

Nautilus

Ein Bauplan hat sich bewährt

N. Grotjohann

Die rezenten Nautiliden nehmen innerhalb der Cephalopoden eine Sonderstellung ein: Sie stellen „lebende Fossilien“ dar, können mithilfe ihrer Kalkschale im Wasser schweben und der Bau der Schale folgt der „goldenen Spirale“.

Stichwörter: Cephalopoda, Nautilus, lebende Fossilien, Goldene Spirale

1 Nautilus und das U-Boot

Der Nautilus ist eine Besonderheit unter den Weichtieren. Nach ihm benannte Jules Verne in seinen Romanen „Zwanzigtausend Meilen unter dem Meer“ (1869–1870) und „Die geheimnisvolle Insel“ (1874–1875) das fiktive Atomangetriebe Unterseeboot, das unter dem Kommando von Kapitän Nemo stand. Es gab zwar schon U-Boote vor Erscheinen des Buches, doch diese waren technisch noch nicht so weit entwickelt, wie in den Be-

schreibungen von Jules Verne. Der Autor nimmt bei der Konstruktion des Bootes Bezug auf die besondere Fähigkeit des Nautilus, im Wasser schweben zu können. In den nachfolgenden Jahren wurden zahlreiche weitere U-Boote auf den Namen Nautilus getauft [1]. Den Schülern könnte der Nautilus darüber hinaus auch von einem gleichnamigen Schulbuch bekannt sein.

Der Nautilus ist, wie die „Tintenfische“, ein Vertreter der Kopffüßer (Cephalopoda). Er besitzt ein gekammertes Gehäuse aus Kalk (Aragonit mit eingelangtem Gerüsteiweiß), das seinen Körper

schützt. Die Kammern des Gehäuses können mit Wasser oder Gas gefüllt werden, wodurch sich die Dichte des Tieres ändert und das Schweben im Wasser ermöglicht wird. Die in U-Booten eingesetzte Technik arbeitet nach einem sehr ähnlichen Prinzip, sie kann daher auch als ein frühes Beispiel für Bionik angesehen werden. Falsch ist jedoch die weit verbreitete, bereits 1696 von Hooke formulierte Vorstellung, dass der Nautilus zum Auftauchen seine Kammern mit Gas füllt und zum Abtauchen mit Wasser [2, 3]. Die Tiere können zwar die Kammern ihres Gehäuses leeren und befüllen, dies dauert aber sehr lange (ein

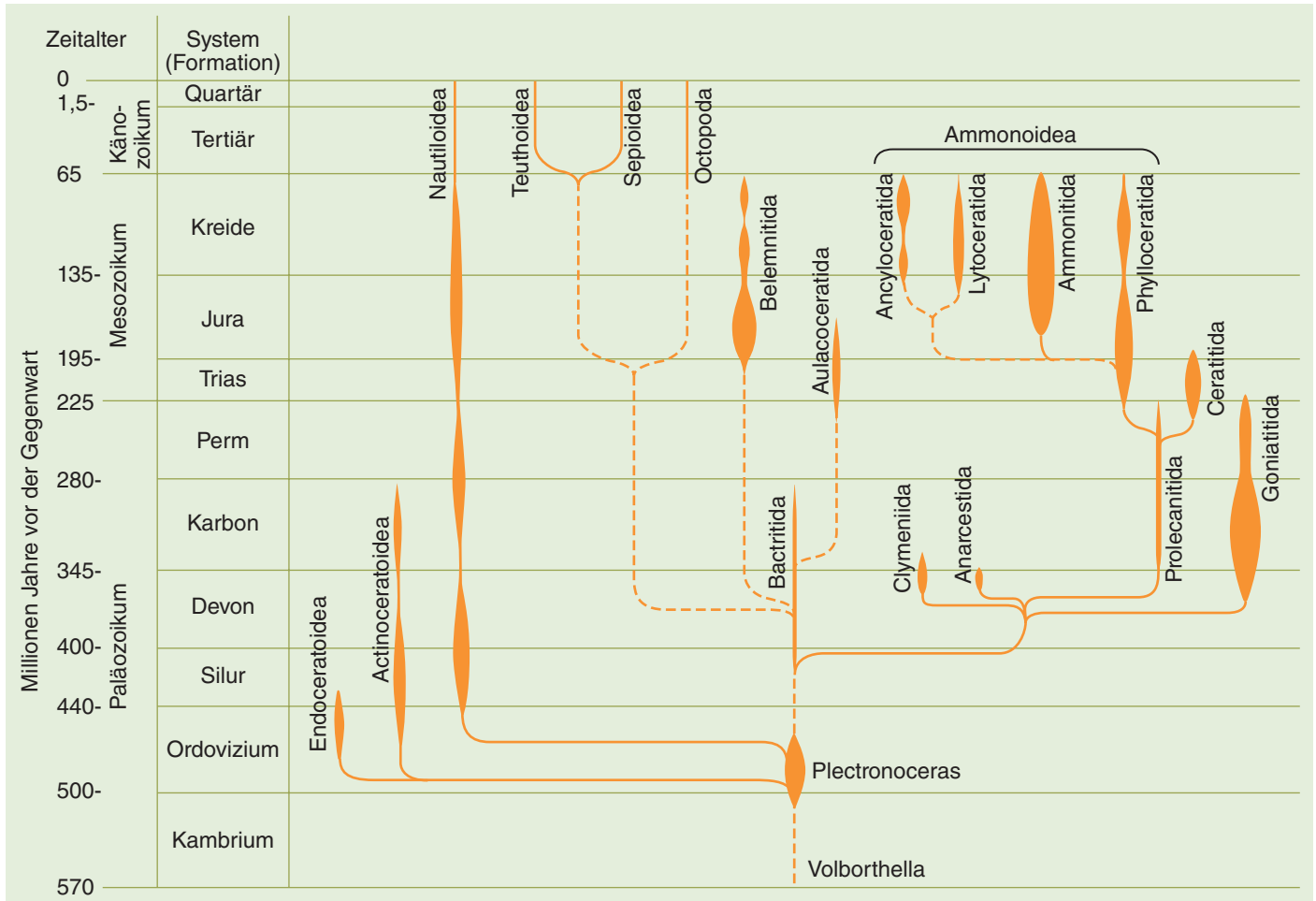


Abb. 1: Die Entwicklung der Cephalopoda (verändert nach Ward 1983)

Es werden derzeit fünf bis sieben rezente Nautiliden-Arten aus zwei Gattungen unterschieden. Es sind *Nautilus macromphalus* (Neukaledonisches Perlboot), *N. pompilius* (Gemeines Perlboot), *N. stenomphalus* (Weißflecken Perlboot), *N. belauensis* (Palau Perlboot) und *Allonautilus scrobiculatus* (Salomons Perlboot). Die Existenz weiterer wird diskutiert. *A. perforatus* wurde zwar im Jahr 1849 von Conrad beschrieben, es sind aber nur leere Schalen bekannt. *N. repertus* ist nach Ansicht einiger Autoren ein Synonym für *N. pompilius*. Die Arten können i. d. R. nach Gehäusemerkmalen unterschieden werden, zur Übersicht vgl. [9]. Die Stelle der engsten Spiralwindung an der Gehäuseseite wird *Umbilicus* (Nabel) genannt. Bei den Arten *N. macromphalus* und *A. scrobiculatus/perforatus* ist er offen, die innersten Windungen sind daher sichtbar. Bei *N. pompilius* und ähnlichen Formen ist der *Umbilicus* von einer Verdickung (Kallus) bedeckt, der bei *N. s.* auch fehlen kann. *N. b.* ist *N. p.* ähnlich, er ist nur etwas größer, hat Quer- und Längsrippen auf der Schale und kommt nur in Palau vor. Die genaue Artzuweisung ist bei den Perlbooten sicherlich noch nicht abgeschlossen.

A *Nautilus macromphalus*B *Allonautilus scrobiculatus*C *Nautilus pompilius*

Abb.: Auswahl einiger gut zu unterscheidender Nautiliden

Fotos: Grotjohann

A Neukaledonisches Perlboot (*Nautilus macromphalus*, Sowerby, 1849)

Gehäuse bis etwa 16 cm Durchmesser. Verbreitung: Neukaledonien. Kennzeichen: Offener Umbilicus, innere Gehäusewindungen sichtbar. Durchmesser des „Nabels“ etwa 5 % des größten Gehäusedurchmessers. Das Exponat stammt aus Neu Kaledonien, Noumen aus einer Krebsfalle.

B Salomons-Perlboot (*Allonautilus scrobiculatus*, Lightfoot, 1786)

Länge: Gehäuse bis etwa 18 cm Durchmesser. Verbreitung: Papua Neuguinea, vor Neubritannien und der Milne Bay. Kennzeichen: Umbilicus groß und offen, etwa 20 % des Gehäusedurchmessers. Eigene Gattung, da das Gehäuse Falten und ein Periostracum (dünner, organischer Überzug) aufweist, das anderen Arten fehlt. Auch Kiemen und männliche Geschlechtsorgane sind anders als bei Arten der Gattung *Nautilus* [3]. Das Exponat stammt aus Indonesien.

C Gemeines Perlboot (*Nautilus pompilius*, Lamarck, 1758)

Länge: 24 cm Durchmesser. Verbreitung: Philippinen. Kennzeichen: Häufigste Art der Nautiliden, wird gelegentlich in öffentlichen Schauaquarien gehalten. Nachzucht möglich. Diese Art liefert die meisten Perlbootgehäuse für Souvenirgeschäfte. Das Exponat stammt aus Indonesien.

Kasten 1: Wie man die Arten unterscheidet

bis zwei Tage). Aktive Schwimmbewegungen werden daher, wie bei den meisten anderen Cephalopoden auch, durch Auspressen von Wasser durch einen trichterförmigen Hautlappen (Rückstoßprinzip) ermöglicht (Material 3).

In der Stammesentwicklung scheint sich der Bauplan der Nautiliden bewährt zu haben, denn er wurde über 80 Millionen Jahre kaum verändert. Solche Organismen werden auch als „lebende Fossilien“ bezeichnet.

2 Was ist eigentlich ein „lebendes Fossil“?

Charles Darwin prägte als erster diesen Begriff in seinem legendären Buch „The origin of species“ im Jahre 1859 [4]. Er bezeichnete damit „Lebewesen, die ähnlich Fossilien verschiedene, gegenwärtig weit voneinander abgetrennte Ordnungen verbinden“. Der Begriff ist jedoch ein Widerspruch in

sich, denn als Fossilien werden in der Wissenschaft Organismen bezeichnet, die vor mehr als 10 000 Jahren lebten [5].

Es gibt derzeit keine gültige Definition, die festlegt, was mit „lebenden Fossilien“ genau gemeint ist. Drei Kriterien sollten aber erfüllt sein, damit eine Gattung oder Art als solche bezeichnet werden kann [5]. So sollte sich die Gattung über sehr lange Zeiträume (beim *Nautilus* zurück bis in die Kreidezeit) erhalten haben, denn die meisten Gattungen haben eine Lebensdauer von wenigen Jahrtausenden. Als weiteres Kriterium sollte das „lebende Fossil“ als letzte Gattung einer ehemals großen Anzahl Taxa übrig geblieben sein, auch dies trifft für den *Nautilus* (einschließlich der erst 1997 beschriebenen Schwesergattung *Allonautilus* [6]) zu. Ein weiteres Merkmal ist das relikartige Auftreten einer einst weit verbreiteten Gattung. Fossile Nautiliden werden fast weltweit ge-

funden, die rezenten Arten leben dagegen alle im westlichen Pazifik und in einigen Bereichen des Indischen Ozeans.

Weitere bekannte Beispiele für lebende Fossilien sind: Quastenflosser, Schnabeltier, Pfeilschwanz, Brückenechsen und aus dem Reich der Pflanzen der Ginkgo-Baum und *Welwitschia mirabilis* (zur Übersicht vgl. [5, 7]).

3 Wie es begann

Nachdem vor etwa einer halben Milliarde Jahren die ersten Kopffüßer entstanden waren, entwickelten sich bereits vor mehr als 450 Millionen Jahren die ersten gekammerten Formen mit gasgefüllten Gehäusen (Abb. 1, nach [8]). Ihre äußere Form war sehr vielgestaltig, gerade oder spiralförmig, teilweise eingerollt, manche besaßen eine innere, andere eine äußere Schale. Bis vor ungefähr 180 Millionen Jahren gab es über 100 Gattungen, danach starben

sie bis auf eine Gattung (Cenoceras) aus. Seit rund 80 Millionen Jahren existieren Nautiliden in der Form, wie wir sie heute kennen. Rezent gibt es nur noch 5 Arten in zwei Gattungen (Kasten 1) [3]. Im Devon, vor 400 bis 345 Millionen Jahren, entwickelten sich parallel andere Formen gekammerter Kopffüßer, die die Cephalopodenfauna dominierten. Es entstanden die Ammonoideen (Ammoniten), deren größte Formen einen Durchmesser von bis zu 3,5 Metern erreichten. Die weltweit größten fossilen Funde wurden im Münsterland in Steinbrüchen entdeckt (Abb. 2). Im Unterschied zu den Nautiliden starben die Ammoniten gegen Ende der Kreidezeit (65 Mio. Jahre) vollständig aus.

Heute leben zwei Gruppen von Kopffüßern in den Ozeanen. Die Unterklasse der Nautiloidea (Nautiliden oder Perlboote) und die der Coleoidea, zu denen Sepien (Sepiida), Kalmare (Teuthida), Zwergtintenfische (Sepiolida), Posthörnchen (Spirulida), Tiefseevampire (Vampyromorpha), Kraken (Octopoda) und cirrentragende Kraken (Cirroctopoda) gehören.

Die Nautiloidea besitzen ein äußeres, gekammertes Gehäuse, eine ledrige Haube zum Verschließen des Gehäuses, „offene“ Augen nach dem Lochkamera-Prinzip, zwei Paar Kiemen, ein zentrales Herz, 90 oder 60 (♀ oder ♂) Tentakeln in zwei Kreisen um den Mund und einen Trichter aus einem verwachsenen Hautlappen. Aufgrund ihrer geringen spezifischen Dichte sind sie in der Lage im Wasser zu schweben (Material 1 und 3).

Kopffüßer aus der Unterklasse der Coleoidea haben dagegen keine oder eine reduzierte innere Schale, wie zum Bei-



Abb. 2: Riesenammonit aus dem LWL Museum für Naturkunde in Münster

Foto: Grotjohann

spiel der Schulp der Gewöhnlichen Sepie (*Sepia officinalis*), das Horngerüst der Kalmare (*Teuthida*) und das innere Gehäuse der Posthörnchen (*Spirula spirula*) (Abb. 3), komplexe Linsenaugen, 8 bis 10 Arme und einen verwachsenen Trichter zum Ausstoßen von Wasser. Im Unterschied zu den Nautiloidea haben sie nur ein Kiemenpaar und drei Herzen, eines zentral und je eines in der Nähe der Kiemen.

Eine bestimmte Familie aus der Unterklasse der Coleoidea, die zur Ordnung der Octobranchia gehörende Familie Argonautidae (Papierboote), bildet ein äußeres Gehäuse. Aber dies sind moderne Cephalopoden, deren weibliche Tiere papier-

dünne, ungekammerte Schalen bilden. Sie sind stammesgeschichtlich sehr weit von den Perlbooten entfernt und dürfen nicht mit ihnen verwechselt werden (vgl. Seite 16).

4 Wie der Nautilus im Wasser schwebt

Um im Wasser schweben zu können, darf sich die spezifische Dichte des Tieres (Masse pro Volumen) nicht stark von der des Meerwassers unterscheiden. Durch die mit Luft oder Wasser befüllbaren Kammern im Inneren des Gehäuses kann sich der Nautilus ähnlich austarieren wie ein Taucher, der sich, mit Bleigurt und pressluftbefüllbarem Jackett (Material 1) aus-



Abb. 3: Innenskelette von Kalmaren (o.l.), *Sepia officinalis* (u.l.) und *Spirula spirula* (r.)

Fotos: Grotjohann



Abb. 4: *Nautilus pompilius* im Haus des Meeres Wien im „Mondlicht“

Foto: Haus des Meeres

gerüstet, beinahe schwerelos im Wasser bewegen kann. Das Gewicht des vom Nautilus verdrängten Wassers kann sich im Idealfall nur um ein Gramm von seinem Körpergewicht (bei erwachsenen Tieren immerhin etwa 1500 Gramm) unterscheiden. Wachstumsbedingte Gewichtszunahmen können durch langsames Entfernen des Wassers aus den Kammern des Gehäuses ausgeglichen werden, Gewichtsabnahme – beispielsweise aufgrund eines Abbrechens von Schalentteilen – kann durch Wasseraufnahme ausgeglichen werden [2, 8]. Zu diesem Zweck haben die Nautiliden ein spezielles Organ entwickelt, mit dem sie das Wasser gegen den Druck des umgebenden Meerwassers transportieren können. Die Kammerflüssigkeit wird durch einen Strang aus lebendem Gewebe, dem Siphon,

transportiert, der durch eine Kalkröhre gegen Druckbelastungen geschützt wird. Der genaue Mechanismus, wie unter extremen Druckbelastungen Wasser beziehungsweise Gase transportiert werden, ist noch immer nicht bis in das letzte Detail erforscht. Osmotische Prozesse alleine reichen für diese besondere Stoffwechsellistung scheinbar nicht aus [10]. Der Siphon zieht sich von der kleinsten Windung bis zum hinteren Mantelabschnitt (Material 1 und Abb. 7). Er wird von Blutgefäßen durchzogen, deren Blutdruck dem Druck des Herzens entspricht, plus dem äußeren Wasserdruck, d. h. bei etwa 400 m Tiefe über 40 Bar [2].

Schnelle Bewegungen werden dagegen, wie oben bereits beschrieben, durch Ausstoßen von Wasser durch den trichterförmigen Hautlappen ausgeführt. Dies ist ein Prinzip (Rückstoß), das auch in der Technik beim Antrieb von Raketen und Flugzeugen genutzt wird.

5 Die Lebensweise des Nautilus

Die rezenten Nautiliden leben an den Steilabhängen von tropischen Riffen in Tiefen bis zu 600 m. In der Regel ruhen sie tagsüber in etwa 300 bis 400 m Tiefe an diesen Riffwänden und warten auf die Dunkelheit, um bei Mondlicht zum Fressen in geringere Tiefen aufzusteigen (Abb. 4). Vermutlich erbeuten Nautiliden bodenbewohnende Krebse, wobei auch Häutungen (Exuvien) aufgenommen werden [3]. Derartige Exuvien enthalten vor allem das für die Schalenbildung wichtige Kalzium. In Aquarien gehaltene Tiere fres-

sen Aas jeder Art. Da die Perlboote langsame, schwebende Schwimmer sind, wird von ihnen gern tote oder sterbende Beute aufgenommen, die sie mit ihren empfindlichen Tentakeln aufspüren. Scheinbar enthalten die Tentakel chemische Sensoren, mit denen die Beute erkannt wird. Jeder Tentakel kann in eine Scheide zurückgezogen werden, Saugnapfe, wie bei anderen Tintenfischen üblich, sind nicht vorhanden. Stattdessen findet man einen klebrigen Schleim, der das Festhalten der Beute erleichtert. Die ergriffene Beute wird mit dem bei Cephalopoden typischen Papageischnabel (Abb. 5) zerkleinert. Im Unterschied zu anderen Vertretern der Kopffüßer beinhaltet der Speichel der Perlboote kein Gift zum Lähmen der Beute. Die nach dem Lochkamera-Prinzip funktionierenden Augen scheinen für den Nahrungserwerb keine große Hilfe zu sein, da sie nur eine Hell-Dunkel-Wahrnehmung zulassen [2].

Über das Verhalten der Nautiliden ist wenig bekannt, da sie sich vorwiegend außerhalb der Reichweite (Tauchtiefe) der Taucher aufhalten.

Nautiliden können sich mehrfach in ihrem rund 20 Jahre währenden Leben fortpflanzen. Auch dies unterscheidet sie von anderen, modernen Kopffüßern, wie Sepien und Kraken, die nur eine kurze Lebenserwartung haben und sich nur einmal im Leben fortpflanzen können. Möglicherweise ist auch dies ein Grund für das sehr lange Überdauern dieser Gruppe [7]. Nautiliden zeigen eindeutige Geschlechtsunterschiede, so sind die Männchen deutlich größer als die Weibchen. Die Männchen haben 60, die Weibchen 90 Tentakeln. Zur Übergabe des Spermienpakets in die Manteltasche des Weibchens verfügen die Männchen über ein aus vier Fangarmen entstandenes Organ, den Spadix. Die Paarung geschieht Kopf an Kopf, sie kann bis zu 24 Stunden dauern. Weibliche Tiere legen einmal im Jahr etwa zehn relativ große Eier ab, andere, moderne Kopffüßer dagegen einmalig mehrere Tausend. In der freien Natur wurden bislang keine Gelege des Nautilus gefunden. Erste Nachzuchten in Aquarien wurden ab 1985 berichtet. Nach etwa einem Jahr der Eireifung schlüpfen die voll entwickelten Jungtiere mit einer Größe von bereits 25 bis 30 mm [3]. Diese relative Größe ist sicherlich ein Vorteil bei der Erbeutung ihrer Hauptnahrung, der Krebse. Nur selten werden Nautiliden in öffentlichen Aquarien präsentiert, wie z. B. im Haus des Meeres in Wien (Abb. 6) oder im Jura-Museum in Eichstätt in Bayern.



Abb. 5: Schnabel eines Kalmars

Foto: Grotjohann

6 Die Feinde des Nautilus

Die natürlichen Feinde des Nautilus sind große Fische, wie die Drückerfische und Haie, deren Gebisse stark genug sind, die Schalen zu durchdringen. Auch Kraken und Meeresschildkröten können ihnen gefährlich werden. Die größte Bedrohung dieser schon so lange existierenden Cephalopodengruppe ist jedoch der Mensch, der durch die Zerstörung des Lebensraumes und durch Überfischung die letzten Vertreter dieser „lebenden Fossilien“ an den Rand der Ausrottung drängt. Es ist daher besonders wichtig, bereits bei Schülerinnen und Schülern auf diesen Sachverhalt aufmerksam zu machen und ein Bewusstsein zu schaffen für die Notwendigkeit, diese Zeugen einer sehr langen Evolutionsgeschichte zu schützen und zu erhalten. Jeder Kauf einer Nautiluschale führt unweigerlich zu weiteren Fangmaßnahmen. Auch auf den Kauf von Schmuckgegenständen oder Trinkgefäßen (Urlaubsreise) aus solchen Schalen ist unbedingt zu verzichten. Den Nautiliden wird mit zylinderförmigen Fallen aus Maschendraht nachgestellt. Die Fallen haben zwei gegenüberliegende tunnelförmige Eingänge und in der Mitte eine Drahtwand, die mit einem Ködersack versehen ist, in dem sich Fischköpfe oder Geflügelreste befinden. Um die Fallen richtig zu positionieren, werden sie an Bojen befestigt und mit einem Seil auf etwa 200 m Tiefe an unterseeischen Steilhängen abgesenkt, mit einem weiteren Seil wird die Fangvorrichtung an Land befestigt [3]. Der Fang erfolgt in der Nacht, am frühen Morgen werden die Fallen eingeholt. Auf Palawan (Philippinen) ist aufgrund von Überfischung der Bestand von *Nautilus pompilius* von 1980 bis 2010 um 80% zurückgegangen [11].

Für unterrichtliche Zwecke können Repliken von Nautiliden und Ammoniten für wenig Geld beschafft werden (u. a. aus Museumsshops). Fossile Exemplare können preisgünstig (5 bis 10 Euro) auf Fossilienbörsen (Abb. 7) erstanden oder mancherorts auch selbst in Steinbrüchen gesammelt werden.

8 Der Nautilus in der Schule

Das Thema Nautilus kann an unterschiedlichen Stellen im Sekundarstufe-I-Unterricht integriert werden. In den Fächern Biologie, Chemie und Physik finden sich in den Schulbüchern zahlreiche Möglichkeiten, das Thema Schweben über die Dichte zu erarbeiten, so werden oft die Schwimmblase der Fische, der Kartesische Taucher oder das U-Boot thematisiert. Die



Abb. 6: Lebender *Nautilus pompilius* im Haus des Meeres Wien

Foto: Haus des Meeres

Schüler erfahren, dass in Flüssigkeiten auf Grund des Schweredruckes Auftriebskräfte entstehen. Sie sollen die Kompetenz erlangen, das archimedische Prinzip deduktiv herzuleiten, das Sinken, Schweben und Steigen eines vollständig eingetauchten Körpers sowie das Schwimmen eines Körpers erklären zu können. Durch die Vermittlung dieser Unterrichtsinhalte in fächerübergreifenden Kontexten kann den Schülern vor allem das Ineinander-

greifen der Naturwissenschaften verdeutlicht werden. Mit Material 1 „Der schwebende Nautilus“ kann das Thema Dichte und Schweben an einem ungewöhnlichen, neuen Beispiel erarbeitet werden. Es verdeutlicht die in den Lehrplänen geforderte Anpasstheit von Lebewesen an den Lebensraum [12], in diesem Fall ein Leben in großer Wassertiefe. Die Erarbeitung des Schwebevorgangs beim Nautilus, auch im Vergleich zum Taucher, folgt

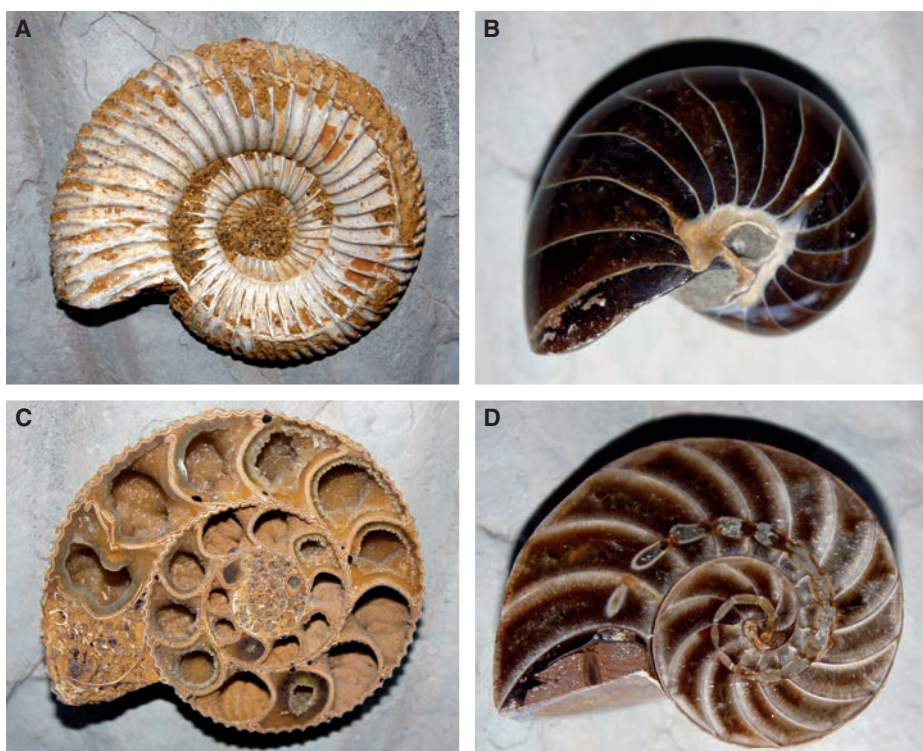


Abb. 7: Beispiele für preisgünstige Fossilien (5–10 Euro): Nautilus (A) und Ammonit (B). Bei den aufgeschnitten und polierten Schalen (C) sind die Kammern und beim Nautilus (*Cenoceras*, ca. 100 Mio. Jahre) sogar der angeschnittene Siphonalkanal erkennbar (D).

Fotos: Grotjohann

Der schwebende Nautilus

Der Nautilus ist, wie die „Tintenfische“, ein Vertreter der Kopffüßer. Er besitzt ein gekammertes Gehäuse aus Kalk, das seinen Körper schützt. Die Kammern des Gehäuses können über ein schlauchartiges Organ, den Trichter (Abb. 1), mit Wasser oder Luft gefüllt werden, wodurch er seine Dichte (=Masse : Volumen) verändern kann. Ein ausgewachsener Nautilus von ca. 1,5 kg verdrängt ungefähr so viel Wasser, wie er selber wiegt. Die Gewichts­differenz beträgt nur ca. 1,5 g. Pumpt er mehr Luft in die Kammern, so erhält er Auftrieb, befüllt er sie mit Wasser, so passiert das Gegenteil, er kann absinken. U-Boote funktionieren übrigens nach einem ähnlichen Prinzip. Da das Füllen der Kammer 1–2 Tage dauert, werden kurzfristige Bewegungen, wie bei vielen anderen Tintenfischen auch, durch plötzliches Ausstoßen von Wasser durch den Trichter herbeigeführt. Er schwimmt dann nach dem Rückstoßprinzip, so etwas findet man in der Technik auch beim Raketenantrieb. Der Nautilus benutzt diese Form des Antriebs, um vom Meeresgrund an die Oberfläche zu steigen.

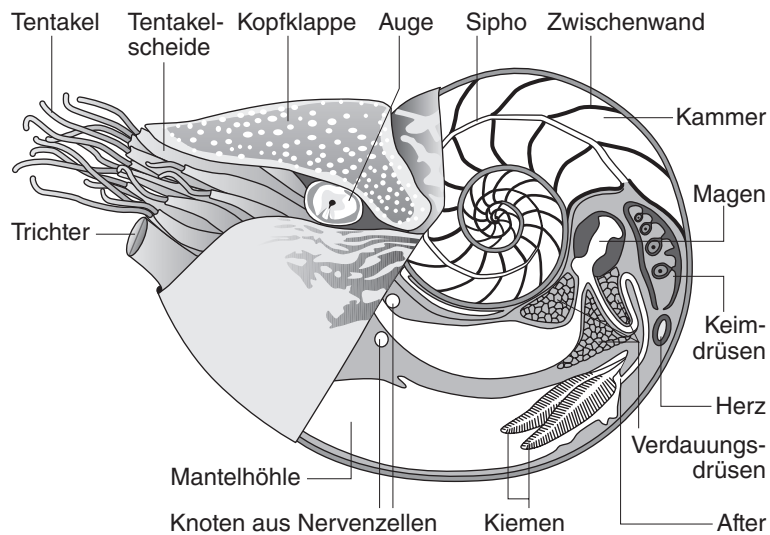


Abb. 1: Nautilus mit teilweise geöffneter Schale

Der Nautilus benutzt diese Form des Antriebs, um vom Meeresgrund an die Oberfläche zu steigen.

Aufgaben

1. Beschreibe mit eigenen Worten, wie es der Nautilus schafft, im Wasser zu schweben.
2. Der Nautilus lebt in 400 m Wassertiefe. Zum Fressen kommt er nachts an die Oberfläche. Stell dir vor, ein großer Fisch beißt ihm ein Stück vom äußeren Schalenrand ab. Was muss der Nautilus tun, um weiterhin schweben zu können? (**Luft ablassen, Wasser aufnehmen**)
3. Auf Abbildung 2 ist ein Taucher gezeigt, auch er kann sich fast schwerelos im Wasser bewegen. Die Taucherkflossen allein reichen aber nicht aus, um schnell tief genug abzutauchen und später zur Oberfläche zurück zu gelangen. Was tut der Taucher, wenn er abtaucht, und was, wenn er wieder nach oben will? Wie unterscheiden sich die Techniken von Nautilus und Taucher? Was haben sie gemeinsam? (**Luft in oder aus dem Jackett/Gehäuse lassen**)
4. Informiere dich im Internet, wie ein U-Boot funktioniert, nutze folgenden Link:
http://www.schulserver.hessen.de/ssa_bow/beerfelden/oberzent/physik/druck/schwimmen.htm

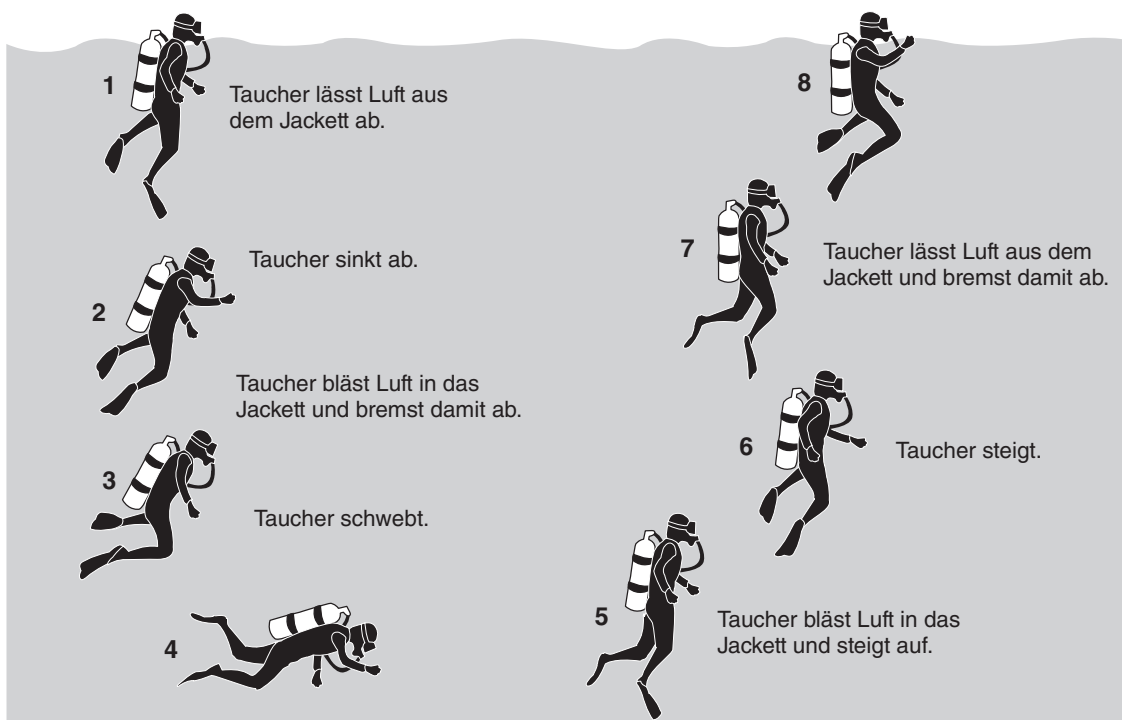


Abb. 2: Zum Tauchen benötigt man u. a. Taucheranzug, Flossen, Bleigurt, Brille, Lungenautomat, Pressluftflasche, ein Jackett, das mit Luft gefüllt werden kann, und ein Ventil zum Luftablassen.

Die Goldene Spirale des Nautilus – Strukturen der Natur selbst entwerfen

Das Gehäuse des Nautilus stellt eine elegante geometrische Figur dar. Die schneckenförmige Kalkschale hat annähernd die Steigung der sogenannten Goldenen Spirale. In der Natur kann man sie auch bei Sonnenblumenblüten, Kiefernzapfen, Schnecken, bei Farnen, beim menschlichen Ohr, in Hurrikans und sogar in Galaxien beobachten. Viele Strukturen sind nach demselben Prinzip konstruiert. Die Spiralform des Nautilus (Abb. 1) kann nach folgendem Schema gezeichnet werden:



Abb. 1: Schnitt durch die Schale eines Nautilus

Zwei gleiche Quadrate (1) werden aneinandergefügt (Abb. 2), diese beiden bilden nun zusammen die Grundlage für ein neues Quadrat (2). Es ergibt sich das Rechteck (1, 1, 2). An die Strecke 2, 1 wird ein weiteres Quadrat (3) angesetzt, die Strecke (2, 3) ergibt die Kantenlänge für Quadrat (5) usw. Es ergeben sich immer wieder neue Quadrate mit den Proportionen des Goldenen Schnittes. Die Spirale kann nun einfach eingezeichnet werden (Abb. 2).

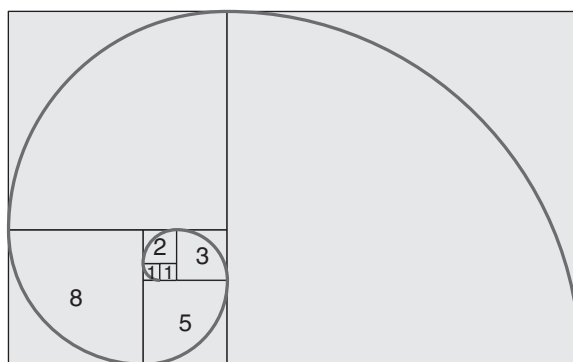


Abb. 2: Zusammenlegen der Quadrate und einzeichnen der Goldenen Spirale

Die Kantenlängen der Quadrate stehen in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander: Die größere Strecke verhält sich zur kleineren, wie die Summe der beiden Strecken zur größeren. Der Wert dieser Streckenverhältnisse (a geteilt durch b) entspricht exakt der **goldenen Zahl Φ** .



Bitte mit dem Lineal abmessen und ausrechnen:

1,618033

Die Kantenlänge der einzelnen Quadrate für die Konstruktionszeichnung der Nautilusspirale kann nach einer einfachen Zahlenfolge, der sogenannten Fibonacci-Folge, berechnet werden. Sie beginnt mit der Zahl 1, jede weitere Zahl ergibt sich aus der Summe der beiden Vorgängerzahlen. d.h.:

**1 + 1 = 2; 1 + 2 = 3; 2 + 3 = 5; 3 + 5 = 8; usw. so ergibt sich der Zahlenstrahl:
1, 1, 2, 3, 5, 8,, 377 usw.**

Aufgaben

1. Ergänze bitte den Zahlenstrahl oben.
2. Schneide, den Fibonacci-Zahlen folgend, aus Pappe Quadrate der Kantenlänge 1 cm bis 21 cm aus und lege die Quadrate wie in Abbildung 2 zusammen. Zeichne anschließend die Spirale ein. Wenn möglich verwende dazu einen Zirkel.
3. Berechne mit dem Taschenrechner die Zahl Φ (Phi) für einige der aneinander grenzenden Quadrate. **immer 1,618033..**

Ein „lebendes Fossil“

Als Fossilien oder Versteinerungen bezeichnet man normalerweise Pflanzen oder Tiere, die vor mindestens 10 000 Jahren gestorben sind. Dennoch wird der Begriff „lebendes Fossil“ für eine besondere Gruppe von Organismen verwendet. Bekannte Beispiele sind: Schnabeltier, Urzeitkrebs, Lungenfisch, Brückenechse und Ginkgobaum. Aber es gibt noch viel mehr.

Der Nautilus, auch Perlboot genannt, zählt auch zu den „lebenden Fossilien“; er ist fast 80 Millionen Jahren in den Weltmeeren erhalten geblieben, ohne sich nennenswert verändert zu haben. In der Kreidezeit gab es einmal über 100 verschiedene Nautilusgattungen mit vielen tausend Arten. Zu dieser Zeit gab es Perlboote in allen Ozeanen. Heute leben sie nur noch an wenigen Stellen im Westpazifik und im Indischen Ozean.

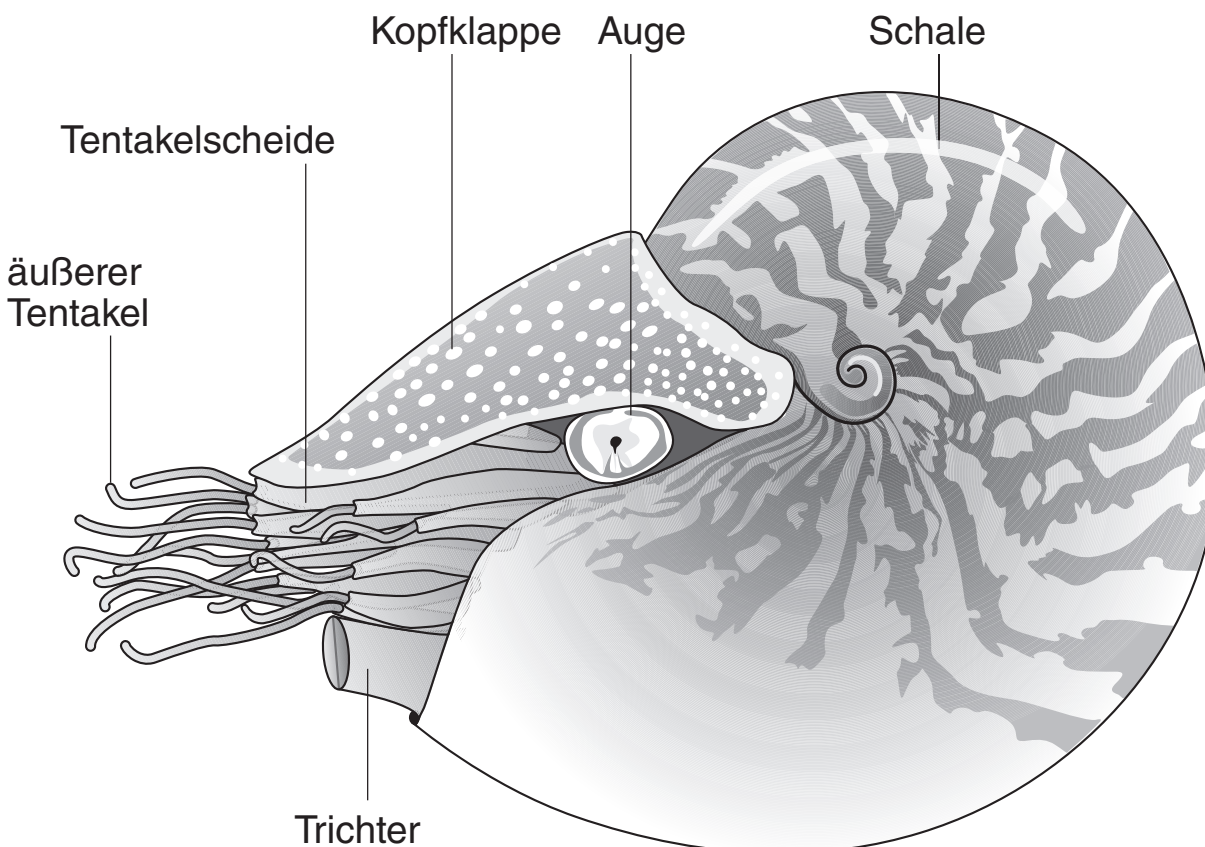


Abb. 1: Körperbau eines noch heute vorkommenden Nautilus

Der Nautilus gehört, wie die Tintenfische, zu den Kopffüßern. Die ersten nautilusartigen Tiere entstanden schon vor ca. 450 Millionen Jahren, zusammen mit den sehr ähnlich aufgebauten Ammonshörnern (Ammoniten) und den Donnerkeilen (Belemniten). Sie haben einen gemeinsamen Vorfahren. Die Kopffüßer beherrschten die Meere in der Jura- und in der Kreidezeit zwischen 195 und 65 Millionen Jahren vor unserer Zeitrechnung. Gegen Ende der Kreidezeit starben die Ammoniten und Belemniten plötzlich komplett aus, nur die Perlboote überlebten mit wenigen Arten.

Der Nautilus kann einmal im Jahr 10–20 sehr große Eier legen, die er unter Wasser an Felsen befestigt. Ammoniten dagegen konnten sich nur einmal im Leben fortpflanzen, sie legten viele Tausende, sehr kleine Eier einfach ins freie Wasser ab.

Aufgaben

1. Was ist überhaupt ein Fossil? **Über 10 000 Jahre alt**
2. Was sind die typischen Merkmale der „lebenden Fossilien“? **(vgl. Text oben)**
3. Nenne mögliche Gründe für das Aussterben der Ammoniten und für das Überleben der Perlboote.
Reproduktionsstrategie ist unterschiedlich
4. Beschreibe weitere Beispiele für „lebende Fossilien“; welche Bedeutung haben sie? **(vgl. Text oben)**

im Wesentlichen einem Basiskonzept der Biologie, nämlich „Struktur und Funktion“. Zu diesem Konzept passt auch das Material 2 „Die goldene Spirale des Nautilus“, mit dem die Schülerinnen und Schüler über die Berechnung einer einfachen Zahlenfolge (Fibonacci-Reihe) die Grundlage für die elegante Spiralstruktur des Nautilusgehäuses selbstständig nachvollziehen und konstruieren können.

In den Kernlehrplänen der Bundesländer sind die Schwerpunkte Fossilien, Evolutionsfaktoren, Stammesentwicklung der Lebewesen und Lebensräume in ständiger Veränderung obligatorisch [12]. Die Rolle des Nautilus als lebendes Fossil wird mit Material 3 bearbeitet. Dem Basiskonzept System folgend können neben Artenvielfalt, Selektion, Fortpflanzungserfolg (Fitness) und Separation die Eigenschaften der so genannten lebenden Fossilien am Beispiel der gekammerten Cephalopoden erarbeitet werden. Mit Kurzfilmen aus [13] können der Nautilus und andere „lebende Fossilien“ in ihren natürlichen Lebensräumen vorgestellt werden. Der fachliche Hintergrund zur Geschichte des Nautilus als „lebendes Fossil“ kann durch [14] untermauert werden. ■

Literatur

- [1] [http://www.j-verne.de/verne_technik_06_1.html]
- [2] Ward, P.D., Greenwald, L., Greenwald, O.E. (1980): *Der schwebende Nautilus*, Spektrum der Wissenschaft, S. 111–118.
- [3] Norman, M. (2000): *Tintenfischführer Weltweit*, Jahr Verlag.
- [4] Darwin, C. (1859): *On the origin of species by means of natural selection*. Murray, London, pp. 107.
- [5] Thenius, E. (2000): *Lebende Fossilien*, Pfeil Verlag.
- [6] Ward, P.D., Bruce, W. (1997): *A New Genus of Living Nautiloid Cephalopod and Its Bearing on Phylogeny of the Nautilida*. *Journal of Paleontology*, Vol. 71, No. 6, pp. 1054–1064.
- [7] Kleesattel, W. (2001): *Die Welt der lebenden Fossilien*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt.
- [8] Ward, P.D. (1983): *Nautilus und Ammoniten*. *Spektrum der Wissenschaft*, Dez., S. 68–83.
- [9] Jereb, P. (2005): *Family Nautilidae*. In: P. Jereb und C. F.E. Roper, eds. *Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of species known to date. Volume 1. Chambered nautilus and sepioids (Nautilidae, Sepiidae, Sepiolidae, Sepiadariidae, Idiosepiidae and Spi-*

rididae). *FAO Species Catalogue for Fishery Purposes*. No. 4, Vol. 1, Rome, FAO, pp. 51–55.

[10] Greenwald, L., Ward, P.D., Greenwald, O.E. (1980): *Cameral liquid transport and buoyancy control in chambered nautilus (Nautilus macromphalus)*. *Nature* 286, pp. 55–56.

[11] Dunstan, A., Alanis, O., Marshall, J. (2010): *Nautilus pompilius fishing and population decline in the Philippines: A comparison with an unexploited Australian Nautilus population*. *Fisheries Research*, Vol. 106, Issue 2, pp. 239–247.

[12] http://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/cms/upload/KLP_G8_hinweise_u_Beispiele/G8_BIO_Beispiel1.pdf

[13] *Lebende Fossilien, Didaktische FWU-DVD, Schule und Unterricht DVD 4602439*, Klett-Perthes

[14] Ward, P.D. (1993), *Der lange Arm des Nautilus oder warum lebende Fossilien noch leben*, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, Oxford

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Norbert Grotjohann, Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie, Abteilung Biologiedidaktik (Botanik und Zellbiologie), Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld, E-Mail: norbert.grotjohann@uni-bielefeld.de



Themenportal Pubertät

Die Initiative ABOUT YOU* bietet kostenlos:

- # Arbeitsmaterialien für den direkten Einsatz im Unterricht
- # Informationsbroschüren mit Produktproben von Binden und Slipeinlagen im Klassensatz

Bestellung oder Download unter

www.lehrer-online.de/pubertaet-start.php

always

* Die Initiative ABOUT YOU ist ein Angebot der Marke Always. Es richtet sich an Lehrerinnen und Lehrer, die mit ihren Schülerinnen und Schülern zum Thema Pubertät arbeiten und bietet konkrete Unterstützung für den Unterricht.