft ISIS zu Dresden: 4–5, Dresden.
- Geinitz, H. B. (1881): Die Entdeckung fossiler Saurier aus der Gruppe der Stegocephalen in dem Kalke des Rothliegenden von Niederhäslich. – Sitzungsberichte und Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft ISIS zu Dresden, **42**, Dresden.
- Geinitz, H. B.; Deichmüller, J. V. (1882): Nachträge zur Dyas II. Mitteilungen aus dem königlich mineralogisch-geologischen und prähistorischen Museum in Dresden, 5. Heft, VIII, Die Saurier der unteren Dyas von Sachsen. – Palaeontographica, Neue Folge **9**, **VIII**: 1–46, Cassel.
- Göhlich, U. B.; Tischlinger, H.; Chiappe, L. M. (2006): *Juravenator starki* (Reptilia, Theropoda), ein neuer Raubdinosaurier aus dem Oberjura der Südlichen Frankenalb (Süddeutschland): Skelettanatomie und Weichteilbefunde. – Archaeopteryx, **24**: 1–26, Eichstätt.
- Hoffmann, U. (2000): Pyroklastite und Silicite im Rotliegend des Döhleener Beckens. – Stratigraphie, Genese und Paläontologie. – Diplomarbeit TU BA Freiberg, Fakultät Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, 115 S., Freiberg.
- Jones, M. P. (1997): Methoden der Mineralogie. – 260 S., Stuttgart (Enke-Verlag).
- Krauskopf, K. (1979): Introduction to Geochemistry, Second Edition, 28–123, New York (McGraw-Hill Book Company).
- Lampert, W.; Sommer, U. (1999): Limnökologie. – 489 S., Stuttgart (Thieme-Verlag).
- Maresch, W.; Medenbach, O. (1996): Gesteine. – 288 S., Gütersloh (Mohndruck Graphische Betriebe).
- Mundlos, R. (1976): Wunderwelt in Stein. – 280 S., Gütersloh (Prisma-Verlag).
- Naumann, C. F.; Cotta, v. B. (1845): Geognostische Beschreibung des Königreiches Sachsen, Erläuterungen zu Section X. Geognostische Skizze der Umgebung von Dresden und Meißen, **5**: 494 S., Dresden (Arnoldsche Buchhandlung).

- Polz, H.; Tischlinger H. (2000): Authonema. – Fossilien, **5**: 289–292, Wichelshausen.
- Polz, H. (1995): Ein außergewöhnliches Jugendstadium eines palinuriden Krebses aus dem Solnhofener Plattenkalk. – *Archaeopteryx*, **13**: 67–74, Eichstätt.
- Reichel, W.; Kurze, M.; Blankenburg, H.-J. (1984) Hornsteine im Unterrotliegenden des Döhlener Beckens bei Dresden. – *Z. geol. Wiss.*, **12**: 685–695, Berlin.
- Reichel, W.; Schauer, M. (2006): Das Döhlener Becken bei Dresden – Geologie und Bergbau. In : Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie; Sächsisches Oberbergamt Freiberg (Eds.): Bergbau in Sachsen, Band Dresden (Saxo-print).
- Reichel, W.; Lange, J.-M. (2007): Cherts (Hornstein) aus dem Döhlener Becken bei Dresden. – *Geologica Saxonica – Journal of Central European Geology*, **52/53**: 117–128, Dresden.
- Rösler, H.-J. (1981): Lehrbuch der Mineralogie. – 103–105, Leipzig (VEB deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).
- Rothe, P. (2005): Gesteine – Entstehung – Zerstörung – Umbildung. – 62–106, Frankfurt (Primus-Verlag).
- Sauer, A.; Beck, R. (1914): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte des Königreiches Sachsen, Sektion Tharandt, Blatt Nr. 81, 2. Auflage, bearbeitet von K. Pietsch 1912. Leipzig (W. Engelmann).
- Schneider, J. W.; Gebhardt, U. (1992): Dasycladaceen und andere „marine“ Algen im intramontanen Döhlen-Becken (Elbe-Zone). – *Freiberger Forschungsheft*, **C 445**: 66–88, Leipzig.
- Schneider, J. W. (1994): Environment, biotas and taphonomy of the Lower Permian lacustrine Niederhäslich limestone, Döhlen basin, Germany. – *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, **84**: 453–464, London.
- Schneider, J. W.; Hoffmann, U. (2001): Jungpaläozoikum der Döhlener Senke. In: Alexowsky, W. et al. (Eds): Geologische Karte des Freistaates Sachsen, Erläuterungen zu Blatt 4948 Dresden, 4. Auflage. 15–40, Freiberg (Landesvermessungsamt Sachsen).
- Schneider, J. W.; Werneburg, R. (2005): Der geheimnisvolle Ursaurier-See. In: Kunzmann, L. (Ed.): Blumengebirge – ein fossiles Herbarium. 24–27, Meißen (Thieme GmbH & Co. KG).
- Schoch, R. R.; Fröbisch, N. B. (2006): Metamorphosis and neoteny: alternative pathways in an extinct amphibian clade. – *Evolution* **60** (7): 1467–1475.
- Schoch, R. R.; Milner, A. R. (2008): The intrarelationships and evolutionary history of the temnospondyl family Branchiosauridae. – *Journal of Systematic Palaeontology*, **2008**: 1–23, Cambridge.
- Thalheim, K.; Reichel, W.; Witzke, T. (1991): Die Minerale des Döhlener Beckens. – Schriftenreihe des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden, **3**: 50–52, Dresden (Sächsisches Druck- und Verlagshaus).
- Tischlinger, H. (2002): Der Eichstätter *Archaeopteryx* im langwelligem UV-Licht. – *Archaeopteryx*, **20**: 21–38, Eichstätt.
- Tischlinger, H.; Unwin, D. (2004): UV-Untersuchungen des Berliner Exemplars von *Archaeopteryx lithographica* H. v. Meyer 1861 und der isolierten *Archaeopteryx*-Feder. – *Archaeopteryx* **22**: 17–50, Eichstätt.
- Viohl, G.; Zapp, H. (2006): Die Fossil-Lagerstätte Schamhaupten (oberes Kimmeridgium, Südliche Frankenalb, Bayern), *Archaeopteryx*, **24**: 27–78, Eichstätt.
- Wanderer, K. (1912): Über einen neuen Fundpunkt von Stegocephalen im Plauenschen Grund. – Sitzungsberichte und Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft ISIS zu Dresden. – S. 6, Dresden.
- Werneburg, R. (1991): Die Branchiosaurier aus dem Rotliegend des Döhlener Beckens bei Dresden. – Veröffentlichungen des Naturhistorischen Museums Schleusingen, **6**: 75–99, Schleusingen.
- Werneburg, R.; Schneider, J. W. (2001): Der „Saurierkalkstein“ von Niederhäslich im Döhlener Becken bei Dresden. – In: Weidert, K. (Ed.): Klassische Fundstellen der Paläontologie: 41–50, Korb (Goldschneck-Verlag).
- Werneburg, R. (2004): First record of postcranial lateral lines in fossil amphibians (Branchiosauridae; Rotliegend, Upper Carboniferous – Lower Permian). – *Neues Jahrbuch für Geologie, Paläontologische Abhandlungen*, **232** (2/3): 365–373, Stuttgart.
- Werneburg, R. (2008): Die Chorda dorsalis bei Branchiosauriern aus dem Permokarbon und möglicher Sexualdimorphismus. – Veröffentlichungen Naturhistorisches Museum Schloss Bertholdsburg Schleusingen, **23**: 63–86, Schleusingen.
- Wunder, G.; Herbig, A.; Eulitz, A. (1867): Der Kalkwerkbetrieb Sachsens und die Ursache der verschiedenen Kalkpreise in Sachsen. – 18 S., Leipzig (Wilhelm Engelmann).