

FRAUKE BAGUSCHE

DAS  
**BLAUE  
WUNDER**



FRAUKE BAGUSCHE

DAS  
**BLAUE  
WUNDER**

Warum das Meer leuchtet, Fische singen  
und unsere Beziehung zum Meer so besonders ist

Erstaunliche Einblicke  
in eine geheimnisvolle Welt

LUDWIG

Sollte diese Publikation Links auf Webseiten Dritter enthalten, so übernehmen wir für deren Inhalte keine Haftung, da wir uns diese nicht zu eigen machen, sondern lediglich auf deren Stand zum Zeitpunkt der Erstveröffentlichung verweisen.



**Klimaneutral**

Druckprodukt

ClimatePartner.com/12537-1707-1001



Verlagsgruppe Random House FSC® No01967

Originalausgabe 2019

Copyright © 2019 by Ludwig Verlag, München,  
in der Verlagsgruppe Random House GmbH,

Neumarkter Straße 28, 81673 München

Redaktion: Angelika Winnen

Umschlaggestaltung: Eisele Grafik Design  
unter Verwendung eines Fotos von

© Shutterstock (Rich Carey);

GettyImages (Darryl Leniuk, nudiblu,  
Justin Lewis, Mark Tipple)

Satz: Leingärtner, Nabburg

Druck und Bindung: Pustet, Regensburg

Printed in Germany

ISBN: 978-3-453-28111-0

[www.Ludwig-Verlag.de](http://www.Ludwig-Verlag.de)

Für meine Neffen Miguel und Milo.  
Ich wünsche mir, dass ihr *Das blaue Wunder* noch  
so erkunden könnt, so wie ich es durfte und darf.

Mein größter Wunsch ist, dass dieses Buch  
einen kleinen Teil dazu beiträgt,  
euch eine lebenswerte und schöne Welt  
zu hinterlassen, in der ihr groß werdet.

Für Anna, Elias und Dimi.



## Inhalt

Vorwort	13
Die heimliche Weltherrschaft des Planktons	17
Die grüne Lunge	21
Der Duft des Meeres	26
Kleine Happen für große Mägen	29
Nicht auf die Größe kommt es an	31
Glibberige Giganten	34
Das Leuchten des Meeres	43
Korallenriffe – die Kinderstuben der Ozeane	48
Die Massenhochzeit der Korallen	58
Der Gesang der Fische	65
Nemos Brüder	73
Unterwasserkrankenhaus	78
Unterwasserapotheke	87
Symbiose, Parasitismus und andere Wechselbeziehungen	93
Kampfzone Korallenriff	99
Leuchtende Korallen	114
Perfekt versteckt	118

(Un)endliches Blau	126
Wasser – ein Stoff mit ganz besonderen Eigenschaften	128
Warum die Ostsee weniger salzig schmeckt als das Mittelmeer	130
Klimaküche Ozean und das marine Förderband	133
Die Reise der Meeresschildkröten	138
Intelligente Sänger	145
Gejagte Jäger	160
Erstaunliche Auswüchse: Fächer, Speere und Flügel	173
Geheimnisvolle Tiefsee	178
Leben in Extremen	179
Goldrausch in der Tiefsee	190
Meeresungeheuer, Tiefseemonster und Seemannsgarn	196
Funkeln im Dunkeln	203
Fragile Fleischfresser und Riffe aus Glas	212
Sex and the Sea	219
Die schwarze Seele der Seeotter	219
Sodom und Gomorrha am Südpol	223
Manchmal kommt es eben doch auf die Größe an	226
Von Fechtern und autonom schwimmenden Tentakeln	232



Aufopferungsvolle Väter	236
Wanderlustige Flossentiere	243
Das blaue Wunder in Gefahr	247
Der Fluch des schwarzen Goldes	248
Das Plastikzeitalter	251
Ist Bioplastik die Lösung?	258
Vermüllte Paradiese	260
Teppiche aus Plastik	266
Mikroplastik – die (fast) unsichtbare Gefahr	267
Klimawandel und Meer	273
Das Sterben der Korallenriffe	281
Hungrig nach Meer	290
Mehr Kultur für Aquakulturen	297
Zukunft für das Meer = Zukunft für uns	302
Dank	310
Quellen und weiterführende Informationen	313
Bildnachweis	320



*If there is magic on this planet, it is contained in water.*

LOREN EISELEY

*There is nothing wrong with enjoying looking at the surface  
of the ocean itself, except that when you finally see  
what goes on underwater, you realize that you've been  
missing the whole point of the ocean. Staying on the surface  
all the time is like going to the circus and staring  
at the outside of the tent.*

DAVE BARRY



## Vorwort

Wenn ich mich mit einem einzigen Wort beschreiben müsste, würde »thalassophil« den Nagel auf den Kopf treffen. Als thalassophil bezeichnet man diejenigen, die bevorzugt, aber nicht ausschließlich an der Meeresküste oder im Meer leben und das Meer lieben. Der salzig-algige Duft, das Rauschen der Wellen und die Weite des Meeres üben einen Sog auf mich aus, dem ich nicht widerstehen kann. Auf das Meer zu schauen und den Wellen zu lauschen entspannt mich unglaublich. Begebe ich mich jedoch unter Wasser, erlebe ich mein blaues Wunder, denn dort tobt das Leben. Diese Welt unter Wasser hat ihr eigenes Tempo und gehorcht ihren ganz eigenen Regeln. Sie ist farbenfroh und immer in Bewegung, manchmal etwas eintönig, aber jedes Mal atemberaubend.

Die Rätsel und Zusammenhänge des Meeres haben mich von klein auf begeistert, und deswegen ist es kaum verwunderlich, dass ich meine Leidenschaft zum Beruf gemacht habe. Ich bin Meeresbiologin mit Leib und Seele und habe (fast) nichts außer Salzwasser im Kopf. Mein Tätigkeitsfeld ist sehr facettenreich, und natürlich halte ich mich als Meeresbiologin nicht nur unter und auf dem Wasser auf – allerdings möglichst oft. Je nach Arbeit sehe ich manchmal monatelang das Meer nicht, zum Beispiel, wenn ich in einem Labor Proben analysiere, vor einem Computer an der Datenauswertung arbeite, Vorträge halte

oder an einem Buch über das Meer schreibe. Kann ich dann endlich wieder im Meer tauchen oder schnorcheln, fühle ich mich, als wäre ich zu Hause angekommen.

Eines meiner schönsten Erlebnisse unter Wasser hatte ich auf den Malediven, als ich eine Schnorchelsafari leitete und einer Touristengruppe ein gut erhaltenes Schiffswrack zeigen wollte. Wir waren gerade auf dem Rückweg zum Boot, als mir unser Kapitän aufgeregt signalisierte, dass ich mich umdrehen sollte. Ein paar Meter hinter mir sah ich eine Rückenflosse an der Wasseroberfläche. Da ich nicht genau erkennen konnte, ob der Flossenbesitzer ein Hai oder Delfin war, schwamm ich näher heran und sah – nichts. Kurz darauf gestikuliert unser Kapitän wieder wild, und siehe da, hinter mir war eine Gruppe Delfine aufgetaucht. Doch damit nicht genug. Auf einmal fing es um uns an zu blubbern, überall stiegen Luftblasen aus der Tiefe zur Oberfläche, und wir fühlten uns wie in einem Whirlpool. Die Geräusche unter Wasser schwollen an zu einem wilden Gezwitscher, es klang ähnlich wie das der Vögel an Land. Plötzlich waren wir von Spinnerdelfinen umgeben, die zwitschernd und pfeifend miteinander kommunizierten, neben uns aus dem Wasser sprangen und sich in der Luft drehten (im Englischen »spinning«). Neben und unter uns zogen nach und nach kleine Gruppen Delfine vorbei, die uns neugierig beobachteten und sich ein Wettschwimmen lieferten. Insgesamt schätzten wir die gesamte Gruppe auf etwa dreihundert Tiere, die von der Jagd im offenen Meer zurück ins Atoll an uns vorbei schwammen. Erlebnisse wie dieses machen mich sprachlos (was nicht sehr häufig vorkommt), und ich bin sehr dankbar dafür, dass ich all diese wunderschönen Momente erleben durfte.

Doch leider gibt es auch genug Momente, die mich traurig und wütend machen. Ich war traurig, als mir eine bedrohte Meeresschildkröte unter den Händen wegstarb, weil sie sich in einem alten Fischernetz verfangen hatte und ich sie nicht rechtzeitig befreien konnte. Ich bin wütend, wenn ich an einem Strand entlang spaziere und vor lauter Sammeln des angespülten Plastikmülls Rückenschmerzen bekomme oder wenn ich sterbende oder tote Korallen unter Wasser sehe, denn allzu oft ist ihr Tod durch den Menschen verschuldet. Gerade diese Momente sind es andererseits, die mich antreiben, Menschen für den Umgang mit dem Meer zu sensibilisieren. Obwohl zwei Drittel unseres Planeten mit Ozeanen bedeckt sind und sie das größte Ökosystem auf der Erde bilden, wissen wir bisher nur einen Bruchteil darüber, was im Meer vor sich geht. Selbst die Oberfläche des Mondes ist besser erforscht als die Tiefsee. Dabei haben Mond und Meer eines gemeinsam: Sie beeinflussen uns mehr, als wir denken. Wir verdanken dem Meer nicht weniger als unsere Existenz, denn der Sauerstoff jedes zweiten Atemzugs wird von marinen Mikroalgen produziert – und dabei ist es egal, ob Sie die Luft in München, Köln oder auf Usedom einatmen. Auch unser Klima wird vom Meer geprägt, von seinen warmen und kalten Strömungen, von wolkenproduzierenden Algen und dem Kreislauf der Verdunstung. Und nicht zuletzt bietet das Meer seit Jahrtausenden Nahrung und Schutz sowie wichtige Medikamente, Arbeitsplätze und Orte der Erholung. Das Rauschen der Wellen, die unverkennbare Meeresbrise und die Weite üben eine ungeheure Anziehungskraft aus, beruhigen und inspirieren.

Meine Faszination für das Meer möchte ich mit Ihnen in diesem Buch teilen und Sie auf eine Reise mitnehmen durch einen Lebensraum, von dem wir noch viel zu wenig wissen, dem wir aber mit unserem täglichen Handeln immer weiter Schaden zufügen. Der senegalesische Umweltschützer Baba Dioum hat es in seiner Rede vor der Hauptversammlung der Weltnaturschutzunion IUCN im Jahr 1968 auf den Punkt gebracht: »Wir Menschen beschützen nur das, was wir lieben. Wir lieben nur das, was wir verstehen, und wir verstehen nur das, was uns gelehrt wird.« Ich wünsche mir, mit diesem Buch die Liebe zum Meer, die ich empfinde, in Ihnen zu wecken – und damit den Wunsch, diesen einzigartigen Lebensraum zu schützen. Gemeinsam können wir dem Meer helfen, sich zu regenerieren, und den folgenden Generationen eine lebenswerte Welt hinterlassen.

In diesem Sinne: Tauchen wir ein in die faszinierende Welt der Meere!



## Die heimliche Weltherrschaft des Planktons

Ich möchte Ihnen jetzt nicht den Spaß an Ihrem nächsten Badeurlaub nehmen, aber wenn Sie das nächste Mal im Meer schwimmen und sich verschlucken, dann schlucken Sie viel mehr als nur Wasser und Salz. Mit einem Mundvoll Meerwasser – egal wie klar es erscheinen mag – nehmen Sie nämlich nicht nur Wasser und Salz zu sich, sondern hauchen unzähligen Organismen wie Viren, Bakterien, Algen, Fischlarven, Flügelschnecken, Krebstieren, Medusen und Pfeilwürmern das Leben aus. Ihr kleiner Proteinsnack nennt sich **Plankton** und leitet sich von dem altgriechischen Wort *planktos*, »das Umhertreibende«, ab. Als Plankton bezeichnet man die Gesamtheit der frei schwebend im Wasser lebenden Organismen pflanzlicher oder tierischer Natur, die zu keiner oder nur zu sehr geringer Eigenbewegung fähig sind und deren Schwimmrichtung von Wasserströmungen vorgegeben wird. Lebewesen, die sich aktiv im Wasser fortbewegen und auch gegen Strömungen anschwimmen können wie zum Beispiel Fische, Tintenfische, Wale und Schildkröten, werden dagegen als **Nekton** (griech. *nekton* = »das Schwimmende«) bezeichnet. Viele Tierarten sind beides: Sie beginnen ihr Leben als Plankton und zählen als Adulte, also erwachsene Tiere, zum Nekton. Diese Organismen, die nur einen Teil ihres Lebenszyklus, meist als Larven, planktonisch leben und im Verlauf ihrer Entwicklung zwischen verschiedenen

Lebensräumen wechseln, zählt man zum Meroplankton – in Abgrenzung zum Holoplankton, das seinen gesamten Lebenszyklus planktonisch verbringt.

Auch wenn planktonische Organismen zumeist winzig klein sind, dominieren sie allein durch ihre schiere Masse. Denn das Nekton macht weniger als fünf Prozent der Biomasse in den Ozeanen aus; mehr als 95 Prozent der marinen Biomasse werden von planktonischen Kleinstorganismen gestellt – den heimlichen Herrschern der Welt. Dabei ist Plankton nicht nur im marinen Lebensraum, sondern ebenso in Bächen, Flüssen und Seen allgegenwärtig. Man unterteilt die planktonischen Organismen in zwei Hauptgruppen: das pflanzliche **Phytoplankton**, zu dem beispielsweise die Zooxanthellen-Algen sowie Kiesel- und Grünalgen gehören, und das tierische **Zooplankton**, sprich: Larven, Gameten, kleinste Krebstierchen (wie z. B. der berühmte »Krill«), Würmer und Medusen. Außerdem kategorisiert man je nach Größe verschiedene Gruppen, angefangen vom Femtoplankton\*, zu dem die Viren zählen, bis hin zum Megaplankton, zu welchem beispielsweise Quallen mit mehrere Meter langen Tentakeln gehören.

Wer gerade keine Wasserprobe und kein Mikroskop zur Hand hat, sich aber für Formenvielfalt und Schönheit dieser versteckten Wasserwelt interessiert, dem seien der sehr informative Fotoband von Christian Sardet *Plankton. Der erstaunliche Mikrokosmos der Ozeane* und die wunderschönen Illustrationen von Ernst Haeckel in *Kunstformen*

\* Abgeleitet von skandinavisch femto = 15. 1 Femtometer =  $10^{-15}$  Meter (d. h. 1 Billiardstel Meter).

*der Natur* sehr ans Herz gelegt. Denn wenn Sie schon unzählige Organismen einfach verschlucken, sollten Sie sich wenigstens die Mühe machen, diesen unglücklichen Kreaturen ein »Gesicht« zu geben. Wenn ich von »unzähligen« Organismen spreche, so ist das vielleicht etwas zu ungenau ausgedrückt. Präzisere Zählungen haben ergeben, dass sich in einem Liter Meerwasser bis zu 10 Milliarden Virenpartikel, 1 Milliarde Bakterienzellen, 10 Millionen Phytoplankter und 1000 Zooplankter befinden können. In Ihrem Schluck Meerwasser wimmelt es also förmlich von Leben! Guten Appetit!

Bevor Sie aber jetzt das Gesicht vor Ekel verziehen und sich schwören, nie wieder baden zu gehen und erst recht nie wieder auch nur einen Tropfen Meerwasser zu verschlucken, werfen Sie mal einen Blick in Ihre Speisekammer oder in den Arzneischränk. Die ernährungsbewussten Menschen unter uns nehmen planktonische Organismen nämlich nicht nur zufällig beim Schwimmen im Meer zu sich, sondern oftmals mit Absicht, und zwar in Pillenform. Das bekannte Nahrungsergänzungsmittel Spirulina, welches Vitamine, Antioxidantien und alle essenziellen Aminosäuren enthält, wird aus filamentösen Cyanobakterien der Gattung *Arthrospira* gewonnen und in Form von grünen Pellets in konzentrierter Form verkauft.

Algen und Mikroalgen werden nicht erst seit der Neuzeit von der Nahrungsmittel- und Kosmetikindustrie genutzt, sondern schon seit Hunderten von Jahren wegen ihrer positiven Auswirkungen auf unsere Gesundheit, innen wie außen, geschätzt. Bioaktive Komponenten wie Polysaccharide, Chlorophyll, Vitamin E und Ectoin setzt man heute in der Hautkosmetik ein. Sie helfen der Haut

Feuchtigkeit zu speichern, dienen als Schutz vor freien Radikalen und UV-Licht, sie stärken das Immunsystem, maskieren schlechte Gerüche und wirken entzündungshemmend. Der Grund, warum Mikroalgen all diese bioaktiv wirksamen Substanzen produzieren, liegt auf der Hand: Um zu überleben, müssen diese Kleinstorganismen sich gegen Umwelteinflüsse wie UV-Licht schützen und zugleich effektive Reparaturmechanismen entwickeln. Einige Kosmetikhersteller produzieren deswegen ihre eigenen Mikroalgen und nutzen deren biologisch aktive Substanzen für ihre Produkte.

Der medizinische Mehrwert für Körper und Geist ist ebenfalls schon lange bekannt. Die Entwicklung von Medikamenten gegen Krebs und andere Krankheiten aus Bakterien, die im Korallenriff zu Hause sind, treibt man erst seit einigen Jahrzehnten intensiv voran (mehr dazu im Kapitel »Unterwasserapotheke«). In der Thalassotherapie, auch »Heilbehandlung durch das Meer« genannt, nutzt man seit Jahrhunderten die Wirkstoffe aus Meerwasser, Algen und Schlamm in Kombination mit der frischen Meeresbrise und Sonne. Geht man am Strand von Norderney spazieren, fallen einem die Informationstafeln direkt ins Auge, welche die gesundheitsfördernde Wirkung der sauerstoffreichen, pollenarmen und sauberen Meeresluft anpreisen. Weht der Wind von der See landeinwärts, ist er mit Aerosolen und Jod angereichert, was die Bronchien entkrampft, den Schleim löst und Asthmatiker und Allergiker aufatmen lässt. Der Reizklimaeffekt der Meeresluft wirkt sich gleichzeitig positiv auf die Gesundheit der Haut aus: Sie wird besser durchblutet und damit widerstandsfähiger gegen Belastungen; Entzündungen

klingen ab, und Wunden heilen schneller. Spaziergänge am Meer regen den Stoffwechsel an und der Schlaf-Wach-Rhythmus stabilisiert sich – man fühlt sich einfach vitaler.

Im späten 18. Jahrhundert entstand in Deutschland das erste Seebad in Heiligendamm an der Ostsee, dem viele weitere folgten. Aufgrund der hohen Kosten einerseits und neuer Medikamente andererseits verlor die Thalassotherapie im 20. Jahrhundert zwar an Bedeutung. Dennoch werden auch heute noch Erkrankungen der Atemwege und der Haut sowie rheumatische Erkrankungen in Thalasso-Einrichtungen therapiert.

Sollten Sie das nächste Mal also hustend und spuckend aus dem Wasser auftauchen, dann versuchen Sie es positiv zu sehen. Denn neben den kosmetischen Vorteilen sind Sie in den Genuss einer wertvollen Zwischenmahlzeit gekommen – Superfood, das Sie nichts gekostet hat. Außerdem aber – und das ist viel zu wenig bekannt – verdanken Sie dem Plankton, genauer: dem Phytoplankton, Ihren nächsten Atemzug.

### *Die grüne Lunge*

Egal wo Sie sich gerade befinden, ob in Köln oder in Erfurt, ob Sie in den Alpen wandern oder am Nordseestrand liegen, Sie sind durch jeden Atemzug mit dem Meer verbunden. Das Phytoplankton – kleinste, zwischen 0,001 und 1 Millimeter große pflanzliche Organismen – produziert nämlich mehr als die Hälfte des globalen Sauerstoffs und wird deshalb auch als die »grüne Lunge der Meere« bezeichnet. Ganz ähnlich wie die Pflanzen an Land

betreiben diese winzigen Organismen Fotosynthese, bei der aus Wasser, Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Lichtenergie Glucose (Zucker) und als »Abfallprodukt« Sauerstoff entstehen. Diese fotosynthetisch aktiven Algen bezeichnet man als Primärproduzenten. Sergei Petrovskii von der Abteilung für angewandte Mathematik der Universität Leicester in England hat berechnet, dass der Rückgang von Phytoplankton, verursacht durch die Auswirkungen des Klimawandels, also den Temperaturanstieg des Meerwassers um  $6\text{ }^\circ\text{C}$ , zu einer Verringerung des Sauerstoffs im Meer und in der globalen Atmosphäre führen würde. Die Folge wäre ein weltweites Massensterben von Mensch und Tier.

Um zu verstehen, was Mikroalgen leisten und wie unverzichtbar sie sind, lohnt es sich, den Kohlenstoffkreislauf des Meeres etwas näher zu betrachten. Kohlenstoff oder Carbon mit dem chemischen Symbol C kommt in der Natur in reiner Form hauptsächlich als Diamant oder Grafit vor. In gebundener Form trifft man ihn nahezu überall an, und auch wir tragen ihn in uns, oder besser gesagt, er macht uns aus. Nach Sauerstoff (O) mit 56,1 Prozent Gewicht besteht der menschliche Körper zu 28 Prozent aus Kohlenstoff (C), weitere 14,8 Prozent setzen sich aus Wasserstoff (H), Stickstoff, Calcium, Chlor und Phosphor zusammen, nur zu etwas mehr als einem Prozent besteht er aus Kalium, Schwefel, Natrium, Magnesium und Spurenelementen. Doch nicht nur der Mensch ist aus Kohlenstoff gemacht, sondern die gesamte tierische und pflanzliche Biomasse besteht aus stabilen Mehrfachbindungen dieses Elements mit sich selbst und anderen Elementen. Kohlenstoff ist der Baustein des Lebens schlechthin.

Ähnlich wie Wasser befindet sich Kohlenstoff auf unserem Planeten in einem stetigen Kreislauf, sowohl über als auch unter Wasser. Atmosphäre, Landbiosphäre und Meer tauschen kontinuierlich Kohlenstoff aus. Der  $\text{CO}_2$ -Austausch zwischen Atmosphäre und Meer findet bis in eine Tiefe von 100 Metern, in der sogenannten ozeanischen Deckschicht, statt. Er kommt durch Druckunterschiede zwischen Atmosphäre und Meer zustande. Theoretisch funktioniert das in beide Richtungen: Wenn der  $\text{CO}_2$ -Druck der Atmosphäre, Partialdruck genannt, niedrig ist, wird Kohlendioxid aus dem Meer in die Atmosphäre ausgegast; ist der  $\text{CO}_2$ -Druck jedoch höher, wird das Gas im Oberflächenwasser des Meeres gelöst. Praktisch ist allerdings aufgrund der vom Menschen verursachten  $\text{CO}_2$ -Emissionen der Partialdruck in der Atmosphäre in der heutigen Zeit dauerhaft höher als im Meer, d.h. es wird ständig  $\text{CO}_2$  im Meer gelöst.

Die gesamte im Meer gelöste Menge an  $\text{CO}_2$  ist 50 Mal größer als der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre und 20 Mal größer als die Menge des an Land in Pflanzen und Böden fixierten  $\text{CO}_2$ . Das Meer ist mit Abstand das größte Aufnahmesystem für  $\text{CO}_2$ , denn Kohlendioxid ist in Wasser leicht löslich – zum Glück! Solange das  $\text{CO}_2$  in der Luft ist, reagiert es nicht, sondern schwebt als Gas frei umher, reflektiert die von der Erde aufsteigende Wärme und trägt durch den Treibhauseffekt zur weiteren Erwärmung des Klimas bei. Trifft das Gas jedoch auf Wasser, reagiert es fast vollständig zu anderen Verbindungen und kann in dieser Form das Klima nicht weiter anheizen. Zum allergrößten Teil wandelt es sich in anorganische Verbindungen mit weiteren Wasserstoff- oder Sauerstoffatomen wie

Hydrogencarbonat und Carbonat um, nur der geringste Teil verbleibt als gelöstes  $\text{CO}_2$ . Seit dem Beginn der industriellen Revolution vor 200 Jahren, als die Menschen begannen, in großem Maßstab fossile Brennstoffe zu verbrennen und die Menge an Kohlendioxid rapide anstieg, haben die Ozeane Schätzungen zufolge rund ein Viertel des anthropogen verursachten Kohlendioxids aufgenommen. Die Kapazität des Meeres,  $\text{CO}_2$  aufzunehmen (Pufferkapazität) und umzuwandeln, ist jedoch nicht unendlich, und das führt mit weiter ansteigender  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Atmosphäre schon jetzt zu gravierenden Problemen wie z.B. der Versauerung der Meere.

Neben den anorganischen Kohlenstoffverbindungen gibt es auch organische. Der »partikulär organische Kohlenstoff« ist nichts anderes als der Aufbau von Biomasse der Mikroalgen bzw. der Primärproduzenten. Diese Mikroalgen wandeln, wie gesagt,  $\text{CO}_2$  fotosynthetisch in Zucker und Sauerstoff um, dabei wachsen sie und vermehren sich, nehmen noch mehr  $\text{CO}_2$  auf und so fort. Sterben diese Mikroalgen dann ab oder werden sie vom Zooplankton gefressen und als Fäkalien wieder ausgeschieden, sinken diese als organische Partikel mitsamt dem gebundenen Kohlenstoff in große Tiefen ab und werden in ihre Bestandteile aufgelöst. So wird das  $\text{CO}_2$  aus der Atmosphäre entfernt und in tiefere Ozeanschichten transportiert. Diesen Vorgang bezeichnet man als »biologische Pumpe«. Da das Absinken dieser organischen Partikel im Lichtschein unter Wasser fallendem Schnee gleicht, hat man die Partikel auch »Meeresschnee« (engl. *marine snow*) getauft.

Ein weiterer Transport von Kohlenstoff findet über die



sogenannte »physikalische Pumpe« statt, welche unter anderem abhängt von der »thermohalinen Zirkulation«, auf die ich weiter unten in »(Un)endliches Blau« noch ausführlicher eingehen werde. Ihre Rolle im Kohlenstoffkreislauf lässt sich in Kürze so zusammenfassen: Kaltes Wasser nimmt mehr  $\text{CO}_2$  auf als warmes Wasser, und da kaltes Wasser schwerer ist, sinkt es mit dem aufgenommenen Kohlendioxid ab und transportiert dieses in tiefere Ozeanschichten (engl. *downwelling*). Unten wird es mit den langsam fließenden Tiefenströmungen verteilt und steigt nach Hunderten von Jahren mit dem sich erwärmenden, nährstoffreichen Wasser wieder an die Wasseroberfläche (engl. *upwelling*). Dort werden die Nährstoffe von den Mikroalgen für ihre Stoffwechselprozesse verbraucht, und das  $\text{CO}_2$  wird zum Teil wieder in die Atmosphäre abgegeben.

Die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre wird in der Einheit ppm (engl. *parts per million*) gemessen. Dabei entspricht ein ppm einem Kohlendioxid-Molekül pro einer Million Moleküle trockener Luft. 2016 lag die weltweite Kohlendioxid-Konzentration bei 400 ppm, während die Kohlendioxid-Konzentration in der vorindustriellen Zeit bei etwa 280 ppm lag. Ohne diese beschriebenen Mechanismen hätten wir ein noch gravierendes Treibhausgas-Problem, als wir es schon jetzt haben, denn alleine die biologische Pumpe ist so aktiv, dass ohne sie die atmosphärische  $\text{CO}_2$ -Konzentration um 150 bis 200 ppm höher liegen würde!

Das Phytoplankton in der lichtdurchfluteten obersten Wasserschicht fixiert jährlich ca. 108 Gigatonnen (1 Gt = 1 Mrd. t) Kohlenstoffdioxid, welches für die Fotosynthese

gebraucht wird. Das ist eine erstaunliche Menge und braucht den Vergleich mit der CO<sub>2</sub>-Fixierung durch die Landpflanzen mit 123 Gigatonnen nicht zu scheuen. Die Fotosyntheseleistung der um ein Vielfaches kleineren marinen Algen erklärt sich durch ihre sehr viel schnellere Entwicklung im Vergleich zu den langsam wachsenden Landpflanzen. Phytoplankton kann sich explosionsartig vermehren, und wenn die Lebensbedingungen günstig sind, d. h. genügend Licht, CO<sub>2</sub> und Nährstoffe wie Stickstoff und Eisen vorhanden sind, kommt es zu einer Algenblüte, welche sogar aus dem All sichtbar ist.

Abgesehen von dieser enormen Fähigkeit beherrschen die Mikroalgen einen weiteren klimarelevanten Mechanismus: Sie reagieren auf das Wetter und können es sogar aktiv beeinflussen – und damit auch das Klima.

### *Der Duft des Meeres*

Strandspaziergänge sind oft von einem bestimmten Geruch geprägt, den wir sofort mit dem Meer assoziieren: Mal schwach und dann wieder ganz intensiv riecht es nach Salz und Algen. Dieser so typische Meeresduft entsteht, vereinfacht erklärt, bei der Zersetzung von abgestorbenen Algen durch Bakterien, bei der ein Gas, das Dimethylsulfid (DMS), freigesetzt wird. Dieser Geruch dient aber nicht nur dazu, uns beim Strandspaziergang zu erfreuen, sondern könnte einen anderen Zweck haben. Forscherteams haben herausgefunden, dass dieses Gas immer dann vermehrt in die Atmosphäre abgegeben wird, wenn die Algen unter Hitzestress geraten. Wird den im

Meer treibenden Algen zu warm und die Strahlung durch ultraviolettes Licht zu intensiv, produzieren sie, indem sie »schwitzen« oder absterben, DMSP (Dimethylsulfonpropionat), das von Bakterien in DMS umgewandelt wird. Das DMS steigt in die Luft auf, wird dort vom Sonnenlicht in Sulfat zersetzt und fungiert als Wolkenkeim, indem es Wassertröpfchen anzieht. Im Klartext heißt das: Phytoplankton stellt sich seinen eigenen Sonnenschutz her, indem es Wolken bildet, die dann einen Teil der schädlichen UV-Strahlung von den Algen fernhalten. Phytoplankton kann also zu einem gewissen Teil das Klima beeinflussen, da die von der Sonne ausgesendete Strahlung von den gebildeten Wolken zurück ins All reflektiert wird.

Die sogenannte Claw-Hypothese besagt, dass das Phytoplankton als Thermostat der Erde wirkt: Durch die Wolkenbildung werden Luft- und Meerwassertemperatur aktiv heruntergeregelt. Fallen die Temperaturen, beruhigen sich die Algen wieder, produzieren weniger Schwefelverbindungen und in Konsequenz weniger Wolken. So schaffen die Algen sich selbst ihr Wohlfühlklima. Diese Hypothese wurde 2011 in einer Studie vom Institut für Meereskunde (CSIC) in Barcelona für den Südpazifik bestätigt. Die Gruppe um Aránzazu Lana fand nach Auswertungen von 50 000 Messungen aus aller Welt heraus, dass im Südpazifik die meisten Wolkenkeime von einzelligen Algen stammen. Dennoch, so das Fazit der Studie, könne die weltweite Klimaerwärmung durch die Wolkenbildung der Algen nicht reguliert werden, da die Minderung der Sonneneinstrahlung nur sehr gering sei im Vergleich zu den Mengen an Treibhausgasen, die wir produzieren. Doch nicht nur bei Hitze wird das DMS vermehrt freigesetzt. Es

dient ebenfalls als Schutzmechanismus des Phytoplanktons gegen die Fraßattacken von kleinen Krebstieren wie Krill und anderen Zooplanktern. Macht sich das Krill über die Algen her, verströmen diese Dimethylsulfid, um Vögel anzulocken, die sich von Krill ernähren. Seevögel wie Sturmtaucher, Albatrosse und Sturmvögel nutzen den Duft der Sulfidverbindungen, um Nahrung zu suchen. Sie können der Duftspur kilometerweit folgen, ihre Nahrung so lokalisieren und dem Phytoplankton, wenngleich indirekt, zu Hilfe eilen.

Leider wird der gute Geruchssinn den Vögeln oft zur tödlichen Falle, wie eine Forschungsgruppe von der University of California herausgefunden hat. Vielleicht kennen Sie das berühmte Bild von Chris Jordan: Es zeigt ein totes Laysanalbatros-Küken, den Bauch voller Plastik. Gut zu erkennen sind auf dem Bild ein gelbes Feuerzeug und mehrere Deckel von Plastikflaschen, die den Magen-Darm-Trakt des verwesenden Kükens verstopfen, sodass kein Platz mehr für dessen natürliche Nahrung war und es verhungert ist. Leider sind Vögel nicht in der Lage, Plastik von ihrer Nahrung zu unterscheiden, und dieses Bild ist nur ein trauriges Beispiel für die vielen Hunderttausend Vögel, die jährlich durch die Folgen unseres Plastikkonsums verenden. Was aber macht das Plastik so attraktiv für die Vögel, dass sie es mit ihrer natürlichen Nahrung verwechseln? Die Forschungsgruppe fand heraus, dass die sich auf dem Plastik ansiedelnden Algen Dimethylsulfid in hoher Konzentration in Luft und Wasser abgeben. Vom Duft des Gases angezogen, verwechseln die Seevögel das umhertreibende Plastik mit ihrer natürlichen Nahrung. Und nicht nur Vögel werden vom Duft

des Plastiks angezogen. Auch andere Tiere wie Fische und Korallen können dem Geruch nicht widerstehen und fallen dem Plastik zum Opfer – oder reichen es an das jeweils nächste Glied in der Nahrungskette weiter.

### *Kleine Happen für große Mägen*

Phytoplankton ist die Basis allen Lebens im Meer und die Nahrungsgrundlage des Zooplanktons, zu welchem unter anderem Einzeller, Krebstiere, Quallen, Mollusken (Weichtiere), Würmer, Eier und Larvenstadien der im Meer lebenden Organismen zählen. Das Plankton als Ganzes, also sowohl das pflanzliche als auch das tierische, ernährt wiederum kleine und große Fische, Krebstiere, Muscheln, Korallen und sogar das größte auf unserem Planeten lebende Tier, den Blauwal.

Der Blauwal oder *Balaenoptera musculus* gehört zu den Bartenwalen und kann die stolze Größe von bis zu 33 Metern und ein Gewicht von bis zu 180 Tonnen erreichen. Er ist damit nicht nur das schwerste, sondern wahrscheinlich auch das größte Tier, das jemals auf der Erde gelebt hat und immer noch lebt. Allein die Zunge eines ausgewachsenen Blauwals hat ein Gewicht von ca. vier Tonnen; sie ist also ungefähr so schwer wie ein Elefant und groß genug, um einer ganzen Fußballmannschaft Platz zu bieten. Diese großen Tiere ernähren sich von den kleinsten Tieren in den Ozeanen, indem sie mithilfe ihrer Barten (Hornplatten im Oberkiefer) Krill (garnelenförmige, kleine Krebstiere, die in großen Schwärmen vorkommen) und anderes Plankton aus dem Wasser filtern. Vom Krill

allerdings braucht der Blauwal um die 7 000 Kilogramm pro Tag, um sich satt und zufrieden zu fühlen!

Nicht nur Bartenwale, sondern eine Vielzahl anderer Tiere ernähren sich von diesen kleinen Meeresbewohnern, darunter drei Haiarten: der Walhai (*Rhincodon typus*), der Riesenhai (*Cetorhinus maximus*) und der wenig erforschte Riesenmaulhai (*Megachasma pelagios*). Wer schon einmal das Vergnügen hatte, mit einem oder mehreren **Walhaien** zu schwimmen, dem sind sicher noch der gräuliche, bläuliche oder bräunliche Rücken mit den hellen Punkten zwischen hellen horizontalen und vertikalen Streifen, die weißliche Unterseite und der breite Kopf mit stumpfer Schnauze gut in Erinnerung. Das Punktmuster, welches Rücken und Kopf bedeckt, ist so individuell wie unser Fingerabdruck und dient in der Wissenschaft zur Identifizierung. Diese großen und friedlichen Giganten der Meere können eine stolze Länge von bis zu 18 Metern erreichen und sind damit nicht nur die größte Haiart, sondern sogar die größte Fischart der Welt überhaupt! Um eine ungefähre Vorstellung von der Größe eines Walhais zu haben, stellen Sie sich doch mal neben einen Linienbus: Dieses Größenverhältnis könnte Sie unter Wasser erwarten, wenn neben Ihnen ein Walhai Plankton schlürft. Um diese stattliche Größe und ein Gewicht von bis zu 20 Tonnen zu erreichen, filtern die Tiere mit weit aufgerissenem Maul vorwärtsschwimmend eine Vielzahl an planktonischen und manchmal auch nektonischen Organismen aus dem Wasser. Hin und wieder stehen sie aber auch senkrecht oder waagrecht im Wasser und saugen ihre Beute mit einem Schluck ein. Ihre Nahrung reicht von Krill, Ruderfußkrebse (Copepoda) und Fischlarven bis

hin zu kleinen Fischen wie Sardinen und Anchovis und sogar Kalmaren. Auch werden immer wieder Walhaie genau dann gesichtet, wenn Korallen, verschiedene Fischarten und Weihnachtsinsel-Krabben (*Gecarcoidea natalis*) ihre Gameten, also Eier und Spermien, ins Wasser abgeben, die die Walhaie dann genüsslich aus dem Wasser filtern. Walhaie kommen in fast allen tropischen und subtropischen Gewässern rund um den Erdball vor und können, um nur einige wenige Beispiele zu nennen, auf den Malediven, in Mexiko, Australien und den Azoren bewundert werden.

Planktonische Organismen sind also viel mehr als nur lästige Schwebeteilchen im Wasser, die unsere Sicht beim Tauchen behindern. Ohne diese Kleinstorganismen würde uns vermutlich die Luft zum Atmen ausgehen und unsere Nahrungskette würde zusammenbrechen wie eine Reihe Dominosteine, deren Anfangsstein man umkippt. Unsere Existenz auf Erden wäre wahrscheinlich eher früher als später beendet.

### *Nicht auf die Größe kommt es an*

Erste Erfahrungen mit kleinen Zooplanktern, außerhalb des Meeres, habe ich schon sehr früh gemacht, und das verdanke ich dem Inhalt eines *Yps*-Heftes meines Cousins Marcel. In den 1980er-Jahren waren die *Yps*-Hefte, Zeitschriften mit jeweils einem beigelegten »Gimmick«, der It-Artikel unter Kindern, und das Erscheinen der neuesten Ausgabe wurde genauso heiß herbeigesehnt wie heute die neueste Version des iPhones. In einer Ausgabe gab es

ein Tütchen mit kleinen, getrockneten Eiern, aus denen man Krebse züchten können sollte, die schon vor 100 Millionen Jahren die Erde bevölkert haben. Ich war völlig hin und weg von der Idee, meine eigenen Urzeitkrebse (*Artemia salina*) heranzuziehen und ihre Entwicklung vom Ei bis hin zum fortpflanzungsfähigen erwachsenen Tier miterleben. Aber obwohl die Tiere sehr robust und nicht sehr anspruchsvoll waren, habe ich es dennoch regelmäßig geschafft, den Tieren ihr ureigenes Armageddon zu bescheren, und sie ausgerettet.

Zum Glück gibt es Menschen, die in ihrem Bemühen, diesen kleinen Salinenkrebse ein glückliches und langes Leben zu bescheren, wesentlich erfolgreicher sind, als ich es war. Eine Forschungsgruppe um John Dabiri von der Stanford University in Kalifornien hat Erstaunliches in ihren Studien an diesen kleinen Meerestierchen herausgefunden: Lange dachte man, dass Zooplankter aufgrund ihrer geringen Größe und der geringen eigenen Bewegungsfähigkeit keinen oder kaum Einfluss auf die Wasserzirkulation in den Meeren haben. In einem Laborexperiment hat das Team um Dabiri aber 2018 erstmals gezeigt, dass diese kleinen Tiere durchaus einen großen Effekt auf die Wasserdurchmischung im Meer haben können, wenn sie sich als große Gruppe zusammenschließen. Die Salinenkrebse wurden dabei als Modellorganismus stellvertretend für die Zooplankter genommen, um die tägliche Massenmigration des Zooplanktons zu simulieren und die Strömungsmechanik zu studieren. Mithilfe von Lichtquellen wurden die Tiere (fototaktisch) zur vertikalen Migration angeregt, da sie dem Licht folgen. Dieser Versuchsaufbau stellt die natürlichen Lichtbedingungen in