

Statolithen: Kleine Fossilien ganz groß

Jens Lehmann

Manche Fossilgruppen werden nur von Spezialisten gesammelt – dazu gehören naturgemäß eine Reihe von Mikrofossilien wie die Skelettelemente von Seegurken, die Haken von Belemnitenarmen und auch Statolithen. Bei letzteren handelt es sich um kleine Körperchen, die für den Gleichgewichtssinn einiger Tiergruppen von großer Bedeutung sind. Dieser Beitrag soll zeigen, dass die Informationen, die man Statolithen entlocken kann, vielfältig sind und spannende Rückschlüsse ermöglichen. Das Wissenswerte über Statolithen wird hier mit Funden aus der Sammlung von Herbert Menzel illustriert (Abb. 1-3). Dieser ist als Hobbypaläontologe seit Jahrzehnten diesen kleinen, aber doch ästhetischen Fossilien verfallen.

Was sind Statolithen?

Im „Paläontologischen Wörterbuch“ werden Statolithen wie folgt definiert: „Kleine, feste Körperchen in den Hörbläschen vieler Tiere“ (Lehmann 1996). Entweder bilden die Tiere selbst kleine Kalkkörperchen, oder es werden Fremdkörper aufgenommen, wie bei manchen Krebstieren. Statolithen kommen bei Medusen, Turbellarien, Mollusken, Holothurien, Arthropoden und Wirbeltieren vor. Ihre Funktion ist stets dieselbe. Als Teil des Sinnesorgans dienen sie dazu, die Lage des Körpers im Raum zu erfassen. Fossil sind vor allem die Statolithen von Fischen, in manchen Sedimenten auch diejenigen von Cephalopoden verbreitet, weshalb hier auf diese beiden Gruppen näher eingegangen wird.

Otolithen – die bekanntesten Statolithen

Die bekanntesten Statolithen sind zweifelsohne die Otolithen, die Gehörsteine von Fischen. Im Gegensatz zum Knochenmaterial, das aus organischem Material und Calciumphosphat besteht, sind die Otolithen kalkig und damit kein Teil des Skelettes. Die Kalkkristalle der Otolithen sind in Otolin eingebettet, ein fibröses Protein, das neben dem Kalk nur 0,2-10 % eines Otolithen ausmacht (Nolf 2010). Das macht sie innerhalb der Wirbeltiere insofern einzigartig, als dass sie dennoch Hartteile sind und im statoakustischen Organ der höheren Fische vorkommen (z. B. Lehmann 1996, Nolf

1985). Das statoakustische Organ entspricht dem inneren Ohr, dem Labyrinth, und ist für den Gleichgewichtssinn und das Hörvermögen zuständig. Die Funktion der Otolithen ist es, die auf den Rezeptorzellen des Ohres liegende Masse zu vergrößern, wodurch die Reizung der Zellen erhöht wird. Im Schädel der Fische finden sich auf beiden Seiten des Gehirns drei Otolithen. Einer befindet sich im Utriculus, einer im Sacculus und einer in der Lagena des Labyrinths. Bei fast allen höheren Knochenfischen werden die saccularen Otolithen wesentlich größer als die im Utriculus und in der Lagena (Nolf 2010). Alle hier abgebildeten Otolithen entstammen dem Sacculus. Sie sind bis zu mehrere Millimeter lang, und man kann sie somit auch als Hobbypaläontologe mit einem guten Auflichtmikroskop gut untersuchen, ohne dass ein Rasterelektronenmikroskop nötig ist. Die Beschäftigung mit Otolithen wird weiterhin dadurch erleichtert, dass sie oft auch aus kleinen Probenmengen in großer Zahl gewonnen werden können. Bei der gezielten Suche nach Otolithen macht es Sinn, eine größere Maschenweite als üblich (>250 µm) beim Sieben zu verwenden. Bei der Otolithensuche sind zudem zwei Voraussetzungen zu beachten: Das Sediment muss gut zu sieben bzw. schlammbar sein, und es muss eine gute Aragonit-Erhaltung vorliegen, da Otolithen aus dieser leichter löslichen Modifikation des Kalziumkarbonats bestehen. Aber auch als „Beifang“ finden sie sich

Paläontologie aktuell



manchmal in Schlammproben planktischer und benthischer Foraminiferen aus der Kreide und vor allem aus der Erdneuzeit. Sie sind dabei in der Regel größer als die meisten Foraminiferen.

Die ältesten bekannten Otolithen stammen von Palaeonisciden aus dem Mittel- oder sogar späten Unterdevon (Talimaa in Nolf 1985: 27). Bis in den Oberjura, vor etwa 145 Millionen Jahren, treten sie jedoch nur selten auf (Lehmann 1996). Erst mit dem Siegeszug der modernen Knochenfische, die sich durch Radiationen vor allem in der Kreidezeit rasch ausbreiteten, werden Funde von Otolithen häufig.

Schwierige Namensgebung

Die allermeisten Otolithen kommen isoliert im Sediment vor. Deshalb sind sie normalerweise unabhängig vom Fisch selbst beschrieben worden. Aus diesem Grund wurde eine Reihe von Namen in einer eigenen Taxonomie aufgestellt. Eine solche, sich auf isolierte Teile von Organismen beziehende Namensgebung, ist meist zur Identifizierung der ganzen Organismen ungeeignet und wird als „Parataxonomie“ bezeichnet. Letztere macht auch durchaus Sinn, denn besonders die kleinen Otolithen des Känozoikums sind vielgestaltig und somit als Leitfossilien gut geeignet (Nolf 1985). Diese Umstände führten besonders im Fall der Gattungszuordnung zu verschiedenen Verfahrensweisen, die Nolf (1985) zusammenfasste. Der führende Otolithen-Spezialist Dirk Nolf aus Brüssel wirbt seit Jahren darum, bei Gattungszuordnungen zurückhaltend vorzugehen. Kreidezeitliche und erdgeschichtlich noch ältere Otolithen, die man zum größten Teil nicht an heutige Verwandte anschließen kann und zu denen es fast keine Funde im Zusammenhang mit Fischskeletten gibt, werden nicht mit eigenen, neuen Namen belegt (Nolf 2004, 2010). Ausschließlich auf Otolithen basierende Gattungen und höhere Taxa würde ein Klassifikationssystem mit vielen versteckten Synonymen enthalten (Nolf 2010). Aus diesem Grund werden viele Arten den Gattungen nur in offener Nomenklatur zugeordnet (Nolf 1985).

Statolithen bei Kopffüßern

Den häufigen Fischotolithen des Känozoikums (Abb. 2-3) stehen die Fossilien von Statolithen anderer Organismen gegenüber, die aber vergleichsweise selten sind.

Meist ist die Grundform dieser Statolithen einfacher als die von Otolithen. Dieses gilt zum Beispiel für die Statolithen von Cephalopoden (Abb. 1.1, 1.7). Die hier abgebildeten Beispiele aus dem Eozän des Pariser Beckens zeigen zudem deutlich weniger Elemente und wirken somit „glatter“. Ein moderner Ansatz bei der Analyse der Form und Strukturen von Statolithen von Cephalopoden ist dennoch nicht weniger komplex als bei Otolithen, was für fossile und rezente Arten gleichermaßen gilt (Clarke & Maddock 1988a, 1988b). Diese Untersuchungen umfassen mathematische Verfahren (Hauptkomponenten-Analyse), um Ähnlichkeiten in den Umrissen der diversen Statolithentypen miteinander zu vergleichen. Da man bei

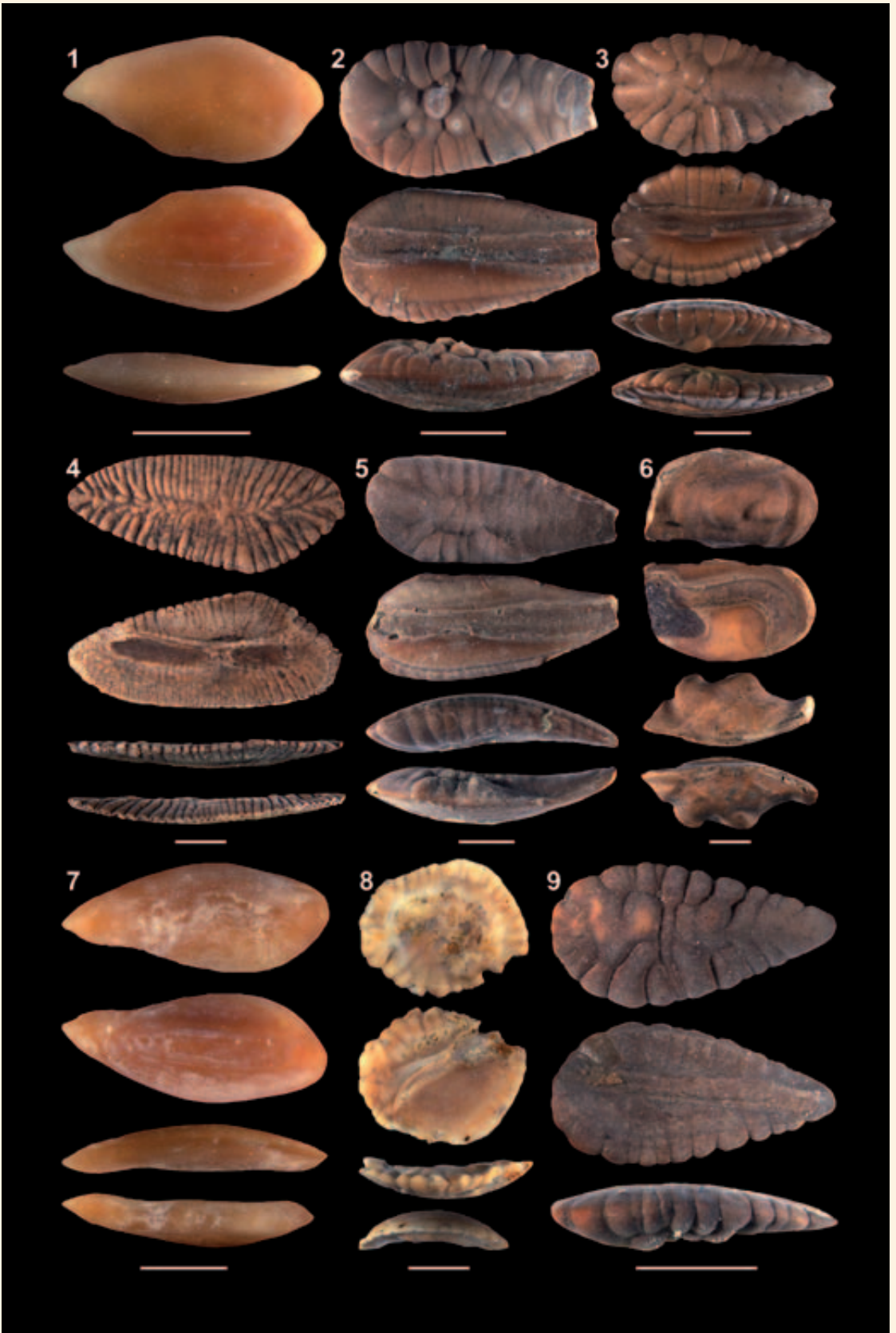
*Abb. 1 (Seite 361): Statolithen aus der Sammlung Menzel. Bei allen außer 1 und 7 handelt es sich um Gebörstine von Fischen (Otolithen). 1 und 7 sind in traditioneller Otolithen-Nomenklatur als „Neobythitinarum“ regularis (Priem, 1911) bestimmt, sind aber wohl Statolithen moderner Tintenfische (Coleoidea). Eozän, Blaincourt, Frankreich. 2) *Trisopterus sculptus* (Koken, 1891). Mittelmiozän, Twistringen, Niedersachsen. 3) *Trisopterus sculptus* (Koken, 1891). Miozän, Groß Pampau, Schleswig-Holstein. 4) *Merluccius merluccius* (Linné, 1758). Mittelmiozän, Twistringen, Niedersachsen. 5) *Trisopterus sculptus* (Koken, 1891). Mittelmiozän, Twistringen, Niedersachsen. 6) *Miracorvina bolsatica* (Koken, 1891). Miozän, Groß Pampau, Schleswig-Holstein. 8) *Dentex aff. maroccanus Valenciennes, 1830*. Oligozän, Rupel, Alzey Formation, Sandgrube Müller, Wöllstein, Hessen. 9) *Trisopterus sculptus* (Koken, 1891). Obermiozän, Gram, Dänemark. Geowissenschaftliche Sammlung der Universität Bremen, ex Sammlung Menzel. Fotos: M. Krogmann. Maßstab jeweils 2 mm.*

den heutigen Cephalopoden-Arten die Statolithen tatsächlich den ganzen Organismen zuordnen kann, liegen dieser Taxonomie „echte“ Taxa zu Grunde - die Statolithen wurden schließlich *in situ* von Tierkadavern gewonnen. Somit kann versucht werden, die Statolithen für phylogenetische Fragestellungen zu nutzen, wodurch gelegentlich sogar auf anderen Merkmalen beruhende, systematische Konzepte in Frage gestellt werden (Clarke & Maddock 1988a).

Paläo-Umweltrekonstruktionen

Bei der Interpretation fossiler Lebensräume nutzt man oft aktualistische Vergleiche. Ausgehend von der Ökologie heute noch vorkommender Verwandter werden in diesem







Fall aus fossilen Otolithen-Assoziationen Rückschlüsse auf Wassertiefe, Temperatur, Salzgehalt, Substrat und andere Bedingungen gezogen. Diese Vorgehensweise ist bei erdgeschichtlich sehr jungen Sedimenten Erfolg versprechend, da die ökologischen Ansprüche der Arten bis heute unverändert sind. Geht man weiter in der Erdgeschichte zurück, ist für viele Gruppen von Knochenfischen auch ein Wandel der Lebensbedingungen bekannt (Nolf 1985). So kommen Knochenfische aus der Unterordnung der Ophioidei, bei denen rezent eine bodenbezogene Lebensweise im Tiefwasser beobachtet wird, im Eozän offenbar massenhaft im Flachwasser vor (Nolf 1980). Hier hat sich offensichtlich das ökologische Verhalten dieser Fischgruppe im Lauf der Evolution geändert. Dennoch ist bei solchen Interpretationen Vorsicht geboten, denn die

Abb. 2 (S. 362): Otolithen aus dem Miozän von Niedersachsen. 1) Dentex aff. maroccanus Valenciennes, 1830. Achim. 2) Trisopterus luscus (Linné, 1758). Achim. 3) Sciaenidae ind., Achim. 4) Trisopterus sculpus (Koken, 1891). Nordlohne. 5) Pterothrissus umbonatus (Koken, 1884). Lamstedt-Rhaden. 6) Trisopterus sculpus (Koken, 1891). Bohrung Wortb, Region Rotenburg a. d. Wümme. 7) Miracorvina bolsatica (Koken, 1891). Langenfeldium, Sittensen. 8) Coelorinchus coelorhincus (Risso, 1810). Mittelmiozän, Twistringen. 9) Gadicus labiatus (Schubert, 1905). Mittelmiozän, Twistringen. Geowissenschaftliche Sammlung der Universität Bremen, ex Sammlung Menzel.

Fotos: M. Krogmann. Maßstab jeweils 2 mm.

meisten Otolithen gelangen durch Räuber in das Sediment. Otolithen reichern sich in den Exkrementen von Fischen an, während die Knochen fast völlig verdaut werden (Schäfer 1966). Auch wenn es noch eine Reihe anderer Möglichkeiten gibt, wie Otolithen aus dem Lebensbereich ihrer ehemaligen Besitzer in andere Habitate verschleppt werden können, ist die Verschleppung durch Räuber sicher am wichtigsten. Faktoren, welche die Verteilung von Otolithen verzerren können, reichen von Massensterben, kalten Auftriebsströmungen (Upwelling), Bodenströmungen, untermeerischen Hangrutschungen bis hin zur Verschiebung der Habitate während des Tag-/Nachtzyklus bei einigen Fischgruppen. Letzteres kann dazu führen, dass sie nur von Räubern gefressen wurden, die in einer bestimmten Tiefenzone lebten (Nolf 1985). Auch die Aktivitä-

ten von im Sediment lebenden Räubern und Aasfressern können Otolithen tiefer in das Sediment verlagern und so die Wahrscheinlichkeit ihrer Erhaltung erhöhen. Ein sehr selektives Beuteverhalten verzerrt die Zusammensetzung solcher Assoziationen von Otolithen zusätzlich. Nolf (1985) berichtete, dass sich während der Ablagerung des eozänen London Clays um abgesunkene Treibhölzer herum Mikrohabitate gebildet hatten, an denen ortstreue Räuber die Reste ihrer Fischbeute anhäuften und somit auch Otolithen fleckenhaft stark anreicherten.

Jurzeitliche Eiablage mit Massentod?

Neben Otolithen können auch Cephalopoden-Statolithen interessante Hinweise zur Rekonstruktion der Paläoumwelt geben. Kürzlich stellten Hart et al. (2010) mikropaläontologische Hinweise auf die Existenz eines Brutgebietes von Cephalopoden zur Diskussion. Die Autoren wiesen über einen drei Meter dicken Profilschnitt eine deutliche Erhöhung von relativ wenig ornamentierten Statolithen nach. Da diese erhöhte Häufigkeit nicht mit einem häufigeren Vorkommen von Belemniten-Rostren einhergeht, mutmaßten die Autoren, dass die Gehörsteine von Rostrum-losen Cephalopoden stammen. Sie beziehen sich dabei auf heutige Tintenfische, bei denen die Weibchen saisonal gleichzeitig massenhaft Eier ablegen. Die extreme Vergrößerung der Ovarien führt dabei dazu, dass die Körperwand zerreißt und die Weibchen dann zu Tausenden absterben (Norman 2000). Der mögliche Fossilnachweis für dieses Verhalten stammt aus dem „Christian Malford Squid Bed“ des Oxford Clay (Mitteljura, Callovium) bei Swindon in Südengland. In diesen Schichten sind die Erhaltungsbedingungen für Fossilien außergewöhnlich gut (Allison 1988). Die Fossilagerstätte enthält neben Statolithen und Armhaken von Cephalopoden auch gut erhaltene Exemplare des Belemniten-Verwandten *Belemnoteuthis* und von *Mastigophora*, einem wahrscheinlich vampyromorphen Tintenfisch (Fuchs 2006). Diese Feststellung ist für die kritische Interpretation der Vermutungen von Hart et al. (2010) nicht unwesentlich, denn die Statolithen sind aragonitisch erhalten, also ebenso wie die Fischotolithen aus der leichter löslichen Modifikation des Kalziumkarbonats. Damit sind diese Statolithen unter besonderen Erhaltungsbedingungen überliefert



1

2

3

4

5

6

7

8

9

worden, und der Gedanke drängt sich auf, dass wir vielleicht hier nur in ein „taphonomisches Fenster“ schauen, d.h., die Befunde wären möglicherweise an anderen Lokalitäten ähnlich und sind nur durch die schlechtere Erhaltung verzerrt. Insgesamt sind aus der Jurazeit bislang nur sehr wenige Statolithen-Funde von Cephalopoden beschrieben worden (Clarke & Maddock 1988b, Clarke 2003). Ähnliches gilt für Sedimente aus der Kreidezeit, so dass es sich lohnt, auf diese Mikrofossilien zu achten.

Forschungsfolge eines Hobbypaläontologen

Eine Sammlung fossiler Otolithen hat auf kleinstem Raum Platz. Auf wenigen Quadratzentimetern können die Nachweise

Abb. 3 (S. 364): Otolithen aus dem Paläogen und Neogen verschiedener europäischer Fundorte. 1) Trisopterus schwarzzhansi (Gaemers, 1976). Mittelmiozän, Twistringen, Niedersachsen. 2) Trisopterus elegans (Koken, 1884). Oligozän, Chattium A, Dalheim, Nordrhein-Westfalen. 3) Paraconger papointi (Priem, 1916). Eozän, Egem, Belgien. 4) Trisopterus luscus (Linné, 1758). Obermiozän, Gram, Dänemark. 5) „genus Neobythitinarum“ rectangularis (Nolf, 1973). Eozän, Fercourt, Frankreich. 6) Gadidulus labiatus (Schubert, 1905). Mittelmiozän, Baden, Österreich. 7) Gadidulus ?argenteus Guichenot, 1850. Unteres Miozän, Hemmoorium, Miste bei Winterswijk, Niederlande. 8) Merluccius merluccius (Linné, 1758). Unteres Miozän, Hemmoorium, Miste bei Winterswijk, Niederlande. 9) Gobius gverini Chaine & Duvergier, 1931. Unterpliozän, Cava Caudana, Monte Roero, Italien. Geowissenschaftliche Sammlung der Universität Bremen, ex Sammlung Menzel. Fotos: M. Krogmann. Maßstab jeweils 2 mm.

hunderter fossiler Fischarten untergebracht werden. Für den Hobbypaläontologen Herbert Menzel aus Bremen war auch der geringe Platz in der Wohnung ein wichtiges Argument, seine Leidenschaft für Otolithen zu entwickeln. Nachdem 1968 das Feuer entfacht worden war, sammelte er jahrzehntelang fossile Otolithen (Lehmann & Menzel 2005). Zum einen ist Menzel fasziniert von der Anwendung in der paläontologischen Forschung, die dadurch begünstigt wird, dass jeder Otolith eine charakteristische Gestalt besitzt und für eine bestimmte Fischart typisch ist. Menzel begann Otolithen in Norddeutschland zu sammeln, besonders im Oligozän und Miozän. Zu seinen bevorzugten Fundorten gehörte die ehemalige Tongrube Sunder in Twistringen, südlich von Bremen,

die auch in FOSSILIEN schon vorgestellt worden ist (Klug & Klug 1995). In Zusammenarbeit mit dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung bearbeitete er Material aus zahlreichen Bohrungen im Rahmen des Wasserwirtschaftsplanes in Niedersachsen (Menzel 1986). Für diese Arbeiten lag fossiles Vergleichsmaterial aus anderen Teilen Deutschlands sowie aus Belgien, Dänemark, Frankreich, Italien, Österreich und den Niederlanden vor. Besonders



Abb. 4: Der Otolithen-Spezialist Herbert Menzel im Jahr 2002 bei der Übergabe seiner Otolithen-Sammlung an die Universität Bremen. Foto: M. Krogmann.

intensiv beschäftigte er sich außerdem mit Otolithen aus dem Oligozän bis Pleistozän der Türkei. So wurde er innerhalb weniger Jahre zu einem angesehenen Spezialisten für diese Fossilien und baute eine umfangreiche Fossilsammlung auf, die er durch rezentes Material ergänzte. Die Sammlung ist etikettiert und vollständig in einer Datenbank erfasst. Seine enge Bindung an das Überseemuseum der Stadt Bremen und seit Mitte der 1990er Jahre an den Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen führte dazu, dass er im Oktober 2002 seine Spezialsammlung der Geowissenschaft-

lichen Sammlung der Universität Bremen schenkte (Abb. 4). In den Jahren 1997 und 2000 verlieh die VFMG Menzel in Anerkennung seiner beiden Publikationen auf dem Gebiet der Otolithenforschung (Menzel 1997, 2000) den Wilke-Preis. Als Krönung seiner Arbeiten erhielt er dann im Jahr 2003 die Karl Alfred von Zittel-Medaille, eine Auszeichnung der Paläontologischen Gesellschaft für besonders verdiente Amateurpaläontologen.

Dank: Ich danke Dirk Nolf (Brüssel), der die Bestimmung der Otolithen überprüft und gegebenenfalls taxonomisch revidiert hat, sowie Wolfgang Riegraf (Münster) für Hinweise zur Identifizierung einiger Statolithen.

Literatur

Allison, P. A. (1988): Phosphatized soft-bodied squids from the Jurassic Oxford Clay. *Lethaia* 21: 403-410.
 Clarke, M. R. (2003): Potential of statoliths for interpreting coleoid evolution: a brief review. In: Warnke, K. et al. (Hrsg.): Berliner Paläobiologische Abhandlungen. Berlin: Fachrichtung Paläontologie, Institut für Geologische Wissenschaften, 37-47.
 Clarke, M. R. & L. Maddock (1988a): Statoliths from living species of cephalopods and evolution. In: Trueman, E. R. & M. R. Clarke (Hrsg.): *The Mollusca*, S. 169-184. Academic Press, San Diego.
 Clarke, M. R. & L. Maddock L. (1988b): Statoliths of fossil coleoid cephalopods. In: Trueman, E. R. & M. R. Clarke (Hrsg.): *The Mollusca*, S. 153-168. Academic Press, San Diego.
 Fuchs, D. (2006): Re-description of *Doryanthes munsterii* (d'Orbigny, 1845), a poorly known coleoid cephalopod from the Upper Jurassic (Tithonian) Solnhofen Plattenkalks. *Archaeopteryx* 24: 79-88.

Hart, M. B., A. De Jonghe, K. Duff, K. N. Page, G. D. Price, C. Smart & P. Wilby (2010): Microfossil evidence for a mid-Jurassic squid egg-laying area in association with the Christian Malford Lagerstätte. *Geophysical Research Abstracts* 12: 4415-4416.
 Klug, B. & G. Klug (1995): Twistringen – Noch immer eine gute Adresse für Fossiliensammler. *Fossilien* 12 (6): 359-362.
 Lehmann, J. & H. Menzel (2005): Die Otolithen der Geowissenschaftlichen Sammlung der Universität Bremen – Provenienzen und Katalog der Originale. *Abh. Naturwiss. Ver. Bremen* 45 (3): 657-678.
 Lehmann, U. (1996): Paläontologisches Wörterbuch. Enke-Verlag, Stuttgart.
 Menzel, H. (1997): Die Ziegeleitongrube Sunder in Twistringen – Typuslokalität miozäner Fossilien. *Aufschluss* 48: 154-160.
 Menzel, H. (2000): Fossile Otolithen der Ordnung Si-luriformes Cuvier 1817 aus dem Tertiär von Nord- und Westdeutschland. *Aufschluss* 51: 355-359.
 Nolf, D. (1980): Étude monographique des otolithes des Ophidiiformes actuels et révision des espèces fossiles (Pisces, Teleostei). Mededelingen Werkgroep Tert. Kwart. Geol. 17 (2): 71-195.
 Nolf, D. (1985): Otolithi piscium. In: Schultze, H.-P. (Hrsg.): *Handbook of Paleichthyology*. G. Fischer-Verlag, Stuttgart & New York.
 Nolf, D. (2004): Otolithes de poissons aptiens du Maestrazgo (province de Castellon, Espagne orientale). *Bull. Inst. Roy. Sci. Nat. Belg., Sci. Terre, Suppl.* 74: 101-120.
 Nolf, D. (2010): Otoliths. In: Young, J. A. et al. (Hrsg.): *Field Guides to Fossils*, 270-274. University Printing House Oxford, London.
 Norman, M. (2000): Tintenfisch-Führer. Kraken, Argonauten, Sepien, Kalmare, Nautiliden – weltweit. Jahr-Verlag, Hamburg.
 Schäfer, W. (1966): Aktuopaläontologische Beobachtungen. 6. Otolithen-Anreicherungen. *Natur und Museum* 69: 439-444.

Lehmann, J.: Statoliths – big little fossils

Statoliths are located in the ear of different groups of animals and are secretions composed of calcium carbonate. Their function is gravity and sonic perception. Among statoliths, fossils of bony fishes are best-known, called otoliths, and are most widely distributed in the Cenozoic. Here examples for the usage of statoliths as proxies in palaeoecological and palaeoenvironmental interpretations are presented, illustrated with material from the collection of Herbert Menzel. He is an amateur palaeontologist dedicated to otolith research for several decades. A few years ago, he donated his collection to the University of Bremen (Northern Germany).



PALÄONTOLOGISCHE
GESELLSCHAFT

Seit 1984 wurde bereits 22-mal die Karl-Alfred-von-Zittel-Medaille der Gesellschaft an verdiente Hobby-paläontologen verliehen.

www.palaeontologische-gesellschaft.de • www.palges.de

Spezielle Fragen zu Fossilien, regionaler Geologie und Paläontologie werden von kompetenten Ansprechpartnern aus der Paläontologischen Gesellschaft beantwortet unter:

www.palaeontologische-gesellschaft.de/palges/kontakt/frag.html