

**Spektrum**  
der Wissenschaft

**KOMPAKT**

# DIE WUNDERWELT DER **PFLANZEN**



**Plankton**  
Motor der Evolution

**Physiologie**  
Grüne Wasserwaage

**Wood Wide Web**  
Vernetzte Welt



Antje Findekle  
E-Mail: [findekle@spektrum.de](mailto:findekle@spektrum.de)

Liebe Leserin, lieber Leser,  
das Grün um uns birgt so manch spannende Erkenntnis:  
sei es als Archiv der Vergangenheit oder Vorbild für  
Hightech-Anwendungen. Pflanzen sind Meister der  
Tarnung und der Täuschung, sie kommunizieren  
untereinander und manipulieren ihre Bestäuber,  
Samenverbreiter und Fressfeinde. Und während manche  
uns dank ihrer Inhaltsstoffe gesünder machen, sollten Sie  
anderen wirklich besser aus dem Weg gehen.

Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 01.04.2019

Folgen Sie uns:



**CHEFREDAKTEURE:** Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.)  
**REDAKTIONSLEITER:** Dr. Daniel Lingenhöhl  
**ART DIRECTOR DIGITAL:** Marc Grove  
**LAYOUT:** Oliver Gabriel, Marina Männle  
**SCHLUSSREDAKTION:** Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies,  
Katharina Werle  
**BILDREDAKTION:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe  
**PRODUKTMANAGEMENT DIGITAL:** Antje Findekle,  
Dr. Michaela Maya-Mrschtik  
**VERLAG:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,  
Tiergartenstr. 15-17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600,  
Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114,  
UStd-Id-Nr. DE229038528  
**GESCHÄFTSLEITUNG:** Markus Bossle  
**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.),  
Michaela Knappe (Digital)  
**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser,  
Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

**BEZUGSPREIS:** Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer  
**ANZEIGEN:** Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen  
interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an  
[service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de).

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2019 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

SEITE  
04

BIOLOGISCHE VIELFALT  
Plankton – Motor der Evolution

WATCHERFF / GETTY IMAGES / ISTOCK

SEITE  
20

WOOD WIDE WEB  
Die vernetzte Welt der Pflanzen

KOBZEY3179 / GETTY IMAGES / ISTOCK

TULPENKRISE

Als Blumen den ersten  
Börsencrash auslösten

SEITE  
41

ISTOCK / JACOBH

BIOCHEMIE

Wie giftige Pflanzenstoffe uns  
gesünder machen

SEITE  
47

UNSPASH / PRANAV MADHVI

- 13 EVOLUTION  
Erste Landpflanzen früher als gedacht?
- 16 PFLANZENPHYSIOLOGIE  
Grüne Wasserwaage
- 25 ÖKOLOGIE  
Chemischer Hilferuf der Blüten
- 29 FIESER PFLANZENSCHUTZ  
Wie man Raupen dazu anstiftet,  
sich selbst zu fressen
- 31 BOTANISCHE SENSOREN  
Fleisch fressende Pflanze arbeitet mit  
Gasradikalen
- 33 SELBSTORGANISIERENDE SYSTEME  
Die völlig übersehene Schattenstrategie  
der Sonnenblume
- 35 BOTANISCHE INNOVATIONEN  
Hahnenfuß lockt Bestäuber mit allen Tricks
- 37 SCHLICHTING!  
Vorsicht – explodierende Samenkapseln
- 58 FINGER WEG  
10 Pflanzen, die Sie unbedingt meiden  
sollten

BIOLOGISCHE VIELFALT

# PLANKTON

---

## Motor der Evolution

von Ronald Martin und Antonietta Quigg

Nach der Permkatastrophe vor 250 Millionen Jahren explodierte die Vielfalt der Meerestiere plötzlich. Ein wichtiger Grund: ein Entwicklungsschub des Phytoplanktons.

**K**önnten wir die Erde vor 500 Millionen Jahren aufsuchen, erschiene sie uns wie ein fremder Planet. Damals, im Erdaltertum oder Paläozoikum, lagen die Kontinente überwiegend in der südlichen Hemisphäre, die Ozeane hatten völlig andere Umrisse und Strömungen, die heutigen Gebirge und Wüsten gab es noch nicht. Auch Landpflanzen waren noch nicht entstanden.

Am befremdlichsten erschiene uns aber wohl die damalige Tierwelt. Noch lebten fast alle mehrzelligen Organismen im Meer. Brachiopoden – äußerlich Muscheln ähnelnde Armfüßer – und Trilobiten beherrschten die Szene. Letztere waren urtümliche Gliederfüßer, also Verwandte von Krebsen, Spinnen und Insekten. Wie diese bildeten sie eine harte Hülle als Außenskelett, trugen am Kopf lange Fühler – so genannte Antennen – und besaßen Facettenaugen, die aus vielen kleinen Einzelaugen bestehen.

Während der nächsten 250 Millionen Jahre nahm die Vielfalt der Meerestiere beträchtlich zu – bis zum größten bekannten Massensterben am Übergang vom Perm zur Trias, bei dem über 90 Prozent aller

ozeanischen Arten ausgelöscht wurden. Damit ging vor rund 250 Millionen Jahren das Erdaltertum zu Ende, aber ein neues Zeitalter stand schon in den Startlöchern: das Erdmittelalter oder Mesozoikum mit den Dinosauriern, in dem auch frühe Säugetiere sowie später erste Vögel auftraten. Auch im Meer gestaltete sich das Leben jetzt grundlegend neu. Dort setzten sich viele der Tiergruppen durch, die noch heute die Ozeane beherrschen, zum Beispiel moderne Raubfische, Weichtiere und Krebse, Seeigel und Seegurken.

Den Fossilienfunden zufolge wuchs die Vielfalt der Meerestiere seit damals wesentlich stärker als je zuvor. Diese Entwicklung setzte sich über das Erdmittelalter hinaus in der Erdneuzeit fort. Früher hielten die Forscher diesen Befund für ein Artefakt – dadurch hervorgerufen, dass sich geologisch jüngere Fossilien mehr und besser erhalten haben. Aber inzwischen steht fest: Die beeindruckende Zunahme der Diversität ozeanischer Arten seit dem frühen Erdmittelalter ist Tatsache. Als Ursachen dafür betrachten Wissenschaftler unter anderem Klimaveränderungen, Verschiebungen des Meeresspiegels oder auch weitere Massenaussterben. Weil all solche Ereignis-

AUF EINEN BLICK

## Große Rolle für die Kleinsten

- 1 Nach der Permkatastrophe, dem größten Massenaussterben aller Zeiten vor 250 Millionen Jahren, entstanden im Meer bald erstaunlich viele neue Lebensformen. Zahlreiche heutige Organismen gehen darauf zurück, etwa moderne Raubfische.
- 2 Bisher erklärten Forscher diese rasante Evolution mit physikalischen Umweltphänomenen, etwa Verschiebungen des Meeresspiegels. Doch die Anzeichen mehren sich, dass Algen des Planktons dabei eine wichtige Rolle spielten.
- 3 Seit damals gewannen andere Planktonalgen als vorher die Oberhand. Sie waren nahrhafter – und ermöglichten deshalb der Tierwelt eine raschere Evolution sowie in manchen Fällen einen intensiveren Stoffwechsel.

se die Evolutionsmöglichkeiten und Überlebenschancen neu verteilen, mögen sie für den beobachteten Anstieg der Organismenvielfalt durchaus einige Bedeutung gehabt haben. Doch sie allein erklären die fossilen Befunde nicht zufrieden stellend.

Denn ein anderer Faktor fand in den bisherigen Szenarien zu wenig Gewicht: das Nahrungsangebot im Meer, genauer gesagt die Basis der Nahrungsketten, das Phytoplankton. Damals, als die marine Artenvielfalt so frappant zuzunehmen begann, erfolgte bei den winzigen Algen des pflanzlichen Planktons offensichtlich ein Umschwung. Ihre Masse und insbesondere ihr Nährstoffgehalt nahmen stark zu. Wie es aussieht, ermöglichten erst diese mikroskopischen, Fotosynthese betreibenden Organismen die Evolution der modernen Meeresfauna.

Die neuen Einsichten verweisen zudem auf die Zukunft unseres Planeten: Auch heute noch basieren wichtige Nahrungspyramiden auf dem Phytoplankton. Das aber droht nun durch Klimawandel und anhaltende Abholzung völlig aus dem Gleichgewicht zu geraten. Warum sind die Planktonalgen so grundlegend wichtig? Wie alle Pflanzen erzeugen sie durch Foto-

synthese mittels Sonnenenergie organische Nahrungsstoffe. Von ihnen ernährt sich zunächst hauptsächlich das so genannte Zooplankton, das selbst keine Fotosynthese betreibt. Dessen winzige Tiere oder Larven und Eier werden wiederum von etwas größeren tierischen Organismen in der Nahrungskette gefressen, und so weiter.

Nährstoffe im Wasser wie Stickstoff, Eisen, Phosphor »düngen« das Phytoplankton. Je mehr davon vorhanden ist, desto besser gedeihen die Mikroalgen – und desto mehr Nahrung steht dem tierischen Plankton zur Verfügung, und somit auch dessen Fressfeinden. Ein Überangebot an solchen Stoffen macht das Phytoplankton zudem nahrhafter. Dann wachsen und vermehren sich die winzigen Tiere auf den unteren Stufen der Nahrungskette noch besser, ihre Populationen breiten sich aus, Teile davon spalten sich ab und bilden neue Populationen. Diese entwickeln sich manchmal eigenständig weiter. So können mit der Zeit immer wieder neue Arten entstehen. Und weil solche Vorteile in der Nahrungskette weitergereicht werden, fördert ein reicheres Plankton letztlich gleichfalls die Evolution größerer Tiere.

In den 1990er Jahren tauchte einer der ersten Hinweise darauf auf, dass die Mikroalgen bei der Explosion der Lebensvielfalt nach dem Paläozoikum eine Rolle gespielt haben dürften. Aus Untersuchungen an marinen Fossilien schlossen damals mehrere Forscher unabhängig voneinander, dass das Nahrungsangebot im Meer seit dem Erdaltertum bis in die Erdneuzeit zugenommen hat. Zu ihnen gehörten der Paläontologe Richard Bambach, heute bei der Smithsonian Institution in Washington D. C., sowie einer von uns (Martin). Uns war aufgefallen, dass der Anteil an räuberischen und anderen Meeresorganismen, die einen höheren Energiebedarf als Zooplankton haben, im Verlauf der Zeit immer weiter gestiegen war. Direkte Anzeichen von gehaltvollerem Phytoplankton entdeckten wir (Martin und Quigg) zusammen mit Viktor Podkovyrov von der russischen Akademie der Wissenschaften erst vor wenigen Jahren an fossilen marinen Algen selbst.

Wie wir erkannten, bestand die pflanzliche Nahrungsbasis im Erdaltertum in der Hauptsache aus winzigen »grünen« Algen, zu denen verschiedene nicht unbedingt näher verwandte Organismen gehören, die ihre Fotosynthese nach dem gleichen Sche-

ma betreiben. Diese »grünen« Algen sind nicht zu verwechseln mit den so genannten Grünalgen, die zwar auf Grund ihrer Art der Fotosynthese auch dazugehören, aber gewöhnlich als eine zusammengehörige systematische Gruppe gelten. Räuberische Arten gab es damals, als »grüne« Mikroalgen vorherrschten, noch vergleichsweise wenige.

Aber nachdem beim permischen Massensterben das meiste Leben im Meer einschließlich der meisten »grünen« Algenlinien ausgelöscht worden war, tauchten neue Phytoplanktonformen auf. Zunächst waren das die Coccolithophoriden, Kalkalgen mit einer als Coccolith bezeichneten Schale. Hinzu kamen bald Dinoflagellaten (Panzergeißler) und Diatomeen (Kieselalgen). Letztere sollten sich später zu den vorherrschenden und vielfältigsten Organismen des marinen Phytoplanktons entwickeln. Diese drei Gruppen zusammen bezeichnen wir als »rote« Algen (wiederum nicht zu verwechseln mit den Rotalgen). Sie verwendeten zur Fotosynthese einen Chlorophylltyp, der vermutlich einst von Rotalgen aufgenommen worden war. Jene »roten« planktonischen Algen ersetzen fortan weitgehend die »grünen« Arten

des Erdaltertums. Und damit boten sie beste Voraussetzungen für die Entstehung zahlreicher neuer Tiere mit hohem Energiebedarf – so unsere These.

### **Warum »rotes« Plankton siegte**

Natürlich fragten wir uns, wieso jene »roten« Algen über noch verbliebene »grüne« Planktonorganismen, die das Massensterben überlebt hatten, dermaßen die Oberhand gewinnen konnten. Anscheinend, so meinen wir inzwischen, spielte eine große Rolle dafür ein verändertes Angebot der im Wasser gelösten Mikronährstoffe, die Pflanzen zu ihrer Fotosynthese benötigen. Als Quigg und ihre Kollegen an der Rutgers University (New Jersey) den Gehalt von solchen, in geringen Konzentrationen verfügbaren Spurenelementen bei heutigen »grünen« und »roten« Planktonalgen verglichen, fanden sie einige klare Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Aus ihren Ergebnissen schlossen sie, dass auch damals die »grünen« Algen – wie die heutigen – mehr Eisen, Zink und Kupfer enthielten als die »roten« und diese hingegen mehr Mangan, Kobalt und Kadmium. Das wiederum bedeutet, dass die drei letztgenannten Stoffe nach der Permkatastrophe

in größerer Menge verfügbar gewesen sein müssen als die ersten drei. Deswegen konnten nun offenbar »rote« Planktonalgen besser gedeihen als »grüne«.

Geologische Befunde stützen diese These. Aus dem Paläozoikum existieren große Vorkommen von Schwarzschiefer, einem kohlenstoffreichen Gestein. Die Ozeane müssen damals sauerstoffarm gewesen sein, sonst hätte sich der Kohlenstoff nicht in der Form erhalten. Eisen und die anderen Spurenelemente, von denen »grünes« Phytoplankton besonders zehrt, lösen sich im Meer bei geringem Sauerstoffgehalt besser als bei einem hohen. Sie waren diesen Algen somit im Erdaltertum zur Fotosynthese recht leicht verfügbar.

Im Erdmittelalter änderten sich die Verhältnisse. Aus dieser Zeit ist Schwarzschiefer nur von einigen kurzen Phasen überliefert, in denen der Sauerstoffgehalt im Meer abfiel. Meist muss dieser nun jedoch beträchtlich höher gewesen sein als vorher – was offensichtlich den »roten« Algen zugutekam. Denn unter diesen Bedingungen enthält Meerwasser reichlich von ihren bevorzugten Spurenelementen.

Allerdings erklärt das allein den Aufstieg der »roten« Algen noch nicht völlig. Wir ver-