

NR 638

GEOkompakt

Die Grundlagen des Wissens

Ein neuer
Blick unter die Wellen

Die **Wunder** der **Meere**

Aufbruch
zu unerforschten
Paradiesen

Was wir von Haien,
Mantas und Schildkröten
lernen

Wie wir dem
Ozean helfen
können

Deutschland 11,00 € • Österreich 12,50 € • Schweiz 18,60 sfr • Benelux 12,90 € • Italien/Spanien/Portugal (cont.) 14,90 €

SEIT 2015
WALDEN
ABENTEUER VOR DER HAUSTÜR

Wenig Platz ZUM SCHLAFEN *aber, viel zum* TRÄUMEN.



Die besten
Stellplätze
PLATZ DA!
für Frühjahr
& Sommer

**ALLES
FÜR DAS
DRAUSSEN
IN DIR.**

Heft oder Abo bestellen unter
walden-magazin.de/abo



Liebe Leserin, lieber Leser,

es sind schon mehr Menschen zum Mond aufgebrochen, als zu den tiefsten Stellen der Erde – etwa 11 000 Meter unter der Wasserlinie. Das zeigt, wie unerschlossen die Ozeane zum Teil noch sind, wie wenig wir über dieses unermessliche Reich jenseits der Küsten wissen. Von jeder neuen Expedition kehren Forscher mit spektakulären Entdeckungen zurück, finden etwa Korallengärten vor der Westküste Grönlands, begegnen leuchtenden Haien, filmen unbekannte Gallertwesen, die geisterhaft über den Tiefseegrund schweben.

Die Formenvielfalt der marinen Tierwelt ist beinahe grenzenlos. Fast scheint es, als hätte die Evolution sich in den Meeren von allen Fesseln gelöst. Und: Ein Gutteil der Arten ist noch gar nicht bekannt. Umso mehr gilt es, diesen gewaltigen Kosmos weiter zu erforschen, seine verborgenen Schätze zu entdecken. Zumal sich die Welt unter Wasser dramatisch verändert. Die globale Erwärmung führt dazu, dass ganze Ökosysteme unter Druck geraten und zu verschwinden drohen – ob in den Riffen der Tropen, den Polarmeeren oder auch in Nord- und Ostsee.

Die Ozeane wirksamer zu schützen, liegt dabei in unserem ureigenen Interesse: Nur wenn ihre biologische Produktivität erhalten bleibt, wird es gelingen, eine wachsende Erdbevölkerung nach wie vor mit proteinreicher Kost zu ernähren. Und nur dann sind die Meere weiterhin in der Lage, einen beträchtlichen Teil unserer CO₂-Emissionen zu speichern. Derzeit forschen Wissenschaftler daran, wie sich diese segensreiche Funktion des Ozeans sogar noch gezielt fördern lässt (siehe Seite 44).

Der Mensch braucht den Ozean, heute mehr denn je. Doch nicht zuletzt und vor allem hat diese atemberaubende Wasserwelt einen Wert an sich. Allein die Schönheit der Meere, die wir Ihnen auf den folgenden Seiten präsentieren, zeigt: Es lohnt sich, für ihren Erhalt zu kämpfen. Und: Es ist noch nicht zu spät.

Herzlich, Ihre

Rainer Harf

Sebastian Witte

Redaktion GEOkompakt

GEOkompakt

ABO

GEOkompakt erscheint viermal pro Jahr! Hier geht's zum Abo:
geo.de/kompakt-im-abo



Wie wir Überfluss reduzieren und Zufriedenheit gewinnen: in der neuen Ausgabe von
GEO WISSEN



So kehrt die Wildnis zurück in den Garten: die neue Ausgabe von
WOHLLEBENS WELT



[32]

Wellen

Wie aus dem Nichts türmt sich manche Woge meterhoch auf. Noch immer versuchen Forscher zu verstehen, wie genau es dazu kommt

[90]

Haie

Gefürchtet und unterschätzt: Die Topräuber der Meere sind lernfähig, haben verblüffend feine Sinne und treffen sich mit Kameraden



[44]

Zukunft

Ein Ozeanograf über die dramatischen Veränderungen unter Wasser – und was dagegen hilft

[72]

Medizin

Die Stoffe, mit denen sich manche Meerestiere gegen Feinde wehren, könnten Krankheiten heilen



[134]

Tiefsee

Bizarre Geschöpfe bevölkern die Finsternis – hier überlebt nur, wer trickst und täuscht



[06]

Strategien

Ob Krake, Krebs oder Koralle: Die Tiere des Ozeans behaupten sich höchst unterschiedlich – und sind zugleich voneinander abhängig

[64]

Korallen

An wenigen Orten der Welt gibt es sie noch – etwa vor Kuba: Unterwassergärten voll betörender Schönheit





Welchen Schatz die Meere bergen

Strategien Ein erstaunliches Beziehungsgeflecht prägt die marine Tierwelt	06
Vielfalt Nirgendwo ist das Leben vielgestaltiger als im Ozean. Wie kommt das?	26
Wellen Forscher versuchen, die Dynamik von Monsterwogen zu ergründen	32
Wale Wie uns die grauen Giganten mit ihrem Verhalten das Staunen lehren	56
Medizin Schwämme, Schnecken und Co. bergen hochpotente Wirkstoffe	72
Haie Porträt eines gefürchteten Killers, der zugleich ein Kumpel ist	90
Plankton Winzige Herumtreiber verursachen die größte Wanderung auf Erden	100
Leuchtwesen Wie Biologen faszinierende Signale aus Licht entschlüsseln	108
Akustik Klicken, Grunzen, Pfeifen: Was uns die Laute der Fische verraten	126
Tiefsee Mit welchen Tricks die Wesen der Finsternis dem Mangel trotzen	134

Wie sich die Welt unter Wasser verändert

Zukunft Plastikmüll, Erwärmung, Todeszonen: Sind die Meere noch zu retten?	44
Meeresduft Wenn Gerüche offenbaren, wie sich der Ozean wandelt	50
Korallen Was die Riffe der Tropen bedroht – und wie sie überleben könnten	64
Hightech Raffinierte Methoden ermöglichen einen neuen Blick in die Tiefe	76
Quallen Ihr Siegeszug ist einzigartig: Warum sie auf dem Vormarsch sind	118
Fakten Eine Sammlung verblüffender Zahlen und Phänomene	144

Die Welt von GEO 146 Impressum, Bildnachweis 107

Fakten und Daten in diesem Heft sind vom GEOkompakt-Verifikationsteam auf Präzision, Relevanz und Richtigkeit überprüft worden. Kürzungen in Zitaten werden nicht kenntlich gemacht. Redaktionsschluss dieser Ausgabe: 5. Februar 2021. Weitere Informationen zum Thema und Kontakt zur Redaktion: www.geokompakt.de. Titelbild: Willyam Bradberry



[76]

Forschung

Wissenschaftlerinnen wie Bernadette Pogoda revolutionieren unser Bild von den Meeren



[118]

Quallen

Sie bestehen fast nur aus Wasser und altern kaum: Die geheime Welt der Quallen



[56]

Wale

Die wohl größten Tiere aller Zeiten geben Forschern noch immer Rätsel auf

Abtauch

Die Meere bergen einen ungeheuren Schatz an Lebewesen: Unter den Wellen tummeln sich Kraken und Krebse, Rochen und Robben, Schildkröten, Wale und natürlich Fische. Sie alle sind eingebunden in ein überaus vielschichtiges Geflecht aus faszinierenden Beziehungen

in eine and

A large sea turtle, likely a Green Sea Turtle, is shown swimming over a vibrant coral reef. The turtle's head and front flippers are visible on the left side of the frame. The coral reef below is composed of various types of coral, including branching and table corals, in shades of brown, orange, and green. The water is a deep, clear blue. The overall scene is a beautiful underwater landscape.

en

Text: Rainer Harf

Zurück ins Wasser

Meereschildkröten sind perfekt an das nasse Element angepasst – ihre Vorfahren stapften allerdings auf dem Trockenen umher

DIE WELT DER TIERE entstand vor vielen Jahrmillionen im Meer. Später eroberten sie auch die Kontinente. Und einige hat es dann wieder zurück in den Ozean gezogen: etwa die Vorfahren der Meeresschildkröten. Die Reptilien, von denen heute sieben Arten leben – hier eine Grüne Meeresschildkröte –, haben ihre Beine zu effizienten Flossen umgewandelt, und sie können bis zu einer Dreiviertelstunde die Luft anhalten, schlafend sogar einige Stunden.

Auch die Fortpflanzung findet im Meer statt. Nur zur Eiablage hieven sich die Weibchen an Land, um im Sand ihre Gelege zu errichten. Auch wenn sie teils Tausende Kilometer zurücklegen müssen, kehren die Mütter erstaunlicherweise immer genau dort an den Strand zurück, wo sie Jahre zuvor selbst aus dem Ei geschlüpft sind.

ere Welt

Das große Fressen

Jedes Jahr ereignet sich vor Südafrika ein gewaltiges Spektakel: Milliarden Sardinen ziehen nach Norden – ein Fest für Räuber

DAS MEER SCHEINT ZU BRODELN, wenn vor Südafrikas Küste Tölpel wie Pfeile ins Wasser schießen, Haie und Delfine durch die Fluten schnellen. Sie haben es auf reiche Beute abgesehen: Unmengen von Sardinen. Die Fische sammeln sich zum Laichen vor der Küste und ziehen teils in kilometerlangen Schwärmen von Abermillionen Tieren gen Norden.

Dass sich die Sardinen (wie viele andere Fischarten auch) zu Schwärmen versammeln, ist nicht zuletzt eine Verteidigungsstrategie: Optisch verschwimmen die Fische zu einer verwirrenden Masse; der Räuber verliert nicht selten vor lauter Schwarm das einzelne Beutetier aus den Augen. Daher versuchen die Jäger oft einen Schwarm in kleinere Gruppen zu zerteilen oder einzelne Fische zu isolieren – um dann zielsicherer zuschnappen zu können.







Unterseeische Gärten

Nirgendwo sonst in den Ozeanen findet man mehr Spezies auf engem Raum als in den Korallenriffen. Doch wie lange noch?

IN TROPISCHEN MEEREN erschafft eine Symbiose aus winzigen Polypen und Mikroalgen atemberaubend schöne Bauten: Korallenriffe. Die vielgestaltigen Kalkgebilde sind Lebensgrundlage Abertausender Arten. Hier leben zahllose Seeigel und Seegurken, Kraken und Krabben, Muscheln und Schildkröten, Haie, Muränen, Riffbarsche, Clownfische – um nur ein paar zu nennen.

Doch die einzigartigen Hotspots der Biodiversität sind in Gefahr. Angetrieben durch den Klimawandel erwärmen sich die Meere so stark, dass die Zusammenarbeit zwischen Polyp und Alge nicht mehr funktioniert: Infolgedessen sterben die Korallen und mit ihnen ein Großteil jener Spezies, die dieses vielschichtige Ökosystem bevölkern.





Die Klugheit der Kopffüßer

Sie sind fremdartig, schön und hochintelligent: Kraken planen, täuschen und haben einen besonderen Charakter

MIT IHREN FLEXIBLEN ARMEN können Kraken die unterschiedlichsten Aufgaben bewältigen: Sie bewegen sich mit ihnen fort, stöbern in Felsspalten nach Fressbarem, pflücken Parasiten von ihrer Haut. Oder sie schleichen sich – vorsichtig auf den Armspitzen tippelnd – an eine Krabbe heran. Und stürzen sich dann urplötzlich auf die Beute.

Um all das zu bewerkstelligen, verfügen die Weichtiere über einen außerordentlichen Scharfsinn. Manche Spezies täuschen etwa potenzielle Räuber, indem sie die Gestalt eines giftigen Tieres imitieren. Zudem besitzen die Mollusken ein hervorragendes Gedächtnis, einen ausgeprägten Spieltrieb und höchst individuelle Persönlichkeiten: von schüchtern bis draufgängerisch. Forscher gehen davon aus, dass die Kopffüßer die intelligentesten wirbellosen Tiere der Welt sind.

Ein Maul voll Eier

Nicht nur Säuger und Vögel betreiben Brutpflege. Auch unter Fischen hat sich die Strategie etabliert

IM WASSER IST MAN SELTEN SICHER. Überall lauern Feinde: Gefräßige Räuber, die sich das Maul vollschlagen wollen. So wie dieser Kardinalbarsch? Nicht ganz: Der bis zu 14 Zentimeter lange Riffbewohner hat seine eigene Brut im Mund – Eier, aus denen bald winzige Tiere schlüpfen werden. Solange der Fisch nicht selbst gefressen wird, ist sein Nachwuchs im Maul am besten geschützt. Es ist übrigens der Barschvater, der sich so liebevoll um die Kleinen kümmert. Männliche Brutpflege ist bei Fischen nicht ganz unüblich. So reifen etwa die Eier von Seepferdchen in speziellen Bauchtaschen der Väter.



In der Masse liegt die Kraft

Sie durchpflügen das Wasser mit dynamischem Flossenschlag. Wer aber den Teufelsrochen Energie verleiht, bleibt unsichtbar

WIE GEISTER FLATTERN diese Teufelsrochen der Art *Mobula munkiana* durch das finstere Meer des mexikanischen Baja California. Die bis zu 2,20 Meter langen Fische sind nah mit den Mantas verwandt. Und sie ernähren sich auf ähnliche Weise wie ihre großen Vettern: von winzigen Tierchen, die mit der Strömung durchs Meer driften – als Plankton.

Ein einzelnes dieser Kleinstlebewesen – dazu zählen etwa Krebse, Fischlarven oder Eier – birgt bloß wenige Kalorien. Doch die schiere Masse an Plankton, das allenthalben in den Fluten treibt, ist ergiebig. Die beiden seitlich am Kopf vorstehenden „Hörner“, die der Gattung den Namen Teufelsrochen verliehen haben, dienen dazu, möglichst viele jener Mikrohasen in das weit aufgerissene Maul zu lenken.



An underwater photograph showing a seal swimming in murky green water. The seal's head and part of its body are visible, with its long whiskers extending forward. Above the seal, a large, dark, textured rock formation is visible. The lighting is dim, creating a sense of depth and mystery.

Ein überaus sensibler Bart

Robben sind hervorragende Schwimmer, die sich bei der Nahrungssuche auf einen außergewöhnlichen Sinn verlassen

AN LAND WIRKEN ROBBERN mitunter etwas unbeholfen und tollpatschig. Doch im Wasser bewegen sich die hochintelligenten Tiere mit einer geradezu spielerischen Eleganz. Die neugierigen Säuger – hier ein Südamerikanischer Seelöwe – sind perfekt ans nasse Element angepasst: So sind ihre kräftigen Barthaare, auch Vibrissen genannt, hochempfindliche Sinnesorgane. Mit ihnen erfassen die agilen Tiere feinste Wasserverwirbelungen, wie sie etwa ein vorbeischwimmender Beutefisch verursacht. Dieser „Bartsinn“ ermöglicht ihnen eine optimale Ortung selbst in trübem Wasser. Der Geruch spielt dagegen unter den Wellen keine Rolle: Beim Untertauchen kneifen Robben ihre Nasenlöcher zu – so verhindern sie unter anderem, dass Wasser eindringt.





Der Clan der Jäger

Haie sind vor Hunderten Jahrmlionen entstanden und noch immer gehören die schnittigen Fische zu den nahezu unangefochtenen Topräubern

IN FRIEDLICHER EINTRACHT stehen diese Zitronenhaie im Flachwasser der Bahamas. Vielleicht halten die majestätischen Raubfische im warmen Tropenwasser ja ein Nickerchen. Denn in der Regel werden sie erst in den Dämmerungsstunden und während der Nacht aktiv. Dann gehen die teils mehr als zweieinhalb Meter langen Meeresbewohner auf Jagd nach Krebsen, Kraken, Fischen – darunter auch Rochen und kleinere Haie. Gelegentlich schnappen die Haie auch nach Seevögeln, die unachtsam auf den Wellen treiben. Wie verwandte Arten auch kommen den Zitronenhaien beim Beutefang ihre herausragenden Sinne zugute. Sie können hervorragend hören und riechen. Und: Sie detektieren elektrische Impulse. Selbst wenn sich die schmackhafte Beute verstecken sollte: Im Zweifel verrät sie sich durch ihren Herzschlag.

Marsch der Seespinnen

*Krebse gehören zu den erfolgreichsten Meeres-
tieren – zuweilen erscheinen sie zu Tausenden*

IHR KÖRPERBAU IST SO SIMPEL wie genial: Krebstiere haben eine bewegliche Rüstung – einen Panzer, der ihre Organe und Gliedmaßen umschließt. So sind sie geschützt und doch mobil. Im Laufe der Evolution haben sie alle Lebensräume im Meer erobert, weltweit gibt es mehr als 60 000 Arten von Krebstiere.

Bis zu 40 Zentimeter messen Große Seespinnen, die einmal im Jahr zu Abertausenden in die Flachwasserzonen vor Südastralien wandern. Und es ist ihr Panzer, der sie in solchen Massen zusammenkommen lässt. Denn wenn die Krebstiere wachsen, müssen sie sich ihrer zu engen Rüstung entledigen: Sie häuten sich und sind – bis der neue, größere Panzer ausgehärtet ist – leichte Beute. Die schiere Menge aber bietet Schutz. Denn für Räuber wie etwa Rochen sind es schlicht zu viele Tiere. Sie können nur einen Bruchteil der Seespinnen erbeuten •



Immer wieder spannende Grundlagen des Wissens erhalten

**1 Jahr GEOkompakt für nur 44,- €* lesen oder
verschenken und Wunsch-Prämie sichern!**

**Prämie
zur Wahl!**



Zwei beliebte Bestseller aus dem GEO-Portfolio

- GEO CHRONIK „100 Triumphe der Medizin“
- GEOkompakt „Die 100 wichtigsten Erfindungen“

Ohne Zuzahlung



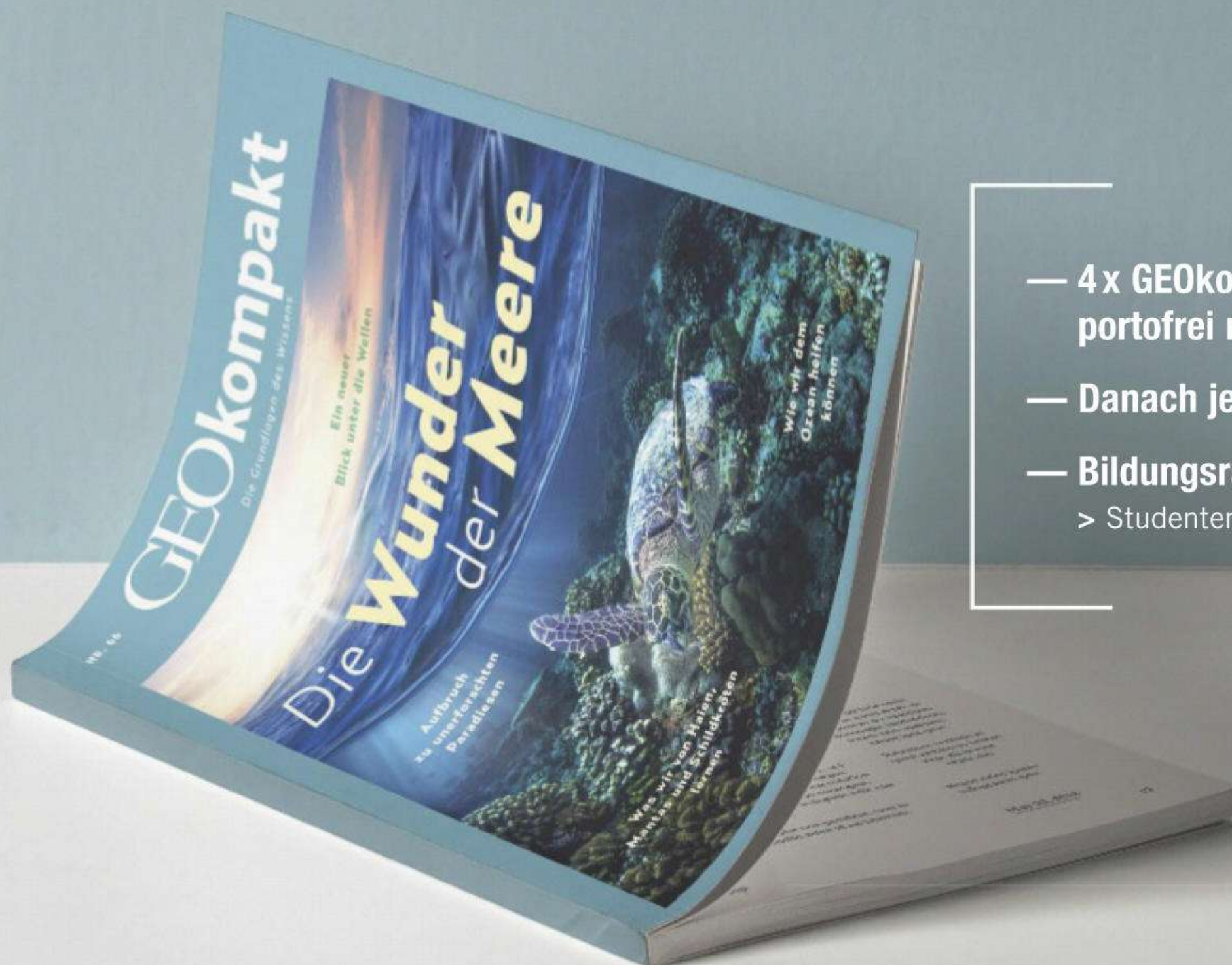
Amazon.de-Gutschein, Wert: 10,- €

- Gutschein für die nächste Online-Shopping-Tour
- Riesige Auswahl, täglich neue Angebote
- Technik, Bücher, DVDs, CDs u. v. m.

Ohne Zuzahlung

Gleich Prämie wählen und bestellen:

*4 Ausgaben GEOkompakt für zzt. nur 44,- € (inkl. MwSt. und Versand) – ggf. zzgl. 1,- € Zuzahlung. Es besteht ein 14-tägiges Widerrufsrecht. Zahlungsziel: 14 Tage nach Rechnungserhalt. Anbieter des Abonnements ist Gruner + Jahr GmbH. Belieferung, Betreuung und Abrechnung erfolgen durch DPV Deutscher Pressevertrieb GmbH als leistenden Unternehmer.



- 4 x GEOkompakt portofrei nach Hause
- Danach jederzeit kündbar
- **Bildungsrabatt**
 > Studenten sparen 40 %



Bluetooth-Lautsprecher „Ohio“

- Tragbarer Bluetooth-Lautsprecher mit bis zu 4 Stunden Akkulaufzeit
- Aufladbare Lithium-Ionen-Batterie
- Maße: ca. 7,5x7x3,4 cm

Zuzahlung: 1,-€



Multibag „Sky“

- Moderner Rucksackhopper
- Hauptfach mit Reißverschluss
- Maße: ca. 41x43x13 cm

Zuzahlung: 1,-€

www.geo-kompakt.de/abo

+ 49 (0) 40 / 55 55 89 90

Reich der



Unter Wasser tun sich die unterschiedlichsten Landschaften auf – und damit Nischen des Lebens

Seit etwa 450 Millionen Jahren schwimmen Fische in den Meeren, mehr als 34 000 Arten sind bekannt



Wer in Deckung geht, lebt länger: Das gilt selbst für mit Panzern und Scheren bewehrte Krabben

Fülle

Weichtiere, die fast nur aus Wasser bestehen, an Gurken erinnernde Organismen, stachelige Panzerwesen: Die Formenvielfalt der marinen Tiere ist beinahe grenzenlos. Wie kommt das?



Nirgendwo ist das Leben so bunt, bizarr und vielgestaltig wie in den Ozeanen:

Mikroskopisch kleine Algen, welche die Energie des Sonnenlichts einfangen, existieren neben 200 Tonnen schweren und bis zu 33 Meter langen Walen, pfeilschnelle Schwimmer treffen auf festsitzende Tiere, etwa Seepocken. Und nirgendwo sind die Strategien, mit denen Geschöpfe um ihr Überleben kämpfen, raffinierter – an der bretonischen Felsenküste wie im Nordseewatt, im Tangwald vor Südafrika wie im pazifischen Korallenriff, in den Gefrierzonen des Südozeans wie im ewigen Dunkel der Tiefsee.

Es ist eine faszinierende Welt, die im Verborgenen existiert. Ein Kosmos, der fremd, rätselhaft und noch heute voller Überraschungen ist.

Seine Erforschung begann mit Seefahrern, die sich vor mindestens 40 000 Jahren erstmals mit Booten aufs Meer hinausgewagt haben, wie die Besiedlung Australiens bezeugt. Etwa ebenso alte Muschelreste in der Nähe urzeitlicher Behausungen belegen, dass *Homo sapiens* in jener Zeit bereits die Schätze des Meeres zu nutzen wusste.

Überliefert ist nichts aus jener vorgeschichtlichen Periode, doch seit es schriftliche Aufzeichnungen gibt, ist auch die Erkundung der Meere dokumentiert. Der ägyptische Pharaon Mentuhotept III. etwa veranlasste 1750 v. Chr. eine Expedition bis nach Punt, dem heutigen Somalia. Kreter und Phönizier waren um 1200 v. Chr. vermutlich die ersten zur See fahrenden Händler. Die Phönizier verließen sogar das Mittelmeer und stießen in den Atlantik vor.

Die Kelten segelten nach Island und Grönland, Wikinger um 1000 bis nach Amerika. Araber erkundeten den Indi-

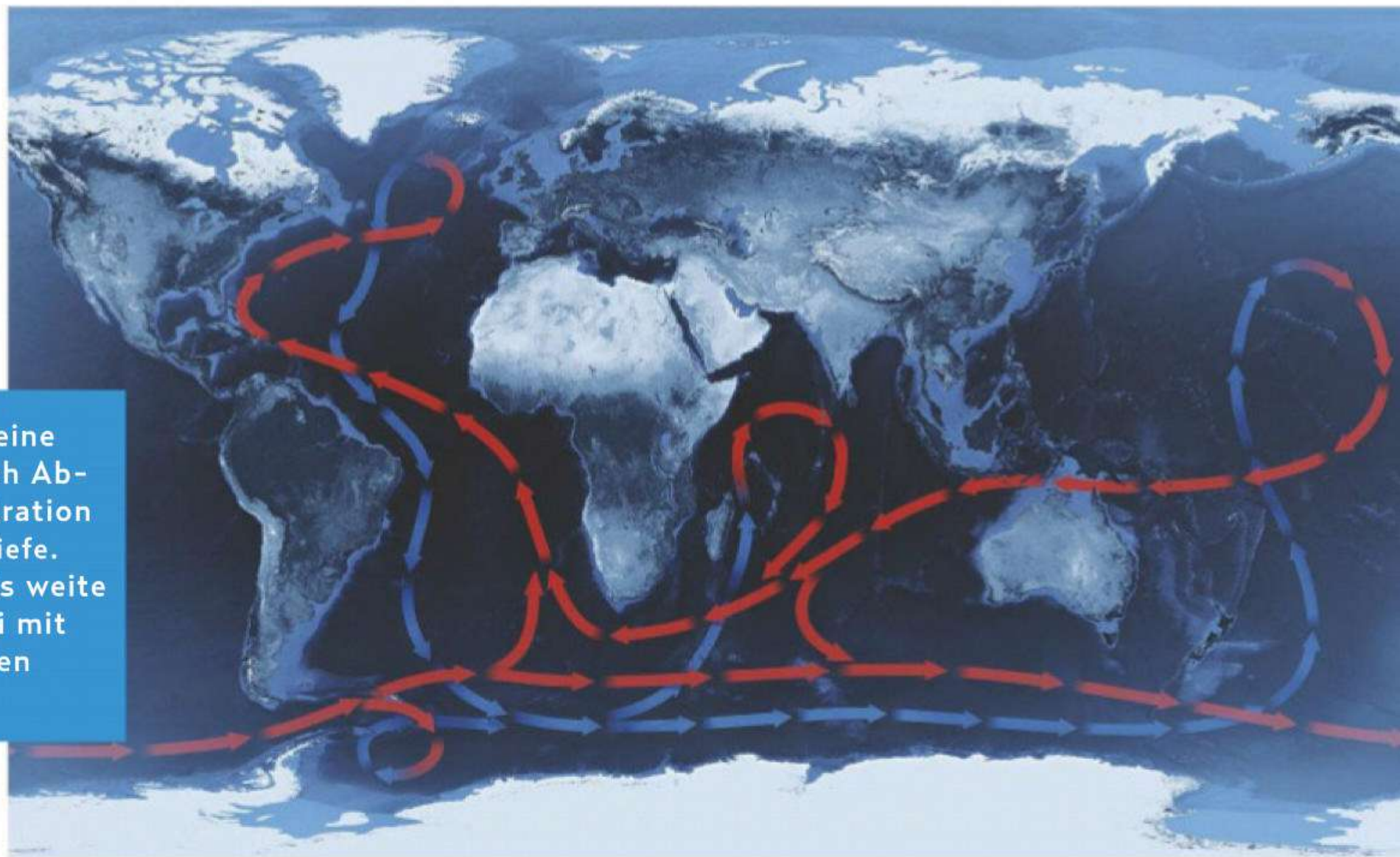


Das erste manövrierfähige Unterwasserboot war ein lederüberzogenes Holzruderboot, das um 1620 eine Tiefe von vier bis fünf Metern erreichte

schen Ozean sowie die Ostküste Asiens, und eine riesige chinesische Flotte stieß im 15. Jahrhundert bis an die Südspitze Afrikas vor.

Schon bald darauf versuchten Forscher, den Meeren mit spezieller Technik ihre Geheimnisse abzutrotzen. 1751 ließ der Brite Henry Ellis vor Florida Eimer bis in 1200 Meter Tiefe hinab und registrierte, dass dort

Mächtige Strömungen bewirken eine ständige Umwälzung der Meere. Durch Abkühlung und eine höhere Salzkonzentration sinkt das Wasser an den Polen in die Tiefe. Als Tiefenströmung (blau) legt es teils weite Strecken zurück, vermischt sich dabei mit wärmeren Schichten, bis es in manchen Regionen wieder nach oben steigt



unten eine Temperatur von zwölf Grad Celsius herrschte, an der Oberfläche dagegen von fast 30 Grad. 1818 holte der englische Polarforscher John Ross eine Bodenprobe aus 1800 Meter Tiefe – und konnte Leben in diesem Abgrund dokumentieren: Würmer und einen Schlangenstein.

Die wohl wichtigste Expedition in der Geschichte der Meeresforschung war die dreieinhalbjährige Reise der „H.M.S. Challenger“, die 1872 begann. Sechs Wissenschaftler untersuchten die Eigenschaften des Meerwassers und des Bodens in großen Tiefen sowie die dort vorkommenden Lebewesen. Ihre Ergebnisse trugen sie in 50 Buchbänden zusammen.

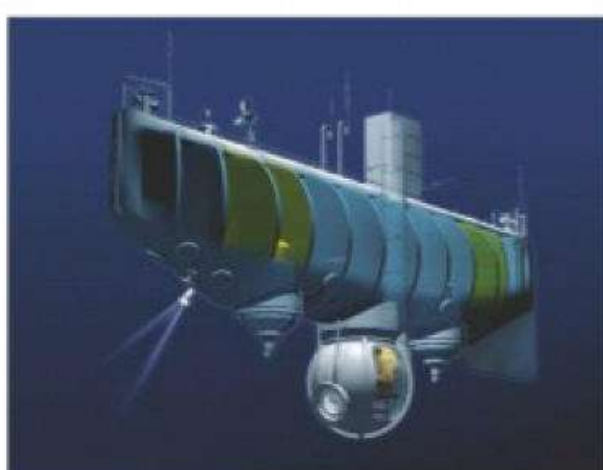
In die Tiefen der Ozeane blicken konnte jedoch noch niemand.

Das änderte sich erst im Jahr 1912 dank einer Erfindung des deutschen Physikers Alexander Behm. Mit dessen Echo- lot ließen sich die bis dahin undurchdringlichen Tiefen der Meere sichtbar machen, konnten Forscher ein präzises Bild der ozeanischen Abgründe und des Bodenreliefs erstellen.

Immer raffinierter wurden in den Jahrzehnten darauf die technischen Mittel: Taucherausrüstungen, die einen Unterwasser-Aufenthalt ohne Schlauchverbindung ermöglichten. Sonden, die Strömung, Temperatur sowie Salzgehalte maßen. Greifarme und Bohrvorrichtungen, die Bodensedimente aus der Tiefe holten. Tauchboote, die in Abgründe vordrangen.

Und das sind einige der ermittelten Daten über das Universum unter der Meeresoberfläche: Die Ozeane bedecken eine Fläche von 361 Millionen Quadratkilometern, also rund 71 Prozent der Erdoberfläche. Die Durchschnittstiefe liegt bei 3730 Metern, der tiefste Punkt reicht bis zu 11 034 Meter

Mit der »Trieste« gelangten die Pioniere Jacques Piccard und Don Walsh 1960 erstmals zum tiefsten Bereich der Erde, 10 910 Meter unter der Oberfläche



hinunter. Um diese Abgründe zu füllen, sind rund 1,35 Milliarden Kubikkilometer Wasser nötig.

In jedem Liter sind im Mittel etwa 35 Gramm an Salzen enthalten, vor allem Kochsalz. Für alle Ozeane zusammen gerechnet, ergibt das die Menge von mehr als 40×10^{15} Tonnen Kochsalz – sie würde ausreichen, die Erde mit einer gut 36 Meter dicken Salzschicht zu bedecken.

Der Ozean ist weit mehr als nur der Lebensraum von Fischen und anderem Getier: ein gigantischer physikalisch-chemischer Körper, der die Atmosphäre und die Landoberfläche grundlegend beeinflusst. Aus den Meeren verdampfen riesige Mengen Wasser, formen Wolken, regnen ab und versorgen so die Ökosysteme des Landes mit Süßwasser. Zudem transportieren gewaltige Strömungen Wärme wie auf Transportbändern um den Planeten und prägen so das Klima.

i

Im Meer löst sich nicht nur Sauerstoff, den Tiere zum Atmen benötigen, sondern auch Kohlendioxid, das beispielsweise Algen brauchen, um organische Substanz herzustellen. Jahr für Jahr nehmen die Ozeane etwa ein Drittel des menschengemachten Ausstoßes an CO_2 auf, mehr als sie an die Atmosphäre abgeben.

Kohlendioxid ist an Land wie im Wasser eine Art Grundnahrung für Pflanzen, aus der sie mithilfe von Sonnenlicht und Wasser ihre Substanz aufbauen. Doch die Lebensbedingungen im Ozean unterscheiden sich von denen an Land wie der Himmel von der Erde: Das meiste Sonnenlicht gibt es in den Meeren dicht unter der Wasseroberfläche, und in spätestens 200 Meter Tiefe ist es so dunkel, dass kaum eine Pflanze mehr das Licht nutzen kann. Mit genügend Sonne bestrahlte Böden gibt es nur in einer schmalen Küstenzone.

Kein Wunder also, dass das Gros der marinen Pflanzen aus winzigen, einzelligen Algen besteht, die als Teil des



Acht Arme, ein Sack mit Eingeweiden, zwei hochentwickelte Augen: Wohl kein Tier demonstriert die marine Lebensvielfalt eindrucksvoller als ein Oktopus – hier in seiner Schutzbehausung

Planktons dicht unter der Oberfläche treiben. Moose oder Farne gibt es im Meerwasser nicht, und die Blütenpflanzen sind nur mit einigen wenigen Arten von Seegras vertreten.

Womöglich liegt dies daran, dass Wurzeln, Stängel oder komplex gebaute Blätter in dieser Umwelt selten Vorteile bringen: Wurzeln sind von geringem Nutzen, da alle Nährstoffe sowie Gase im Wasser gelöst sind; zudem liegen die meisten Meeresböden für Pflanzen unerreichbar tief. Wasser ist sehr dicht und trägt die Pflanze – statt Sprossachsen reichen also Schwimmkörper wie etwa Gasblasen, um den Pflanzenkörper aufrecht zu halten. Und Leitungen zum Transport von Wasser sind ebenso überflüssig wie komplexe Blätter, die bei Landpflanzen Gasaustausch und Verdunstung regulieren.

So blieb die Flora im Meer auf eher bescheidenem Entwicklungsniveau.

Ganz anders dagegen die Fauna. In den Ozeanen existiert eine ungemein bunte Vielfalt von zum Teil bizarren Körperformen und -konstruktionen. Es ist, als hätte die marine Umwelt der Evolution bei den Tieren alle Fesseln und Beschränkungen genommen – vielleicht, weil es im Meer keine Grenzen gibt, weil Körper in dem

nassen Medium wie schwerelos schweben und weil das Wasser ein jedes Tier umgibt und zudem alle Stoffe enthält, die es benötigt.

Nur im Ozean ist es möglich, dass manchem Bewohner sein Futter regelrecht ins Maul, in die Fangarme oder den Verdauungstrakt treibt. Einzig im Wasser gibt es daher fest-sitzende Tiere. Zum Beispiel Schwämme, deren äußerst einfach gebauter Körper von einem Kanalsystem durchzogen ist, das die Nahrung aufnimmt. Oder Korallenpolypen, die an

Pflanzen erinnernde Formen aussprägen und zusammen etwa mit Seeanemonen und Seerosen die Klasse der Blumentiere bilden. Schon dieser Name lässt mehr an Flora als an Fauna denken.

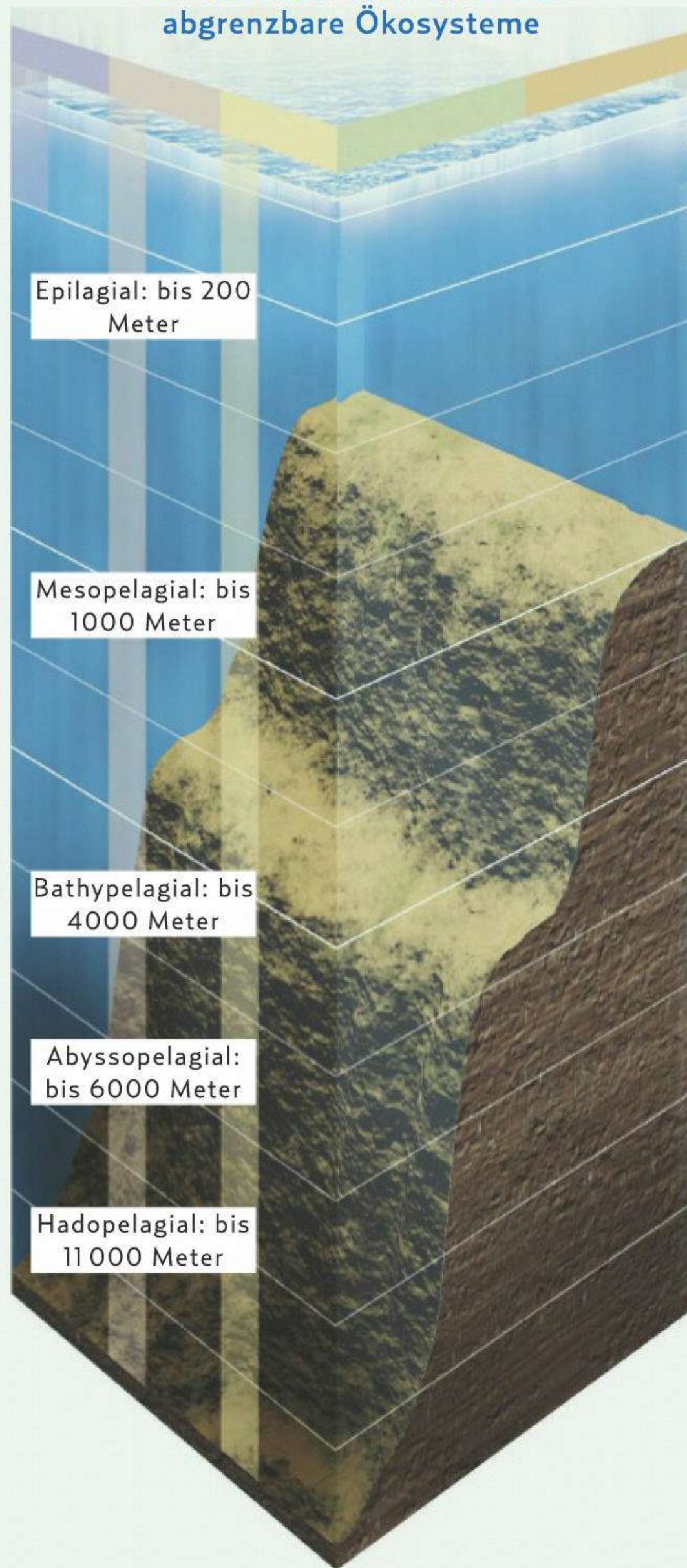
Wenig Ähnlichkeit mit Tieren des Landes haben auch Quallen, die Verwandten der Blumentiere, die wie Geisterwesen durch das Wasser schweben. Sie alle gehören zu den Nesseltieren und bilden einen Tierstamm, eine Gruppe von Organismen mit einheitlichem Grundbauplan.

36 solcher Tierstämme gibt es, sie kommen alle im Meer vor; die Mehrheit sogar ausschließlich dort. Auf der Ebene der Baupläne ist die Vielfalt in den Ozeanen also deutlich größer als an Land.

**Manchen
Meerestieren
fehlt der
Mund – andere
sehen aus
wie Blumen**

Die Welten im Meer

Je nach Tiefenzone existieren abgrenzbare Ökosysteme



In verschiedenen Tiefen herrschen sehr unterschiedliche Lebensbedingungen. Licht und Temperatur verändern sich schnell, der Druck nimmt zu. Bis 200 Meter kann Phytoplankton das eindringende Sonnenlicht zur Fotosynthese nutzen. 200–1000 Meter: Hier ist es gerade noch hell genug, um zu jagen. 1000–4000 Meter: Die Nahrung besteht zunehmend aus Abfallstoffen. 4000–6000 Meter: Weite, belebte Gründe erstrecken sich. Ab 6000 Meter: Über Wesen in dieser Tiefe ist wenig bekannt.

Seltsam zudem die Gruppe der Stachelhäuter. Zu ihnen zählen Seesterne, Schlangensterne und Seeigel. Die Tiere dieses Stammes sind in fünf symmetrische Abschnitte gegliedert. Wesen mit diesem Bauplan tummeln sich nur in den Meeren.

Zwei weitere Stämme dagegen leben sowohl im Meer als auch an Land. Das sind zum einen die Gliederfüßer – in den Ozeanen vor allem die Krebse, auf den Kontinenten Insekten und Spinnen. Sie besitzen einen in Segmente gegliederten Körper und ein Außenskelett aus Chitin. An Land bilden die Gliederfüßer die artenreichste Gruppe aller Lebewesen.

Zu dem anderen Stamm, den Chordatieren, gehören die Wirbeltiere. Zu diesen zählen Fische sowie Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere. Einige Vertreter aus jeder dieser an Land entstandenen Gruppen haben sich später dem Lebensraum Meer angepasst – etwa Meeresschildkröten, Pinguine und Wale. Die bei weitem artenreichste Wirbeltiergruppe in den Meeren sind die Knochenfische mit mehr als 30 000 Arten. Übertroffen werden sie von den Schnecken mit mehr als 70 000 Arten. Sie zählen mit Muscheln und Tintenfischen zu den Weichtieren: einem Stamm, dessen Bauplan im wesentlichen aus Kopf (Muscheln fehlt selbst dieser), Fuß sowie einem Sack besteht, der die Verdauungsorgane enthält.

e

Ein Vertreter dieses Stamms ist so seltsam geraten, als habe ihn sich ein Science-Fiction-Autor ausgedacht. Acht schlangenähnliche Arme umkränzen einen schnabelförmigen Mund; daneben sitzen zwei riesige, hoch entwickelte Augen.

Der Kopf geht über in den Eingeweidesack, der zudem eine Höhle mit Kiemen enthält, die das Tier mit Sauerstoff versorgen. Für gemächliche Bewegungen nutzt das Wesen seine Arme, bei Gefahr presst es Wasser aus seiner Mantelhöhle, um davonzuschießen – und stößt zur weiteren Absicherung eine dunkle Flüssigkeit aus.

Es handelt sich bei diesem Tier um den *Octopus vulgaris*, den Gemeinen Kraken aus der Klasse der Kopffüßer. Auch dessen Paarung ist ein Kuriosum: Das Männchen flackert während der Balz höchst erregt in wechselnden Farben auf, entnimmt sich selbst aus einem Sack ein Samenpaket, tastet sich mit seinem Arm zum Weibchen und steckt dieses Paket in die Mantelhöhle der Partnerin.


Und schließlich besitzt dieses seltsame Lebewesen auch noch ein recht gut entwickeltes Gehirn und ein erstaunlich umfangreiches Verhaltensrepertoire. Es kann lernen, Zeichen voneinander zu unterscheiden oder sich durch eine Röhre zu zwängen, um eine Krabbe im Nachbarbecken zu erjagen. Sogar das bloße Zuschauen bei anderen Artgenossen reicht zum Lernen.

Manche Forscher glauben deshalb, Kraken seien ähnlich intelligent wie Hunde.

Kann ein Tier eindrucksvoller die Vielfalt des Lebens im Meer demonstrieren als der Oktopus? •

Text: **Martin Paetsch**
Fotos: **Ray Collins**

Weht Wind beständig aus einer Richtung, überträgt er seine Energie auf die Wassermoleküle und versetzt das Wasser in Schwingung. Mächtige Wogen können sich auftürmen, die auf die Küste zurollen – und schließlich brechen



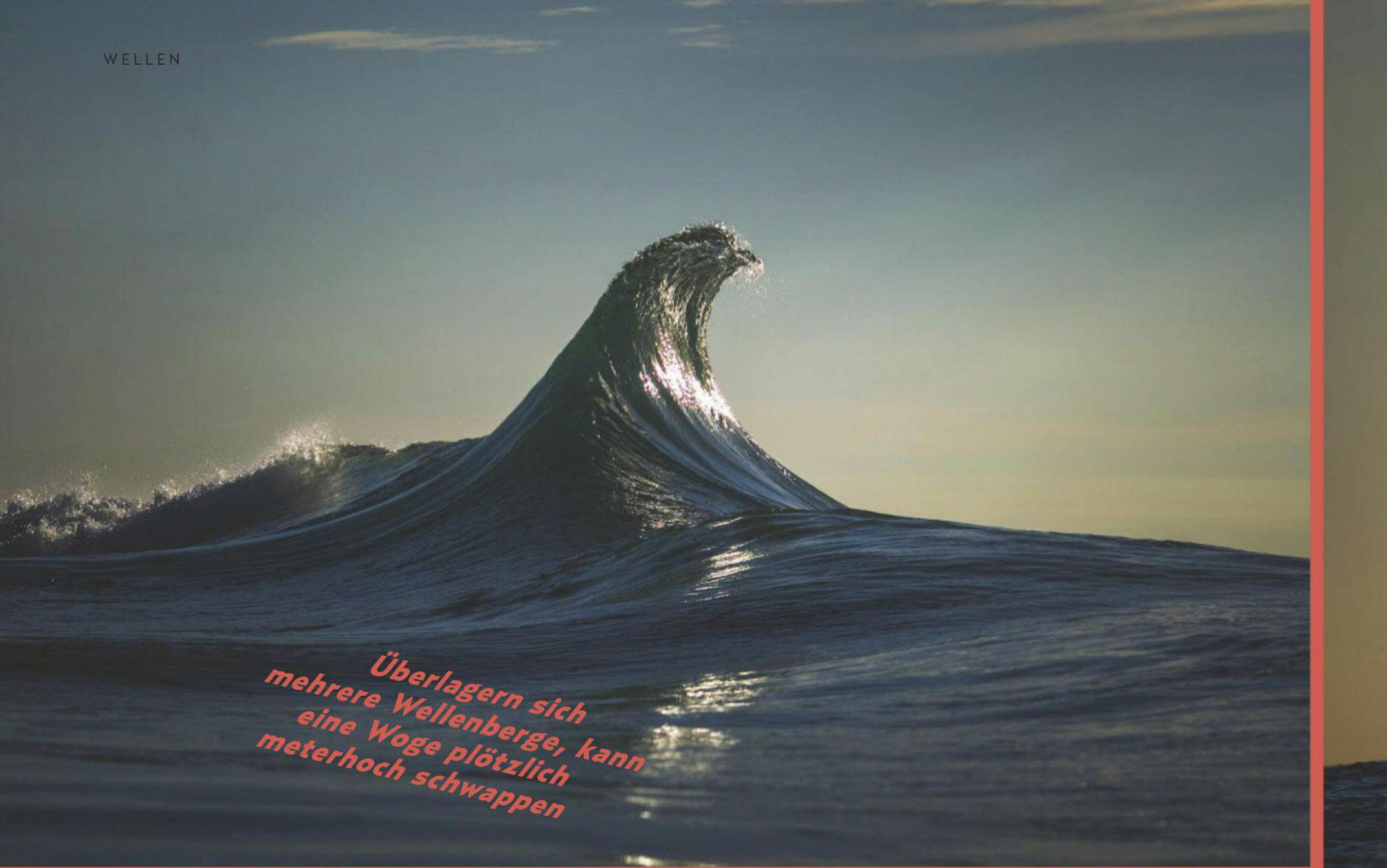
Sie speichern die **Energie des Windes**
und können auf mehr als 30 Meter
Höhe anschwellen: Wellen sind eine
Urgewalt, die seit jeher die Kontinente
formt. Doch ihre vielschichtige
Dynamik beginnen Wissenschaftler
gerade erst zu verstehen

Die perfekte Welle

**Immer höher richtet
sich die Wasserwand auf.
Dann bricht sie in sich
zusammen**



Mit ungeheurer Wucht stürzt diese Welle auf das Ufer zu. Vor allem an steilen Hängen reißt die Macht der Wogen immer wieder Felsen los oder befördert mit jeder neuen Flut Tonnen von Erdreich ins Meer

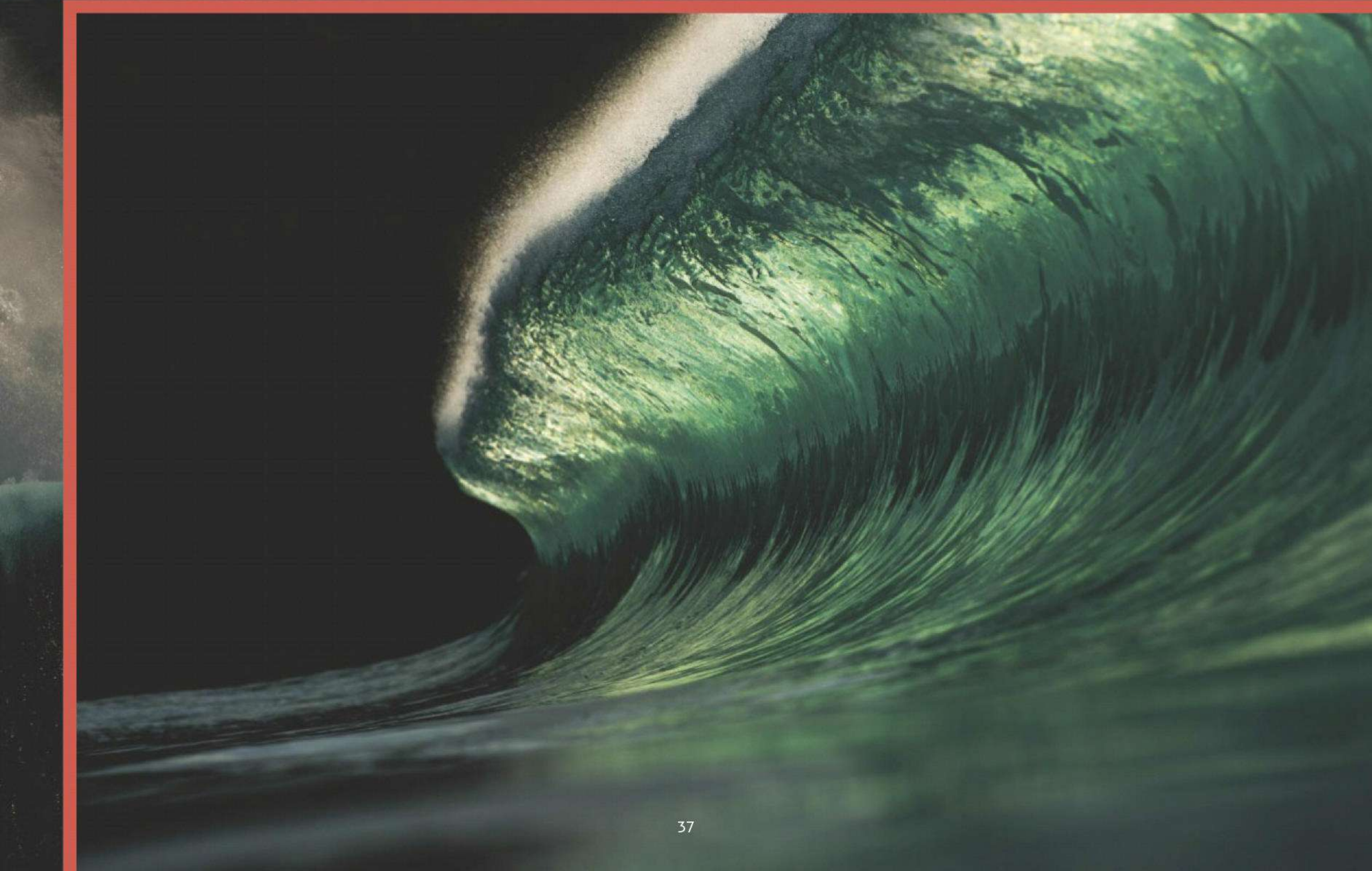


*Überlagern sich
mehrere Wellenberge, kann
eine Woge plötzlich
meterhoch schwappen*





Kurz bevor eine Welle bricht, zerstiebt ihre Kante bereits im Wind.
Aus der Vogelperspektive zeigt sich, wie gewaltig die Gischt beim Brechen
des Wellenkamms in die Höhe spritzt (unten links)



Das Meer vor Holderness, einer Küstenregion in Ostengland, ist braun vom Lehm. Welle um Welle rollt aus der Nordsee heran, läuft auf dem schmalen Strand aus, zieht sich wieder zurück. Jede trägt ein Stück Land davon.

Die weichen, lehmigen Klippen haben dem Ansturm der See kaum etwas entgegenzusetzen. Erst weiter nördlich besteht die Küste aus hartem Kalk: Dort haben die Wellen Jahrhunderte gebraucht, um Höhlen und Bögen aus den steilen Wänden herauszuarbeiten.

Die Lehmklippen von Holderness hingegen zeigen überall frische Spuren der Wassergewalt. Von den Wellen unter-spült und ihrer Stütze beraubt, sind meter-große Stücke herausgebrochen und abgesackt. In den gesperrten Küstenstraßen klaffen tiefe Löcher, Wege enden im Nichts.

Nahe der Abbruchkante stehen verlassene Häuser.

Jede Flut spült rund 5200 Tonnen Erde in die Nordsee; rund 200 Lastwagenladungen. Jahr für Jahr weichen die Klippen im Schnitt um bis zu zwei Meter zurück. Seit römischer Zeit sind so schon um die 30 Dörfer im Meer versunken. An der Küste von Holderness zeigt sich im Zeitraffer, wie das Meer die Kontinente formt. Seit es Ozeane gibt, schlagen sie gegen die Küsten, unterhöhlen Klippen und zermahlen Felsen.

Den feinen Sand spülen sie anderswo zu Stränden auf.

Die treibende Kraft dieser Prozesse sind die Wellen. Ständig ist die See in Aufruhr: Ihre Oberfläche durchlaufen Schwingungen in allen Größen; selbst Ebbe und Flut sind

nichts weiter als die Täler und Berge gewaltiger, vor allem von der Anziehungskraft des Mondes aufgeworfener Wellen.

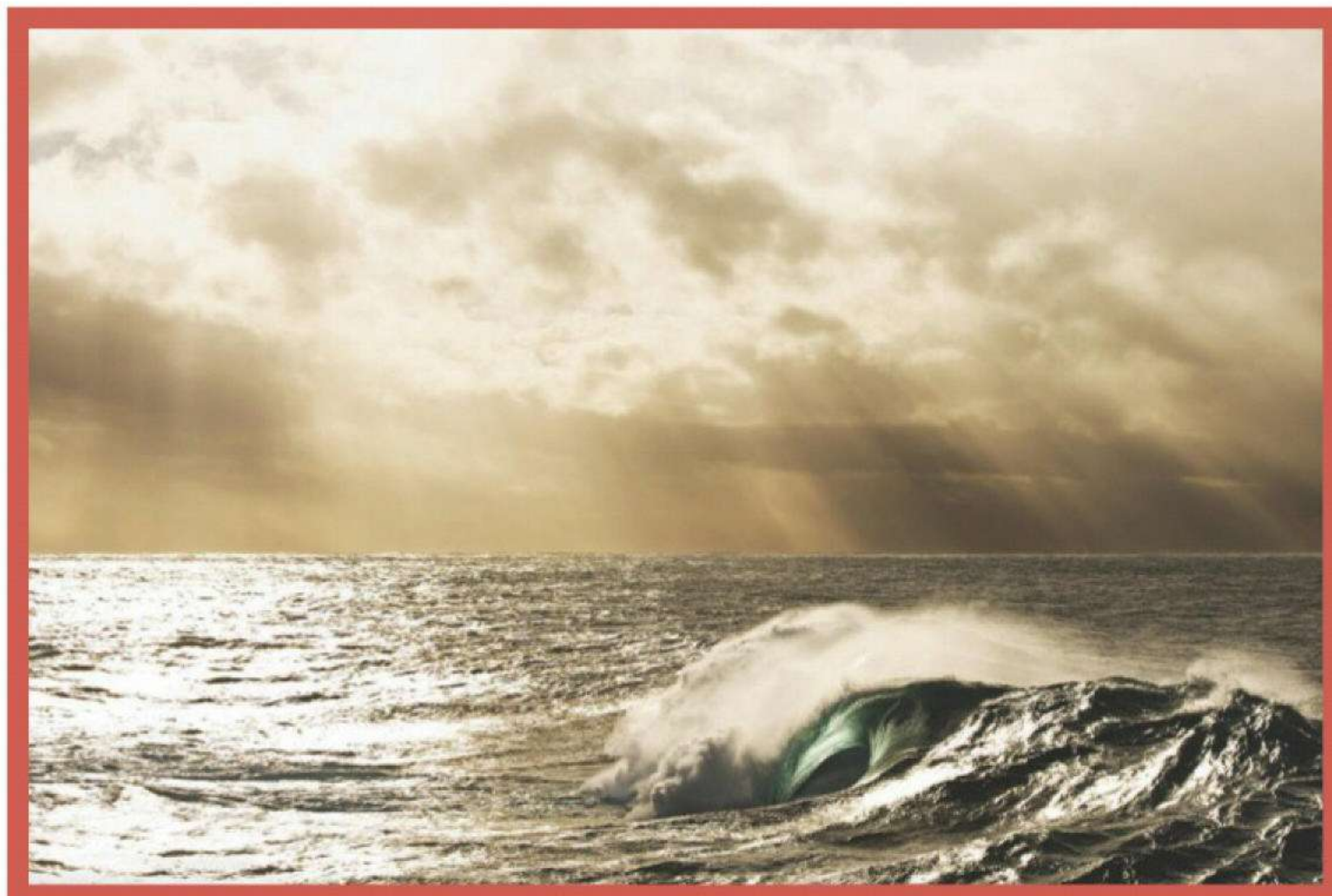
Die Energie, die Mond und Sonne dabei auf die Oberflächen der Meere übertragen (im Verhältnis 6:1), beträgt rund 3,5 Billionen Watt. Das ist mehr als die elektrische Leistung, die alle Kraftwerke auf unserem Planeten gemeinsam erzeugen.

Wellen und Gezeiten werden seit Jahrhunderten erforscht. Doch die Bewegungen der Meere bergen noch immer Geheimnisse: So können sich mitten im Ozean plötzlich enorme Wasserwände auftürmen, weit höher als die Wogen ringsum. Und selbst tief unter der Oberfläche laufen Schwingungen durch die See, die erst durch Satellitenbeobachtungen nachgewiesen werden konnten.

All diese Wellen sind im Prinzip nur Störungen, die sich im Wasser ausbreiten: Sie entstehen zum Beispiel, wenn ein Stein in einen See geworfen wird. Dabei verdrängt er Wasser zu allen Seiten, sodass die Seeoberfläche zunächst nach unten eingedrückt wird. In die Mulde zurückströmen-des Wasser wirft jedoch gleich darauf einen Hügel auf, der wieder in sich zusammensackt und dabei einen neuen Trichter erzeugt: Es beginnt also eine Pendelbewegung, bei der die Wasserteilchen auf- und abtanzen, ohne sich wirklich von der Stelle zu bewegen.

Um diesen Vorgang und auch die Ausbreitung der Wellen besser zu verstehen, muss man sich klarmachen, dass Wassermoleküle einerseits zwar beweglich sind, andererseits jedoch Anziehungskräfte aufeinander ausüben. Es ist etwa so, als wären die Wasserteilchen über Gummibänder miteinander verbunden.

In manchen Wellen bleibt die Energie über Tausende Kilometer erhalten. Erst durch Bodenreibung im Flachwasser verlieren sie Kraft, bäumen sich auf und brechen



Ein aufstrebendes Wasserteilchen zieht also dank seiner Anziehungskraft benachbarte Teilchen ebenfalls hoch – mit einer gewissen Verzögerung. Und diese ziehen wiederum ihre Nachbarn in die Höhe. Dabei wird auch die Energie von einem Teilchen zum anderen weitergereicht (lediglich durch Reibung wandelt sich ein minimaler Teil der Energie in Wärme um). So kommt die Welle in Gang, ein Wellenberg pflanzt sich fort.

Hat ein Teilchen seinen höchsten Punkt erreicht, beginnt es wieder abzusinken. Und wieder wirkt es auf seine Nachbarteilchen ein, zieht sie mit hinab. Die Folge: Nun breitet sich ein Wellental aus.

Die Wasserteilchen verhalten sich also ähnlich wie die Zuschauer während einer „La Ola“ im Fußballstadion: Die stehen nacheinander von ihren Plätzen auf, um sich gleich darauf wieder hinzusetzen. So erzeugen sie eine Wellenbewegung, die durch das Publikum läuft.

Gleich den Zuschauern, die sich aufrichten und setzen, ihre Plätze aber behalten, bleiben auch die Wasserteilchen weitgehend an einer Stelle: Während eine Welle vorbeiläuft, vollführen sie nur eine Art Kreisbewegung.

Nicht nur ein ins Wasser geworfener Stein kann Wellen hervorrufen, sondern auch der Wind: Er bewegt sich auf der Wasseroberfläche unterschiedlich schnell und verursacht dadurch schwache Druckunterschiede. Die reichen aus, um die Wassermoleküle in Bewegung zu setzen – winzige Wogen entstehen. Diese Kleinstwellen machen die Oberfläche rauer, sodass sie dem Wind mehr Angriffsfläche bietet. Je höher die Wasserberge aufgeworfen werden, desto mehr Energie kann der Wind auf die Wellen übertragen – und diese Energie bleibt im Auf und Ab der Wasserteilchen erhalten.

Auf diese Weise kann sich die in den Wogen gespeicherte Windenergie ausbreiten und ohne großen Verlust über Tausende von Kilometern fortpflanzen, bis die Wellen schließlich eine Küste erreichen.

Die Größe der Wellen richtet sich nach dem Wind: Je länger und stärker er kontinuierlich aus einer Richtung weht, desto stürmischer ist die See. Erst nach drei Tagen hat er das Meer so aufgepeitscht, dass die Wellen auf die jeweils maximal mögliche Größe anwachsen. Weil ihre Kanten im Wind zerrieben, ist der Ozean dann von weißem Schaum bedeckt, die Gischt schränkt die Sicht sehr stark ein.

In der Regel kommt es nur selten zu einem solchen Seegang, da der Wind meist abflaut oder dreht. Doch in den

Den Wogen auf den Kamm geschaut

Wellen kann man lesen: Ihre Gestalt und das Muster, das sie ins Wasser zeichnen, offenbaren erstaunliche Details über ihre Geschichte, ihre Umgebung. Wo hat der Meeresboden ihren Lauf gestört? Sind die Wellenkämme gerade oder gekrümmt? Ist die Welle jung oder alt? Hat sie sich mit anderen überlagert, hat sie ihr Tempo abrupt geändert? Und: Was verraten die Wogen über den Wind, der sie in Gang gebracht hat? All dies kann man mit geschultem Blick erkennen. „Wave-Watching“ nennt die Ozeanografin Mirjam Glessmer ihre Passion, den Wellen bei jedem Spaziergang ihre Geheimnisse zu entlocken – ob an Küste, Seeufer oder Flussmündung. Über ihre Einsichten hat sie eine lesenswerte Handreichung in Buchform verfasst. Weitere Informationen unter www.mirjamglessmer.com.

Gewässern um die Antarktis, wo starke Westwinde nahezu ungehindert wüten, sind hohe Wellen keine Seltenheit. Schon im frühen 19. Jahrhundert berichteten Polarforscher von 30-Meter-Wellen in diesen Regionen.

Auch in lang anhaltenden tropischen Stürmen erreichen Wogen enorme Ausmaße. Als im September 2019 der Hurrikan Dorian auf Neufundland zufegte, registrierte eine vor der Küste angebrachte Messboje einen Wasserberg von 30,2 Meter Höhe – die bis dahin höchste durch eine Boje ermittelte Welle.

Wie Messdaten zeigen, kommt es durch die Erwärmung der Erde vermutlich immer häufiger zu starken Stürmen – und zu extrem hohen Wellen. Darauf deuten Erschütterungen hin, die von Seismografen registriert worden sind. Denn nicht nur Erdbeben lassen die empfindlichen Instrumente ausschlagen: Auch der Wellenschlag der Weltmeere versetzt die Kontinente in messbare Schwingungen.

Dieses seismische Hintergrundrauschen nimmt bei schwerem Wetter zu. Anhand von Aufzeichnungen der letzten Jahrzehnte konnten Wissenschaftler nachweisen, dass es nun öfter zu Stürmen mit starkem Seegang kommt. Was für eine Energie die Unwetterwellen speichern, demonstrieren Schäden an der britischen Atlantikküste: Heranrollende Wasserberge reißen dort regelmäßig große Felsen los und schleudern sie auf 20 Meter hohe Klippen.

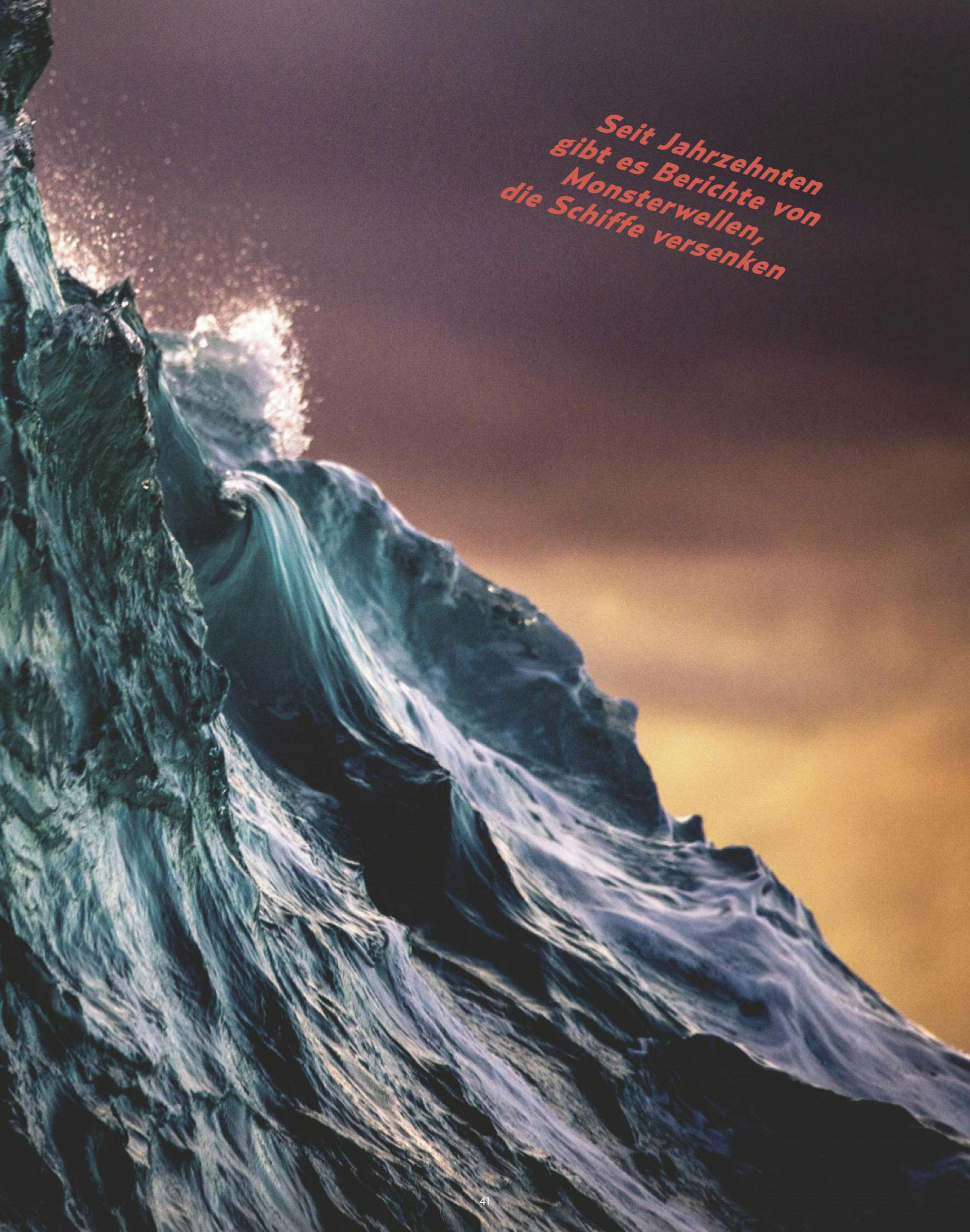
Und seit Jahrzehnten gibt es Berichte von Monsterwellen, die völlig unvermittelt vor Schiffen in schwerer See auftauchen. Diese Wasserwände ragen mehr als doppelt so hoch auf wie die sie umgebenden Wellen. So wurde am Neujahrstag 1995 die Draupner-Bohrinsel in der Nordsee von einer gewaltigen Welle getroffen. Ein Lasermessgerät zeichnete damals die Höhe des Wasserberges auf: Er maß von Wellental zu Wellenkamm knapp 26 Meter – und übertraf damit die übrigen, im Schnitt rund elf Meter hohen Wellen um mehr als das Doppelte.

Im selben Jahr überstand das Kreuzfahrtschiff „Queen Elizabeth II“ die Begegnung mit einer noch größeren Monsterwelle. Im Nordatlantik sah sich Kapitän Ronald Warwick plötzlich einer „riesigen Wand aus Wasser“ von 29 Meter Höhe gegenüber: „Es sah aus, als steuerten wir direkt in die weißen Klippen von Dover hinein.“

Wie solche Wogen entstehen, können Wissenschaftler noch nicht vollständig, aber immer besser erklären. Das gängigste Szenario geht davon aus, dass Wellen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit in die gleiche Richtung laufen; werden dabei langsamere Wogen von schnelleren überholt, überlagern sich womöglich zwei Wellenberge, und die kombinierte Energie beider Wogen lässt für kurze Zeit eine

Durch die Erwärmung kommt es häufiger zu starken Stürmen – und damit zu extrem hohen Wellen

Mitunter können sich plötzlich enorme Wasserwände auftürmen, weit höher als die Wogen ringsum. Wie genau solche Riesenwellen entstehen und in die Höhe wachsen, ist noch immer nicht vollends erforscht



*Seit Jahrzehnten
gibt es Berichte von
Monsterwellen,
die Schiffe versenken*

riesige Wand emporwachsen, die über ihre Umgebung hinausragt. Eine weitere Theorie besagt, dass in bestimmten Konstellationen die Energie der einen Welle sogar auf die andere übergehen kann. Diese läuft dann mit größerer Energie weiter und wächst – wenn sie sich abermals mit einer weiteren Woge überlagert – umso steiler an.

Das könnte viele rätselhafte Schiffskatastrophen erklären – möglicherweise auch die des deutschen Frachters „München“. Das 261 Meter lange Schiff sandte am 12. Dezember 1978 ein Notsignal aus, ehe es mit 28 Mann Besatzung für immer im Nordatlantik verschwand.

Bei der Suchaktion fand man ein leeres Rettungsboot, das offenbar von einer Welle beschädigt worden war, während es noch am Frachter hing – 20 Meter über dem Wasserspiegel. Vermutlich hat also eine riesige Woge das Schiff zum Sinken gebracht.

Derart zerstörerische Wellen können auch ganz ohne Wind entstehen. Die verheerendsten werden aufgeworfen, wenn bei einem Erdbeben oder Vulkanausbruch gewaltige Landmassen ins Meer stürzen. Ähnlich wie bei dem ins Wasser geworfenen Stein breiten sich auch dabei Kreiswellen in alle Richtungen aus – nur viel gewaltiger.

Die meisten dieser Tsunamis (japan. für „Hafenwelle“) gehen jedoch auf Seebeben zurück. Wenn sich der Meeresgrund verformt, bewegt dies auch das Wasser darüber. Und die so erzeugte Störung pflanzt sich im tiefen Ozean mit einer Geschwindigkeit von rund 800 km/h fort.

Die Wellenkämme liegen aber bis zu 200 Kilometer auseinander, und anders als bei Windwellen, die sich auf die

Oberflächenschicht beschränken, verteilt sich die Energie bis auf den Meeresgrund – im offenen Meer sind das oft mehrere Kilometer. Deshalb erreichen die Wellen an der Oberfläche selten mehr als einen Meter Höhe.

Seine Zerstörungskraft entfaltet der Tsunami erst, wenn er auf eine Küste trifft. Denn im flachen Gewässer werden die enorm energiereichen Wellen zusammengestaucht, so dass sie sich meterhoch auftürmen und ganze Küstenstriche überfluten.

Eine solche Welle entstand am 26. Dezember 2004, als der Meeresgrund nordwestlich von Sumatra auf 1200

Kilometer Länge aufriss. Das Beben setzte eine Energie frei, die der Sprengkraft von einer Gigatonne entsprach – 67 000-mal stärker als die über Hiroshima gezündete Bombe.

Als die Wellen vor der indonesischen Provinz Aceh das erste Mal auf Land trafen, stellten sie sich 30 Meter hoch auf. Die Wassermassen drangen zum Teil mehr als vier Kilometer ins Landesinnere vor, ehe sie sich zurückzogen und dabei viele Menschen mit sich rissen.

Zwei Stunden später erreichte der Tsunami Thailand, lief weiter nach Ostafrika und ließ sich selbst im kanadischen Halifax nachweisen, über 20 000 Kilometer entfernt. Insgesamt kamen mehr als 225 000 Menschen ums Leben.

Neben diesen gewaltigen Wellen an der Oberfläche gibt es aber auch mächtige Wogen in der Tiefe – und auch sie können dramatische Folgen haben. Denn ein Ozean besteht aus Wasserschichten unterschiedlicher Dichte, die sich nicht vermischen. Die Trennlinie ähnelt jener zwischen Wasser und Luft an der Meeresoberfläche, und genau wie an dieser

In der Tiefe breiten sich rätselhafte, bis zu 50 Meter hohe Wellen aus – mit weitreichenden Folgen



Was die Welle zum Brechen bringt

Wenn Wellen den Strand erreichen, trifft das schwingende Wasser auf den Meeresboden. Die Wogen werden dadurch gestaucht, die Wellenhöhe nimmt zu. Wird der Kamm zu steil, rollt er sich ein und bricht.

Es gibt zwei Haupttypen von Brechern. »Schwallbrecher« entstehen an flacheren Stränden: Die Kämme fallen beim Erreichen des Strands kaskadenförmig nach vorn. Bei »Sturzbrechern« an steileren Stränden rollt sich der Kamm ein und fällt über die Front der Welle – die gesamte Welle kollabiert dann auf einmal.



Wenn der Boden bebt

Stürzen durch einen Erdbeben oder einen Vulkanausbruch große Landmassen ins Meer, können Wellen von zerstörerischer Kraft entstehen. Meist werden solche Tsunamis von unterseeischen Beben hervorgerufen. Das Wasser darüber steigt oder fällt plötzlich, lange Wellen breiten sich aus. An der Oberfläche erreichen sie Geschwindigkeiten von bis zu 1000 km/h.

Grenze können auch an der zwischen den Wasserschichten Schwingungen entlanglaufen.

Diese „planetaren Wellen“ entstehen unter der Meeresoberfläche, weil zusätzlich zu Wind oder Strömungen auch die Erdrotation auf einen Ozean einwirkt. Durch komplizierte physikalische Effekte werden dabei Wogen ausgelöst, die sich stets in Richtung Westen fortpflanzen.

Obwohl sich die bis zu 50 Meter hohen Wellen nur langsam ausbreiten, können sie manchmal weit reichende Folgen haben: Denn es ist möglich, dass sie ganze Meeresströmungen ablenken – darunter auch den Golfstrom, der bekanntlich in Nordeuropa für milde Temperaturen sorgt.

Lange waren diese rätselhaften Wogen nichts als Theorie: Weil die unterseeischen Wellenberge an der Oberfläche nur wenige Zentimeter Höhenunterschied verursachen und zudem mehrere Hundert Kilometer auseinanderliegen können, lassen sie sich auf der Erde kaum nachweisen. Erst die Messungen eines Forschungssatelliten bestätigten die Existenz dieser majestätischen Wellen. Wie die an der Auswertung der Daten beteiligten Wissenschaftler erkannten, brauchen sie mitunter mehrere Jahre, um einen Ozean zu durchqueren.

Um mehr über Riesenwellen zu erfahren, erzeugen Forscher in gigantischen Tanks künstliche Wogen. Eine der längsten Anlagen steht im Forschungszentrum Küste in Hannover. 307 Meter misst der Wellenkanal – und erlaubt es Ingenieuren etwa, die dämpfende Wirkung von Mangroven und Küstenwäldern auf Tsunamiwellen und Sturmfluten zu erforschen.

Derzeit rüsten die Wissenschaftler ihren Kanal weiter auf, sodass sie neben Wellen erstmals auch eine Tideströmung erzeugen können. Diese beiden Phänomene beeinflussen sich wechselseitig und üben eine große Wirkung beispielsweise auf die Stabilität von Windkraftanlagen vor der Küste aus.

Seit 2015 türmt zudem die Versuchsanlage „Delta Flume“ im holländischen Delft Wellen mit bis zu 4,5 Metern Höhe auf – die größten künstlichen Wogen der Welt. Sie treffen in einem gewaltigen Becken auf maßstabsgetreue Deiche, Dünen und andere Vorrichtungen zum Schutz der Küste, um so die Folgen zunehmender Extremwellen zu erproben.

Und auch Ingenieure der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich haben sich mit Monsterwogen befasst. Ihr Ziel war es, die Größe von Wellen abzuschätzen, die etwa durch einen Bergsturz in einen See ausgelöst werden könnten. Mithilfe von Pressluft schossen sie Sedimentmaterial in ein Versuchsbecken, verfolgten die Wellen mit Laser und Videokamera und erhielten so ein Modell, um solche Vorgänge vorherzusagen.

Dieses hydraulische Modell nutzten die Zürcher Forscher, um ein extremes Ereignis besser zu verstehen, zu dem es am 9. August 1958 in der Lituya-Bucht an Alaskas Südküste gekommen war: Nachdem sich dort 30 Millionen Kubikmeter Gestein gelöst hatten und ins Meer gestürzt waren, hatte eine gigantische Wasserfront den Wald der Küste wegrasiert.

Mit 500 Meter Scheitelhöhe war es die größte jemals auf Erden nachgewiesene Welle •

SIND DIE MEERE NOCH ZU RETTEN?

Erwärmung, Müll, Todeszonen: Das Leben unter Wasser ist massiv bedroht. Der Meeresbiologe Ulf Riebesell über Wege, wie sich das größte Biotop der Erde regenerieren kann – und warum der Mensch den Ozean braucht

Interview: Rainer Harf und Sebastian Witte

GEOkompakt: *Herr Professor Riebesell, Nachrichten über die Ozeane sind oft deprimierend: Sie handeln von Überfischung, Müllteppichen, Ölbohrungen – sind die Meere noch zu retten?*

Prof. Ulf Riebesell: Der Wandel unter Wasser ist dramatisch: Ausgebeutete Riffe, Plastikstrudel auf hoher See, abgestorbene Korallen oder verendete Seevögel sind das sichtbare Zeichen dieser Entwicklung. Aber ich bin überzeugt: Noch können wir gegensteuern, noch strotzt dieser faszinierende Kosmos vor Schönheit und Leben, bergen die Meere genügend Potenzial, sich zu regenerieren.

Wir müssen endlich verstehen: Der Ozean ist unser Verbündeter. Er puffert die globale Erwärmung ab, ernährt uns, mäßigt unser Klima – mehr denn je profitieren wir von ihm. Bloß: Wenn wir die Meere nicht effektiver

Schätzungsweise mindestens 150 Millionen Tonnen Plastikmüll treiben in den Meeren – 80 Prozent davon stammen aus weniger als 15 Ländern

schützen, werden sie ihre segensreichen Funktionen zunehmend einbüßen.

Derzeit ringen mehrere Staaten darum, riesige Schutzgebiete zu errichten, etwa in der Antarktis. Reicht das nicht?

Diese Initiativen sind enorm wichtig. Solche Schutzzonen, aus denen sich der Mensch vollständig heraushält, sind genau der richtige Weg, um dem Meer zu helfen, seine biologische Vielfalt und Produktivität zumindest lokal zu bewahren. Zumal Studien zeigen: Stoppt man die industrielle Ausbeutung einzelner Regionen, erholen sich teils auch die Bestände in überfischten Gebieten andernorts.

Momentan stehen jedoch gerade einmal drei bis vier Prozent der Meeresfläche unter Schutz. Viel zu wenig. Immerhin hat sich Deutschland verpflichtet, das Ziel der UN zu unterstützen, bis 2030 ein Drittel der Ozeane



Ulf Riebesell,
Jg. 1959, ist Professor
für Biologische Ozeano-
grafie am GEOMAR
Helmholtz-Zentrum
für Ozeanforschung
in Kiel.

als Schutzzonen auszuweisen. Das wäre ein ungemein wichtiger Schritt.

Die Deklaration einer Schutzzone ist ein formaler Akt. Wie schafft man es, Millionen von Quadratkilometern Meer zu überwachen?

In den küstennahen Gewässern sind die jeweiligen Staaten dafür verantwortlich, Regeln durchzusetzen, etwa mithilfe von Patrouillenbooten. Auf hoher See, wo die Zuständigkeiten diffus sind, müsste es zu zusätzlichen Vereinbarungen kommen – etwa der Norm, dass Fangflotten grundsätzlich mit Peilsendern ausgestattet sind, über die man sie jederzeit orten kann. Wilderer hätten es dann weit schwieriger, unbemerkt zu bleiben.

Für andere Probleme scheinen technische Lösungen in weiter Ferne – zum Beispiel, um unzählige Tonnen Plastikmüll aus den Meeren zu beseitigen.



Zweifellos ist die Ozean-Vermüllung ein Problem. Plastik – ob mikroskopisch klein oder in Form von Tüten und Flaschen – gehört nicht ins Meer, es verbreitet sich in alle Winkel, richtet zum Teil gravierende Schäden an.

Schildkröten schlucken Plastiktüten, weil sie sie für Quallen halten; Wale und Delfine verenden, weil ihre Mägen voll sind mit Plastikteilen.

Wir sollten das Problem jedoch dort lösen, wo es entsteht: an Land. Wir wissen: 80 Prozent des Plastiks in den Ozeanen stammt aus weniger als 15 Staaten – hauptsächlich aus Südostasien. Jeder Euro, der dazu beiträgt, dass in diesen Ländern mit Plastikmüll anders umgegangen wird, ist sinnvoll investiert. Er hilft den Meeren konkreter, als aufwendige Studien etwa über den Verbleib des Abfalls unter Wasser und unseren möglichen Umgang damit.

Momentan fließen beträchtliche Gelder, um die Folgen der Plastikflut für die Meeresumwelt zu untersuchen. Ich frage mich, wie viel mehr wir hierzu wissen müssen, um auf politischer Ebene aktiv zu werden.

Sie plädieren für einen anderen Fokus der Forschung?

Unser wissenschaftliches Hauptaugenmerk sollte auf jenen Veränderungen liegen, die der Lebenswelt unter Wasser, global betrachtet, am meisten zusetzen – und die weit entscheidender sind, wenn es darum geht, wie sich die Ozeane regenerieren können. Drei wesentliche Aspekte kommen zusammen: Die Meere erwärmen sich, sie verlieren Sauerstoff, sie werden immer saurer.

Die Erderwärmung ist in aller Munde.

Auf den Kontinenten führt der weltweite Anstieg der Durchschnittstemperatur bereits zu spürbaren Veränderungen: Trockenzonen weiten sich aus, Extremwetterereignisse häufen sich, bestimmte Tier- und Pflanzengruppen können nicht mehr in angestammten Habitaten siedeln.

Unter Wasser findet Vergleichbares statt: Organismen, die eine geringe Tem-

peraturtoleranz haben, geraten massiv unter Druck. Besonders gravierend zeigt sich das am katastrophalen Korallensterben. Viele Korallen tolerieren nur geringe Temperaturerhöhungen. Ein Großteil der tropischen und subtropischen Riffe – Lebensraum für Abertausende Spezies – steht vor dem Kollaps oder ist schon so gut wie tot.

Die meisten Meeresbewohner sind mobil, sie können in kühlere Gefilde wandern.

Wenn Spezies weichen müssen, verändern sich die lokalen Nahrungsnetze, ganze Ökosysteme können dadurch instabil werden.

Ein Beispiel: Der Dorsch ist ein Kaltwasserfisch, seine Eier entwickeln sich nur bei niedrigen Temperaturen gut. Da ihm sein heimischer Lebensraum, die Nordsee, inzwischen zu warm wird, zieht

es ihn vermehrt in höhere Breiten wie die Barentssee. Dafür fühlen sich mittlerweile Sardinen, Anchovis und Pazifische Austern an unseren Küsten wohl – Arten, die ursprünglich aus dem Süden stammen.

Es ist schwer vorherzusehen, welche langfristigen Auswirkungen solche Verschiebungen jeweils haben. In manchen Biotopen mag sich ein neues Gleichgewicht einstellen, andere

könnten kollabieren.

Schon jetzt führt die Erwärmung dazu, dass immer größere Gebiete für höheres Leben verloren sind.

Weshalb?

Erwärmt sich das Wasser an der Oberfläche, können sich weniger Gase darin lösen – damit gelangt auch weniger lebenswichtiger Sauerstoff in den Ozean.

Vor allem vor den Westküsten der großen Kontinente gibt es riesige sauerstoffarme Zonen, die sich im Zuge des Klimawandels weiter ausdehnen. Ein Zusammenspiel von Biologie und Physik verschärft dort zusehends die Bedingungen: Durch Auftrieb von nährstoffreichem Wasser gedeihen Unmengen pflanzliches Plankton. Stirbt es, sinkt es in die Tiefe, wo Mikroorganismen die tote Biomasse zersetzen. Dabei verbrauchen sie Sauerstoff. Irgendwann wird das Gas knapp.

Dem Ozean geht die Luft aus?

Tatsächlich breiten sich die Todeszonen vielerorts aus und werden immer voluminöser. Höheres Leben kann hier nicht mehr existieren. Ein Teufelskreis, der die Ökosysteme in diesen Regionen nachhaltig bedroht.

In den hohen Breiten, wo das Wasser kühler ist, findet sich reichlich Sauerstoff. Ist das marine Leben dort weniger unter Druck?

Im Gegenteil: Ein weiteres Problem setzt vor allem den polaren Gebieten zu – die zunehmende Versauerung. Sie kommt zustande, weil uns der Ozean einen riesigen Dienst erweist: Jährlich nimmt er rund ein Drittel des menschengemachten Kohlendioxids aus der Atmosphäre auf.

Wenn sich CO₂ chemisch in Wasser löst, steigt dessen Säure-Anteil, oder anders ausgedrückt: sein pH-Wert sinkt. Seit Beginn der Industrialisierung hat der Säuregehalt des Meerwassers um 30 Prozent zugenommen. Insbesondere in den vergangenen 50 Jahren hat sich dieser Prozess beschleunigt. Da sich in kaltem Wasser mehr CO₂ löst als in warmem, verschärft sich das Problem besonders in den hohen Breiten.

Mit welchen Auswirkungen?

Die stetige Versauerung führt dazu, dass die Kapazität der Meere, weiteres CO₂ aufzunehmen, allmählich geringer wird. Die Pufferwirkung des Ozeans nimmt also ab, mehr schädliches Klimagas verbleibt in der Atmosphäre und treibt die Erwärmung zusätzlich an.

Besonders dramatisch aber sind die Folgen für die marinen Ökosysteme. Zwei große Gruppen der Meeresbewohner sind vor allem betroffen. Die erste umfasst alle Tiere, die Kalk bilden, etwa um Panzer, Schalen oder Skelette zu bauen. Anders als an Land, sind im Wasser extrem viele Lebewesen darauf angewiesen – Korallen etwa, Muscheln, Schnecken, Seeigel, Seesterne, zudem eine riesige Bandbreite winziger Planktonorganismen, die Gehäuse aus Kalk bilden, um sich damit zu schützen.

Das saure Wasser bekommt ihnen nicht?

Über Jahrtausende konnten sich diese Organismen darauf verlassen, dass genügend Karbonat im Wasser vorhanden ist – der Grundbaustein für die Kalkbil-

**IN IMMER
GRÖßEREN
GEBIETEN KANN
HÖHERES
LEBEN NICHT
MEHR EXISTIEREN**

dung. In saurer werdender Umgebung sinkt der Karbonatgehalt jedoch. Der energetische Aufwand, Schalen zu bilden, wird für die Tiere umso größer.

Das bedeutet: Entweder bauen sie dünnere Schalen (was sie verletzlicher macht), oder sie müssen mehr Energie investieren (was zu Einbußen etwa beim Wachstum oder bei der Vermehrung führt).

Hinzu kommt, dass das Meerwasser in hohen Breiten bei fortschreitender Versauerung korrosiv für einmal gebildete Kalkschalen wird, der Kalk löst sich wieder auf, wenn er nicht durch organische Schichten geschützt ist.

Viele Organismen sind dadurch in ihrer Nische weniger konkurrenzfähig, wie Studien der letzten Jahre nahelegen, die Populationen verringern sich – mit unabsehbaren Folgen für die jeweiligen Ökosysteme.

Was ist die zweite Gruppe, die Schaden nimmt?

Saures Wasser beeinträchtigt nahezu alle Tiere in ihren Jugendstadien. Der Grund: Ob Seeigel, Flügelschnecke oder Fisch – in ihrer frühen Entwicklungsphase, kurz nach dem Schlüpfen, können

die Tiere ihren körpereigenen pH-Wert noch nicht so gut regulieren. Das äußere chemische Milieu bildet sich dann oft im Inneren ab. Damit die Zellen ordentlich funktionieren, sind sie jedoch auf einen bestimmten pH-Wert ausgerichtet. Die Folge: Im saureren Wasser wachsen viele Organismen langsamer oder entwickeln sich gar fehl.

Erwärmung, Sauerstoffverlust, Versauerung – je nach Region treibt mal der eine Aspekt den Wandel im Ozean, mal ein anderer.

Dennoch: Ein Artensterben wie an Land scheint es unter Wasser nicht zu geben.

Tatsache ist, dass wir einen Großteil der Arten im Meer noch gar nicht kennen. Ihren Verlust würden wir folglich auch nicht feststellen können. Anders als die Kontinente sind weite Teile der See ziemlich unerforscht. Es stimmt, dass die Zahl der belegten ausgestorbenen Spezies vergleichsweise klein ist. Nur ver-

IM OZEAN AGIERT DER MENSCH IMMER NOCH WIE EIN JÄGER UND WILDERER

kennt der Blick auf diese Zahl die Dramatik der Lage: Eine Art mag global noch nicht ausgerottet sein, aber wenn sie lokal nicht mehr vorkommt, ist die Situation für die betroffenen Ökosysteme dieselbe.

An vielen Orten beobachten wir bereits einen massiven Rückgang

der Populationen. Bei den kommerziell genutzten Arten ist der Schwund – in diesem Fall durch Überfischung – am augenscheinlichsten. Unter den Thunfischen, Haien und Meeresschildkröten sind einige Spezies beinahe ausgerottet.

Der Bedarf an proteinreicher Kost aus dem Meer wird bei wachsender Weltbevölkerung eher noch steigen.

Die Frage lautet: Wie wollen wir bald neun, dann zehn Milliarden Menschen ernähren? Für die Erzeugung tierischen Eiweißes verbrauchen wir an Land viel zu viele Ressourcen, der ökologische Fußabdruck der industriellen Viehhaltung ist katastrophal. Zudem sind die Anbauflächen für Futtermittel so gut wie ausgereizt – insbesondere, wenn wir zur Bekämpfung des Klimawandels mehr Wald pflanzen wollen.

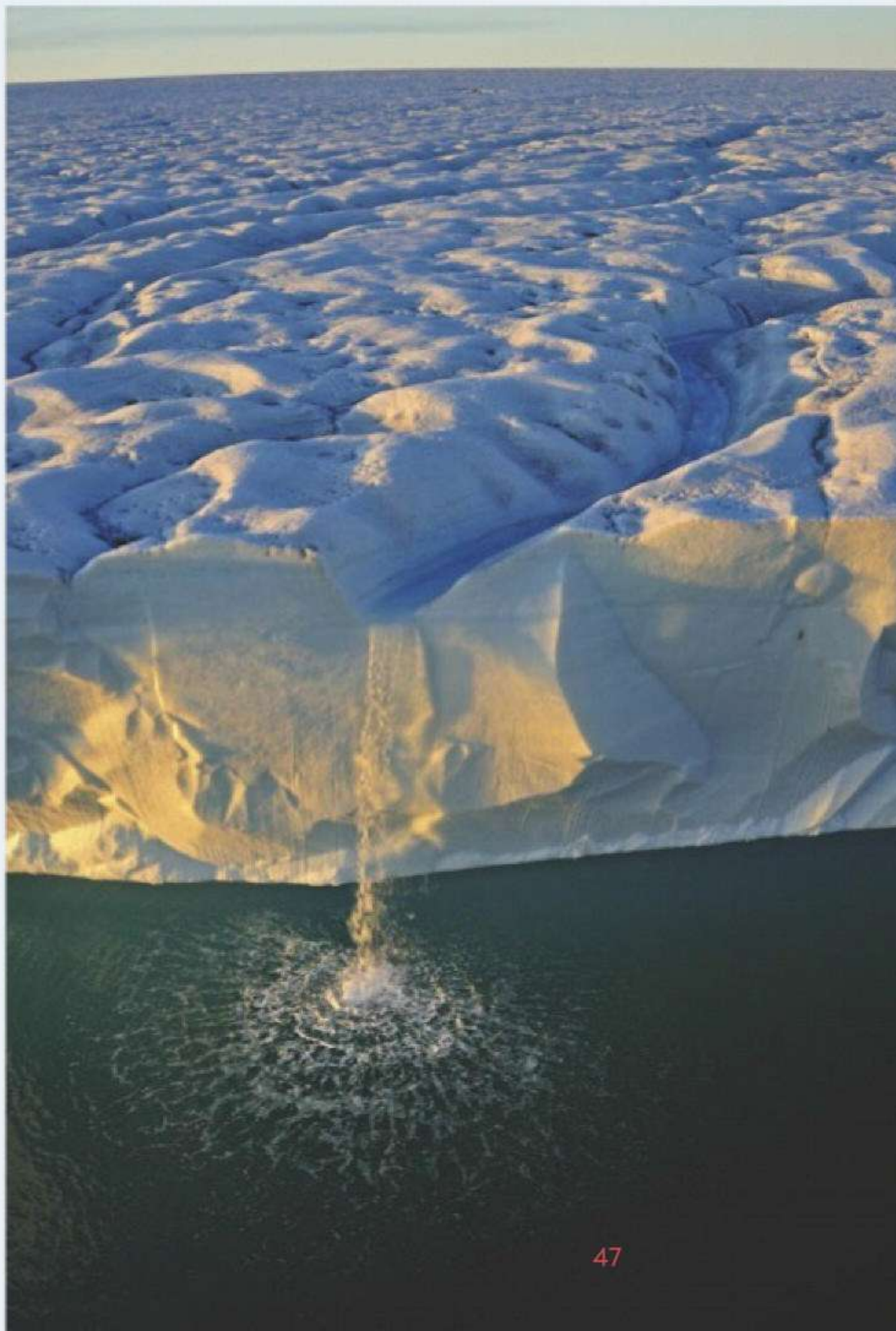
Bleibt die Alternative, dass wir alle weniger tierisches Eiweiß verzehren – oder der Ozean. Allein: Dort agiert der Mensch noch immer wie ein Jäger und Wilderer.

Massentierhaltung in Form von Fischfarmen gibt es längst auch im Meer.

Richtig. Die Hälfte des Fisches, der auf den Tellern der Welt landet, stammt heute bereits aus der Aquakultur. Doch nicht nachhaltige Zucht entlastet den Wildfang nicht. Denn sie zieht einen großen Futtermittelbedarf nach sich: Für die Produktion von einem Kilogramm Garnelen, Lachs oder anderer Fische werden rund 2,5 bis fünf Kilogramm Wildfisch benötigt, bei Thunfisch sogar 20 Kilogramm. Aquakultur hilft also nicht zwangsläufig dabei, die Überfischung der Weltmeere einzudämmen.

Obendrein sind die ökologischen Probleme dieser Massentierhaltung unter Wasser immens. Die Fische verletzen sich, werden krank und schneller von

Die Erwärmung führt nicht nur – wie hier in Norwegen – zu dramatischen Veränderungen über Wasser: Viele marine Ökosysteme geraten aus dem Gleichgewicht



Parasiten befallen. Um dem entgegenzuwirken, werden weitflächig Antibiotika und Chemiekeulen – vom Hygienebad bis zu Pestiziden – eingesetzt, die das Wasser verunreinigen.

Was ist die Alternative?

Ein Viertel des weltweiten Fischfangs findet auf nur zwei Prozent der Meeresfläche statt: Das sind die natürlichen Auftriebsgebiete etwa vor der Küste von Mauretanien, Namibia oder Peru. Dort gelangt nährstoffreiches Tiefenwasser an die Oberfläche und sorgt für eine hohe biologische Produktivität, mithin für reichlich Fisch. Die offene See, fernab vom Küstenauftrieb, ist dagegen relativ fischarm.

In einem aktuellen, von der EU geförderten Forschungsprojekt gehen wir der Frage nach, ob es gelingen könnte, solche Auftriebszonen künstlich zu schaffen – indem man mithilfe von Pumpen nährstoffreiches Wasser aus der Tiefe in höhere Schichten transportiert, in Bereiche des Ozeans, die bislang sehr unproduktiv sind. Solche „ozeanischen Wüsten“ bedecken immerhin etwa 40 Prozent der Erdoberfläche!

Das klingt nach einem gewagten Eingriff in die biologische Dynamik des Ozeans.

Man sollte nicht der Illusion erliegen, die Ozeane seien in irgendeiner Weise

unberührt. Jeder von uns trägt täglich dazu bei, dass mehr Kohlendioxid in die Atmosphäre – und damit in die Meere gelangt. Die Dezimierung mariner Nahrungsnetze durch die kommerzielle Fischerei ist ein anderes Beispiel dafür, dass wir längst und massiv in die biologische Dynamik des Ozeans eingreifen.

Derzeit sorgen wir vor allem dafür, dass die Meere immer unproduktiver werden. Warum nicht den umgekehrten Weg gehen – und ihre biologische Aktivität ankurbeln? Der Vorteil der oben geschilderten Intervention ist: Wir ahmen einen Prozess nach, der andernorts natürlicherweise stattfindet, im Fachjargon sprechen wir daher von einer „nature-based-solution“.

Die in jedem Fall nachhaltig ist?

Sollte der Ansatz funktionieren, genügt das so erzeugte Protein in Form von Fisch drei ökologischen Kriterien, die die Vieh- und Fleischwirtschaft an Land nicht erfüllen kann: Es verbraucht kein Frischwasser, es ist CO₂-neutral (die nötigen Pumpen könnten per Solar- oder Windkraft betrieben werden), es erfordert keinen Einsatz von künstlichen Dünge-

**OHNE EINGRIFFE
IN DIE MEERE
WERDEN
WIR UNSERE
KLIMAZIELE
NICHT ERREICHEN**

mitteln. Mit anderen Worten: Es wäre das grünste Protein, das wir auf der Erde gewinnen könnten.

Unter Umständen hätte die durch den Auftrieb angekurbelte Bioaktivität – zuvorderst in Form von Algenwachstum – noch einen weiteren positiven Effekt: Die

Algen betreiben Fotosynthese, nehmen CO₂ auf und bauen daraus Biomasse auf. Wenn die Algen sterben, sinkt der organisch gebundene Kohlenstoff in tiefere Schichten. Im Idealfall wird dadurch mehr Klimagas in die Tiefe transportiert als mit dem Tiefenwasser an die Oberfläche gelangt.

Auf diesen Mechanismus zielt auch eine andere, nicht unumstrittene Klimaintervention ab: die großflächige Düngung des Ozeans mit Eisen.

Welches Potenzial hätte sie?

Wir wissen, dass der Mikronährstoff Eisen das Wachstum von Kieselalgen dort zuverlässig anregen kann, wo er selten ist. Kieselalgen sind schwer und sinken schnell, können Kohlenstoff also effizient in die Tiefsee exportieren.

Um einen nennenswerten Effekt zu erzielen, müsste man – so ergeben Berechnungen – über längere Zeit eine Fläche mit Eisen düngen, die in etwa halb so groß ist wie Europa. Am ehesten würde sich dafür der Antarktische Ozean anbieten, wo Eisen der limitierende Nährstoff für Algenwachstum ist. Wäre man dazu bereit, ließe sich knapp eine Gigatonne Kohlenstoff pro Jahr zusätzlich im Ozean speichern. Das entspräche derzeit etwa einem Zehntel unserer jährlichen Emissionen weltweit.

Meeresgebiete, die einerseits schutzbedürftig erscheinen, sollen andererseits großflächig mit Nährstoffen verändert werden. Wenig verwunderlich, dass Umweltorganisationen lautstark protestieren.

Größere Eingriffe in den Ozean erscheinen vielen als zu gewagt, als gigantisches Experiment mit unabsehbaren Risiken. Dabei läuft dieses Experiment längst – verändern unsere CO₂-Emissionen die Chemie und Biologie der Meere in weit erheblicherem Maße.

Tropische Korallen tolerieren nur geringe Temperaturschwankungen. Vielerorts sind sie bereits abgestorben – zurück bleibt ein bleiches Skelett (hier bei Papua-Neuguinea)



Spätestens in zehn, 15 Jahren wird der Druck, die Erderwärmung aktiv zu bekämpfen, so gewaltig sein, dass wir um Klimainterventionen nicht umhinkommen werden. Die Senkung unserer CO₂-Emissionen allein wird nicht genügen, um das 1,5-Grad-Ziel des Pariser Klimaschutzabkommens zu erreichen.

Und doch: Solange mögliche biologische Nebenwirkungen einer Klimaintervention nicht bekannt sind, sollte man sie in Zweifel ziehen.

Umso wichtiger ist es, derartige Verfahren jetzt zu erforschen – um in der kommenden Dekade eine solide Entscheidungsgrundlage zu haben. Lange gab es auf diesem Feld kaum Forschungsgelder, als zu kontrovers galten die Vorhaben. Allmählich dreht sich der Wind.

Zur Düngung mit Eisen liegen bereits etliche Studien vor. Sie zeigen: Die Methode könnte funktionieren, mit überwiegend positiven Auswirkungen auf das marine Leben. Allerdings ist der Klima-Effekt begrenzt – Eisendüngung könnte also nur ein Ansatz in einem Potpourri verschiedener Maßnahmen sein.

Eine andere Intervention, die momentan hohe Erwartungen weckt, besteht darin, Gesteinsmehl in den Meeren auszubringen. Das hätte sogar vielversprechende Nebeneffekte.

Welche?

Löst sich das Gesteinsmehl in Wasser, bindet es CO₂. Das geschieht permanent an Land: Gestein verwittert und entzieht dabei der Atmosphäre CO₂. Flüsse wiederum transportieren riesige Mengen erodiertes Gestein oder die bereits gelösten Mineralien in die Ozeane. Findet der Prozess der chemischen Gesteinslösung nun im Meer statt, kommt hinzu: Das Wasser wird weniger sauer. Fachleute sagen: Es wird alkalischer. Daher spricht man auch von der Alkalisierung der Ozeane. Gesteinsmehl bindet also nicht nur den Kohlenstoff, sondern mindert obendrein die problematische Ozeanversauerung.

Wie viel Gestein müsste zermahlen und in die Meere gekippt werden, um einen nennenswerten Effekt zu erzielen?

Zugegeben: Die erforderlichen Mengen sind gewaltig. Um eine Tonne CO₂ zu binden, benötigt man je nach Mineral ein halbe bis zwei Tonnen kleingeraspel-

tes Gestein. Würden wir auf diesem Weg einen erheblichen Anteil der menschengemachten Emissionen kompensieren wollen, müsste wir eine ganze Industrie aufbauen, die in ihren Maßstäben der heutigen Zementindustrie entspricht.

Eine irre Vorstellung!

Man sollte sich von diesen Dimensionen nicht gleich abschrecken lassen. Experten rechnen zum Beispiel damit, dass die dem heutigen Wachstum angepasste Zementindustrie in China schon in etwa zehn Jahren überdimensioniert sein wird. Freie Kapazitäten könnten für die Alkalisierung der Ozeane genutzt werden.

Es wirkt, als würde man einen Patienten mit gigantischen Mengen eines Medikaments vollpumpen, ohne dessen Nebenwirkung wirklich zu kennen.

Man muss sich klarmachen: Über erdgeschichtliche Zeiträume ist es genau dieser Prozess, der den CO₂-Fußabdruck der Menschheit kompensiert. Warum nicht den Vorgang beschleunigen? Schließlich sind wir auch den umgekehrten Weg gegangen, haben die Versauerung durch unsere stetig steigenden Emissionen herbeigeführt und tun es weiterhin. Wir würden dieser fatalen Entwicklung ein Stück weit entgegenwirken.

Unbestritten ist: Wir müssen die Folgen dieser Intervention sehr akribisch erforschen. Wie reagiert die Tier- und Pflanzenwelt, wenn wir im großen Stil Gesteinsmehl in den Meeren lösen? Hilft es den kalkbildenden Organismen im Kampf gegen die Versauerung? Ändert sich das fein austarierte Zusammenspiel im Ökosystem?

Benötigt der Ozean eine stärkere Lobby?

Unbedingt! Der Ozean kann uns helfen, unsere drängendsten Probleme zu bewältigen – den Klimawandel wie die Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung. Für beide Herausforderungen haben wir Lösungsansätze zur Hand, die natürliche Prozesse nachahmen, die also nachhaltig sind – und die letztlich auch den Meeren zugutekommen.

Wir sollten unbedingt ein größeres Bewusstsein dafür schaffen, wie immens

das Potenzial ist, das der Ozean birgt. Wie essenziell es ist, seine Diversität zu bewahren. Wie wichtig sein Schutz ist.

Woran liegt es, dass vielen Menschen das Leben unter Wasser nicht so bedeutsam erscheint wie das an Land?

Es fängt vermutlich schon damit an, dass wir uns die Welt der Meere gar nicht richtig vorstellen können. Wir Menschen leben ja gewissermaßen in einer zweidimensionalen Welt. Der Ozean aber hat diese gewaltige dritte Dimension, geht in die Tiefe, das sind wir nicht gewohnt. Wie der Ozean als Ökosystem funktioniert, ist für Landbewohner schwer begreiflich.

Und dann ist dieses Ökosystem auch noch extrem weit von uns entfernt. Wir kennen die Küsten, nehmen das Meer im Grunde immer nur an seinen Rändern wahr. Für etwas, das einem nicht sonderlich nahe, vertraut ist, mag man sich vielleicht auch nicht energisch einsetzen.

Daher ist es so wichtig, dass wir nicht nur über die Probleme sprechen, die den Ozean derzeit bedrohen. Sondern ebenso über seine unfassbare Schönheit, seine verborgenen Welten, die jeden in seinen Bann ziehen, der über sie erfährt.

Welcher Ort unter Wasser fasziniert Sie besonders?

Ich werde nie vergessen, wie ich vor etlichen Jahren in einem Unterseeboot an der norwegischen Küste in die Tiefe abgetaucht bin. Allmählich wurde die Szenerie immer dunkler, irgendwann herrschte Finsternis. Als der Tiefenmesser anzeigte, dass wir uns

nur noch zehn, 15 Meter über Grund befanden, schaltete der Pilot die Scheinwerfer an. Und in einem Gebiet, von dem man erwarten würde, dass es nichts außer schlammigem Meeresboden zu bieten hat, erstrahlte plötzlich ein wunderschönes Riff aus Kaltwasserkorallen! Diese spektakulären Organismen siedeln in Gewässern kälter als 12 Grad in bis zu 3000 Meter Tiefe. Eine Pracht, die demütig macht.

Und die einem vor Augen führt, was wir verlieren, wenn wir die Meere nicht besser schützen.

DER OZEAN KANN
UNS HELFEN,
UNSERE
DRÄNGENDSTEN
PROBLEME ZU
LÖSEN

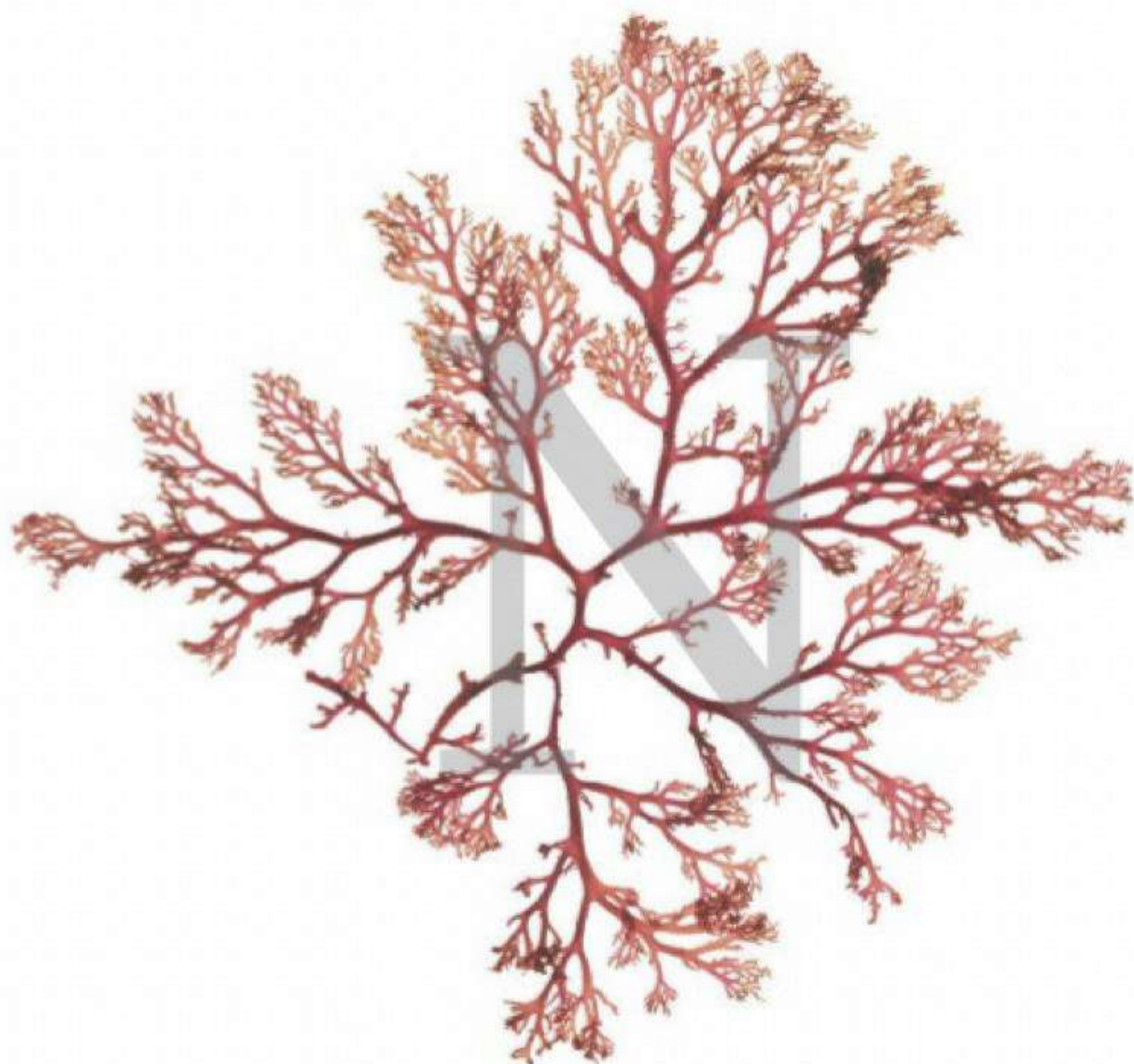
So riecht das

Der Ozean versprüht ein ganz
eigenes Spektrum unterschiedlicher
Gerüche. Und jeder dieser Düfte
offenbart Erstaunliches darüber,
was unter der Oberfläche
vor sich geht

Text: Dela Kienle

Fernweh, Freiheitsgefühle, Kindheitserinnerungen: Bei den meisten von uns weckt eine Meeresbrise positive Assoziationen. Dabei resultiert das typische Ozeanbukett nicht selten auf Zersetzung und Verwesung

MEER



Noch bevor man das Rauschen der Wellen vernimmt oder das aufgewühlte Wasser sieht, kann man es meist schon riechen: Das Meer lässt seinen unverkennbaren Duft über die Dünen wehen. Mal offenbart die Brise etwas Salzig-Frisches. Mal trägt sie einen Hauch von Fisch mit sich. Mal duftet die See würzig, bisweilen auch modrig.

Die meisten von uns beschwingt der maritime Atem. Er triggert in Millisekunden Erinnerungen, beschwört Freiheitsgefühle, Urlaubsstimmung, Fernweh herauf. Doch was genau kitzelt unsere Nase, wenn wir Meeresluft einatmen? Das Wasser selbst kann es nicht sein. Schließlich ist H_2O vollkommen geruchlos. Dasselbe gilt für den Hauptbestandteil im Meeressalz, Natriumchlorid.

Stattdessen ist es eine komplexe, sich ständig wandelnde Mischung aus organischen Aromen, die das Ozeanbukett prägen. Und der jeweilige Duft offenbart nicht selten, was sich unter der Meeresoberfläche abspielt. So könnte es zum Beispiel – auch wenn die Wahrscheinlichkeit gering ist – sein, dass wir einen Hauch von Ambra erschnuppern, einem der teuersten Duftstoffe der Welt. Seine Herkunft lässt auf Wale schließen.

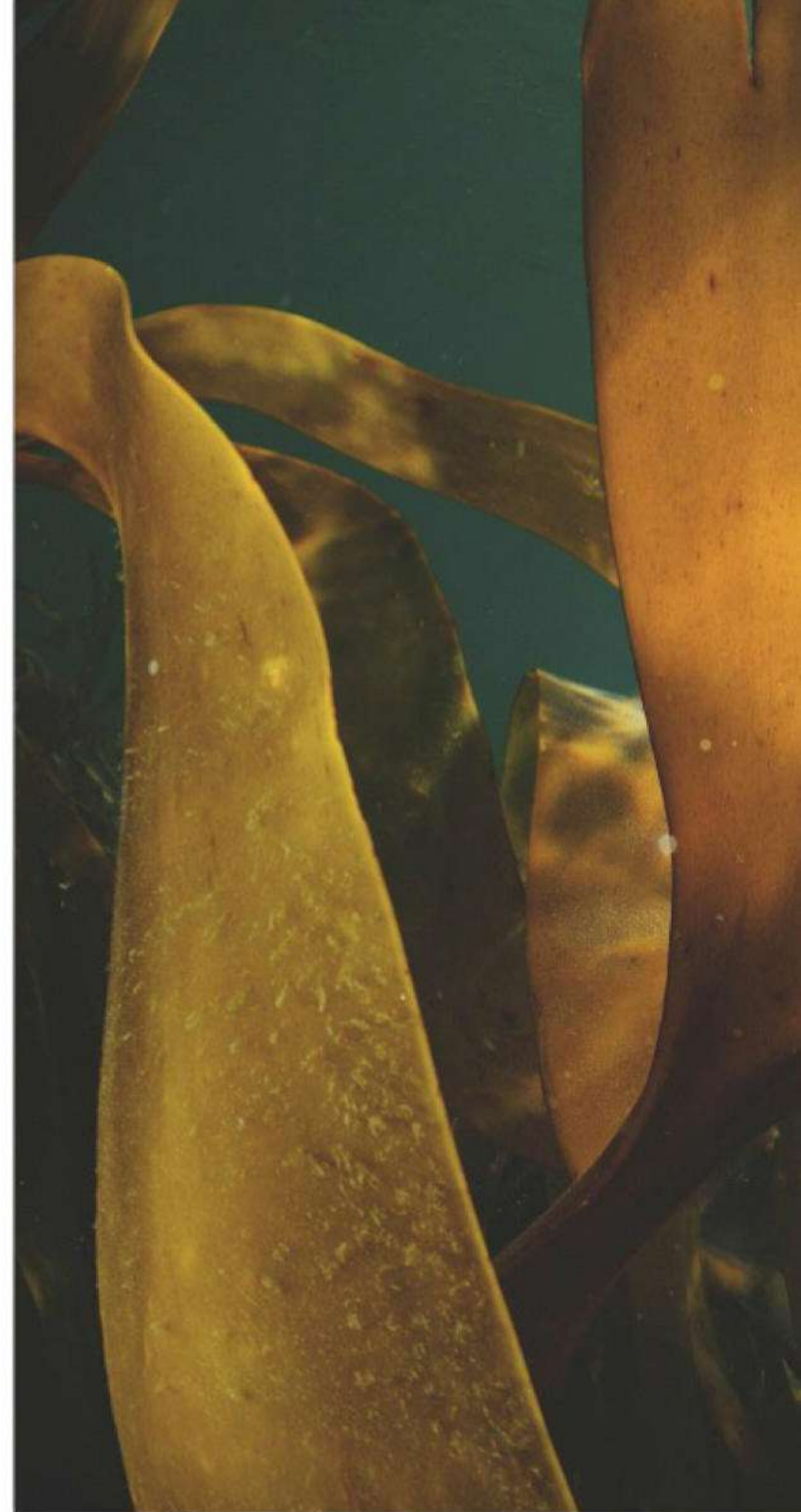
Genauer: Auf einen Pottwal, der viel unverdauliche Kost gefressen und seine Ausscheidungen verrichtet hat, denn just darin befindet sich die luxuriöse Ingredienz. Manchmal deutet der Meeresgeruch auch auf Sex hin. So können auch wir Menschen jene Lockstoffe erschnüffeln, die weibliche Braunalgen zum

Zwecke der Fortpflanzung großzügig im Wasser verteilen. Das Aroma, das dann aus den Wellen emporsteigt, empfinden wir als typisch würzigen Algenduft.

An einigen Stränden hängt sogar der Tod in der Luft: In der Bretagne etwa vergärt im Sommer bisweilen so viel „Meersalat“ (*Ulva lactuca*) am Ufer, dass beträchtliche Mengen von stinkendem Schwefelwasserstoff freikommen. Wildschweine, ein Pferd, ja womöglich sogar Menschen sollen in den letzten Jahren durch die giftigen Gase erstickt sein.

Wissenschaftler haben jedoch einen bestimmten Duftstoff entdeckt, der wie kein anderer nach Meer riecht. Gebildet wird er von Phytoplankton: von einzelligen Algen wie *Emiliana huxleyi*, die zu Abermillionen in den Ozeanen treiben. Satellitenbilder zeigen, wie sie während ihrer Blüte Tausende Quadratkilometer Meeresoberfläche milchig-grün einfärben.

Doch mit bloßem Auge sind die winzigen Algen kaum zu sehen. Unbeachtet treiben sie in den Ozeanen. Bei Abbauprozessen innerhalb der Zelle, aber insbesondere, wenn sie absterben und von Bakterien zersetzt werden, entsteht die Schwefelverbindung Dimethylsulfid, kurz DMS genannt. Zwar kommt das Gas auch beim Kochen von Kohl und Getreiden frei und formt eine der fauligen Komponenten von Mundgeruch. Doch weht uns die Substanz an der Küste in die Nase, empfinden wir das Aroma meist als wohlriechend und typisch meeresfrisch. Das Phänomen hat damit zu tun, dass wir



Insbesondere Algen tragen zum Meeresduft bei – etwa indem sie Lockstoffe zum Zwecke der Vermehrung verteilen

Die Duftspur
mancher Algen
lockt Vögel
zu einem
Festschmaus
auf die
offene See

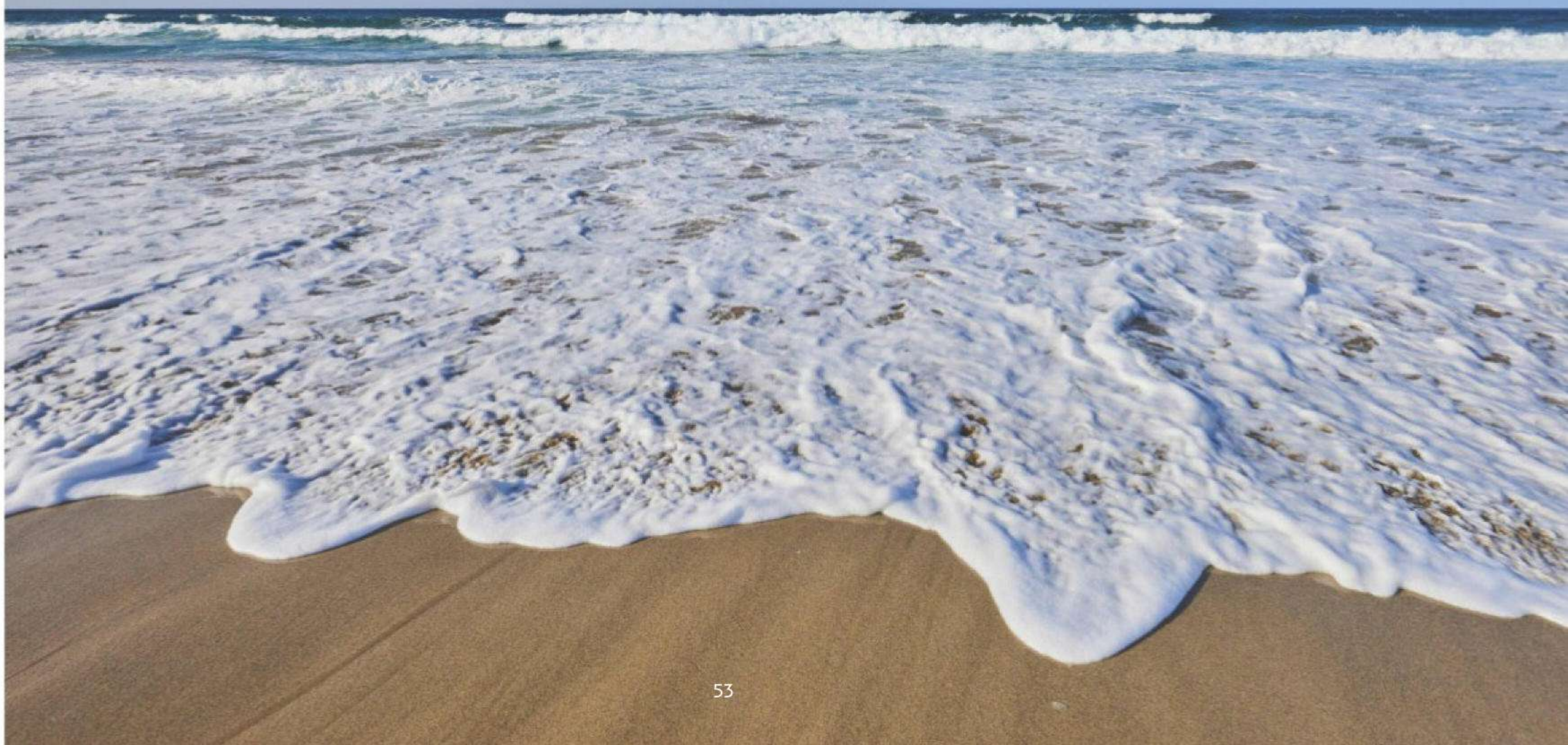


einen Duft ganz unterschiedlich bewerten, je nachdem, in welchem Kontext wir ihn wahrnehmen.

DMS ist ein faszinierender Stoff. Die einzelligen Algen nutzen es sogar, um eine Art Notruf abzusetzen: Wenn Krillschwärme über sie herfallen, wenn die kleinen Krebstiere ihre Zellwände anagieren, tritt der charakteristische Geruch besonders stark zutage. Und das riechen wiederum Albatrosse, Sturmtaucher und Sturmvögel – über viele Kilometer Entfernung. Die angelockten Vögel lieben Krill, stürzen sich ins Wasser – und kommen so quasi den Algen zu Hilfe. Meist erbeuten die Seevögel auch Fische und Kalmar. Wo Krillschwärme treiben, gleicht die See mitunter einem Open-Air-Büfett.

Die DMS-Duftspur lockt die Vögel also zu einem Festschmaus. Doch immer öfter verleitet sie das vielversprechende Bukett auch zu einem gefährlichen Irrtum. Schließlich treiben in den Ozeanen inzwischen mehr als 150 Millionen Tonnen Plastik. Tütenfetzen, Flaschendeckel und anderer Müll werden zügig von Phytoplankton besiedelt. Schon nach etwa drei

Die Brandung wirbelt salzhaltige Aerosole in die Luft, die wir bei jedem Strandspaziergang einatmen und erschnuppern



Wochen im Meer duftet Kunststoff nach DMS, wie Forscher der University of California bewiesen. Es ist also wohl der verführerische „Ozeangeruch“, der Seevögel dazu bringt, versehentlich Plastikabfall zu verschlingen, bis ihre Mägen so vollgestopft sind, dass natürliche Nahrung keinen Platz mehr hat – und die Tiere kläglich verhungern.



Schätzung ergeben, dass jährlich rund 28 Millionen Tonnen des maritimen Duftgases in die Atmosphäre dampfen, mit steigender Tendenz. Es entsteht nämlich nicht nur wenn die Algen-Winzlinge von Fressfeinden bedrängt werden, sondern vielmehr auch beim „Schwitzen“ oder Absterben, wenn sie Hitze oder starker UV-Strahlung ausgesetzt sind. In der Luft oxidiert das DMS zu schwefliger Säure, zerfällt also in winzige Schwebeteilchen. Und die können als Kondensationskerne wirken: Sie ziehen Wasserdampf an, immer mehr Tröpfchen bilden sich ... bis richtige Wolken entstehen. Die spenden den Algen Schatten und reflektieren einen Teil der UV-Strahlung zurück ins All. Es klingt unglaublich – aber die winzigen Organismen gestalten aktiv das Wetter: Sie erschaffen sich ihren eigenen Sonnenschutz. Und sie regeln die Wasser- und Lufttemperatur aktiv herunter. Liegt diese wieder auf Wohlfühlniveau, beruhigen sich die Algen. Sie stoßen weniger duftendes DMS aus und produzieren dadurch weniger Wolken. Der Kreislauf kann von vorn beginnen.

DMS beschert uns also mehr als den herben Ozeanduft: Zumindest lokal kann das Gas dazu beitragen, das Klima ab-



Viele Meter lang kann Seetang werden – an den Strand gespült, verströmt er beim Verwesen einen modrigen Geruch



Wenn sich das Wasser zurückzieht und Meeresboden freigibt, gelangen oft besonders viele Duftstoffe in die Luft

Ein Aroma, das sich sogar kosten lässt: Diese mit Seeanemonen besetzte Braunalge (Zuckertang) ist essbar

zukühlen. Wissenschaftler sind von den Möglichkeiten fasziniert: Könnten die Algen genug DMS produzieren, um die Erwärmung des Planeten zu bremsen? Wäre es ratsam, ihr Wachstum künstlich zu stimulieren, indem man die Ozeane mit Eisen düngt? Und was passiert eigentlich, wenn die Eisflächen in der Arktis weiter schwinden? Werden sich die Algen in den offenen Gewässern so stark vermehren, dass viel mehr Wolken entstehen – und die Erwärmung der Region wieder abnimmt?

Eines steht jedenfalls fest: Im Moment sabotieren wir mit unserem Verhalten die winzigen Wettergötter – und verändern damit wohl versehentlich auch den Duft des Meeres. Noch immer stoßen unsere Verkehrsmittel, Heizungen und Fabriken mehr Kohlendioxid (CO₂) aus, als es die Erde vertragen kann. Dieses Treibhausgas wird nicht nur in enormen Mengen von Wäldern gebunden, sondern auch von den Ozeanen. Dadurch verändert sich ihre chemische Zusammensetzung: Das Kohlendioxid reagiert mit dem Wasser zu

Kohlensäure – und die Meere werden immer saurer. Leidtragende sind vor allem Muscheln, Schnecken und Korallen. Aber eben auch die „Meeres-Bedufterin“ *Emiliana huxleyi*. Der einzellige Allrounder zählt nämlich zu den Kalkalgen, umgibt sich mit feinen Kalkplättchen. Unter dem Mikroskop ähnelt Emiliana einem blassen, fragilen Fußball.

Schreitet der
Klimawandel voran,
könnte das
Meer
irgendwann
nicht mehr nach
Meer riechen

Wissenschaftler des GEOMAR Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung haben untersucht, welche Folgen die Meeresversauerung für die Alge hat. Je saurer das Wasser wird, desto mehr Energie benötigt sie, um ihren feinen Kalkpanzer herzustellen. Ihre Population wird vermutlich abnehmen – und letztlich könnte sogar die großflächige Algenblüte ausfallen.

All das würde auch bedeuten, dass künftig immer weniger DMS in die Luft gelangt. Damit würde die Wolkenbildung gestört und die kühlende Wirkung des Gases ausgebremst. Irgendwann könnten wir wohl auch vom Ufer aus erschnupern, wie sehr die Ozeane aus dem Gleichgewicht geraten sind: Dann wird das Meer nicht mehr nach Meer riechen.

Noch ist es nicht so weit. Und wenn wir beim nächsten Strandspaziergang die algig-würzigen Aromen erschnupern, dann erinnern sie uns vielleicht daran, dass die kleinsten Lebewesen in der Natur oft Großes vollbringen.

Und manchmal duften sie dabei auch noch überaus betörend.

Graue Giganten

Ihre Vorfahren besaßen vermutlich ein Fell und lebten an Land. Auf dem Weg zurück ins Meer lernten die Wale, Salzwasser zu trinken, kilometer-tief zu tauchen und ohne einen Atemzug stundenlang unter Wasser zu bleiben. Die wohl größten Tiere aller Zeiten sind gleich in mehrfacher Hinsicht auch die beeindruckendsten

Text: **Sebastian Witte**





Riesiger Happen

Mit aufgerissenem Maul stürzt sich dieser Finnwal auf einen Krillschwarm. Sein Kehlsack nimmt Wasser inklusive Beute auf, bis zu 70 Kubikmeter fließen in seinen Körper. Er schließt sein Maul und presst anschließend das Wasser durch die Barten wieder heraus. Diese Form des Jagens führt die bis zu 27 Meter langen Kolosse selbst in 200 Meter Tiefe. Während einer solchen Attacke müssen die Wale ihren Körper kräftig bewegen, um den Wasserwiderstand zu überwinden – und das wiederum zehrt an den Sauerstoffvorräten. Bereits nach sieben bis acht Happen sind die Tiere deshalb so erschöpft, dass sie zum Luftholen nach oben kommen müssen. Doch der Aufwand lohnt sich: Manche Finnwale verschlingen pro Tag mehr als zwei Tonnen der etwa daumenlangen Krebse, die mit ihnen eng verwandten Blauwale bringen es sogar auf vier Tonnen

Auge in Auge

Im Laufe der Evolution haben Grauwal und Co. die Fähigkeit verloren, Farben zu sehen.

Stattdessen entwickelten sie ein besonders feines Gehör, mit dem sie etwa die Gesänge von Artgenossen noch in Hunderten Kilometern Entfernung wahrnehmen können



Räubern im Team

Oft umrunden Buckelwale gemeinsam einen Schwarm kleiner Fische und stoßen dabei unter Wasser Luft aus: So entsteht eine Barriere, die die Beutetiere einkesselt





Luft tanken

Meeressäuger wie dieser Buckelwal haben ein bestimmtes Protein im Blut, das Sauerstoff speichern kann. Das ermöglicht ihnen, gewissermaßen auf Vorrat zu atmen und teils erst nach einer Stunde oder länger an die Oberfläche zu kommen

Lautstarke Signale

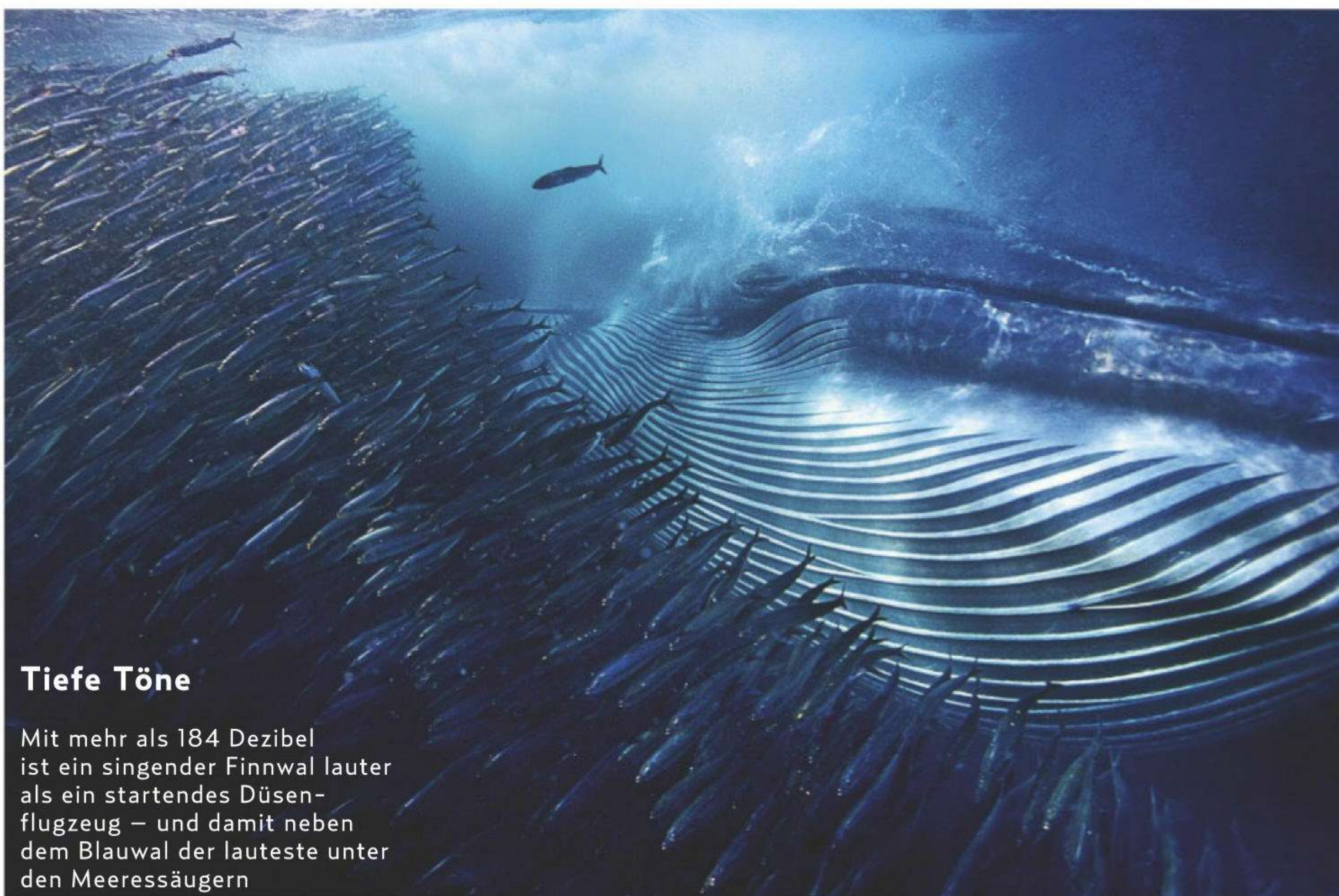
Ein Buckelwal beim Sprung aus dem Wasser: Mit der Wucht seines Aufpralls produziert er Geräusche, die sich unter Wasser über große Entfernungen fortsetzen – Botschaften für Artgenossen





Ortung per Echo

In dem großen Schädel des Pottwals befindet sich ein leistungsstarkes Sonar: Hier erzeugt das Tier Klicklaute. Mithilfe der aufgefangenen Echos orientieren sich die Wale und orten Beute



Tiefe Töne

Mit mehr als 184 Dezibel ist ein singender Finnwal lauter als ein startendes Düsenflugzeug – und damit neben dem Blauwal der lauteste unter den Meeressäugern



Gefährten im Ozean

Zu einem Tross Großer Tümmler haben sich Kleine Schwertwale gesellt (dunkelgrau): Es kommt sogar vor, dass beide nahe verwandten Delfinspezies gemeinsamen Nachwuchs zeugen



Auf der Flucht

Mit einem riesigen Satz verfolgt ein Orca einen Großen Tümmler: Vor allem kleinere Delfine zählen zu einer beliebten Beute der berühmten »Killerwale«



Durch das Eis

Eine Gruppe Narwale unterwegs in der kanadischen Arktis: Ihr meter-langer Stoßzahn könnte ein Sinnesorgan sein, mit dem die Tiere Druck, Temperatur und Salzgehalt des Wassers erspüren

Cleverer Killer

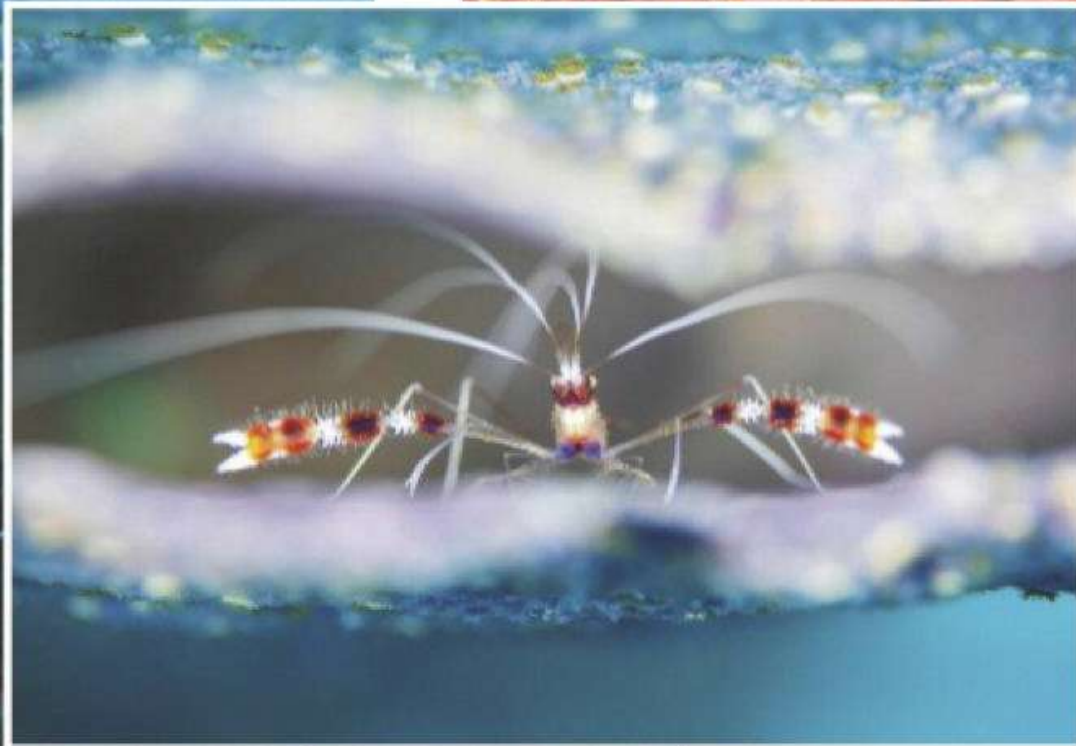
In der Gruppe können Orcas selbst riesige Grau- oder Blauwale angreifen: Sie drücken ihre Beute so lange unter Wasser, bis dieser die Luft ausgeht •





Vor der Küste Kubas lässt sich beobachten, wie die Karibik vor 100 Jahren aussah – ein sprühendes Unterwasserparadies. Bergen die **»Gärten der Königin«** Hoffnung für die Zukunft der Korallenriffe?

Riffe, die streng geschützt werden,
sind offenbar besser gefeit gegen die
verheerenden Auswirkungen des
Klimawandels



In einem intakten
Riff, wie diesem
vor Kuba, wimmelt
es nur so von Leben:
Tausende Arten
von Fischen, Korallen,
Krebsen und Co. ge-
stalten und teilen sich
diesen pulsierenden
Lebensraum

Text: Lars Abromeit



Ein männlicher Kiefernfish brütet seinen Nachwuchs aus: Zum Schutz vor Räubern behält der werdende Vater die befruchteten Eier im Maul

ea pro quia dolupta
um troqui enditi
occece preptatiunt
logiam cuscils
volutatis dolorem
Us endi sed mod
minumquam cus,
alit prenditatur ma-
gnimus

**So also müssen gesunde
Korallenbänke der Tropen aussehen!**



Haie kommen im Nationalpark »Jardines de la Reina« bis zu 18-mal häufiger vor als an anderen Riffen Kubas



Überall stößt man hier auf Leben: etwa auf diese Clowns-Krabbe, die auf einem Schwamm sitzt

Die Patrouille

muss uns bereits eine Weile gefolgt sein. Aber wir haben sie nicht bemerkt: Zu eng ist der Canyon, in den wir mit der Strömung hineingetaucht sind. Und zu gebannt haben wir die Wesen bestaunt, die in den Nischen der Steilwände lauern: Feuerkorallen und Strauchgorgonien, Röhrenwürmer und Seeanemonen, die mit ihren blutroten Armen, schwankenden Fächern, gekrümmten Angeln nach Beute greifen. Wir gleiten an ihnen entlang, während die Schlucht immer schmaler wird, dunkler, und schließlich in einer Sackgasse endet.

Da schießen die Schatten heran. Die Wächter der Riffs wollen offenbar wissen, wer ihre Mittagsruhe stört. Sie nähern sich, drehen erst knapp einen Meter vor uns wieder ab, verschwinden im blauen Nebel. Und kommen zurück: vier Karibische Riffhaie, *Carcharhinus perezii*, zwischen anderthalb und gut zwei Meter lang.

Enger und enger ziehen sie ihre Schleifen, gleiten von hinten so nah an unseren Köpfen vorbei, dass ihre Flossen uns beinahe berühren. Bullige Jäger, von der Evolution über Jahrtausende perfektioniert. Sie starren uns an, als fragten sie sich, was diese drei unbeholfenen, blubbernden Kreaturen in ihrem Revier verloren haben.

Wir suchen

Zeichen der Hoffnung. Der Biologe Fabián Pina-Amargós und seine Assistentin Tamar Figueredo Martín haben mich rund 80 Kilometer vor dem kubanischen Festland in die Tiefe geführt, um mir einen kostbaren Ort vorzustellen: eine Unterwasserlandschaft, die vielleicht Hinweise dafür birgt, wie die weltweit bedrohten Korallenriffe der Tropen vor der Zerstörung bewahrt werden können. Denn hier sind sie noch weitgehend intakt.

„Jardines de la Reina“, Gärten der Königin, heißt der Archipel vor der Südküste Kubas, den Pina-Amargós und Figueredo Martín erforschen; eine Kette aus 661 kleinen und kleinsten Inseln, mehr als 120 Kilometer lang. Schon Christoph Kolumbus ankerte hier zwischen Seegraswiesen, Mangrovenwäldern und Palmen – seine Entdeckung taufte er



Jardines de la Reina liegt vor der Südküste Kubas. Der Archipel umfasst eine 120 Kilometer lange Kette aus 661 kleinen und kleinsten Inseln

zu Ehren der spanischen Herrscherin Isabella die Katholische, die ihn auf den Atlantik hinausgeschickt hatte.

Siedlungen gab es nie auf den Inseln, schon weil Süßwasserquellen fehlen. Für die Natur hat sich dies als ein Glücksfall erwiesen – vor allem für jene unter dem Meeresspiegel.

Größere Fischereifloten haben den Archipel nie erreicht. Und seit Mitte der 1990er Jahre stehen die Inseln und ihre Gewässer unter Naturschutz: Fidel Castro persönlich, selbst begeisterter Taucher, soll sich dafür eingesetzt haben. Das protegierte Gebiet wurde 2010 nochmals ausgedehnt: Mit einer Fläche von mehr als 2000 Quadratkilometern umfasst es seither die größte marine Schutzzone der gesamten Karibik. Bis auf wenige Ausnahmen für den staatlichen Hummerfang ist jeglicher Fischfang im Nationalpark verboten.

Meeresforscher halten die Gärten der Königin für einen einzigartigen Schatz: Korallen- und Fischarten, die in anderen Teilen der Karibik selten geworden sind, kommen hier noch in ihrer natürlichen Dichte und Größe vor: Hammerhaie, Lippfische oder Zackenbarsche zum Beispiel. Insgesamt ist die Masse an Fisch ersten Studien nach etwa sechs bis acht Mal so hoch wie vor Belize, Mexiko oder den Bahamas.

Zwischen Juli und November durchkreuzen Walhaie die Gewässer. An den

Stränden der Inseln finden Meeresschildkröten ruhige Plätze zur Eiablage, in den Mangrovensümpfen verstecken sich Krokodile. Und in den Wipfeln des grünen Dickichts an Land rasten oder brüten zahlreiche Vogelarten: Kormorane und Weißkopftauben, Fregatt- und Schlangenhalsvögel.

„Die Inselkette ist eine Zeitkapsel“, hatte mir Pina-Amargós vor unserem Tauchgang zur Schlucht versprochen: „Hier können wir noch beobachten, wie die Karibik vor 100 Jahren aussah. Du wirst begeistert sein!“

Und tatsächlich: Niemals zuvor, nicht einmal in den artenreichsten Gebieten des Indopazifiks, habe ich so viele Großfische zu Gesicht bekommen. Nicht nur die Riffpatrouille der Haie, die uns ins Visier nahm, auch silberne, urtümlich anmutende Tarpune, Dutzende Zackenbarsche von bis zu anderthalb Meter Länge, Schnapper-Schwärme und glitzernde Wolken aus Stachelmakrelen umkreisten die Felsen.

So also müssen

gesunde Korallenbänke der Tropen aussehen: wie eine Fischsuppe voller Räuber! Doch selbst Ökologen erleben das nur noch selten. Denn gerade die größeren Jäger der Unterwasserwelt gelten zugleich als begehrte Beute der Fischer. In Kuba etwa sind die Bestände an Nassau-

Zackenbarschen außerhalb von geschützten Gebieten in den vergangenen 50 Jahren um 98 Prozent geschrumpft. Und Haie kommen im Nationalpark Jardines de la Reina – je nach Art – bis zu 18-mal häufiger vor als an anderen Riffen Kubas.

„Wir sehen hier Verhaltensmuster von Fischen und ökologische Wechselwirkungen, die man in anderen Meeresgebieten gar nicht bemerken würde“, sagt Pina-Amargós. „Dabei wird klar: Wie ein ursprüngliches Korallenriff funktioniert, haben wir bisher eigentlich kaum verstanden.“

Wir kehren gemeinsam zur Basis zurück, von der aus die beiden Forscher im Auftrag der Nationalparkverwaltung den Archipel untersuchen. Es ist ein schwimmendes Dorf, verankert zwischen Mangroven in einer geschützten Lagune. Im Zentrum ein Hausboot, „Tortuga“ genannt, in dem Pina-Amargós und Figueredo Martín manchmal auch Tauchtouristen in die Besonderheiten der Unterwasserwelt Kubas einweisen. Daran vertaut: eine schwimmende Technik-Station und ein paar kleine Boote, auf denen Helfer vom Festland schlafen.

Pina-Amargós hat hier den größten Teil seines Lebens verbracht. Der 48-jährige Biologe wacht über die Gärten der Königin wie über den eigenen in Havanna. Seit 25 Jahren untersucht er die Riffe: Er hat beobachtet, wie Ammenhaie und Stachelmakrelen zur Jagd Allianzen schmiedeten, wie Bonitos den Wanderrouten von Walhaien folgten, wie Zackenbarsche ihrem Nachwuchs den Weg in die Laichgebiete wiesen, in denen Abertausende ihrer Art zur Paarung in einer einzigen Vollmondnacht aufeinandertreffen.

Vor allem aber verfolgt Pina-Amargós seit einigen Jahren, wie die Riffe des Archipels mit der größten globalen Bedrohung für die Korallen der Erde zurechtkommen: mit der Klimakrise.

Die Wassertemperaturen der Weltmeere steigen stetig, immer häufiger machen Hitzewellen den Riffen zu schaffen: Wird das Wasser zu warm, stoßen Korallen die Einzeller ab, die als „Untermieter“ in ihren Geweben hausen und sie mit Nährstoffen füttern. Die Koralle bleicht aus – und wenn das Wasser nicht bald wieder kühler wird, stirbt sie ab. Rund drei Viertel aller Korallenriffe weltweit



Erste Studien zeigen: Die Masse an Fischen, die in den Gärten der Königin leben, ist etwa sechs bis acht Mal so hoch wie vor Belize, Mexiko oder den Bahamas

sind einer jüngeren Studie der UNESCO zufolge schon schwer betroffen von dieser Verödung. Sollte das Fieber der Erde weiterhin steigen, so die Experten, könnten bereits bis Mitte dieses Jahrhunderts fast alle Riffgebiete der Erde zugrunde gehen.

Auch die Korallenriffe vor Kuba haben zunehmend unter Stürmen und Hitzewellen zu leiden – die Karibik bleicht aus.

Was bringt es dann überhaupt, sie vor Fischern aus Küstendörfern zu schützen? Entscheiden am Ende nicht doch allein die globalen Treibhausgase der Menschheit über die Zukunft der Riffe?

Schau selbst!,

sagt mir Pina-Amargós am nächsten Morgen, als wir von der „Tortuga“ zu einer anderen Korallenbank an der Riffkante aufbrechen. Nach der jüngsten extremen Hitzewelle in der zentralen Karibik, vor etwa drei Monaten, sei sie weitflächig ausgebleicht, erzählt der Forscher.

Doch als wir zu ihr hinabtauchen, kann ich kaum Spuren davon erkennen. Im Riff pulsiert das Leben. Nur ein paar einzelne weiße Wunden klaffen noch in der bunten Menagerie der Korallenstöcke.

len, wenn unser Immunsystem stark ist, scheinen Korallen in einem intakten Naturraum die Fieberattacken des Klimas besser zu überstehen. Sie sind robuster und haben Verbündete: Es gibt genug

Die Korallen hier sind robuster – und sie haben Verbündete

Und selbst in diesen weist Pina-Amargós mich freudig auf kleinere, dunkle Flecken hin: Auch hier sind bereits neue Untermieter in den Korallengeweben eingezogen.

„Die Bleiche ist eine Stressreaktion“, erklärt Pina-Amargós mir am Abend, zurück auf dem Hausboot. Nicht nur Temperaturschwankungen, sondern auch andere Belastungen der Korallen, wie ein Virenbefall zum Beispiel, könnten sie auslösen. Doch so wie wir Menschen uns von einer Krankheit schneller erho-

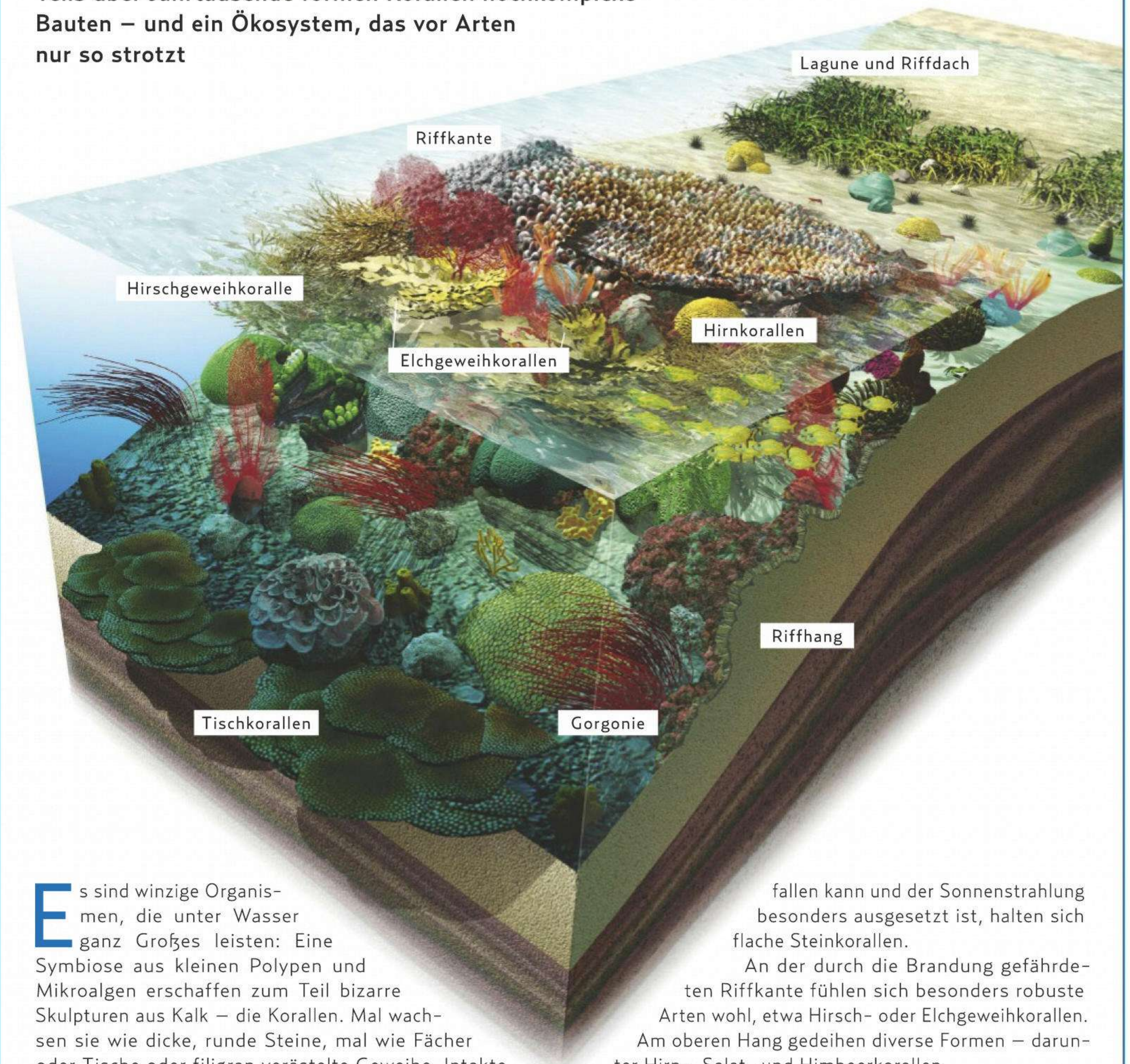
Fische und Seeigel, die verhindern, dass Algent Teppiche die hitzegeschwächten Korallenpolypen überwuchern.

Nach den bisherigen Daten von Pina-Amargós hat ein Korallenstock in den Jardines de la Reina eine fünf Mal höhere Chance, eine Bleiche zu überleben, als in vergleichbaren, ungeschützten karibischen Riffgebieten. Auch Studien aus anderen Meeresregionen legen nahe: Korallen erholen sich weit schneller von Hitzewellen, wenn sie in sauberem

Lebensraum

Anatomie eines Riffs

Teils über Jahrtausende formen Korallen hochkomplexe Bauten – und ein Ökosystem, das vor Arten nur so strotzt



Es sind winzige Organismen, die unter Wasser ganz Großes leisten: Eine Symbiose aus kleinen Polypen und Mikroalgen erschaffen zum Teil bizarre Skulpturen aus Kalk – die Korallen. Mal wachsen sie wie dicke, runde Steine, mal wie Fächer oder Tische oder filigran verästelte Geweihe. Intakte Riffe bestehen aus zahlreichen dieser biologischen Bauwerke. Und sie bieten einer kaum zu überschauenden Vielzahl von Lebewesen eine Heimstatt.

Dabei haben Korallen Vorlieben für bestimmte Zonen im Riff: Auf dem Riffdach, das hin und wieder trocken-

fallen kann und der Sonnenstrahlung besonders ausgesetzt ist, halten sich flache Steinkorallen.

An der durch die Brandung gefährdeten Riffkante fühlen sich besonders robuste Arten wohl, etwa Hirsch- oder Elchgeweihkorallen. Am oberen Hang gedeihen diverse Formen – darunter Hirn-, Salat- und Himbeerkorallen.

In den tiefer gelegenen Zonen machen sich oftmals Tischkorallen breit, die das spärlicher werdende Licht gut ausnutzen.

Die Plätze darunter besetzen häufig Schwämme, Seescheiden und Seefächer.

Wasser, frei von Dünger- und Chemikalienrückständen, wachsen, umgeben von algenfressenden Fischen und Riffen, die sich auch in tiefere, kühlere Wasserschichten erstrecken.

„Es lohnt sich also, zum Schutz der Korallen an allen Fronten zu kämpfen“, sagt Pina-Amargós. Er hebt sein Glas mit dem obligaten Mojito: „¡Hasta la victoria, siempre!“ – der Slogan der ewigen kubanischen Revolution, „Immer bis zum Sieg!“.

Er lacht. Doch den Fischern am Festland muss Pina-Amargós diese Zusammenhänge seit Jahren geduldig erklären: „Fast drei Viertel der Fischbestände von Kuba sind überfischt“, sagt er. Auch in den Jardines de la Reina zählt illegaler Fischfang zu den größten Gefahren. „Die Menschen leben vom Meer, doch die Ausbeute schrumpft. Da ist die Versuchung natürlich groß, die Schuld für die leeren Netze allein auf den Klimawandel zu schieben statt bei sich selbst anzufangen.“

Wenn wir die

globale Erwärmung nicht schleunigst eindämmen, werden wir viele Korallenriffe der Erde verlieren, das ist sicher. Aber mit Schutzgebieten wie den Jardines de la Reina können wir ihnen offenbar helfen, Kräfte und Zeit zu gewinnen. So werden einige vielleicht durchhalten, sich rechtzeitig anpassen – und sich neu ausbreiten können.

Schließlich liegt es in unserem ureigenen Interesse, nichts unversucht zu lassen, damit das gelingt: Tropische Riffe schützen die Küsten, sind Nahrungsquelle und Reservoir neuer Medikamente und anderer Innovationen. Experten schätzen den sozialen, kulturellen und wirtschaftlichen Wert von Korallenriffen weltweit auf insgesamt etwa eine Billion Euro.

Kuba profitiert seit Jahren vom Schutz der Jardines de la Reina: Die wenigen Tauchtouristen, die den streng regulierten und teuren Weg in den abgelegenen Archipel auf sich nehmen, bringen

Ein Atoll entsteht

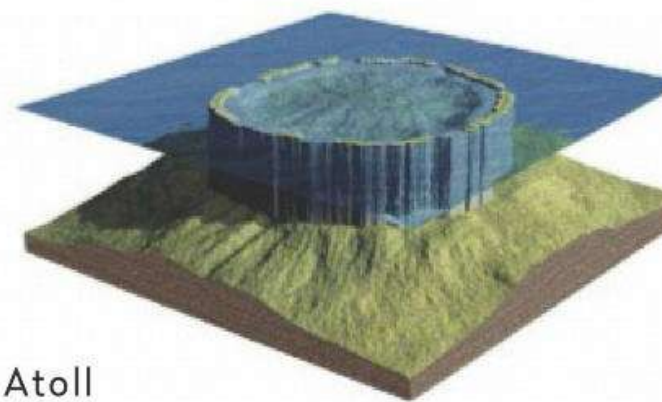
Der Ursprung mancher Riffe sind verschwundene Inseln



Saumriff



Barriereriff



Atoll

Die Grafiken illustrieren einen Prozess, der in der Erdgeschichte wohl tausendfach stattgefunden hat. Um ein Eiland – hier eine Vulkaninsel – wachsen Korallen, die zunächst den strandnahen Bereich besiedeln und ein Saumriff bilden (oben).

Im Laufe der Zeit sinkt die Insel ab, die Korallen jedoch wachsen weiter: Ein sogenanntes Barriereriff entsteht (Mitte).

Schließlich versinkt die Insel in den Fluten, die Korallen gedeihen weiter – und bilden nun ein Atoll (unten).

Devisen mit. Vor allem aber breiten sich Fische, die in den Gärten der Königin ruhige Laichplätze finden, von dort wieder über die Grenzen des Schutzgebiets aus – wie Pinta-Amargós mit Peilsender-Experimenten beweisen konnte. Diese „Spill-Over“-Effekte sichern die Zukunft der Fischer im Süden Kubas. Die Umweltökonomin Tamara Figueredo-Martín hat mit Pinta-Amargós zusammen berechnet: Insgesamt spült das Ökosystem der Koralleninseln dadurch pro Jahr etwa zwölf Millionen Euro in die kubanische Wirtschaft zurück.

Der Archipel hilft den Menschen auch an den Küsten – so lange sie seinen Riffen Ruhe gönnen.

Mein letzter Tauchgang mit Pina-Amargós und Figueredo-Martín ist ein Ausflug zu einem Ort, der so kostbar und so empfindlich ist, dass die Forscher ihm keinen Namen gegeben haben. Sie wollen seine Lage am Riff geheim halten, und wir nähern uns ihm nur mit Maske, Schnorchel und Flossen, ohne Tauchflaschen. Er liegt in zwei Metern Tiefe, auf dem gigantischen Riffdach des Archipels.

Wie ein Wald aus versteinerten, goldenen Bäumen strecken sich hier Kolonien von *Acropora palmata* der Oberfläche entgegen: ausladende Skulpturen aus Elchgeweihkorallen – Zeugen aus jener Zeit der Karibik, in der Menschen die Meere noch nicht verändert hatten.

Die Korallenart zählte einst zu den wichtigsten Riffbildern in diesem Meeresgebiet. Inzwischen jedoch ist sie beinahe ausgestorben. Allzu empfindlich reagieren ihre Äste auf Stürme und saures Wasser, Verschmutzung und Hitze.

In solcher Größe habe ich sie noch auf keiner Expedition je gesehen. Das Erstaunlichste aber ist: Ihre steinernen, eigentlich vollkommen steifen Arme scheinen zu tanzen, im Takt der Wellen zu schwanken, die Sonnenstrahlen zu jagen, die sich den Weg durch das blaue Wasser bahnen. Bis mir bewusst wird: Nicht die Korallen sind in Bewegung. Rund um die Schaufeln stehen vielmehr so dichte Wolken aus jungen Schnappern, Doktorfischen und Grundeln, dass jedes Zucken des Schwarms wie ein Zucken des ganzen Riffs wirkt.

Ein wilder Kindergarten, ein Bild der Hoffnung. Die Gärten der Königin sind für die Zukunft bereit.

Mein letzter Tauchgang führt an einen geheimen, namenlosen Ort

Meerestiere wappnen sich mit einem erstaunlichen Arsenal an Naturstoffen gegen Feinde. Diese Substanzen könnten auch Menschen im Kampf gegen Krankheiten helfen. Forscher tauchen deshalb zu Schwämmen, Schnecken und Korallen – und analysieren selbst Fischschleim

Text: **Jenny Niederstadt**

Illustrationen: **Annika Siems**



Viele Forscher sehen die Ozeane als bislang ungenutzte Wirkstoffkammer: Zahlreiche Meerestiere könnten Substanzen bergen, die eine wichtige medizinische Anwendung finden

DIE UNTERWASSER- APOTHEKE

Die Hoffnung ist klein:

Nur wenige Zentimeter reckt sich *Ecteinascidia turbinata* vom Meeresgrund empor. Taucher entdecken die in Kolonien lebende Seescheiden-Art mit etwas Glück vor der Küste Kubas oder vor der Ostküste Floridas. Hell schimmern dort ihre transparenten, orangefarben gesäumten gallertigen „Mäntel“ zwischen Seegras und Mangrovenwurzeln hervor. Auf den Wurzeln, aber auch auf unterseeischen Felsen in warmen Flachwasserzonen setzt sich die Manteltier-Kolonie fest. Mit dem auffallenden Farbsaum warnen die Seescheiden ihre Fressfeinde – die dicht an dicht stehenden flaschenförmigen Einzeltiere schmecken scheußlich.

Kaum ein Lebewesen knabbert deshalb an dem Manteltier. Forscher aber sehen in ihm großes Potenzial: Künftig könnte es einen Wirkstoff liefern gegen bestimmte durch Pilzinfektionen hervorgerufene Erkrankungen („Mykosen“), die beim Menschen in einigen Fällen tödlich enden. Denn kein bekanntes Medikament wirkt bislang zuverlässig gegen *Candida auris* und *Aspergillus fumigatus*, zwei gefürchtete Krankenhauskeime.

Vor wenigen Monaten verkündeten Forscher der University of Wisconsin-Madison nun aber, dass sie aus dem Mikrobiom der Seescheide eine Substanz isolieren konnten, die im Laborversuch beide Pilze stoppte – und zudem von infizierten Mäusen gut vertragen wurde. Auch gegen 37 weitere Pilzarten war das Mittel unter Laborbedingungen meist

erfolgreich. Ein bedeutsamer Schritt, denn bislang stehen Medizinern nur drei wesentliche Substanzklassen von Antimykotika zur Verfügung.

Ecteinascidia turbinata aber scheint einen neuen, bislang unbekannten Abwehrmechanismus einzusetzen. Das Meerestier könnte deshalb hilfreich sein bei Infektionen mit Pilzen, die bereits resistent sind gegen derzeit eingesetzte Medikamente. Das Team aus den USA hat den neuen Wirkstoff bereits zum Patent angemeldet – und ihn nach der kleinen Seescheide „Turbinmicin“ getauft.

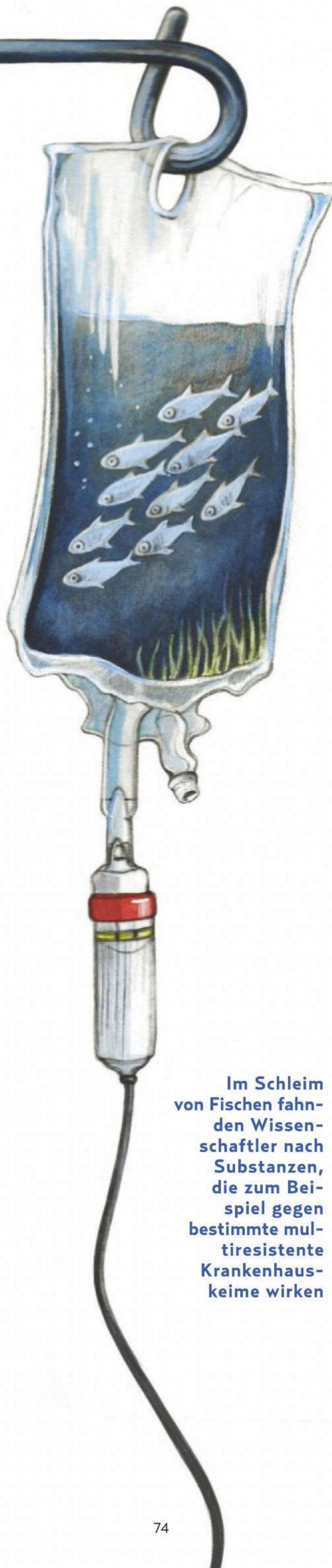
Medizin aus dem Meer: Immer mehr Forscher glauben, dass unter Wasser die Lösung für die Pharmakrise unserer Tage liegen könnte. Denn obwohl die Zahl der multiresistenten Keime steigt und für viele Krankheiten nach wie vor keinerlei wirksame Arzneimittel erhältlich sind, kommen immer weniger neue Präparate auf den Markt. Pilze und Bakterien aus der Natur gelten zwar als interessante Quelle für neue Substanzen. „Doch viele Ökosysteme an Land sind schon intensiv durchkämmt worden auf der Suche nach möglichen Wirkstoffen“, erklärt Tim Bugni, Pharmazeut an der University of Wisconsin-Madison und Entdecker des Turbinmicins. „Die bakterielle Vielfalt im Meer dagegen ist riesig – und sie ist noch kaum erforscht.“

So wie er sieht eine wachsende Zahl von Wissenschaftlern das Meer als bislang ungenutzte Wirkstoffkammer: Sie vermuten, dass sich dort zum Beispiel noch bis zu drei Millionen Bakterienarten finden lassen, außerdem mehr als 300 000 verschiedene Algen und 5000 bislang unbekannte Korallen. Sie alle könnten Träger sein von Substanzen, die dem Menschen im Kampf gegen gefährliche Krankheiten helfen.

Erste erfolgreiche Präparate nähren diese Hoffnung: Allein aus der Gruppe der Manteltiere sind bereits drei Mittel gegen Krebs auf dem Markt.

Aus dem Gift der Kegelschnecke *Conus magus*, die im tropischen Pazifik heimisch ist, konnten Forscher ein besonders wirksames Mittel gegen schwerste Schmerzen entwickeln.

Und eine Rotalge aus Neuseeland produziert eine Substanz, die – zumindest unter Laborbedingungen – nicht nur



Im Schleim von Fischen fahnden Wissenschaftler nach Substanzen, die zum Beispiel gegen bestimmte multiresistente Krankenhauskeime wirken

gegen HIV zu wirken scheint, sondern vielversprechenden ersten Tests zufolge auch das neuartige Coronavirus SARS-CoV-2 blockt. Insgesamt sind weltweit bereits 14 Präparate mit marinen Wirkstoffen erhältlich, 23 weitere befinden sich in klinischen Testphasen, darunter Mittel, die künftig gegen Krankheiten wie Alzheimer, ADHS oder Schizophrenie helfen könnten.

Die erstaunliche Wirksamkeit der Substanzen erklären Biologen mit dem speziellen Lebensraum der Meeresorganismen: Sie sind beständig umgeben von Wasser, das durchsetzt ist von Pilzen, Viren und Bakterien. Sesshaft lebende Tiere wie Korallen, Seescheiden oder Schwämme, aber auch langsame Meeresbewohner wie Schnecken, können zudem vor Konkurrenten und Fressfeinden nicht fliehen.

Gegen diese Vielzahl an Gefahren und Erregern setzen die Lebewesen unter Wasser ein ganzes Arsenal von Wirkstoffen ein: Sie stoßen zum Beispiel schnell wirksame Toxine aus, um Fressfeinde zu verscheuchen, oder lassen sich von Bakterien und Pilzen besiedeln, etwa um kräftiger wachsende Nachbarn davon abzuhalten, sie zu überwuchern. Auf ihre Außenhaut legt sich dafür ein feiner Film voller bioaktiver Substanzen: Er bildet einen Schutzwall gegen das Wasser, das beständig neue Keime heranträgt.

Auch Menschen könnte dieser Schleim künftig schützen: Wissenschaftlerinnen der University of Florida untersuchten das Sekret von 300 verschiedenen Fischen – und entdeckten darin 200 Bakterien, manche von ihnen bislang unbekannt. „Je nachdem wo sie leben, entwickeln die Arten ganz unterschiedlichen Schleim: Küstenfische zum Beispiel tragen eine dünnere Schicht als Tiefseefische und müssen sich auch gegen ganz andere Erreger wappnen“, erklärt Sandra Loesgen, Forscherin am Whitney Laboratorium der University of Florida, das sich ganz auf die Analyse von Meeresorganismen spezialisiert hat.

Die Chemikerin hofft, im Schleim von Fischen Mikroben zu entdecken, aus denen sich Medikamente entwickeln lassen. Erste Ergebnisse ihrer Untersuchungen stimmen zuversichtlich: So trägt zum Beispiel der Brandungsbarsch *Zalembius rosaceus* ein Bakterium auf seiner Haut,

Die erstaunliche
Wirksamkeit mariner
Stoffe hat wohl damit
zu tun, dass Meeres-
tiere ständig von Wasser
umspült werden, das
durchsetzt ist mit
Keimen



Medizin aus dem Meer: Immer mehr
Forscher glauben, dass unter Wasser
die Lösung für die Pharmakrise
unserer Tage liegen könnte

das sowohl gegen bestimmte multiresistente Krankenhauskeime als auch gegen Darmkrebs zu helfen scheint. Noch ist laut Loesgen aber unklar, ob dieses Bakterium nur zufällig auf dem untersuchten Fisch siedelte oder fester Bestandteil seines Abwehrsystems ist. „Der Bakterienhaushalt von marinen Lebewesen ist noch kaum analysiert, wir stecken mitten in der Grundlagenforschung.“

Die Wissenschaftlerin untersucht speziell Jungtiere, denn bei ihnen ist das Immunsystem noch nicht voll ausgereift. Die Haut der kleinen Fische trägt deshalb eine dickere Schleimschicht mit besonders vielen Abwehrstoffen. Auf dem Wattestäbchen einer ihrer Proben fanden sich sogar 23 verschiedene Bakterien. „Das ist eine sehr hohe Ausbeute, die wir aber brauchen, wenn man bedenkt, dass sich im Schnitt nur ein bis zwei Prozent aller Bakterien unter Laborbedingungen kultivieren lassen“, so Loesgen.

Tatsächlich gilt die Entwicklung von Medikamenten aus dem Meer als besonders schwierig. Denn viele interessante Organismen lassen sich kaum über län-

gere Zeit in Wasserbecken an Land halten oder gar in ausreichendem Maße nachziehen. Manche Schwämme etwa produzieren im Labor gar keine Toxine mehr: Weil ihre natürlichen Feinde fehlen, stellen sie die Abwehr ein. Oder Organismen setzen so geringe Mengen an Substanzen frei, dass Tonnen dieser marinen Lebewesen geerntet werden müssten, um daraus ein Präparat herstellen zu können – was ökologisch wie ökonomisch nicht hinnehmbar wäre.

Viele Forscher versuchen deshalb, die Wirkstoffe über eine Synthese im Labor oder auch mittels biotechnischer Produktion – mit modernen gentechnologischen Methoden – nachzubauen. Gleichzeitig bemüht sich die UNO um eine Vereinbarung zum Schutz der Meeresorganismen vor Bio-Piraterie: Sie sollen besser vor dem unkontrollierten Zugriff von Forschern und Pharmafirmen geschützt werden. Denn immer mehr Labore senden Tauchroboter aus, die Gesteinsbrocken von untermeerischen Felsen schlagen oder Sedimentproben

aus dem Tiefseeboden greifen. Die gesammelten Proben werden anschließend auf dort lebende Organismen untersucht: Forscher schaben Bakterienfilme von Steinen, suchen unbekannte Algen auf Korallen, schneiden winzige Scheiben aus Schwämmen.

Auch an deutschen Küsten sammeln Forscher Muscheln, Algen, Quallen und Würmer: In einer Blasentang-Art der Ostsee etwa entdeckten Mitarbeiter des GEOMAR Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung Kiel vor Kurzem eine Pilzgattung, die gegen Hautkrebs zu helfen scheint – weitere Untersuchungen stehen aus.

Nur eine von 10 000 geprüften Substanzen aus marinen Organismen gelange überhaupt zur Marktreife, schätzt die Meeresbiologin Frauke Bagusche. Und auch Forscherin Loesgen räumt ein, dass noch völlig offen sei, ob sich aus Fischschleim jemals wirklich ein medizinisches Präparat entwickeln lasse.

Aber die Chemikerin ist optimistisch: „Ich bin sicher: Irgendwo da draußen schwimmt der nächste großartige Wirkstoff!“

Ein **neuer** Blick

Sie dringen mit Hightech-Geräten in verborgene Welten vor, schließen Freundschaft mit Kraken, folgen der rätselhaften Spur der Wale oder statten Rennyachten mit Messgeräten und Quallen mit Funksendern aus: Wie nie zuvor versuchen Wissenschaftler rund um den Globus, den Kosmos unter der Meeresoberfläche zu ergründen – was sie entdecken, verändert unser Bild vom Ozean für immer

Protokolle: Katharina von Ruschkowski

in die Tiefe



Die Ozeanografin Heidi Sosik erforscht jene Zone des Ozeans, in der das Sonnenlicht zusehends schwindet und die Dunkelheit beginnt (hier im Atlantik). Dort, in bis zu 1000 Meter Tiefe, trifft sie auf eine bislang ungekannte Fülle mariner Lebewesen (Seite 88)

Dr. Toste Tanhua, Jg. 1965, Meereschemiker, GEOMAR Kiel



Der Weg des Plastiks

Profisegler halfen dabei, die Forschung zu Mikroplastik in den Meeren voranzubringen. Toste Tanhua leitete das Projekt

» Wir nennen ihn „Point Nemo“, diesen entlegenen Ort im Südpazifik, irgendwo zwischen Chile und Neuseeland. Nirgends auf der Welt ist das Land ferner. Das nächste Zeichen menschlicher Zivilisation ist die Internationale Raumstation, die gut 400 Kilometer über diesem stürmischen Ozean kreist. Wir wissen kaum etwas über dieses Gewässer.

Ich war daher extrem glücklich, als sich vor vier Jahren die Möglichkeit bot, zwei Rennyachten mit Messgeräten ausstatten zu dürfen. Während einer Segelregatta rund um die Welt sammelten sie Wasserproben in Regionen wie Point Nemo, die kaum je ein Forschungsschiff bereist hat: viel zu weit weg. Fahrten dorthin sind darum extrem teuer und aufwendig. Uns interessierte vor allem: Schwimmt auch dort schon Mikroplastik, dieser zu winzigen Teilchen zerriebene Kunststoff?

Wir hatten die Ideen gemeinsam mit dem Rennveranstalter ausgeheckt. Die Skipper waren anfangs mäßig begeistert. Sie wollen ja vor allem gewinnen, keine Proben ziehen oder Filter wechseln. Spannend wurde es daher, als es technische Probleme mit einem der Messgeräte gab. Ich rechnete schon damit, dass die betroffene Skipperin das Datensammeln aufgeben musste. Aber sie bestand darauf, die Messungen fortzusetzen. Sie schrieb: Setz dich in den nächsten Flieger nach Brasilien und repariere bei einem Zwischenstopp das Gerät. Da dachte ich: Wir haben sie infiziert! Sie sind Botschafter unseres Projekts geworden.

Die 96 Proben, die die Segler mitbrachten, lieferten uns schockierende Befunde: In jeder fand sich Mikroplastik, selbst im Wasser vom Point Nemo. Die Plastikkonzentration ist dort am höchsten, wo Meeresströmungen fließen. Sie transportieren die Partikel unfassbar weit. Die Messkampagne zeigte uns, wie wenig wir zurzeit noch darüber wissen, wo welcher Müll anlandet und welche Schäden er dort verursacht. Gerade die Mikropartikel sind tückisch. Tiere aller Arten verschlucken sie mit der Nahrung; Die teils toxischen Teilchen verstopfen und schädigen allmählich ihren Verdauungstrakt.

Ich bin an der schwedischen Küste groß geworden, bin gesegelt, geschwommen, getaucht. Wie raffiniert das Leben im Wasser ist, wie groß die Ozeane sind und wie wichtig für unser Überleben, das hat mich fasziniert. Das Meer hat mir immer Freude bereitet, in den vergangenen Jahren aber zunehmend Sorgen. Denn der Plastikmüll ist ja nur eines seiner Probleme. Auch die Überfischung, die Klimaerwärmung setzen den marinen Ökosystemen zu. In welchem Ausmaß das stattfindet, müssen wir rasch ermitteln.

Ich freue mich darum, dass wir unser Projekt haben ausbauen und weiter Segler als Forscher einsetzen können. Sogar Boris Herrmann, der Ende 2020 als erster Deutscher bei der Vendée Globe, der härtesten Regatta der Welt, startete, hatte Messgeräte an Bord, die in Echtzeit Daten lieferten. Denn auch er will mit-helfen, die Ozeane besser zu verstehen – und zu schützen.

Zurück zur Vielfalt

Deutsche Forscher wollen die ausgestorbene Europäische Auster wieder in der Nordsee ansiedeln. Bernadette Pogoda erklärt wie – und warum



Meine Liebe für die Ozeane verdanke ich meinen Eltern und einer langen Segelreise als Teenager: Ein Jahr lang lebten wir auf, im und mit dem Wasser – im Mittelmeer, in der Karibik und an den Küsten Südamerikas. Damals habe ich meine ersten Wale und Delfine gesehen, beim Schnorcheln die Betriebsamkeit im Korallenriff und schillernde Fischschulen erlebt. Und in mir entstand die Idee, Meeresbiologie zu studieren, um das Leben und die Systeme unter Wasser zu kennen, zu verstehen und zu schützen.

Bis heute bin ich immer wieder überrascht, wie bedeutsam einzelne, oft unscheinbare Arten für ein Ökosystem sind. Ein Beispiel ist die Europäische Auster.

Wir wissen aus historischen Aufzeichnungen, dass sich Mitte des 19. Jahrhunderts Tausende Quadratkilometer große Austerngründe in der deutschen Nordsee erstreckten. Austern bilden durch ihr Schalenwachstum dreidimensionale Riffe, die zugleich Krebsen, Fischen, aber auch vielen anderen Tieren als Versteck, Laichplatz oder Lebensgrundlage dienen. Die Europäische Auster ist – und das war schon damals bekannt – eine Schlüsselart für die Nordsee.

Der berühmte Ökologe Karl August Möbius entwickelte in den 1870er Jahren an der Austernbank das Konzept der Biozönose, beschrieb, dass ganze Lebensgemeinschaften zusammenbrechen können, wenn eine Art ausfällt.

Und genau das ist im 19. und frühen 20. Jahrhundert passiert: Fischer holten massenweise Austern aus der Nordsee, bis die Art in der deutschen Nordsee vollständig verschwand. Ohne die Muschelbänke verloren etliche weitere Arten ihren Lebensraum.

Seit einigen Jahren versuchen wir, die Auster wieder in der Nordsee anzusiedeln. Nachdem wir bereits zeigen konnten, dass die Austern dort, wo sie einst verbreitet waren, auch heute noch gesund wachsen können, ist nun eine der größten Herausforderungen: Meeresgebiete auszuwählen, in denen die Wiederansiedlung großflächig umsetzbar und ökologisch wirksam ist. Denn unsere Meere, gerade auch die Nordsee, sind sehr stark genutzt. Im Meeresnaturschutzgebiet Borkum Riffgrund, das zum europäischen Natura-2000-Netzwerk gehört, entsteht nun das erste wiederangesiedelte Austernriff. Wir bereiteten den Meeresgrund mit Steinen und leeren Austernschalen als Riffuntergrund vor.

Im Sommer 2020 brachten wir dann die ersten 100 000 Jungaustern aus einer Zuchtanlage in ihre alte neue Heimat. Nach wenigen Wochen beobachteten wir bereits kleine Fischschwärme und Krebse am Riff! Wir werden die Entwicklung des Riffs genau untersuchen – und gemeinsam mit europäischen Kollegen in der Nordsee weitere Austernriffe als Hotspots der biologischen Vielfalt wiederherstellen.

Es ist ein gutes Gefühl, Naturschutzmaßnahmen hier und jetzt umzusetzen, um die Artenvielfalt der Nordsee zu schützen und zu bewahren.



Dr. Bernadette Pogoda, Jg. 1976, Meeresbiologin, AWI Bremerhaven



Prof. Robert Pitman, Jr. 1950, Meeresökologe, Oregon State University, USA

Auf der Spur der Giganten

Aus den Polarmeeren in die Tropen und zurück: Warum legen Wale so lange Strecken zurück? Der US-Forscher Robert Pitman hat eine überraschende Antwort

» Als ich das erste Mal Blauwale sah, glaubte ich, Dinosauriern zu begegnen: Sie sind so gewaltig! Wie Wesen aus einer anderen Welt, einer anderen Zeit. Gleichzeitig wirkten sie so sanft, niemals werde ich diese warmen Blicke vergessen! Bei Killerwalen war es etwas anders: Beobachten zu können, wie smart sie sich bei der Jagd verhalten, sich dabei in Gruppen organisieren – das ist von atemraubender Schönheit.

Als Student am College wollte ich Seevögel erforschen. Doch nachdem ich mich einmal mit Walen beschäftigt hatte, kam ich kaum mehr davon los.

Eins der größten Rätsel in der Walforschung war und ist dieses: Warum schwimmen viele der Meeressäuger jedes Jahr aus den Polarmeeren in die Tropen und wieder zurück? Orcas legen dabei 10 000 Kilometer in kaum sieben Wochen zurück, über 200 Kilometer täglich.

Viele nehmen an, sie wanderten, um ihren Nachwuchs in wärmeren Gewässern zur Welt zu bringen oder um sich dort richtig satt zu fressen. Mir leuchteten diese Erklärungen nie ganz ein. Denn zum einen bieten die arktische und die antarktische See ganzjährig ein reiches Nahrungsangebot. Zum anderen wissen wir aus Beobachtungen, dass die Orcas abseits dieser Wanderungen selten länger in eine Richtung schwimmen und dabei kaum mehr als fünf Kilometer in der Stunde zurücklegen. Warum hasten sie dann Richtung Tropen?

Ich behaupte: um Hautpflege zu betreiben.

Schon im 19. Jahrhundert berichteten Walfänger darüber, dass die Blauwale in den Polarmeeren von einem seltsam gelblichen Belag überzogen seien – und dass sie wie geputzt wirkten, wenn sie aus den Tropen zurückkehrten. Auch Inuit erzählten von Belugas, die sich einmal im Jahr in wärmere Flussmündungen zurückzogen, um ihre Haut zu erneuern. Vor gut zehn Jahren markierten wir darum erstmals Orcas und verfolgten ihre Wanderungen erneut. Die Beobachtungen bestärken die alten Erzählungen und unsere These.

Wale erneuern – genau wie wir – regelmäßig ihre Haut, um ihre Hülle vital und widerstandsfähig zu halten. Bloß: In den eisigen Gewässern fahren die Tiere die Durchblutung ihrer Haut extrem herunter, um Energie zu sparen. Dadurch regeneriert sie sich nicht mehr. Bakterien, Seepocken und andere Parasiten haben die Chance, sich niederzulassen; sie sind der gelbe Film, der sich vor allem am Bauch der Meeressäuger zeigt.

Erst in den warmen Gewässern fahren die Wale die Durchblutung ihrer Haut wieder herauf. Sie säubert und repariert sich – und wächst wieder. Junge Wale könnten nicht weiter zunehmen, reisten sie nicht regelmäßig in die Tropen und legten sich dort eine größere Hülle zu.

Bislang haben wir ausschließlich Orcas beobachtet – und zwar aus der Ferne. Es brauchte mehr Forschung, um auch andere Walarten und deren Haut genauer in den Blick zu nehmen. Wir gehen dennoch davon aus, dass viele Spezies zum Zweck der Hautgeneration wandern. Denn: Warum sollte das, was gut für Orcas ist, nicht auch anderen Walarten guttun?

Marine Teamplayer

In den Meeren überleben viele Arten allein deshalb, weil sie mit anderen kooperieren. Ute Hentschel Humeida erforscht solche erstaunlichen Symbiosen

» Wenn mich die vergangenen 20, 30 Jahre Forschung etwas gelehrt haben, dann das: Leben ist Teamarbeit. Kaum ein Organismus existiert für sich allein, sondern fast immer in und durch die Partnerschaft mit anderen – auch wir Menschen. Ohne die Myriaden von Mikroben in unserem Darm könnten wir keine Nahrung verdauen, ist das Gefüge der Mikrobenarten gestört, werden wir krank.

Je extremer der Lebensraum, je größer die Konkurrenz, desto wichtiger werden diese Lebensgemeinschaften – in der Biologie Symbiosen genannt. In den Meeren gibt es darum etliche: Röhrenwürmer etwa, die nahe den Tiefsee-Geysiren leben, besitzen weder Magen noch Darm – doch Kolonien von Mikroben, die für sie aus den ausgespuckten Chemikalien Nährstoffe herstellen. Tintenfische beherbergen fluoreszierende Bakterien, um nachts Fraßfeinde abzuschrecken. Die vielleicht bekannteste marine Kooperation ist die Koralle: ein Mischwesen aus Nesseltier und Alge. Nur gemeinsam können beide überleben und diese gigantischen Riffe bilden.

Mich beschäftigen seit Jahren ähnliche Formationen: Schwämme. Als ich begann, Meeresbiologie zu studieren, wollte ich mich mit Walen, Seehunden und all den anderen prominenten Säugern beschäftigen. Doch schon bald zog es mich zum Unbekannten, dahin, wo es noch so viel zu entdecken gibt. Schwämme zählen in jedem Fall dazu.

Es gibt um die 10 000 Arten. Schwämme sind unfassbar farbenfroh und formenreich: Manche stehen wie dickbauchige Vasen auf dem Meeresgrund, andere scheinen wie von feinen Netzstrümpfen überzogen oder drängen sich dicht an dicht in Wäldern länglicher Kreaturen. Man findet sie in der finsternen, eiskalten Tiefsee ebenso wie in den sonnengefluteten Küstengewässern der Tropen.

Und genau wie Korallen sind Schwämme fantastische Teamplayer. Manche sind Habitat für mehr als 15 000 hoch spezialisierte Bakterienarten. Und die wiederum erledigen etliche Dienstleistungen für die starren Meeresorganismen. Denn Schwämme kleben ja fest am Meeresgrund. Sie können nicht vor Fraßfeinden davonlaufen, auch nicht verhindern, dass sie von Biofilmen überwuchert werden. Die Mikroben, die sozusagen als Untermieter im Schwamm leben, helfen bei der Verdauung von Nahrungspartikeln, recyceln und produzieren Giftstoffe, die ihrem Wirt – dem Schwamm – als Verteidigung dienen.

Gut möglich, dass auch wir Menschen künftig von diesen Kooperativen profitieren. Denn die Wirkstoffe, die die Mitbewohner der Schwämme produzieren, helfen schon jetzt dabei, neue Medikamente zu entwickeln.

Prof. Ute Hentschel Humeida, Jg. 1966, Meeresökologin, GEOMAR Kiel





Nicole Xu, Jg. 1992, Bioingenieurin, Stanford University, USA

Auf Mission mit Medusen

Nicole Xu verfolgt einen ebenso genialen wie gewagten Plan: Sie will Quallen fernsteuern, um damit in den Weltmeeren Daten zu sammeln

» Lange Zeit meines Lebens bin ich Quallen ausgewichen. Mit ihnen beim Schwimmen in Berührung zu kommen, kann schließlich sehr schmerzhaft sein. Erst viel später – während meines Ingenieursstudiums – habe ich diese Wesen schätzen gelernt. Vor allem ihre elegante Art, sich fortzubewegen, in Jahrmillionen perfektioniert. Kein anderes Wasserwesen schwimmt effizienter als Quallen. Zudem sind die glibbrigen Tiere in allen Weltmeeren zu Hause, oft in Tiefen, in die kaum je ein Mensch oder Messgerät abgetaucht ist. Und genau dies wollen wir uns künftig zunutze machen. Wir wollen die Tiere als Helfer einsetzen, um Daten aus allen Weltmeeren zu sammeln. Gelänge es uns, die Tiere mit Sensoren auszustatten und zu steuern, ein globales Ozean-Netzwerk könnte entstehen.

In den vergangenen Jahren sind wir auf diesem Weg einen großen Schritt vorangekommen. Es gelang uns, Ohrenquallen, die von einem flachen, fast durchsichtigen Schirm überwölbt sind, mit einer Art Turboantrieb auszustatten; so war es möglich, ihre Fortbewegungsgeschwindigkeit zu beeinflussen. Wir implantierten den Tieren winzige Regler, die ähnlich wie Herzschrittmacher funktionieren. Normalerweise gleiten die Quallen sehr langsam durchs Wasser, zwei Zentimeter pro Sekunde. Durch die minimalen Stromstöße, die der Regler aussendet, bewegten sie sich bis zu dreimal schneller als üblich.

Sicher, manch einem mögen diese Roboter-Quallen nicht geheuer sein. Andere fürchten Tierquälerei. Doch das Wohl der Wesen war uns von Anfang an wichtig. Quallen haben kein Hirn, auch keine Schmerzrezeptoren. Allerdings wissen wir, dass sie Schleim absondern, wenn sie sich beeinträchtigt fühlen. Bei keinem einzigen unserer Experimente zeigten die Tiere irgendwelche Anzeichen von Stress. Die winzigen Regler ließen sich außerdem nach den Tests wieder problemlos von den Quallenkörpern entfernen. Zudem fertigten wir eine eigene Studie zu den ethischen Fragen unserer Arbeit an.

Bislang gelingt es uns allein das Tempo der Quallen zu beeinflussen. Wir arbeiten nun an Möglichkeiten, sie auch in bestimmte Richtungen zu steuern, sowie an Minisensoren, die währenddessen Wassertemperatur, Salz- und Sauerstoffgehalte erfassen. Eine große, noch ungelöste Herausforderung ist auch: Wie und wo werden die gesammelten Daten übertragen? Dennoch: Ich bin mir sicher, in zehn Jahren werden Roboter-Quallen in die Weltmeere ausschwärmen und uns dabei unterstützen, sie zu entdecken und zu erforschen. Die Tiere werden die Art und Weise, auf See Daten zu sammeln, revolutionieren.

Intelligenz mit acht Armen

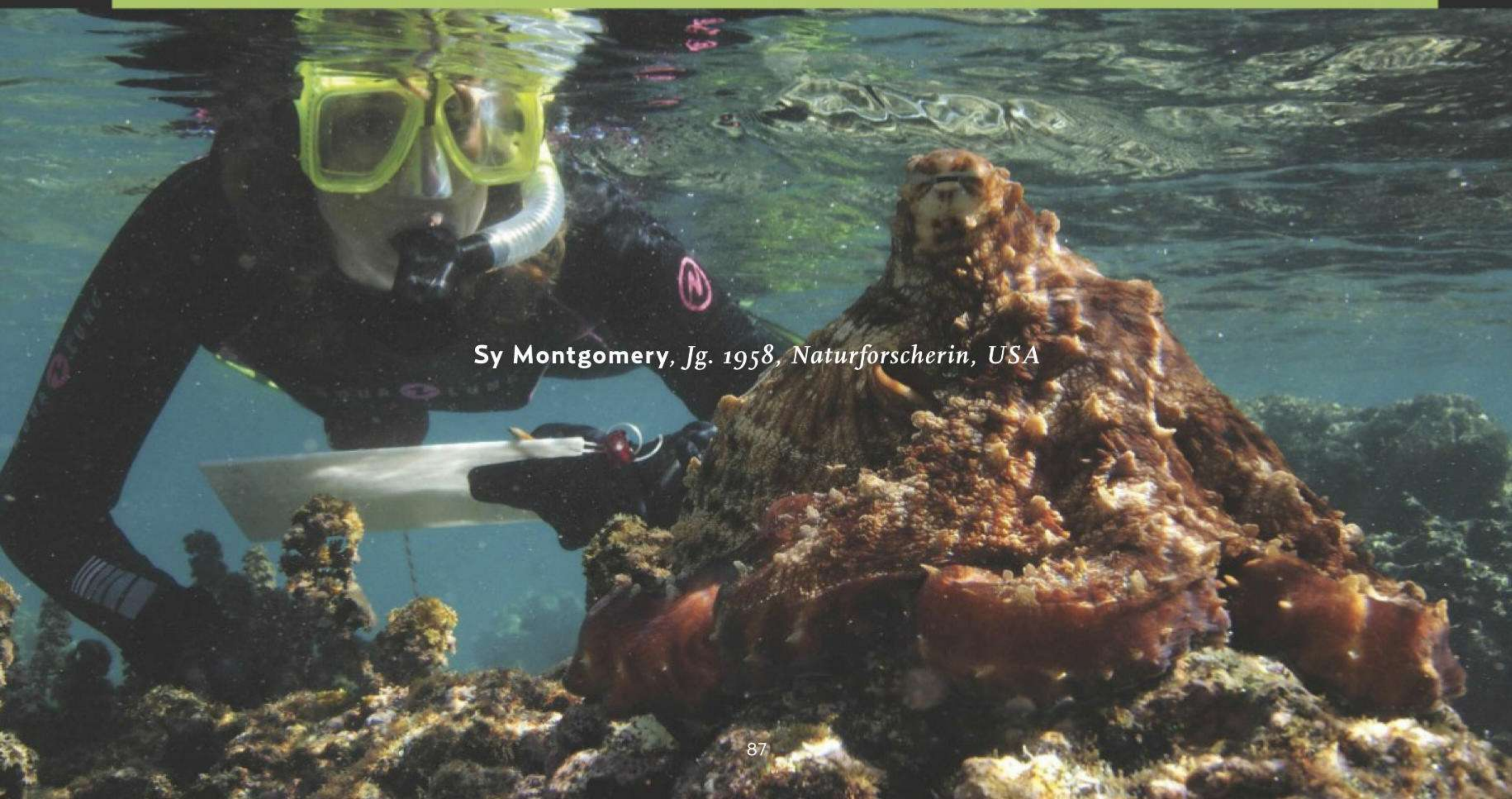
Wohl keine anderen Wesen erscheinen uns fremder als Kraken. Sy Montgomery näherte sich den faszinierenden Tieren – und stellte fest: Sie sind uns ähnlicher als gedacht

» Im Jahr 2011 bekam ich erstmals Gelegenheit, die vielleicht sonderbarsten Wesen der Meere kennenzulernen. Kaum, dass der Tierpfleger den Deckel zum großen Oktopusbecken im Bostoner Aquarium öffnete, glitt sie herbei: Athena, ein weiblicher Atlantischer Riesenkrake. Der anderthalb Meter lange und rund 20 Kilogramm schwere Körper war scharlachrot gefärbt – vor Erregung. Mit ihren acht langen, starken Armen hätte mich Athena locker ins Becken ziehen können. Ich bat dennoch um Erlaubnis, meinen Arm in das acht Grad kalte Wasser zu tauchen. Im Nu waren meine beiden Hände und Unterarme von ihren Tentakeln umschlungen und Hunderte kleiner Saugnäpfe tasteten mich ab; es fühlte sich an, wie geküsst zu werden.

Kurz darauf drehte sie ihren Kopf, und aus dem Wasser heraus schien ihr linkes Auge mich anzusehen. Instinktiv versuchte ich, sie zu erreichen und zu streicheln. Da passierte etwas Merkwürdiges: Ihre Haut, eben noch brennend rot, wurde weiß; es ist die Farbe eines entspannten Oktopus. Selbst ihr Pfleger war verblüfft: So schnell, sagte er, habe Athena noch zu niemandem Vertrauen gefasst. Ich wurde daraufhin Stammgast im Aquarium, intensivierte und systematisierte meine Beobachtungen, lernte zu tauchen, um den Kraken noch näher zu kommen.

Kraken sind Aliens, kaum ein Wesen auf dieser Welt ist uns fremder: Sie haben kein zentrales Gehirn, aber auch jeder ihrer Arme agiert autonom, ihr Blut ist blau, sie können mit ihrer Haut schmecken, deren Form und Farbe binnen Sekunden der ihrer Umgebung anpassen. Und dennoch haben auch diese Tiere Gedanken, Gefühle, gar Persönlichkeit. Für viele mag dies noch immer befremdlich klingen. Zugegeben: Ich wunderte mich anfangs ja auch über das, was ich sah, hielt vieles für Zufall, Interpretation.

Doch je länger ich mich mit den Kraken befasste, sie dabei beobachtete, wie sie sich mit Kieselsteinen schützende Höhlen bauten, wie geschickt sie mit Spielzeug hantierten, desto häufiger fragte ich mich: Wie kommen wir nur darauf, ihnen Bewusstsein und Gefühle abzusprechen? Nur, weil sie so anders sind? Unser Planet besteht zu großen Teilen aus Wasser. Trotzdem versuchen wir das Meer und seine Bewohner stets nach den Regeln zu begreifen, die an Land und unter Wirbeltieren gelten. Athena und all die anderen Kraken lehrten mich, offener über das Leben auf der Erde zu denken. Wahrscheinlich ist dies die wichtigste Erkenntnis, die mir die Arbeit mit diesen Kreaturen gebracht hat.



Sy Montgomery, Jg. 1958, Naturforscherin, USA

Heidi Sosik, Jg. 1965,
Ozeanografin,
Woods Hole Oceanographic
Institution, USA

Einblick in ein Schattenreich

Nur ein paar Hundert Meter unter der Wasseroberfläche findet sich ein unbekanntes Universum: die Dämmerzone. Die US-Biologin Heidi Sosik macht dort spektakuläre Entdeckungen

» Es gibt nichts Faszinierenderes, als in einem sicheren Tauchboot ins Meer hinabzugleiten, erfüllt vom Wunsch, in neue Welten vorzudringen – ohne unsere Welt zu verlassen. Auf den ersten 100, 200 Metern sickert noch Sonnenlicht durch das Wasser, färbt es in allen Blautönen. Darunter beginnt die Dämmerzone. Hier, in bis zu 1000 Meter Tiefe, ist das Licht gerade noch ein schwacher Schimmer, ehe die vollkommene Finsternis beginnt. Nie werde ich meine erste Reise in diese mysteriöse Welt vergessen, die bislang so wenige Menschen mit eigenen Augen betrachtet haben: Ich fühlte mich nicht wie in einem Tauchboot, es war, als wäre ich Teil der Dämmerzone. Gelegentlich durchbrachen Lichtblitze die Dunkelheit: Mikroben, Plankton, Fische erzeugen durch Biolumineszenz ihr eigenes Licht.

Lange dachte man, dass es unter dem Oberflächenwasser kaum mehr Leben geben kann – bei der Kälte, der Dunkelheit, den ungeheuren Druckverhältnissen, die dort herrschen. Ein Trugschluss, wie wir herausgefunden haben. Dennoch ist die Dämmerzone – genau wie die tiefe See darunter – noch immer eine Aqua incognita. Ich denke, das können, das müssen wir ändern.

Seit Kurzem versuchen wir mit neuesten Technologien, die Dämmerzone auszuleuchten. Kameras an Bord eines Tauchroboters filmen die Szenerie dort unten, Echolot durchdringt die Umgebung. Der bisherige Zensus hat uns beeindruckt: Möglicherweise gibt es hier viel mehr Fischbiomasse als in anderen Bereichen des Ozeans. Etliche der Spezies dort unten warten noch darauf, entdeckt zu werden.

Und noch etwas anderes ist faszinierend: Die Bewohner der Dämmerzone wandern. Tags, wenn Räuber unterwegs sind, verharren sie in den Tiefen, nachts steigen sie Hunderte Meter auf – vielleicht die größte Tierwanderung des Planeten (siehe Seite 100; Red.). Und die bringt nicht nur den Meereswesen, sondern auch uns Vorteile. Denn die Tiere fressen nahe der Oberfläche Algen, in denen Kohlendioxid gebunden ist. So werden große Mengen des Klimagases dem Ozean und der Atmosphäre entzogen.

Es ist daher an der Zeit, diese unbekannte Welt zu ergründen – und zwar rasch. Denn der ungeheure Reichtum, den wir dort unten finden, weckt Begehrlichkeiten. Für die Fischereiindustrie könnte die Dämmerzone eine Art Goldgrube sein; aus den Fängen ließe sich Fischmehl und damit wertvolles Protein gewinnen. Ganze Nahrungsnetze und wichtige Klimaregulative könnten dadurch unwiderruflich zerstört werden. Wir müssen dem zuvorkommen – indem wir die Dämmerzone kennen- und schätzen lernen.

Weniger haben und
glücklich sein.




Jetzt im
Handel oder
digital lesen

Heft oder Abo bestellen unter:
geo-wissen.de/lesen



Auch mit
DVD erhältlich.

Killer

The background of the page is a large, vertical photograph of an underwater scene. A shark is swimming towards the camera in the center-right. The water is a murky yellowish-brown. On the left side, there is a vertical strip of blue water, possibly representing the surface or a different layer of the ocean. The overall mood is mysterious and somewhat somber.

Unser Bild von Haien
als blutrünstige Jäger unter
Wasser gilt als überholt.
Ob Weißer Hai (l.) oder
Breitnasen-Siebenkiemer-
hai: Die größten Raub-
fische der Meere sind
mitunter verblüffend vor-
sichtig – und sozial

und Kamerad

Text: Katharina von Ruschkowski
Fotos: Michael Muller

Viele denken bei Haien unweigerlich an Mäuler voll säbelspitzer Zähne, an stumpfsinnige Räuber, die alles fressen, was ihnen vor die Schnauze schwimmt. Doch diese Vorstellung hat mit der eigentlichen Natur der formschönen Fische nicht viel zu tun. Haie haben atemberaubend feine Sinne, sie sind lernfähig, und sie schließen zuweilen Freundschaften untereinander



Da sind sie wieder!

Schon Anfang September erspähen die Forscher sie von ihren Beobachtungstürmen und windgeschaukelten Booten aus: Weiße Haie, Dutzende! Ihre riesigen, weiß-grauen Leiber sind kaum auszumachen gegen den Grund des Meeres – bis sie plötzlich, ohne jede Vorwarnung, aus der Tiefe emporstoßen und nach einem See-Elefanten schnappen.

Gewaltige Robbenkolonien bevölkern die kargen Felsrücken der Farallon-Inseln, rund 50 Kilometer vor San Francisco gelegen. Nun, im Herbst, machen ihre Jungen erste Streifzüge durchs Meer. Das lockt Jahr für Jahr die Haie hierher. Und Forscher wie den US-Meeresbiologen Taylor Chapple. Denn kaum irgend-

wo auf der Welt gibt es einen besseren Ort, sich den Raubfischen zu nähern.

Einigen Haien, die entlang der Inseln patrouillieren, haben Chapple und sein Team Satellitensender an die Flossen geheftet. Dadurch können die Wissenschaftler in den folgenden Wochen auch ihre Tauchgänge verfolgen. Und in Echtzeit miterleben, wie am Nachmittag des 2. November etwas Sonderbares geschieht. Plötzlich, binnen weniger Stunden nur, verlassen alle markierten Meeresräuber den überwachten Korridor. Mitten in ihrer Jagdsaison. „Es war, als hätte einer der Haie gerufen: Haut ab von hier“, erinnert sich Chapple.

Was ist passiert?

Der Meeresbiologe und seine Kollegen studieren die Bewegungsdaten ihrer

Haie, holen Informationen benachbarter Beobachtungsstationen ein – und können schon bald die Ereignisse rekonstruieren. Gegen Mittag des 2. November tauchen Orcas an der Westseite der Farallons auf. Einer, vielleicht auch mehrere Weiße Haie müssen sie wahrgenommen und die anderen sogleich – vermutlich mit Duftstoffen – gewarnt haben.

Denn: In den Jahren zuvor waren die Meeresgiganten nahe den Inseln mindestens schon einmal aufeinandergestoßen. Und den Schwertwalen war es dabei gelungen, Weiße Haie zu überwältigen – mit einem Trick. Sie stupsten sie so lange, bis die Haie in Rückenlage gerieten, den Bauch gen Wasseroberfläche gerichtet. Aus dieser Position konnten sich die Haie kaum mehr befreien. Und so hatten die

»ES WAR, ALS HÄTTE EINER DER HAIE GERUFEN: HAUT AB VON HIER!«, erinnert sich die Forscherin

Nur die beiden vordersten Zahnreihen verwenden Weiße Haie, die hinteren dienen als Reserve, um abgenutzte Zähne zu ersetzen. Nicht weniger furchterregend wirken Sandtigerhaie (u.), die bevorzugt in Spalten und Höhlen von Riffen jagen

Schwertwale die Möglichkeit, ihre Wider-sacher mit ihren säbelspitzen Zähnen aufzureißen und die Leber herauszutrennen, das fetthaltigste, das begehrteste Körperteil des Weißen Haies: bis zu 300 Kilogramm pure Energie.

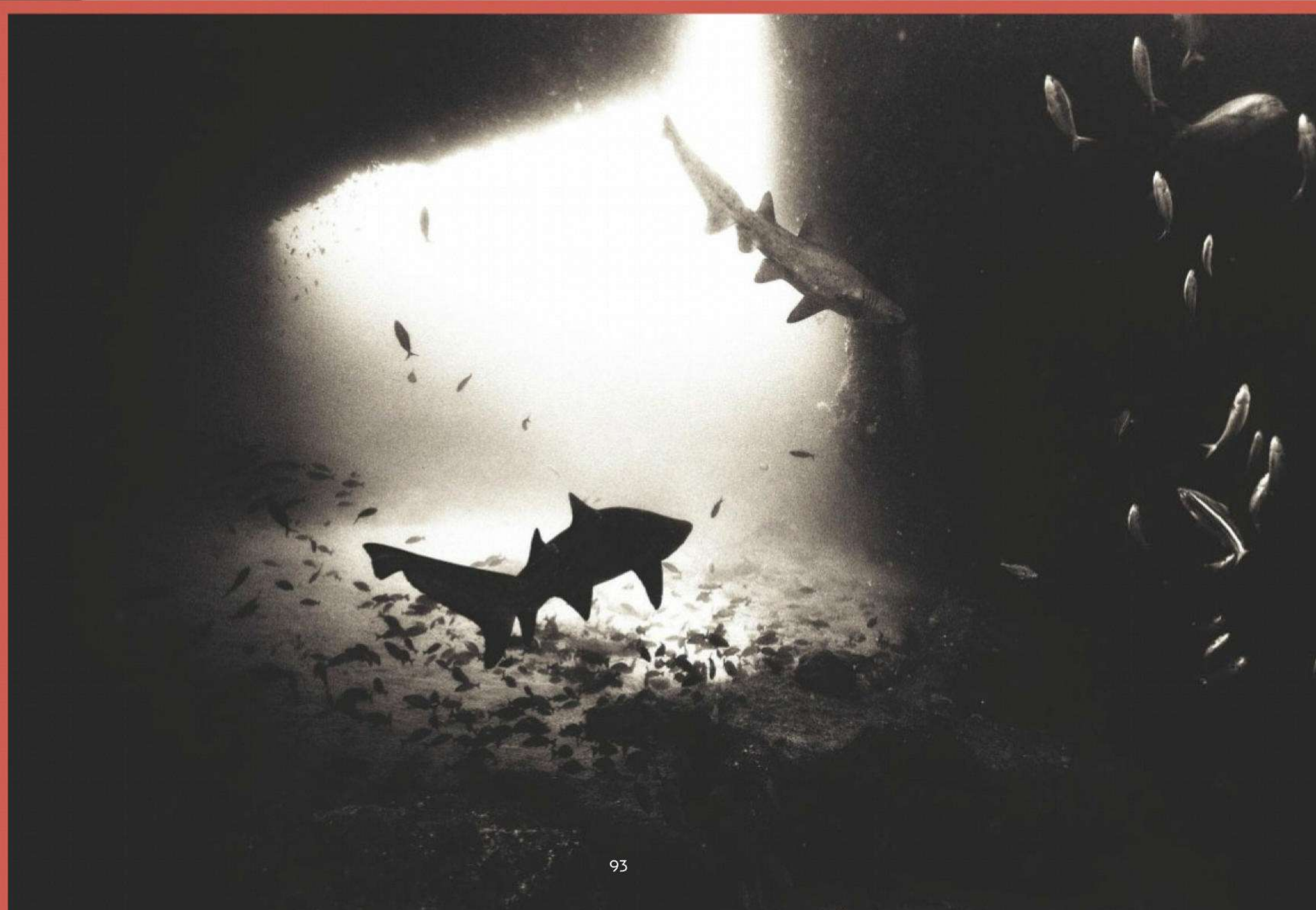
Die Haie von den Farallon-Inseln haben diese Informationen vermutlich über Jahre weitergegeben und Lehren daraus gezogen. In jener Saison, die Chapple live verfolgt, kehrt nur ein einziger der besenderten Haie in seine Jagdgründe zurück.

G

Gut ein Jahrzehnt liegt das nun schon zurück. Doch Chapple erzählt davon noch immer so gebannt, als wäre es gestern

geschehen. Denn – was er damals beobachtet hat, wirft grundlegende Fragen über die Haie auf, Fragen, die Chapple, heute Assistenzprofessor an der Oregon State University, noch immer beschäftigt: Wie und wo leben Weiße Haie? Wie kommunizieren, wie interagieren sie? Was macht ihr Wesen aus?

Je genauer er und seine Kollegen hinschauen, je besser es ihnen gelingt, wahrhaft ins Leben der Haie einzutauchen, desto klarer wird: Haie sind nicht die hirnlosen Einzelgänger, für die man sie gemeinhin hält. Immer präziser zeichnen die Forscher das Bild von Wesen, die mit faszinierenden Sinnesleistungen und einem oft erstaunlich komplexen Sozialleben aufwarten. Wesen, die für die Meere unersetzlich sind.



Verkanntes Erfolgsmodell

Oder: Warum der Mensch den Hai nicht (mehr) mag

Von alters her fürchteten Fischer und Seefahrer die Haie – aber sie verehrten sie auch. Denn wo Haie auftauchen, da ist meist auch reichlich Fisch. Selbst aus großer Entfernung kommen die Meeresräuber ihrer Beute auf die Spur.

Denn Haie sind herausragende Jäger, ein Erfolgsmodell der Evolution, das sich seit Ewigkeiten hält. Schon vor gut 400 Millionen Jahren schwammen „Prototypen“ von Haien in den Urmeeren. Und immer weiter perfektionierten sie sich, passten sich den verschiedensten Lebensräumen an: vom seichten Küstengewässer bis hinab in die dunkelsten Abgründe.

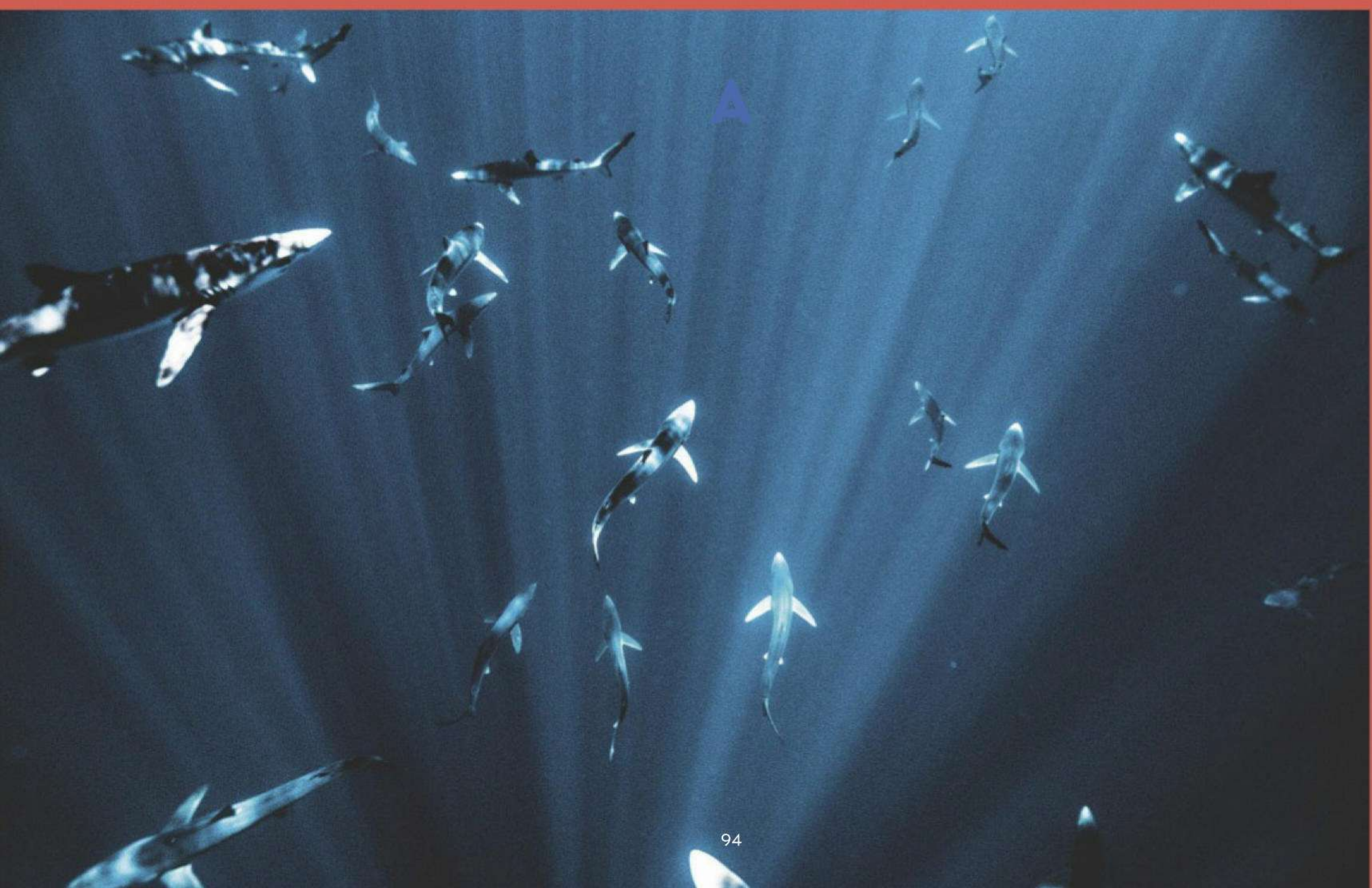
Knapp 500 Haiarten sind von Forschern heute beschrieben. Darunter so spannende Spezies aus der Gattung der Epaulettenhaie, die in den teils trockenfallenden Korallenriffen Australiens zu laufen lernten. Zwerg-Laternenhaie, kaum armlang, huschen wie Neonröhren durch das Karibische Meer: Wie viele Tiefsee-

bewohner besitzen sie Leuchtorgane. Grönlandhaie, in der konservierenden Kälte des Nordpolarmeeres zu Hause, werden erst mit etwa 150 Jahren geschlechtsreif und vermutlich mehr als 400 Jahre alt, älter als jedes andere Wirbeltier. Sogar eine weitere pflanzenfressende Art – neben dem Walhai – wurde entdeckt: Der Schaufelnasen-Hammerhai ernährt sich zu einem Gutteil von Seegras.

Überstrahlt aber werden sie oft alle von Tiger-, Hammer- oder eben: dem Weißen Hai, den Ikonen ihrer Klasse, allesamt Top-Prädatoren, Tiere also, die in der Regel am Ende einer Nahrungskette stehen. Tiere, gefürchtet für ihr ausgefeiltes Jagdinstrumentarium. Allem voran: ihre feinen Sinne.

Die meisten großen Haie haben Augen, die noch empfindlicher sehen als die einer Katze. Sie verfügen über eine Art „Tastsinn“, der sie minimale Druckschwankungen spüren lässt, ausgelöst etwa durch den Flossenschlag eines Tieres. Haie besitzen einen dem Menschen fremden Elektrosinn, der es ihnen ermöglicht, Richtung und Stärke elektrischer Impulse im Wasser auszumachen; mag ein Beute-

Von wegen Einzelgänger: Mehr und mehr dokumentieren Forscher, wie die Topräuber der Meere aus ganz unterschiedlichen Gründen in Gruppen zusammenkommen – Schwarzsippenhaie (r.) und Blauhaie (u.)





tier sich auch verstecken, sein Herzschlag verrät es. Haie können auch unter Wasser hervorragend hören. Und riechen. Ein Tropfen Blut, ein winziger Fetzen Muskelfleisch in einem Olympia-Schwimmbaden: ein Weißer Hai käme ihm auf die Spur. Selbst dann, wenn andere Sinne längst ausgefallen sind.

Etliche Tiere erblinden im Laufe ihres Lebens, weil sich Parasiten auf ihrer Hornhaut festsetzen und so ihre Sicht eintrüben. Dennoch gelingt es den Meeresräubern, Beute zu machen.

Schnappen sie zu, entwickeln sie dabei eine enorme Bisskraft; Weiße Haie können mit ihren Kiefern eine Kraft erzeugen, die der Gewichtskraft von bis zu 1,8 Tonnen entspricht – kein anderes Tier übertrifft diesen Wert. Ihr Maul: ein reich bestücktes Waffenlager. In bis zu sieben Reihen stehen und hängen da die zapfenförmigen Zähne. Ist einer abgenutzt, fällt er aus – und von hinten wandert sogleich

Ersatz nach vorn. Je nach Art, verschleissen Haie an die 30 000 Zähne im Laufe eines Lebens.

Doch bei allen Superlativen: Die Ehrfurcht, mit der Menschen anderen Meeresräubern wie Delfinen oder Walen begegnen – den Haien blieb sie lange verwehrt. Im Gegenteil: Viele fürchten, ja, verachten die Tiere. Greift ein Hai einen Taucher oder Surfer an, geht die Nachricht um die Welt. Dabei sterben jedes Jahr viel mehr Menschen durch die An-

**»FÜR HAIE IST ES
VON GROSSEM NUTZEN,
TEIL EINES
ENGEN NETZWERKS
ZU SEIN«**

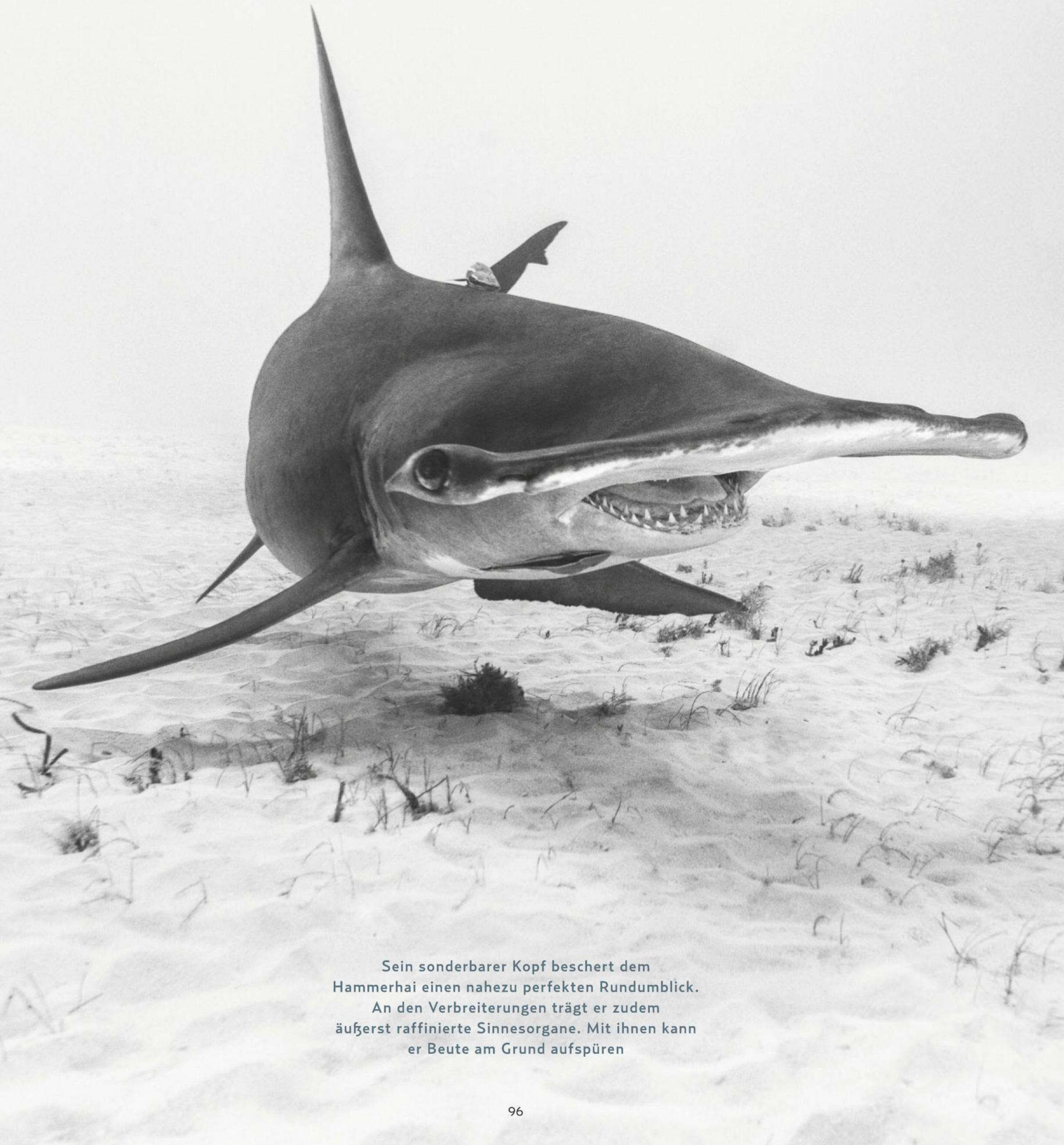
griffe von Nilpferden, Elefanten, Rindern. Auch in Büchern und Blockbustern tauchen Haie zumeist als menschenfressende Monster auf. Dass sich dieses Bild so hartnäckig hält, hat aber auch damit zu tun, dass ihm die Wissenschaft lange kaum etwas entgegenzusetzen hatte.

Abtauchen!

Oder: Wie Technik hilft, den Meeresräubern näherzukommen

Das meiste, was man über die Tiere weiß, beruht bis in die 2000er Jahre hinein auf flüchtigen, oberflächlichen Beobachtungen; häufig an Orten wie den Farallon-Inseln, wo sich die Meeresräuber regelmäßig sammeln und reiche Fettreserven anfressen. Bisweilen stellen sie gar Seevögeln nach; lassen aber fast immer wieder davon ab. Weiße Haie vermögen, so eine These, ihre Beute nach deren Energiegehalt zu selektieren. Vielleicht endet

»RUND EIN VIERTEL ALLER ARTEN GILT ALS VOM AUSSTERBEN BEDROHT«



Sein sonderbarer Kopf beschert dem Hammerhai einen nahezu perfekten Rundumblick. An den Verbreiterungen trägt er zudem äußerst raffinierte Sinnesorgane. Mit ihnen kann er Beute am Grund aufspüren

auch deshalb die Mehrheit der Haiangriffe auf Menschen nicht tödlich; ein Nachfassen lohnt sich für die Meeresräuber einfach nicht.

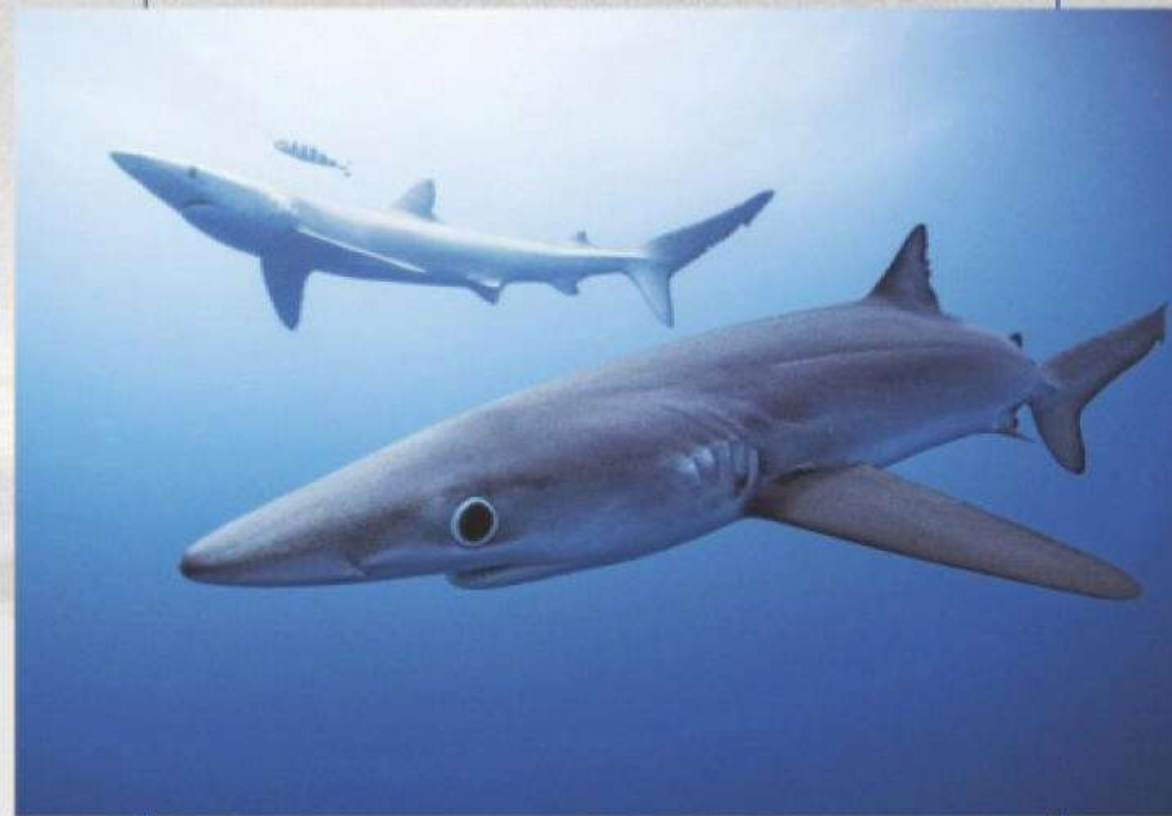
Was aber tun Haie, wenn sie nicht jagen? Paarung, Geburt, Heranwachsen – vieles im Leben der Räuber liegt im Verborgenen. Ihr Lebensraum, das Meer, ist schließlich schwer zu durchschauen. Erst in den vergangenen beiden Jahrzehnten ist es Wissenschaftlern mithilfe von Segeldrohnern, Peilsendern, Tauchrobotern, hochempfindlichen Unterwasserkameras gelungen, ins Habitat der Haie einzutauchen und sich ihnen damit wirklich zu nähern.

Was Chapple und seine Kollegen bereits seit Längerem wissen: Endet die Jagdsaison gegen Ende eines Jahres natürlich, ohne Orca-Angriff, zerstreuen sich die Weißen Haie. Doch sie marodieren nicht – wie einst angenommen – einsam die Küsten entlang, auf der Suche nach Snacks. Oder Sex. Etliche machen sich auf eine knapp 2000 Kilometer lange Reise ins Nirgendwo des östlichen Pazifiks. Mit ungeheurer Geschwindigkeit und Ausdauer – unter anderem ermöglicht durch eine für Knorpelfische ungewöhnlich hohe Körpertemperatur – steuern sie ein Gebiet auf halber Strecke nach Hawaii an. Auf Satellitenbildern schimmert der Bereich, groß wie der US-Bundesstaat Colorado, tiefblau: eine Ozeanwüste, karg, wohl ohne Leben, schlussfolgern die Forscher. Was wollen die Meeresräuber an diesem vermeintlich öden Ort, bald „White Shark Café“ genannt, weil es ein so vielfrequenter Treffpunkt ist? Und: Warum verhalten sich viele Tiere dort vor allem im Frühjahr so sonderbar, wie Bewegungsdaten belegen? Taylor Chapple skizziert die Wassersäule mit ihren vielen verschiedenen Schichten. Während die Weibchen nur ab und an durch eine der oberen Schichten schwimmen, Chapple malt horizontale Pfeile, schießen die Männchen immerzu wie Jo-Jos durch die Wassersäule, hinauf und hinab, bis zu 140-mal am Tag. Sie tauchen nahezu 1000 Meter tief, wo Druck und Kälte für die großen Fische kaum mehr zu bewältigen sind. Warum?

Im Herbst 2017 besondern Chapple und seine Kollegen in halsbrecherischen Aktionen 37 weitere Weiße Haie; später folgen sie deren Route mit einem Forschungsschiff. Als sie im Frühling 2018 im „White Shark Café“ ankommen, machen sie eine erstaunliche Entdeckung. Die Haie haben sie zu einer unbekannten Oase geführt, reich an Tintenfischen, Krebstieren, Quallen.

Diese Tiere wandern: Tags verharren sie in tiefer Dunkelheit, nachts steigen sie auf. Folgen die Haie also schlicht ihrer Beute? Ist das Café damit nur ein weiterer Jagdgrund?

Aber warum verhalten sich männliche und weibliche Haie dann so unterschiedlich? Taylor Chapple bringt eine andere Erklärung ins Spiel: „Das Café ist womöglich einer dieser bislang kaum bekannten Orte, an denen Weiße Haie sich paaren.“



Anders als viele seiner Verwandten, die bevorzugt in Küstennähe lauern, zählt der Blauhai zu den häufigsten Hochseehaien – sein schlanker Körper erleichtert lange Wanderungen

Bewegungsdaten belegen: Während Männchen vornehmlich an den kalifornischen Küsten schwimmen, zieht es die Weibchen vermehrt bis in hawaiianische Gewässer. Das Café liege damit, so Chapple, für beide auf halber Strecke. Zudem sei das Wasser dort – mindestens in den oberen Schichten – wärmer als in den Küstengebieten. Das begünstige die Embryonalentwicklung.

Und wozu anspruchsvolle Tauchmanöver in die Tiefe? Ein Kräfteressen mit den Konkurrenten? Ein Schaulaufen für

die Weibchen? Taylor Chapple vermutet etwas ganz Schlichtes dahinter: den Versuch, ein Gegenüber in diesem gewaltigen, dreidimensionalen Raum schneller oder: überhaupt zu finden. Es ist ein Leichtes, sich zu verpassen. Denn die paarungsbereiten Weibchen senden Duftstoffe aus, die sich nur horizontal verbreiten. Tauchen die Männchen durch alle Schichten hindurch, haben sie die größte Chance, ein Gegenüber zu erschnuppern und zu ergattern.

Erst gut ein Jahr später wird der Nachwuchs den Mutterleib verlassen: bis zu einem Dutzend kleine Haie, Miniaturen ihrer Eltern – und ebenso selbstständig. Ihre Raubtiernatur trainieren sie bereits im Uterus: Sie machen sich über die unbefruchteten Eier her. Beim Sandtigerhai geht dieser Kannibalismus gar noch weiter: Nur der Embryo, der im Mutterleib all seine Geschwister vertilgt hat, schafft es ins Meer.

Hai-Society

Oder: Das geheime Sozialleben der Raubfische

Aber gehen Weiße Haie nun über die Paarung hinaus Allianzen ein? Taylor Chapple sagt: „Beute, Sexualpartner – in den Weiten der Meere ist alles rar. Da macht es wohl eher Sinn, allein sein Glück zu suchen.“ Aber es gebe viele andere Situationen, in denen es für die Tiere von großem Vorteil sei, Teil eines Netzwerkes zu sein. Weil es ihnen Schutz und

bisweilen überlebenswichtige Informationen biete. „Wie damals vor den Farallons.“

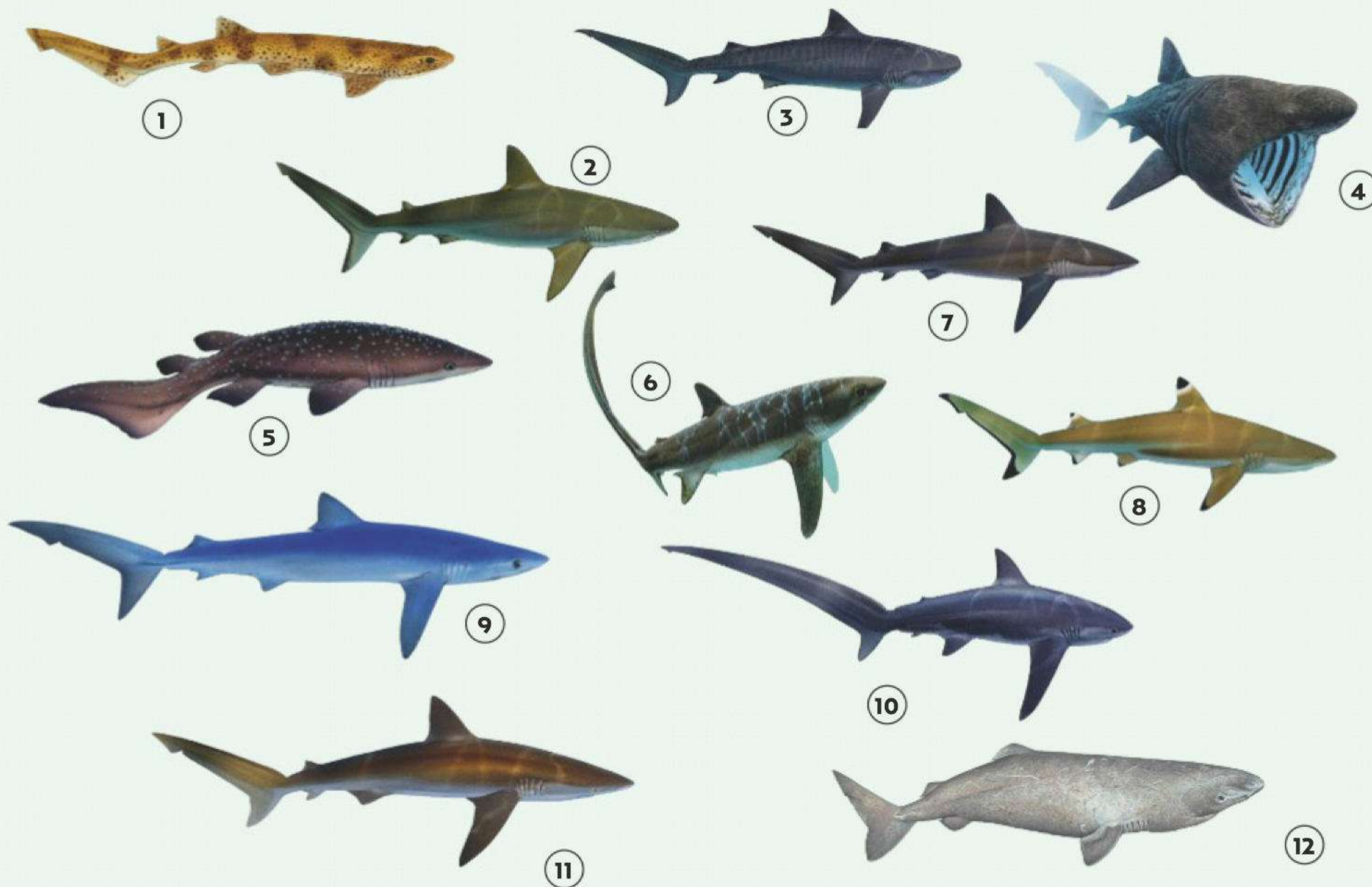
Noch streiten Wissenschaftler über die Frage, ob die Raubfische tatsächlich soziale Gruppen bilden – oder allenfalls Zufallsgemeinschaften. Doch immer neue Studien nähren die Annahme, dass es sich bei Haien tatsächlich – zumindest saisonal – um gesellige Wesen handelt.

So verfolgten australische Forscher, welche Gruppen von Weißen Haien sich in den Gewässern der Neptun-Inseln, an der Südküste des Kontinents, versammeln. Robbenkolonien locken die Räuber an. Und diese wiederum Tauchtouristen, die in Käfigen hinabsinken ins petrolfarbene Meer – in der Hoffnung auf eine aufregende Begegnung mit den Tieren.

Spezies

Eine Sippe der Vielfalt

Seit mehr als 400 Millionen Jahren durchstreifen Haie den Ozean – ihre Biologie ist verblüffend divers



Haie zählen zu den faszinierendsten Bewohnern des Blauen Planeten. Fast 500 beschriebene Arten teilen sich die Weltmeere. Der Kleingefleckte Katzenhai (1) lauert unter anderem im Mittelmeer auf Beute. Der kräftig gebaute Karibische Riffhai (2) hält sich in der Nähe tropischer Korallen oder in Höhlen auf. Tigerhaie (3), deren Mäuler mit gesägten Zähnen besetzt sind, bevorzugen oft Küstengewässer. Riesenhaie (4), bis zu zwölf Meter lang, schwimmen mit geöffnetem Maul, um Plankton einzufangen. Namensgebend für den Nagelhai (5) sind dornartige

Schuppen auf Körper und Flossen. Der Großaugen-Fuchshai (6) lebt als Hochseeart in bis zu 500 Meter Tiefe. Galapagoshaie (7) trifft man in Inselnähe an. Der Schwarzspitzen-Riffhai (8) wagt sich teils sogar in Flussmündungen vor. Blauhaie (9) durchqueren saisonabhängig die Meere und zählen zu den häufigsten Hochseehaien. Der Gemeine Fuchshai (10) schlägt mit seiner Schwanzflosse auf Beute ein. Die Lebensspanne eines Bronzehais (11) beträgt etwa 30 Jahre. Grönlandhaie (12) können von allen Wirbeltieren das höchste Alter erreichen – einige Hundert Jahre.

Ein Team um den Meeresbiologen Charlie Huveneers analysierte mehr als 270 000 Fotos, die die Taucher in über vier Jahren aufgenommen hatten. Ein irr-sinniger Aufwand. Ein erstaunliches Ergebnis: Die Weißen Haie – unterscheidbar etwa an der Form ihrer Flossen oder charakteristischen Narben – verkehrten oft in ganz bestimmten Cliquen vor den

Neptun-Inseln. Manche kamen fast auf den Tag genau Jahr für Jahr, blieben einige Wochen, um dann wieder zusammen zu verschwinden. Für Huveneers ist eines sicher: „Es sind zu viele Gemeinsamkeiten, um von Zufällen zu sprechen.“

Danielle Haulsee geht mit ihren Erkenntnissen gar noch weiter. Ab 2012 markierte die promovierte Ozeanografin

der kalifornischen Stanford University mit ihrem Team mehr als 300 Sandtigerhaie mit akustischen Sendern, um deren Bewegungsmuster und Interaktionen zu verfolgen. Haulsee wusste, dass sich die gut zwei bis drei Meter langen Räuber sommers oft in den flachen Gewässern der US-Ostküste sammeln. In Teamarbeit treiben sie dort etwa Fischschwärme zu-

sammen, um sich an dem beweglichen Büffet zu laben. Aber was treiben sie, wenn sie im Herbst wieder davonziehen?

Regelmäßig fuhr Danielle Haulsee in den kommenden Monaten die Küsten ab. Einmal, es muss im Frühling gewesen sein, stand sie mit ihrer Empfangsantenne an Deck, und es machte „ping!“, „ping!“, „ping!“. Dutzendfach. In aufgeregtem Stakkato. „Es war, als platzte ich in ein Partygespräch“, erinnert sie sich. Haulsee sagt, sie hätte damals gern einen Stöpsel gezogen, alles Ozeanwasser ablaufen lassen – um zu sehen, was unter ihr vor sich geht.

Datenberge offenbarten schließlich das Unsichtbare: Tatsächlich kamen die Sandtigerhaie – wie Weiße Haie lange als Solisten angesehen – auch außerhalb der Haupt-Jagdsaison immer wieder zusammen: meist zum Tête-à-Tête, bisweilen auch in größerer Gruppe oder sogar mit anderen Hai- und Fischarten. Die Zusammensetzung änderte sich. Einige Haie schienen allerdings miteinander verbunden. Haulsee untersuchte die Bewegungsprofile zweier Sandtigerhaie genauer und entdeckte: Die Individuen haben so etwas wie „enge Freunde“, der eine sieben, der andere 17 – Artgenossen, die sie über 20-mal im Jahr getroffen hatten. Darüber hinaus pflegten beide Haie lockere Verbindungen zu 170, beziehungsweise 200 weiteren „Kumpeln“, die sie nur ab und an trafen – vielleicht, um gemeinsam neue Jagdgebiete auszumachen? Oder Paarungsplätze? Oder Orte, an denen sie Ruhe vorm anderen Geschlecht haben?

Dass sich Haie in verschiedenen Netzwerken bewegen, sich je nach Anlass zusammenschließen (engl.: *fusion*) und wieder auseinandergehen (engl.: *fission*): Ein solch anspruchsvolles Sozialverhalten – „Fission-Fusion-System“ genannt – hatte man bis dahin allein bei smarten Säugetieren beobachtet: bei Schimpansen, Elefanten, Walen oder Delfinen. Doch nachdem sie den Haien mehr als ein Jahr gefolgt ist, sagt Danielle Haulsee: „Wir können dieses Verhalten auch für Haie nicht mehr ausschließen.“ Bloß: Wann und wozu genau verbinden sie sich? Über welche subtilen Signale verständigen sie sich? Noch ist all das ungeklärt.

Haulsee geht es mit ihrer Forschung vor allem darum, die Haie besser zu verstehen – um besser mit ihnen zu leben: „Wenn wir Menschen wissen, wie und wo

sie sich zu bestimmten Jahreszeiten gruppieren, können wir Konflikte vermeiden.“

Vom Fressen und Gefressenwerden

Oder: Warum so viele Haie gefährdet sind

Denn noch immer stoßen Haie und Menschen aufeinander, vieltausendmal, in allen Weltmeeren. Und meist geht es schlecht aus – für die Haie. Nach Schätzungen werden jedes Jahr etwa 100 Millionen Haie getötet; immerhin: In den vergangenen Jahren gehen die Zahlen leicht zurück. Eher selten machen Fischer gezielt Jagd auf die Meeresräuber; in vielen Ländern ist dies verboten. Die meisten Tiere verenden als Beifang und geraten etwa in die Longlines, bis zu 100 Kilometer lange, mit Köderhaken bewehrte Leinen. Was den Hochseefischern lange als lästig galt, ist für sie heute oft ein lukratives, wenn auch oft illegales Geschäft: Denn Haifischflossen bringen – je nach Dicke und Gewicht – gutes Geld. Auch der Kiefer des Weißen Hais – eine begehrte Trophäe – ist hoch gehandelt. Marktwert: bisweilen mehrere Tausend Euro.

Die massive Überfischung hat viele Haibestände nachhaltig einbrechen lassen: rund ein Viertel aller Knorpelfisch-Arten gilt als vom Aussterben gefährdet.

Erst im vergangenen Sommer schockierte ein internationales Forscherteam mit einem aktuellen Riffhai-Zensus: Wissenschaftler um den kanadischen Meeresbiologen Aaron MacNeil hatten an 371 Riffen, rund um den Globus, mehr als 15 000 mit Ködern bestückte Kameras ins Wasser gelassen und über die Videoaufnahmen die Bestände ermittelt. Riffe sind klassische Hai-Habitate. Doch nun entdeckten sie in jedem fünften keinen einzigen Hai mehr. Denkbare, räumt MacNeil ein, dass sie einige übersehen haben. „Aber selbst dann wären es noch immer viel zu wenige, um ihre ökologische Funktion zu erfüllen.“ Und dies könne, das glaube man schon seit Langem, dramatische Folgen haben.

Denn mit den Haien fällt nicht nur das letzte Glied einer Nahrungskette aus; oft zerreißt diese vollkommen.

So führte vermutlich das Verschwinden von Tigerhaien vor den Bermudas zu einer Verödung des Meeresbodens. Denn

plötzlich konnten sich Schildkröten, die zuvor von Haien vertilgt worden waren, ungebremsst vermehren. Sie grasteten ungestört Seegraswiesen kahl, die wiederum Habitat etlicher Mikroorganismen sind.

Der Rückgang großer Haiarten vor der US-Ostküste ließ die Zahl der Kuhnasenrochen explodieren. Die wiederum fraßen sich an Kammuscheln satt – sodass die Muschelfischerei in North Carolina zwischenzeitlich eingestellt werden musste; sie lohnte sich nicht mehr.

In der Karibik veralgen Riffe, seitdem die Haie fehlen.

Modellierungen zeigen, wie in einigen Gegenden Alaskas die Populationen von Hering und Seelachs in Schieflage geraten könnten – wenn der Pazifische Schlafhai verschwindet.

Aber die Riffstudie enthält auch gute Nachrichten: Überall, wo man sich um die Haie kümmert, bestehen durchaus Chancen, dass sich die Bestände wieder erholen.

Es gibt zudem Berechnungen, dass schon eine Ausweitung der globalen Meeresschutzgebiete um drei Prozent den Lebensraum Dutzender stark gefährdeter Hai-Spezies sichern könnte.

Taylor Chapple und etliche weitere Haiforscher mühen sich seit Längerem darum, auch das „White Shark Café“ in die Liste des UNESCO-Weltkulturerbes aufzunehmen – und so besser zu schützen. Doch dafür müssen sie seine Bedeutung für das Überleben der Räuber noch genauer klären. Und so heften sie immer weiter Sender an die Flossen der Tiere.

Auch anderswo folgen ihnen Forscher durch die Weltmeere. Manchmal gelangen die Wissenschaftler dabei ganz beiläufig zu revolutionären Erkenntnissen. Etwa, dass auch Weiße Haie einen schlafähnlichen Zustand einnehmen!

2016 gelingt es US-Forschern, vor der Ostküste von Guadelupe einen offenbar dösenden Räuber zu filmen. Mit anhaltender Bewegung und direkt in die Strömung blickend, schwimmt er langsam über den Boden – sodass ständig Wasser durch das geöffnete Maul und über die Kiemen strömen und so den Sauerstoffbedarf decken kann. Denn: Ohne Bewegung erstickt der Hai.

Übrigens: genau wie jene Tiere, die damals, vor den Farallons, in Rückenlage und damit in tödliche Schockstarre gebracht worden waren •

Die Wanderung Welt

Text: Richard Conniff

Jede Nacht ereignet sich in den Meeren ein faszinierendes Schauspiel: Abermillionen Lebewesen – etwa Krebstiere, Kalmare oder Schwärme von Fischen – steigen aus den dunklen Tiefen zur Oberfläche. **Es ist die größte Tierwanderung der Erde und eine spektakuläre Jagd zwischen Räuber und Beute**



größte

der

Wenn aus den Tiefen der Meere riesige Mengen an Kleinstlebewesen zur Wasseroberfläche schwimmen, lockt dies Räuber an. Etwa einen Mantarochen, der mit seinem reusenartigen Maul das Plankton aus den Fluten siebt

Jeden Abend nach Sonnenuntergang beginnt ein eigentümliches Schauspiel: Unzählige Meereslebewesen tauchen aus den Tiefen des Ozeans in Richtung Wasseroberfläche auf. Sie alle vollführen eine Wanderbewegung unfassbaren Ausmaßes. Unter ihnen befinden sich Unmengen kleine, durchscheinende Ruderfußkrebse. Aber auch Billionen andere Krebstiere – zum Beispiel Krill und Flohkrebse – begeben sich zu-

sammen mit gallertartigen Wesen auf eine Reise, die sich über Hunderte von Metern erstreckt. Viele weitere wandern mit, steigen auf unterschiedlichen Etagen zu. Kalmare etwa. Oder leuchtende Laternenfische, die mit ihren bis zu 15 Zentimetern Länge zusammen weitaus mehr Biomasse auf die Waage bringen als der gesamte jährliche Fischfang auf dem Planeten.

Experten schätzen, dass sich jede Nacht Tiere mit einer Gesamtmasse von gut fünf Milliarden Tonnen der Wanderung zur Oberfläche anschließen. Eine unvorstellbare Menge: Man male sich mindestens 20 Millionen Jumbojets aus, jeder 250 Tonnen schwer, die sich in Bewegung setzen. Und am nächsten Morgen kehrt dieser gesamte Treck

der Meerestiere wieder um und steigt ab, zurück in die Tiefe. Es ist die größte Tierwanderung überhaupt, und sie läuft senkrecht durch die Wassersäule.

Aber warum dieser Aufwand? Die Antwort ist schlicht: Hunger – und eine gehörige Portion Angst. Die Nahrungskette des Meeres ist der Antriebsriemen dieser Reise. Die große Fressmeile liegt ganz oben, in den bis zu rund 200 Metern unter den Wellen. Diese tagsüber lichtdurchflutete Schicht ist die Heimat mikroskopisch kleiner Algen und anderer im Wasser treibender Pflanzen. Sie alle gedeihen in der Sonne: das Phytoplankton, das den ganzen Tag Photosynthese betreibt.

Mit Einbruch der Dunkelheit werden diese Organismen zum Abendsnack für die ersten Wanderer: Das tierische Zooplankton kommt nach oben, darunter die Armada der Ruderfußkrebse. Sie trauen sich nur bei Nacht ins obere Stockwerk des Ozeans. Denn bei Tageslicht könnten Räuber sie allzu leicht sehen und auffressen. Im tieferen, dunkleren Wasser finden die hungrigen Winzlinge Schutz vor den Augen der Jäger.

Fachleute nennen das Phänomen der nächtlichen Fresszüge „diel vertical migration – DVM“ (tägliche senkrechte Migration). Sie sehen in ihr eine der Kräfte, die Vielfalt und Produktivität der Ozeane und damit die Gesundheit des Planeten bestimmen.

„Diese Migration stellt alle anderen Wanderungen auf der Erde in den Schatten“, sagt Bruce Robison vom Monterey Bay Aquarium Research Institute. „Aber diese Wanderung liegt außerhalb unseres Sichtfelds. Daher ist sie den meisten Men-

Die Eier vieler Meeresorganismen – hier ein laichender Schwamm – gehören zum Plankton und verdriften im Wasser an entfernte Orte





Krill taucht oft in großen Schwärmen auf. Die proteinreichen Krebstiere sind Nahrungsgrundlage für die größten Meeresbewohner: Wale

schen unbekannt, obwohl sie im Ökosystem des Ozeans eine wichtige Rolle spielt.“ Und Forscher beginnen erst, ihre Mechanismen zu verstehen.

Während des Zweiten Weltkriegs kam das Phänomen auf die akademische Tagesordnung. Wissenschaftler auf der „USS Jasper“, einem Patrouillenboot der U.S. Navy, erprobten 1942 eine neue Sonartechnologie. Sie berichteten als Erste von Schallwellen, die von einer mysteriösen Schicht reflektiert oder gestreut wurden. Diese „tiefe Streuschicht“ schwebte mehr als 300 Meter unter der Oberfläche und erstreckte sich gut 500 Kilometer entlang der kalifornischen Küste – wie das Phantom eines Meeresbodens. Andere Sonarpioniere stießen bald ebenfalls auf solche Schichten – weltweit: im Pazifik, im Atlantik und sogar in Seen. Manchmal in großen Tiefen, manchmal näher an der Oberfläche.

Der Ozeanograf Martin W. Johnson von der Scripps Institution of Oceanography konnte schließlich nachweisen, dass die tiefe Streuschicht biologischen Ursprungs war und nicht etwa das Echo einer versunkenen Insel. Aus früheren Forschungen wusste er, dass winzige Planktonorganismen häufig nach Einbruch der Dunkelheit an die Oberfläche kommen. So machte er sich im Juni 1945 mit seiner Crew an die Arbeit: In zahlreichen Nachtschichten erkannte er bald, dass die Schallwellen der Streuschicht sich in einem nächt-

lichen Zyklus auf und ab bewegten. Mithilfe von Planktonnetzen nahm er Proben der Organismen aus unterschiedlichen Tiefen und fand damit einen wichtigen Hinweis auf die große vertikale Migration.

Selbst heute, fast 80 Jahre nach ihrer Entdeckung durch die Forscher der „USS Jasper“, ist die Faszination für diese Schicht und ihre Lebewesen nicht abgeklungen. Und die Berichte der Wissenschaftler lesen sich zuweilen, als würden sie fremde Lebensformen beschreiben. Ihre Instrumente sind ausgefeilte Planktonfallen und -netze. Damit sammeln sie Proben aus bestimmten Tiefen, bringen sie an die Oberfläche und untersuchen sie unter dem Mikroskop.

Aus der Nähe betrachtet sind die Kleinstlebewesen spektakulär abwechslungsreich: Einige erinnern an durchscheinende Kugeln, mit Reihen von paddelartigen Wimpern ausgestattet, die entlang ihrer Flanken wogen. Andere besitzen seltsame gefiederte Antennen, die aus ihren Köpfen sprießen.

Einige von ihnen empfinden Meerwasser als dicht und zähflüssig, was ihre Wanderung nach der Beschreibung der Forscher „zu einem nächtlichen Marathon durch Honig“ macht. Viele Knochenfische wiederum haben Schwimmblasen, die sie für die Reise an die Oberfläche aufblasen und

für den Abstieg wieder entlüften können. Einige reisen nur ein paar Dutzend Meter auf ihrer Wanderung, während andere Hunderte Höhenmeter zurücklegen. In der Gesamtschau ist das kein koordiniertes Massenauftauchen aus der Tiefe zur Oberfläche und zurück – das Ganze ähnelt eher einem Geflecht von sich überlappenden Auf- und Abstiegsleitern.

Aber es gibt auch Arten, die gar nicht wandern. Sie warten einfach in den tieferen Schichten auf einen Happen – auf andere Kreaturen, die mit vollem Bauch in die vermeintliche Sicherheit der Tiefe zurückkehren. Gelegentlich machen Räuber und Beute ihre Reise auch Seite an Seite, die feindlichen Beziehungen scheinen sie unterwegs zu unterbrechen. „Sobald sie sich aufwärts oder abwärts in Gang gesetzt haben, ist das erst mal ihre Hauptbeschäftigung“, sagt Robison.

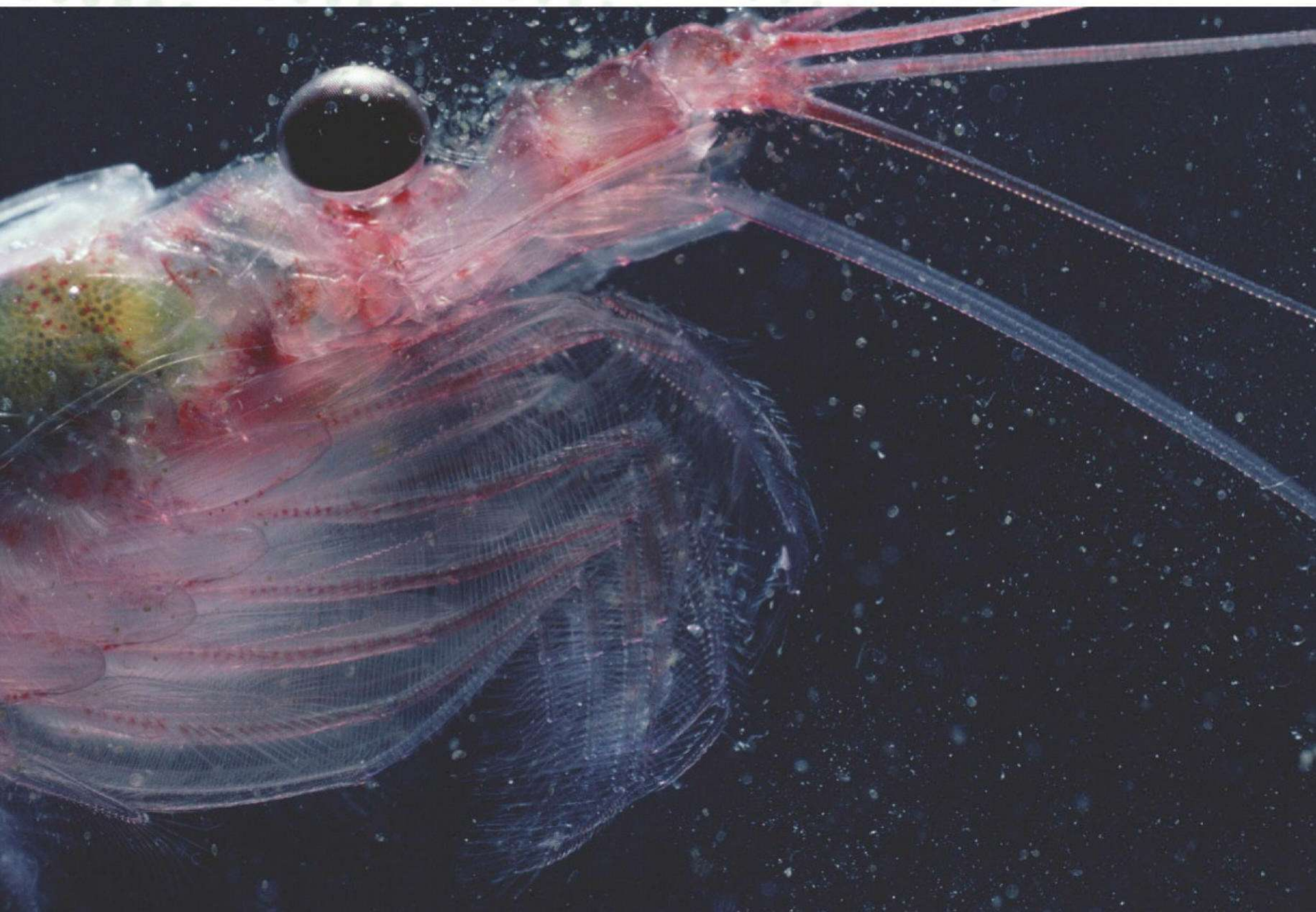
Der Meeresbiologe und sein Team spürten sogar einen jungen Tintenfisch auf, der von seinem Äußeren und seinem Verhalten eher wie eine Staatsqualle daherkam. Diese Quallen haben giftige Nesselkapseln, die jede Mahlzeit für einen hungrigen Fressfeind unvergesslich machen. Der Tin-

Mit ihren vorderen Beinchen filtern die Krebstiere kleine Nahrungspartikel – etwa Algen – aus dem Wasser

tenfisch bediente sich offenbar einer Tarntaktik, die Fachleute Mimikry nennen – Tarnung durch Warnung. Auch einige der Organismen aus dem Zooplankton machen sich nicht die Mühe, in Richtung Oberfläche zu schwimmen – sie fressen einfach, was von dort herunterkommt: Schweb- und Sinkstoffe – Ausscheidungen ihrer aktiveren Artgenossen.

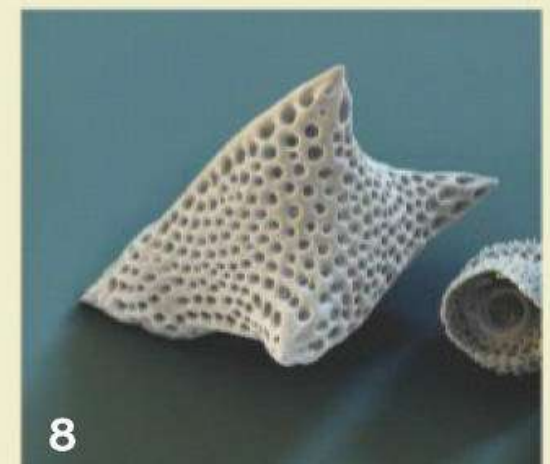
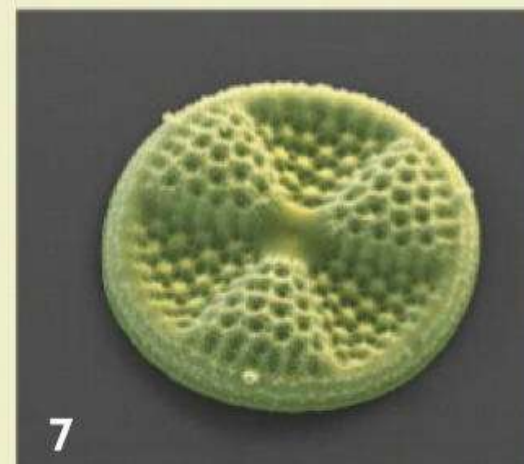
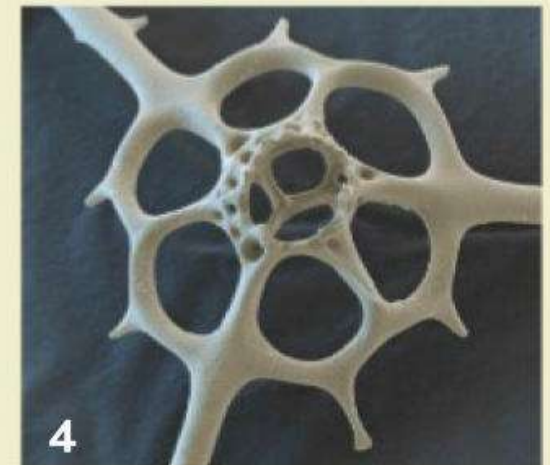
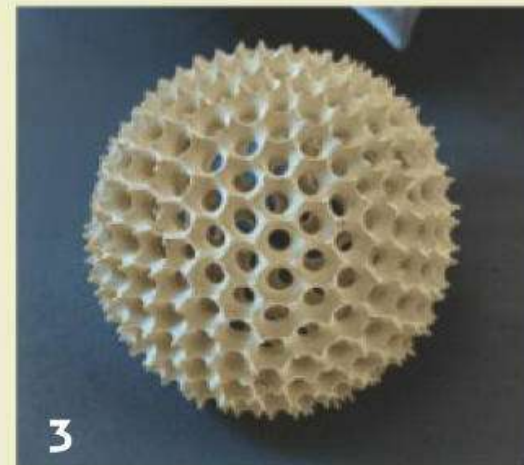
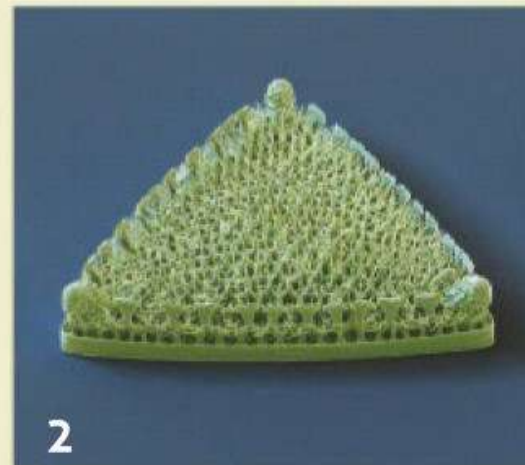
Einer Theorie zufolge funktioniert die Migration wie eine Eimerkette – für Ausscheidungen: Ein Zooplanktontierchen an der Oberfläche konsumiert dort Nährstoffe, wandert wieder nach unten und scheidet Kot aus, den ein anderes Lebewesen etwas weiter unten aufnimmt und schließlich wiederum ausscheidet. Das geht immer weiter so – bis hinab in die Tiefsee. Der Effekt der Migration (und der Eimerkette) bestünde dann darin, dass die Nährstoffe laut einer Studie bis zu 53 Prozent schneller von der Oberfläche nach unten transportiert werden, als dies allein durch die Schwerkraft geschehen würde. Das macht das System zu einer biologischen Pumpe und einem Antrieb des Nährstoffkreislaufs

im Ozean. Wale, Thunfische, See-Elefanten und andere große Tiere wissen um die reichhaltige Kost, tauchen hinab, den wandernden Lebewesen hinterher – und verleiben sich Krill, Laternenfische und Kalmare ein.



Wunderschöne Winzlinge

Eine Vielfalt mikroskopischer Einzeller bildet die Basis vieler Nahrungsketten im Ozean



Elektronenmikroskopische Aufnahmen offenbaren den atemberaubenden Formenreichtum der zahl- reichen Meeres einzeller

Für das menschliche Auge sind sie kaum wahrnehmbar: winzige Einzeller, die allenthalben im Meerwasser umhertreiben. Erst unter dem Mikroskop zeigt sich die ganze Pracht und Mannigfaltigkeit der Kleinstlebewesen, von denen es viele Tausend Spezies gibt und die in den Ökosystemen der Ozeane eine gewichtige Rolle spielen. Phytoplankton, zu dem etwa Kieselalgen (1, 2 und 7) gehören, gedeiht vor allem in den oberen, lichtdurchfluteten Meeresschichten. Dort nutzen die kleinen Algen die Energie des Sonnenlichts, um mittels Fotosynthese organische Substanzen herzustellen. Viele Einzeller – unter ihnen auch sogenannte Radiolarien (3, 4, 5, 6 und 8) – leben oft in Symbiose mit anderen Mikroalgen,

die geschützt im Inneren der teils stacheligen Schalen leben. All diese Winzlinge stehen auf dem Speiseplan anderer Lebewesen: So ernähren sich Ruderfußkrebse oder Krill von den Einzellern. Die

Krebstiere wiederum werden von Fischen oder Kalmaren gefressen, auf die es schließlich größere Fische und andere Räuber abgesehen haben. Ohne die hohe Produktivität des Phytoplanktons, das am Beginn vielfältiger Nahrungsketten steht, würden wohl die meisten größeren Tiere, die uns so vertraut sind, nicht in den Meeren überleben können. Selbst der Blauwal – das größte Tier, das wohl jemals auf unserem Planeten gelebt hat – ist auf die Allerkleinsten angewiesen: Eine seiner Leibspeisen ist Krill.

Die Migration ist auch eine Kohlenstoffpumpe. Wie an Land Bäume wandeln die mikroskopisch kleinen Pflanzen in der Region der Meeresoberfläche atmosphärisches Kohlendioxid in organische Substanz um. Nehmen Krebschen und anderes tierisches Plankton diese Pflanzen auf und wandern dann nach unten, binden sie Kohlenstoff in den Tiefen, wo er Hunderte oder Tausende Jahre verbleiben kann. Das macht die Migration auch zum wichtigen Faktor in Klimastudien.

Bemerkenswert ist auch: Die vertikale Wanderung vollzieht sich ebenfalls am Nordpol, in der endlosen Dunkelheit des Winters. Forscher fanden heraus, dass Zooplankton zum arktischen Meeresgrund flieht, um dem Licht des Mondes zu entkommen – und damit den Fressfeinden. „Es ist erstaunlich, dass dies sogar unter mehreren Metern Eis passiert, das noch dazu mit Schnee bedeckt ist“, sagt Kim Last von der Scottish Association for Marine Science.



**Transparenter Schlauch:
Eine Kolonie gallertiger Tiere,
sogenannter Salpen,
treibt als Plankton mit der
Meeresströmung**

Der Klimawandel könnte diese Prozesse entscheidend verändern – wenn die Arktis eisfrei wird oder die Eisschmelze schon vorher die Wasserschichten und das Muster des Nährstoffflusses verändert. „Das interessiert uns brennend“, sagt Last. „In diesem Stadium entscheidet sich, ob der Arktische Ozean produktiver oder weniger produktiv wird.“

Wissenschaftler sorgen sich auch in anderen Ozeanen um die Zukunft der vertikalen Migration. Die kommerzielle Fischerei dezimiert die Populationen größerer Fische drastisch, daher entwickelt die Industrie neue Produkte, die weiter unten aus der marinen Nahrungskette stammen. Zu den vermarkteten Erfindungen aus der Migration gehören Krillpaste und ein Proteinkonzentrat aus Laternenfischen, hauptsächlich als Futtermittel für Fischfarmen. „Das ist keine gute Idee“, sagt Robison. „Wenn wir Walen, Thunfischen oder Lachsen das Futter wegnehmen, sorgen wir dafür, dass diese charismatischen Tiere ausgehungert werden.“

Eine veränderte Migration gefährdet auch die Nährstoff- und Kohlenstoffkreisläufe der Ozeane, mit Folgen, die

kaum vorhersehbar sind. Schließlich produziert die Pflanzenwelt in der lichtdurchfluteten Zone mindestens 50 Prozent des Sauerstoffs auf der Erde – womöglich sogar erheblich mehr.

Noch aber folgt die Migration ihren alten Rhythmen – außerhalb unseres Sichtfelds. „Es ist eine rollende Welle, die sich über die Welt bewegt, wenn sich die Erde dreht und die Sonne auf- und untergeht“, sagt Peter H. Wiebe von der Woods Hole Oceanographic Institution. Auch unser eigenes Leben, so der Ozeanograf, bewegt sich in einer Welle über den Planeten – so wachen die Menschen an der amerikanischen Ostküste mehr oder weniger im Einklang mit dem Sonnenaufgang auf – und rund 16 Stunden später die Menschen am Westpazifik, von Sibirien bis Tasmanien. Weil ihre Bewegung so konträr zu unseren eigenen ist, kann die große vertikale Wanderung in den Ozeanen außerhalb unserer Wahrnehmung bleiben. Während wir bei Sonne aufstehen, ziehen sich die wandernden Lebewesen in die kalten Tiefen zurück.

Und wenn wir nachts ins Reich der Träume versinken, steigen sie in der schützenden Dunkelheit des Ozeans wieder auf.

POSTANSCHRIFT DER REDAKTION:
BRIEFFACH 24, 20444 HAMBURG.
TELEFON: 0049/40/37 03 20 84
E-MAIL: BRIEFE@GEOKOMPAKT.DE
INTERNET: WWW.GEOKOMPAKT.DE

CHEFREDAKTEURE: Jens Schröder, Markus Wolff
REDAKTIONSLEITUNG: Meike Kirsch (Reise),
 Christiane Löll, Jürgen Schaefer (Wissen),
 Katharina Schmitz (Natur und Nachhaltigkeit),
 Joachim Telgenbüscher (Geschichte)
VISUAL DIRECTOR: Andreas Pufal

LEITUNG INNOLAB: Margitta Schulze Lohoff

STELLV. VISUAL DIRECTOR (FOTOGRAFIE): Lars Lindemann

MANAGING DESIGNER: Arne Kluge (P.M.), Torsten Laaker (GEO WISSEN, GEO kompakt),
 Tatjana Lorenz (GEOEPOCHE), Eva Mitschke (GEO Saison), Daniel Müller-Grote (GEO)

TEXTLEITUNG: Stephan Draf, Birte Lindlahr, Katharina Priebe

GESCHÄFTSFÜHRENDE REDAKTEURE: Maike Köhler, Bernd Moeller

LTG. DIGITALE MAGAZINE/SONDERPRODUKTE: Rainer Droste

TEXTREDAKTION: Jörn Auf dem Kampe, Klaus Bachmann, Jens-Rainer Berg,
 Insa Bethke, Tilman Botzenhardt, Dr. Anja Fries, Marlene Göring, Gesa Gottschalk,
 Rainer Harf, Lara Hartung, Gunnar Herbst, Maria Kirady, Diana Laarz, Fred Langer,
 Barbara Lich, Sara Mously, Dr. Vivian Pasquet, Ines Possemeyer, Samuel Rieth,
 Nora Saager, Martin Scheufens, Katja Senior, Iona Marie Schlußmeier, Claus Peter Simon,
 Johannes Teschner, Bertram Weiß, Sebastian Witte, Katja Trippel (GEO-TV)

ABENTEUER & EXPEDITIONEN: Lars Abromeit

REDAKTEUR FÜR BESONDERE AUFGABEN: Siebo Heinken

GEO-TAG DER NATUR: Dr. Mirjam S. Glessmer, geo-tagdernatur@geo.de

BILDREDAKTION: Julia Franz, Mareile Fritzsche, Hanna Gaede, Christian Gargerle,
 Christian Gogolin, Anja Jöckel, Frauke Körting, Chantal Pils, Roman Rahmacker,
 Jochen Reiß, Simone Thürnau, Katrin Trautner, Carla Rosorius, Trixi Rossi, Carina Weirauch

GRAFIK: Sharare Amirhassani, Ulrike Darwisch, Dennis Gusko,
 Anja Klingebiel, Jan Krummrey, Anna Primavera, Tina Schäfer, Christina Stahlke,
 Marco Stede, Frank Strauß, Nele Wiewelhove

KARTOGRAFIE: Stefanie Peters

VERIFIKATION: Lenka Brandt, Regina Franke, Dr. Götz Froeschke, Susanne Gilges,
 Jörg Melander, Alice Passfeld, Andreas Sedlmair, Stefan Sedlmair, Bettina Süssmilch

SCHLUSSREDAKTION/CVD: Dirk Krömer, Jeanette Langer, Adelheid Molitoris,
 Ralf Schulte, Olaf Stefanus, Antje Wischow

SEKRETARIAT: Ümmük Arslan, Judith Swiderek, Silvia Wiekling,
 Anastasia Mattern (Buchrecherche)

USA-KORRESPONDENT: Karl Teuschl

HONORARE/SPESEN: Angelika Györffy, Heidi Hensel

GEO.DE: Leitung: Julia Großmann, Jan Henne

Redaktion: Peter Carstens, Jaane Christensen (Bildredaktion), Solveig Hoffmann

VERANTWORTLICH FÜR DEN REDAKTIONELLEN INHALT:

Jens Schröder, Markus Wolff

PUBLISHER: Frank Thomsen, Toni Willkommen (Stellvertreter)

PUBLISHING MANAGER: Patricia Hildebrand, Svenja Urbach, Eva Zaher

DIGITAL BUSINESS DIRECTOR: Carina Laudage

SALES DIRECTOR: Franziska Bauske, Betsy Edakkamannil, Sarah Engelbrecht,
 DPV Deutscher Pressevertrieb

DIRECTOR BRAND PRINT + DIRECT SALES: Heiko Hager, Ad Alliance GmbH

MARKETING DIRECTOR: Sandra Meyer, Frank Thomsen

MARKETING MANAGER: Pascale Victoir

PRESSE- UND ÖFFENTLICHKEITSARBEIT: Isabelle Haesler

HERSTELLUNG: G+J Herstellung, Heiko Belitz (Ltg.), Oliver Fehling

VERANTWORTLICH FÜR DEN ANZEIGENTEIL: Fabian Rother,

Head of Brand Print+Direct Sales, Ad Alliance GmbH, Am Baumwall 11, 20459 Hamburg.
 Es gilt die jeweils aktuelle Preisliste. Infos hierzu unter www.ad-alliance.de

Der Export der Zeitschrift GEO WISSEN und deren Vertrieb im Ausland sind nur mit
 Genehmigung des Verlages statthaft. GEO WISSEN darf nur mit Genehmigung des Verlages in
 Lesezirkeln geführt werden. Alle Rechte vorbehalten. Insbesondere dürfen Nachdruck, Aufnahme
 in Online-Dienste und Internet und Vervielfältigung auf Datenträger, wie CD-ROM, DVD-ROM etc.,
 nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung des Verlages erfolgen.

Bankverbindung: Deutsche Bank AG Hamburg,

IBAN: DE30 2007 0000 0032 2800 00, BIC: DEUTDEHH

ISSN: 0933-9736

Druckvorstufe: 4mat Media Hamburg

Druck: appl druck GmbH, Wemding

GEOkompakt wird auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

Die Papierfasern stammen aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung.

Die Nachhaltigkeit ist nach ISO 14001 zertifiziert.

© 2021 Gruner + Jahr, Hamburg,

Printed in Germany

USA: GEO (German) (USPS no 00011476) is published monthly by Gruner+Jahr GmbH.
 Known Office of Publication: Data Media (A division of Cover-All Computer Services Corp.),
 2221 Kenmore Avenue, Suite 106, Buffalo, NY 14207-1306. Periodicals postage is paid at
 Buffalo, NY 14205. Postmaster: Send address changes to GEO (German), Data Media,
 P.O. Box 155, Buffalo, NY 14205-0155,
 E-Mail: service@roltek.com, Toll free: 1-877-776-5835

Kanada: Sunrise News, 47 Silver Shadow Path, Toronto, ON, M9C 4Y2,
 Tel. + 1 647-219-5205, E-Mail: sunriseorders@bell.net

ABONNEMENT- UND EINZELHEFTBESTELLUNG
ONLINE-KUNDENSERVICE: www.geo.de/kundenservice
POSTANSCHRIFT: GEO WISSEN-Kundenservice,
 20080 Hamburg
 Tel.: 0049/40/55 55 89 90
SERVICE-ZEITEN: Mo–Fr 7.30–20 Uhr, Sa 9–14 Uhr

PREIS JAHRESABONNEMENT:
 44,00 € (D), 50,00 € (A), 74,40 sfr (CH);
 Preise für weitere Länder auf Anfrage erhältlich.

**BESTELLADRESSE FÜR GEO-BÜCHER,
 GEO-KALENDER, SCHUBER ETC.:**
 GEO-Versand-Service, 74569 Blaufelden
 Tel.: 0049/40/422 36 427

BILDNACHWEIS/COPYRIGHT-VERMERKE
 Anordnung im Layout: l. = links, r. = rechts,
 o. = oben, m. = Mitte, u. = unten

TITEL Willyam Bradberry/Shutterstock

EDITORIAL Sebastian Witte: 3 l.; Rainer Harf: 3 r.

INHALT siehe entsprechende Seiten

ABTAUCHEN IN EINE ANDERE WELT David Hettich: 6/7, 14/15;
 Greg Lecoeur: 8/9, 20/21; Jordi Chias/Nature Picture Library: 10/11;
 Gabriel Barathieu/Biosphoto: 12–13; Franco Banfi/Nature Picture Library: 16/17;
 Solvin Zankl: 18/19; Pascal Kobeh/Nature Picture Library: 22/23

REICH DER FÜLLE Brandon Cole/Biosphoto: 26 o.; Magnus Lundgren/
 Wild Wonders of China/Nature Picture Library: 26 u.; Alex Mustard/Nature Picture
 Library: 26/27, 30; Illustrationen: Mikkel Juul Jensen/Science Photo Library: 28;
 Jochen Stuhmann für GEO kompakt: 29 o.; Claus Luna/Science Photo Library:
 29 u.; © Dorling Kindersley: 31 (aus: „Ozeane, Die große Bild-Enzyklopädie“)

DIE PERFEKTE WELLE Ray Collins: 32–41; Illustrationen: © Dorling Kindersley:
 42, 43 (aus: „Ozeane, Die große Bild-Enzyklopädie“)

SIND DIE MEERE NOCH ZU RETTEN Mandy Barker: 44/45; privat: 45 o.;
 Andy Rouse/Nature Picture Library: 47; Jürgen Freund/Nature Picture Library: 48

SO RIECHT DAS MEER West Coast Scapes/Shutterstock: 50/51; Solvin Zankl:
 52 o., 52/53, 54 (2), 55 l.; David & Micha Sheldon/imagebroker/Fotofinder: 53 u.;
 Tim Grist Photography/Getty Images: 55 r.

GRAUE GIGANTEN Mark Carwardine/Nature Picture Library: 56/57;
 Christopher Swann/Biosphoto: 58 o.; Espen Bergersen/Nature Picture Library: 58 u.,
 63 u.; Greg Lecoeur: 59; Tony Wu/Nature Picture Library: 60; Franco Banfi/
 Nature Picture Library: 61 o.; Michael Aw: 61 u.; Richard Robinson/Nature Picture
 Library: 62 o.; Christopher Swann/Biosphoto: 62 u.; Flip Nicklin/
 Minden Pictures/Nature in Stock: 63 o.

DAS RIFF Benjamin Lowy/Getty Images: 64/65; Brandon Cole: 65 o., 65 u.,
 66–67; Alex Mustard/Nature Picture Library: 65 m.; David Doubilet: 69;
 Karte: Stefanie Peters für GEOkompakt: 68; Illustrationen: © Dorling Kindersley:
 70–71 (aus: „Ozeane, Die große Bild-Enzyklopädie“)

DIE UNTERWASSER-APOTHEKE Annika Siems für GEOkompakt: 72–75

EIN NEUER BLICK IN DIE TIEFE Paul Caiger/Woods Hole Oceanographic
 Institution: 76/77, 88; Jonas Wresch für GEOkompakt: 78/79, 80/81, 84/85;
 Bluegreen Pictures/imago: 82/83; Sarah Bielecki: 86; David Scheel: 87

KILLER UND KAMERAD Michael Muller/CPi Syndication: 90–97, erschienen im
 Buch „Michael Muller: Haie“ (Taschen); Illustrationen: Nature Picture Library: 98

DIE GRÖSSTE WANDERUNG DER WELT Doug Perrine/Nature Picture
 Library: 100/101; Reinhard Dirscherl/Biosphoto: 102; Richard Herrmann/
 Minden Pictures/Nature in Stock: 103; Flip Nicklin/Minden Pictures/Nature in Stock:
 104; Eye of Science: 105 (8); Franco Banfi/Nature Picture Library: 106

EINE SPRACHE AUS LICHT Imaginechina-Tuchong/imago: 108/109; Solvin
 Zankl: 110, 111; Borut Furlan/WaterFrame: 112; Christoph Gerigk: 113, 114; David
 Gruber: 115 (4); Fabien Michenet/Biosphoto: 116; Illustrationen: Michael Paukner: 116

SIEGESZUG ZUR SEE Geo Cloete: 118/119; Gerhard Jarms, André C. Morandini:
 119 o., 119 u. (aus: „World Atlas of Jellyfish“, Dölling und Galitz Verlag); Domenico
 Tripodi: 120–121; David Hettich: 122/123; Fabien Michenet/Biosphoto: 123; Paulo de
 Oliveira/Biosphoto: 125; Illustrationen: Rainer Harf für GEOkompakt: 124

ALLES ANDERE ALS STUMM Franco Banfi/Nature Picture Library: 126/127;
 Westend 61/imago: 128; Humberto Ramirez/Getty Images: 130/131; Fred Bavendam/
 Minden Pictures: 132; Wolfgang Pölzer/WaterFrame: 133

BIZARRE GESCHÖPFE DER FINSTERNIS Solvin Zankl: 134–146;
 Illustration: Ann-Marie Ahring für GEO: 143

VON SINGENDEN WALEN UND MUSCHELN AUF REKORDKURS
 Solvin Zankl: 144/145

Eine

S P R A

L I

Vom seichten Ufer bis hinab
zu den dunkelsten Abgründen
funkeln und flimmern Abermillionen
Botschaften durch die Meere:
Da senden Fische blinkende Blitze,
umhüllen sich Garnelen mit
gleißenden Wolken, führen Würmer
Leuchttänze auf. Erst nach
und nach gelingt es Forschern,
diese **faszinierenden Signale aus
Licht** zu entschlüsseln

Text: Lars Abromeit

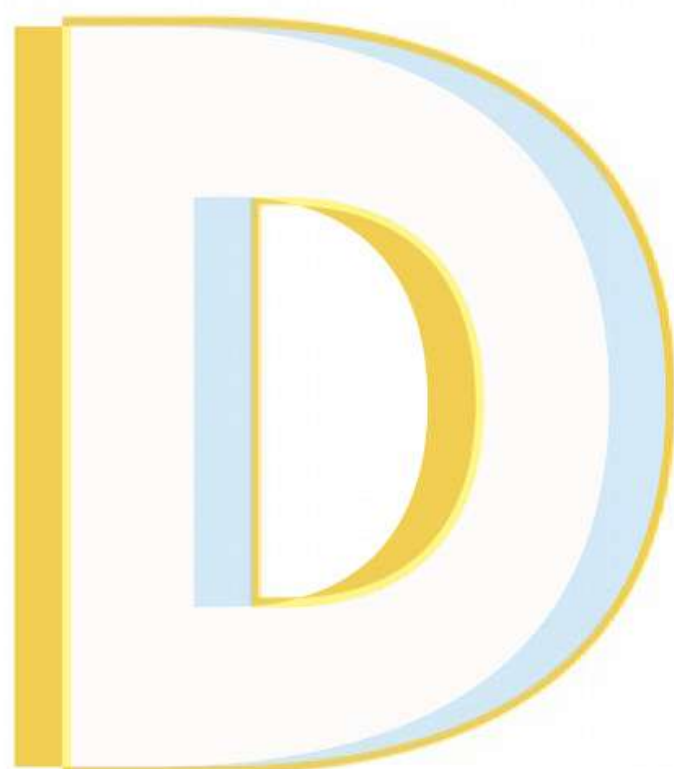
The background of the entire page is a photograph of a starry night sky. The stars are small, bright white dots of varying sizes, scattered across a deep black background. Some stars have a slight blue or yellow tint, giving the impression of different temperatures or distances. The overall effect is a serene and cosmic atmosphere.

C H E

aus

C H T

An manchen Küsten kommt es
zum Meeresleuchten: wenn nachts
Myriaden winziger Einzeller –
sogenannter Dinoflagellaten – die
schaumig anbrandenden
Wellen durch Biolumineszenz
erstrahlen lassen



Der Pazifik hatte das letzte Schimmern der Dämmerung längst verschluckt, als David Gruber im schwarzen Wasser vor Mborokua in ein verstecktes Gespräch platzte.

In gut zehn Meter Tiefe, unter dem Dach eines Felsvorsprungs, waren die Schatten zusammengekommen: Zu Tausenden huschten sie zwischen Korallen und den vulkanischen Felsen der Salomonen-Insel umher. Sie schienen miteinander zu streiten, vielleicht gemeinsam nach einer Richtung zu suchen, in der sie

weiterziehen sollten. Genau aber konnte der Forscher sie nicht verstehen: Sie unterhielten sich lautlos. Sie sprachen in Zeichen aus Licht.

Die Fische selbst, *Anomalops katoptron*, sah Gruber durch seine Taucherbrille dabei nur als Schemen. Doch Wolken aus blauen Blitzen hüllten ihn ein, sie zogen minutenlang durch das Wasser wie Sternschnuppen über den Nachthimmel: Fragen und Antworten, Vorschläge und Repliken aus flirrenden Morsesignalen.



Dann, als die Blitzlichtfische offenbar endlich zu einer Entscheidung gekommen waren, rollte der Schwarm aus der Höhle hinaus und verschwand in der Tiefe des Ozeans „wie ein pulsierender, glitzernder Fluss“, erinnert sich Gruber. „Es war ein magischer Augenblick“, sagt er, „als wollten die Fische mich teilhaben lassen an ihrem Aufbruch.“

Das war im September 2013. Der Meeresbiologe von der City University of New York konnte dem Lockruf der Lichter

Leuchtheringe, Pfeilwürmer oder Rippenquallen **stoßen in Not funkelnde Schleier aus**, um Verfolger zu irritieren und zu entkommen

damals nicht lange folgen, das Schimmern nicht einmal mit der Kamera einfangen; dafür war es zu schwach. Aber noch immer erzählt er davon so gebannt, als hätte er einen Funkspruch von Aliens aufgeschnappt: Was hatte das Feuerwerk zu bedeuten? Und wie konnten die Fische es steuern? Wie viele ähnliche Blitzlichtdebatten sind wohl noch in den Ozeanen verborgen?

Solchen Rätseln jagt Gruber seit Jahren nach. An Tropenriffen und an den Flanken von Eisbergen in der Arktis, in Seegraswiesen und an den Wänden unterseeischer Canyons erforscht er die Leuchtsignale von Tieren und Planktonwesen – schillernde Morsezeichen des Lebens. „Wir finden sie fast überall“, sagt er: funkelnde Quallen. Kalmare und Fische in fluoreszierenden Neonkostümen. Garnelen, die sich wie Feuer speiende Drachen mit gleißenden Wolken umhüllen. Zählen all diese Gesten tatsächlich zu einer eigenen Form des Nachrichtenaustauschs, zu einer „Sprache aus Licht“?

Tatsächlich wird immer klarer: Lichtgestalten wie die Anomalops-Fische sind keine Seltenheit, keine Freaks. Die Vielfalt an Biolumineszenz, die in den Ozeanen funkelt, ist erstaunlich. Schon auf den ersten paar Dutzend Metern filtert das Wasser das meiste Sonnenlicht heraus; wer in größerer Tiefe auffallen möchte, muss sich gleißend in Szene setzen. Auch mitten am Tag.

Mit Leuchtsignalen locken diese bloß drei Millimeter großen Muschelkrebse der Gattung *Vargula* potenzielle Partner an. Auf Englisch heißen sie auch »sea-firefly«: Meeressglühwürmchen

Muschelkrebse und Borstenwürmer zum Beispiel führen auf der Suche nach Partnern kunstvolle Leuchttänze auf. Anglerfische hingegen sind dafür berühmt, dass sie glimmende Köder vor ihrem Maul baumeln lassen: Die Lichtfallen ziehen Krebse und kleine Fische an,



Noch ist nicht ganz klar, weshalb Dinoflagellaten das Meer zum Leuchten bringen – vielleicht ist es eine Feindabwehr

die dem Schein in der Finsternis nicht widerstehen können – und ihre Neugier meist mit dem Leben bezahlen.

Andere Räuber, so manche Kalmare, verwirren ihre Opfer mit Lichtblitzen; Laternen- und Blitzlichtfische fahnden mit biolumineszenten Suchscheinwerfern nach Beute. Eine Gruppe von Barten-Drachenfischen strahlt dafür langwelliges, rotes Licht aus, das nur wenige Tiefseebewohner wahrnehmen können. So nähern sich die Angreifer unbemerkt den Opfern.

Doch auch zur Verteidigung setzen Ozeantiere Lichtwaffen ein. Als Tarn-



mantel beispielsweise: Blaue Leuchtorgane, zumeist an der Bauchseite, imitieren das Schummerlicht der Umgebung und machen ihre Besitzer damit für Wegelagerer aus der Tiefe weitgehend unsichtbar. Leuchtheringe, Pfeilwürmer oder Rippenquallen stoßen in Not zudem funkelnde Schleier aus, um Verfolger zu irritieren und ihnen zu entkommen. Einige Tintenfische werfen sogar eine biolumineszente Armspitze ab – offenbar ein verschmerzbares Opfer.

Jedes dieser Manöver versetzt die Angreifer selbst ins Rampenlicht und damit ins Dilemma, womöglich die Eier eines größeren Mauls anzulocken. Auch das „Meeresleuchten“ mariner Einzeller, das ganze Buchten in mancher Nacht bläulich schimmern lässt, deuten Wissenschaftler als einen solchen Bewegungsmelderalarm: Garnelen und Krebse, die diesen Einzellern nachstellen, treten mit ihren Umrissen aus der illuminierten Masse hervor. So riskieren sie, selbst gefressen zu werden – und suchen lieber das Weite.

Warnrufe also, Angstschreie, Wutgebrüll und betörende Flirts: Vom seichten Ufer bis hinab zu den dunkelsten

Abgründen funkeln und flimmern Abermillionen Botschaften durch die Meere – ein globales Informationsnetz der Lichter.

Erst kürzlich haben Kollegen Grubers versucht, das Ausmaß des Biolumineszenz-Sprachgewirrs aus der Analyse von 350 000 Einzelbeobachtungen abzuschätzen. Ihr Ergebnis: Mehr als 75 Prozent aller Ozeantiere nehmen am Leuchtfeuer teil! Eine gigantische Zahl – vor allem, wenn man bedenkt, dass die Meere mehr als 95 Prozent der irdischen Biosphäre umfassen. In der Tiefsee, dem wiederum größten Teil der Unterwasserwelt, sollen sogar 90 Prozent aller Kreaturen mit Leuchtorganen gerüstet sein.

Gruber glaubt: „Lichtzeichen sind wahrscheinlich die wichtigste Kommunikationsform der Biologie.“ Nur hätten wir Menschen bislang davon wenig mitbekommen.

Ihre größten Verbreitungsgebiete, die Meere, sind eben schwer zu durchschauen. Auch Wissenschaftler bleiben meist an der Oberfläche. Es ist, „als versuche man nachts aus dem Flugzeugfenster heraus alle Lichter New Yorks zu entschlüsseln“, sagt Gruber.

Zahlreiche Tiere, etwa dieser Einsiedlerkreb, verwandeln blaues Licht in strahlend grüne, orangefarbene oder rötliche Töne. Ein Phänomen, das Biofluoreszenz genannt wird

Er sucht nach anderen Perspektiven: Der Wissenschaftler möchte die Ozeane und ihre Leuchtsignale genauso betrachten, wie es die Meeresbewohner selbst können. Und er ist überzeugt, auf diese Weise nicht nur das Leben unter den Wellen genauer kennenzulernen, sondern zugleich auf Substanzen zu stoßen, die uns auch in eine andere rätselhafte Tiefe hineinschauen lassen werden: in uns selbst.



Baruch College, ein Hochhaus mit 16 Stockwerken mitten in Manhattan, Lexington Avenue, Ecke 23. Straße. An



Noch wissen Forscher wenig darüber, weshalb so viele Unterwasserwesen – hier Korallen – biofluoreszent sind. Eine spezielle Fototechnik kann die grellen Farbmuster sichtbar machen

diesem für die Meeresforschung eher ungewöhnlichen Ort, siebte Etage, trägt David Gruber die Beute aus seinen Expeditionen zusammen. Kein Wasser in Sicht, nur Stahlbeton und das flackernde Lichtermeer aus Bürofenstern, Reklametafeln und Autokolonnen.

„Als Basislager perfekt“, findet Gruber. Er liebt New Yorks Energie, die Vernetzung der Stadt mit dem Rest der Welt.

Doch er schwärmt für die Ferne.

Gerade ist er aus Grönland zurückgekehrt, seine Fingerspitzen vom Tauchen im Eiswasser noch leicht taub. In der Tiefkühltruhe seines Labors stapeln sich die Gewebeproben mariner Leuchtkeaturen. Über den Boden verstreut: Haufen aus Unterwasserkameras, selbst gebauten Platinen und Lampen in tiefseetauglichen Druckgehäusen, Stecker und Kabel.

Es sind Grubers Lotsen und Dolmetscher, mit denen er sich den Lichtsprachen

in den Weltmeeren nähert. Wahwitzig anmutende Instrumente schleppt er dafür auf seinen Reisen mit: ferngesteuerte Kameras etwa, die lichtempfindlicher als das menschliche Auge sind. Kleine Tauchroboter. Oder den „Exosuit“, eine Rüstung aus Aluminiumsegmenten, die Tauchgänge in bis zu 300 Meter Tiefe erlaubt.

Aus einem der größten Stapel in seinem Büro fördert Gruber stolz seine jüngste Erfindung hervor: eine Kamera, die auf blaue, rote und gelbe Teile des Sonnenlichts mit getrennten Sensoren reagiert. Für jedes Pixel des Bildes lässt sich so festlegen, wie empfindlich es die

verschiedenen Wellenlängen des Lichtspektrums einfangen soll.

Ein variables künstliches Auge: Das Sehvermögen des *Homo sapiens*, der relativ gleichmäßig Lichtwellen zwischen 400 (violett) und 750 Nanometer (rot) erfasst, kann die Kamera ebenso simulieren wie das von Meerestieren, die sich auf kleinere Abschnitte aus dem Lichtspektrum spezialisiert haben. Rochen und Haie etwa.

„Wir stehen am Beginn einer neuen Ära in der Entdeckungsgeschichte“, sagt Gruber: „Erstmals verfügen wir über Technologien, um mit den Tieren des Ozeans in Verbindung zu treten.“

Wissenschaftler hoffen, dass
die **leuchtenden Wesen**
unbekannte Stoffe bergen, die
medizinisch nutzbar sind

Der Forscher ist **überzeugt**, dass wir am **Beginn einer neuen Ära** in der Entdeckungsgeschichte stehen

So dokumentierten Kollegen von Gruber vor Japan mit einer Kamerafalle, die den biolumineszenten Glanz einer Tiefseemeduse nachahmt, zum ersten Mal einen Angriff des sagenumwobenen Riesenkalmars *Architeuthis*. Roboter wie das Unterwasservehikel „Doc Rickett“ des Monterey Bay Aquarium Research Institute können kleinere, hochsensible Lichtgestalten der Tiefsee in Plexiglasfallen fangen, die ferngesteuert vom Forschungsschiff aus verschlossen und dann an Bord gehievt werden. Damit bleiben die Tiere und ihre Leuchtorgane für eine sofortige Analyse intakt.

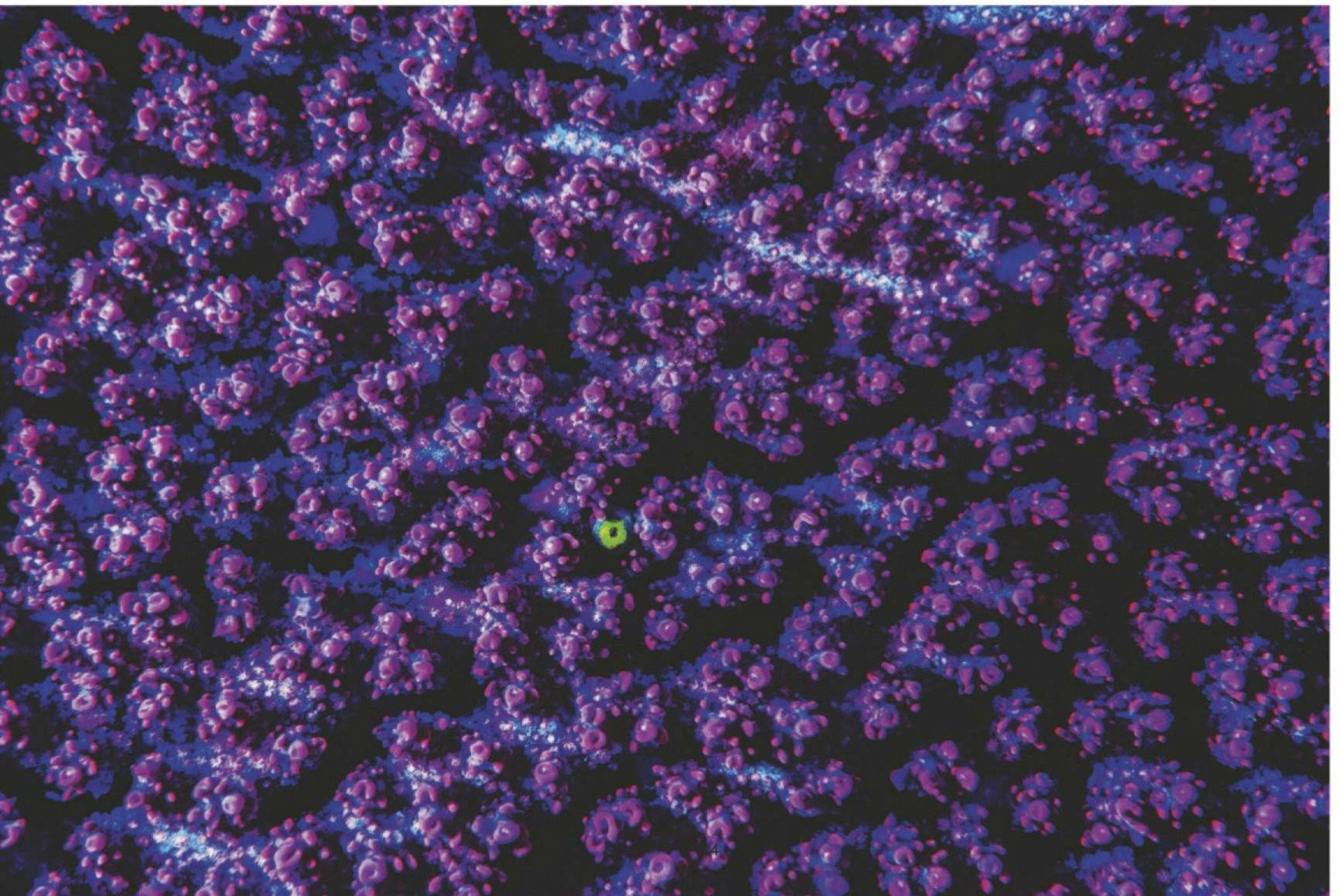
Ausmaß und Verteilung der Biolumineszenz in den Meeren messen torpedoförmige Sonden inzwischen autonom; auf vorgegebenem Kurs kreuzen sie wochenlang vor den Küsten. Und biochemische Analysen enthüllen nach und nach auch das molekulare Vokabular, mit dem Fische, Quallen und Kopffüßer ihre Morsezeichen erstellen.

Die Kraft, aktiv Licht zu erzeugen, scheinen Tiere demnach im Laufe der Evolution allein in den Weltmeeren mehr als 40 Mal unabhängig voneinander erfunden zu haben! Offenbar lohnt es sich.

Doch so vielfältig die über Jahr-millionen dafür entwickelten Moleküle auch sind, ihr Zusammenspiel folgt im Grunde demselben Prinzip: Ein „Brennstoff“ (Luziferin genannt) reagiert, angetrieben von einem „Zünder“-Enzym (der Luziferase), mit Sauerstoff – entweder in spezifischen Zellen der Lichtwesen selbst oder im Inneren von Bakterien, die als Untermieter in den Geweben hausen. Manche Tiere greifen auch gleich auf vorgeladene Eiweißkomplexe (Photoproteine) zurück, die alle notwendigen Zutaten für das Leuchten in sich vereinen – und nur noch Kalzium- oder Magnesiumionen zur Zündung benötigen.

Für sämtliche Varianten dieses Verbrennungsprozesses gilt: Sie sind äußerst effizient. Nicht einmal fünf Prozent der

Durch Fluoreszenz schaffen es Korallen, dass Licht besser ins Gewebe eindringt. Dort sitzen Algen, die Fotosynthese betreiben und Zucker produzieren, den wiederum die Koralle braucht

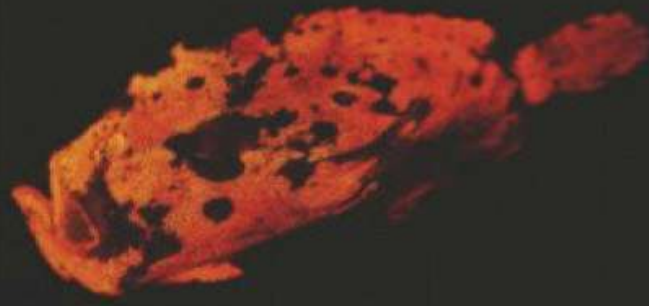


Geheime Signale

Forscher waren überrascht, als sie Fische in der Dunkelheit mit blauem Licht anstrahlten: Die zeigten leuchtende Muster



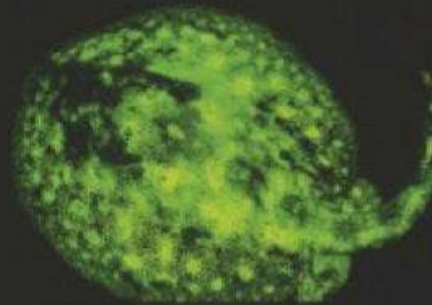
Schwellhai



Anglerfisch



Seeszunge



Stechrochen

Meeresbiologen haben herausgefunden, dass nicht nur Korallen oder Krebse fluoreszieren, sondern auch etliche Fische: Strahlt man sie in der Finsternis mit speziellem Blaulicht an, offenbaren ihre Körper mit einem Mal leuchtende Strukturen.

Unter der besonderen Bestrahlung zeichnen sich auffallende Schlangen- und Netzmuster ab. Bei mehr als 180 Fischarten ließen sich diese Leuchtkräfte bisher

nachweisen. Weshalb die Fische diese Eigenschaft hervorbringen, ist noch wenig erforscht.

Fest steht: Die Strukturen variieren von Art zu Art; und bei einigen Spezies zeigen die beiden Geschlechter sogar jeweils unterschiedliche Muster. Einer Theorie zufolge könnten die spezifischen Leuchtsignale einigen Fischen dabei helfen, im Dämmerlicht an den Riffen den richtigen Partner zu finden.

entstehenden Energie geht als Wärme verloren, viel weniger als zum Beispiel in LED-Lampen. Der Rest wird in Licht umgesetzt. Ingenieure träumen daher bereits von biolumineszenten Bäumen, die Straßenlaternen ersetzen. Oder von Radwegen, die nachts blaugrün schimmern. Vor allem aber versprechen Lichtmoleküle aus Fischen, Seescheiden oder Ruderfuß-

krebsen weitere neue Einsichten in der medizinischen Diagnostik. Als mikroskopische Leuchtfeuer können sie erhellen, wie Proteine, Hormone und Zellorganellen in unserem Körper zusammenwirken.

Sie machen sichtbar, was eigentlich unsichtbar ist: die biochemische Maschinerie im Innern unserer Blutbahnen und Gewebe. An Immunzellen gekoppelt, die

Zellgifte oder Krankheitskeime wie Streptokokken angreifen, zeigen Photonen-Spione zum Beispiel schon jetzt kleinste Spuren der Fremdkörper gleißend an. Auch wie Krebsgeschwüre sich ausbreiten, lässt sich mit ihnen verfolgen. Oder wie Nervenzellen Signale austauschen, Virengeschwader auf einen Medikamentenbeschuss reagieren.

Für einige dieser Anwendungen verlassen sich Mediziner und Pharmakologen schlicht auf den Lichtalarm, mit dem Biolumineszenzproteine auf Ströme aus Kalziumionen anspringen – einen der wichtigsten biochemischen Hilfsstoffe für die intrazelluläre Signalübertragung. Zumeist jedoch schleusen die Wissenschaftler die Leuchtmittel noch gezielter an ihren Einsatzort: Sie heften die Bauanleitung für sie an die DNS-Sequenzen der Proteine, die sie in den Zellen beobachten wollen. Sobald die Verfolgten aktiv werden, springt auch der Lichtsensor an.

Immer tiefer und detaillierter hoffen Forscher in Zukunft mithilfe von neuen biolumineszenten Agenten Krankheiten verfolgen und so schließlich auch besser bekämpfen zu können. Vorausgesetzt: Abenteurern wie Gruber gelingt es, die passenden Leuchtproteine dafür zu finden.



Der Amerikaner fahndet schon lange nach solchen Stoffen, die medizinisch zu nutzen sind. Bisher haben ihn seine Expeditionen dabei allerdings vor allem in eine andere, mit der Biolumineszenz eng verbundene und noch rätselhaftere Welt der Lichter geführt: in die „Biofluoreszenz“.

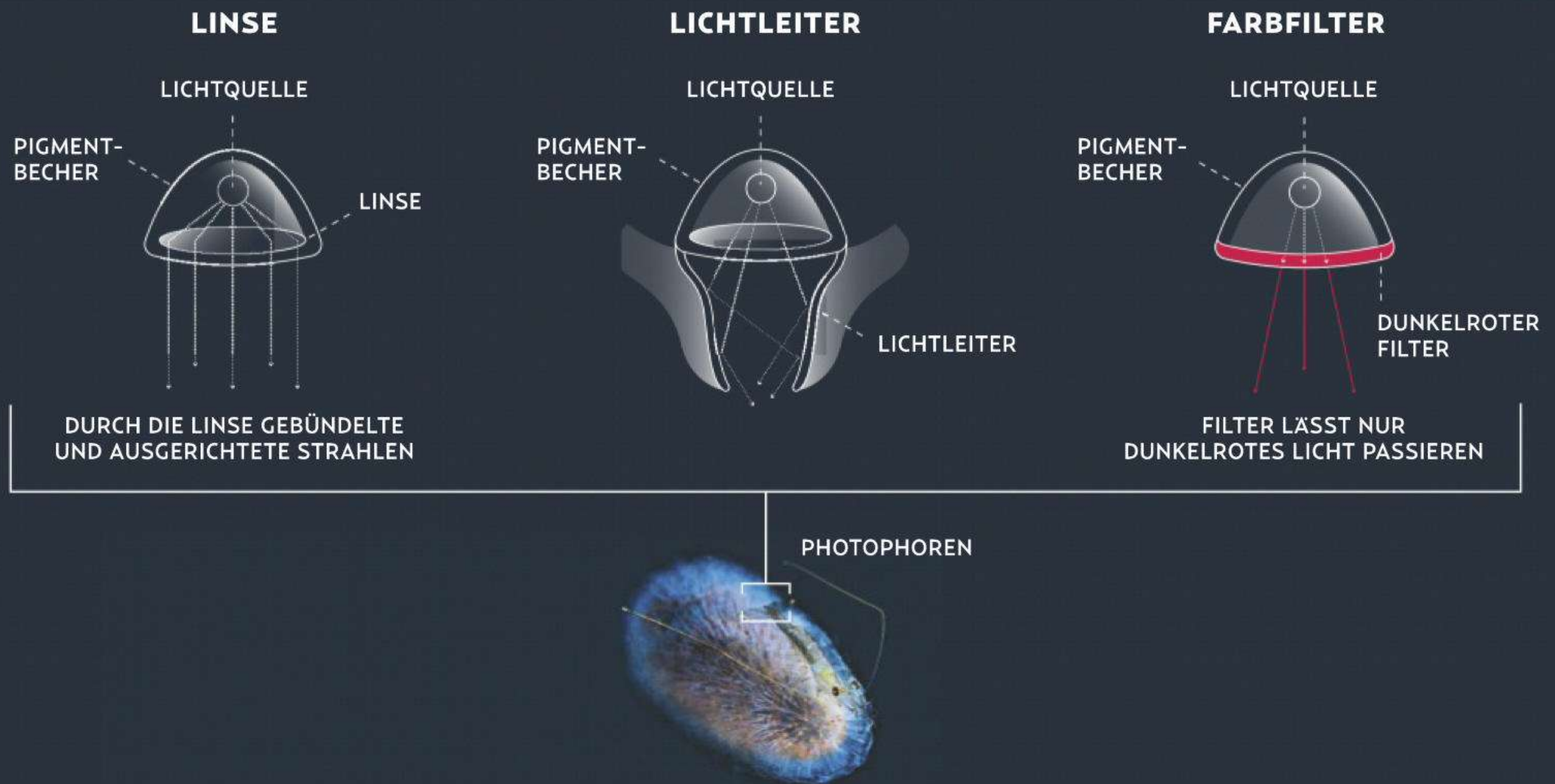
Zahlreiche Tiere aus Wasserschichten nahe der Oberfläche, in denen das Sonnenlicht noch nicht völlig verblasst, produzieren zwar keine eigenen (also „biolumineszenten“) Signale. Aber sie sind imstande, das blaue Restlicht ihrer Umgebung aufzunehmen und in grüne, orangefarbene oder rötliche Leuchtmuster umzuwandeln. Sie fluoreszieren.

Das grüne Fluoreszenz-Protein (GFP) der Pazifikqualle *Aequorea victoria* etwa, für dessen Entdeckung und gentechnische

Zwei Arten des Strahlens

Manche Tiere erzeugen ihr eigenes Licht, andere wandeln Restlicht in Leuchtmuster um

Biolumineszenz



Viele Meereswesen sind zur Biolumineszenz fähig: Sie können Licht erzeugen. Das Phänomen findet oft in „Photophoren“ statt, die bei einer chemischen Reaktion Energie als Licht abgeben. Dabei reagieren Leuchtstoffe („Luziferine“) mit Sau-

erstoff, befeuert durch Leuchtenzyme („Luziferasen“). Die meisten biolumineszenten Lebewesen betreiben ihr eigenes Kraftwerk; etwa Feuerwalzen, die in einer Kolonie aufleuchten können (siehe Foto). Sie gelten als „Sekundärleuchter“, weil symbiotische

Bakterien für sie das Licht erzeugen. Bei den Photophoren wird Licht entweder durch eine Linse gebündelt und direkt ausgestrahlt. Oder kleine Lichtleiter im Körper führen es nach außen. Mit Filtern lässt sich die Lichtfarbe verändern.

Biofluoreszenz



Zahlreiche Tiere aus den oberen Wasserschichten produzieren zwar kein eigenes Licht, sie sind also nicht „biolumineszent“. Aber sie vermögen mithilfe spezieller Verbindungen wie Eiweißen das noch vorhandene blaue Restlicht ihrer Umgebung aufzunehmen und in farbige Leuchtmuster umzuwandeln. Sie fluoreszieren. Daher wird das Phänomen auch Biofluoreszenz genannt.

Veränderung ein amerikanisch-japanisches Biologentrio 2008 den Nobelpreis erhielt, gilt in der Analyse molekularer Prozesse inzwischen als Standardwerkzeug. Es kann noch flexibler als seine biolumineszenten Verwandten modifiziert werden. Sein Nachteil: Um das GFP zu entflammen, müssen die Forscher die Zellen mit energiereichen Lichtimpulsen bestrahlen. Untersuchungen an sehr tiefen oder sensiblen Gewebeschichten im Körper werden so fast unmöglich: Die Laserstrahlen drohen die Zellen zu beschädigen, und das grüne Leuchten reicht nicht sehr weit.

Grubers Team sucht nach anderen Fluoreszenz-Molekülen – insbesondere nach solchen, die möglichst langwellige, rote Lichtmuster abstrahlen und das Gewebe so besser durchdringen. Sie wollen sie als Späher zu den noch kaum erforschten inneren Gehirnregionen des Menschen schicken, den Ursprung des Denkens kartieren.



Bei ihrer Fahndung nach Kandidaten für diese Mission sind die Forscher vor acht Jahren zum ersten Mal zu den artenreichsten Korallenriffen der Welt aufgebrochen, im Westpazifik. Um dort, in der dicht gedrängten Unterwassermenagerie, auch schwache Fluoreszenzsignale zu orten, die mit dem menschlichen Auge im Tageslicht nicht erkennbar wären, nutzten sie eine List: Sie tauchten stets nachts, in vollkommener Dunkelheit, bis zu 40 Meter tief. Dabei führten sie Scheinwerfer mit, die in dutzendfacher Verstärkung genau jenes blaue, gefilterte Sonnenlicht imitieren, das tagsüber die Korallenbank überflutet.

„Das Ergebnis war überwältigend“, erzählt Gruber: Nicht bloß Korallen, Quallen und Anemonen strahlten auf einmal in psychedelischen Farben. Auch an den Flossen und Flanken von Aalen und Haien, Eidechsenfischen und Seepferdchen, Rochen und sogar Meeresschildkröten traten nun bunt fluoreszierende Ornamente hervor.

In mehr als 180 Fischarten haben Gruber und seine Kollegen seither diese Leuchtkräfte aufgespürt. Andere Wissenschaftler entdeckten sie bei Skorpionen, tropischen Fleischfresserpflanzen, Papageien, Schmetterlingen. Wozu aber nutzen all diese Kreaturen die Fluoreszenz?

Darüber weiß man noch wenig. Kalifornische Forscher konnten im Labor nachweisen, dass Medusen mit fluoreszierenden Tentakeln besonders gut Beute anlocken. Auch Fangschreckenkrebe und Seeanemonen scheinen die schrillen Farben als Lichtköder einzusetzen.

Bei etlichen anderen Fluoreszenzen jedoch, wie in denen von Wüstenskorpionen oder von Chlorophyll, sehen viele Experten allein den Zufall am Werk. Auch unsere eigenen Fingernägel und Zähne leuchten schließlich unter UV-Licht fluoreszierend auf.

Ist David Gruber also, wenn er von den Lichtsprachen glühender Haie und Schildkröten schwärmt, letztlich ein Blender?

Um seine Einsichten zu belegen, baut der Forscher im Dunkeln seines New Yorker Labors ein „Fischauge“ auf: eine hochempfindliche Kamera, ausgestattet mit einem besonderen Gelbfilter.

Dutzende Meeresarten wie Eidechsen- oder Laternenfische tragen ganz ähnliche Filter in ihren Augen. So können sie Muster und Zeichen in Blau und Grün, den bedeutendsten Farben im Unterwasserreich, besser erkennen als wir.

Und tatsächlich: Als der Forscher Proben von solchen Fischen aus seiner Kühltruhe holt und auf dem Labortisch in

ebenjenes tiefblaue Licht taucht, mit dem er auch an den Tropenriffen das Sonnenlicht im Meer nachgeahmt hat, nimmt die Kamera plötzlich eine ganz andere Realität wahr als das menschliche Auge.

An den Fischkörpern, die erst gleichmäßig blau wirkten, zeichnen sich leuchtende Schlangen- und Netzmuster ab. Klare Strukturen, die laut Gruber von Art zu Art variieren, bei einigen sogar nach Geschlechtern verschieden sind. „Eine entscheidende Hilfe, um in der Dämmerung an den Riffen den richtigen Partner zu finden“, vermutet Gruber.

Die Fluoreszenz als Erkennungsmerkmal, ein Code unter Gleichgesinnten – wenn man sie sieht wie ein Fisch, scheinen die leuchtenden Hieroglyphen auf einmal Sinn zu ergeben.

Auch Gruber gibt zu: Längst nicht alle schillernden Muster im Meer sind so zu erklären. Weshalb etwa 97 Prozent aller Hartkorallen der Tropen fluoreszieren, bleibt nach wie vor rätselhaft.

Aber das Beispiel der Fischaugenkamera lässt ahnen, wie viele Schichten der Wirklichkeit für uns ohne technische Hilfsmittel nicht zu erkennen sind. „Wesen, die wir für primitiv halten, wie Korallen und Quallen, beherrschen im Ozean eine ganz eigene Matrix aus Farben- und Lichtsignalen. Wir sollten sie dafür achten“, sagt Gruber. „Sie haben Superkräfte, von denen wir Menschen nur träumen – und umso mehr lernen können.“

Als Nächstes möchte der Forscher mit seiner neuen dreisensorigen Kamera das Auge von Meeresschildkröten nachahmen und ihre Leuchtmuster dechiffrieren. So wie er vor Kurzem endlich das Geheimnis der Blitzlichtfische vor Mborokua entziffert hat.

Auf einer neuen Expedition tauchte Gruber zur Höhle der Salomonen-Insel zurück, in der er damals die Leuchtdenkte verfocht hatte. Diesmal nahm er eine Gehilfin mit: eine Spezialkamera, die das Geschehen mit 100 Bildern pro Sekunde aufnahm und dabei die Intensität jedes Lichtstrahls in 64 000 Abstufungen registrierte.

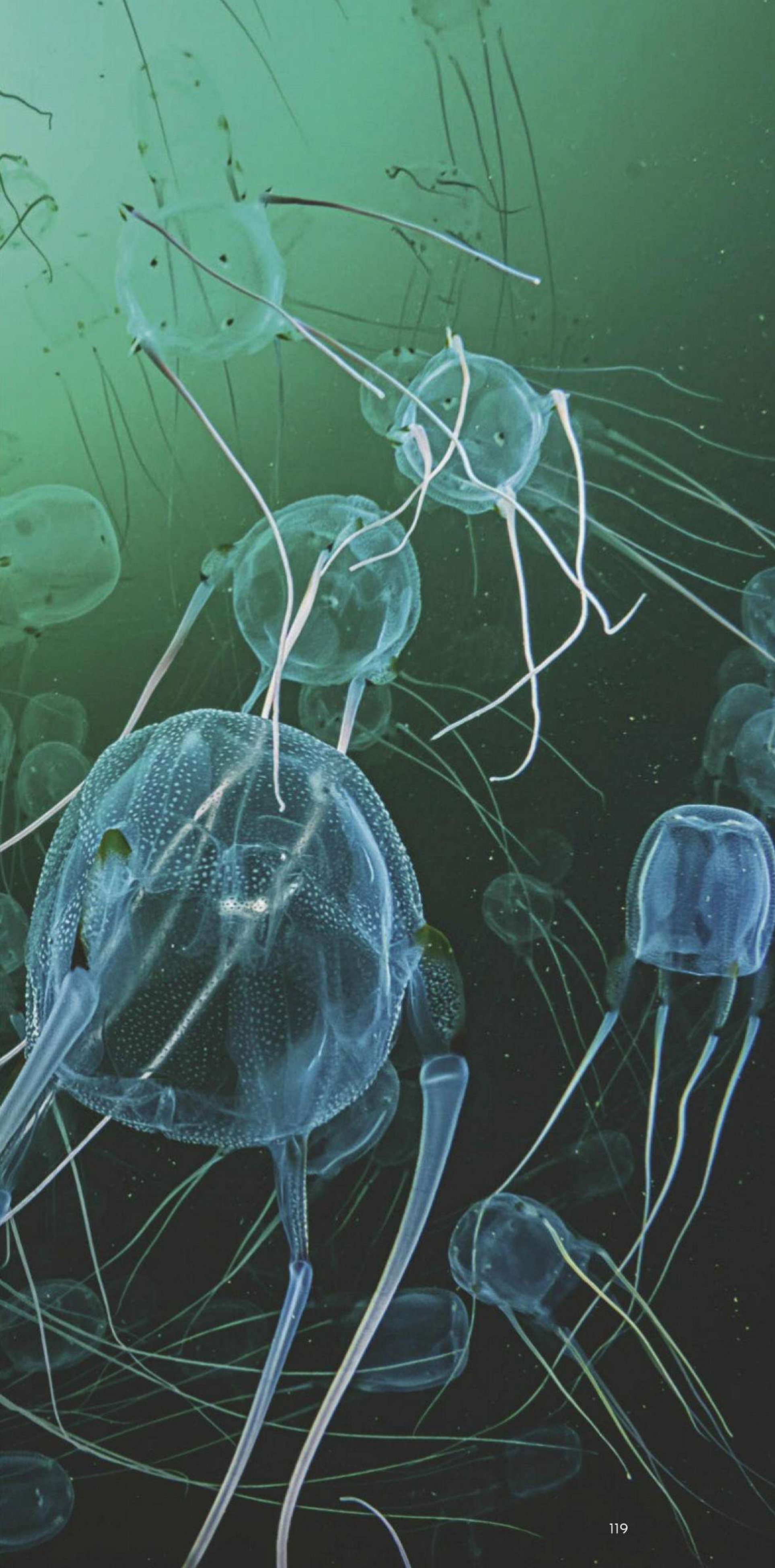
So kam heraus: Einige „Anführer“ aus dem Schwarm dirigieren die anderen mit besonders lichtstarken Blitzen. Sie geben die Richtung vor, in der sich die Gruppe hinaus in den Ozean wagt. Ins Unbekannte.

Wenn man sieht wie ein Fisch,
scheinen die **leuchtenden Hieroglyphen**
auf einmal Sinn zu ergeben

Siegeszug zur See

Text: Anke Sparmann

Wenige Tiere vermögen sich so elegant im Wasser zu bewegen wie Quallen: Schwerelos und **mithilfe erstaunlicher Tricks** haben die grazilen Glibberwesen alle Weltmeere erobert. Nur ein Jäger könnte ihren Vormarsch noch bremsen – der Mensch



Zahllose Würfelquallen kommen vor der Küste Südafrikas in Schwärmen zusammen, um sich miteinander zu paaren (links). Gemeinsam mit Schirmquallen (oben und unten), aus deren Mitte ein Magenstiel ragt, bilden sie eine große Gruppe im Reich der Quallen. Weltweit sind rund 300 Arten beschrieben





Ihr Körper besteht zu 98 Prozent aus Wasser – und scheint robuster als ein Leib aus Knochen

Quallen tanzen

durchs Wasser wie Seifenblasen durch die Luft. Spielerisch, schillernd und scheinbar schwerelos: So haben sie die Welt erobert.

Man findet sie in allen Ozeanen: Der Pazifik spült sie an die Küsten Australiens, sie bevölkern die Buchten karibischer Mangrovenwälder und treiben im offenen Atlantik. Einige Arten leben in der Nordsee, und von dort hat es sie in die flacheren Gefilde der Ostsee verdriftet, wo sie sich zahlreich vermehren. In seichten Küstengewässern fühlen sich die Tiere besonders wohl. Aber es wurden auch schon Exemplare in der Zone der Tiefsee geortet, Tausende Meter unter dem Meeresspiegel.

Kaum eine maritime Nische ohne Quallen, und wo auch immer sie auftauchen, erscheinen die Tiere in großer Zahl. Die Wissenschaft zählt sie zu den häufigsten Bewohnern der Meere: Nach Berechnungen der internationalen Jellyfish Database Initiative wiegen allein die Quallen, die im Epipelagial, der obersten, lichtdurchfluteten Schicht des Meeres schwimmen, 38 Millionen Tonnen.

Doch es gibt noch etwas anderes, was Quallen nahezu exklusiv geschafft haben. Unsterblich zu sein.

Biologen datieren das Entstehen der Klasse auf über 500 Millionen Jahre zurück. Sogar nach erdgeschichtlichen Maßstäben: eine Ewigkeit. Über die Zeit drifteten Kontinente auseinander, Warmzeiten wechselten mit Kaltzeiten ab. Die Vielfalt der Arten explodierte, um wieder zu erlöschen: Fünf Massensterben ereigneten sich in der Periode, 99 Prozent des Lebens auf der Erde radierten sie aus.

Quallen aber konnten sich behaupten.

Ein Körper von der Konsistenz eines Wackelpuddings, zu etwa 98 Prozent aus Wasser bestehend, scheint robuster als ein

Medusen (links die Leuchtqualle) sind fleischfressende Räuber, die sich hauptsächlich Larven, winzige Krebs- oder Rädertierchen einverleiben. Mithilfe ihrer giftigen Nesseln vermögen manche sogar Jagd auf Fische zu machen





Die Jahrmillionen währende Erfolgssträhne scheint nicht abzureißen

Panzer aus Chitin – oder ein Leib aus Fleisch, Blut und Knochen.

Warum ist das so?

Die Wissenschaft schreibt den Quallen phänomenale Fähigkeiten zu. Vermehrung, Verhalten, ihre Art, sich zu bewegen: Im Tierreich, sagen sie, suchten Quallen ihresgleichen. Ja, einige Spezies seien gar in der Lage, die bekannten Gesetze der Natur auszuhebeln.

Die glibberigen Flatschen im Spülsaum also, um die Strandspaziergänger große Bögen laufen – ein frühes Meisterwerk der Evolution?

Quallen zählen zu den Nesseltieren: einfach gebauten, meist marin lebenden Tieren mit giftigen Nesselkapseln. Nahezu 300 Arten sind bislang beschrieben. Ein Großteil gehört zu den Schirmquallen, Scyphozoa. Die Klasse umfasst

Quallen wie aus dem Bilderbuch: eine glockenförmige Gallertmasse, deren Rand fadenförmige Tentakel entspringen und aus deren Unterseite mittig der Magenstiel ragt.

Anatomisch betrachtet simple Wesen. Komplizierter wird es schon, wenn man über sie spricht: Quallen? Medusen? Der zweite Begriff benennt genau genommen nur ein Lebensstadium des Tieres.

Ähnlich wie ein Schmetterling, der sich vom Ei über die Raupe zur Puppe und schließlich zum Falter verwandelt, durchlaufen auch alle Quallenarten verschiedene Stufen der Entwicklung. Diese Metamorphosen gehen mit drastischen Veränderungen des Bauplans einher. Ihre frühen Erforscher glaubten deshalb, sie hätten es bei den einzelnen Entwicklungsstadien mit komplett unterschiedlichen Tieren zu tun. Zumal sich über die Zeit nicht nur das Aussehen



Die Spiegeleiqualle lebt meist nur knapp unter der Oberfläche und kann sich aktiv fortbewegen: Ein Ringmuskel ermöglicht den Rückstoß

Wo immer Quallen auftauchen, erscheinen sie oft in großer Zahl (hier die Palau-Wurzel-mundqualle). Das macht essbare Exemplare zur leichten Beute – so kommt die exotisch anmutende Kronenqualle *Cephea cephea* (unten) in Asien auf den Teller



verändert, sondern auch die Art zu leben: aus sesshaften Organismen werden Vagabunden der Meere und umgekehrt. Noch heute wissen Wissenschaftler wenig darüber zu sagen, wie es gelingt, aus ein und demselben Genom zwei unterschiedliche Daseinsformen zu schöpfen.

Seinen Anfang nimmt ein Quallenleben nicht anders als das vieler anderer Kreaturen: mit dem Verschmelzen von Spermien und Eizellen. In der Regel investieren Männchen und Weibchen wenig Energie in Werbung und Paarungsakt. Sie entlassen ihre Keimzellen schlicht ins Wasser. Mit etwas Glück treffen diese dort aufeinander. Aus dem befruchteten Ei schlüpft dann eine winzige, ovale Larve (Planula). Nach einigen Stunden, manchmal Tagen oder je nach Art sogar Wochen des Schwimmens im freien Meer heftet sich die Planula an ein festes Substrat.

Dort, auf einem Felsen vielleicht oder einem Riff, setzt das wohl bemerkenswerteste Lebensstadium der Qualle ein: ihr Dasein als sesshafter Polyp. Der gleicht einer winzigen Anemone – ein Zylinder mit einer Mundöffnung, umringt von vielen Tentakeln.

Während bei Schmetterlingen aus einer Raupe genau ein Imago entsteht, ist ein Polyp in den meisten Fällen ein potenziell unsterbliches Quallen-Produktionssystem. Je nach Art und Bedingungen bringt er Dutzende Medusen hervor.

Polypen vermehren sich asexuell – und das auf zwei Arten. Zunächst können die kleinen Organismen – bei den Scheibenquallen etwa messen sie ein bis sieben Millimeter Körperhöhe – Klone bilden. Auf diese Weise vervielfacht sich die Polypen-Population innerhalb einer Saison. Ihr Lebensinhalt: fressen. Polypen ernähren sich von Zooplankton, das im Wasser treibt. Unter bestimmten Umweltbedingungen beginnen sie, sich gleichsam in eine Quallenproduktionsstätte zu verwandeln: die Strobila. Der Polyp bildet – vom Kopf- zum Fußende hin fortschreitend – dünne Scheibchen aus. Sie sind geschichtet wie Pfannkuchen auf einem Stapel, nur in der Mitte verbunden – frühe Larvenstadien künftiger Medusen. Als bald beginnt der Polyp, die Scheibchen vom oberen Ende her abzuschneiden und ins Wasser zu entlassen. Strobilation nennen Zoologen den Vorgang. Die Scheibchen entfalten sich zu schneeflockenförmigen Quallenlarven, den Ephyren: eine Art Babyquallen. Innerhalb der folgenden Monate erreichen sie ihre endgültige Anatomie, Größe und Geschlechtsreife.

Und der Polyp? Faszinierenderweise löst er sich – je nach Quallengruppe – am Ende der Strobilation nicht vollständig auf. Er lebt weiter. Selbst wenn sein Körper verletzt wird, Stürme an ihm zerren oder Feinde ihn beknabbern, kann sich ein Polyp wieder regenerieren – und weitere Quallen produzieren. Sofern er nicht vollständig gefressen wird, glauben Forscher, ist ein Polyp unsterblich. Warum?

Die uralte Geschichte vom Werden und Vergehen: Auf Quallen trifft sie offenbar nicht zu. Einige Arten scheinen sogar das Geheimnis ewiger Jugend entdeckt zu haben. Sie sind in der Lage, ihren Lebenszyklus komplett rückgängig zu machen. Zu diesen Spezies gehört beispielsweise

Turritopsis dohrnii. Eine kleine, unscheinbare Qualle, beheimatet im Mittelmeer und vor den Küsten Japans.

Gewöhnlich sterben Medusen nach einer Saison: nachdem sie Eier oder Spermien abgegeben haben. *Turritopsis dohrnii* dreht zu diesem Zeitpunkt gleichsam die Uhr zurück: Zellen ihres äußeren Schirms verjüngen sich quasi, verwandeln sich zurück in bestimmte andere Zelltypen, die sich wiederum zu Polypen entwickeln können – genetisch identisch mit der zellspendenden Meduse, die es nun längst nicht mehr gibt.

Dass sie sich sexuell wie asexuell zahlreich vermehren können, und in kurzer Spanne viele Generationen hervorbringen: für Gerhard Jarms einer der Schlüssel zum ökologischen Erfolg der Quallen. Der Zoologe gilt als einer der führenden Quallenforscher weltweit. „Medusen“, sagt er, „bieten der Evolution durch ständige spontane Mutationen reichlich genetisches Material – und damit Mutanten, von denen einzelne bei eventuellen Veränderungen besser angepasst sein könnten.“

Das Vordringen der Quallen in die Ostsee beispielsweise erklärt Jarms durch den Prozess natürlicher Auslese. Das jüngste Meer der Welt, entstanden nach der letzten Eiszeit vor rund 10 000 Jahren, hat einen geringen Salzgehalt. Viele Meeresarten tolerieren das Milieu nicht. Quallen jedoch passen sich dem Leben im Brackwasser an.

Gerhard Jarms, der Fachwelt als „Dr. Qualle“ bekannt, ist auch der Herausgeber des „World Atlas of Jellyfish“. Das Standardwerk listet und beschreibt die rund um den Globus bekannten Arten in Wort und Bild.

Neben den heute durch die Weltmeere treibenden Spezies hat Jarms auch ihre frühen Vorfahren im Blick. Und zwar in seinem norddeutschen Zuhause. Er schätzt sich glücklich, ein Quallenfossil aus dem Solnhofen Plattenkalk sein Eigen zu nennen. Solche Funde sind ausgesprochen rar, weil sich der wabbelige, leicht vergängliche Quallenkörper anders als Skelette oder harte Schalen eben nur selten in Gestein abgedrückt oder wie in diesem Falle sogar körperlich als Fossil erhalten hat.

Betrachte er die archaischen Formen, sagt Jarms, finde er in Körperbau und Strukturen kaum Unterschiede zu gegenwärtig lebenden Exemplaren. Er schließt daraus auf ein weiteres Erfolgsrezept der Quallen: „Für jedes Problem hatten sie von Beginn an perfekte, einfache Lösungen parat.“

Ebenso simpel wie genial ist etwa ihre Art der Fortbewegung. Zum Manövrieren in ruhigem, strömungsfreiem Wasser – gegen starke Strömungen vermögen sie nicht anzuschwimmen – ziehen sie ihren elastischen Schirm zusammen. Die Kontraktion presst das Wasser aus dem Schirm und bewirkt einen Rückstoß. Ein Ringmuskel genügt, um die Bewegung auszuführen. Während bei Fischen die Muskelmasse rund die Hälfte des Körpergewichts ausmacht, so haben Forscher ausgerechnet, beträgt sie bei Quallen gerade einmal ein Prozent. Das leichte Gepäck spart Kraft. Quallen müssen deshalb im Vergleich zu Fischen viel weniger Energie aufnehmen, beziehungsweise sie können überschüssige Kalorien in die Vermehrung investieren. Zumal die Be-

wegung in der Vertikalen ihren Zweck erfüllt. Auf und ab – nicht anders bewegt sich auch die Masse ihrer Beutetiere.

Quallen sind Fleischfresser. Viele Arten ernähren sich hauptsächlich von Zooplankton. Fischlarven oder winzigen Krebs- und Rädertierchen. Tagsüber tauchen die Zooplankter in die unteren Wasserschichten ab, um sich vor Fressfeinden aus der Luft zu schützen. Dann, mit Einbruch der Dunkelheit steigen sie an die Wasseroberfläche, wo das Sonnenlicht pflanzliches Plankton hat wachsen lassen, von dem sie zehren.

Als Mensch mag man die Bewegungen der Quallen als langsames, planloses Treiben empfinden. Aber die Natur kennt weder den Maßstab Zeit, noch strebt sie Ziele an.

Quallenforscher vermuten, dass die Ursprünge der Quallen im indo-malaiischen Raum zu suchen sind. Dort konzentriert sich bis heute die größte Artenvielfalt. In tropischen Gewässern sind auch bis in die Gegenwart hinein die meisten Angehörigen einer weiteren Ordnung von Medusen verbreitet.

Würfelquallen.

Sie haben fast alles in ihrem Repertoire, was auch Schirmmedusen können – und legen in mancher Hinsicht noch einen drauf. Sie können etwa ihren kompletten Polypen ohne ein Zwischenstadium direkt in eine kleine Meduse verwandeln. Das erhöht die Lebenschance der Babyqualle. Und anders als Scheibenquallen leben viele Würfelquallenarten länger als eine Saison, womöglich gar mehrere Jahre.

Zudem vermögen Würfelquallen – im Gegensatz zu anderen Quallen – als aktive Jäger auch gegen den Strom zu schwimmen: Auf der Suche nach Beute durchkämmen sie systematisch bestimmte Jagdgründe.

Statt mit ihren Rhopalien – so nennt man die Sinnesorgane am Schirmrand von Würfel- und Schirmquallen – nur ihre Position im Raum zu erfassen, grob Hell von Dunkel zu unterscheiden, besitzen Würfelquallen Augen, die ihnen Bilder ihrer Umgebung liefern. Wenn auch nur in Schwarzweiß und eher unscharf.

Wofür Würfelquallen jedoch am bekanntesten sind: Sie können mit dem Gift ihrer Nesseln nicht nur Fische lähmen, um sich die Beute dann einzuverleiben, sondern zudem Feinde abwehren. Manche Arten sind auch für Menschen potenziell tödlich.

Millionen von Nesselzellen sitzen auf den Tentakeln dieser Quallen. Bei Kontakt schleudern sie mit Gift ausgestattete, harpunenähnliche Injektionsschläuche in die Haut des Berührten.

Eines der stärksten unter allen bekannten Toxinen produziert die Würfelqualle *Chironex fleckeri*. Die Seewespe.

Mit ihren bis zu drei Meter langen Tentakeln ist sie unterwegs an der Nordküste Australiens. Auf der Suche nach Fischen schwimmt sie dort ihre Reviere ab, erläutert Ilka Strahler-Pohl, freischaffende Quallenkundlerin, spezialisiert auf Würfelquallen. Und beruft sich dabei auf neuere Studienergebnisse einer australischen Forschungsgruppe.

Die durch ihr Nesselgift verursachten Schmerzen fühlen sich Berichten zufolge an, als bohre sich ein glühendes

Schwert ins Fleisch. Wer überlebt, trägt striemenartige Narben davon – und muss sich doch glücklich schätzen. In vielen Fällen endet die Begegnung tragisch: Ohne medizinische Hilfe führt der Kontakt innerhalb weniger Minuten zum Tod durch Herzversagen oder Atemstillstand.

Immer wieder kommt es an der Nordküste Australiens zu Begegnungen von Menschen und der hochgiftigen Würfelqualle. Laut Ilka Straehler-Pohl: „Unfälle, keine heimtückischen Attacken“.

Die Seewespe lege es nämlich keinesfalls auf einen Angriff auf Menschen an. Vielmehr versuche das Tier Badenden aktiv auszuweichen – wenn es sie denn rechtzeitig erkenne. Schließlich koste die Produktion von Gift viel Energie. Weshalb sollte die Seewespe ihre Kraft an einen Menschen verschleudern? Sie betrachte ihn weder als Feind noch als potenzielle Beute.

Anzeichen, dass die schon Abermillionen Jahre währende Erfolgssträhne der Quallen reißen könnte, gibt es nicht. Im Gegenteil. In Küstengegenden weltweit beobachten Forscher eine Zunahme sogenannter Quallenblüten in Stärke und Frequenz. Wie aus dem Nichts tauchen Medusen in großer Zahl auf. Ob damit allerdings ein globales Wachstum der Populationen einhergeht, ganze Ökosysteme aus der Balance zu geraten drohen, vermag niemand mit Sicherheit zu sagen. Es fehlt an Daten.

Als Ursache für die vermehrten Quallenblüten nennen Meeresbiologen zum einen steigende Temperaturen. In unseren Breiten etwa sind die Winter und Frühjahre wärmer geworden. So wie Vögel früher mit der Brut beginnen, setzt offenbar auch der Vermehrungszyklus der Medusen eher ein. Zudem legen zahlreiche Untersuchungen den Schluss nahe, dass Polypen die Katalysatoren großer Quallenblüten sein könnten.

Küstengegenden sind dicht bewohnt, geschätzte mehr als 600 Millionen Menschen weltweit leben hier.

Doch zersiedelt sind zunehmend nicht allein Landstriche am Meer, sondern die Meere in Landnähe. Piers, Duckdalben, Pontons, Bohrplattformen, Verankerungen einer Offshore-Windanlage: Konstrukte, die Quallen-Polypen buchstäblich Grund bieten, sich anzusiedeln. Hinzu kommt: Plastikmüll. Zellophanhüllen von Zigarettenschachteln,



Getränkeflaschen, Tüten. Auf ihnen bildet sich ein schmieriger Biofilm, auf dem Polypen sich wohlfühlen wie Motten im Licht.

Zählungen ergaben, dass auf diesen künstlichen Oberflächen bis zu 20 Polypen siedeln – pro Quadratzentimeter.

In küstennahen Standorten treibt ihre Nahrung reichlich vorbei. In der Ostsee beispielsweise fördern die Ausschwemmungen von Dünger aus der Landwirtschaft das Algenwachstum. Von dem Grün im Wasser wiederum zehrt Zooplankton – das Futter der Polypen.

Das Gedeihen der Quallen wirft die Frage auf, ob ihr Erfolg auf Kosten anderer Meeresbewohner geht. Oder nicht auch zu deren Wohl beiträgt.

Lange haben Forscher Quallen als eine Art Sackgasse innerhalb der Nahrungskette betrachtet: Nährstoffe, die einmal in einem

Quallenmagen gelandet waren, glaubte man für alle höher in der Nahrungspyramide angesiedelten Tiere verloren. Denn: Wer verleibt sich schon wässriges Gallert ein? Lediglich Meeresschildkröten und eine Handvoll großer Fische wurden dabei beobachtet, Quallen zu fressen.

Inzwischen existieren immer ausgefeiltere Analysemethoden. Mit ihrer Hilfe lässt sich dokumentieren, dass Quallen weitaus mehr Fressfeinde haben als gedacht. Auch in unseren Breiten: Wissenschaftler untersuchten etwa den Mageninhalt Tausender Fische in der Nordsee auf Sequenzen von Quallen-DNS. In etlichen Fällen fanden sie Quallen-Erbgut.

Fischarten wie Scholle, Sprotte, Zwergdorsch oder Hering verleiben sie sich ein, ebenso Tintenfische. Eine gute Nachricht, eigentlich. Ein Gleichgewicht könnte sich einstellen. Wenn, ja wenn die Quallen-Fresser nicht auch auf dem Speiseplan des Menschen stünden – und massenhaft gefischt würden.

Für den Erfolg der Quallen gilt es deshalb neben uralten Strategien einen vergleichsweise neuen Faktor anzuführen.

Uns •

Literaturempfehlung: In »World Atlas of Jellyfish« (Dölling und Galitz) präsentieren die Quallenforscher Gerhard Jarms und André C. Morandini sämtliche rund 270 bislang beschriebenen Arten in voller Pracht.

Alles

Gemeinhin gelten Fische als schweigsame Gesellen. Doch weit gefehlt: Die Meeresbewohner geben vielfältige Laute von sich. Sie brummen und klicken, grunzen, krächzen und pfeifen. Ja, manche der Tiere scheinen gar in Chören zu singen. Bisweilen dringt der rätselhafte Fischsound bis an die Oberfläche

als

Text: Katharina Jakob

andere

Anders als wir haben Fische keine Stimmbänder, daher kommen ihre Laute eher nicht aus dem Mund. Allerdings verursachen manche, wie dieser Papageifisch, Geräusche, wenn sie mit ihren kräftigen Zahnplatten an Korallen knabbern

stumm

A

nfang der 1980er Jahre finden an zwei weit auseinanderliegenden Küstenstreifen höchst kuriose Vorkommnisse statt. In beiden Fällen geht es um unbekannte Klänge aus dem Meer. Zunächst in der Bucht von San Francisco, Kalifornien. Dort reißt ein geheimnisvolles

Brummen Nacht für Nacht die Hausbootbesitzer aus dem Schlaf. Es klingt wie ein Motorboot, das stundenlang nicht vom Fleck kommt. Gerade so, als habe sein Besitzer es am Steg festgemacht und die Maschine laufen lassen. Doch die Ursache des Geräuschs lässt sich nicht ermitteln. Bald wird die Regierung verdächtigt, geheime Unterwassertests zu betreiben. Auch verborgene Radaranlagen sollen für die Ruhestörung verantwortlich sein. Manch einer glaubt gar an Außerirdische. Bloß an ein irdisches Lebewesen denkt niemand.

Etwa zur gleichen Zeit ist in Europa die schwedische Marine in Aufruhr. Immer wieder tauchen vor der Ostküste des Landes sowjetische U-Boote auf, so zumindest vermuten die Militärs. Denn ein Sonar fängt Geräusche auf – wie von feindlichen Unterwasserschiffen, die in schwedische Hoheitsgewässer vordringen. Und zwar in solcher Häufigkeit, dass den Marineoffizieren diese Töne bald ganz vertraut sind. Doch kein einziges

U-Boot wird jemals gesichtet, trotz der zahlreichen akustischen Signale. Es ist, als operiere der Feind unter einer Tarnkappe.

Erst zwei Meeresbiologen finden schließlich des Rätsels Lösung: Die vermeintlichen Sowjetschiffe entpuppen sich als Schwärme von Heringen. Und die pflegen eine bis dahin unbekannte Art der Kommunikation: Sie lassen Luft aus ihrer Schwimmblase durch den Hintern entweichen, was ein knatterndes Geräusch erzeugt. Statt U-Boot-Lauten hatte das Sonar also die Flatulenzen von Fischen aufgefangen. Für das Militär war die Sache derart peinlich, dass die beiden Meeresbiologen ihre Erkenntnisse lange Zeit geheim halten mussten.

Bis heute ist ungeklärt, weshalb sich die Schwarmfische auf diese Art akustisch bemerkbar machen. Sie geben den Laut aus ihrem Hintern beim Auf- und Absteigen von sich, aber offenbar auch in Gefahrensituationen. Vielleicht warnen Schwarmmitglieder einander so vor Raubfischen. Oder die Fische wollen mit aufsteigenden Luftblasen Angreifer irritieren. Es scheint sich jedenfalls um mehr zu handeln als

nur um eine physische Reaktion, vermuten die beiden Wissenschaftler.

Und in der Bucht von San Francisco? Auch hier zeigt sich, dass der Sound aus dem Meer tierischen Ursprungs ist: Es sind männliche Bootsmannfische, die das technisch klingende Brummen produzieren. Der sehr tiefe

Wer einmal in einem Riff unterwegs war, weiß: Dort ist es selten still, ein ständiges Knacken und Knuspern ertönt. Hervorgerufen häufig durch Papageifische, die Korallen abbrechen



Klang kann von manchen Männchen bis zu eine Stunde lang erzeugt werden, ohne Pause. Die Fische werben so um Weibchen, sobald die Balzzeit anbricht. Und je lauter sie brummen, desto größer sind ihre Chancen, dass eine Partnerin sie erhört.

„Stumm wie ein Fisch“ heißt es in unserem Sprachgebrauch. Doch inzwischen ist klar, dass die Flossenträger alles andere als schweigsam sind. Dass sich die Mär so hartnäckig gehalten hat, kann nicht an der Wissenschaft liegen. Schon Aristoteles, der griechische Naturforscher des vierten vorchristlichen Jahrhunderts, berichtete über die Lautäußerungen der Knurrhähne, einer in Europa häufigen Fischart. Im 19. Jahrhundert kamen weitere detaillierte Untersuchungen hinzu, etwa über die wichtigsten Klangbildungsorgane von Fischen oder über die Struktur ihres Gehörs.

Damals sei dieses Wissen weit verbreitet gewesen, sagt Friedrich Ladich, Bioakustiker und Universitätsprofessor aus Wien. Nur Unbelesene hielten Fische für stumm. Dabei ist klar, dass kein anderes Wirbeltier auf der Erde über so viele Variationen verfügt, Klänge zu produzieren. Mit mehr als 33 000 Spezies ist die Klasse der Fische die artenreichste innerhalb der Wirbeltiere.

Fische verständigen sich mit Knurren, Grunzen, Pfeifen, mit Trommeln, Krächzen und Quietschen. Einige bilden sogar Chöre oder spielen mit den Sehnen ihrer Brustflossen wie auf einer Harfe. Zu ihren Kommunikationstechniken gehören zwar auch der Elektrosinn, mit dem sich Nilhechte verständigen, oder ein Farbwechsel der Haut, aber vor allem die akustischen Formen sind besonders vielfältig.

Wie Fische Klänge erzeugen

Wasser ist ein hervorragendes Medium für die akustische Kommunikation. Schallwellen können sich in der Flüssigkeit vier- bis fünfmal so schnell ausbreiten wie in der Luft. Manche Fischarten besitzen gleich mehrere Organe für ihre Klangproduktion und können so Töne unterschiedlicher Frequenzen erschaffen.

Das wohl wichtigste Organ für Fischlaute ist die Schwimmblase. Sie lässt das Tier im Wasser schweben, ist aber auch ein Resonanzkörper, der von sogenannten Trommelmuskeln in Schwingungen versetzt wird. Diese Muskeln können sich ungeheuer schnell zusammenziehen und bis zu 250 Kontraktionen pro Sekunde verursachen.

Schwimmbblasentöne nehmen wir als Brummen oder Knarren wahr, da sie sich meist im niedrigen Frequenzbereich von unter 1000 Hertz abspielen. Für Töne höherer Frequenzen nutzen Fische andere Körperteile, etwa Knochen und Zähne. Rote Piranhas knirschen oder klappern mit ihrem Gebiss, wenn sie andere Fische jagen. Und Friedrich Ladich, der Bioakustiker aus Wien, beschreibt, wie Welse mit einem Brustflossenstachel an ihrem Schultergürtel reiben. Dadurch entsteht ein Knurr- oder Zirplaut, der bis zu 3000 Hertz erreicht – ungefähr der Frequenzbereich, in dem wir Menschen sprechen.

Auch die Knurrenden Guramis – kleine, farbenprächtige Süßwasserfische aus Südostasien – verfügen über ein zweites



Fische erzeugen auf verschiedenerelei Weise Laute: Das wohl wichtigste Organ dafür ist die **Schwimmblase** (hier hellbraun gefärbt). Einerseits dient sie dazu, dass ein Fisch im Wasser tarieren kann. Andererseits bildet sie auch einen **Resonanzkörper**, der von speziellen Muskeln in Schwingung versetzt und damit zum Tönen gebracht werden kann. Schwimmbblasentöne klingen wie ein Brummen oder Knarren. Doch Fische haben noch andere Möglichkeiten, akustisch aktiv zu werden: Für höhere Töne nutzen manche Arten **Knochen, Sehnen oder Zähne**. So klappern etwa Piranhas mit dem Gebiss.

Instrument direkt an ihrem Körper. Sie können Sehnen an der Außenseite ihrer Brustflossen wie Harfensaiten anspannen. Daran zupfen sie beim Vorwärtsschwimmen mit einem Flossenstrahl und erzeugen so einen knurrenden Laut, mit dem sie ihr Revier verteidigen. Auch bei der Balz erklingt der Laut, allerdings geben ihn dann die Weibchen von sich, mit einem leisen „Purr“, das die Männchen zur Paarung bewegen soll.

Sound-Archive aus den Wellen

Auf der Uni-Website von Ladich kann man den Knurrenden Guramis zuhören, der Bioakustiker hat dort ein paar Beispiele von Fischtönen veröffentlicht. Darunter ist auch das Klangrepertoire eines Antennenwelses. Vertreter dieser Familie leben vor allem in den Flüssen Süd- und Mittelamerikas und besitzen eine Eigenart: Will man sie aus dem Wasser heben, wehren sie sich lautstark und auch für Menschen hörbar. Dabei können die Fische verschieden hohe Töne produzieren. Wer auf Ladichs Website die Tonspur des Antennenwelses anklickt, hört ein tiefes »Wupp-wupp«. Es klingt so dumpf, als spräche jemand in einen Flaschenhals. Dann folgt eine hohe, beinahe schrille Lautkaskade, die an Affenkreischen erinnert.

Überhaupt können die Geräusche, die Fische von sich geben, äußerst bizarr sein. Viele Fischkundler haben Sound-Archive angelegt, wie Musikliebhaber, die ihre Plattensammlungen pflegen. Der US-Meeresbiologe Rodney Rountree hat

es im Lauf der Jahrzehnte zu einer beträchtlichen Kollektion an Grunz-, Knarr- und Schnatterlauten gebracht. Rountree war Professor an der University of Massachusetts und geht mit Unterwassermikrofonen auf Stimmenfang. Und was sich da an Klängen in seinem Archiv tummelt, bringt man nur schwer mit Fischen in Verbindung.


Das Rufen des Golf-Krötenfisches etwa, eines Verwandten des brummenden Bootsmannfisches, hört sich an wie die gequetschte Hupe eines Oldtimers. Der Northern Puffer hingegen – ein Angehöriger der giftigen Kugelfischfamilie – klingt wie ein Blasebalg, mit dem eine Luftmatratze aufgepumpt wird. Und die Paarungsrufe einer karibischen Umberfisch-Art lassen an eine Rote Wildschweine denken, die aufgeregt durcheinandergrunzt. Mit einem Schalldruck von mehr als 150 Dezibel erzeugen Umberfische eines der lautesten Geräusche, die von Fischen bekannt sind. An Land wären sie vergleichbar mit Gewehrschüssen in allernächster Nähe. Unter Wasser relativiert sich der Radau allerdings ein wenig.

Wie Kabeljau und Co. hören

Fische haben keine sichtbaren Ohren. Wie aber nehmen sie Laute wahr? „Außenohren mit Gehörgang, Trommelfell oder gar Ohrmuscheln fehlen ihnen komplett“, sagt Friedrich Ladich. In seinem Labor testet er die Hörfähigkeit von Fischen mithilfe von akustisch hervorgerufenen Potenzialen. Mit dieser Methode werden Veränderungen der Hirnströme erfasst, die durch ein Schallereignis hervorgerufen wurden.

Doch gleich um welche Art es sich handelt: Alle Fische hören zunächst mit den Innenohren, die im Kopf hinter den Augen sitzen. Vereinfacht gesagt, nehmen die meisten Fische Schallwellen mithilfe von Steinchen, die im Wesentlichen aus Kalk bestehen, wahr, die in ihren Innenohren auf Sinneszellen liegen. Weil der Fischkörper in etwa dieselbe Dichte hat wie das ihn umgebende Wasser, bringen Schallwellen den ganzen Fisch zum Schwingen. Doch die Steinchen in den Innenohren vibrieren – aufgrund ihrer höheren Dichte – mit einiger Verzögerung. Das wiederum löst einen Hörreiz in den Sinneszellen aus, auf denen sie liegen.

Dieser Mechanismus ist gewissermaßen die Grundausrüstung des Hörens, über die fast alle Fischarten verfügen. Damit können sie niederfrequente Töne von einigen Hundert Hertz hören. „Interessanterweise“, sagt Ladich, „genügte vielen Fischarten dieses limitierte Hörvermögen nicht.“ Sie haben noch zusätzliche Hörapparate entwickelt – Extraorgane, um ein breiteres Spektrum wahrnehmen zu können.



Manche Heringsarten lassen zuweilen Luft aus ihrer Schwimmblase durch den Hintern entweichen, sodass es knattert. Möglich, dass die Schwarmfische dadurch einander vor Räubern warnen

Manche Spezies wie einige Heringsarten hören dadurch auch Ultraschall und vernehmen so die Klicklaute von Delfinen, die Jagd auf sie machen. Andere empfangen das entgegengesetzte Spektrum, den extrem tiefen Infraschall.

Derart empfindliche Ohren sind durch menschengemachten Lärm gefährdet. Schiffslärm oder Druckluftkanonen, die bei der Ölsuche zum Einsatz kommen, schädigen die feinen Sinneszellen. Was dazu führt, dass die Kommunikation der Fische gestört wird. Sie hören sich



gegenseitig schlechter, nehmen Gefahren zu spät wahr und reagieren auf den Umgebungslärm mit deutlich erhöhtem Ausstoß von Stresshormonen.

Wie wichtig der Hörsinn für Fische ist, zeigt sich in der Welt der Korallenriffe. Viele Fische, die diese üppig-bunten Habitate bevölkern, wachsen dort nicht auf. Im Larvenstadium treiben sie zunächst durchs offene Meer und suchen sich später als Jungtiere ihren Platz im Riff. Dabei lassen sie sich unter anderem von ihren Ohren leiten. Denn ob ein Riff intakt ist, das kann man (auch als Schnorchler oder Taucher) hören: Dort knistert es und knarrt unentwegt. Eine so leben-

dige Klangkulisse wirkt wie ein Magnet auf Jungfische, die auf der Suche nach einer Heimat sind.

Akustische Hilfe für Riffe?

Doch Korallenriffe sind empfindliche Biotope und durch die fortschreitende Erderhitzung bereits stark geschädigt. Im australischen Great Barrier Reef sind die meisten Korallen abgestorben – die einstmals blühenden Unterwasserparadiese gleichen vielerorts verlassenen Geisterstädten, nur hin und wieder flitzt ein Fisch durch die bleichen Korallenblöcke. Damit Riffe sich wieder erholen können, sind Fische



Die Laute, die einige Kugelfische von sich geben, erinnern an einen Blasebalg, mit dem eine Luftmatratze aufgepumpt wird

enorm wichtig. Die Tiere fressen Algen, reinigen die Korallen und fördern so deren natürliche Regeneration. Aber in einer lautlosen Ödnis siedeln sich Jungfische eben nicht an.

Die Meeresbiologen Tim Gordon und Steve Simpson von der University of Exeter suchten nach einer Methode, Fische in zerstörte Riffe zu lotsen. Und sie fanden ein bestechend einfaches, aber höchst effektives Mittel: die Akustik. Im australischen Sommer 2017 installierten Gordon, Simpson und ihr Team Lautsprecher in mehreren Korallenriffen des nördlichen Great Barrier Reef, die von Korallenbleiche betroffen waren. Aus den Boxen drang die Geräuschkulisse eines gesunden Riffs, all der Lärm also, den Krabben, Fische und andere Wesen dort von sich geben. Zur Kontrolle stellten die Forscher in weiteren Riffen Lautsprecher-Dummys auf, die stumm blieben, und beobachteten Areale, die unangetastet waren.

Innerhalb der 40-tägigen Untersuchungsperiode kam Leben in die Ödnis. Wo das Riff klang, als herrschte in ihm das pralle Leben, ließen sich bereits in den ersten Tagen des Experiments junge Riffbarsche blicken. Viel schneller und zahlreicher als in den stillen Arealen. Ihre Zahl wuchs stetig, und am Ende des Studienzeitraums hielten sich doppelt so viele Fische in den beschallten Riffen auf wie in den Kontrollgebieten. Darunter nicht nur die Riffbarsch-Pioniere,

sondern auch Populationen anderer Arten, was die Wissenschaftler als „Schneeball-Effekt“ bezeichneten. Denn: Wo sich Fische niederlassen, da wollen auch andere Fische leben.

Die Ergebnisse dieser Studie stimmen zwar optimistisch, sollten aber mit Vorsicht betrachtet werden. Es war die erste Arbeit dieser Art. Ob die Fische auch auf Dauer bleiben, muss sich erst noch erweisen.

Chöre unter Wasser

Doch welche verblüffenden Klangwelten sich in intakten Korallenriffen verbergen können, hatten australische Wissenschaftler bereits kurz zuvor entdeckt. Sie wurden Ohrenzeugen von Chorgesängen, die von Korallenfischen stammten. Die Forscher vom Centre for Marine Science and Technology in Perth belauschten mehrere Fisch-Chöre und zeichneten deren Gesänge über lange Zeitspannen auf, an der westaustralischen Küste und in diversen Riffen des Great Barrier Reef. In allen Arealen setzten die Wissenschaftler Unterwassermikrofone ein. Und stellten fest, dass die Chöre vor allem zur Laichzeit aktiv waren. An der Westküste ließen sich sieben verschiedene Chorgruppen identifizieren, im Great Barrier Reef waren es sechs.



Intakte Riffe unterscheiden sich nicht nur optisch von geschädigten. Dort, wo noch viele Fischarten leben, herrscht eine unentwegte und äußerst vielschichtige Soundkulisse

In der Laichsaison treffen in den Korallenriffen zahlreiche Fischarten aufeinander. Kollektiver Gesang spielt bei solchen Großversammlungen offenbar eine wichtige Rolle. Er hilft den verschiedenen Spezies, sich zu erkennen und im Riff zu orientieren, regt aber auch die Paarungsbereitschaft an. Die Korallenfisch-Chöre nutzen für ihren Gesang verschiedene Klangmuster. Manche erinnern an melodische Nebelhörner, die sanft an- und abschwellen, andere eher an kollektives Gurren.

Am Great Barrier Reef stellte sich heraus, dass die Chöre stark von der Tageszeit abhängig waren. Fünf der sechs Gruppen starteten ihre Konzerte vor allem nach Sonnenuntergang, nur eine sang lieber bei Tag. Das ließ die Forscher vermuten, dass sich hauptsächlich nachtaktive Korallenfische zum Singen zusammenfinden. Ein Chor bewies enorme Ausdauer: Er trällerte konstant elf bis zwölf Stunden am Stück.

Eine weitere Eigenart, die die australischen Forscher an den Chören entdeckten, könnte sich vielleicht als bedeutsam erweisen für die Regeneration geschädigter Riffe: Die Chormitglieder erwiesen sich als überaus standorttreu. Die meisten Sänger am Great Barrier Reef hielten sich stets in denselben Arealen auf. Entweder sind sie dort heimisch, oder sie kehren zumindest zur Laichzeit immer wieder an die gleiche Stelle zurück.

Für die Lautsprechermethode von Gordon und Simpson wäre das eine gute Botschaft.



STOP TALKING. START PLANTING.

Die Klimakrise ist ein Wettlauf gegen die Zeit. Aber es gibt etwas, was uns wertvolle Zeit verschafft um Emissionen zu reduzieren: Bäume. **Willi Weitzel** hat gerade 1000 Bäume gepflanzt. Pflanz mit – mit einem Klick.

plant-for-the-planet.org



Bizarre Geschöpfe der Finsternis

Text: **Christopher Piltz**

Fotos: **Solvin Zankl**

Fische mit furchterregenden Zähnen, transparente Flohkrebse, fleischfressende Anemonen: Sonderbare Wesen bevölkern in der Tiefsee einen Lebensraum, der größer ist als alle Kontinente zusammen. Meeresbiologen beginnen erst, das **unbekannte Reich** zu erforschen, während die Fischerei dort schon Beute wittert

FANGZAHNFISCH

Seine langen Zähne hat der Räuber nicht ohne Grund: Beutetiere sind Mangelware, und so muss der erste Fangversuch sitzen





WEICHKIEFERKRAKE

Die nur wenige Zentimeter großen Tiere tauchen zur Paarung bis in Tiefen von 1400 Metern hinab

Das schönste Feuerwerk seines Lebens, sagt Bruce Robison, habe er unter Wasser erlebt, in 300 Meter Tiefe: Manchmal zogen rote Bälle an ihm vorbei. Er sah bläuliche Blitze aufleuchten, Flammenbälle bersten und Lichtkegel explosionsartig emporsteigen. Funken strahlten grell wie Neonlicht.

Ein Schauspiel in völliger Stille, ein Spektakel im größten Lebensraum unseres Planeten: in der Tiefsee.

In seinem kleinen U-Boot fühlte der Meeresbiologe Bruce Robison sich wie ein einsamer Zuschauer, der der Aufführung eines Meisterwerks der Natur beiwohnt. Mal wurden Fressfeinde abgeschreckt. Mal Sexualpartner herbeigelockt. Beute

Das Leben der Tiefseebewohner beruht auf einem Geniestreich der Evolution

wurde geködert. Ein Artgenosse gesucht. Hundertfaches Töten und Jagen und Lieben und Fürchten, die Tragik des Lebens, direkt vor seinen Augen. Und alles erleuchtet.

In ewiger Dunkelheit tief unten im Meer leben Abermilliarden von Tieren: Krebse, Borstenwürmer, Tintenfische, Anglerfische, Quallen, Drachenfische und Pfeilwürmer. Ihnen bleiben meist nur Lichtzeichen, um zu kommunizieren. Ihr Leben basiert auf einem Geniestreich der Natur, der Biolumineszenz (siehe Seite 108). Die Tiere leuchten mithilfe symbiontischer Bakterien oder erzeugen das Licht selbst, als Ergebnis einer chemischen Reaktion in ihrem Körper.



FLOHKREBS Je tiefer man diese Spezies antrifft, desto größer sind die Tiere: Bis zu 15 Zentimeter messen manche Exemplare – 7800 Meter unter der Oberfläche

KALTWASSER-KORALLE
Noch in 3000 Meter Tiefe kann diese weiße Koralle Riffe bilden



TIEFSEEDORSCH
In allen Ozeanen kommt der schlanke Schwimmer vor – bevorzugt am Meeresgrund

Bruce Robison, Mitte 70, forscht seit fünf Jahrzehnten über die Tiefsee. Der Amerikaner arbeitet am Monterey Bay Aquarium Research Institute an der kalifornischen Pazifikküste. Direkt vor der Tür des Instituts, in der Monterey-Bucht, fällt der Meeresboden ab in die Tiefe. Ein Canyon öffnet sich. Fast vier Kilometer tief erstreckt er sich, und er gleicht einer Miniaturausgabe der Tiefsee. Für die Wissenschaftler ist das ein Glücksfall.

S

So wie ein Wald in einzelne Stockwerke gegliedert ist – die Bodenschicht, die Moos- und die Krautschicht, die Strauch- und die Baumschicht –, so ist auch das freie Wasser der Ozeane in verschiedene horizontale Zonen aufgeteilt.

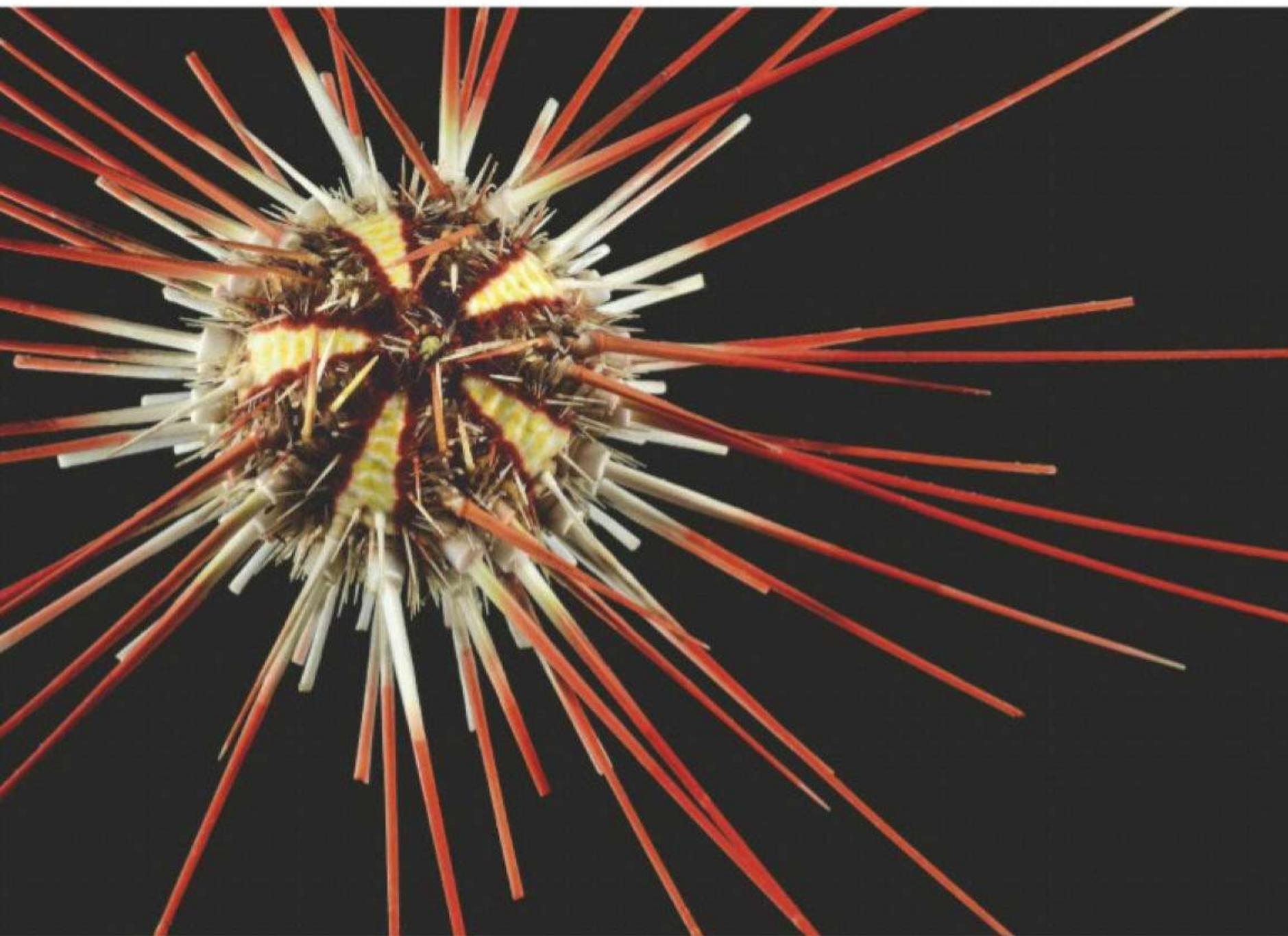
Oben beginnt die marine Welt mit dem „Epipelagial“: Planktonalgen ziehen hier Energie aus der Sonnenstrahlung und geben sie ans tierische Plankton weiter. Die meisten Speisefische sind in dieser Zone beheimatet, Kabeljaue, Heringe, Makrelen.

In 200 Meter Tiefe haben sich 99 Prozent des Sonnenlichts in den Wassermassen verloren. Die Dämmerzone öffnet sich, das „Mesopelagial“; diese Schicht reicht etwa einen Kilometer tief, ab dort beginnt die Tiefsee.

In ihr ist nun auch der letzte Sonnenstrahl verschwunden, und das Leben verliert sich in ewiger Dunkelheit, in Meeresschichten mit Namen, die klingen, als entstammten sie antiken Dramen: Bathypelagial, Abyssopelagial, Hadopelagial.

Der britische Naturforscher Edward Forbes hatte im Jahr 1843 Leben unterhalb von 550 Metern noch ausgeschlossen. Die Bedingungen in tiefer liegenden Meeresschichten seien zu extrem, zu unwirtlich für mannigfaltiges Leben, so schien es damals.

Mit zunehmender Tiefe nimmt die Wassertemperatur ab; sie liegt im oberen Mesopelagial bei fünf bis sechs Grad Celsius, unterhalb von 3000 bis 4000 Metern bei drei bis null Grad. In einem Kilo-



SEEIGEL Dem gefährvollen Leben am Meeresgrund trotzen die Stachelhäuter mit einer erstaunlichen Regenerationsfähigkeit: Teils können sie zerstörte Panzerteile ersetzen



FLOHKREBS Zwei seiner vier Augen spähen durch den transparenten Körper

meter Tiefe lasten 100 Kilogramm auf jedem Quadratzentimeter eines Körpers; der Druck ist so stark, ein Mensch würde nach Bruchteilen einer Sekunde zerquetscht werden.

Zu unwirtlich für Leben? Wie Forbes sich irren sollte.

Die Biomasse an Tieren aus allen Schichten der Tiefsee übersteigt das Gewicht aller Zugvögel des Planeten. Aller Wildtiere der afrikanischen Savannen. Vermutlich gar die Biomasse aller Tiere aller Kontinente der Erde.

Allein zehn Milliarden Tonnen Gewicht dürften Schätzungen zufolge die Fische auf die Waage bringen, die im Mesopelagial leben, also in der von 200 bis 1000 Meter Tiefe reichenden Dämmerzone im Ozean. Genau dieses Reich der Mitte war es, das Robison von Beginn seiner Forscherkarriere an faszinierte.

Als er begann, da erlebte er das Meer meist von einem Forschungsschiff aus. Er tauchte Netze ins Wasser, schöpfte Laterenfische, Quallen, Tintenfische an Bord. Ihn faszinierte jeder Fang, aber es störte ihn, mehrere Hundert Meter entfernt vom Lebensraum der Tiere zu sein. Er

sagt, kein Wüstenforscher käme auf die Idee, aus einem Helikopter heraus mit einer Pinzette zu arbeiten. Kein Wissenschaftler, nur einige Blätter aus dem Regenwald zu picken und damit das ganze Amazonasgebiet erklären zu wollen.

Robison wollte dort hinab.

A

Als einer der ersten Tiefseeforscher machte er einen U-Boot-Führerschein. In den folgenden Jahren setzten viele seiner Kollegen alles daran, immer wieder bis zum Grund des Meeres vorzudringen. Je tiefer, desto extremer, so dachten sie.

Robison jedoch entschloss sich, auf halbem Wege stehen zu bleiben. Er sagt, es sei viel schwieriger, mitten in der Wassersäule zu verharren, als über dem Meeresboden zu schweben. Wenn alle Kräfte an dem U-Boot zerren, man nach oben gedrückt wird und nach unten, nach vorn und hinten, so lange, bis man nicht mehr weiß, was das eigentlich ist: oben und unten und vorn und hinten.

Robison entwickelte mit Ingenieuren ferngesteuerte Tauchroboter und machte für die Offshore-Ölindustrie konzipierte U-Boote forschungstauglich. Etwa „Deep Rover“, das den Piloten mit einer Acrylglaskugel schützt und so an einen Helikopter erinnert. Mit dessen Hilfe schaffte

**Die Biomasse
der Tiere aus der
Tiefsee
übertrifft wohl
die aller
Landtiere**

BEILFISCH

Seine übergroßen Augen sind eine Anpassung an den Lichtmangel in der Dämmerzone





RINGELWURM

Dieser Vielborster
lebt in Symbiose mit einer
Kaltwasserkoralle

Robison es, unter Wasser auf der Stelle zu verweilen, mitten in der Dämmerzone des Mesopelagial. Gewaltige Staatsquallen zogen im Lichtkegel des Tauchboots an ihm vorbei, 40 Meter lang. Er sah riesige Kalmare und Fische, die aussahen, als besäßen sie Schnäbel. Andere Tintenfische leuchteten in prallem Rot wie eine Erdbeere. Dann löschte er alle Lampen in seiner Kabine. Dimmte die Bildschirme. Und die Vorstellung begann.

Die orangeroten Kronenquallen waren plötzlich übersät von einem pulsierenden blauen Sternenhimmel und umgaben sich mit einem Leuchtschleier. Ein zarter transparenter Borstenwurm stieß gelbgrüne Leuchtwolken aus. Drachen-, Beil- und Vipernfische knipsten Reihen von blauen Leuchtorganen an. Wie inmitten eines Universums von glühenden Galaxien schwebte der Tauchapparat in Kalmarschwärmen.

Robison erkannte, wie oberflächlich seine Forschung gewesen war, bevor er in die Tiefen des Mesopelagial hinabtauchte. Dort unten, sagt Robison, ist mehr, als wir uns vorstellen können.

Manche Fachleute

sehen in den

Fischen

der Finsternis

unerschlossene

Nahrungsquellen

Zwei Drittel unseres Planeten sind mit Wasser bedeckt. Das Meer ist im Schnitt 3700 Meter tief. Ein unfassbar riesiger Kosmos. Im Rahmen einer der größten Tierzählungen der Weltmeere, des „Census of Marine Life“, versuchten Forscher sich zehn Jahre lang einen Überblick zu verschaffen, welches Leben die Ozeane bergen. Mehr als 2000 Wissenschaftler aus 82 Nationen waren beteiligt, der Zensus kostete über 600 Millionen Dollar. Als das Projekt im Jahr 2010 endete, waren zwar mehrere Tausend neue Arten entdeckt. Aber weiterhin gelten nur wenige Prozent des Meeres als erforscht.

W

Währenddessen versuchen Fischereifloten, immer neue Fanggründe zu erschließen. Jüngstes Ziel: die Zwischenwelt des

MEERESSCHNECKE
Ihre Raspelzunge,
in der kleine Zähnchen
verankert sind, beför-
dert planktische
Weichtiere ins Innere



VENUSFLIEGENFALLEN-ANEMONE Die fleischfressende Spezies lebt auf unter-
seeischen Bergen und vermag vorbeitreibende winzige Organismen festzuhalten

**PEITSCHEN-
NASEN-ANGLER**
Ein exponiertes
Leuchtorgan
dient ihm als
Beuteattrappe
bei der Jagd



Mesopelagials. Diverse Länder haben in den vergangenen Jahren Fanglizenzen für diese Meereszone ausgegeben, darunter Island, Pakistan, Südafrika. Allein Norwegen händigte im Jahr 2017 etwa 50 neue Lizenzen aus. Kein Trawler fischt bislang in kommerziellem Stil in der Tiefsee. Die norwegische Fischereibehörde betont, Ziel sei es, das Wissen über die Tiefseefische zu erweitern. Aber Meeresschützer fürchten, den Start eines fatalen Wettlaufs mitzuerleben.

Die FAO, die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen, versucht seit 40 Jahren das Potenzial der Tiefsee zu ergründen. Bislang waren die Fangtechniken zu kostspielig. Die wenigsten Fische der Tiefsee leben in Schwärmen, oftmals sind nur wenige Individuen auf einem Kubikkilometer zu finden. Fangschiffe müssten gigantische Netze hinter sich herziehen, das verbraucht viel Kraftstoff, und die Gefahr, unliebsamen Beifang zu sammeln, ist groß.

M

Manche Fachleute halten dagegen, die Fanggründe zu erweitern sei ein unausweichlicher Schritt. Die Weltbevölkerung wachse rasant. Es müssten neue Proteinquellen erschlossen werden. Beim North



SEEGURKE Diese skurrile, artenreiche Organismengruppe bevölkert als Sedimentfresser die Tiefseeböden fast aller Ozeane und zeigt eine große Formenvielfalt

Atlantic Seafood Forum, einer der größten jährlichen Konferenzen der Fischindustrie, stand 2018 zum ersten Mal eine Veranstaltung auf dem Programm, bei der über Fischerei in der Mesopelagial-Zone diskutiert wurde.

Aber lassen sich die Ernährungsprobleme der Welt überhaupt mit Fischen aus der Tiefsee lösen?

Eines der entscheidenden Probleme: Die meisten Fische aus den dunklen Meereszonen eignen sich nicht für den menschlichen Verzehr. Die Fangflotten

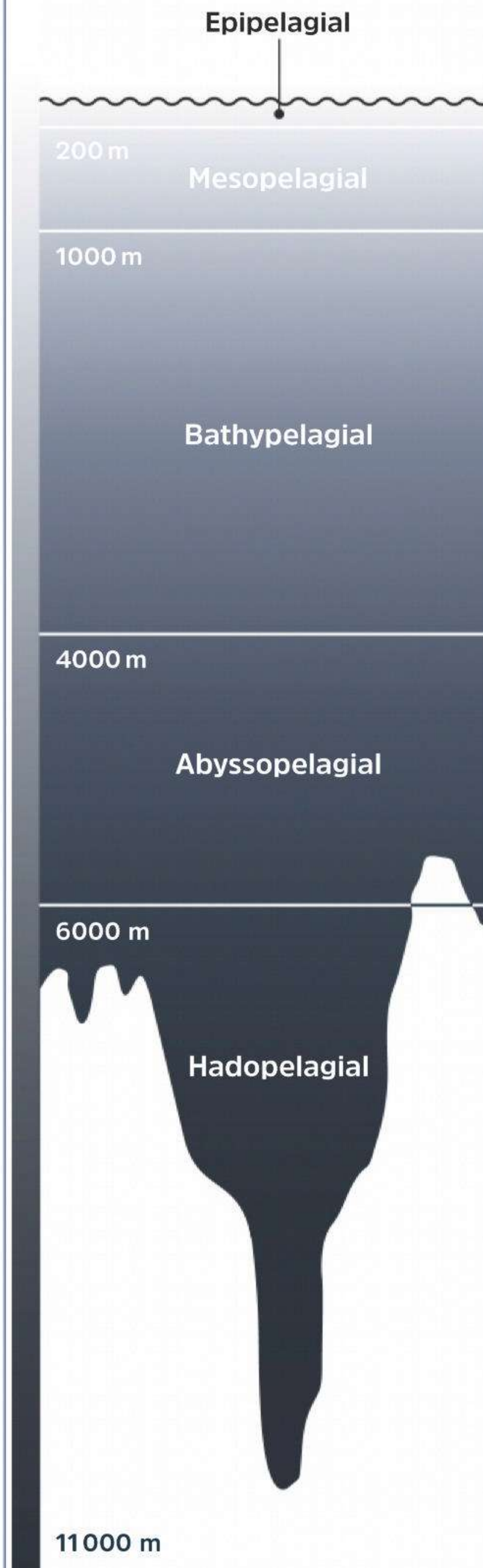


haben es auf kleine Fische abgesehen, etwa Laternenfische. Aus ihnen lassen sich Fischöl und Fischmehl erzeugen. Und diese Produkte wiederum können als Nahrung für Fischfarmen genutzt werden; für Doraden und Wolfsbarsche aus dem Mittelmeer, Steinbutt, Lachs aus Norwegen.

„Viele sehen nur die riesige Biomasse und bekommen Dollarzeichen in den Augen“, sagt Rainer Froese, Fischereiexperte am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel. Er berät Regie-

TIEFSEE- ANGLERFISCH

Nur die Weibchen besitzen scharfe Zähne und eine »Angel« mit »Köder«, um andere Fische anzulocken



DIE ETAGEN DER WELTMEERE

Meeresforscher unterteilen die offene See in Schichten: Das Epipelagial ist lichtdurchflutet, bis ins Mesopelagial ab 200 Meter Tiefe dringt nur noch ein Prozent des Sonnenlichts. Darunter ist es vollkommen dunkel

rungen und das EU-Parlament, wenn neue Fangquoten für Europas Gewässer beschlossen werden sollen. Dass Fischfarmen die Welt ernähren könnten, sei ein Irrglaube, sagt Froese. Zuchtfische seien ein Luxusprodukt, keine Massenware für den Planeten. „Niemand kann ernsthaft glauben, dass Lachs aus Norwegen Menschen im Sudan sättigt“, sagt er. „Das ist Nahrung für den wohlhabenden Norden.“

A

Auch Robison klingt besorgt, wenn er von den Plänen der Fischereibranche hört: Die Folgen seien nicht abzusehen. Viele Fische, die im Mesopelagial leben, dienen Raubfischen als Nahrung, Haien, Thunfischen, Marlinen. Ihnen würde die Lebensgrundlage entzogen, sollte der Mensch sich immer tiefer hinabbegeben in der marinen Nahrungskette. Robison: „Das ist, als würde man das Gras der Savanne mähen. Und sich dann wundern, wenn Antilopen und Löwen und Elefanten und Zebras sterben.“

Er versucht, gegenzuhalten. Zu beweisen, wie wichtig das Mesopelagial ist. In den Meeren findet jede Nacht eine Massenwanderung statt, es ist die größte Migration des Planeten. Im Schutz der Dunkelheit verlassen Milliarden Fische, Krebse, Quallen und andere Räuber ihren Lebensraum im Mesopelagial, um an der Wasseroberfläche Nahrung zu finden (siehe Seite 100).

Bruce Robison will verstehen, wie die nächtliche große Wanderung funktioniert. Wie die Massen sich sammeln, sich orientieren, zeitgleich gen Oberfläche strömen. Und er möchte es sehen – auf einem Bildschirm. Deshalb hat er „Mesobot“ gebaut: Das unbemannte Unterwasserfahrzeug hat in etwa die Form eines übergroßen Seifenstückes und ist nicht durch ein Kabel mit einem Forschungsschiff verbunden, sondern kann sich autonom bewegen. Um etwa den Fischen bei ihrer Nachtwanderung zu folgen. Vielleicht hilft es, weitere Rätsel zu lösen, die der Ozean birgt.

Von singenden **Wal**en und **Muscheln** auf Rekordkurs

Der Ozean ist ein rätselhaft verborgener Kosmos, der uns das Staunen lehrt. Erst recht, wenn man einige seiner Phänomene und Eigenschaften in Zahlen fasst

Abgenagt

Gelegentlich sinkt ein toter Wal auf den Grund der Tiefsee. Dort macht sich eine Heerschar von Lebewesen über den Kadaver her: Rund **12 000 Tiere** fanden Wissenschaftler an den Überresten eines einzigen Wals – **43 Arten** insgesamt. Bis das gesamte Fleisch eines Blauwals von den Knochen entfernt ist, können **11 Jahre** vergehen. Später zersetzen Bakterien die Knochen, Sulfide werden frei, von denen sich Krebstiere, Napfschnecken und Muscheln ernähren.

Erhitzt

Das heißeste Wasser der Erde findet sich im Atlantik: Bei einer Temperatur von **418 Grad Celsius** strömt es aus einem Schwarzen Raucher mehr als **3 Kilometer** unter der Wasseroberfläche. Dass das Wasser nicht verdampft, liegt an dem hohen Druck in dieser Tiefe.

Belebt

Weniger als **1 %** des Meeresbodens ist von Korallenriffen bedeckt. Trotzdem leben dort **25 %** aller Meeresspezies.

Verdriftet

1000 Jahre dauert es, bis Meerwasser einmal um die Welt gereist ist – auf dem »globalen Förderband«, dem System aus Meeresströmungen, das die Erde umspannt.

Versammelt

38 000 verschiedene Mikrobenarten finden sich allein in einem Liter Meerwasser.

Verborgen

Schätzungsweise **91 %** aller Lebensformen im Meer kennen wir noch nicht.

Angestimmt

Wale erzeugen die längsten, kompliziertesten Klangfolgen unter den Tieren. Jedes »Lied« kann bis zu **30 Minuten** dauern und wird von kilometerweit entfernten Artgenossen gehört.

Getrotzt

Dank eines natürlichen Frostschutzmittels in seinem Blut kann der Scotia-See-Eisfisch auch im eiskalten Wasser der Antarktis bei **minus 2 Grad Celsius** überleben.

Gekentert

Am Meeresgrund liegen etwa **3 Millionen** Schiffswracks.

Überragt

Der höchste Berg der Erde ist nicht der Mount Everest, sondern der Mauna Kea auf Hawaii. Zwar ragt er nur gut **4000 Meter** aus dem Ozean, doch rechnet man den Teil unter dem Meeresspiegel hinzu, ist er über **10 000 Meter** hoch.

Abgetaucht

Erst **8 Menschen** haben den tiefsten Punkt der Erde erreicht – darunter der Titanic-Regisseur James Cameron. Auf dem Mond standen hingegen schon **12 Astronauten**.

Entfesselt

Das Erdbeben, das 2011 den Tohoku-Tsunami in Japan auslöste, setzte etwa die **144 000-fache Energie** der Atombombe von Hiroshima frei.

Gewuchert

Die Stängel des Riesentangs können bis zu **50 Zentimeter** pro Tag wachsen und mehr als **30 Meter** lang werden.

Gejagt

Mehr als **100 Mio.** Haie werden weltweit wegen ihres Fleisches, der Flossen, des Lebertrans und der Haut getötet.

Vermessen

Das Meer hat ein Volumen von **1,332 Milliarden** Kubikkilometern. Damit macht es **99 %** allen bewohnbaren Raums und **95 %** der belebten Biosphäre auf der Erde aus.

Abgebrochen

295 km lang und **37 km** breit war der größte Eisberg, der im Südpolarmeer je beobachtet wurde.

Vermehrt

Eine große Muschel kann innerhalb von **20 Minuten** **50 Millionen** Eier entlassen.

Verortet

Der abgeschiedenste Ort der Erde heißt Point Nemo. Er liegt im Pazifik zwischen Chile und Neuseeland, und ist **2688 km** vom nächsten Land entfernt. Weil er so isoliert liegt, nutzen NASA und Co. ihn gern als »Raumschiffriedhof«: Sie lassen viele ihrer ausgedienten Satelliten und Raketen hier ins Meer stürzen.

Verwandelt

Insgesamt verdunsten jährlich **434 000 000 000 000 000 Liter** (434 000 Kubikkilometer) Wasser aus den Ozeanen. Davon fallen **398 000 Kubikkilometer** wieder als Niederschläge (Regen, Schnee, Graupel und Hagel) ins Meer. Der Rest wird in Form von Wolken und Luftfeuchtigkeit ins Binnenland transportiert.

WOHLLEBENS WELT

Freude am
Gärtnern

Von blühenden Paradiesen

Wer einen Garten sein Eigen nennt, kann mit einfachen Maßnahmen einen Ort erschaffen, der die Wildnis vor die Haustür holt. Jetzt, im Frühling, macht es besonders viel Spaß, der Natur genügend Raum zu geben, sich zu entfalten. WOHLLEBENS WELT lädt ein zu spannenden Entdeckungen und Abenteuern: zum Birdwatching etwa – einem Hobby, das Glücksmomente bereithält. Oder zur Erkundung von Lebewesen im Boden: einem riesigen Ökosystem unter unseren Füßen. Oder zur Wildwasserfahrt – mitten im Ruhrpott.

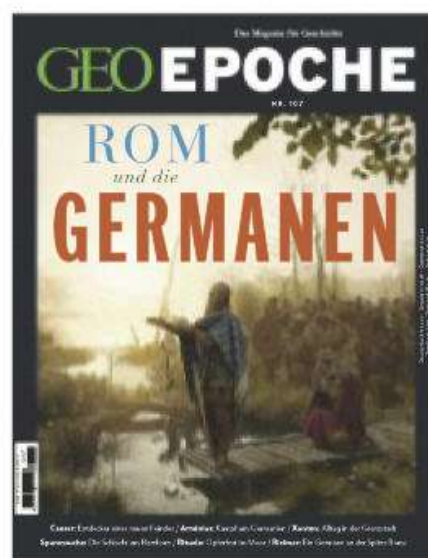


Die Frühjahrs-Ausgabe von **WOHLLEBENS WELT** hat 116 Seiten und kostet 7 Euro. Weitere Themen: Schnecken: Erstaunliche Weltenbummler • Fleischfressende Pflanzen • Ohren: Die Vielfalt der tierischen Lauscher

GEO EPOCHE

Rom und die
Germanen

Machtkämpfe im Norden



GEOEPOCHE »Rom und die Germanen« hat 164 Seiten und kostet 12 Euro. Einige Themen: Arminius gegen Germanicus • Aufstand der Bataver • Alltag im römischen Xanten • Die Schlacht am Harzhorn • Der Fall des Limes • Opferrituale im Moor

Über Jahrhunderte versuchen die Römer, die jenseits des Rheins siedelnden germanischen Stämme unter ihre Kontrolle zu bringen – zunächst durch schiere Gewalt, dann vor allem durch Bündnisse und Belohnungen. Die neue Ausgabe von **GEOEPOCHE** erzählt von diesem Kampf um die Macht im Norden, vom Alltag der Germanen fernab der Grenzen – und vom erstaunlichen Ausgang ihres Ringens mit der Weltmacht: Während das Imperium Romanum an Kraft verliert und schließlich zerfällt, errichten Germanen in dessen Trümmern neue Reiche.

GEO WISSEN

Das einfache
Leben

Wie wir Zufriedenheit gewinnen

Weniger haben, um glücklicher zu sein – danach sehnen sich viele Menschen. Doch wie lebt es sich mit Kindern in einem Tiny House, wie in der Gemeinschaft eines Ökodorfs, wie auf einem Bergbauernhof hoch oben in den Alpen? Und lässt sich unser Wirtschaftssystem umstellen, auf weniger Ressourcenverbrauch und Klimaneutralität? **GEO WISSEN** zeigt, wie wir Überfluss reduzieren können, um uns mehr auf das Wesentliche zu besinnen. Und berichtet von Lebenskünstlern und Aufräumern, von Vordenkern und Philosophen.



GEO WISSEN »Vom Glück des einfachen Lebens«, 148 Seiten, 11 Euro (mit DVD »Daheim auf dem Land« 19,50 Euro). Weitere Themen: So gelingt die Rente mit 40 • Gesundes aus der Natur – selbst angebaut • Wie eine »digitale Diät« den Alltag verändert

ENTDECKEN SIE DIE VIELFALT DER GEO-WELT.



Reportage-
magazin Nr. 1

GEO Die Welt mit anderen Augen sehen.
6x zzt. nur 51,-€*



Reise-
magazin

GEO SAISON Die Nr. 1 unter den Reise-
magazinen. 6x zzt. nur 45,-€*



Geschichts-
magazin

GEO EPOCHE Die spannendsten Seiten
unserer Geschichte. 3x nur zzt. 36,-€*



Outdoor-
magazin

WALDEN Das Abenteuer direkt vor der
Haustür. 5x zzt. nur 45,-€*



Wissens-
magazin

GEOkompakt Das spannende Wissens-
magazin. 4x zzt. nur 44,-€*



Kinder-
magazin

GEOlino Lesespaß für Kinder ab
9 Jahren. 7x zzt. nur 32,90€*

+

amazon.de
geschenkkarte

€ 10



Prämie
gratis dazu!

GLEICH BESTELLEN UND PORTOFREI LESEN:

www.geo.de/vielfalt

+ 49 (0) 40/55 55 89 90

Bei telefonischer Bestellung bitte immer die Bestellnummer angeben.

GEO Selbst lesen: 1864490 | Verschenken: 1864491
WALDEN Selbst lesen: 1864496 | Verschenken: 1864497

GEO SAISON Selbst lesen: 1864493 | Verschenken: 1864492
GEO KOMPAKT Selbst lesen: 1869312 | Verschenken: 1869313

GEO EPOCHE Selbst lesen: 1864494 | Verschenken: 1864495
GEOlino Selbst lesen: 1864498 | Verschenken: 1864499

*Alle Preisangaben inklusive MwSt. und Versand. Es besteht ein 14-tägiges Widerrufsrecht. Zahlungsziel: 14 Tage nach Rechnungserhalt. Anbieter des Abonnements ist Gruner + Jahr GmbH. Belieferung, Betreuung und Abrechnung erfolgen durch DPV Deutscher Pressevertrieb GmbH als leistenden Unternehmer.

Die Welt neu hören.

Wie überlebt ein Mensch, der seinen Körper nicht mehr spüren kann?
Was erlebt eine Reporterin auf der größten Arktis-Expedition
aller Zeiten an Bord des Forschungsschiffs „Polarstern“? Woher nehmen
Menschen die Kraft, ihr Leben komplett umzukrempeln und
noch einmal von vorn zu beginnen?



Zu hören bei



In packenden Reportagen verknüpfen die GEO-Reporter Abenteuer, Wissen und gesellschaftliche Themen miteinander. Sie berichten von gewagten Recherchen, dramatischen Situationen und berührenden Begegnungen.

Wöchentlich die Welt mit anderen Ohren hören. GEO – der Podcast.