



DIE GROSSE BEDEUTUNG DER KLEINSTEN

Das Cyanobakterium
Prochlorococcus

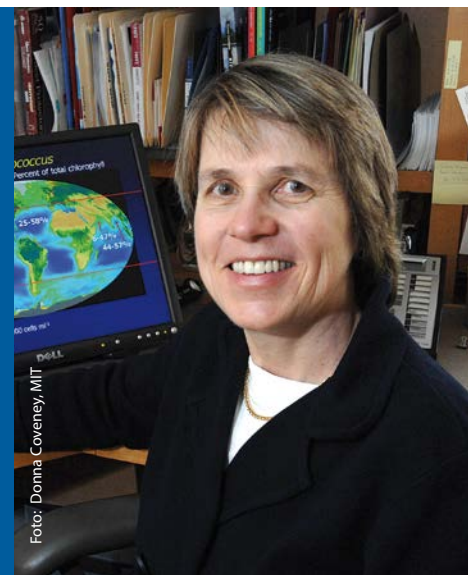
26

■ Einzelne sind unsichtbar und scheinen unbedeutend, doch in der Masse sind sie echte Schwergewichte: Mikroorganismen, die als Plankton durch die Meere treiben. Illustration von Molly Bang aus dem Buch „Ocean sunlight: how tiny plants feed the seas“ von Molly Bang und Sally Chisholm. © 2012 Scholastic Inc./The Blue Sky Press

PROF. DR. SALLIE W. CHISHOLM

Position: Professorin für Environmental Studies am Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, USA;
Gastwissenschaftlerin an der Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), USA

Spezialgebiet: Ökologie, Evolution und vergleichende Genomik mariner Organismen



05

Mikroorganismen sind ein wesentlicher Antrieb für dynamische Prozesse in den Ozeanen. Einige von ihnen sind für die Hälfte der Photosynthese auf unserem Planeten verantwortlich, andere für das Recycling essentieller Nährstoffe, sodass der Kreislauf des Lebens weitergehen kann. Wie groß ihr Einfluss auch auf unser Leben ist, untersucht die amerikanische Biologin und Biochemikerin Prof. Dr. Sallie W. Chisholm vom MIT.

Der Name ist zwar kompliziert, doch man sollte ihn sich merken: *Prochlorococcus* ist wahrscheinlich der zahlenmäßig häufigste Organismus auf der Erde. Es handelt sich dabei um ein Cyanobakterium, das



■ Mikroskopische Aufnahme von *Prochlorococcus*. Das Chisholm Lab beherbergt die weltweit umfangreichste Sammlung von Kulturen dieser Mikrobe aus den verschiedensten Regionen der Ozeane. Foto: Claire Ting, Chisholm Lab, MIT

in den obersten Wasserschichten des Ozeans lebt. Sehen kann man *Prochlorococcus* mit bloßem Auge nicht, denn die Zellen haben nur einen Durchmesser von etwa 0,8 Mikrometer: Das ist ein Hundertstel des Durchmessers eines menschlichen Haars. Damit ist *Prochlorococcus* nach heutigem Kenntnisstand der kleinste Photosynthese betreibende Organismus auf unserem Planeten. Doch seine Winzigkeit macht das Bakterium mit Masse wett: In einem einzigen Wassertropfen können bis zu 200.000 Exemplare vorkommen. Damit könnte *Prochlorococcus* für die Hälfte des im Meer produzierten Sauerstoffs verantwortlich sein – das wäre ein Viertel des Sauerstoffs, den wir Menschen zum Leben benötigen.

Prochlorococcus wurde 1985 von Sallie Chisholm entdeckt. Seitdem arbeitet die Wissenschaftlerin daran, die Biologie von *Prochlorococcus* komplett zu verstehen – von der Genetik bis zur Rolle des Bakteriums für die globale marine Ökologie und Biologie. Sie ist damit eine Vorreiterin für interdisziplinäre biologische Forschung, bei der Biochemiker, Genetiker, Virologen, Mikrobiologen und Ozeanographen zusammenarbeiten.

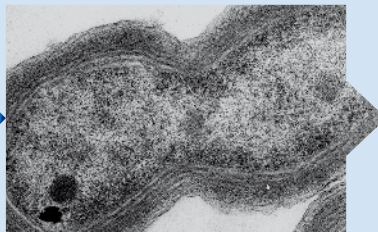
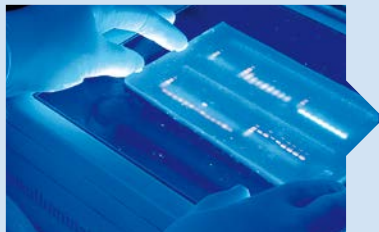
27

Sallie Chisholm studierte am Skidmore College und an der Cornell University, USA Biologie und Chemie und promovierte 1974 an der State University of New York in Albany.

Nach ihrer Postdoczeit an der Scripps Institution of Oceanography in La Jolla, USA wurde sie 1976 Professorin am Department of Civil and Environmental Engineering des renommierten Massachusetts Institute of Technology (MIT) und ist seit 1978 auch als Gastwissenschaftlerin an der Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) tätig. Von 2002 bis 2008 war sie darüber hinaus Direktorin der MIT Earth System Initiative.

Für ihre Arbeiten über die Bedeutung mariner Mikroben wurde Sallie Chisholm mit zahlreichen Ehrungen und Preisen ausgezeichnet, darunter der Huntsman Award for Excellence in Marine Science und die Mitgliedschaft in der National Academy of Sciences der USA. Sie ist Autor von weit über 100 wissenschaftlichen Publikationen in vielen renommierten Fachzeitschriften. Überdies arbeitete Sallie Chisholm in vielen wissenschaftlichen Gremien und als Editor verschiedener Fachzeitschriften. ■

VITA



1 GENARCHITEKTUR

Die DNA von Lebewesen enthält den Plan für den Aufbau jeder einzelnen Zelle.

2 PHYSIOLOGIE DER ZELLE

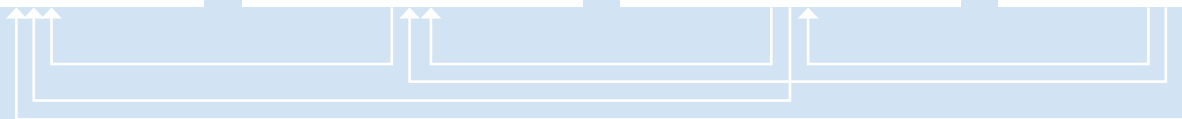
Der Mechanismus der Zellen steuert die Lebensfunktionen einzelner Organismen.

3 DYNAMIK DER GEMEINSCHAFT

Organismen bilden Populationen, die miteinander interagieren und Gemeinschaften formen, die sich selbst wiederum innerhalb eines Ökosystems organisieren.

4 BIOSPHÄRISCHE PROZESSE

Ökosysteme prägen die Biogeochemie unseres Planeten und haben einen tiefgreifenden Einfluss auf Prozesse des Systems Erde.



Man kann das Leben in den Ozeanen nicht verstehen, ohne es in allen Größenordnungen seiner biologischen Organisation zu untersuchen. So hat jede einzelne Stufe Eigenschaften, die aus dem Zusammenspiel seiner Bestandteile entstehen. Diese Eigenschaften wiederum wirken sich auf alle jeweils niedrigeren Organisationsstufen aus und beeinflussen damit das weitere Verhalten aller Teile des Systems.

MASSTABSÜBERGREIFENDE SYSTEMBIOLOGIE

Ein Bakterium als Schlüsselorganismus für eine maßstabsübergreifende Systembiologie

Prochlorococcus ist einer der „Stars“ des mikrobiellen Lebens im Meer, es ist die kleinste und häufigste photosynthetisch arbeitende Zelle im globalen Ozean. Sie gedeiht in den mittleren Breiten und ist häufig für mehr als 50 Prozent der Photosynthese in weiten Bereichen der oberen 200 Meter des Ozeans verantwortlich. So leistet sie einen bemerkenswerten Anteil an der Fixierung von atmosphärischem Kohlendioxid in lebender Materie und der Bereitstellung von Nährstoffen für den Rest der marinen Nahrungskette. In den letzten drei Jahrzehnten wurde im Labor von Sallie Chisholm die Ökologie und Evolution von *Prochlorococcus* untersucht, mit dem Ziel, seine Rolle im marinen Ökosystem zu entschlüsseln. Im Laufe der Untersuchungen hat die Arbeitsgruppe um Sallie Chisholm gelernt, dass innerhalb dieser einzelnen Mikrobenart eine enorme physiologische und genetische Vielfalt besteht, wobei die Zellen jeweils an die leicht unterschiedlichen Umgebungsbedingungen angepasst sind. Auf

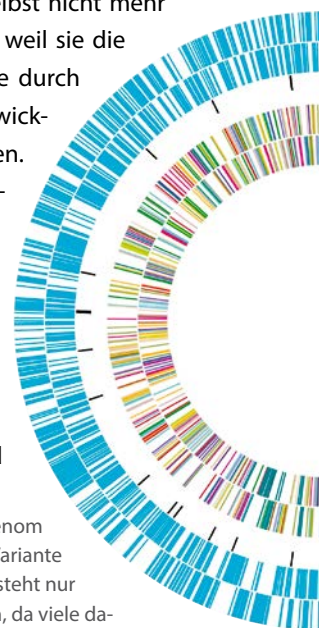
diese Weise lebt die „*Prochlorococcus*-Föderation“, wie die Forscher sie nennen, als globale Gemeinschaft, die ihre Population auch in unterschiedlichen Ozeanen ganzjährig erhalten kann. So wurde beispielsweise herausgefunden, dass die *Prochlorococcus*-Zellen im Atlantischen Ozean viel mehr Gene für die Phosphoraufnahme enthalten als jene im Pazifik. Das hilft ihnen, da die Phosphorkonzentration im Atlantik im Vergleich zum Pazifik um eine Größenordnung niedriger ist, was wiederum die Produktivität in den zentralen Wirbeln abschwächt. Ferner enthalten *Prochlorococcus*-Zellen in den Bereichen der Ozeane, in denen wenig Eisen verfügbar ist, mehr Gene für eine Eisenaufnahme als in Regionen, die über einen Überschuss an Eisen verfügen. Diese fein abgestimmte genetische Vielfalt versetzt *Prochlorococcus* in die Lage, eine dominante Position in den Ozeanen einzunehmen.

Die Zusammenarbeit mit anderen Mikroorganismen

In den letzten Jahren wurde mit Untersuchungen begonnen, wie *Prochlorococcus* mit anderen Mikro-

organismen in seiner Umgebung interagiert. Dabei haben die Ergebnisse die bisherigen Annahmen zu mikrobiellen Gemeinschaften verändert. Das ungewöhnlich schlanke Genom von *Prochlorococcus* ist deshalb möglich, weil andere kooperierende Mikroben bestimmte spezielle zelluläre Funktionen für *Prochlorococcus* ausüben, die diese selbst nicht mehr durchführen können, weil sie die entsprechenden Gene durch evolutionäre Entwicklung verloren haben. Im Gegenzug scheidet *Prochlorococcus* organische Verbindungen aus, welche die kooperierenden Mikroorganismen für die Gewinnung von Kohlenstoff und

Das entschlüsselte Genom der *Prochlorococcus*-Variante MED4: Das Erbgut besteht nur aus rund 2.000 Genen, da viele davon während der Evolution abgestoßen wurden. Die entsprechenden Funktionen haben andere Mikroben für das Cyanobakterium übernommen. Quelle: Katherine Huang, Chisholm Lab, MIT

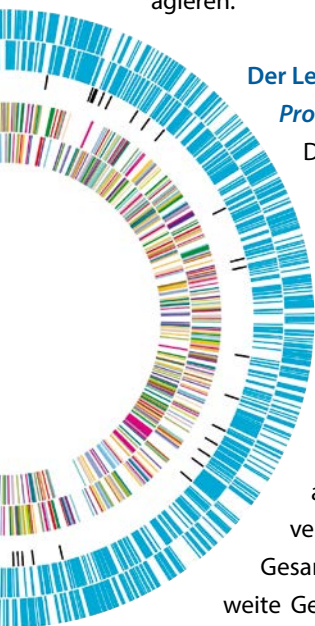




■ *Prochlorococcus*-Kulturen im Chisholm-Lab. Jede Röhre enthält um die 100 Millionen Zellen. Die grüne Farbe entsteht durch das Pigment Chlorophyll, mit dem die Zellen die Lichtenergie der Sonne „ernten“ und Kohlendioxid in organischen Kohlenstoff umwandeln. Diese organische Materie bildet die Grundlage des Nahrungsnetzes im Ökosystem des Meeres.
Foto: Jessie Berta-Thompson

Energie benötigen. „Solche Kooperationen zwischen mikrobiellen Lebensgemeinschaften haben unsere Sicht auf das Ökosystem verändert“, so Chisholm. „Wir nehmen diese Gemeinschaften eher als eine Art Superorganismus wahr, anstatt als eine Ansammlung einzelner Arten, die zufällig in einem flüssigen Milieu interagieren.“

Der Lebenszyklus von *Prochlorococcus*

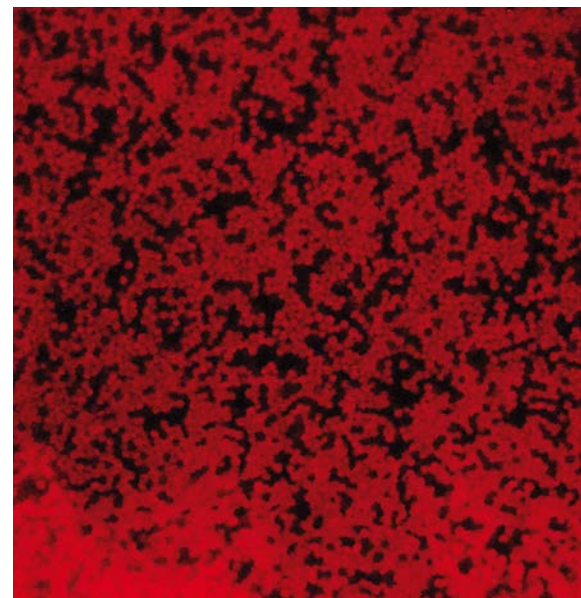


Das Cyanobakterium betreibt am Tag Photosynthese und vergrößert sich dabei. In der Nacht vermehrt es sich durch Zellteilung, sodass die gesamte Population sich etwa alle ein bis zwei Tage verdoppelt. Doch die Gesamtmenge bleibt über weite Gebiete des Ozeans relativ konstant, weil Zellen absterben oder gefressen werden, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die in etwa ihrer Wachstumsrate entspricht –

ein Zeugnis für die Komplexität, die dem System seine bemerkenswerte Stabilität verleiht. Die Gründe der Sterblichkeit für *Prochlorococcus* liegen zum einen darin, dass sie durch eine Vielzahl von Mikrozooplankton gefressen werden und zum anderen durch eine Auflösung der Zellmembran. Neu ist hier eine Erkenntnis über die Rolle von Viren bei der Zellyse von *Prochlorococcus*: Viren, die den Zellen anhaften, injizieren ihre DNA durch die Zellmembran und übernehmen die Kontrolle über den zellulären Mechanismus von *Prochlorococcus*. Sie vermehren sich dann innerhalb der Wirtszelle, töten sie ab und treten wieder ins Wasser aus, um eine andere Zelle zu finden, die sie infizieren können. Einer der faszinierendsten Aspekte der Infektion von *Prochlorococcus* durch Viren war die Entdeckung, dass die Viren Gene tragen, die sie von ihren Wirtszellen im Laufe der Evolution „gestohlen“ haben. Sie haben diese Gene in ihr eigenes Genom integriert und beschäftigen sie, wenn sie die Wirtszelle infizieren, um den Stoffwechsel des Wirtes für ihre eigenen Ziele zu nutzen. Obwohl die

Viren für das Sterben einzelner Zellen verantwortlich sind, begünstigt dies eine Verbreiterung des Genpools von *Prochlorococcus* und trägt so zum Erhalt und der Vielfalt der Lebensgemeinschaft bei. ■

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/chisholm_essay.pdf



■ Eine Kultur von *Prochlorococcus*-Zellen. Ihre Chlorophyllpigmente leuchten rot auf, wenn man sie mit blauem Licht bestrahlt.
Foto: Jessie Berta-Thompson