



## Biologisch-technische Analogien rund um das Meer

# Maritime Funktionsmorphologie

WOLFGANG HASENPUSCH

*Das Meer mit seinen Lebewesen, Gezeiten und Gestaden steckt immer noch voller Geheimnisse. Wer des Tauchens oder Schnorchelns mächtig ist und sich eine gewisse Erfahrung angeeignet hat, wird des Staunens nicht müde. Vieles lässt sich in Fotos und Filmen festhalten. Aber noch mehr gibt zu Fragen und Untersuchungen Anlass. Warum sind Fische und Meerespflanzen so gebaut? Wie hat die Evolution zu ihrem gegenwärtigen Verhalten geführt? Welche Baupläne, Mechanismen, Optimierungsprozesse und vor allem Funktionen liegen diesen Geschöpfen und den Einzelementen, aus denen sie zusammengesetzt sind, zugrunde? Das sind Fragen der Funktionellen Morphologie. Unweigerlich drängt sich dabei der Vergleich mit der Technik auf. Die Disziplin, die biologische den technischen Konstruktionen vergleichend gegenüberstellt und nach Analogien sucht, heißt Technische Biologie. Nicht selten kann man ein biologisches Element erst im Vergleich mit solchen technischen Analogien richtig verstehen. Wer mit seinen Vergleichen schon so weit vorgedrungen ist, grübelt vielleicht auch über die technische Nutzbarkeit dieser Naturfunktionen. Damit betritt er das Feld der Bionik, der Umsetzung biologischer Erkenntnisse in die technische Anwendung. Dieser Beitrag befasst sich mit funktionell-anatomischen Beschreibungen und technisch-biologischen Gegenüberstellungen maritimer Organismen. Mit dem letzten Beispiel für Brech- und Mahlwerkzeuge wird auch eine bionische Übertragungsmöglichkeit skizziert.*

Schon in der griechischen Antike beschäftigten sich besonders die Philosophen mit den Funktionen der Natur. So ist von dem griechischen Universalgelehrten und Lehrer Alexanders des Großen – Aristoteles (384–322 v. Chr.) – überliefert, wie intensiv er sich mit der Natur auseinandersetzte. Seiner Gedankenvielfalt entstammen eigene Disziplinen sowie maßgeblich von ihm beeinflusste Gebiete der Wissenschaftstheorie, Naturphilosophie, Logik, Biologie, Physik, Metaphysik, Ethik, Staatstheorie und Dichtungstheorie [1]. Die „Lanterne“ der Seeigel, mit der er sich näher beschäftigte, soll später Gegenstand eingehenderer Erörterung sein.

Der Schritt zum nächsten Universalgelehrten, der sich mit technisch-biologischen Gedanken befasste und sie sogar umsetzte, ist ein großer. Er führt zu Leonardo da Vinci (1452–1519), dem italienischen Maler, Bildhauer, Architekten, Anatomen, Mechaniker, Ingenieur und Naturphilosophen [2]. Da Vinci studierte beispielsweise den Vogelflug, wenn die großen Meeresvögel in die von Wein- und Olivenfeldern geprägte toskanische Landschaft seiner Heimat flogen, und skizzierte entsprechende Fluggeräte auf dem Papier. Eine bionische Übertragung hin zur Konstruktion tatsächlich sicher durch die Luft gleitender Fluggeräte, und damit ein bionischer Ansatz, gelang ihm jedoch nicht. Es sollte dem deutschen Luftfahrtingenieur Otto Lilienthal (1848–1896) vorbehalten bleiben, wiederholt einigermaßen stabile Gleitflüge durchgeführt zu haben. Sie bereiteten seinem Leben jedoch auch ein frühes Ende [3]. In seinen Aphorismen folgerte Leonardo: „Nie wird der menschliche Geist eine Erfindung machen, die schöner, leichter und kürzer wäre als die Natur“ [4]. Nicht unerwähnt bleiben soll Leonardos Idee eines pyramidenförmigen Fallschirms, die er den Flugstamen der Pflanzen abgesehen hatte. Nachdem die Funk-

tionsfähigkeit dieses Fallschirms angezweifelt wurde, testeten der britische Fallschirmspringer Adrian Nicholas (1962–2005) und sein Team gut 500 Jahre später im Jahr 2000 den Pyramidenfallschirm aus 3.000 Meter Höhe erfolgreich [5].

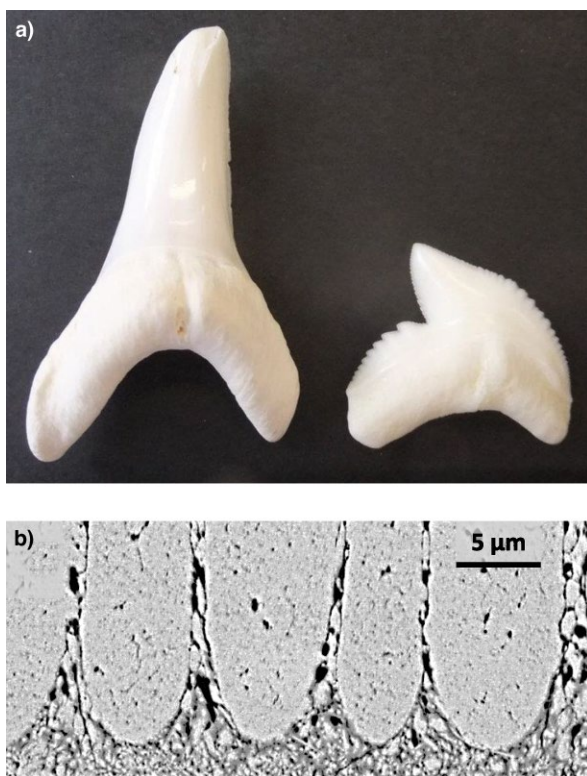
Aus zahlreichen Schleppversuchen mit unterschiedlich ausgebildeten Formkörpern zur optimalen Ausgestaltung von Schiffskörpern entwickelte der US-amerikanische Schiffbauingenieur und Konteradmiral David Watson Taylor (1864–1940) vor dem 1. Weltkrieg den Wulst- oder „Taylor-Bug“ [6]. Die beiden Schnelldampfer „Bremen“ (1929) und „Europa“ (1928) waren die ersten größeren, mit einem Wulstbug ausgestatteten Schiffe. Heute fahren fast alle größeren Frachter mit einem Wulstbug über

die Meere. Anregungen für diesen Bug hatten sich die Ingenieure bei den Delfinen geholt. Auch sie haben vorne an der Nase eine Verdickung. Alle Schiffe schieben eine Bugwelle vor sich her. Das kostet Energie. Sinn und Zweck dieses besonders geformten Bugs ist das Verschieben des Wellenbildes. Der Wulstbug baut also eine eigene Welle auf und verschiebt damit das Wellenbild des Schiffes. Die typische Bugwelle verschwindet fast ganz, und der Wasserwiderstand verringert sich um bis zu 10 Prozent. Was ein Wulstbug bringen kann, lässt sich in der Theorie berechnen: Nehmen wir an, ein Schiff soll 7000 Kilometer zurücklegen. Ein Schiff mit der Spitzbugvariante braucht dafür 16 Tage und 1000 Tonnen Dieseltreibstoff. Die Variante mit Wulstbug ist bereits nach sieben Tagen am Ziel und benötigt dabei nur 700 Tonnen Treibstoff. Die „Nase“ macht eben den Unterschied [7]. Seit den 1950er Jahren hat sich das Verfahren der Gegenüberstellung von Natur und Technik, Basis für nicht triviale bionische Übertragungen, konsequent weiterentwickelt [8].

### Biologische Optimierungen im Meer

Entsprechend der Größe der Ozeane auf unserem Planeten Erde, die in der Oberflächenrelation gegenüber dem Land mit 71:29 deutlich überwiegt, haben sich auch die Vielfalt der Arten sowie ihre stoffliche Zusammensetzung, Mechanismen und Strategien im Laufe der Millionen Jahre optimiert. Noch heute sind viele Lebensweisen von Tieren und Pflanzen von den Gestaden der Meere bis hinunter in die Tiefsee unaufgeklärt. Wir wissen, dass die Zähne der Haie (Abbildung 1) durch die Struktur des Fluorapatits,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ , deutlich stabiler sind als unsere eigenen aus Hydroxy- und Carbonatapatit, denn unsere Zähne benötigen aufwendige Pflege und professionelle Unterstützung. Wir kennen zwar die Struktur der Walfette, -öle und -wachse, können uns aber immer noch keinen schlüssigen Reim darauf machen, wie Pottwale bis zu 3.000 m in die Tiefe tauchen können, dort mit Riesenkalmaren kämpfen, um dann als Säugetiere eine halbe Stunde später wieder zum Atmen auftauchen zu müssen.

Weltweite Recherchen ergaben, dass insbesondere China in der „Biologischen Maritimen Technik“ große Potenziale sieht [9]. Da der Begriff „Maritim“ (zum Meer gehörend) umfassender ist als „Marin“ (Bionik von Meereslebewesen), müssen sich solche Überlegungen nicht ausschließlich auf die biologischen Wesen in den Meeren beziehen, sondern können auch ihre Produkte wie Korallenstöcke oder Hinterlassenschaften wie Guano einschließen. An der Universität Siegen haben wir uns mit den Seeigelstacheln, die an einigen Stellen zu Tausenden den Meeresboden bedecken, den Kauwerkzeugen der Seeigel sowie den Zähnen der Papageifische genauer auseinandergesetzt, um auf technische Anwendungsmöglichkeiten zu stoßen. Weitere Objekte aus dem Meer, bei denen wir ein Anregungspotenzial für technische Umsetzungen sehen, sollen kurz vorgestellt werden.



**ABB. 1** Zähne von a) Mako- (links) und Tigerhai (rechts) sowie c) ovale Fluorapatitbündel in ihrem Zahnschmelz. Fotos: Universität Duisburg-Essen.

#### IN KÜRZE

- Die Funktionsmorphologie der Meeresbewohner offenbart interessante **Strukturen und Bauweisen**, die zu technischen Umsetzungen anregen.
- Gute Beispiele hierfür sind unter anderem die **spezi-fischen Anpassungen** der Zähne von Haifischen und Papageifischen, der Stacheln von Diadema- und Griffel-seeigeln sowie die Besonderheiten der Atmung von Walen.



## Anpassungen und mögliche Anwendungen von Seeigelstacheln

Besonders in Badebereichen südlicher Gefilde sind an den Badestränden und Korallenriffen vor den Touristenhotels zahlreiche langstachelige, schwarze Seeigel der Gattung *Diadema* anzutreffen (Abbildung 2). Diese für Badegäste, Schnorchler und selbst Gerätetaucher gefährlichen Bewohner flacher Gestade haben schon manchem arglosen Touristen mit ihren bis zu 30 cm langen Stacheln den Urlaub verdorben. *Diadema*-Seeigel leben an den Küsten des tropischen Indopazifiks, des Roten Meeres und des tropischen Atlantiks bis in Tiefen von 30 Metern. Im sonnendurchfluteten klaren Meerwasser drängen sie sich zum Schutz vor Fressfeinden dicht aneinander, so dass sich ganze „Stachelteppiche“ ausbilden. In der Nacht werden die Tiere aktiv und weiden mit ihrem fünfzähligen Kauwerkzeug Algen von Steinen und Korallen ab. Schaut man sich unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) die Struktur der Stacheln genauer an, so ist ein faszinierender Aufbau mit vor allem folgenden Details zu erkennen [10]:

- 24-zählige achsensymmetrische Stachelstruktur (Abbildung 3a)
- Leichtbauweise aus Calciumcarbonat (Calcit,  $\text{CaCO}_3$ ) mit einem von Löchern durchzogenen Zentralrohr (Abbildung 3b)
- zahlreiche Widerhakenreihen in Richtung der Stachelachse an den 24 Außenlamellen (Abbildung 3c, d).

Zweifellos dienen die mit Widerhaken besetzten Stacheln der Abwehr von Fraßfeinden. Von einem Designer hätten sie nicht vollkommener konstruiert werden sein können. Aber warum hat die Evolution den Seeigeln nicht rundere, glatte Stacheln „verpasst“? Eine Antwort könnte in der Minimierung des Widerstands in der Strömung sein, die den Tieren besonders an Ufernähe durch die hin und her bewegende Dünnung zu schaffen macht. Hält man zwei gleiche Stäbe, glatt und in Längsrichtung gefurcht, in ein strömendes Wasser, so lassen sich drei Effekte beobachten (Abbildung 4):

1. Die Bugwelle vor dem gefurchten Stab fällt deutlich niedriger aus.
2. Die Wirbel hinter dem gefurchten Stab sind kaum erkennbar.
3. Statt der größeren Bugwelle zerteilt sie sich beim gefurchten Stab in mehrere kleinere Wellen.

Das der Strömungswiderstand mit gefurchten Stäben deutlich geringer ist, lässt sich sehr effizient an einem Taucherschnorchel ausprobieren und messen. Mittels einer Federwaage zeigt sich, dass ein gefurchter Schnorchel mit der halben Kraft durch das Wasser zu ziehen ist. Selbst beim schnellen Flossenschwimmen unter Wasser ist deutlich am Kopf zu spüren, dass der gefurchte Schnorchel weniger Widerstand leistet. Dieses Prinzip der Widerstandsminimierung durch gefurchte Rundungen lässt sich an vie-

len Einrichtungen einsetzen, von Brückenpfeilern in Flüssen, zu Bojen bis hin zu Schuten und U-Bootrohren.

Bei Griffelseeigeln (*Heterocentrotus mammillatus*, Abbildung 5), die ebenfalls im flachen, strömungsreichen Wasser tropischer Gewässer leben, ist eine andere, robu-



ABB. 2 Seeigel *Diadema setosum*. Einzelexemplar vor der Küste auf sandigem Untergrund. Foto: Michael Wolf.

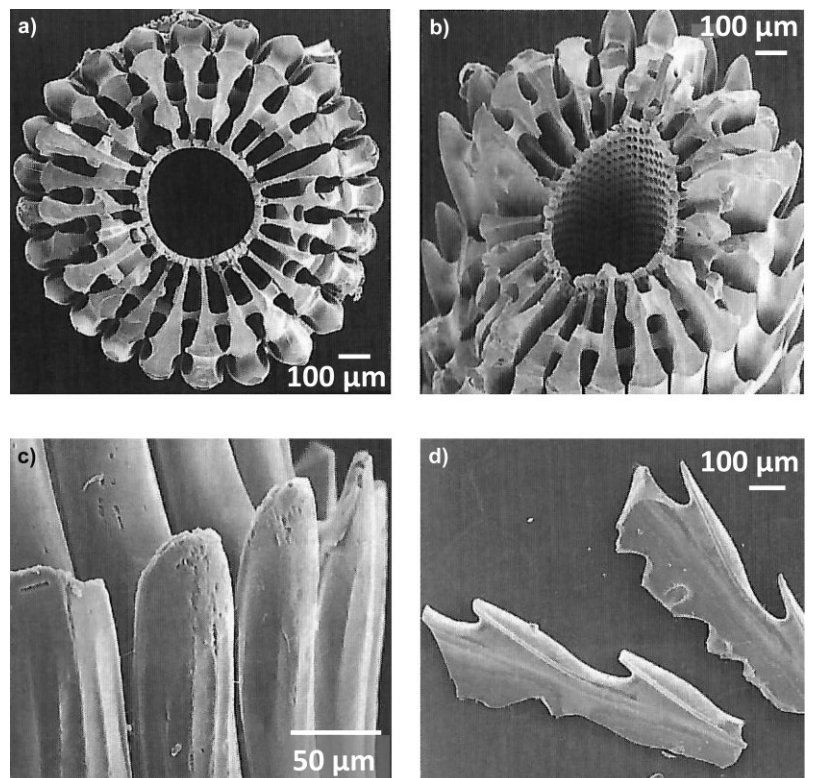
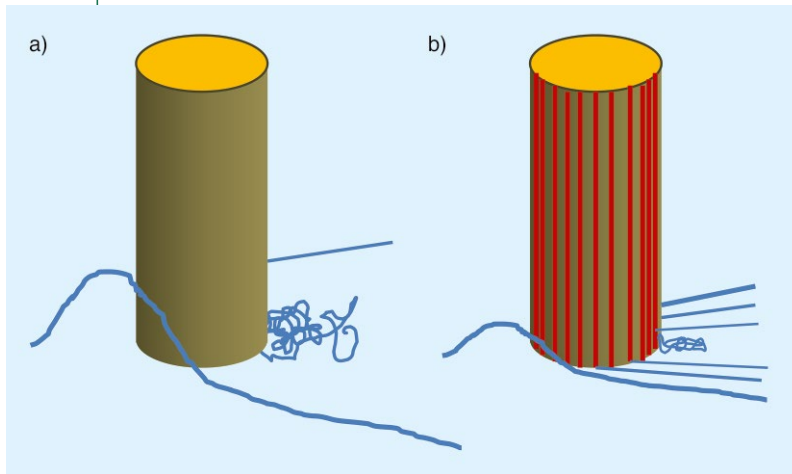


ABB. 3 Die Stacheln des Seeigels *Diadema setosum* im Rasterelektronenmikroskop (REM). a) Querschnitt, b) Bruchfläche, c) Widerhakenlamellen, d) Detailaufnahme der Widerhaken an den Lamellen. Fotos: Hayo Everts.



#### ABB. 4 | VERRINGERUNG DES ANSTRÖMWERSTANDS



An gerillten Säulen (b) ist der Anströmwiderstand geringer als an glatten Säulen (a). Der geringere Widerstand ist an der niedrigeren Bugwelle erkennbar.

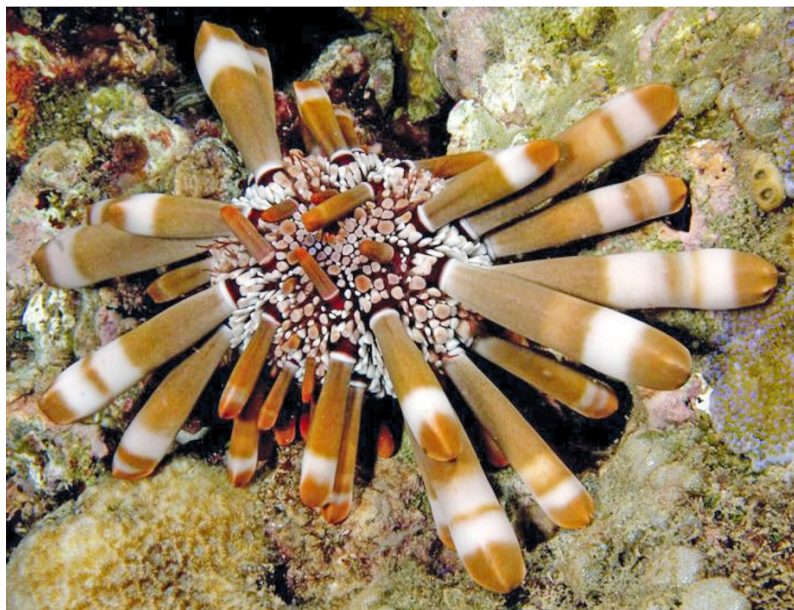


ABB. 5 Die kräftigen Primärstacheln der Griffelseeigel (*Heterocentrotus mammillatus*). Foto: Nick Hobgood.

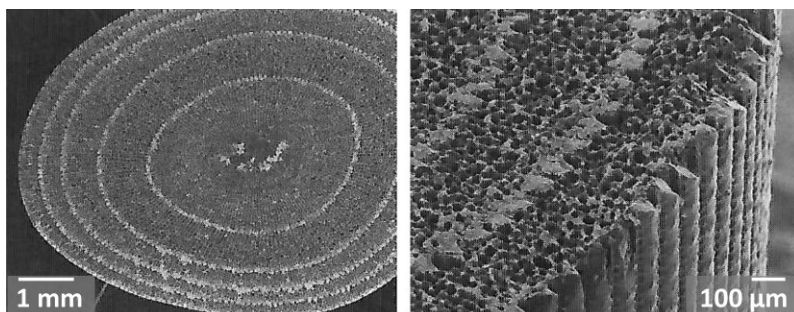


ABB. 6 Schnitt durch einen Stachel des Griffelseeigel (REM). Rechts ist eine Detailansicht gezeigt. Fotos: Hayo Everts.

tere Stachelstruktur zu beobachten (Abbildung 6). Im Querschnitt zeigt sich ein dreidimensionales, schwammartiges Calcitnetzwerk, das dem Material technischer HPLC-Chromatographiesäulen aus aromatischen Kunststoffen ähnelt (Abbildung 7), gestützt von konzentrischen Verstärkungsröhren. Es wäre also durchaus möglich, die Griffelseeigelstacheln nicht nur der Bijouterie-Industrie vorzubehalten, sondern auch als Säulenmaterial in der Chromatographie zu nutzen. Interessant ist ferner, dass die Stabilisierungsrohre der Griffel, die im Querschnitt als konzentrische Ringe erscheinen, im mathematischen Verhältnis der Wurzeln aus 1, 2, 3 u. s. w. erscheinen. Das bedeutet, dass sie ein konzentrisches Rohrbündel mit identischen Volumina im Zentralrohr und zwischen den Rohren aufweisen [11]. Nach diesem Prinzip ließen sich Chromatographiesäulen größerer Durchmesser konstruieren, ohne ein „Durchsacken“ der getrennten Säulenschichten zu befürchten. Ferner wären Anwendungen bei Rohrreaktoren, Wärmetauschern oder Gasleitungen verschiedener Gase vorstellbar.

#### Kauwerkzeuge als technische Vorbilder

Der Mechanismus, mit dem die Seeigel auf den Steinen und Korallen weiden, faszinierte bereits Aristoteles (384–322 v. Chr.). Aufgrund seiner Beschreibungen ging das fünfzählige Kauwerkzeug der Seeigel als „Lanterne des Aristoteles“ in die Geschichte ein. Auf fünf Schienen schieben sich die fünf T-förmigen, säbelartig gebogenen Zähne aus Calcit ( $\text{CaCO}_3$ ) mit etwas Magnesiumcarbonat ( $\text{MgCO}_3$ ) zur Härtung konzentrisch mit den Spitzen zusammen. Eine konzentrische fünfgliedrige Zange wäre aber auch bei der Anwendung von chirurgischen Endoskopen von Vorteil, da sich diese Greifer nur nach vorne bewegen und nicht ausladend wie zwei Baggerschaufeln. Staunen erregt auch die Finesse, mit der die Evolution die an sich relativ weichen Kalkzähne noch verstärkt hat, nämlich nach dem Prinzip der Damaszenerschwerter. Die Zähne bestehen zur Verstärkung aus feinen Schichten und Fasern, wie REM-Aufnahmen zeigen [12] (Abbildung 8). Den geschichteten Stahl hatten die Waffenschmiede vor über 2000 Jahren in Damaskus unabhängig von den Vorbildern in der Natur erfunden. Heute können wir manche Geheimnisse der Geschöpfe mit der modernen Mikroskopie eher erkennen und kreativ umsetzen.

Von den Papageifischen (Scarinae) gibt es zehn Gattungen mit etwa 100 Arten. Die Farbmuster der Geschlechter innerhalb einer Art sind so unterschiedlich, dass Forscher lange Zeit in der Artenzuordnung irritiert waren. Papageifische bewohnen in großen Gruppen ausschließlich tropische Meere und leben als „Weidegänger“ an Korallenriffen [13]. Ihr augenfälligstes Merkmal sind die zu einem Schnabel verwachsenen Kieferzähne (Abbildung 9). Die kalottenförmigen Weidezähne sind in Reihen angeordnet. Ihre Nahrung, die aus Pflanzen und Korallen besteht, mahlen die „Meerespapageien“ zwischen dem oberen und unteren Schlundkiefer zu einem feinen Korall-



lensand. Sporttaucher hören deutlich die Mahlgeräusche dieser Fische, und ab und an entlassen sie aus ihrem After eine Wolke aus fein zerkautem Korallensand. Diese Papageifischzahnreihen könnten, umgesetzt auf Trommeln, auch als Brech- oder Mahlwerkzeuge beispielsweise in Steinbrüchen ihren Einsatz finden. Die Mahlköpfe wären robust und leicht zu reinigen (Abbildung 10).

Die Pflanzen und Tiere der Meere und Seen sind ein unübersehbarer Fundus für die Entdeckung artspezifischer Mechanismen, die ihre bestimmte, im Verlauf der Evolution optimierte Funktion und Zielrichtung haben. Allein bei Meeresschnecken und Muscheln können wir Wunderwerke von Schließmechanismen entdecken: So erfolgt beispielsweise durch Variation der  $\text{CaCO}_3$ -Modifikationen Calcit und Aragonit über orientiertes Aufwachsen auf bestimmten Eiweißbausteinen der Strukturaufbau statischer Stabilisierungselemente.

### Von Sauerstoffspeicherung bis Biosynthese

Pottwale tauchen über tausend Meter tief, um ihre Beute, die Riesenkalmare, zu jagen. Wie speichern die Wale den Sauerstoff nach dem Einatmen an der Wasseroberfläche, wenn sie eine halbe Stunde oder länger in die Tiefe gleiten und sich dabei auch noch anstrengen? Es gibt viele Hypothesen. Aber alle müssen die Voraussetzung erfüllen, dass der Sauerstoff nicht als Gas, sondern chemisch rasch gebunden wird, denn mit einem „Gasballon“ schaffen sie es nicht, in die Tiefe zu tauchen. Der Gasdruck würde auf über 100 bar anwachsen und sich beim raschen Auftauchen zu stark ausdehnen und ein Platzen der Lungen bewirken. Eine Möglichkeit der Dichteerhöhung, um leichter abtauchen zu können, wäre die chemische Bindung des Sauerstoffs an zwei Kohlenstoffatome von Kohlenwasserstoffen im Fettgewebe. Enzyme, die solche Bindungen vermitteln könnten, sind beispielsweise Epoxygenasen. Die gebildeten Epoxide mit C-O-C-Dreieck-Strukturen haben eine wesentlich höhere Dichte als Wasser, während die nach dem Sauerstoffverbrauch entstehenden Moleküle mit Doppelbindung zwischen den Kohlenstoffatomen eine geringere Dichte als Wasser aufweisen und somit den Auftrieb der Wale wieder an die Wasseroberfläche erleichtern könnten. Eine derartige enzymatisch vermittelte Bindung von Sauerstoff über zwei Bindungen an Kohlenwasserstoffe würde eine Menge von technischen Anwendungen ermöglichen wie beispielsweise Epoxid- und Glykolsynthesen.

Haie verfügen in ihrer Leber über einen Kohlenwasserstoff mit gleich sechs Doppelbindungen, dem Squalen,  $\text{C}_{30}\text{H}_{50}$ . Auch sie können bis in Tiefen von 3000 Metern vordringen. Allerdings separieren sie den gelösten Sauerstoff aus dem Meerwasser. Erstaunlich bleibt das Tieftauchen der Oktopoden (Kraken, Sepien, Kalmare, Nautilus) bis in Tiefen von mehr als 1000 Meter mit ihren Luftkammern, z. B. dem „Sepienschulp“ (Abbildung 11). Diese kompressionsstabilen Auftriebskörper mit Steglamellen von nur 10 Mikrometer Dicke bestehen hauptsächlich aus

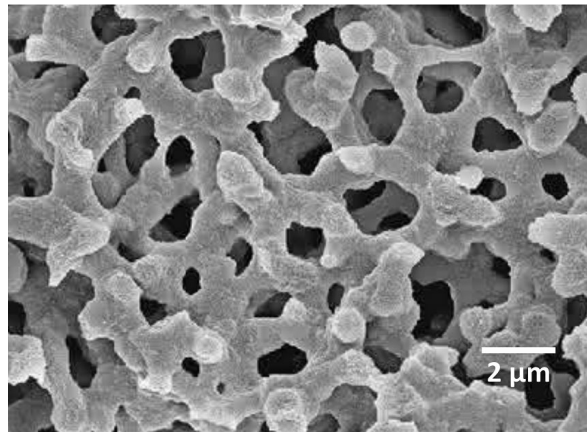


ABB. 7 Querschnitt durch eine monolithische HPLC-(High Performance Liquid Chromatography)-Säule. Foto: LABO.

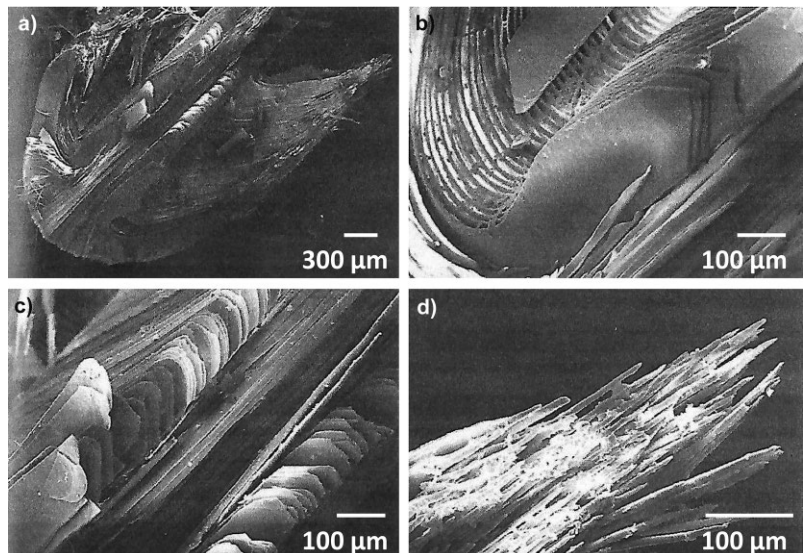


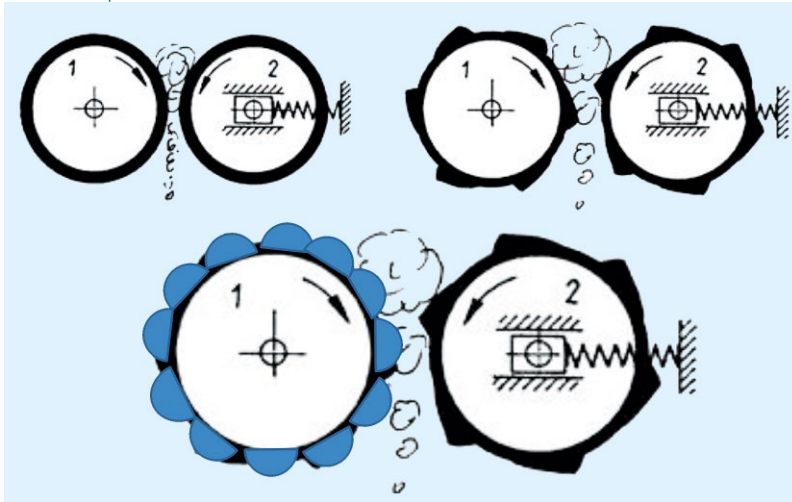
ABB. 8 Details eines Zahns von *Diadema setosum*. Foto: T. Zaiß.



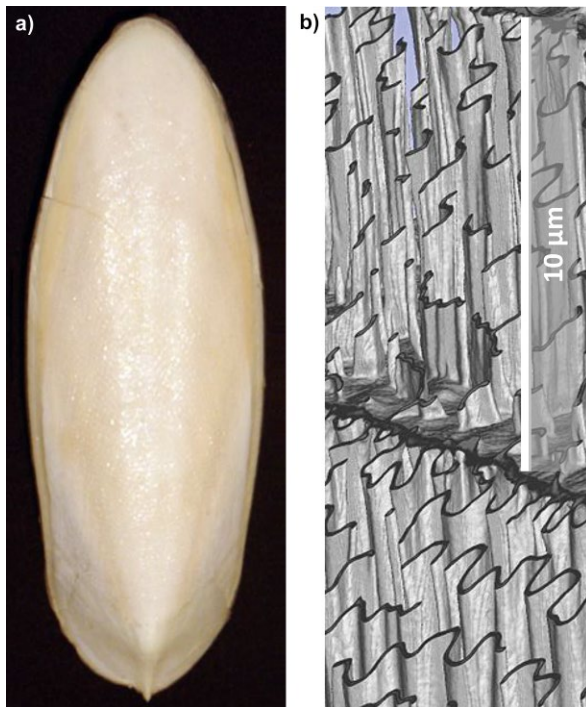
ABB. 9 Papageifisch mit kalottenförmiger Zahnstruktur zum Zermahlen der Korallen. Der Ausschnitt zeigt eine Vergrößerung der Kiefer mit den Kalottenzähnen. Fotos: Jaroslaw Barski, Darrell Mann (Inset).



**ABB. 10** | MÖGLICHE ANWENDUNG VON KALOTTENZÄHNEN



**Herkömmliche Mahlwalzen (oben) und Kalottenwalzenbrecher (unten) zum Zerkleinern von Gestein. Die Kalotten sind blau gefärbt.**



**ABB. 11** Schulp einer Sepia. Rechts ist ein vergrößertes Querschnittsegment dargestellt. Auffällig sind die extrem platzsparenden gewinkelten Kalksäulen zwischen den Schichten.



**ABB. 12** Die Streifenruderschlange (*Hydrophis cyanocinctus*) ist eine sehr giftige Seeschlange. Foto: Jon Hanson.

der Calciumcarbonatmodifikation Aragonit. Großen Respekt bei anderen Meeresbewohnern genießen die gefährlichen, schwarz-weiß gestreiften Seeschlangen (*Hydrophis cyanocinctus*, Abbildung 12) aufgrund ihres Giftes. Vielleicht ließen sich mit schwarz-weiß gestreiften Leinen auch gefährliche Raubfische in die Flucht schlagen.

Eine schier unerschöpfliche Quelle hält die maritime Welt an Vorbildern für Medikamente bereit; Tiere und Pflanzen können außerdem Metall akkumulieren. So gelten Seescheiden (Ascidien) beispielsweise nicht nur als Quelle pharmakologisch wichtiger Substanzen [14], sondern sie reichern auch selektiv Vanadium mit einem enormen Akkumulationsfaktor von  $10^7$  an [15]. So halten die Ozeane mit ihren Lebewesen, ihren Wasserqualitäten und Strömungen, den Böden mit den „Schwarzen Rauchern“ und „Manganknollen“ noch viele Rätsel bereit, bei deren Lösung auch Vergleiche über die Technische Biologie für technische Umsetzungen und Anwendungen hilfreich sein können.

### Das Besondere des Maritimen

Sich durch unsere Berge und Wälder zu bewegen, um auf der Suche nach den Tricks der Natur brauchbare Vorbilder für technische Umsetzungen zu finden, bedeutet schon sehr viel Abenteuerlust und Energie. Dabei bedeckt das Land gerade einmal 29 Prozent der Erdoberfläche. Wir Menschen leben zwischen Meereshöhe und in bergigen Gegenden bis auf wenige Ausnahmen in gerade einmal 1500 Metern Höhe. Die Meere beanspruchen 71 Prozent der Erdoberfläche mit einer Durchschnittstiefe von 3500 Metern. Sporttaucher gelangen mit ihrer Ausrüstung und ihrem Knowhow gerade einmal 40 Meter unter Wasser. Die Erkundung der gesamten Meere aber ist speziellen Tauchbooten und Tauchrobotern vorbehalten. Sie haben schon Erstaunliches an die Wasseroberfläche gebracht, dennoch stehen Tiefseeforschung und Meereskunde erst am Anfang ihrer wissenschaftlichen Entwicklung. So kann auch die maritime Funktionsmorphologie noch lange dazu beitragen, den Fundus dieser Erkenntnisse aus den flachen und tiefen Zonen der Ozeane für neue technische Ideen und Umsetzungen zu erweitern.

### Zusammenfassung

Die Meere mit ihren großen Oberflächen und Tiefen haben ihren Bewohnern im Laufe der Evolution zu einer erstaunlichen Fülle spezifischer Funktionsmorphologien verholfen. Das lässt sich an den Beispielen der harten Haifischzähne, den Wasserwiderstand mindernden Seeigelstacheln, kalottenförmigen Papageifischzähnen, den Angst einflößenden giftigen Seeschlangen und den extrem tief tauchenden Walen eindrucksvoll aufzeigen und kann zu entsprechenden technischen Anwendungen anregen.

**Summary**

**Maritime functional morphology**

*During the course of evolution, conditions in the wide and deep oceans have led to an amazing diversity of functional morphologies in living organisms. That can be impressively demonstrated with some examples: the hard teeth of sharks, the spines of sea urchins which so efficiently reduce water resistance, the tough teeth of Parrot fish with their dome-shaped caps, highly toxic frightening sea snakes and extremely deep diving whales – all of these animals displaying structures and processes that may trigger technical applications.*

**Schlagworte**

Maritime Funktionsmorphologie, Bionik, Haifiszähne, Seeigelstacheln, Seeigelzähne, Sepienschulp.

**Literatur**

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Aristoteles>
- [2] [https://de.wikipedia.org/wiki/Leonardo\\_da\\_Vinci](https://de.wikipedia.org/wiki/Leonardo_da_Vinci)
- [3] [https://de.wikipedia.org/wiki/Otto\\_Lilienthal](https://de.wikipedia.org/wiki/Otto_Lilienthal)
- [4] Leonardo da Vinci: „Die Aphorismen“, ausgewählt und übersetzt von Marianne Schneider, ISBN 3-8296-0097-6.
- [5] [https://de.wikipedia.org/wiki/Adrian\\_Nicholas](https://de.wikipedia.org/wiki/Adrian_Nicholas)
- [6] [https://de.wikipedia.org/wiki/Bug\\_\(Schiffbau\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Bug_(Schiffbau))
- [7] <https://www.brueckenbote.de/der-wulstbug/>

- [8] W. Nachtigall (1998). Bionik – Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Springer.
- [9] D. Oertel, A. Grunwald (2006). Potenziale und Anwendungsperspektiven der Bionik“, TAB, Arb.-Bericht 108.
- [10] W. Hasenpusch (1994). Die Stacheln des Seeigels, CLB 6, 294–296.
- [11] W. Hasenpusch (2000). Seeigelstachel – Strukturmerkmale und Analysen, Naturw. Rundschau 9., 461–462.
- [12] W. Hasenpusch, T. Zaiß (2001). MIKROKOSMOS 6, 329–332.
- [13] <https://de.wikipedia.org/wiki/Papageifische>
- [14] F. Bracher (1994). Seescheiden (Ascidien) – eine Quelle pharmakologisch aktiver Substanzen, Pharmazie in unserer Zeit, 23/3, 147.
- [15] A. F. Holleman et al. (2007). Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 102. Aufl., Walter de Gruyter, Berlin, 1542.

**Verfasst von:**



Wolfgang Hasenpusch, Jahrgang 1947, Studium und Promotion der Chemie an der Universität Kiel, Industriechemiker bei der Degussa AG, 1999 Honorarprofessur an der Universität Siegen, Dozent und Wissenschaftsjournalist, Schwerpunkte: Metalle, Recycling, Bionik, Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz, Gefahrstoffe.

**Korrespondenz:**

Prof. Dr. Wolfgang Hasenpusch  
 Treuener Str. 7  
 63457 Hanau  
 E-Mail: [wolfgang.hasenpusch@t-online.de](mailto:wolfgang.hasenpusch@t-online.de)

**KOMPASS TIERVERSUCHE 2021**



Die jährlich vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) veröffentlichte Statistik zu den Versuchstierzahlen liefert ein Meer von Daten über den Einsatz von Tieren in der Forschung. Doch hinter diesen Zahlen- und Prozentwerten steckt mehr als nur ein bloßer Vergleich zum Vorjahr. Wie lassen sich bestimmte Tendenzen bewerten? Welchem Zweck

dienen die Forschungsprojekte und warum wurden hier mehr und dort weniger Tiere für die Forschung verwendet? Diese und andere Fragen und Hintergründe beleuchtet die Initiative Tierversuche verstehen auf 44 Seiten im druckfrischen „Kompass Tierversuche 2021“, der in diesem Jahr erstmals erscheint und die aktuellsten Daten, d. h. für das Jahr 2019, aufbereitet. Er bietet anlässlich des „Internationalen Tages des Versuchstiers“ am 24. April verständlich aufbereitete Zusatzinformationen und Grafiken zu dem Zahlenwerk rund um das Thema Tierversuche in Deutschland und in Europa. Der Kompass Tierversuche richtet sich dabei vor allem an die interessierte Öffentlichkeit, aber auch an die Fachwelt. Die Initiative Tierversuche verstehen will mit dem Kompass Tierversuche einen informativen und lesenswerten Beitrag zur Kommunikation zu einem in der Öffentlichkeit oftmals hitzig diskutierten Thema leisten.

**NOVELLE DER BIOSTOFFVERORDNUNG – SARS-COV-2-DIAGNOSTIK AB OKTOBER ANZEIGEPFLICHTIG**

Zum 1. Oktober soll eine Änderung der Biostoffverordnung (BioStoffV) in Kraft treten, die die Umsetzung der Richtlinie (EU) 2020/739 (Aufnahme von SARS-CoV-2 in die Liste der biologischen Arbeitsstoffe) sicherstellt (Bundesratsdrucksache 400/21). Dabei konnte verhindert werden, dass jegliche Arbeitnehmer, die mit SARS-CoV-2 in Berührung kommen könnten (Busfahrer, Kassenpersonal) einem eigenen Biostoffregime unterworfen wurden. Grundsätzlich gilt aber die Verordnung zukünftig auch dem Schutz von Beschäftigten, die selbst keine Tätigkeiten mit Biostoffen ausüben, aber durch solche gefährdet werden können, weil sie in einem entsprechenden Arbeitsbereich tätig sind. Besonders wichtig ist die Neuerung, dass die

erstmalige Aufnahme nicht gezielter Tätigkeiten in der Schutzstufe 2 mit Biostoffen der Risikogruppe 3 einschließlich 3\*\* jetzt den Überwachungsbehörden angezeigt werden muss, wenn die Tätigkeiten regelmäßig durchgeführt werden sollen. Dies gilt z. B. für Labordiagnostik von SARS-CoV-2 in Testzentren, jedoch nicht für den freiwilligen Selbsttest z. B. im eigenen Betrieb. Wie zu erwarten wurden außerdem die Ordnungswidrigkeitstatbestände weiter präzisiert, sprich verschärft, so dass alle sich im Herbst mit der neuen BioStoffV und den nachgelagerten Technischen Regeln (TRBA) vertraut machen sollten.

