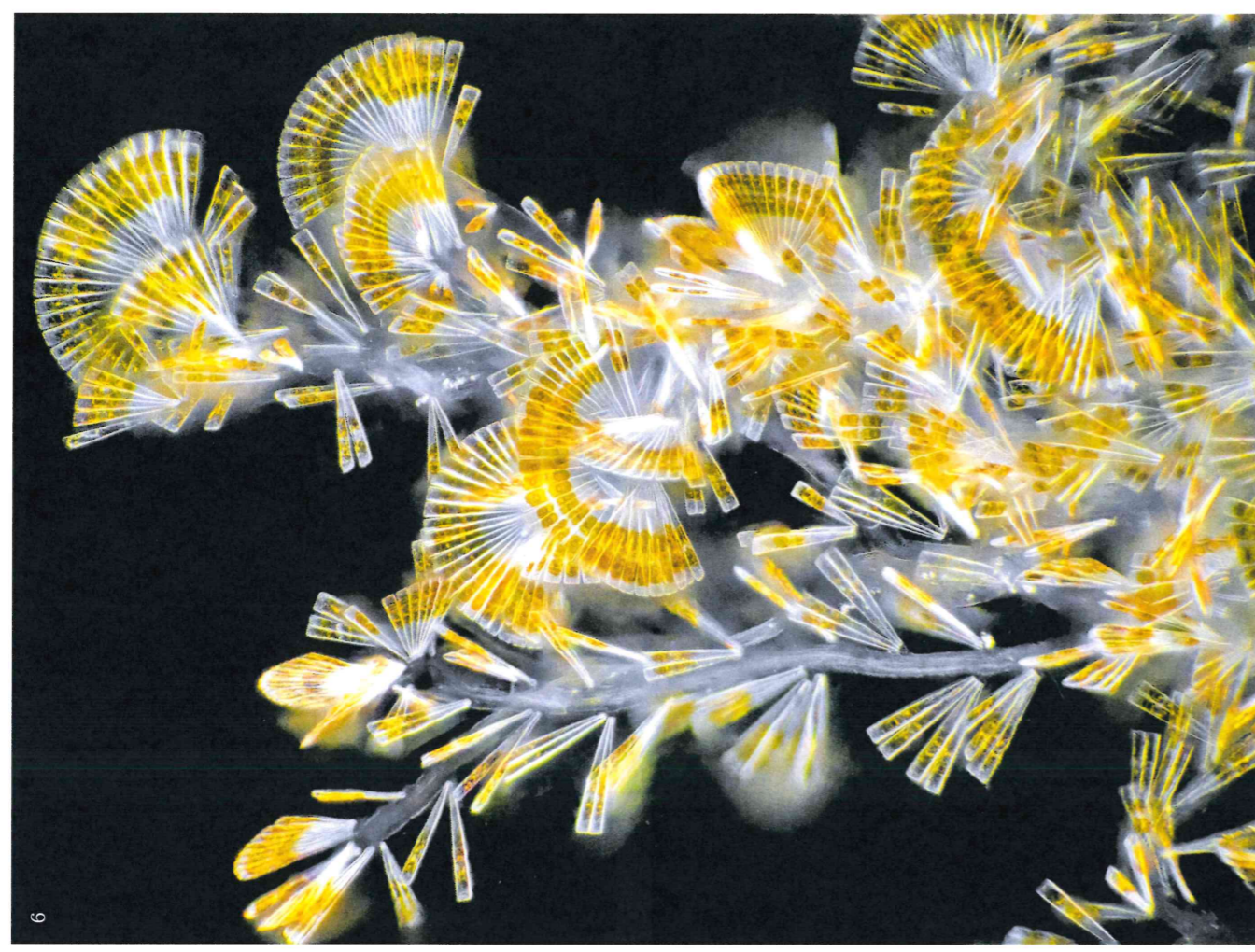
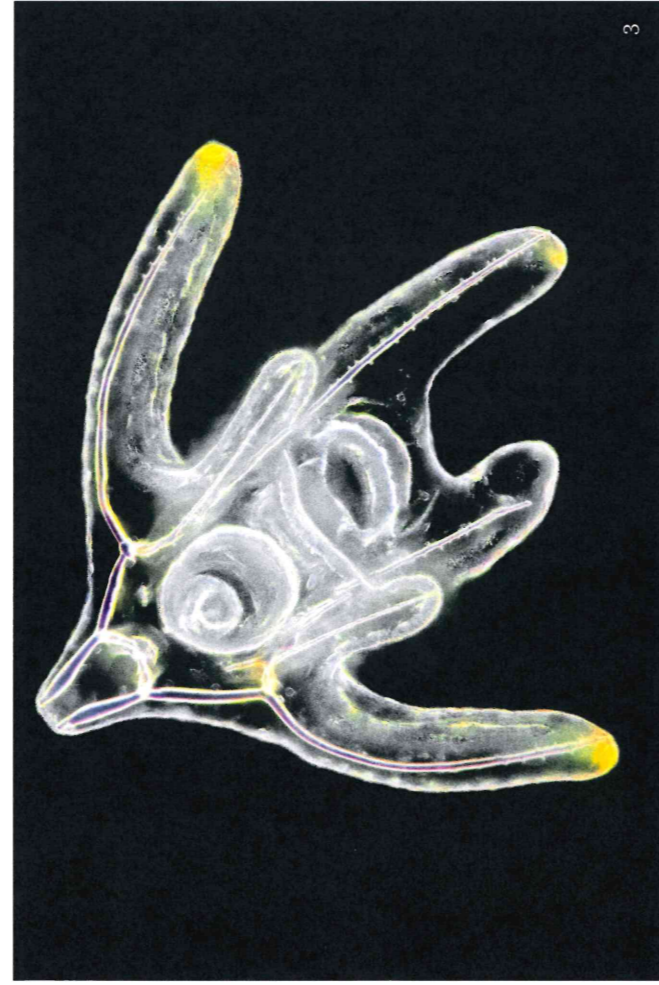


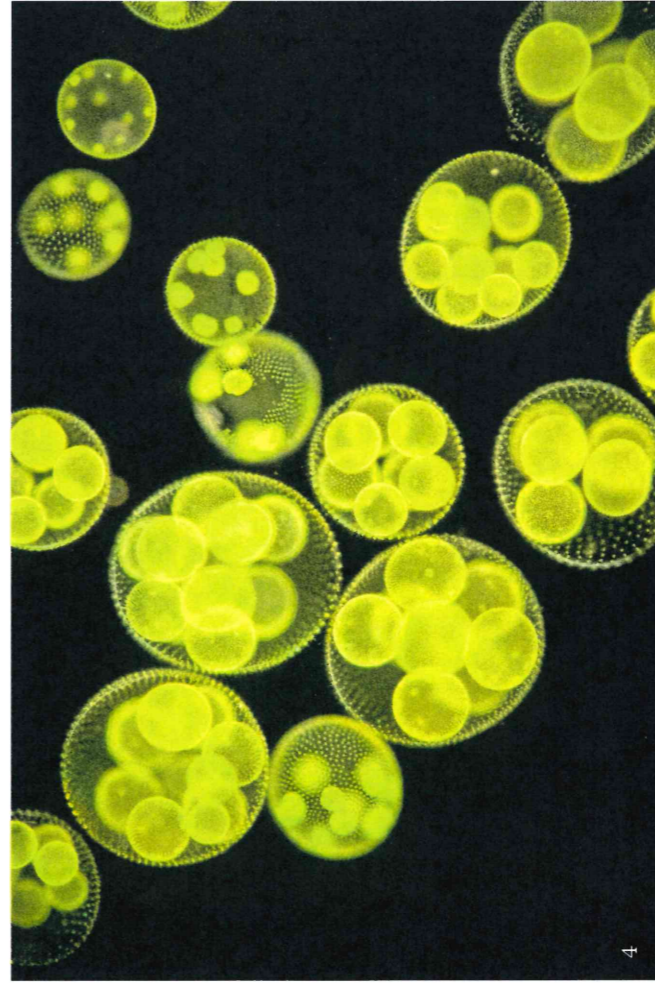
2



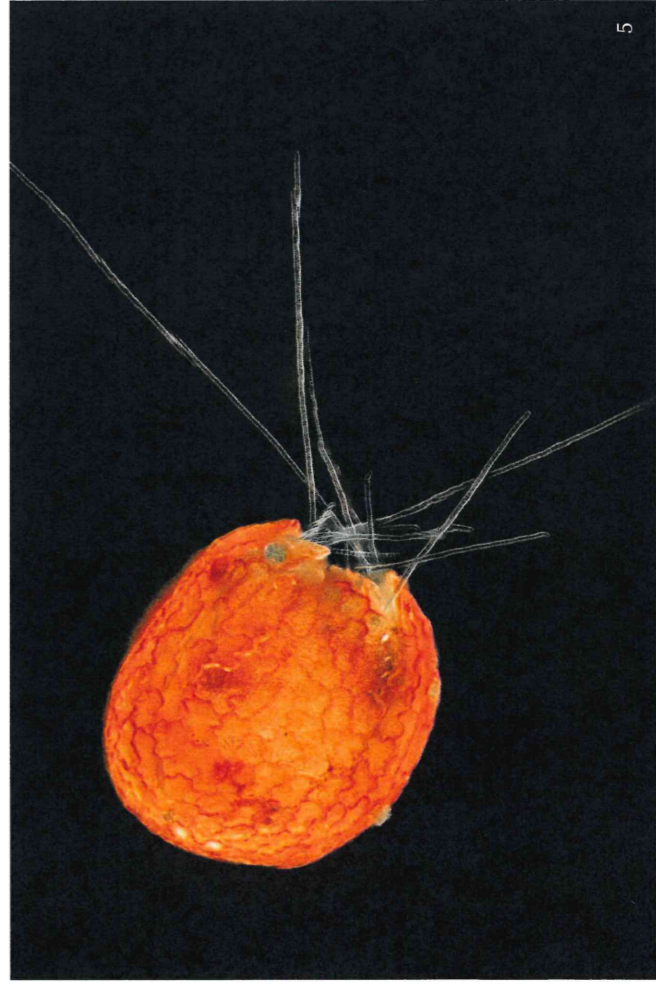
6



3



4



5

Sommer-Hitzewelle, dann können wir messen, dass die Sommer-Generationen viel höhere Temperaturtoleranzen entwickelt haben.“

Für die Experimente verbinden die Proben Monate in Inkubatoren, regelbare Lichtlevel, CO₂-Gehalte und Temperaturen simulieren Klimawandel im Zeitraffer. Kieselalgen etwa, deren Komfortzone 22 Grad beträgt, schwimmen dann in 26 Grad, ein Anstieg, wie ihn der Weltklimarat für einige Meeresregionen erwartet. „Und wir beobachten tatsächlich: Manche Organismen kommen mit der Erwärmung gut zurecht“, sagt Schaub. „Leider nicht alle. Zu den Verlierern im Klimawandel, vermuten Forschende, gehören zum Beispiel die *Coccolithophorida* zählenden, einzellige Algen, die durch Hitze und Versauerung Mühe haben, ihre Kalkschalen zu bilden und instand zu halten.“

Mögliche Gewinner sind im Sommer vor vielen Stränden zu sehen, wo sich das Wasser grün färbt oder sich Teppiche aus grau-braunem Schleim bilden, die Fische und Muscheln vergiften. Die toxischen Algen setzen zwar ebenfalls Sauerstoff frei und binden CO₂. Bloß rettet das kaum ihren Ruf. Da sie vor Küsten treiben, sinken sie mit ihrem Tod nicht zum Tiefseegrund, sondern bleiben oberflächlich, wo Bakterien sie schnell zersetzen und das CO₂ wieder entweicht. Und zusätzlich oft Lachgas und Methan, noch stärkere Treibhausgase.

1 Der gemeine Wasserfloh kann mehrere Millimeter groß sein und beeindruckt durch sein großes Auge, das aus 22 Einzelaugen besteht.

2 Die Larve eines Polychaetenwurms im sogenannten Trochophorstadium. Mit einem Ring aus Zilien (Fortsätze) kann sie sich im Wasser fortbewegen.

3 Die Larve eines Schlangensterms. Sie sind eng verwandt mit den See-sterne. Bei Gefahr werfen sie ihre Arme ab, die dann wieder nachwachsen.

4 Die grüne Kugelalge pflanzt sich ungeschlechtlich fort: Die Tochterkugel wird freigesetzt, nachdem die somatischen Zellen der Mutter abgestorben sind.

5 Die Testate-Amöben sind Einzeller mit ether Schale, die nach dem Absterben erhalten bleibt. Das macht sie zu einem guten Bioindikator.

6 Die Kieselalgen sind winzig klein, aber ein wesentlicher Bestandteil des Meeressplanktons. Derzeit unterscheidet man 6000 Arten.

nahme –, das der Bund mit 27 Millionen Euro fördert. Das Geomar und 21 weitere Einrichtungen erforschen, ob sich die natürlichen Prozesse im Ozean künstlich verstärken lassen, um mehr CO₂ aufzunehmen. Riebesell koordiniert das Teilprojekt „TestatUp“: Wellenpumpen befördern nährstoffreiches Tiefenwasser in die Oberflächenschichten, um das Planktonwachstum zu beflügeln. Im Sommer starten Tests südlich der Kanaren. Für solche Projekte hat sich der Begriff Geoengineering etabliert. Riebesell mag ihn nicht. Man könne Natur nicht planen wie der Ingenieur eine Brücke. „Dafür verstehen wir die Vorgänge auf der Erde viel zu wenig.“

Manchmal läuft weniger das Projekt aus dem Ruder, als vielmehr die Kritik daran. Früher forschte Ulf Riebesell an der Bindung mit Off begrenzt Eisenknappheit das Phytoplankton-Wachstum. In zwölf Experimenten wurde zwischen 1993 und 2005 gelöstes Eisen im Südlichen Ozean injiziert, was die Algen tatsächlich spritzen ließ. 2009 brach das Forschungsschiff *Polarstern* zur 13. Studie auf – und kam nicht weit. Naturschützer fürchteten die Folgen für die Meereswelt. Schließlich forderte auch das Bundesumweltministerium den Stopp des Experiments. „Danach war Eisendüngung als Forschungsthema verbrannt“, sagt Riebesell. Inzwischen hat sich die Stepsis gelegt und erste Gruppen nehmen den Faden wieder auf.

Elisa Schaub nennt solche Eingriffe „extrem spannend“, aber auch mutig. Wälder aufzuforsten, sagt sie, sei eine Sache, mit denen kenne der Mensch sich aus. Marine Ökosysteme hingegen seien eine Blackbox. „Sie sind so vielschichtig und wir wissen so wenig über ihre Biologie, dass mir ein bisschen unheimlich wird, wenn man versucht, daran rumzudrehen.“ Zunächst müssten wir den Ozean richtig verstehen. Andere fürchten, dass so viel Zeit nicht bleibt. „In den nächsten fünf bis acht Jahren muss etwas passieren“, sagt Riebesell. Den größten Effekt erhofft er sich von einem weiteren CDR-Mare-Vorhaben, der Alkalisierung. Neben dem Plankton befördert auch das Meerwasser selbst CO₂ aus der Atmosphäre in die Tiefe. Dieser Prozess läuft langsamer, seit die Meere sich erwärmen und zudem versauern, also ihre CO₂-Sättigung steigt. Löste man gewaltige Mengen alkalischer Mineralien im Ozean, so der Ansatz der Forscher, ließe sich dessen CO₂-Aufnahme wieder ankurbeln. Wo Schiffe oder Anlagen die Mineralien einbringen, könnte allerdings das Plankton beeinträchtigt sein, weil im Wasser zeitweise weniger CO₂ für ihre Fotosynthese steckt. Mit Versuchen zuletzt vor Gran Canaria und bald vor Norwegens Küste vor Helgoland will das Projektteam sicherstellen, dass die Folgen für das Plankton keine gravierenden sind. Mögen die winzigen Meereswesen auch wandern und weiter verzweigen: Verschwinden dürfen sie schließlich nicht.

Wälder aufzuforsten ist eine Sache, marine Ökosysteme hingegen sind eine Blackbox

In der Natur kommt es eben auf das Gleichgewicht an. Vor allem der Kohlenstoffkreislauf der Erde gerät durcheinander, seit Abermillionen Jahre altes Plankton als Erdöl und Erdgas in Öfen und Ottomotoren verheizt wird. Heutiges Plankton helfen, die Balance wiederherzustellen. Fünf Jahre ist das her, da blickte Ulf Riebesell mal nicht auf das ozeanische Leben, sondern auf sein eigenes. Noch zehn Jahre bis zum Ruhestand. Er war Frustriert: Auf etlichen Konferenzen hatten Forscherkollegen und er mahnende Vorträge zu Versauerung, Erwärmung und Sauerstoffverlust gehalten. Was es brachte: „Gar nichts“, sagt er. „Wir sind seither keinen Schritt weitergekommen, was die Reduzierung der CO₂-Emissionen betrifft.“

Für eine Chance auf das 1,5-Grad-Ziel müsste der globale Ausstoß jährlich um sieben Prozent sinken. Tatsächlich steigt er, Deutschland verzeichnete 2021 ein Plus von 4,5 Prozent. Riebesell jedenfalls beschloss: Statt Forschungsaussagen weiter zu verfeinern, die Politik und Öffentlichkeit ohnehin kaltließen, wollte er Lösungen anbieten.

Im März lief der Kick-off für das Großprojekt CDR Mare – CDR sieht für Carbon Dioxide Removal, also Kohlendioxident-



Per Anhalter durch den Ozean

Plankton dominiert die Meere und versorgt den Planeten mit Sauerstoff. Nun versetzt der Klimawandel die für das menschliche Auge unsichtbaren Kleinstlebewesen unter Stress. Wie kann man sie retten?

TEXT: DAVID KRENZ; FOTOS: JAN VAN IJKEN

Auch wenn im Leben der Antrieb fehlt, wer sich einfach treiben lässt, kann unentbehrlicher Teil der Gemeinschaft sein. Das Plankton macht es vor. Der Begriff aus dem Altgriechischen (*plagktos* = umherschweifend) benennt alle Lebewesen, die in Gewässern nicht aktiv schwimmen, sondern nur driten. Statt Flosse oder Tentakel nutzen sie Wellen, Wirbel, Strömungen. Per Anhalter durch den Ozean. Plankton bildet fast 98 Prozent der Biomasse in den Weltmeeren und für deren Tierwelt die Nahrungsbasis. Ohne Plankton ginge uns rasch der Fisch aus. Und die Luft: Die pflanzlichen Vertreter des Planktons, das Phytoplankton, erzeugen mindestens so viel Sauerstoff wie alle Bäume und Pflanzen an Land, jeden zweiten Atemzug verdanken wir dem Meer. Zudem entziehen sie der Atmosphäre gigantische Mengen an Kohlendioxid.

Man nennt sie daher auch „Wälder der Meere“. Doch während uns die Klimaauswirkungen auf die echten Bäume schmerzlich bewusst sind, seit jeden Sommer irgendwo ein Jahrhundertbrand wütet, gerät das Plankton viel seltener in den öffentlichen Blick. Weil die meisten Arten unsichtbar für das bloße Auge sind? Aufhorchen ließ 2010 eine im Fachjournal *Nature* veröffentlichte kanadische Analyse, wonach die Planktonkonzentration in mehreren Weltregionen dramatisch gesunken sei. „Nahrungskrise im Ozean“, „Die Meereshungel schrumpt“, „Das tote Meer“ titelten daraufhin weltweit Zeitungen.

Fischsterben, Todezozonen, Plastikinseln – was heißt all das fürs Plankton? Und, zu den Wäldern der Ozeane: Die Bäume an Land gelten ja auch als potenzielle Klimaretter, Milliarden fließen in Waldentwicklung und Pflanzaktionen – ließe sich auch Plankton noch stärker einsparen? Gibt es Aufforstungsprogramme im Meer?

Am Kieler Fordeufer steht das Geomar-Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung. Zwölf Jahre lang verschrieb sich der Meeresbiologe Ulf Riebesell der zunehmenden Versauerung der Ozeane, heute sagt er: Die ist nicht das größte Problem für Meereswelt und Plankton. Ebenso wenig wie Müllstrudel, Mikroplastik oder Sauerstoffschwund. „Es ist die Erwärmung, die die gravierendsten Auswirkungen hat.“ Die Hitze mache den Ökosystemen doppelt zu schaffen. Erstens: Die Meere schichteten sich stärker. Das warme, leichtere Oberflächenwasser liegt wie ein Deckel auf den kälteren Schichten und vermindert eine Durchmischung, weniger Nährstoffe aus der Tiefe gelangen hinauf, „und das Plankton wächst weniger“. Phytoplankton lebt in den oberen 200 bis 300 Metern, wo genug Sonnenlicht für ihre Photosynthese eintrifft. Und Zooplankton, das tierische Plankton, hält sich, da es Phytoplankton frisst, in den gleichen Gefilden auf.

Problem zwei seien Hitzewellen. „Sie erleben wir immer häufiger.“ Über Wochen

klettern die Temperaturen auf Werte, an die die Organismen der jeweiligen Meeresregion nicht angepasst sind. Viele Lebewesen haben ihr physiologisches Optimum in einem engen Temperaturbereich. Im Hitzestress wächst der Energieverbrauch, im Hochsommer schlaucht schon der Gang zum Supermarkt. Die zusätzlich verbrauchte Energie müssen die Plankter (so heißen einzelne Organismen des Planktons) woanders einsparen, beim Wachsen, ihrer Reproduktion oder beim Bilden vom Kalkgehäuse, die vor Fressfeinden schützen. „Das alles beobachten wir“, berichtet Riebesell. Das Geomar dokumentiert unter anderem mit Mesokosmen, übergroßen Reagenzgläsern im Meer, wie Planktongemeinschaften auf sich wandelnde Umweltbedingungen reagieren. Andere Studien basieren auf Satellitenbildern und Modellen. Dabei prognostizieren viele Untersuchungen einen Artenverlust. Aber nicht, weil das Plankton massenhaft einginge. Sondern es verdrängt sich selbst.

Plankton mag wirken wie von einem anderen Stern, zählt aber zu den ältesten Erdbewohnern

Denn viele Spezies harren nicht einfach ihrem Ende entgegen, wie der Frosch im Kochtopf. Laut dem Wissenschaftsreport „World Ocean Review“ verschiebt sich das Phytoplankton des Nordatlanks seit den 1950ern pro Jahrzehnt um mehrere Hundert Kilometer nördlich, Zooplankton-Gemeinschaften treibt es ebenfalls polwärts – sie wandern ihrer Wohlfühltemperatur hinterher. Und gelangen damit in die Revire anderer.

Die Lebensräume im Ozean gliedern sich in unzählige ökologische Nischen. Jede sei unikampft, sagt Riebesell. „Da geht es um Nährstoffe, um Licht, Raum, Schutz vor Feinden. Ist ein Organismus durch einen Stressor von außen, ob Hitze oder Versauerung, in seiner Nische nicht mehr konkurrenzfähig, kommen andere und besetzen sie.“ Mit Planktonrekorden ließ sich im Nordatlantik nachweisen, dass der dort angestammte, reiskorngroße Rudertürlkrebs *Calanus finmarchicus* seinem Verwandten aus dem Süden, *Calanus helgolandicus*, weichen muss.

Das Verschwinden einer Spezies ermöglicht einer anderen die Ausbreitung. Von einem globalen Massensterben der Planktongemeinschaft geht die Forschungsmeinung nicht her, heute nicht aus. Was aber nicht heißt, dass alles halb so wild wäre.

Denn die Neukommlinge sind oft winziger als die von ihnen verdrängten Arten. Kleinere Körper haben weniger Volumen im Verhältnis zu ihrer Oberfläche, was sie genügsamer macht, ein Vorteil in Zeiten des Nährstoffmangels. Forschende sehen einen Trend. „Das Plankton verzweigt“, sagt Ulf Riebesell. „Das hat Folgen für Nahrungskette und Fischbestände: Schrumpfen

fende Portionen erschweren die Futtersuche der Planktonjäger.“

Auch die biologische Pumpe könnte ins Stottern kommen. Phytoplankter nehmen CO₂ aus der Atmosphäre auf, sterben sie, rieseln ihre Überreste – oder der Kot ihrer Fressfeinde – zum Meeresgrund, wo das CO₂ lange bleibt. Der Tiefentransfer funktioniert umso besser, je größer und schneller Plankton ist. Eine Studie der ETH Zürich erwartet daher eine sinkende Effizienz der Pumpe in Regionen, in denen kleinere Arten auf dem Vormarsch sind.

Aktuell geht die Forschung von mehr als einer Million Planktonarten aus, knapp ein Viertel ist beschrieben. Dazu zählen Nesseltiere, die ihre Beute mit klebrigen Fangarmen Richtung Mund befördern, genauso wie Kieselalgen, deren Kettenglieder durch Schleimbrücken verbunden sind. Es gibt Kopffüßer, die ihre Farbe wechseln, um zu kommunizieren, und Quallen der Gattung *Tritopsis*, die als potenziell unsterblich gelten, weil sie ihren Entwicklungszyklus umkehren können. Flohkrebse der Gattung *Phronima* besitzen rote Komplexaugen und zwei Klauen, mit denen sie Gallertiere schnappen und füttern, aus ihren Hüllen bauen sie sich tonnenförmige Häuschen. Angeblich inspirierten sie das Design der Monster aus den „Alien“-Filmen.

Plankton mag wirken wie von einem anderen Stern, zählt aber zu den ältesten Erdbewohnern. Biallagen haben im Urozean vor 2,5 Milliarden Jahren Sauerstoff in die Atmosphäre gepumpt, was Wasser und Himmel blau färbte, die Ozonschicht entstehen ließ, Schutzschirm vor tödlicher Weltraumstrahlung. Das ermöglichte eine Evolution höherer Lebewesen bis zum Menschen. Nun prägt der das Klima.

Recht tapfer trotzt Plankton den Umständen. Vor allem dank seiner Schnelligkeit. Anders als etwa der bedrohte Heering, der mit frühestens drei Jahren erstmals laicht, bringen manche Algen hunderte Generationen im Jahr hervor. „Hundert Generationen bedeutet, jede Zelle hat sich hundert Mal geteilt. Und dabei hat sie jedes Mal die Möglichkeit, ihr Erbgut zu verändern, um sich genetisch an Umweltveränderungen anzupassen“, sagt Elisa Schaum.

Die Planktonökologin der Uni Hamburg forscht mit ihrem Team zum evolutionären Potenzial des Phytoplanktons. Sie führt durch die Laborräume ihres Instituts. „It’s pretty“, ruft Schaum, als ihr eine Doktorandin eine glitzernde Kieselalge unter dem Lichtmikroskop zeigt, die im Original 0,05 Millimeter groß ist und aus der Elbe stammt. Im Labor reisen Algen und Plankton in die Zukunft. „Wir werfen das Plankton von heute aber nicht einfach in den Ozean von morgen“, sagt Schaum. Schließlich reproduziert es sich rasant, Mikroevolutionen heißen solche Anpassungen innerhalb einer Spezies. „Wenn wir sie im Frühling untersuchen und später während einer