

ERLEND MARTINI¹ & BETTINA REICHENBACHER²

Nannoplankton und Fisch-Otolithen in den Mittleren Pechelbronn-Schichten (Unter-Oligozän, Oberrheingraben/Mainzer Becken)

Nannoplankton and fish otoliths from the Middle Pechelbronn Beds (Early Oligocene, Upper Rhine Graben/Mainz Basin)

Kurzfassung

Die Verbreitung des Nannoplanktons in den Mittleren Pechelbronn-Schichten im Oberrheingraben wird diskutiert. Sechs Nannoplankton-Leithorizonte ermöglichen eine biostratigraphische Gliederung der Mittleren Pechelbronn-Schichten und eine stratigraphische Einstufung von Bohrungen und Geländeaufschlüssen im Oberrheingraben und Mainzer Becken. Weiterhin wurden in zwei Bohrungen bei Wallau östlich von Wiesbaden erstmals zahlreiche Fisch-Otolithen in den Mittleren Pechelbronn-Schichten nachgewiesen. Die Fischfauna enthält *Noto-*

goneus sp. 1, *Enoplophthalmus* sp. 1, *Dapaloides sieblosensis*, *Perca* sp. 1 und „genus Percoideorum“ *validus*. Aufgrund der stratigraphischen Abfolge der Fisch-Arten und des umgelagerten Nannoplanktons werden für den Oberrheingraben kurzfristige Verbindungen nach Nordosten über die Hessische Straße und möglicherweise nach Süden postuliert. Ein Teil der Zone fossilifère à *Mytilus* (ZFM) der Mittleren Pechelbronn-Schichten wird mit dem Melanionton C/D in Nordhessen parallelisiert.

Abstract

The occurrence of calcareous nannoplankton in the Middle Pechelbronn Formation is discussed. Six nannoplankton index horizons in the Middle Pechelbronn Formation can be used for a stratigraphic positioning of boreholes and outcrops in the Upper Rhine Graben and the Mainz

Basin. Moreover, in samples from two boreholes near Wallau east of Wiesbaden fish otoliths were found for the first time in fair numbers in the Middle Pechelbronn Formation. The fish fauna consists of *Notogoneus* sp. 1, *Enoplophthalmus* sp. 1, *Dapaloides sieblosensis*, *Perca* sp. 1, and

¹ Prof. Dr. E. Martini, Parkstr. 40, D-61476 Kronberg im Taunus

² Prof. Dr. B. Reichenbacher (e-mail: b.reichenbacher@lrz.uni-muenchen.de), Department für Geo- und Umweltwissenschaften, Sektion Paläontologie, Universität München (LMU), Richard-Wagner-Str. 10, D-80333 München

„genus *Percoideorum*“ *validus*. Short time connections from the Upper Rhine Graben to areas to the northeast via the Hessian Street and possibly to the south are postulated on basis of fish species and reworked nannoplankton assem-

blages. Part of the Zone fossilifère à *Mytilus* (ZFM) of the Middle Pechelbronn Formation can be correlated with the Melania clay C/D of northern Hesse.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	237
2. Methoden und Material	239
3. Kalkiges Nannoplankton	239
3.1 Kenntnisstand	239
3.2 Bohrung Wallau W07	240
3.3 Bohrung Wallau BK98-BK5	242
3.4 Ehemalige Tongrube Nackenheim	242
3.5 Bohrungen im nördlichen Oberrheingraben	244
3.6 Bohrungen im mittleren und südlichen Oberrheingraben	244
3.7 Aufschlüsse im südlichsten Oberrheingraben	247
3.8 Umgelagertes Nannoplankton in den Mittleren Pechelbronn-Schichten	247
3.9 Umgelagertes Nannoplankton im Unter-Oligozän nördlich des Oberrheingrabens	250
4. Fischfauna	250
4.1 Fischeskelette	250
4.2 Fisch-Otolithen	251
4.2.1 Kenntnisstand	251
4.2.2 Neufunde	251
4.3 Taxonomie	251
4.3.1 Ordnung Gonorhynchiformes	251
4.3.2 Ordnung Osmeriformes	253
4.3.3 Ordnung Perciformes	257
5. Stratigraphische Abfolge der Fischfaunen und Korrelation zwischen den Wallau-Bohrungen	261
6. Paläoökologie und Biostratigraphie	262
7. Paläobiogeographie der Fischarten	264
8. Paläogeographie und stratigraphische Korrelationen	265
8.1 Ober-Eozän	265
8.2 Unter-Oligozän	267
8.2.1 Zone fossilifère à <i>Mytilus</i> (ZFM)	267
8.2.2 Zone fossilifère à Bryozoaires (ZFB)	267
8.2.3 Zone fossilifère à Hydrobies (ZFH)	267
8.3 Korrelation mit dem Melanienton von Nordhessen	268
9. Schriftenverzeichnis	268
10. Anhang	272

1. Einleitung

Beim Bau der ICE-Neubaustrecke Köln–Rhein/Main der Deutschen Bahn AG wurde im Jahr 1995 südlich der Ortschaft Wallau eine 80,20 m tiefe Kernbohrung (W07) niedergebracht (Bl. 5916, Hochheim am Main, R 34 55 234, H 55 46 705, Lok. 1 in Abb. 1). Die Bohrung erreichte zwischen 46,75 m und der Endteufe 80,20 m die Mittleren Pechelbronn-Schichten (KÜMMERLE

1996). Diese Schichten waren aus dem nordöstlichsten Mainzer Becken und dem nördlichen Oberrheingraben bislang nicht bekannt, die nächsten Vorkommen liegen bei Nackenheim im Mainzer Becken (SONNE 1963) und Königstädten im Oberrheingraben (Lok. 2 und 3 in Abb. 1).

Die paläogeographisch interessante Situation und die reiche Fossilführung der Bohrung W07

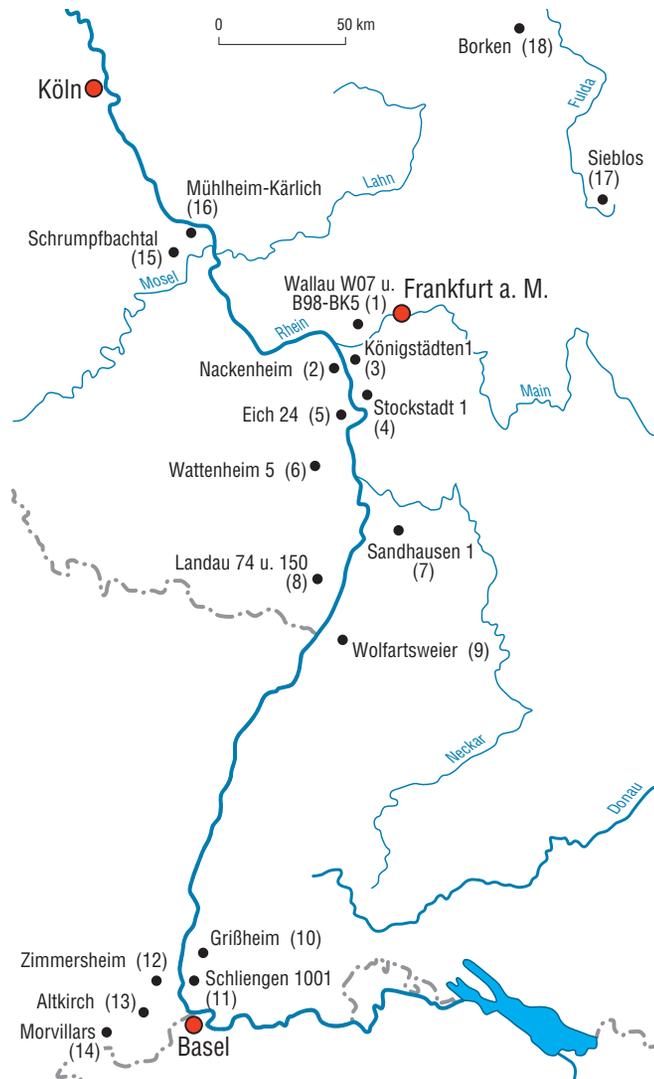


Abb. 1. Übersichtskarte mit den erwähnten unteroligozänen Lokalitäten (Nummern in Klammern lt. Text).

Stratigraphische Zuordnung: 1–8, 10–14: Mittlere Pechelbronn-Schichten, 9: Rote Leitschicht (Ober-Eozän), 15–16: Maifeld-Formation, 17: Sieblos-Formation, 18: Melaninton (Ober-Eozän/Unter-Oligozän).

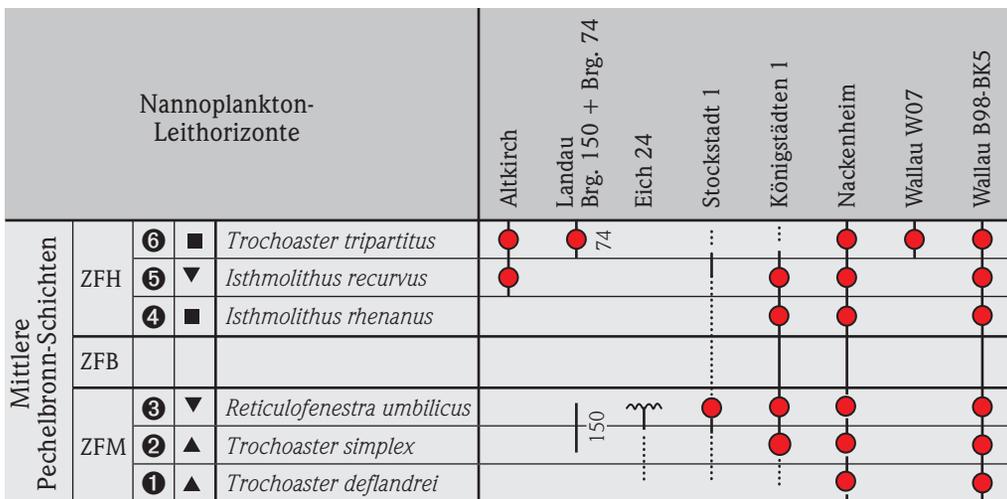
fürten 1998 zu einer weiteren Bohrung (B98-BK5) des damaligen Hessischen Landesamtes für Bodenforschung, heute Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), die um etwa 50 m versetzt neben der Bohrung W07 durchgeführt wurde (Bl. 5916, Hochheim am Main, R 34 55 220, H 55 46 660). Die dabei durchteufte Abfolge gliedert sich wie folgt (RADTKE et al. 2007: Beil. 2):

- 2,10 m Quartär
- 39,55 m Tertiär, Obere Pechelbronn-Schichten (Oligozän)
- 93,75 m Mittlere Pechelbronn-Schichten
- 144,85 m Untere Pechelbronn-Schichten (Oligozän/Eozän)
- 170,00 m Perm, Rotliegend

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden das Nannoplankton und die Fisch-Otolithen aus den Mittleren Pechelbronn-Schichten beider Bohrungen untersucht. Die Nannoplankton-Untersuchungen ergänzen die bereits vorliegenden Daten aus den Mittleren Pechelbronn-Schichten aus Bohrungen und Aufschlüssen im Oberrheingraben (MARTINI 1973, 1982, 1991,

1998). Die schon bekannten Nannoplankton-Daten aus der Bohrung Königstädten 1 (DOEBL 1969), aus dem Profil der ehemaligen Tongrube Nackenheim (GAD et al. 1990) und aus dem Aufschluss der Firma Ciments d'Origny in Altkirch/Elsaß (DURINGER 1988) werden hier neu diskutiert (zur Lage dieser Lokalitäten siehe Abb. 1). Alle bisherigen Daten weisen darauf hin, dass in den Mittleren Pechelbronn-Schichten regional und lokal stark schwankende Strömungsverhältnisse, unterschiedliche Salzgehalte und zeitweise anoxische Bedingungen herrschten (u.a. SITTLER 1965, DURINGER 1988, MARTINI & RADTKE 2007).

Fisch-Otolithen lagen aus den Mittleren Pechelbronn-Schichten bislang nur sehr vereinzelt vor (WEILER 1963). Die zahlreichen Otolithen aus dem Schlämmrückstand beider Bohrungen erweitern die bisherige Kenntnis der Fischfauna wesentlich; die paläobiogeographische Auswertung ermöglicht Rückschlüsse zur Paläogeographie des unteroligozänen Ablagerungsraumes. Die Position der untersuchten Bohrungen und Geländeaufschlüsse in den Mittleren Pechelbronn-Schichten ist aus Abb. 2 ersichtlich.



① bis ⑥ Leithorizonte ■ Gesamtvorkommen ▼ letztes Vorkommen ▲ erstes Vorkommen ~ erosive Oberkante

Abb. 2. Stratigraphische Position der untersuchten Bohrungen und Geländeaufschlüsse (s. Abb. 1) in den Mittleren Pechelbronn-Schichten mit Angaben der nachgewiesenen Nannoplankton-Leithorizonte (rote Punkte).

2. Methoden und Material

Die Mittleren Pechelbronn-Schichten der Bohrungen Wallau W07 und B98-BK5 wurden für die Untersuchung auf Nannoplankton intensiv beprobt. Das Sediment wurde aufgeschlämmt und zu Ausstrichpräparaten verarbeitet. Die Untersuchung und Bestimmung der Arten erfolgte unter einem ZEISS-Polarisationsmikroskop. Für die Häufigkeitsangaben wurde jeweils die Mittelreihe des Präparats (R. 75 in der Kreuztischzählung) durchmustert und die Arten ausgezählt. Dieses Verfahren gilt auch für die übrigen untersuchten Bohrungen bzw. Lokalitäten. Die Probenahme und Nummerierung der Proben (Tab. 3) aus der Tongrube Nackenheim (Gesamtmächtigkeit nach DOEBL 1969: 16,50 m) erfolgte durch Prof. Dr. Volker Sonne (ehem. LA Geologie und Bergbau, Rheinland-Pfalz (LGB-RP), erhalten 1970).

Für die Untersuchung der Fisch-Otolithen wurde Kernmaterial geschlämmt, gesiebt (Siebgröße 100 μm) und der Rückstand nach Trocknung auf Mikrofossilien ausgelesen. Weitere Otolithen wurden von Dr. Gudrun Radtke (HLUG) zur Verfügung gestellt. Die Dokumentation erfolgte über ein Rasterelektronenmikroskop (REM).

Die abgebildeten Otolithen sowie zusätzliches,

horizontiertes Otolithenmaterial aus den Bohrungen Wallau W07 und B98-BK5 sind im Forschungsinstitut und Naturmuseum Senckenberg, Frankfurt a. M., unter den Katalog-Nummern SMF PO 64381–64437 hinterlegt. Weitere Otolithen aus diesen Bohrungen befinden sich im HLUG unter den Labor-Nummern LB 15304–15516 und LB 16172–16174. Die Nannoplankton-Präparate der aufgelisteten Profile und Bohrkernstämme stammen aus der Sammlung Prof. Dr. Erlend Martini. Einige Holotypen (Nannoplankton) von Taxa aus den Mittleren Pechelbronn-Schichten sind im Forschungsinstitut und Naturmuseum Senckenberg, Frankfurt a. M., hinterlegt: *Isthmolithus rhenanus* (SM.B 9711), *Trochoaster deflandrei pseudoquadrupes* (SM.B 14057), *Trochoaster deflandrei torquatus* (SM.B 14058), *Trochoaster simplex variabilis* (SM.B 14059) und *Trochoaster tripartitus* (SM.B 16657).

Zum Vergleich wurden Otolithen aus der Sammlung des Geowissenschaftlichen Zentrums Göttingen (GZG), u. a. aus Bohrungen der Preussischen Elektrizitäts AG (PREAG) und aus dem Rijksmuseum van Geologie en Mineralogie in Leiden, Niederlande (RGM), untersucht.

3. Kalkiges Nannoplankton

3.1 Kenntnisstand

Die Mittleren Pechelbronn-Schichten werden im Becken von Pechelbronn von unten nach oben in die Zone fossilifère à *Mytilus* (ZFM), die Zone fossilifère à Bryozoa (ZFB) und die Zone fossilifère à Hydrobies (ZFH) unterteilt (u. a. SITTLER 1969). Diese Unterteilung wird hier übernommen. Die Zusammensetzung und Entwicklung der Nannoplankton-Gemeinschaften ist eng an die Ausbreitung einer marinen Fazies innerhalb der Mittleren Pechelbronn-Schichten gebunden. Insgesamt ist das Nannoplankton mit ca. 27 Ar-

ten bzw. Unterarten vertreten (MARTINI 1973, 1982, 1991, 1998).

Die Nannoplankton-Gemeinschaft im untersten Teil der ZFM besteht aus nur wenigen Arten, nimmt dann rasch an Diversität zu und enthält neben weiteren Arten *Isthmolithus recurvus* und *Reticulofenestra umbilicus*. Aufgrund dieser Arten kann ein Großteil der Mittleren Pechelbronn-Schichten in die unteroligozäne Nannoplankton-Zone NP 22 eingestuft werden (MARTINI 1971, 1973). Bemerkenswert sind weiterhin die häufi-

gen *Blackites*-Arten im mittleren Teil der ZFM. Im tieferen Teil der ZFH enthält die Nannoplankton-Gemeinschaft zahlreiche kleinwüchsige Exemplare von *Braarudosphaera bigelowi* und geht dann im mittleren Teil der ZFH auf wenige Arten zurück. Es verbleiben nur *Trochoaster simplex* und eine kleine *Reticulofenestra*-Art, die schließlich nahe der Grenze zu den Oberen Pechelbronn-Schichten aussetzen. Lagen mit Massenvorkommen einzelner Nannoplankton-Arten und die Ausbildung endemischer Formen deuten auf extreme Lebensbedingungen im unteroligozänen Ablagerungsraum des Oberrheingrabens und der angrenzenden Gebiete (MARTINI 1973, 1991).

Insgesamt können zur Untergliederung der

Mittleren Pechelbronn-Schichten sechs Nannoplankton-Leithorizonte herangezogen werden (von oben nach unten, MARTINI 1998, Abb. 2):

- 6** der *Trochoaster tripartitus*-Horizont,
- 5** das letzte Vorkommen von *Isthmolithus recurvus*,
- 4** der *Isthmolithus rhenanus*-Horizont,
- 3** das letzte Vorkommen von *Reticulofenestra umbilicus*,
- 2** das erste Vorkommen von *Trochoaster simplex*,
- 1** das erste Vorkommen von *Trochoaster deflandrei*.

Die Leithorizonte 1–3 sind in der ZFM gelegen, die Leithorizonte 4–6 in der ZFH.

3.2 Bohrung Wallau W07

In der Bohrung W07 bei Wallau enthalten die Abschnitte zwischen 3,70 und 5,80 m (Bodenheim-Formation, Rupelton) und zwischen 46,75 und 80,20 m (Mittlere Pechelbronn-Schichten, RADTKE et al. 2007) Nannoplankton-Gemeinschaften. Der Bereich zwischen 5,80 m und 46,75 m, der die Oberen Pechelbronn-Schichten repräsentiert, ist fossilfrei.

Die Nannoplankton-Gemeinschaft der Proben aus der Bodenheim-Formation (Rupelton) besteht aus nur einigen autochthonen Arten (*Coccolithus pelagicus*, *Cyclicargolithus floridanus*, *Dictyococites dictyodus*, *Reticulofenestra lockeri*, *Reticulo-*

fenestra sp.). Umgelagertes Nannoplankton aus der Kreide ist sehr selten. Die vorliegende Gemeinschaft entspricht somit der Zone 1 (umlagerungsarme Zone) der Regionalgliederung nach MARTINI (1960) und kann, da *Cyclicargolithus abisectus* noch nicht vorhanden ist (erst ab NP 24), in die Standard-Nannoplankton Zone NP 23 gestellt werden (MARTINI & MÜLLER 1971, MÜLLER 1971). Dies entspricht der aufgrund der Foraminiferen erfolgten Einstufung dieses Abschnittes in die Wallau-Subformation (Unterer Rupelton, KÜMMERLE 1996, RADTKE et al. 2007).

Die Proben aus den Mittleren Pechelbronn-

Tafel 1



Kalkiges Nannoplankton aus der Bohrung Wallau W07, Mittlere Pechelbronn-Schichten (ZFH).

Fig. 1–4. *Trochoaster tripartitus* MARTINI 1998. Bohrung Wallau W07: 64,50 m.

Fig. 1–2. Holotypus SM.B 16657,

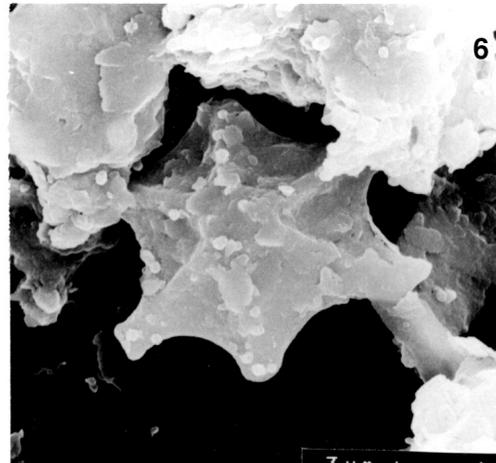
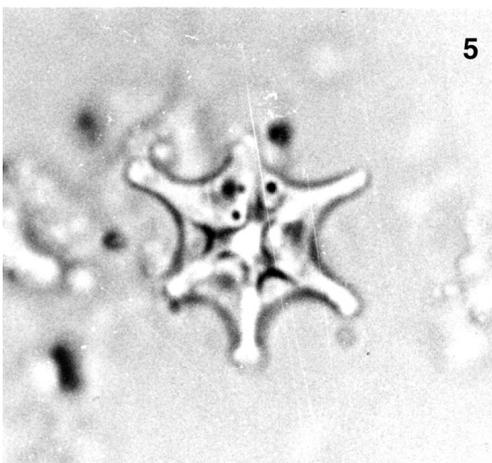
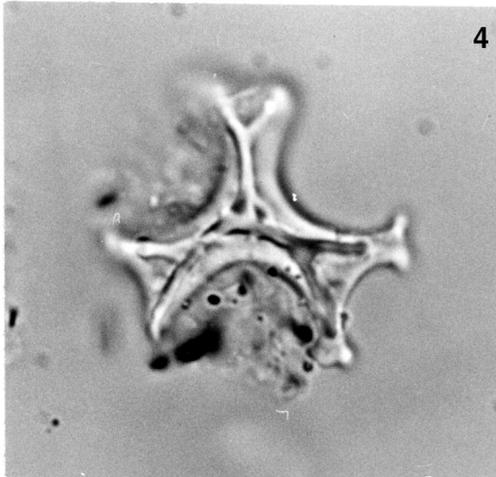
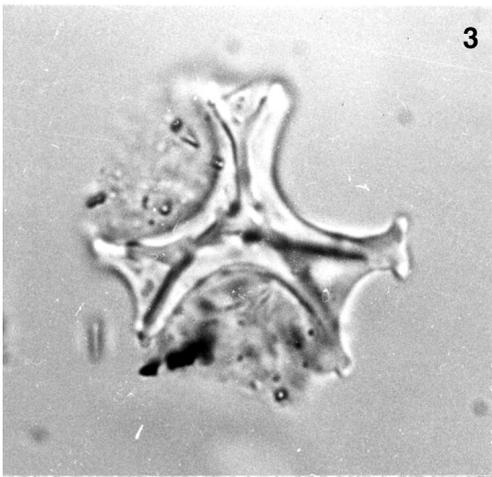
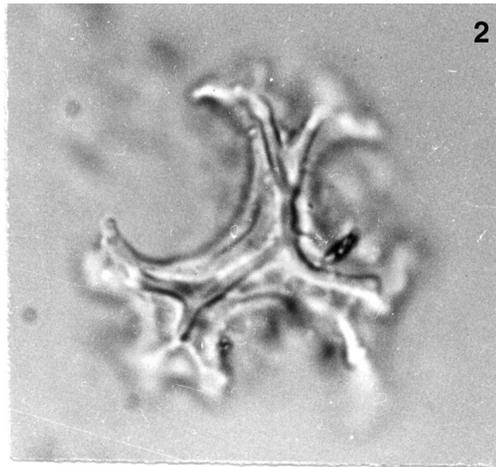
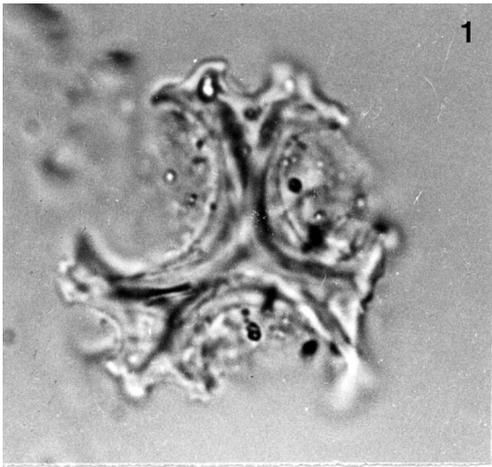
Fig. 1, 3. Lichtmikroskop, mittlere Einstellung, 2000 x,

Fig. 2, 4. Lichtmikroskop, hohe Einstellung, 2000 x.

Fig. 5–6. *Trochoaster simplex* KLUMPP 1953. Bohrung Wallau W07: 65,25 m.

Fig. 5. Lichtmikroskop, 3000 x,

Fig. 6. REM, Maßstab: 3 µm.



Tab. 1. Häufigkeiten der Nannoplankton-Arten in den Mittleren Pechelbronn-Schichten der Bohrung Wallau W07, Nannoplanktonhorizonte siehe Abb. 2.

Bohrung Wallau W07	<i>Coccolithus pelagicus</i>	<i>Markaius inversus</i>	<i>Reticulofenestra</i> sp.	<i>Trochoaster simplex</i>	<i>Trochoaster tripartitus</i>	umgelagertes Nannoplankton	Nannoplankton-Leithorizonte	Fossilzonen
49,55–49,60 m						•		
50,45–50,50 m				○		•		
52,45–52,50 m				○		○		
55,60–55,65 m				○		○		
57,10–57,15 m				••		••		
58,50 m				•		••		
59,50 m				○		•		
60,63–60,66 m	○			•		•••		
60,75 m	○			••		•••		
61,30–61,35 m				○		•••		
62,90–62,95 m	○			••	○	•••		
63,25 m				•	○	••	6	
63,60 m				••	○	••		
64,50 m				••	•	••		
65,25 m				••	•	••		
65,60–65,65 m				••		••		Z F H
66,10–66,20 m				○		•		
67,47–67,52 m				•		•		
68,40–68,45 m				○		••		
70,55–70,60 m				•		•		
71,55–71,58 m				•		••		
72,28–72,31 m				••		••		
72,46–72,48 m				•		••		
73,05–73,10 m				○		••		
73,65–73,70 m						○		
74,18–74,22 m	○			•		••		
75,73–75,76 m				○		••		
76,37–76,40 m	○			○		•		
77,20–77,25 m	○	○		○		•		
78,55–78,70 m	○			○		•		
79,00–79,05 m	○			○		••		
79,50–79,55 m	○			○		•		
79,95–80,00 m	○			○		○		
80,10–80,15 m						○		
80,25 m	•	○	○	○		○		

Legende Tab. 1 bis 4

- = selten
- = mäßig häufig
- = häufig
- = massenhaft

Schichten enthalten nur wenige autochthone Nannoplankton-Arten, unter denen *Trochoaster simplex* dominiert (Tab. 1). Zwischen 62,90 und 65,25 m wurde *Trochoaster tripartitus* (Taf. 1) und damit der Nannoplankton-Leithorizont 6 (MARTINI 1998) nachgewiesen. Somit gehört der erbohrte Teil der Mittleren Pechelbronn-Schichten der Bohrung W07 in die Zone fossilifère à Hydrobies (ZFH).

3.3 Bohrung Wallau B98-BK5

Die Mittleren Pechelbronn-Schichten der Bohrung Wallau B98-BK5 wurden zwischen 43,25 und 93,75 m intensiv beprobt (n = 150) und enthielten in den meisten Proben Nannoplankton. 47 Proben waren bis auf gelegentliche, umgelagerte Stücke nannoplanktonfrei. Die wichtigsten Nannoplankton-führenden Proben sind in Tab. 2 zusammengestellt. Sämtliche Nannoplankton-Leithorizonte (nach MARTINI 1998) wurden erfasst: (1) Das erste Vorkommen von *Trochoaster deflandrei* bei 91,00–91,10 m, (2) das erste Vorkommen von *Trochoaster simplex* bei 84,00–84,05 m, (3) das letzte Vorkommen von *Reticulofenestra umbilicus* bei 82,30 m, (4) der *Isthmolithus rhenanus*-Horizont bei 67,05 m, (5) das letzte Vorkommen von *Isthmolithus recurvus* bei 66,60 m und (6) der *Trochoaster tripartitus*-Horizont zwischen 55,02 m und 56,70 m. Als Besonderheit sind mehrere Exemplare von *Phacotus lenticularis*, einer Süßwasser-alge, in den Proben 68,00 m und 71,30 m zu erwähnen, die als Einschwemmungen von Süßwasserzuflüssen gewertet werden (MARTINI & RADTKE 2007).

3.4 Ehemalige Tongrube Nackenheim

Ein vollständiges Profil der Mittleren Pechelbronn-Schichten hat vermutlich auch in der ehemaligen Tongrube Nackenheim (Bl. 6015 Mainz) vorgelegen, aus der schon von MARTINI (1973) einige Massenvorkommen von Nannoplankton-

Arten beschrieben wurden. Im Rahmen einer Neubearbeitung (Tab. 3) konnten alle sechs Nannoplankton-Leithorizonte in der nur etwa 22,50 m mächtigen Abfolge von bunten Tonen und Tonmergeln (DOEBL 1969, GAD et al. 1990) nachgewiesen werden. Markant ausgebildet sind

außerdem die *Blackites*-Vorkommen in der ZFM (Tab. 3: Proben 16-0 bis 16-22) und das *Braarudosphaera*-Vorkommen in der ZFH (Tab. 3: Proben 29-1 bis 29-6). In der ZFM der Tongrube wie auch in der Bohrung Wallau B98-BK5 sind *Mytilus*-Lagen häufig.

3.5 Bohrungen im nördlichen Oberrheingraben

In den Bohrungen aus dem Oberrheingraben (Abb. 1) ist die Fossilführung in den Mittleren Pechelbronn-Schichten sehr unterschiedlich. Fossilfreie Abschnitte, möglicherweise auch Schichtlücken, sind weit verbreitet.

Am vollständigsten ist bislang die Fossilabfolge in den mächtigen (68 m) Mittleren Pechelbronn-Schichten der Bohrung Königstädten 1 (Lok. 3 in Abb. 1, Bl. 6016 Groß-Gerau, auch Abb. 2 und Tab. 4). Die Leitarten *Trochoaster deflandrei* (Leithorizont 1) und *Trochoaster simplex* (Leithorizont 2) setzen zusammen ein (Probe 46: 1647,5–1653,0 m, Probennummern wie in NICKEL 1996) was vermutlich auf die nicht ausreichend differenzierte Probennahme zurückzuführen ist. Während die Leithorizonte 3, 4 und 5 vorhanden sind, wurde der Leithorizont 6 mit *Trochoaster tripartitus* bisher nicht gefunden, was ebenfalls an unzureichender Probendichte liegen könnte.

In der Bohrung Eich 24 (Lok. 5 in Abb. 1, Bl. 6216 Gernsheim) sind die Mittleren Pechelbronn-Schichten auf wenige Meter reduziert. Nach der Nannoplankton-Führung der Proben 60–65: 1843,0–1858,0 m ist hier nur ein kleiner Abschnitt aus der ZFM mit *Reticulofenestra*

umbilicus und *Isthmolithus recurvus* entwickelt.

Die Nannoplankton-Führung in der Bohrung Stockstadt 1 (Lok. 4 in Abb. 1, Bl. 6217 Zwingenberg) ist ähnlich wie in der Bohrung Eich 24. In der *Mytilus*-führenden Abfolge der ZFM zwischen 1570,0 und 1586,5 m sind nur in einigen Proben *Isthmolithus recurvus* und *Reticulofenestra umbilicus*, *Coccolithus pelagicus*, *Braarudosphaera bigelowi* und eine kleine *Reticulofenestra*-Art vertreten. Umgelagertes Nannoplankton aus der höheren Kreide ist dagegen in allen untersuchten Proben sehr häufig (Kap. 3.8).

In der Pechelbronn-Gruppe der Bohrung Wattenheim 5 (Lok. 6 in Abb. 1, Bl. 6414 Grünstadt West) führen von zahlreichen Proben nur zwei Proben (13: 2434,0–2437,1 m und 17: 2440,5–2443,6 m) autochthones Nannoplankton mit vereinzelt Exemplaren von *Coccolithus pelagicus*, *Reticulofenestra umbilicus* und *Reticulofenestra* sp. Auch umgelagertes Nannoplankton ist sehr selten und besteht vor allem aus der lösungsbeständigen Kreide-Art *Watznaueria barnesae*. Zahlreiche Kalzitkristalle in den Präparaten deuten auf Umkristallisation, wodurch das Nannoplankton weitgehend vernichtet sein könnte.

3.6 Bohrungen im mittleren und südlichen Oberrheingraben

Im mittleren und südlichen Oberrheingraben wurden nur vereinzelt Proben aus den Mittleren Pechelbronn-Schichten auf Nannoplankton untersucht. In der Bohrung Landau 74 (Lok. 8 in Abb. 1, Bl. 6814 Landau in der Pfalz) wurde die

ZFM bei 731,0–733,0 m mit *Coccolithus pelagicus*, *Isthmolithus recurvus* und *Reticulofenestra umbilicus* nachgewiesen. In der Bohrung Landau 150 belegen *Trochoaster simplex* und *Trochoaster tripartitus* (Leithorizont 6) die ZFH bei

Tab. 3. Häufigkeiten der Nannoplankton-Arten in den Mittleren Pechelbronn-Schichten der ehemaligen Tongrube Nackenheim (Probennummern nach Prof. Dr. V. Sonne, LBG-RP, unveröff., Kap. 2). Legende siehe Tab. 1, Nannoplanktonhorizonte siehe Abb. 2.

Tongrube Nackenheim		<i>Blackites spinosus</i>	<i>Blackites tenuis</i>	<i>Braarudosphaera bigelowii</i>	<i>Coccolithus pelagicus</i>	<i>Cyclargolithus foridanus</i>	<i>Cyclococcolithus luminis</i>	<i>Discolithina distincta</i>	<i>Helicosphaera minima</i>	<i>Isthmolithus recurvus</i>	<i>Isthmolithus rhenanus</i>	<i>Koczyia fimbriata</i>	<i>Markalius inversus</i>	<i>Reticulofenestra insignita</i>	<i>Reticulofenestra umbilicus</i>	<i>Reticulofenestra</i> sp.	<i>Sphenolithus moriformis</i>	<i>Trochoaster deflandrei</i>	<i>Trochoaster d. pseudoquadrupes</i>	<i>Trochoaster d. torquatus</i>	<i>Trochoaster simplex</i>	<i>Trochoaster tripartitus</i>	umgelagertes Nannoplankton	Nannoplankton-Leith.	Fossilzonen
Proben-Nr.																									
36																○									
34					○		○									○								○	
33					○											○							●	○	●
31					○		○			○													●		○
29-6			○	●						●						○								○	
29-5			●	●					○	●	●	●						○	○	○	○		○	○	○
29-4			●	●					○	●	●					○		○	○	○	○		○	○	○
29-3			●	●			○			●	●					○		○	○	○	○		○	○	○
29-2			●	●						●	●					○		○	○	○	○		○	○	○
29-1			●	●					○	●	●					○		○	○	○	○		○	○	○
28				●						○						●		○	○	○			○	○	○
26				●					○	○						○		○	○	○			○	○	○
25				●					○	○						●		○	○	○			○	○	○
22				○	○					○						●		○	○	○			○	○	○
21				●	●		●			○						●	○	○	○	○			○	○	○
20				●	●					○			○			●	○	○	○	○			○	○	○
19-2				●			○								○	○		○	○	○			○	○	○
19-1				●	●								○		○	○		●	○	○	○		○	○	○
18				●	○				●	○			○		○								○	○	○
17				●	●				●	●			○		○	●							○	○	○
16-82				●	○				○	●		○	○		●	●							○	○	○
16-71				●					○	○					○	○							○	○	○
16-50				●	○	○				●					●	●				○	○		○	○	○
16-32				●	○	○	○			●					●	●				○	○		○	○	○
16-22		●	●	●	○					●				○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○
16-11	●	●	●	●						●					●	●				○	○	○	○	○	○
16-8	○	○		●						○					●	●				○	○	○	○	○	○
16-0		○		●						○					○	○							○	○	○
15				●			○			●			○		○	○							○	○	○
14				●						●					○	○							○	○	○
13				●	○		○			●				○	○	○							○	○	○
12				○						○				○	○	○							○	○	○
11				●			?			●				●	●	●							○	○	○
10				●						○				●	○	○	○						○	○	○
6				●											○		○						○	○	○

Tab. 4. Häufigkeiten der Nannoplankton-Arten in den Mittleren Pechelbronn-Schichten der Bohrung Königstädten 1 (Probennummern wie in NICKEL 1996). Legende siehe Tab. 1, Nannoplanktonhorizonte siehe Abb. 2.

Bohrung Königstädten 1	Proben-Nummer	<i>Blackites tenuis</i>	<i>Braarudosphaera bigelowii</i>	<i>Coccolithus pelagicus</i>	<i>Cyclargolithus floridanus</i>	<i>Cyclococcolithus lumninis</i>	<i>Discolithina distincta</i>	<i>Helicosphaera minima</i>	<i>Isthmolithus recurvus</i>	<i>Isthmolithus rhenanus</i>	<i>Koczyia fimbriata</i>	<i>Markaiius inversus</i>	<i>Phacotus lenticularis</i>	<i>Reticulofenestra insignita</i>	<i>Reticulofenestra umbilicus</i>	<i>Reticulofenestra</i> sp.	<i>Sphenolithus moriformis</i>	<i>Sphenolithus</i> sp.	<i>Transversopontis pulcheroideus</i>	<i>Trochoaster de/landrei</i>	<i>Trochoaster d. pseudoquadrapes</i>	<i>Trochoaster simplex</i>	<i>Trochoaster s. variabilis</i>	<i>Zygrhablithus bijugatus</i>	umgelagertes Nannoplankton	Nannoplankton- Leithorizonte	Fossilzonen		
		1605,3–1612,3 m	23			○												○											
"	24																						○			●			
"	25																						○			○			
"	26			○		○																	○	○		●	●		
"	27																					○	○	○		●	●		
1616,2–1624,2 m	29																					○	○	●		●	●		
"	30																						○	○		●	●		
"	31																						○	○		●	●		
"	32																						○	○		●	●		
"	33			○																			○	○		●	●		
1624,2–1632,2 m	34																					○	●	●		●	●		
1632,2–1638,2 m	35	○		●					○									○		○	○		○			●	●		5
"	36		●	●		○			●	●						○						○	○			●	●		4
"	37		●	●					○			○						○		○	○					●	●		
"	38		●	●		○			○												○					●	●		
"	39		●	●					○												○					●	●		
1638,2–1644,2 m	40		●	●									○													●	●		
"	41		●	●												○										●	●		
1644,2–1647,5 m	42		●	●				○	●			○			○	○										●	●		3
"	43		○	●	○				●						○	●						○				●	●		
"	44		●	●											●	○	○		○							○	○		
"	45		●	○					○					○	○	○	●				○					●	●		
1647,5–1653,0 m	46		●	○	○	○		●	○		○				●	●					○	○		○		●	●		
1653,0–1658,5 m	50		●	●		?				○					●	●										●	●		1 2
"	53		●	○				●	○		○				●	●										●	●		
1658,5–1663,0 m	54		○									○			○											●	●		

1248,0–1250,0 m. Schließlich wurde in der Bohrung Schliengen 1001 (Lok. 11 in Abb. 1, Bl. 8211 Kandern) bei 94,4–95,4 m eine Nannoplankton-Gemeinschaft mit *Helicosphaera mini-*

ma, *Coccolithus pelagicus*, *Reticulofenestra umbilicus* und einigen weiteren Arten gefunden, die für die ZFM unterhalb des Leithorizontes 3 bezeichnend ist.

3.7 Aufschlüsse im südlichsten Oberrheingraben

Im Steinbruch Altkirch im Elsaß (Lok. 13 in Abb. 1, Feuille 3721 Ouest-Altkirch) wurde autochthones Nannoplankton in einer dicht genommenen Probenserie aus den oberen Mittleren Pechelbronn-Schichten (ZFH) nachgewiesen (nach DURINGER 1988: Abb. 45: von unten nach oben: 4,40 bis 12,00 m). Dieses entspricht weitgehend dem im gleichen Niveau gefundenen Nannoplankton aus dem nördlichen Oberrheingraben. Von 4,40 bis 7,20 m, kommen *Isthmolithus recurvus* zusammen mit *Coccolithus pelagicus* und *Trochoaster simplex* sowie untergeordnet *Braarudosphaera bigelowi*, *Markalius inversus*, *Reticulofenestra* sp. und *Trochoaster deflandrei* vor. Das letzte Vorkommen von *I. recurvus* bei 7,00–7,20 m repräsentiert dabei den Leithorizont 5. Bis 10,00 m wurde *Trochoaster simplex* festgestellt, der bei 9,20–9,40 m von *Trochoaster deflandrei* und *Trochoaster tripartitus* (Leithorizont 6) begleitet wurde. Weitere Proben aus

den tiefer liegenden „Plattigen Steinmergeln“, aus denen eine Fischfauna sowie Wasserasselfunde bekannt sind (GAUDANT & BURKHARDT 1984, MARTINI 1972), enthielten kein autochthones Nannoplankton, dagegen war umgelagertes Nannoplankton aus der Kreide und untergeordnet aus dem Jura häufig. Die gleichen Ergebnisse erbrachten auch Proben aus dem wenig weiter nördlich gelegenen Gipsbruch Zimmersheim (Lok. 12 in Abb. 1).

Das derzeit am südlichsten gelegene auf Nannoplankton untersuchte Vorkommen der Mittleren Pechelbronn-Schichten befindet sich bei Morvillars, Territoire de Belfort (Lok. 14 in Abb. 1). Hier konnte eine Nannoplankton-Gemeinschaft mit *Isthmolithus recurvus* und *Reticulofenestra umbilicus*, die aus dem Bereich unterhalb des Leithorizontes 3 stammt, nachgewiesen werden (MARTINI 1995).

3.8 Umgelagertes Nannoplankton in den Mittleren Pechelbronn-Schichten

Abb. 3 gibt eine Übersicht über die Verbreitung von umgelagertem Nannoplankton in den Mittleren Pechelbronn-Schichten im Oberrheingraben. Umgelagertes Nannoplankton aus dem Jura (Abb. 1: Lok. 1–8, 11) ist in allen untersuchten Bohrungen und Aufschlüssen mehr oder minder reichlich vertreten, besonders häufig ist die lösungsresistente Art *Ellipsogelosphaera* (früher *Watznaueria*) *britannica*. Weitere leicht zu identifizierende Arten sind *Schizosphaerella punctulata* und *Stephanolithion bigotii*. Gelegentlich kommen auch Nannoconiden der *steinmanni*-Gruppe vor (häufig im Ober-Jura bis Santon des Tethys-Raumes).

In der Bohrung W07 bei Wallau (Abb. 1: Lok. 1) wurde das umgelagerte Nannoplankton in der ZFH genauer untersucht (Abb. 4). Zunächst nimmt die Anzahl der aus Jura-Ablagerungen umgelagerten Exemplare deutlich zu und erreicht in

der Probe 61,30–61,35 m den Höhepunkt. Danach ließ die Umlagerung von älterem Nannoplankton rasch nach und wird ab 55,60–55,65 m nahezu bedeutungslos. Gleichzeitig setzen auch die Fisch-Otolithen aus, und das autochthone Nannoplankton ist auf *Trochoaster simplex* reduziert (Abb. 4, Tab. 1).

Umgelagertes Nannoplankton aus der höheren Kreide fehlt in den Bohrungen und Aufschlüssen in den Mittleren Pechelbronn-Schichten im nördlichen Oberrheingraben (Lok. 1, 7, 8) oder ist sehr selten (Lok. 2, 3, 5). Eine Ausnahme bildet die Bohrung Stockstadt 1 (Lok. 4), in der Arten aus der höheren Kreide in der ZFM überaus häufig sind und die Arten aus dem Jura zahlenmäßig bei weitem übertreffen. Bezeichnende Arten sind *Arkhangelskiella cymbiformis*, *Eiffellithus eximius*, *Eiffellithus turriseiffeli*, *Eprolithus floralis*, *Gartnerago obliquum*, *Lucianorhabdus cayeuxi*,

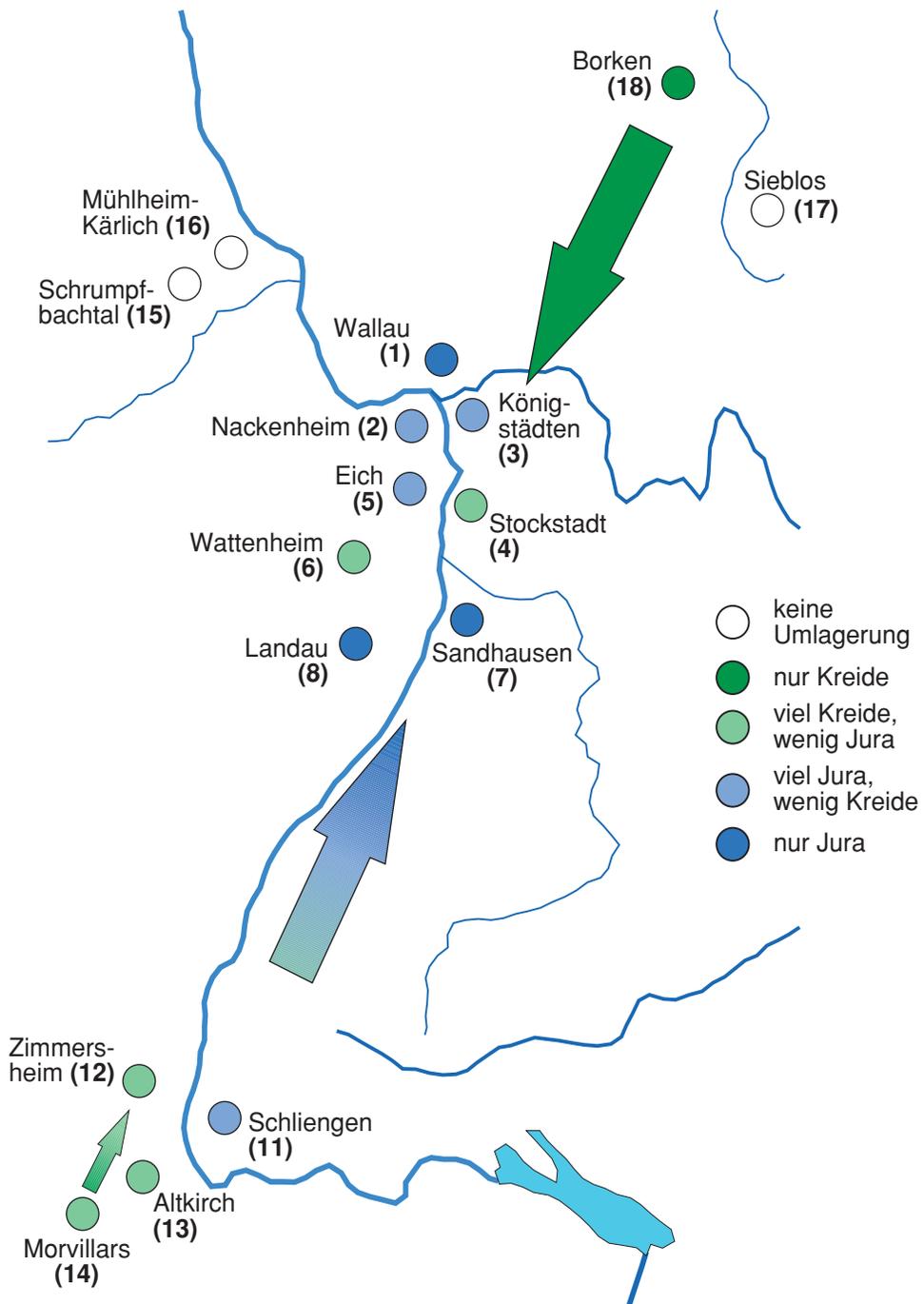


Abb. 3. Umgelagertes Nannoplankton aus Jura und Kreide in den Mittleren Pechelbronn-Schichten der untersuchten Lokalitäten (Nummern in Klammern lt. Text, s. Abb. 1).

Prediscosphaera cretacea, *Reinhardtites anthophorus* und *Watznaueria barnesae*. In der Bohrung Wattenheim 5 (Lok. 6) ist umgelagertes Nannoplankton aus der Kreide in der ZFM ebenfalls vorhanden, allerdings beschränkt auf lösungsresistente Formen.

In den Aufschlüssen im Elsaß (Lok. 12, 13) enthielt die ZFH einen hohen Anteil an umge-

lagertem Nannoplankton aus der Kreide des Tethys-Raumes mit Vertretern der Gattung *Nannoconus* (*steinmanni*-Gruppe). In Morvillars, Territoire de Belfort (Lok. 14), sind in der ZFM umgelagerte Arten etwa im gleichen Umfang aus dem Jura und der Kreide vorhanden und nur mäßig häufig (MARTINI 1995).

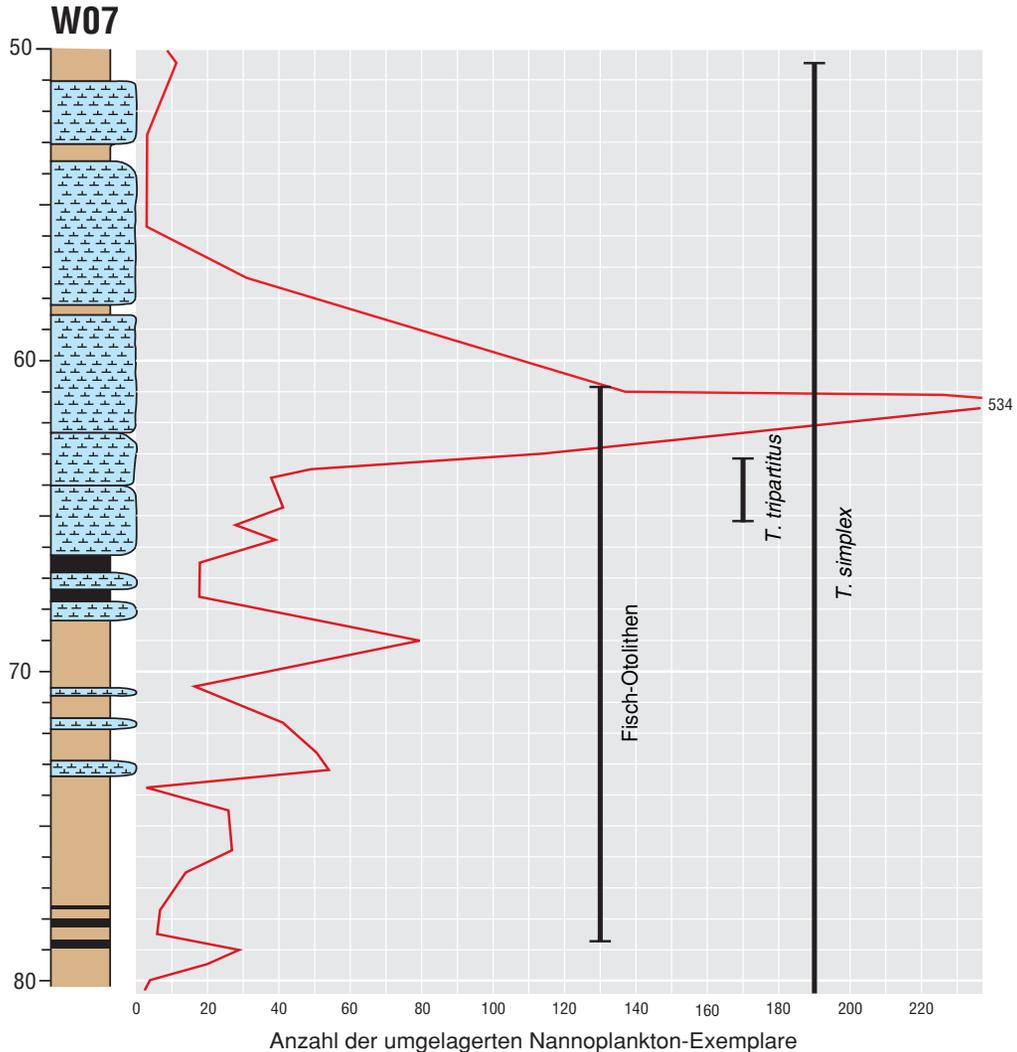


Abb. 4. Häufigkeitsverteilung des umgelagerten Nannoplanktons aus dem Jura in den höheren Mittleren Pechelbronn-Schichten (ZFH) der Bohrung Wallau WO7 (Auszählung: Mittelreihe [R 75] eines Ausstrichpräparates) mit Reichweiten von Fisch-Otolithen und den Nannoplankton-Arten *Trochoaster tripartitus* sowie *Trochoaster simplex*.

3.9 Umgelagertes Nannoplankton im Unter-Oligozän nördlich des Oberrheingrabens

Im Neuwieder Becken (Lok. 15, 16, Abb. 1, 3) sind aus der unteroligozänen Maifeld-Formation bislang nur drei Nannoplankton-Arten bekannt: *Coccolithus pelagicus*, *Trochoaster simplex variabilis* und *Nannoserratolithus dissolutus*, letztere offensichtlich eine Süßwasser-Art (MARTINI & SCHILLER 1998). Umgelagertes Nannoplankton aus älteren Schichten fehlt (Abb. 3). In der Sieblos-Formation der Rhön (Lok. 17, Abb. 1, 3) wurde nur *Trochoaster simplex variabilis* nachgewiesen, umgelagertes Nannoplankton aus älteren

Schichten fehlt dort ebenfalls (MARTINI & SCHILLER 1998). Im Gegensatz dazu sind im nordhessischen Melanienton von Borken (Lok. 18, Abb. 1, 3) umgelagerte Kreide-Arten aus dem höheren Santon bis tieferen Maastricht häufig (MARTINI 1987). Sie entsprechen in der Zusammensetzung auffallend den in der Bohrung Stockstadt 1 im Oberrheingraben angetroffenen Formen aus der höheren Kreide, so dass man an eine direkte Verbindung zwischen den beiden Vorkommen denken könnte (Kap. 7).

4. Fischfauna

4.1 Fisch-Skelette

Eine ausführliche historische Übersicht über die Dokumentation von Fisch-Skeletten aus stratigraphischen Äquivalenten der Mittleren Pechelbronn-Schichten im südlichen Oberrheingraben und im Elsaß gibt GAUDANT (1981a). Darin und in GAUDANT (1981b) wird auch die bis dahin bekannte Fischfauna revidiert. „*Paralates bleicheri* SAUVAGE 1883 (THÉOBALD 1934, MAIKOVSKI 1941) wird zur Gattung *Pomatoschistus* GILL 1864 gestellt. Weiterhin wird *Prolebias rhenanus* GAUDANT 1981 eingeführt; dieses Taxon war zuvor als *Prolebias* cf. *gregatus* (AYMARD 1856) und als *Prolebias praecursor* WEILER 1929 bestimmt worden (LERICHE 1927, THÉOBALD 1934). Die Fundschichten beider Fisch-Arten können mit der Zone salifère moyenne parallelisiert werden und sind damit stratigraphische Äquivalente der Mittleren Pechelbronn-Schichten (GAUDANT 1981a, b). Während *Pomatoschistus bleicheri* (SAUVAGE 1883) bislang nur mit drei Exemplaren nachgewiesen ist (GAUDANT 1981b), ist *Prolebias rhenanus* GAUDANT 1981 mit rund 30 Exemplaren häufiger. *P. rhenanus* kommt nach GAUDANT (1981b) auch noch in

der Zone salifère supérieure (Obere Pechelbronn-Schichten) vor, ist dort aber selten. Weitere Fischskelette lieferte eine Abfolge im Steinbruch Altkirch (Elsaß), die dem höheren Teil der Zone salifère moyenne angehört (nach GAUDANT & BURKHARDT 1984) und aufgrund der Hydrobien mit der ZFH (unterhalb des Nannoplankton-Leithorizontes 5, siehe Kap. 3.7) parallelisiert werden kann. Aus dieser Abfolge wurden *Enoplophthalmus alsaticus* GAUDANT & BURKHARDT 1984 sowie *Notogoneus* cf. *cuvieri* (AGASSIZ 1833–1844) und *Dapaloidea?* sp. beschrieben (GAUDANT & BURKHARDT 1984).

Die Liste der anhand von Skeletten nachgewiesenen Fisch-Arten aus den Mittleren Pechelbronn-Schichten im Elsaß lautet danach:

- Prolebias rhenanus* GAUDANT 1981
- Pomatoschistus bleicheri* (SAUVAGE 1883)
- Enoplophthalmus alsaticus* GAUDANT & BURKHARDT 1984
- Notogoneus* cf. *cuvieri* (AGASSIZ 1833–1844)
- Dapaloidea?* sp.

4.2 Fisch-Otolithen

4.2.1 Kenntnisstand

Die einzigen bisher publizierten Otolithen aus den Mittleren Pechelbronn-Schichten stammen aus den Bohrungen Grißheim 2 und 9 im südlichen Oberrheingraben (Lok. 10, Abb. 1). WEILER (1963) bestimmte die sieben mäßig erhaltenen

Exemplare als Otol. (Argentinidarum?) sp. Ein weiterer, leicht abgeriebener Otolith lag WEILER (1963) aus den Oberen Pechelbronn-Schichten der Bohrung Grißheim 2 vor und wurde als *Prolebias* sp. bestimmt.

4.2.2 Neufunde

Fisch-Otolithen kommen in den Mittleren Pechelbronn-Schichten der Bohrung Wallau W07 im Teufenbereich von 60,63 bis 78,70 m und in der Bohrung Wallau B98-BK5 von 53,00 bis 76,36 m und von 79,10 bis 84,30 m vor (Abb. 5). Folgende Arten wurden nachgewiesen:

Enoplophthalmus sp. 1

Notogoneus sp. 1

Dapaloides sieblosensis (WINKLER 1880)

Perca sp. 1

„genus Percoideorum“ *validus* (STINTON 1977).

4.3 Taxonomie

4.3.1 Ordnung Gonorhynchiformes

Familie Gonorhynchidae BLEEKER 1859
Gattung *Notogoneus* COPE 1885

Notogoneus sp. 1

Taf. 2, Fig. 1–3

aff. 1961 *Notogoneus* sp. – WEILER: 53, Taf. 9, Fig. 48–49.

Material: 9 Sagitten.

Beschreibung: Die Sagitten sind durch den schwach gewölbten Ventral- und Dorsalrand und das kurze, abgerundete Rostrum gekennzeichnet. Der gerade Sulcus steigt nach hinten/oben geringfügig an. Er zeigt ein kleines, rundliches Ostium und eine längere Cauda, die hinten offen ist. Die kräftige Crista superior endet abrupt vor dem Cauda-Ende. Die Crista inferior ist dünn. Die Sagitten werden mit zunehmender Größe relativ länger (Tab. 5).

Vergleich mit anderen *Notogoneus*-Arten: Der oberoligozäne bis untermiozäne *N. longiceps* (H. v. MEYER 1851) zeigt eine ver-

gleichbare Form des Sulcus und der Crista superior (WEILER 1963, REICHENBACHER 2000), allerdings weicht *Notogoneus* sp. 1 aufgrund seines flachen Dorsalrandes und des kurzen, abgerundeten Rostrums von *N. longiceps* deutlich ab. WEILER (1961) beschrieb aus nicht näher stratifiziertem Melanienton als *Notogoneus* sp. eine schlanke Sagitta von 0,9 mm Länge (L/H-Index 1,8), die durch ein spitzes Antirostrum gekennzeichnet ist. Im hier vorliegenden Material zeigt nur eine Sagitta (Länge 0,9 mm) ein spitzes Antirostrum; dieses Exemplar ist jedoch mit einem L/H-Index von 2,1 noch schlanker als *Notogoneus* sp. aus dem Melanienton.

Von anderen *Notogoneus*-Arten weicht *Notogoneus* sp. 1 durch seine Form deutlich ab: der

Tab. 5. Maße einiger Sagitten von *Notogoneus* sp. 1.

Länge [mm]	0,45	0,45	0,54	0,70	0,72	0,73	0,90
Höhe [mm]	0,31	0,28	0,36	0,40	0,43	0,41	0,43
L/H	1,45	1,6	1,5	1,75	1,7	1,8	2,1

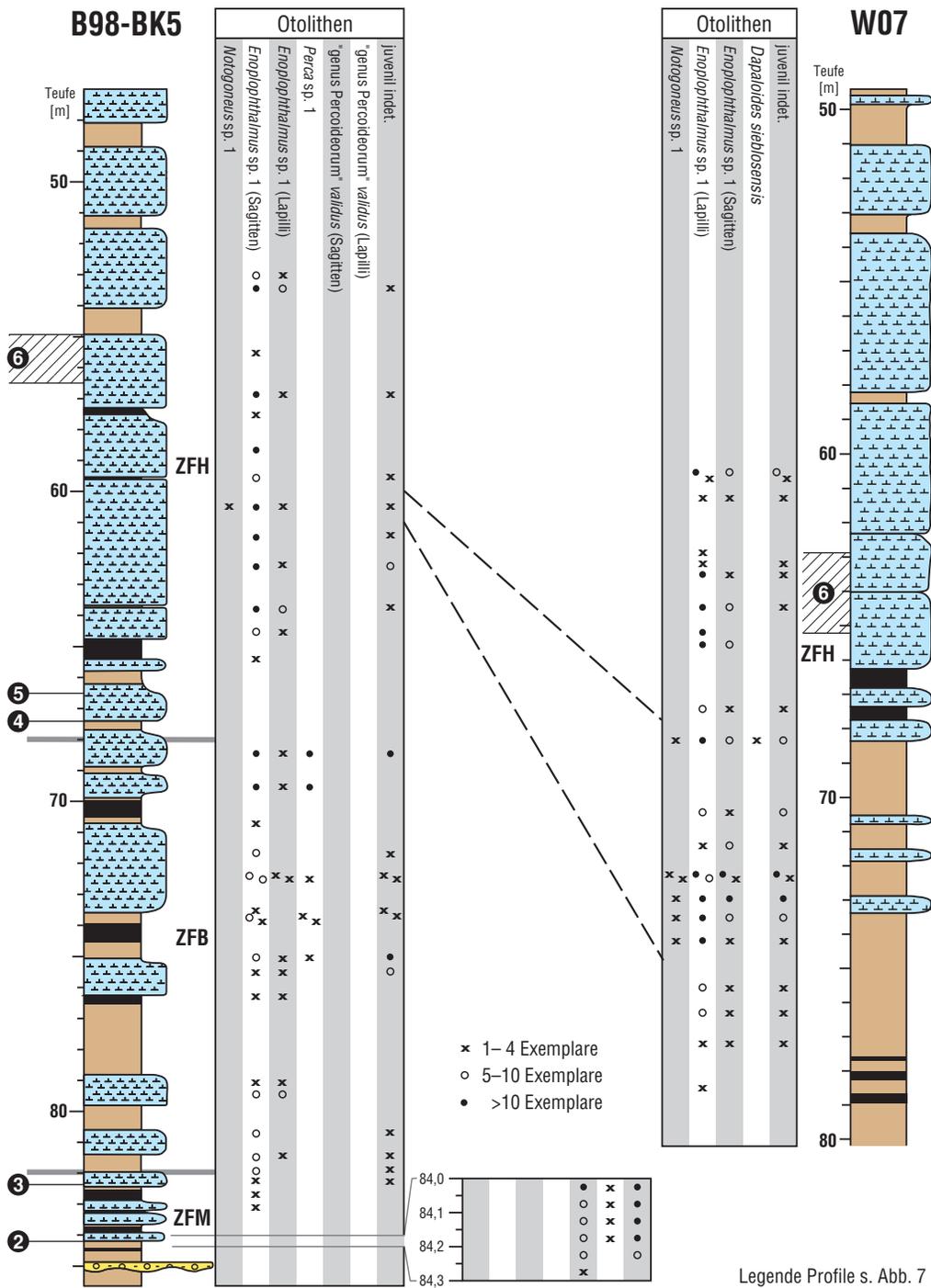


Abb. 5. Verbreitung und Häufigkeiten der Fisch-Arten in den Mittleren Pechelbronn-Schichten der Bohrungen Wallau B98-BK5 und W07 mit den Nannoplankton-Leithorizonten ②–⑥.

unteroligozäne, in NOLF (1977) dokumentierte *Notogoneus* sp. von Hoeleden (Belgien) ist vergleichsweise gestreckter; *N. fusiformis* SCHWARZHANS 1994 aus dem Ober-Oligozän der Nordsee zeigt einen abweichenden Sulcus (SCHWARZHANS 1994a); die als *N. brevirostris* SCHWARZHANS 1974 aus dem Ober-Oligozän der Nordsee bekannte Art gehört wegen der stark abweichenden Sulcusemorphologie (SCHWARZHANS 1974) vermutlich zur Familie der Acropomatiden.

Bemerkungen: GAUDANT & BURKHARDT (1984) beschrieben aus dem Steinbruch Altkirch, Elsaß, anhand von Skelettfunden *Notogoneus* cf. *cuvieri* (AGASSIZ 1833–1844). Die Funde stammen aus Sedimenten, die mit der ZFH unterhalb des Nanoplankton-Leithorizontes 5 korreliert werden können (Kap. 3.7, siehe auch SITTLER 1965). Es

ist wahrscheinlich, dass die hier vorliegenden Sagitten von *Notogoneus* sp. 1 zu *N. cf. cuvieri* gehören. Eine gesicherte Zuordnung kann jedoch nicht erfolgen, da Otolithenfunde in situ von *N. cf. cuvieri* bisher nicht bekannt sind.

In der Sammlung des Geowissenschaftlichen Zentrums Göttingen (GZG) werden zahlreiche Proben aus dem Melanienton aufbewahrt, die u. a. auch Otolithen führen (unpubliziertes Material). In diesem Material, das von uns eingesehen werden konnte, ist jedoch nur eine Sagitta der Gattung *Notogoneus* enthalten. Diese ist durch ein langes Rostrum gekennzeichnet und dadurch von *Notogoneus* sp. 1 deutlich unterschieden; sie erinnert an die von NOLF (1977) dokumentierte Art.

4.3.2 Ordnung Osmeriformes

Familie Osmeridae REGAN 1913

Gattung *Enoplophthalmus* SAUVAGE 1880

Enoplophthalmus sp. 1

Taf. 2, Fig. 4–10, 14, Abb. 6

1963 Otol. (Argentinidarum?) sp. – WEILER: 10–11, Abb. 11–17.

Material: 570 Sagitten und etwa 100 Lapilli.

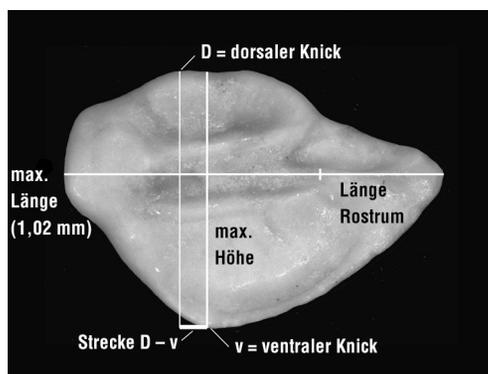


Abb. 6. Definition der Mess-Strecken bei *Enoplophthalmus* sp. 1.

Beschreibung: Der Umriss der Sagitta ist abgerundet-fünfeckig, wobei die „Ecken“ von der prae- und posterodorsalen Ecke, der posteroventralen Ecke, dem Medianknick des Ventralrandes und der Rostrumspitze gebildet werden. Der Dorsalrand ist in charakteristischer Weise dreifach gewellt (seltene Ausnahmen kommen vor), wobei die höchste Erhebung etwa in der Mitte liegt. Der Ventralrand ist tief gewölbt, sein Medianknick liegt entweder direkt unter der höchsten Erhebung des Dorsalrandes oder ist nach vorne verschoben. Die Länge des Rostrums (L-Ro) beträgt im Allgemeinen 24–35% der Gesamtlänge der Sagitta (Tab. 6 und 7), der Wert ist unabhängig von der Sagittengröße. Ein kleines Antirostrum ist vorhanden, kann aber auch fehlen. Der etwas suprmedian gelegene Sulcus zeigt ein vertieftes, V- bis schmales U-förmiges Ostium, das deutlich von der Cauda abgegrenzt ist. Die Cauda ist flach und gerade, bei manchen Sagitten am Ende etwas abgebogen.

Die zusammen mit den *Enoplophthalmus*-Sagitten gefundenen Lapilli (Taf. 2, Fig. 14) sind von breit-ovaler Form mit einer anterior gelege-

Tab. 6. Maße einiger Sagitten des Morphotyps A von *Enoplophthalmus* sp. 1. L-Ro = Länge des Rostrums bezogen auf die maximale Länge der Sagitta (s. Abb. 6). D-V = Distanz zwischen der Linie der maximalen Höhe und der D-Linie (s. Abb. 6).

Länge [mm]	0,71	0,88	0,92	0,93	0,93	1,00	1,01	1,01	1,05	1,07	1,07	1,11	1,14	1,14	1,14	1,20
Höhe [mm]	0,56	0,67	0,69	0,66	0,62	0,71	0,73	0,66	0,79	0,74	0,71	0,76	0,77	0,80	0,76	0,85
L/H	1,27	1,31	1,33	1,41	1,50	1,41	1,38	1,53	1,33	1,44	1,51	1,46	1,48	1,42	1,50	1,41
L-Ro [%]	21	29	32	34	34	32	28	30	31	30	33	34	24	31	35	32
D-V [%]	0	7,9	7,8	7,7	0	0	5,5	3,7	0	7,8	3,6	4,1	3,9	3,7	0	3,8

Tab. 7. Maße einiger Sagitten des Morphotyps B von *Enoplophthalmus* sp. 1.

L-Ro = Länge des Rostrums bezogen auf die maximale Länge der Sagitta (s. Abb. 6). D-V = Distanz zwischen der Linie der maximalen Höhe und der D-Linie (s. Abb. 6).

Länge [mm]	0,88	0,86	0,93	0,97	1,00	1,03	1,05	1,08	1,19
Höhe [mm]	0,54	0,61	0,61	0,63	0,64	0,70	0,69	0,62	0,72
L/H	1,63	1,41	1,52	1,54	1,56	1,47	1,52	1,74	1,65
L-Ro [%]	28	26	30	37	30	35	35	24	32
D-V [%]	9,8	13,1	17,2	13,9	11,1	10	11,8	14,8	12,5

Tafel 2



Fisch-Otolithen aus der Bohrung Wallau W07, Mittlere Pechelbronn-Schichten (ZFH) und Vergleichsmaterial aus der Atuatuca-Formation, südliches Nordseebecken.

Fig. 1–3. *Notogoneus* sp. 1, Bohrung Wallau W07.

Fig. 1. 74,18–74,22 m (SMF PO 64381),

Fig. 2–3. 73,65–73,70 m (SMF PO 64382–64383).

Fig. 4–10. *Enoplophthalmus* sp. 1, Bohrung Wallau W07.

Fig. 4–5, 8. 68,40–68,45 m (SMF PO 64384–64386),

Fig. 6. 73,65–73,70 m (SMF PO 64387),

Fig. 7. 75,76–76,73 m (SMF PO 64388),

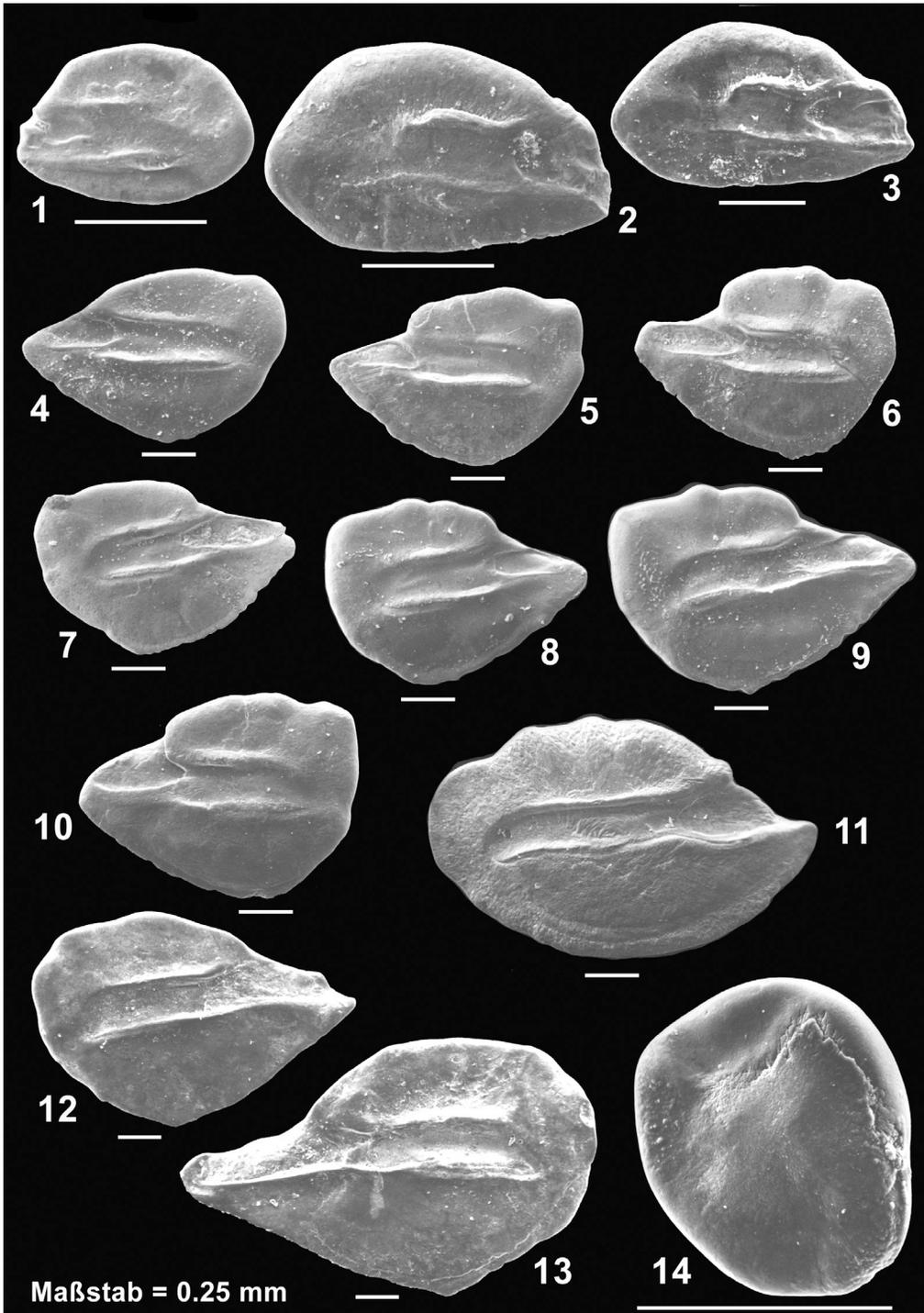
Fig. 9. 72,46–72,48 m (SMF PO 64389),

Fig. 10. 73,05–73,10 m (SMF PO 64390).

Fig. 11. *Dapaloides sieblosensis* (WINKLER 1880), Bohrung Wallau W07. 68,40–68,45 m (SMF PO 64391).

Fig. 12–13. cf. *Osmerus* sp. juvenil, Belegmaterial zu VAN HINSBERGH (1980: Taf. 1, Fig. 7) als *Thaumaturus rhenanus* WEILER 1963; RGM 176570, 176569, Atuatuca-Formation, südliches Nordseebecken.

Fig. 14. *Enoplophthalmus* sp. 1. Dorsalseite eines Lapillus; Bohrung Wallau W07: 73,05–73,10 m (SMF PO 64392).



nen deutlichen Kante. Ventral- und Dorsalseite sind konvex. Entlang des Vorderrandes verläuft eine nahtartige Struktur. Die größten Lapilli sind etwa 0,5 mm lang.

Variabilität: Die Vermessung der Sagitten erfolgte mit Hilfe einer digitalen Kamera und eines Mess-Moduls; Abb. 6 zeigt die Messstrecken. Es wurden nur sehr gut erhaltene Sagitten gemessen. Der durch die Dreidimensionalität der Sagitten bedingte Messfehler beträgt $\pm 0,04$ mm.

Bei den Sagitten lassen sich zwei Morphotypen anhand des Länge/Höhe-Index (L/H) und der Strecke D–V unterscheiden (Abb. 6). Die Strecke D–V wird dabei auf die Gesamtlänge der Sagitta bezogen und in % ausgedrückt (Tab. 6 und 7). Beim Morphotyp A beträgt D–V bis zu 8 % und der L/H-Index variiert zwischen 1,3–1,5 (Tab. 6). Beim Morphotyp B beträgt D–V 10–17 % und der L/H-Index variiert zwischen (1,4) 1,5–1,7 (Tab. 7). Die Morphotypen A und B stimmen in den übrigen Merkmalen gut überein. Auch kommen sie in den meisten Proben zusammen vor, es liegt also keine ökologische Spezialisierung vor, ebenso keine stratigraphische Verschiedenheit. Möglicherweise handelt es sich hier um einen Geschlechtsdimorphismus der Sagitten, wie er für einige rezente Teleostei beschrieben wurde (SCHWARZHANS 1994b, REICHENBACHER & SIENKNECHT 2001).

Vergleich mit anderen Osmeriden-Arten: Die vorliegende Spezies stimmt hinsichtlich der Sulcus-Morphologie und der abgerundet-fünfeckigen Form gut überein mit *Enoplophthalmus rhenanus* (WEILER 1963) und *E. robustus* (WEILER 1963) aus dem Ober-Oligozän und Unter-Miozän des Oberrheingrabens und des Mainzer und Hanauer Beckens (GAUDANT & REICHENBACHER 1998, REICHENBACHER 2000). Dabei besteht durch die relativ gestreckte Form von *Enoplophthalmus* sp. 1 mehr Ähnlichkeit zu *E. rhenanus*. Das typische Merkmal für *Enoplophthalmus* sp. 1 ist der dreifach gewellte Dorsalrand mit der höchsten Erhebung in der Mitte, denn bei *E. rhenanus* und *E. robustus* ist der Dorsal-

rand unregelmäßig gewellt oder gelappt und die höchste Erhebung ist im Allgemeinen die posterodorsale Ecke (REICHENBACHER 2000: Taf. 5). Außerdem zeigt *E. rhenanus* meistens ein Rostrum, das 35–40 % der Gesamtlänge der Sagitta einnimmt und damit deutlich länger ist als bei *Enoplophthalmus* sp. 1. In den Oberen Cerithien-Schichten (Ober-Oligozän bis unteres Unter-Miozän) können die Abmessungen von *E. rhenanus* innerhalb der Maße des hier vorliegenden Materials liegen, verschieden sind aber die Form des Dorsalrandes (keine dreifache Wellung) und des Rostrums, das bei *E. rhenanus* schlanker und stärker zugespitzt ist als bei *Enoplophthalmus* sp. 1 (REICHENBACHER 2000: Taf. 5, Fig. 12–17). Möglicherweise war *Enoplophthalmus* sp. 1 der Vorläufer von *E. rhenanus*, dafür sprechen seine Ähnlichkeiten mit diesen ältesten *E. rhenanus* und der übereinstimmende regionale Rahmen.

Als „*Thaumaturus rhenanus* WEILER 1963“ beschrieb VAN HINSBERGH (1980) mehrere Sagitten aus der unteroligozänen Atatuca-Formation des südlichen Nordseebeckens (Region zwischen Maastricht in den Niederlanden und Tongeren in Belgien). Von diesem Material, das nur teilweise in einer öffentlichen Institution hinterlegt ist (Museum Leiden), konnten einige Exemplare überprüft werden (Taf. 2, Fig. 12–13). Diese Sagitten sind dorsal und posterior stärker gerundet als *Enoplophthalmus rhenanus* und *Enoplophthalmus* sp. 1 und weisen ein etwas schlankeres und spitzeres Rostrum als *Enoplophthalmus* sp. 1 auf. Sie sind jedoch zu schlecht erhalten, um zu entscheiden, ob es sich um juvenile *Osmerus*-Vertreter oder um adulte *Enoplophthalmus* handelt; vermutlich gehören sie einer neuen Art an.

Aus dem Melanienton ist *Thaumaturus amoeneburgensis* WEILER 1961 bekannt. Diese Art ist im Umriss vergleichsweise variabel, durch die nach oben zugespitzte posterodorsale Ecke jedoch sehr charakteristisch. *Th. amoeneburgensis* gehört nicht zur Gattung *Enoplophthalmus*, sondern ist, wie von WEILER angenommen, ein echter Vertreter der im Eozän nicht seltenen Gattung *Thaumaturus* REUSS 1844.

Einen ähnlichen fünfeckigen Umriss wie *Enoplophthalmus* sp. 1 zeigen Sagitten, die als *Argentina parvula* KOKEN 1891 aus dem norddeutschen Oligozän bis Mittel-Miozän beschrieben wurden. Aus den Sammlungen des Instituts für Geophysik und Geologie (IGG) in Leipzig und des Forschungsinstitutes und Naturmuseums Senckenberg in Frankfurt a. M. lagen einige Exemplare dieser Art vor. Sie zeigen einen glatten bis sehr fein gekerbten Dorsalrand, der von der posterodorsalen Ecke in nahezu gerader Linie nach vorne zum Antirostrum abfällt. Der Sulcus ist wie bei *Enoplophthalmus* gerade, aber das Ostium ist nicht in der für *Enoplophthalmus* typischen Weise V- bis U-förmig abgegrenzt. Zwar sind die Sagitten von *Argentina parvula* mit einer Länge von 1,3 mm bis über 2 mm vergleichsweise groß und nicht so gut erhalten wie das hier vorliegen-

de *Enoplophthalmus*-Material, dennoch sind die morphologischen Unterschiede deutlich und nicht auf ontogenetische Variabilität zurückzuführen.

Bemerkungen: Wie schon erwähnt, beschrieben GAUDANT & BURKHARDT (1984) aus dem Steinbruch Altkirch (Elsaß) anhand von Skelettfunden die neue Art *Enoplophthalmus alsaticus*. Die Fundschichten können mit der ZFH unterhalb des Nannoplankton-Leithorizontes 5 korreliert werden. Deshalb ist es wahrscheinlich, dass die hier vorliegenden Sagitten von *Enoplophthalmus* sp. 1 zu *E. alsaticus* gehören. Eine gesicherte Zuordnung kann derzeit nicht erfolgen, da *E. alsaticus*-Otolithen in situ oder aus dem entsprechenden Niveau im Steinbruch Altkirch bisher nicht bekannt sind.

4.3.3 Ordnung Perciformes

Familie incertae sedis
Gattung *Dapalooides* GAUDANT 1985

Dapalooides sieblosensis (WINKLER 1880)

Taf. 2, Fig. 11

1880 *Smerdis sieblosensis*. – WINKLER: 91, Taf. 3, Fig. 3–4.

1965 *Smerdis sieblosensis* WINKLER. – MARTINI: 295–298, Taf. 19–21, Abb. 1–2.

1985 *Dapalooides sieblosensis* (WINKLER). – GAUDANT: 186–187.

1998 *Dapalooides sieblosensis* (WINKLER). – MARTINI & REICHENBACHER: 256, Taf. 1, Fig. 1–7.

Vollständige Synonymieliste siehe MARTINI & REICHENBACHER (1998).

Material: 2 Sagitten.

Bemerkungen: Die einzige gut erhaltene Sagitta (Länge: 1,65 mm, Höhe: 1,03 mm) stimmt mit *D. sieblosensis* aus Sieblos und aus dem Neuwieder Becken gut überein (Belegmate-

rial zu MARTINI & REICHENBACHER 1998, REICHENBACHER 1995; siehe dort auch hinsichtlich detaillierter Beschreibung der Art). Von den *Perca* sp. 1-Sagitten unterscheidet sich *D. sieblosensis* vor allem durch die glatteren Ränder, die Ventrallinie und das U-förmige, besser begrenzte Ostium. Ein Bruchstück einer weiteren Sagitta wurde von KÜMMERLE (1996: 97) als „*Morone*“ aus dem Bereich 74–77 m der Bohrung Wallau W07 aufgeführt.

Familie Percidae CUVIER 1817
Gattung *Perca* LINNAEUS 1758

Perca sp. 1

Taf. 3, Fig. 1–2

Material: 40 Sagitten, davon 30 von juvenilen Fischen.

Beschreibung: Es handelt sich um langgestreckte Sagitten, deren Ränder kräftig gewellt oder gekerbt sind. Das Rostrum springt deutlich

Tab. 8. Maße einiger Sagitten von *Perca* sp.1.

Länge [mm]	0,37	0,84	0,86	0,89	1,15	1,30	1,78	2,17	2,50
Höhe [mm]	0,26	0,54	0,58	0,60	0,67	0,75	1,04	1,25	1,38
L/H	1,42	1,55	1,48	1,48	1,72	1,73	1,71	1,74	1,81

Tab. 9. Maße einiger Sagitten von „genus *Percoideorum*“ *validus* (STINTON 1977).

Länge [mm]	0,45	0,63	0,80	1,01	1,06	1,11	1,22	1,51	1,64	1,86	1,93	1,94	1,96	2,17	2,18
Höhe [mm]	0,41	0,54	0,67	0,83	0,98	0,87	0,91	1,15	1,30	1,45	1,62	1,64	1,53	1,73	1,84
L/H	1,10	1,17	1,19	1,22	1,08	1,27	1,34	1,31	1,26	1,28	1,19	1,18	1,28	1,25	1,18

hervor. Auch ein kräftiges Antirostrum ist bei den meisten Sagitten, auch bei den juvenilen, vorhanden. Der Sulcus ist durch einen Knick am Unterrand deutlich in Ostium und Cauda gegliedert. Das Ostium ist durch den kurzen und nach oben ansteigenden Oberrand charakterisiert. Die lange Cauda ist schmal und gerade, nur am Ende leicht abgelenkt. Aus Tab. 8 ist ersichtlich, dass die Sagitten ein allometrisch positives Längenwachstum aufweisen.

Beziehungen: Die vorliegenden Sagitten stimmen mit Sagitten der rezenten *Perca fluviatilis* LINNAEUS 1758 hinsichtlich der gekerbten Rän-

der, des weit vorspringenden Rostrums und der Form des Sulcus sowie dessen medianer Lage gut überein. Allerdings sind Sagitten von *P. fluviatilis* in der Längsachse stärker gebogen, und die Cauda ist etwas kürzer. Die vorliegende Art kann keiner bekannten fossilen Art zugeordnet werden. Von der aus dem Melanienton beschriebenen *Perca hassiaca* WEILER 1961 unterscheidet sie sich vor allem durch den schmalen Sulcus und die relativ längere Cauda (Taf. 3, Fig. 11–12). Da jedoch nur wenige adulte bzw. subadulte Sagitten vorliegen, erscheint die Definition einer neuen Spezies vorerst nicht zweckmäßig.

Tafel 3



Fisch-Otolithen aus der Bohrung Wallau B98-BK5, Mittlere Pechelbronn-Schichten (ZFM/ZFB) und Vergleichsmaterial aus dem Melanienton von Nord-Hessen.

Fig. 1–2. *Perca* sp. 1, Bohrung Wallau B98-BK5: 69,53–69,60 m (SMF PO 64393–64394), ZFB.

Fig. 3–8. „genus *Percoideorum*“ *validus* (STINTON 1977), Bohrung Wallau B98-BK5.

Fig. 3–4. 84,15–84,20 m (SMF PO 64395–64396),

Fig. 5–7. 84,00–84,05 m (SMF PO 64397–64399),

Fig. 8. Dorsalseite eines Lapillus: 84,15–84,20 m (SMF PO 64400), alle ZFM.

Fig. 9–10. „genus *Percoideorum*“ *validus* (STINTON 1977).

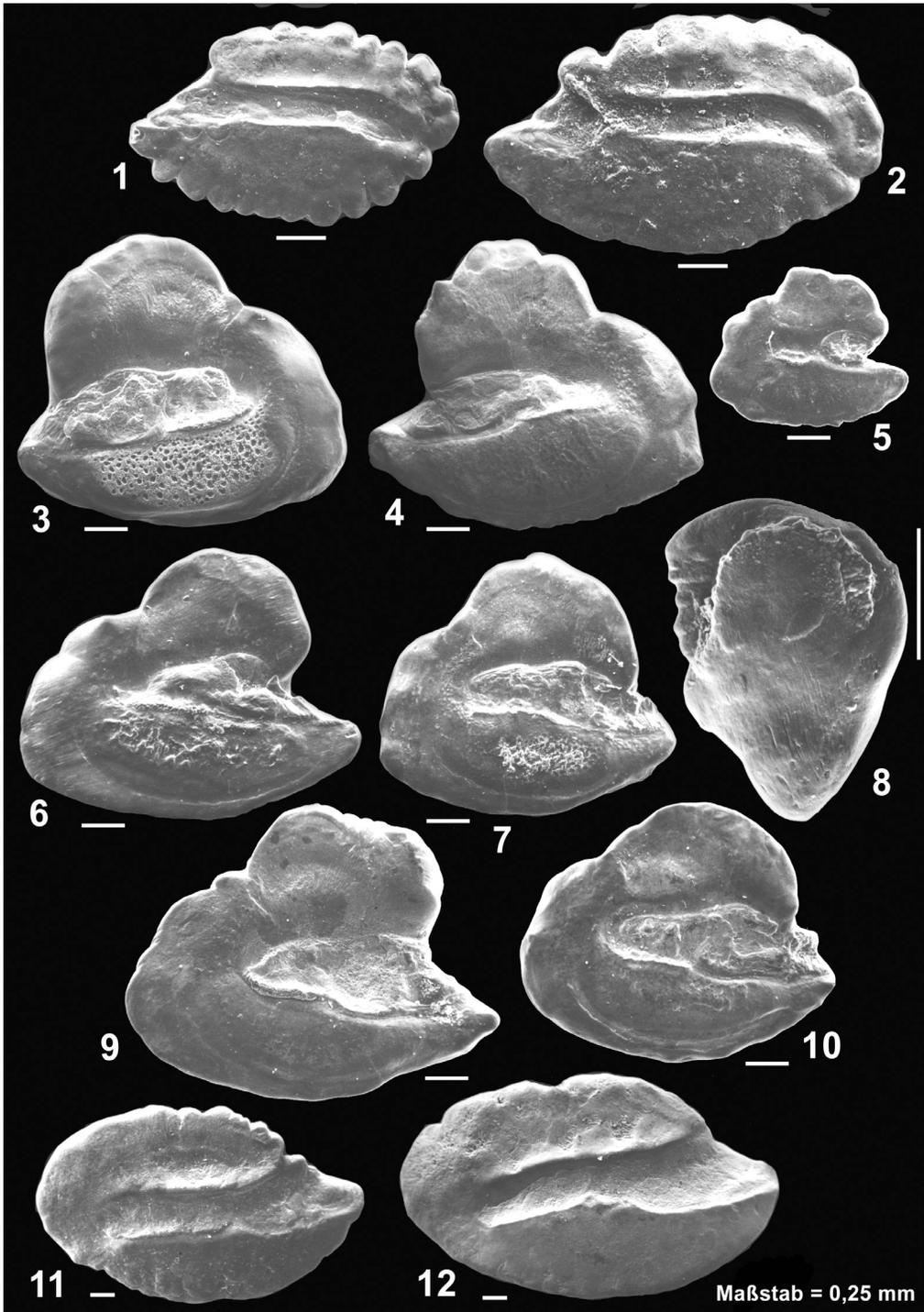
Fig. 9. Bohrung PREAG 3254: 32–33 m.

Fig. 10. Bohrung PREAG 2676: 131 m, Melanienton C (Sammlung GZG, Göttingen).

Fig. 11–12. *Perca hassiaca* WEILER 1961.

Fig. 11. Bohrung Erksdorf 35: 38,80–39,00 m,

Fig. 12. Bohrung PREAG 2697: 18,00 m, Melanienton (Sammlung GZG, Göttingen).



Familie incertae sedis
Gattung incertae sedis

„genus Percoideorum“ *validus* (STINTON 1977)

Taf. 3, Fig. 3–10

- cf. 1933 Otol. (Clupeidarum) *dilatatus*. – FROST: 390, Taf. 12, Fig. 5.
1961 *Umbra* cf. *dilata* (FROST). – WEILER: 51, Taf. 9, Fig. 27–30.
1977 *Umbra valida*. – STINTON: 74, Taf. 5, Fig. 14a–b.

Material: 84 Sagitten, davon 58 von juvenilen Sagitten; 5 Lapilli. Des Weiteren etwa 60 sehr kleine Otolithen (0,1–0,2 mm Länge), die wahrscheinlich ebenfalls zu der Art gehören.

Beschreibung: Abgerundet-dreieckige Sagitten mit mäßig langem und spitzem Rostrum. Der Länge/Höhe-Index variiert zwischen 1,1 und 1,3; zu den Maßen siehe Tab. 9. Der Dorsalrand ist breit gerundet und am Übergang zum Hinterrand deutlich eingebuchtet; bei den juvenilen Sagitten ist diese Einbuchtung noch nicht oder nur andeutungsweise entwickelt. Der schräg nach hinten/unten verlaufende Hinterrand ist leicht gewölbt und etwas gewellt. Er biegt fast rechtwinklig zum schwach gebogenen und fein gekerbten Ventralrand um. Das Antirostrum tritt vor allem bei juvenilen und subadulten Sagitten hervor. Der Sulcus steigt vom Rostrum nach hinten etwas an und ist von Schuhsohlen-ähnlicher Form, das Ostium ist dabei länger als die Cauda. Das von der Ventrallinie gut begrenzte Ventralfeld zeigt eine feine Skulptur in Form von Knötchen, die, wenn sie weggelöst sind, ein netzförmiges Muster entstehen lassen (Taf. 3, Fig. 3).

Die zusammen mit den Sagitten gefundenen Lapilli (Taf. 3, Fig. 8) sind von länglicher Form und durch das zugespitzte hintere Ende gekennzeichnet. Die Dorsalseite ist glatt und konvex, vorne ist eine tiefe Rinne erkennbar, die etwa bis zur Mitte des Lapillus reicht und dort in einen Höcker mündet. Die Ventralseite ist konvex und im hinteren Teil mit einigen radialen Runzeln

versehen. Der größte Lapillus ist 0,62 mm lang und 0,47 mm breit.

Bemerkungen zur Taxonomie und Systematik: Die vorliegenden Sagitten stimmen mit den von WEILER (1961) als „*Umbra* cf. *dilata*“ bezeichneten Exemplaren aus dem nordhessischen Melanienton überein (zum Vergleich lagen aus der Slg. des GZG, Göttingen, Otolithen aus dem Melanienton C der Bohrungen PREAG 3254, PREAG 2676 und Frielendorf 1980 vor; siehe Taf. 3, Fig. 9–10). STINTON (1977: 74) hatte den Artnamen *valida* für eine Art definiert, die erstmals von FROST (1933) unter dem nicht verfügbaren Namen *dilatatus* aus den unteroligozänen Bembridge Marls der Gurnard Bay, Isle of Wight, Großbritannien, beschrieben worden war. Die Sagitta, die STINTON (1977: Taf. 5, Fig. 14a–b) als „*Umbra valida*“ abbildete, wurde nachfolgend von Dr. Dirk Nolf (Institut royal Sciences naturelles, Bruxelles) untersucht und gezeichnet. Auf der Grundlage dieser Zeichnung, die Dr. Dirk Nolf uns freundlicherweise zur Verfügung stellte, sowie der von STINTON (1977) wiedergegebenen Fotografie ist die Übereinstimmung der STINTON'schen und der hier vorliegenden Sagitten offensichtlich. Hinsichtlich der systematischen Einordnung folgen wir der von NOLF & REICHENBACHER (1999) formulierten Auffassung, dass Sagitten dieses Typs nicht der Familie Umbridae angehören, sondern einer ausgestorbenen Familie der Percoidei.

Bemerkungen zur Sedimentologie und Paläoökologie: „genus Percoideorum“ *validus* (STINTON 1977) kommt in der Bohrung Wallau B98-BK5 ausschließlich in einem Abschnitt vor, der durch zwei anoxische Ereignisse begrenzt ist. Eine eng genommene Probenreihe zwischen 83,95 m und 84,60 m lässt die folgende Entwicklung erkennen: Die Proben 84,55–84,60 m und 84,32–84,37 m sind im Schlämmrückstand durch fossilfreie, glimmerhaltige, graue bis schwarze Tonplättchen charakterisiert, die in der Probe 84,55–84,60 m Kupfer-Anflüge erkennen

lassen. Unmittelbar darüber (84,25–84,30 m) beginnt eine schwache Nannoplankton-Führung, Ostracoden kommen vor und vereinzelt sind Foraminiferen vorhanden (s. MARTINI & RADTKE 2007: Beil. 1). Hier konnten die ersten seltenen Otolithen von „genus *Percoideorum*“ *validus* festgestellt werden. In den darüber folgenden Proben, die auch hellere Sedimentfarben aufweisen, sind Nannoplankton, Ostracoden, Foraminiferen, Gastropoden und Lamellibranchiaten-Brut sowie

Otolithen von „genus *Percoideorum*“ *validus* reichlich vertreten. Die Fossilführung findet bei 84,00 m ein abruptes Ende. Die Probe 83,95–84,00 m ist fossilfrei und enthält in einem dunkelgrauen Ton Steinsalzkristalle. In den darüber folgenden Proben sind Nannoplankton und vereinzelt Lamellibranchiaten vorhanden, Otolithen von „genus *Percoideorum*“ *validus* sind jedoch nicht mehr nachweisbar (Abb. 5).

5. Stratigraphische Abfolge der Fischfaunen und Korrelation zwischen den Wallau-Bohrungen

In der Bohrung Wallau B98-BK5 wurde die gesamte Abfolge der Mittleren Pechelbronn-Schichten erfasst, da alle bekannten Nannoplankton-Leithorizonte angetroffen wurden. In der Bohrung Wallau W07 wurde dagegen nur der Nannoplankton-Leithorizont 6 nachgewiesen, der Leithorizont 5 wurde nicht erreicht.

In beiden Bohrungen enthält der obere Otolithen-führende Abschnitt nur *Enoplophthalmus* sp. 1 (W07: 60,63 bis 67,52 m, B98-BK5: 53,00 bis 59,60 m). Dieser Bereich ist mit der ZFH korrelierbar, da der für die ZFH charakteristische Nannoplankton-Leithorizont 6 jeweils angetroffen wurde (Abb. 5).

Darunter wurden in der W07 weiterhin *Enoplophthalmus* sp. 1 sowie bei 68,40 m *Dapalooides sieblosensis* angetroffen. Von 68,40 bis 74,22 m kommt außerdem *Notogoneus* sp. 1 vor. Ab 74,22 m ist bis zur untersten Otolithen-führenden Probe (bei 78,70 m) nur noch *Enoplophthalmus* sp. 1 zu finden. Der gesamte Bereich ist ebenfalls der ZFH zuzuordnen, da keine weiteren Nannoplankton-Leithorizonte gefunden wurden. Auch die Ostracodenfauna enthält nach GRIEBEMER et al. (2007) nur Arten der ZFH.

In der Bohrung B98-BK5 ist ab 60,43 m weiterhin *Enoplophthalmus* sp. 1 verbreitet, zwischen 68,40 und 73,85 m sowie bei 75,15 m sind außerdem einige *Perca* sp. 1 vorhanden. Im Un-

terschied zum entsprechenden Teufenbereich der Bohrung W07 ist *Notogoneus* sp. 1 nur in der Probe 60,43–60,46 m und *Dapalooides* gar nicht vertreten. Der gesamte Bereich unterhalb 68,40 m befindet sich über dem Nannoplankton-Leithorizont 3 (jüngster Leithorizont für die ZFM) und unter Leithorizont 4 (ältester Leithorizont für die ZFH) und kann mit der ZFB korreliert werden. Dafür sprechen auch die außerdem gefundenen Bryozoen (MARTINI & RADTKE 2007: Beil. 1). Nach rund 1,30 m ohne Otolithen sind von 75,15 bis 83,60 m nochmals einige *Enoplophthalmus* sp. 1 enthalten. Ab 82,00 m gehört dieser Abschnitt bereits der höheren ZFM an, da der Nannoplankton-Leithorizont 3 enthalten ist (Abb. 5). Etwas tiefer, von 84,00 bis 84,30 m, kommt ausschließlich „genus *Percoideorum*“ *validus* vor. Dieses Vorkommen ist durch den Nannoplankton-Leithorizont 2 gekennzeichnet und deshalb ebenfalls der ZFM zuzuordnen.

In der Bohrung B98-BK5 beträgt der Abstand zwischen den Leithorizonten 6 und 5 etwa 11 m, in der W07 wurde bis zur Endteufe von 80,20 m, also bis 15 m unter dem Leithorizont 6, der Leithorizont 5 nicht erbohrt (Abb. 7). Weiterhin fällt auf, dass in der B98-BK5 keine *Notogoneus/Dapalooides*-Vorkommen, wie in der W07, zu finden sind, somit offenbar ca. 7,0 m Sediment in der B98-BK5 fehlen. Als Ursache kommt am ehesten

eine subaquatische Rutschung in Frage, die diese Abfolge entfernt hat. Projiziert man die fehlenden 7,0 m in die Bohrung B98-BK5 zwischen die Leithorizonte 6 und 5, dann würde der Leithorizont 5 etwa 17,0 m unter dem Leithorizont 6 liegen (anstatt 11 m). Entsprechend wäre der Leithorizont 5 in der Bohrung W07 ebenfalls 17,0 m unter dem Leithorizont 6 und damit unterhalb der Endteufe in der W07 zu erwarten (Abb. 7).

Eine weitere Unregelmäßigkeit in der Bohrung B98-BK5 betrifft einen Abschnitt zwischen 43,60

und 43,75 m im obersten Bereich der Mittleren Pechelbronn-Schichten. Hier wurde offensichtlich verschlepptes Nannoplankton angetroffen, darunter die Leitform des Horizontes 6 *Trochoaster tripartitus* bei 43,60–43,65 m sowie eine unbekannte tonnenförmige Art bei 43,74–43,75 m. Dieser Befund weist ebenfalls auf eine synsedimentäre Unruhe im Ablagerungsraum hin. In der nur 50 m entfernten Bohrung W07 ist dieser Bereich trotz entsprechender Probennahme nicht nachweisbar.

6. Paläoökologie und Biostratigraphie

Eine gering diverse bis monospezifische Fisch-Fauna, wie sie in den Mittleren Pechelbronn-Schichten der beiden Bohrungen vorgefunden wurde, lässt generell auf eine lagunäre oder brackische Fazies schließen. Arten der hier vertretenen fossilen Gattungen *Enoplophthalmus*, *Notogoneus* und *Dapaloides* sind aus oligozänen und miozänen Brackwasserablagerungen teilweise in beträchtlicher Häufigkeit nachgewiesen, fehlen jedoch oder sind selten in marinen bzw. lakustrinen Sedimenten (GAUDANT & REICHENBACHER 1998: über *Enoplophthalmus*; WEILER 1963, REICHENBACHER 2000: über *Notogoneus*; GAUDANT 1989, REICHENBACHER 1995, MARTINI & REICHENBACHER 1998: über *Dapaloides*).

In den Proben mit „genus Percoideorum“ *validus* fällt die Abwesenheit des ansonsten in jeder Otolithen-führenden Probe nachgewiesenen *Enoplophthalmus* sp. 1 auf. Die Ursache dafür könnte eine erhöhte, annähernd marine Salinität gewesen sein, denn „genus Percoideorum“ *validus* kommt in der ZFM zusammen mit einer gut entwickelten Nannoplankton-Gemeinschaft im Bereich des Nannoplankton-Leithorizontes 2 vor (Tab. 2); das Paläo-Milieu war also möglicher-

weise zu salzhaltig für *Enoplophthalmus* sp. 1. Allerdings wurde „genus Percoideorum“ *validus* im Mittel- und Ober-Eozän sowie im Unter-Oligozän von England (Bembridge Marls) in fluviatilen, ästuarinen und brackischen Sedimenten gefunden (STINTON 1977: als *Umbra valida*; FROST 1933: als *Otolithus* (*Clupeidarum*) *dilatus*).

In diesem Zusammenhang ist interessant, dass die Einwanderung von „genus Percoideorum“ *validus* mit der Bildung von Schwarzpeliten zusammenfällt (RADTKE et al. 2007). DERSCH-HANSMANN (2007) führt deren Genese auf verstärkten Eintrag von terrigenem Material durch Süßwasserzuflüsse zurück. Danach wäre zu schließen, dass die Einwanderung von „genus Percoideorum“ *validus* aus einem Fluss bzw. über das damalige Binnengewässernetz erfolgte; *Enoplophthalmus* sp. 1 würde in diesem Fall fehlen, weil das Wasser nicht mehr brackisch, sondern (nahezu) ausgesüßt war. Allerdings stehen diese Annahmen in Widerspruch zu den gemeinsam mit „genus Percoideorum“ *validus* vorkommendem Nannoplankton, den Bolboformen, Foraminiferen und Ostracoden (GRIEBEMER et al. 2007, GRIMM et al. 2007).

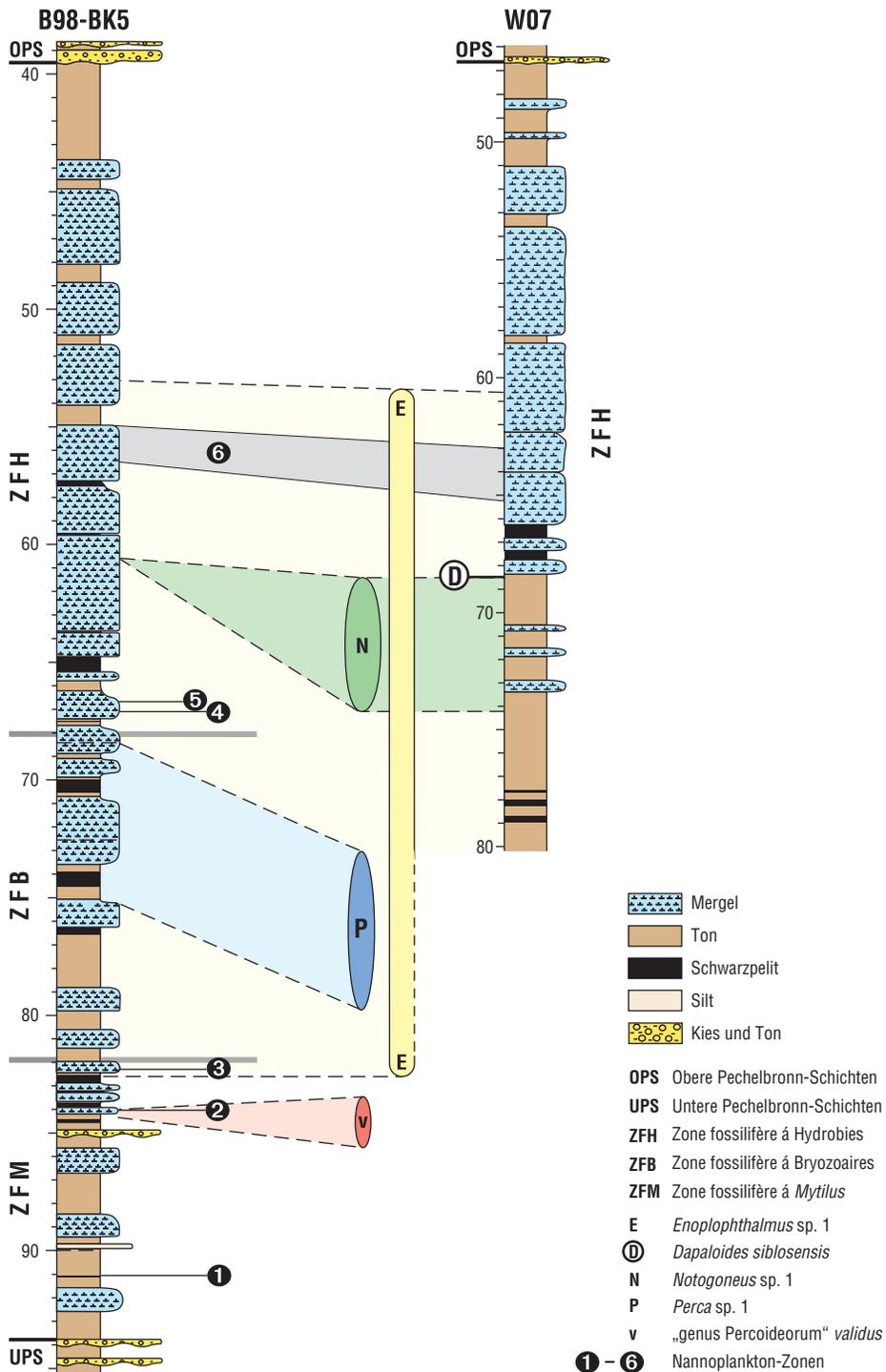


Abb. 7. Korrelation der Bohrungen Wallau B98-BK5 und W07 im Bereich der Mittleren Pechelbronn Schichten aufgrund der Nannoplankton-Leithorizonte und Vorkommen von Fisch-Otolithen.

7. Paläobiogeographie der Fischarten

Die Sagittenmerkmale von *Notogoneus* sp. 1 weisen auf verwandtschaftliche Beziehungen zu *Notogoneus longiceps* hin. Diese Art war vom späten Ober-Oligozän bis zum Unter-Miozän im Oberrheingraben und im Mainzer und Hanauer Becken verbreitet und sehr häufig (REICHENBACHER 2000). Außerhalb dieser Regionen ist *N. longiceps* bislang nicht sicher nachgewiesen. VAN HINSBERGH (1980) stellte eine einzelne Sagitta aus der unteroligozänen Atuatuca-Formation des südlichen Nordseebeckens (Region zwischen Maastricht in den Niederlanden und Tongeren in Belgien) zu *Notogoneus longiceps*, und WEILER (1961) vermutete für eine weitere einzelne Sagitta („*Notogoneus* sp.“) aus dem Melanienton ebenfalls eine Zugehörigkeit zu *Notogoneus longiceps*. Diese Bestimmungen sind jedoch unsicher. Wenn *Notogoneus* sp. 1 mit *Notogoneus cuvieri* identisch ist (Kap. 4.3.1), dann war die Art ein Faunenelement des Pariser Beckens.

Die Sagittenmerkmale von *Enoplophthalmus* sp. 1 lassen auf nahe Beziehungen zu *Enoplophthalmus rhenanus* und *E. robustus* schließen. Beide Arten waren im Ober-Oligozän und Unter-Miozän im Oberrheingraben und im Mainzer und Hanauer Becken verbreitet und sehr häufig (REICHENBACHER 2000). Außerhalb von Oberrheingraben und Mainzer/Hanauer Becken sind sie bislang nicht sicher nachgewiesen, denn die von VAN HINSBERGH (1980) als „*Thaumaturus rhenanus*“ beschriebenen Sagitten aus der Atuatuca-Formation repräsentieren wahrscheinlich juvenile *Osmerus*-Vertreter (Kap. 4.3.2). Aus dem Unter-Oligozän sind zwei weitere Arten der Gattung *Enoplophthalmus* anhand von Skeletten nachgewiesen: *E. alsaticus* GAUDANT & BURKHARDT 1984 aus dem südlichen Oberrheingraben und möglicherweise identisch mit *Enoplophthalmus* sp. 1 (Kap. 4.3.2) und *E. schlumbergeri* SAUVAGE 1880 aus Céreste in Südfrankreich (Tethys). Schließlich ist

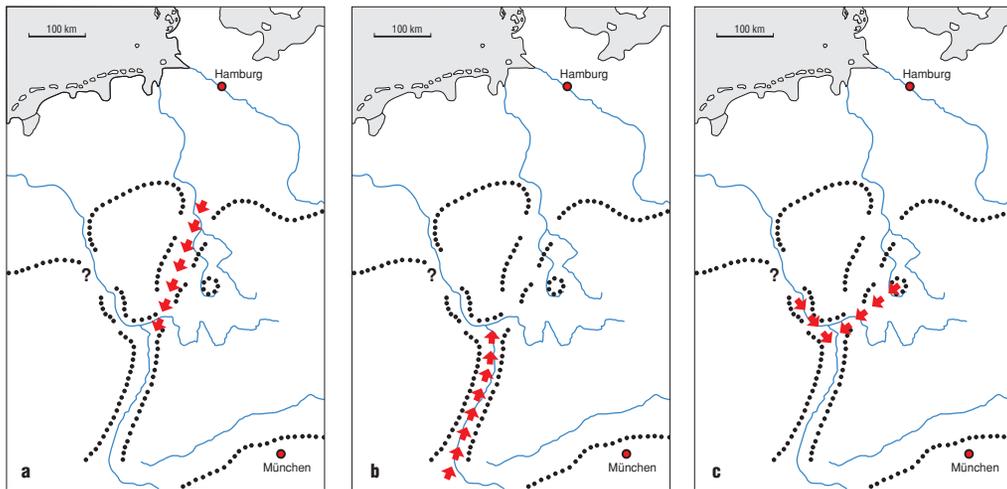


Abb. 8. Einwanderung von Fischen zur Zeit der Mittleren Pechelbronn-Schichten in das nordöstliche Mainzer Becken. **a:** Höhere ZFM: Einwanderung von „genus Percoideorum“ *validus* (STINTON 1977) aus dem nordhessischen Melanienton bzw. Unter-Oligozän des Nordsee-Beckens. **b:** Höchste ZFM: Einwanderung von *Enoplophthalmus* sp. 1 aus dem Süden. **c:** ZFH: Mögliche Herkunft von *Dapaloides sieblosensis* (WINKLER 1880) aus der Sieblos-Formation der Rhön bzw. Maifeld-Formation des Neuwieder Beckens. Die gepunktete Linie stellt die unteroligozänen Küstenlinien dar.

noch der Otolithen-Fund eines in offener Nomenklatur beschriebenen *Enoplophthalmus* aus dem Unter-Oligozän von Rumänien (Paratethys) zu erwähnen (REICHENBACHER & CODREA 1999). Damit ist *Enoplophthalmus* biogeographisch der Tethys/Paratethys-Faunenprovinz zuzurechnen, und *Enoplophthalmus* sp. 1 weist, ebenso wie einige Arten des umgelagerten Nannoplanktons (Kap. 3.8), auf eine Verbindung des Oberrheingrabens zur Tethys/Paratethys hin.

Dapalooides sieblosensis war bisher nur aus der unteroligozänen Sieblos-Formation der Rhön (Skelette und Otolithen) und aus der gleichalten Maifeld-Formation des Neuwieder Beckens (Otolithen) bekannt (MARTINI & REICHENBACHER 1998, REICHENBACHER 1995). Einige Skelettreste aus der Zone salifère moyenne im Steinbruch Altkirch/Elsaß stellten GAUDANT & BURKHARDT (1984) mit

Vorbehalt zur Gattung *Dapalooides*. Hier bleiben weitere Funde abzuwarten.

„genus Percoideorum“ *validus* kommt im nordhessischen Melanienton vor (WEILER 1961) und im Mittel- und Ober-Eozän sowie im Unter-Oligozän von England (FROST 1933, STINTON 1977). Die Art ist ein küstennah lebender Fisch der paläogenen südlichen Nordsee. Nach unseren Untersuchungen an Material aus der Bohrung PREAG 3254 (Slg. GZG, Göttingen) scheint „genus Percoideorum“ *validus* im Melanienton auf den marin-brakischen Horizont C beschränkt zu sein.

Insgesamt umfasst die Fischfauna der Mittleren Pechelbronn-Schichten somit Arten, die einen Faunenaustausch mit der südlichen Nordsee, der Hessischen Straße, der Paratethys/Tethys (Abb. 8) sowie möglicherweise mit dem Pariser Becken erwarten lassen.

8. Paläogeographie und stratigraphische Korrelationen

8.1 Ober-Eozän

Die bisher bekannte Paläobiogeographie von *Enoplophthalmus* sp. 1 weist auf eine Verbindung des Oberrheingrabens zur Faunenprovinz der Tethys/Paratethys hin (Kap. 7). Auch aufgrund der obereozänen Foraminiferenfauna aus der Roten Leitschicht, die im südlichen und mittleren Oberrheingraben die Unteren Pechelbronn-Schichten unterlagert, wurde eine derartige Verbindung vermutet (OHMERT 1993). Eine Nannoplankton-Gemeinschaft aus der Roten Leitschicht in der Bohrung Wolfartsweier (Abb. 1, Lok. 9: 12,0–12,6 m, unpublizierte Daten Prof. Dr. Erend Martini, Kronberg i.Ts.) enthält reichlich umgelagertes Nannoplankton aus der alpinen Kreide und dem Paläogen mit zahlreichen Leitformen, von denen als jüngste einsetzende Arten *Chiasmolithus oamaruensis* (ab Nannoplankton-Zone NP 18) und *Isthmolithus recurvus* (ab Zone NP 19) auf Ober-Eozän schließen lassen. Dies könnte in Übereinstimmung mit den Ergebnissen an den Foraminiferen (OHMERT 1993) auf einen

verhältnismäßig schnellen marinen Vorstoß im Ober-Eozän hinweisen, der eine kurzfristige Verbindung zwischen Tethys/Paratethys und Oberrheingraben zur Folge hatte.

Ein mit dem Nannoplankton der Roten Leitschicht vergleichbarer Nannoplankton-Horizont wurde im Rahmen unserer Untersuchungen erstmals auch im höchsten Teil des nordhessischen Melanienton A in der PREAG-Bohrung 3221 bei Borken nachgewiesen. In einer ansonsten durch die Süßwasseralgale *Phacotus lenticularis* geprägten Abfolge mit nur geringen Umlagerungserscheinungen setzt plötzlich zwischen 138,48 und 138,59 m (mit Schwerpunkt in der Probe 138,54–138,55 m) eine autochthone Nannoplankton-Gemeinschaft ein. Gleichzeitig ist kurzfristig ein deutlicher Anstieg von umgelagerten Stücken aus der höheren Kreide (vorwiegend Santon/Campan) festzustellen. Die autochthone Nannoplankton-Gemeinschaft enthält u. a. *Discoaster barbadiensis*, *Discoaster saipanensis*, *Cyclococcolithus*

thus formosus, *Reticulofenestra umbilicus*, *Chiasmolithus oamaruensis* und *Isthmolithus recurvus* und kann in die obereozäne Nannoplankton-Zone NP 19/20 gestellt werden (Abb. 9). Demzufolge

ist im Ober-Eozän ein abrupter mariner Vorstoß nicht nur im Oberrheingraben, sondern auch im nordhessischen Raum nachweisbar.

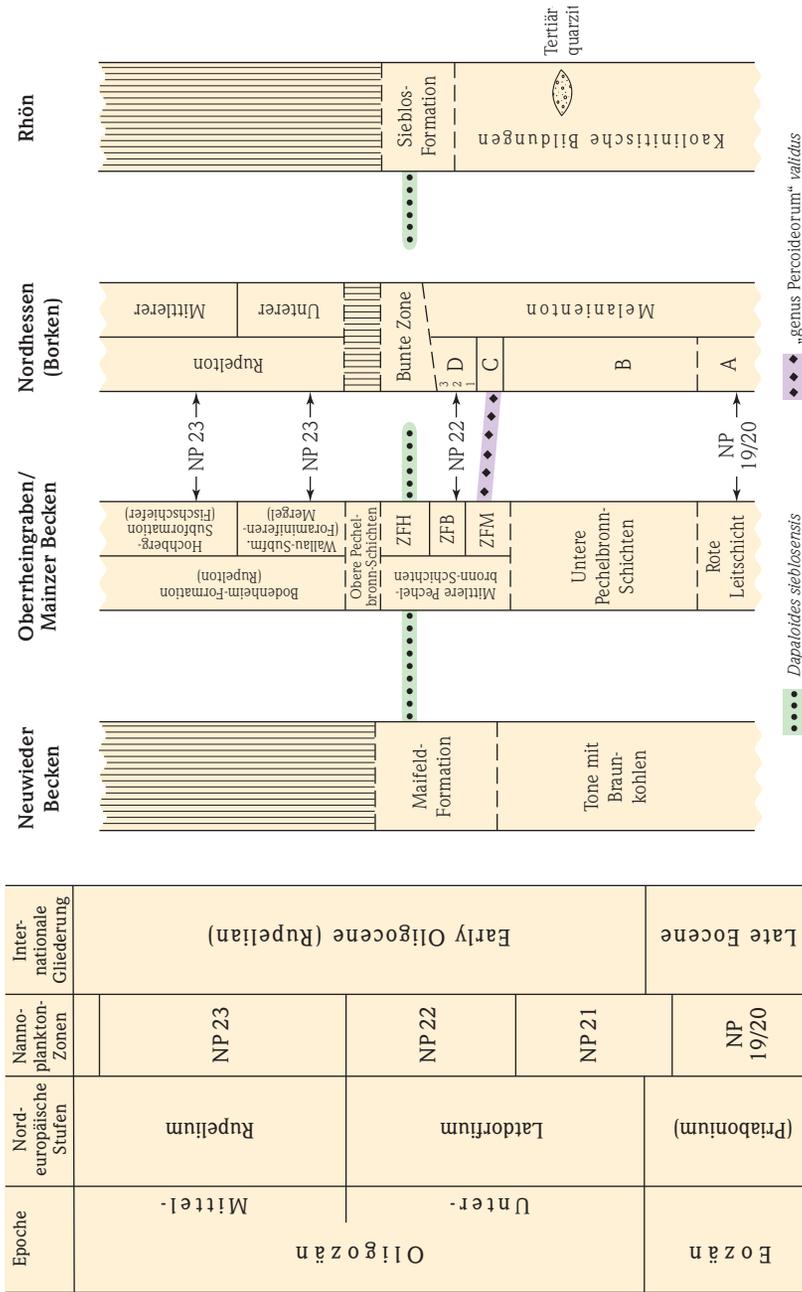


Abb. 9. Stratigraphische Übersicht und Korrelationen zwischen dem Neuwieder Becken, dem Oberrheingraben/Mainzer Becken, Nordhessen (Borken) und der Rhön mit Angaben von Nannoplankton-Zonen und Orolithen-Vorkommen von *Dapaloides sieblosensis* (WINKLER 1880) und „genus Percoideorum“ *validus* (STINTON 1977).

8.2 Unter-Oligozän

Im Oberrheingraben konnten die in Bohrungen und Aufschlüssen angetroffenen Abfolgen der Mittleren Pechelbronn-Schichten aufgrund der Nannoplankton-Vorkommen und Nannoplankton-Leithorizonte miteinander korreliert werden (Abb. 2). Der Anteil umgelagerter Arten in den Nannoplankton-Gemeinschaften zeigt, dass die Strö-

mungsverhältnisse während der Ablagerungszeit der Mittleren Pechelbronn-Schichten gleichbleibend nach Norden gerichtet waren. Dadurch wurde Nannoplankton aus dem im südlichen Oberrheingraben anstehenden Jura ständig nach Norden bis an den Südrand des Taunus verfrachtet.

8.2.1 Zone fossilifère à Mytilus (ZFM)

Es ist bemerkenswert, dass umgelagerte Nannoplankton-Arten aus der nicht-alpinen Oberkreide (vgl. Kap. 3.9) auf den nordöstlichen Teil des Oberrheingrabens beschränkt sind (Abb. 3). Das Artenspektrum einerseits im nordhessischen Melanienton von Borken (vor allem in den Horizonten C und D) und andererseits in der ZFM in der Bohrung Stockstadt 1 deutet eine Verbindung zwischen dem Ablagerungsraum des Melanien-

tons und dem Oberrheingraben für den Zeitraum der ZFM an. Die Fischfauna bekräftigt diese Vermutung, da „genus Percoideorum“ *validus* im Oberrheingraben auf die ZFM (Bohrung Wallau B98-BK5) begrenzt und außerdem nur noch aus dem Melanienton (Horizont C) bekannt ist. Demnach könnte während der ZFM ein mariner Vorstoß aus dem nordhessischen Ablagerungsraum den Oberrheingraben erreicht haben (Abb. 9).

8.2.2 Zone fossilifère à Bryozoaires (ZFB)

Es sind bisher kaum Hinweise vorhanden, die für eine überregionale Anbindung des Oberrheingrabens zur Zeit der ZFB sprechen. Hinweise auf eine südliche Herkunft geben aller-

dings die zahlreichen Otolithen von *Enoplophthalmus* sp. 1 (vgl. Kap. 7 und Abb. 8) sowie Bryozoen der Gattung *Penemía* (SCHOLZ & VÁVRA 2007).

8.2.3 Zone fossilifère à Hydrobies (ZFH)

In der ZFH, also dem jüngsten Teil der Mittleren Pechelbronn-Schichten, wurden aus dem Alpenraum neben Jura-Arten auch Kreide-Arten in größerem Ausmaß im südlichen und südwestlichen Oberrheingraben verbreitet. Auf einen Transport in nördlicher bis nordwestlicher Richtung weisen auch Messungen an Mikroturbiditen im Steinbruch Altkirch im Elsaß hin (DURINGER 1988: Abb. 45). Ob die wenigen Sagitten von *Dapaloides sieblosensis* in der ZFH auf Verbreitungsmöglichkeiten für Fische vom Oberrhein-

graben zum Neuwieder Becken bzw. nach Sieblos/Rhön deuten (REICHENBACHER 1995: Abb. 4) oder vielleicht durch Vögel „verschleppt“ wurden, ist unsicher. Hinweise auf Wasserwege zwischen Oberrheingraben und Neuwieder Becken geben allerdings auch die Ostracoden (SCHÄFER 1986) und die Charophyten (SCHWARZ 1994). Aus dem Melanienton ist *D. sieblosensis* unbekannt, entweder wurde der nordhessische Raum von der Art nicht besiedelt oder die entsprechenden Sedimente sind abgetragen oder entkalkt (RITZ-

KOWSKI 1967). In den höheren ZFH erliegen die Umlagerungsvorgänge nach einer Phase verstärkten Transportes weitgehend (Abb. 4). In der

Fischfauna ist nur noch *Enoplophthalmus* sp. 1 vertreten, überregionale Einflüsse sind nicht mehr erkennbar.

8.3 Korrelation mit dem Melanienton von Nordhessen

Basierend auf „genus Percoideorum“ *validus* und dem Nannoplankton könnte die ZFM der Mittleren Pechelbronn-Schichten stratigraphisch dem Horizont C und dem Horizont D des Melanientons von Nordhessen entsprechen. Die zwischen Melanienton und überlagerndem Rupelton nachgewiesene „Bunte Zone“ und Erosionsdiskordanz (RITZKOWSKI 1967) würde weitgehend der ZFB und ZFH sowie den Oberen Pechelbronn-Schichten entsprechen. Eine ähnliche Korrelierung nimmt GRIEBEMER (1998: Fig. 2) vor, der die Horizonte C und D des Melanientons ebenfalls nur mit einem kleinen Abschnitt im unteren Teil der Mittleren Pechelbronn-Schichten (ZFM) korreliert und sich dabei auf Ostracodendaten bezieht. Eine Übersicht gibt Abb. 9.

Danksagung: Für Diskussion und Bereitstellung von Proben danken wir den Herren Dr. F. Doebl † (vorm. Wintershall AG, Landau), Dipl.-Geol. Th. Griebemer (Schifferstadt), Dr. D. Nolf (Institut royal des Sciences naturelles, Bruxelles),

Dr. W. Ohmert (vorm. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Freiburg), Prof. Dr. V. Sonne (vorm. LGB-RP, Mainz) und Frau Dr. G. Radtke (HLUG). Den Herren Prof. Dr. A. Müller (IGG, Leipzig), Dr. S. Ritzkowski (vorm. GZG, Göttingen) und Dr. L. van den Hoek (Naturhist. Museum, Leiden) danken wir weiterhin für Informationen und Ausleihe von Otolithen. Frau R. Preiss (Labor für Elektronenmikroskopie, Karlsruhe), Herrn G. Janssen (Department für Geo- und Umweltwissenschaften, Univ. München) und Herrn B. Kahl (Institut für Geowissenschaften, Frankfurt a. M.) danken wir für die Fotoarbeiten. Die REM-Aufnahmen der Fisch-Otolithen wurden am Laboratorium für Elektronenmikroskopie der Universität Karlsruhe angefertigt; Herrn V. Zibat sei für seine Hilfe herzlichst gedankt. Für die konstruktive und redaktionelle Bearbeitung der Abbildungen danken wir Frau Dr. G. Radtke und für die graphische Umsetzung Frau J. von Dziegielewski (beide HLUG).

9. Schriftenverzeichnis

- DOEBL, F. (1969): Ein Oberflächenaufschluss in den Pechelbronner Schichten (Sannois) bei Nackenheim (Westliches Mainzer Becken). – *Oberrhein. geol. Abh.*, **18**: 47–51, 1 Abb.; Karlsruhe.
- DERSCH-HANSMANN, M. (2007): Organisch-geochemische Untersuchungen an unteroligozänen Sedimenten der Bohrung Wallau B98-BK5. – In: RADTKE, G. & MARTINI, E. (Hrsg.): Die Bohrungen Wallau im nordöstlichen Mainzer Becken (Rotliegend, Pechelbronn-Gruppe, Bodenheim-Formation). – *Geol. Abh. Hessen*, **116**: 113–126, 5 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- DURINGER, P. (1988): Les conglomérats des bordures du rift cénozoïque rhénan. Dynamique sédimentaire et contrôle climatique. – Thèse en Sciences, *Sci. Nat. Univ.*: 231 p., 150 figs., 14 pls.; Strasbourg.
- FROST, G.A. (1933): Otoliths of fishes from the Lower Tertiary Formations of Southern England. – I. *Iso-spondyli, Apodes, Berycomorphi*. – *Ann. Mag. Nat. Hist.*, **12** (10): 387–396, pl. 12; London.
- GAD, J., MARTINI, E., ROTHAUSEN, K. & TOBIEN, H. (1990): *Theridomys pseudosiderolithicus* (Rodentia, Mammalia) aus den unteroligozänen Vorkommen

- von Bodenheim bei Mainz (Mainzer Becken), Neustadt, Kreis Marburg (Hessische Senke), der Isle of Wight (Hampshire Becken) und deren Beziehungen zur marinen Standard-Biostratigraphie. – *Mainzer geowiss. Mitt.*, **19**: 163–182, 8 Abb.; Mainz.
- GAUDANT, J. (1981a): Un nouveau Cyprinodontidae (poisson Téléostéen) de l'Oligocène inférieur de Kleinkems (pays de Bade, Allemagne): *Prolebias rhenanus* nov. sp. – *Bull. Sci. Géol.*, **34** (1): 3–12, 2 figs., 1 pl.; Strasbourg.
- GAUDANT, J. (1981b): Nouvelles recherches sur l'ichthyofaune des zones salifères moyenne et supérieure (Oligocène inférieur) du bassin potassique Alsacien. – *Bull. Sci. Géol.*, **34** (4): 209–218, 3 figs., 1 pl.; Strasbourg.
- GAUDANT, J. (1985): Mise au point sur les Vertébrés inférieurs de l'Oligocène de Sieblos (Hesse, Allemagne). – *Comptes rendus Acad. Sci. Paris (II)*, **300** (5): 185–188; Paris.
- GAUDANT, J. (1989): L'ichthyofaune stampienne des environs de Chartres-de-Bretagne, près de Rennes (Ille-et-Vilaine): un réexamen. – *Géol. France*, **1989** (1/2): 41–54, 6 figs., 2 pls.; Paris.
- GAUDANT, J. & BURKHARDT, T. (1984): Sur la découverte de poissons fossiles dans les marnes grises rayées de la zone fossilifère (Oligocène basal) d'Altkirch (Haut-Rhin). – *Bull. Sci. Géol.*, **37** (2): 153–171, 6 figs., 1 pl.; Strasbourg.
- GAUDANT, J. & REICHENBACHER, B. (1998): Skelette der Gattung *Enoplophthalmus* SAUVAGE 1880 (Teleostei, Osmeridae) mit Otolithen in situ aus dem Unter-Miozän des Mainzer Beckens. – *N. Jb. Geol. Paläont., Abh.*, **210** (2): 237–266, 8 Abb., 3 Tab.; Stuttgart.
- GRIEBEMER, T.W. (1998): Ostracods – a tool for correlating Lower Oligocene deposits in Western Germany (Westphalia, Hesse and Rhine-Palatinate). – In: CRASQUIN-SOLEAU, S., BRACINI, E. & LETHIERS, F. (eds.): *What about Ostracoda!* – Actes du 3^e Congrès Européen des Ostracodologists, Paris-Bierville, France, 8–12 juillet 1996. – *Bull. Centre Rech. Elf Explor. Prod., Mém.*, **20**: 141–157, 4 figs., 4 pls.; Pau.
- GRIEBEMER, T.W., UFFENORDE, H. & RADTKE, G. (2007): Die Ostracoden der Mittleren Pechelbronn-Schichten (Unter-Oligozän) in der Bohrung Wallau B98-BK5 (nordöstliches Mainzer Becken). – In: RADTKE, G. & MARTINI, E. (Hrsg.): *Die Bohrungen Wallau im nordöstlichen Mainzer Becken (Rotliegend, Pechelbronn-Gruppe, Bodenheim-Formation)*. – *Geol. Abh. Hessen*, **116**: 173–192, 3 Abb., 1 Taf., Beil. 4; Wiesbaden.
- GRIMM, K.I., RADTKE, G. & SPIEGLER, D. (2007): Foraminiferen und Bolboformen aus den Mittleren Pechelbronn-Schichten (tiefes Unter-Oligozän) der Bohrung Wallau B98-BK5. – In: RADTKE, G. & MARTINI, E. (Hrsg.): *Die Bohrungen Wallau im nordöstlichen Mainzer Becken (Rotliegend, Pechelbronn-Gruppe, Bodenheim-Formation)*. – *Geol. Abh. Hessen*, **116**: 157–171, 1 Abb., 2 Taf., Beil. 3; Wiesbaden.
- HINSBERGH, V. VAN (1980): Fish otoliths from euryhaline Oligocene deposits in Belgium (Atuatuca Formation) and the Netherlands (Goudsberg Deposits) and their paleoecological importance. – *Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geol.*, **17** (3): 199–223, 3 figs., 2 tabs., 2 pls.; Leiden.
- KÜMMERLE, E. (1996): „Milchquarzkies“, „Randfazies“ und Unteroligozän bei Wallau, Main-Taunus-Kreis. – *Jb. nass. Ver. Naturkde.*, **117**: 65–68, 1 Abb.; Wiesbaden.
- LERICHE, M. (1927): Les Poissons de la Molasse suisse. – *Abh. Schweiz. paläont. Ges.*, **46**: 1–55, 7 figs., 7 pls., 1 carte; Genève.
- MAIKOVSKI, V. (1941): Contribution à l'étude paléontologique et stratigraphique du bassin potassique d'Alsace. – *Mém. Serv. Carte géol. Alsace Lorr.*, **6**: 193 p., 18 tabs., 14 pls., 1 carte; Clermont-Ferrand.
- MARTINI, E. (1960): Braarudosphaeriden, Discoasteriden und verwandte Formen aus dem Rupelton des Mainzer Beckens. – *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **88**: 65–87, 5 Abb., Taf. 8–11; Wiesbaden.
- MARTINI, E. (1965): Die Fischfauna von Sieblos/Rhön (Oligozän). 2. Fischreste aus Koproolithen. – *Senckenbergiana lethaea*, **46a**: 307–314, 12 Abb., 1 Tab.; Frankfurt a. M.
- MARTINI, E. (1971): Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. – *Proc. II. Plankton. Conf., Roma 1970*, **2**: 739–785, 6 tabs., 4 pls.; Roma.
- MARTINI, E. (1972): Die Gattung *Eosphaeroma* (Isopoda) im europäischen Alttertiär. – *Senckenbergiana lethaea*, **53** (1/2): 65–79, 4 Abb., 2 Taf.; Frankfurt a. M.
- MARTINI, E. (1973): Nannoplankton-Massenvorkommen in den Mittleren Pechelbronn-Schichten (Unter-Oligozän). – *Oberrhein. geol. Abh.*, **22**: 1–12, 2 Abb., 3 Taf.; Karlsruhe.
- MARTINI, E. (1982): Bestandsaufnahme des Nannoplankton im „prä-aquitane“ Tertiär des Mainzer Beckens. – *Mainzer geowiss. Mitt.*, **10**: 29–36, 1 Tab.; Mainz.
- MARTINI, E. (1987): Nannoplankton aus dem nordhessischen Melanienton und von Sieblos/Rhön (Unter-

- Oligozän). – Geol. Jb. Hessen, **115**: 161–169, 1 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- MARTINI, E. (1990): The Rhinegraben system, a connection between northern and southern seas in the European Tertiary. – Veröff. Übersee-Mus., **A 10**: 83–98, 208–211, 7 figs.; Bremen.
- MARTINI, E. (1991): Endemische Vertreter der Gattung *Trochoaster* (kalkiges Nannoplankton) im westdeutschen Unter-Oligozän. – Geol. Jb., **A 128**: 167–177, 5 Abb., 2 Taf.; Hannover.
- MARTINI, E. (1995): Kalkiges Nannoplankton aus dem Unter-Oligozän von Morvillars, Territoire de Belfort, Frankreich. – Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver., N.F., **77**: 265–269, 1 Taf.; Stuttgart.
- MARTINI, E. (1998): Eine neue *Trochoaster*-Art (Nannoplankton) mit Leitcharakter in den Mittleren Pechelbronn-Schichten (Unter-Oligozän). – Mainzer naturwiss. Archiv, Beiheft, **21** (ROTHAUSEN-Festschrift): 71–75, 2 Abb., 1 Taf.; Mainz.
- MARTINI, E. & MÜLLER, C. (1971): Das marine Alttertiär in Deutschland und seine Einordnung in die Standard Nannoplankton-Zonen. – Erdöl u. Kohle, Erdgas, Petrochemie, **24**: 381–384, 1 Taf.; Hamburg.
- MARTINI, E. & RADTKE, G. (2007): Die Bohrungen Wallau im nordöstlichen Mainzer Becken (Rotliegend, Pechelbronn-Gruppe, Bodenheim-Formation) – Einführung und Synthese. – In: RADTKE, G. & MARTINI, E. (Hrsg.): Die Bohrungen Wallau im nordöstlichen Mainzer Becken (Rotliegend, Pechelbronn-Gruppe, Bodenheim-Formation). – Geol. Abh. Hessen, **116**: 7–36, 10 Abb., 1 Tab., Beil. 1; Wiesbaden.
- MARTINI, E. & REICHENBACHER, B. (1998): Fisch-Otolithen aus den Forschungsbohrungen Sieblos 1994/1 und 1994/2 (Rhön; Unter-Oligozän). – In: E. MARTINI & P. ROTHE (Hg.): Die alttertiäre Fossilagerstätte Sieblos an der Wasserkuppe/Rhön. – Geol. Abh. Hessen, **104**: 253–260, 1 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- MARTINI, E. & SCHILLER, W. (1998): Kalkiges Nannoplankton von Sieblos/Rhön und dem Neuwieder Becken (Unter-Oligozän). – In: E. MARTINI & P. ROTHE (Hg.): Die alttertiäre Fossilagerstätte Sieblos an der Wasserkuppe/Rhön. – Geol. Abh. Hessen, **104**: 165–172, 1 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Wiesbaden.
- MÜLLER, C. (1971): Nannoplankton-Gemeinschaften aus dem W-deutschen Mittel-Oligozän. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **99**: 43–53, 1 Tab., Taf. 5; Wiesbaden.
- NICKEL, B. (1996): Palynofazies und Palynostratigraphie der Pechelbronn Schichten im nördlichen Oberrheingraben. – Palaeontographica, **B 240**: 151 S., 10 Abb., 4 Diagr., 21 Taf.; Stuttgart.
- NOLF, D. (1977): Les otolithes des téléostéens de l'Oligo-Miocène belge. – Ann. Soc. roy. zool. Belg., **106** (1): 3–119, 3 figs., 3 tab., 18 pls.; Bruxelles.
- NOLF, D. & REICHENBACHER, B. (1999): Fisch-Otolithen aus brackischen Faziesräumen aus dem Mittel-Eozän von Norditalien und Ungarn. – Bull. Inst. roy. Sci. nat. Belg., **69**: 187–196, 1 Tab., 3 Taf.; Bruxelles.
- OHMERT, W. (1993): Eine obereozäne Foraminiferenfauna aus dem südlichen Oberrheingraben. – Zitteliana, **20**: 323–329, 2 Abb., 1 Taf.; München.
- RADTKE, G., LIPPMANN, R. & GAUPP, R. (2007): Neues Vorkommen der Pechelbronn-Gruppe im Mainzer Becken (Ober-Eozän – tiefes Unter-Oligozän, Deutschland) – Lithologie und Sedimentologie der Bohrungen Wallau B98-BK5 und W07. – In: RADTKE, G. & MARTINI, E. (Hrsg.): Die Bohrungen Wallau im nordöstlichen Mainzer Becken (Rotliegend, Pechelbronn-Gruppe, Bodenheim-Formation). – Geol. Abh. Hessen, **116**: 37–72, 17 Abb., Beil. 2; Wiesbaden.
- REICHENBACHER, B. (1995): Unteroligozäne Fische (Otolithen) aus dem Neuwieder Becken (Rheinisches Schiefergebirge, West-Deutschland). – Paläont. Z., **69** (1/2): 241–255, 4 Abb.; Stuttgart.
- REICHENBACHER, B. (2000): Das brackisch-lakustrine Oligozän und Unter-Miozän im Mainzer Becken und Hanauer Becken: Fischfaunen, Paläoökologie, Biostratigraphie, Paläogeographie. – Courier Forsch.-Inst. Senckenberg, **222**: 143 S., 43 Abb., 5 Tab., 15 Taf.; Frankfurt a. M.
- REICHENBACHER, B. & CODREA, V. (1999): Fresh- to brackish water fish faunas from continental Early Oligocene deposits in the Transylvanian Basin (Romania). – Bull. Inst. roy. Sci. nat. Belg., **69**: 197–207, 2 figs., 1 tab., 2 pls.; Bruxelles.
- REICHENBACHER, B. & SIENKNECHT, U. (2001): Allopatric divergence and genetic diversity of Recent *Aphanius iberus* and fossil *Prolebias meyeri* (Teleostei, Cyprinodontidae) from southwest and western Europe, as indicated by otoliths. – Geobios, **34** (1): 69–83, 3 figs., 2 tabs.; Villeurbanne.
- RITZKOWSKI, S. (1967): Die Feingliederung des Hessischen Melanientons (Unteroligozän, nördliches Hessen). – Geologica et Palaeontologica, **1**: 97–100, 2 Abb.; Marburg.
- SCHÄFER, P. (1986): Eine unteroligozäne Mikrofauna von Bubenheim bei Koblenz (Tertiär, Neuwieder Becken). – Mainzer geowiss. Mitt., **15**: 65–76, 7 Abb.; Mainz.
- SCHOLZ, J. & VÁVRA, N. (2007): Eine neue Art der Gattung *Penemia* (Bryozoa, Cheilostomatida) aus den

- Mittleren Pechelbronn-Schichten (Unter-Oligozän) des Mainzer Beckens. – In: RADTKE, G. & MARTINI, E. (Hrsg.): Die Bohrungen Wallau im nordöstlichen Mainzer Becken (Rotliegend, Pechelbronn-Gruppe, Bodenheim-Formation). – Geol. Abh. Hessen, **116**: 193–203, 1 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- SCHWARZ, J. (1994): Unteroligozäne Charophyten aus dem Neuwieder Becken (Mittelrhein, Westdeutschland). – N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **191** (3): 445–459, 12 Abb.; Stuttgart.
- SCHWARZHANS, W.W. (1974): Die Otolithen-Fauna des Chatt A und B (Oberoligozän, Tertiär) vom Niederrhein, unter Einbeziehung weiterer Fundstellen. – Decheniana, **126** (1/2): 91–132, 78 Abb., 3 Tab.; Bonn.
- SCHWARZHANS, W.W. (1994a): Die Fisch-Otolithen aus dem Oberoligozän der Niederrheinischen Bucht. Systematik, Palökologie, Paläobiogeographie, Biostratigraphie und Otolithen-Zonierung. – Geol. Jb., **A 140**: 3–248, 541 Abb.; Hannover.
- SCHWARZHANS, W.W. (1994b): Sexual and ontogenetic dimorphism in otoliths of the family Ophidiidae. – Cybium, **18** (1): 71–98, 106 figs.; Lyon.
- SITTLER, C. (1965): Le Paléogène des fossés rhénaux et rhodaniens. Études sédimentologiques et paléoclimatiques. – Thèse Fac. Sci. Univ. Strasbourg: 392 p., 102 figs., 118 tab.; Strasbourg.
- SITTLER, C. (1969): Le fossé rhénaux en Alsace. Aspect structurel et histoire géologique. – Rev. geogr. phys. géol. dynam., **11** (5): 465–494, 20 figs., 2 tab.; Paris.
- SONNE, V. (1963): Zur Verbreitung unteroligozäner Schichten im westlichen Mainzer Becken. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **91**: 197–205, 3 Abb.; Wiesbaden.
- STINTON, F.C. (1977): Fish otoliths from the English Eocene. Part 2. – Palaeont. Soc. Monogr., **130**: 57–126, 24 figs., 9 tabs., pls. 4–8; London.
- THÉOBALD, N. (1934): Contribution à la paléontologie du bassin oligocène du Haut-Rhin et du Territoire de Belfort – Les poissons oligocènes. – Bull. Serv. Carte géol. Alsace Lorr., **2** (2): 117–162, 6 figs., pls. 11–15; Strasbourg.
- WEILER, W. (1961): Die Fischfauna des unteroligozänen Melientons und des Rupeltons in der Hessischen Senke. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **89**: 44–65, Taf. 8–9; Wiesbaden.
- WEILER, W. (1963): Die Fischfauna des Tertiärs im oberrheinischen Graben, des Mainzer Beckens, des unteren Maintales und der Wetterau, unter besonderer Berücksichtigung des Untermiozäns. – Abh. Senckenberg. naturforsch. Ges., **504**: 1–75, 259 Abb., 2 Taf.; Frankfurt a. M.
- WINKLER, T.C. (1880): Mémoire sur les poissons fossiles des lignites de Sieblos. – Arch. Mus. Teyler, **5**: 85–108, pls. 3–4; Haarlem.

10. Anhang

a. Liste der in den Mittleren Pechelbronn-Schichten gefundenen autochthonen Nannoplankton-Arten nebst einer Süßwasseralge*:

- Blackites spinosus* (DEFLANDRE) HAY & TOWE 1962
Blackites tenuis (BRAMLETTE & SULLIVAN) BYBELL 1975
Braarudosphaera bigelowi (GRAN & BRAARUD) DEFLANDRE 1947
Coccolithus pelagicus (WALLICH) SCHILLER 1930
Cyclicargolithus floridanus (ROTH & HAY) BUKRY 1971
Cyclococcolithus luminis SULLIVAN 1965
Dictyococcites dictyodus (DEFLANDRE & FERT) MARTINI 1969
Discolithina distincta (BRAMLETTE & SULLIVAN) LEVIN & JOERGER 1967
Helicosphaera minima (MARTINI) JAFAR & MARTINI 1975
Isthmolithus recurvus DEFLANDRE 1954
Isthmolithus rhenanus MARTINI 1973
Koczyia fimbriata (BRAMLETTE & SULLIVAN) PERCH-NIELSEN 1971
Lithostromation perdurum DEFLANDRE 1942
Markalius inversus (DEFLANDRE) BRAMLETTE & MARTINI 1964
Reticulofenestra insignita ROTH & HAY 1967
Reticulofenestra umbilicus (LEVIN) MARTINI & RITZKOWSKI 1968
Reticulofenestra sp. (kleine Arten)
Sphenolithus moriformis (BRÖNNIMANN & STRADNER) BRAMLETTE & WILCOXON 1967
Sphenolithus sp.
Trochoaster deflandrei (STRADNER) MARTINI & STRADNER 1960
Trochoaster deflandrei pseudoquadrupes MARTINI 1991
Trochoaster deflandrei torquatus MARTINI 1991
Trochoaster simplex KLUMPP 1953
Trochoaster simplex variabilis MARTINI 1991
Trochoaster tripartitus MARTINI 1998
Transversopontis pulcheroides (SULLIVAN) PERCH-NIELSEN 1971
Zygrhablithus bijugatus (DEFLANDRE) DEFLANDRE 1959
 * *Phacotus lenticularis* (EHRENBERG) STEIN 1878

b. Liste der weiteren erwähnten Nannoplankton-Arten aus dem Paläogen:

- Chiasmolithus oamaruensis* (DEFLANDRE) HAY, MOHLER & WADE 1966
Cyclicargolithus abisectus (MÜLLER) WISE 1979
Cyclococcolithus formosus KAMPTNER 1963
Discoaster barbadiensis TAN SIN HOK 1927
Discoaster saipanensis BRAMLETTE & RIEDEL 1954
Nannoserratolithus dissolutus MARTINI & SCHILLER 1998
Reticulofenestra lockeri MÜLLER 1970

c. Liste der erwähnten umgelagerten Nannoplankton-Arten aus Kreide und Jura:

<i>Arkhangelskiella cymbiformis</i> VEKSHINA 1959	
<i>Eiffellithus eximius</i> (STOVER) PERCH-NIELSEN 1968	
<i>Eiffellithus turriseiffeli</i> (DEFLANDRE) REINHARDT 1965	
<i>Eprolithus floralis</i> (STRADNER) STOVER 1966	
<i>Gartnerago obliquum</i> (STRADNER) REINHARDT 1970	
<i>Lucianorhabdus cayeuxi</i> DEFLANDRE 1959	
<i>Nannoconus steinmanni</i> KAMPTNER 1931	
<i>Prediscosphaera cretacea</i> (ARCHANGELSKY) GARTNER 1968	
<i>Reinhardtites anthophorus</i> (DEFLANDRE) PERCH-NIELSEN 1968	
<i>Watznaueria barnesae</i> (BLACK) PERCH-NIELSEN 1968	
<hr/>	
<i>Ellipsagelosphaera britannica</i> (STRADNER) PERCH-NIELSEN 1968	
<i>Schizosphaerella punctulata</i> DEFLANDRE & DANGEARD 1938	
<i>Stephanolithion bigotii</i> DEFLANDRE 1939	

Kreide

Jura

