

EIN GEN FÜR DIE MÄNNLICHKEIT

TEXT: ANDREAS LORENZ-MEYER

46

Braunalgen sind Außenseiter – weder Pflanze noch Tier, weder Pilz noch Bakterium. Diese Sonderstellung im Stammbaum des Lebens macht sie für Susana Coelho und ihr Team am Max-Planck-Institut für Biologie Tübingen so interessant. Die Forschenden wollen herausfinden, ob die Evolution eine wichtige Erfindung mehrmals auf die gleiche Weise gemacht hat: die Entstehung weiblicher und männlicher Individuen.

In den Nachrichten tauchen Braunalgen eher selten auf – und wenn, dann machen sie zuletzt negative Schlagzeilen. Grund dafür ist der „Große Atlantische Sargassum-Gürtel“, ein immer größer werdender Teppich der *Sargassum*-Braunalge, der sich seit 2011 jeden Frühling im Atlantik bildet. Inzwischen schwappt er bis an die Küsten Floridas und Mexikos und gefährdet dort Tourismus und Fischerei.

Bis nach Tübingen hat es *Sargassum* zwar noch nicht geschafft, dafür schwimmt eine nahe Verwandte in den Brutschränken des dortigen Max-Planck-Instituts für Biologie: die Braunalge *Ectocarpus*, die in mit Meerwasser gefüllten Glaskolben kleine, bräunliche Klumpen bildet. Bei den unförmigen Gebilden handelt sich um die Gametophyten – also die geschlechtliche Generation, die Eizellen und Spermien produziert. Wie bei Moosen, Farnen und Samenpflanzen wechseln sich auch bei Braunalgen geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzung ab: Auf eine zumeist unscheinbare geschlechtliche Generation folgt eine Generation, die sich asexuell über Sporen vermehrt. Im Fall von *Sargassum* ist es diese ungeschlechtliche Generation, die gut sichtbar im Meer wächst und mitunter riesige Flächen bedeckt.

Braunalgen haben sich vor einer Milliarde Jahren von Grün- und Rotalgen abgespalten. Die Grünalgen entwickel-

ten sich später zu Landpflanzen, während die Braunalgen ihren eigenen Weg gingen. Ihre namensgebende Färbung erhalten die Algen durch das braune Pigment Fucoxanthin, das in den Chloroplasten zusätzlich zu Chlorophyll produziert wird und den grünen Farbstoff überdeckt. Die Formenvielfalt der ungeschlechtlichen Generation reicht je nach Art von kleinen, verzweigten Zellfäden bis hin zu Organismen von mehreren Metern Größe. Letztere bilden entlang von Küsten ausgedehnte Seetangwälder.

Susana Coelho erforscht Braunalgen schon seit vielen Jahren – zunächst an der Station Biologique de Roscoff in der Bretagne, wo die Organismen die Atlantikküste bevölkern, und seit 2021 am Max-Planck-Institut. In den Tübinger Labors versorgen Brutschränke *Ectocarpus* mit konstanten Temperaturen und exakt reguliertem Kunstlicht. „Braunalgen sind ungeheuer anpassungsfähig und erfin-



WISSEN AUS

— BIOLOGIE & MEDIZIN

Die Braunalge *Halopteris congesta* kommt in den tropischen Ozeanen vor. Unter dem Mikroskop sind die fächerförmig angeordneten Zellfäden der Alge gut zu erkennen.



dungsreich: Sie betreiben Fotosynthese und besitzen blätter-, stängel- und krallenartige Gebilde, die Wurzeln ähneln. Sie sehen aus wie Pflanzen, sie sind aber keine. Und zu den Tieren und Pilzen gehören sie auch nicht.“

Sonderlinge der Natur

Braunalgen sind demnach evolutionäre Einzelgänger. Sie haben ihre eigenen Wege zur Vielzelligkeit gefunden. Ihre Fähigkeit, die Sonnenenergie zu nutzen, entwickelte sich zwar ebenfalls ähnlich wie bei den Pflanzen, je-

doch unabhängig von diesen: Einst hatte eine einzellige Braunalge eine einzellige, Fotosynthese betreibende Rotalge in sich aufgenommen, die ihrem Symbiosepartner fortan die Energie aus dem Sonnenlicht zur Verfügung stellte. Aus diesen einstmals eigenständigen Rotalgen sind nach und nach die Chloroplasten der Braunalgen geworden. Die Chloroplasten der Pflanzen dagegen sind aus ursprünglich frei lebenden Cyanobakterien entstanden.

Ihre eigenständige Evolution ist es, was Braunalgen für Susana Coelho zu so vielversprechenden Forschungsobjekten macht. „Sie helfen uns zu verstehen, wie die Evolution arbeitet.

Susana Coelho in ihrem Labor in Tübingen. Hier will sie herausfinden, ob die Evolution mehrfach denselben Weg eingeschlagen hat, um männliche und weibliche Individuen hervorzubringen.

Wenn wir zum Beispiel bei Braunalgen die Gene, welche für die Entstehung weiblicher und männlicher Individuen entscheidend waren, mit denen von Organismen anderer Abstammungslinien vergleichen, können wir herausfinden, ob die Algen den gleichen genetischen Werkzeugkasten benutzt haben.“



Susana Coelho und ihr Team am Max-Planck-Institut in Tübingen interessieren sich vor allem für den sexuellen Teil des Lebenszyklus von *Ectocarpus*. Sie wollen das Gen finden, das bestimmt, ob eine Braunalge männlich oder weiblich wird. Ein Vergleich mit dem geschlechtsbestimmenden Gen anderer Organismengruppen soll hier Klarheit schaffen: Haben die Braunalgen ihre Art der Geschlechtsentwicklung von dem letzten gemeinsamen Vorfahren geerbt, den sie sich mit den anderen Gruppen teilen, oder haben sie dafür eine andere Form gefunden? „So werden wir hoffentlich eines Tages wissen, ob die Evolution das Geschlecht über sämtliche Abstammungslinien hinweg mit demselben Master-Gen festlegt.“

Einen Kandidaten für das Männlichkeitsgen haben die Forschenden bereits entdeckt. Dieser ähnelt dem sogenannten SRY-Gen, das bei Säugtieren das männliche Geschlecht bestimmt. SRY steht für *sex-determining region of Y-Gen*. Es scheint, dass die gleiche Art von Master-Genen – oder ähnliche molekulare Mechanismen – das Geschlecht eines Individuums bei den Braunalgen genau wie bei anderen Abstammungslinien bestimmen. Der endgültige Beweis dafür, dass das Gen tatsächlich das gesuchte Master-Gen ist, steht allerdings noch aus.

Männliche Algen mit Eizellen

Was das Geschlecht angeht, sind Braunalgen flexibel. So scheinen manche männlichen Individuen in der Lage zu sein, neben Spermien auch Eizellen zu produzieren, was möglicherweise ein Entwicklungsschritt hin zur Selbstbefruchtung ist. Auf diese Weise könnten sie sich fortpflanzen, selbst wenn sich in den Weiten des Ozeans weit und breit kein Partner blicken lässt. Aber wie werden aus Männchen solche zwittrigen Wesen? Dies will Daniel Liesner her-

ausfinden. Dafür untersucht er nicht *Ectocarpus*, sondern eine Braunalge namens *Laminaria pallida*. Exemplare dieser Art, die vermutlich zweigeschlechtlich sind, hat Liesner aus dem südlichen Afrika mitgebracht. Er hält eine Petrischale mit gefilter-

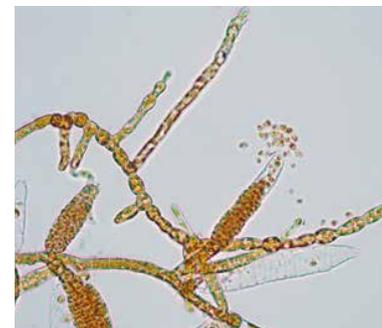
AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Braunalgen bilden eine eigene Abstammungslinie. Sie gehören weder zu den Pflanzen noch zu den Tieren.

Sie besitzen auf ihrem Geschlechtschromosom ein Gen, das festlegt, ob ein Individuum Spermien oder Eizellen produziert. Ein Vergleich dieses Gens mit seinem Gegenstück bei anderen Organismengruppen soll zeigen, ob die Evolution bei der Geschlechtsfestlegung zweimal denselben Weg eingeschlagen hat.

Braunalgen besitzen eine überragende Bedeutung für die Artenvielfalt und das Weltklima. Eine Ursache für ihre massenhafte Vermehrung in manchen Regionen ist die Überdüngung der Meere.

tem Seewasser hoch. Zu sehen ist erst einmal nichts, obwohl in der Schale ein paar Hundert männliche *Laminaria* schwimmen. „Die Individuen der geschlechtlichen Generation sind winzige Fäden aus Zellen mit zehn bis vierzig Mikrometern Größe. Erst später entwickeln sich daraus die sogenannten Sporophyten, also die ungeschlechtliche Generation. Das sind die großen braunen Algen, die wir vom Strand kennen“, erklärt Liesner. Der Biologe legt die Petrischale unters Lichtmikroskop und stellt einen der unregelmäßig ge-

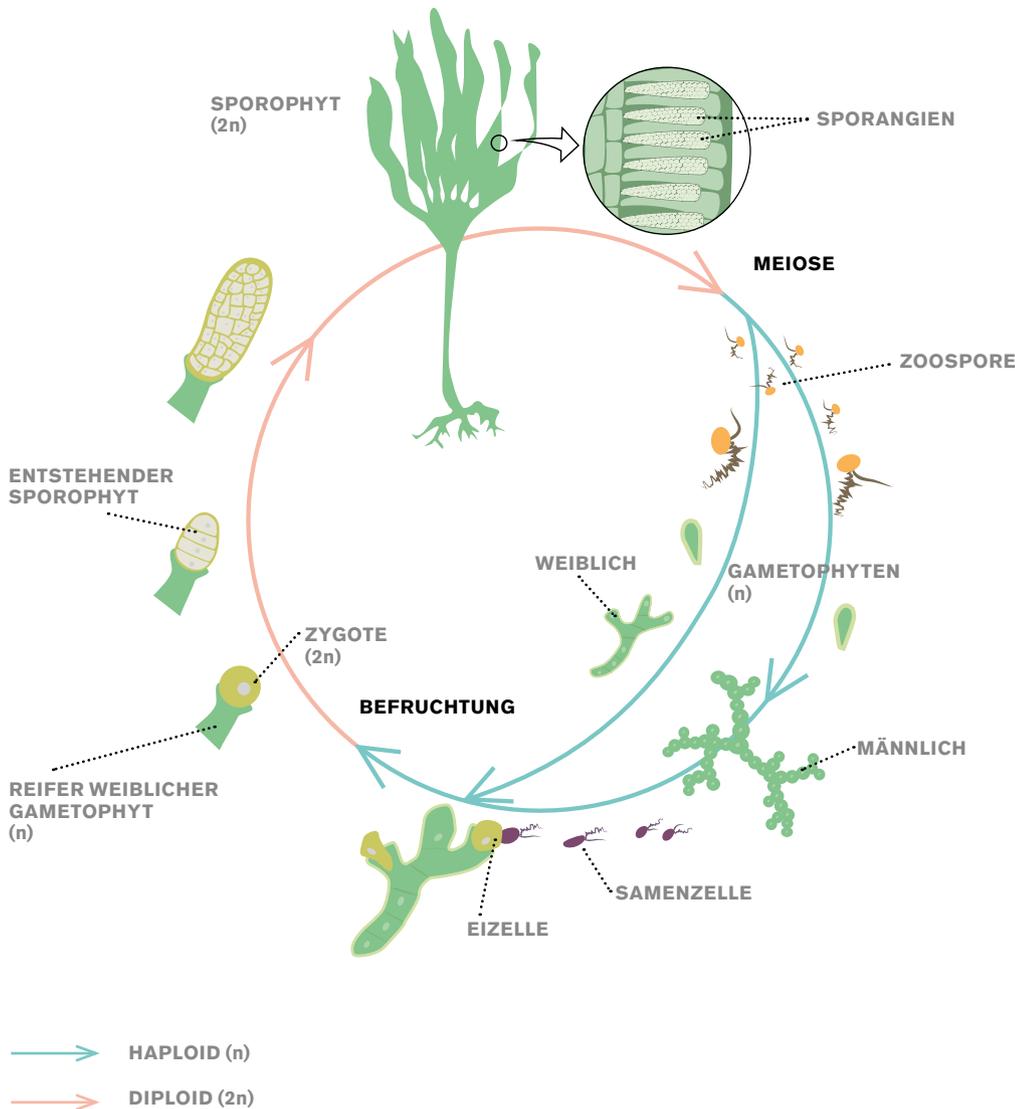


Der Sporophyt – also die ungeschlechtliche Generation – einer *Ectocarpus*-Alge entlässt Sporen aus einem Sporenbhälter. Diese können sich dank zweier peitschenartiger Anhängsel fortbewegen.

formten bräunlichen Zellhaufen scharf. An seinen Rändern sitzen hier und da kleine weißliche Kugeln: die Behälter, in denen die Spermien produziert werden.

So weit, so normal für eine männliche Braunalge. Die Exemplare in Liesners Schale weisen jedoch eine Besonderheit auf: eine Zelle, die viel größer und dunkler ist als die anderen. „Wenn das eine funktionale Eizelle ist, sind die männlichen Individuen in Wahrheit Zwitter“, sagt Liesner. Unter dem Mikroskop sieht die Zelle zwar wie eine Eizelle aus, aber es ist sehr unwahrscheinlich, dass sie auch genetisch weiblich ist. Die Tests, welche das männliche und das weibliche Geschlechtschromosom nachweisen können, laufen noch. Unklar ist zudem, ob die Eizelle – wenn es denn eine ist – funktionstüchtig ist, ob sich das Individuum also selbst befruchten könnte.

Braunalgen beherrschen aber noch weitere Formen der Fortpflanzung ohne das andere Geschlecht. Und auch die erforscht man in Tübingen. In den Ozeanen wurden Populationen entdeckt, die ausschließlich aus Weibchen bestehen. Diese vermehren sich klonal, ungeschlechtliche Sporophyten entstehen bei ihnen aus sich teilenden unbefruchteten Eizellen, also ohne die Fusion von Eizellen und Spermien. Damit umgehen sie ein



Fortpflanzungszyklus der Braunalge *Laminaria* mit Wechsel zwischen geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Vermehrung.

Der auffällige Algenkörper von *Laminaria* ist der Sporophyt, also die ungeschlechtliche Generation (oben). Die in speziellen Behältern produzierten Sporen durchlaufen eine besondere Form der Zellteilung (Meiose), bei der das Erbgut so aufgeteilt wird, dass jede Spore nur einen einzigen Satz an Chromosomen besitzt (n). Aus den Sporen wachsen winzig kleine männliche und weibliche Gametophyten heran, welche die Geschlechtszellen bilden. Die aus der Verschmelzung von Samen- und Eizellen hervorgehende Zygote besitzt nun wieder den doppelten Chromosomensatz (2n) und entwickelt sich zum Sporophyten weiter.

GRAFIK: GCO NACH CAMPELL, BIOLOGIE, 10. AUFL. PEARSON

Problem, mit welchem die sich geschlechtlich vermehrenden Populationen in den Weiten der Ozeane zu kämpfen haben: Wie finden Spermien und Eizellen zueinander? Ein Hilfsmittel sind Lockstoffe, die die Eizellen ins Wasser abgeben und die Spermien anlocken. Auch diese Pheromone wollen die Forschenden identifizieren. Sie untersuchen dazu die Luft aus den Glaskolben, in denen die Algen in den Brutschränken des Tübinger Labors wachsen. Die Duftstoffmoleküle, die aus dem Algenwasser in die Luftschicht darüber diffundiert sind, werden herausgefiltert, danach wird ihre chemische Zusam-

mensetzung mittels Massenspektrometrie analysiert. Die Pheromone lassen sich sogar wahrnehmen: „Sie riechen nach Gin“, sagt Susana Coelho.

Keine Frage, Braunalgen sind faszinierende Organismen. Und wenn sie sich nicht gerade massenhaft vermehren, besitzen sie überragende Bedeutung für die Artenvielfalt und das Klima auf der Erde. Tangwälder sind Lebensraum unzähliger Arten und binden große Mengen Kohlendioxid. Sie werden deshalb auch als Regenwälder der Ozeane bezeichnet. Wie sehr dieses Ökosystem schon aus dem Gleichgewicht geraten ist, das

zeigen die Braunalgenteppe, die jedes Jahr an die Küsten schwappen. Die Ursache: Große Mengen des in der Landwirtschaft eingesetzten Düngers landen schlussendlich im Meer und erhöhen dort die Konzentration der Nährstoffe. „Dadurch kann sich die *Sargassum*-Alge viel stärker vermehren als früher“, erklärt Susana Coelho. Auch infolge des Klimawandels veränderte Meeresströmungen könnten *Sargassum* den Weg in neue Weltregionen gebahnt haben. „Letztlich gibt es dagegen nur ein Gegenmittel: Wir müssen den Nährstoffeintrag in die Ozeane drastisch reduzieren.“

