

in sehr wenigen olfaktorischen Sensorneuronen der Antennen exprimiert.

Schutz vor Wespen

Ein Befall mit den Kartoffelkäfern sorgt für eine deutliche Reduktion der beiden Hauptverteidigungssubstanzen von Stechäpfeln, Atropin und Scopolamin. Den Tabakswürmern könnte daraus ein Vorteil erwachsen. Dem ist aber offensichtlich nicht so, denn auf den von Käfern befallenen Pflanzen wuchsen die Schwärmeraugen deutlich langsamer als auf Kontrollpflanzen. Weshalb also bevorzugen die Schwärmer mit Käfern befallene Pflanzen, obwohl es ihrer Nachkommenschaft dort doch schlechter geht? An dieser Stelle kommt ein vierter Interak-

tionspartner ins Spiel, die Schlupfwespe *Cotesia congregata*. Diese Wespe ist ein Parasitoid, d. h. die aus den Eiern schlüpfenden Larven ernähren sich erst eine zeitlang als Parasiten von den Schwärmeraugen, bevor sie ihren Wirt dann abtöten. Für die Schwärmer stellt die Wespe ein erhebliches Problem dar, werden doch im Südosten der USA 50–90 Prozent der Raupen von ihnen befallen. Erwartungsgemäß fühlten sich die Schlupfwespen von Stechäpfeln, die mit Schwärmeraugen befallen waren, stark angezogen. Waren zusätzlich auch Käfer anwesend, so waren die Pflanzen für sie deutlich weniger attraktiv. Das Verhalten der Wespen ist durchaus nachvollziehbar, denn bei gleichzeitiger Anwesenheit von Käfern ent-

wickelten sich ihre Larven wesentlich schlechter.

Tabakswürmer bevorzugen nicht nur mit Käfern befallene Stechäpfel, sondern ziehen Stechäpfeln auch die weniger nahrhaften *Proboscidea*-Pflanzen vor. Der Grund hierfür dürften auch in diesem Fall die Schlupfwespen sein, denn die klebrigen Drüsenhaare von *Proboscidea* bieten wahrscheinlich ebenfalls Schutz vor den Parasitoiden.

Literatur

- [1] F. Eberl et al. (2020). *Ecol. Lett.* 23, 10s73–1084.
- [2] J. Zhang et al. (2022). *Curr. Biol.* 32, 1–9.
- [3] S. Sachse und J. Krieger (2011). *Neuroforum* 3, 89–100.

Johannes Sander, Halver

ÖKOLOGIE

Schwämme als Pioniere unter dem arktischen Eis

Tiefseeberge in der Zentralarktis beherbergen Schwammgärten mit hoher Artenvielfalt und bemerkenswerter Besiedlungsdichte. Es handelt sich um das nördlichste bekannte Vorkommen von Hornkiesel-schwämmen der Gattung Geodia. Ein Blick in die Erdgeschichte zeigt, wie sich diese Überlebenskünstler durch Resteverwertung im extrem nährstoffarmen Wasser behaupten können.

In der eisbedeckten Zentralarktis entdeckten Forscher einer Polarstern-Expedition im Herbst 2016



ABB. 1 Dicht besiedeltes Areal der Schwammkolonie mit Individuen unterschiedlicher Größe, die teilweise von Kalkröhrenwürmern besiedelt sind. Foto: PS101 AWI OFOBS, mit freundlicher Genehmigung aus [2].

dicht besiedelte, artenreiche Schwammgärten mit einer Ausdehnung von etwa 15 km² auf den Gipfeln von Tiefseebergen des Langseth-Rückens (87°N, 61°E), einem Teil des Gakkel-Rückens. In dieser Lebensgemeinschaft dominieren Hornkiesel-schwämme (*Demospongiae*) mit den Spezies *Geodia parva*, *G. hentscheli* und *Stelletta rhabdidiophora*, aber auch Glasschwämme (*Hexactinellida*) und Kalkschwämme (*Calcarea*) sind vertreten. Auf den meisten Schwämmen siedeln Bryozoen und Röhrenwürmer (*Serpulidae*, Abbildung 1), dazwischen tummeln sich Garnelen, Seesterne und Schlangensterne. Hochoflösende Kameraaufnahmen von der Fundstelle hatten bereits

vor einem Jahr für Schlagzeilen gesorgt, denn Spuren am Meeresgrund deuten darauf hin, dass die als sessil geltenden Schwämme nicht unverrückbar an ihrem Standort verharren, sondern sich fortbewegen, wenn auch sehr langsam. Dabei sondern sie massenweise Skelettelemente ab, die so genannten Spicula, die wie ein Teppich die Trasse ihrer Fortbewegung anzeigen [1].

Normalerweise bevorzugen Schwämme als Filtrierer Gewässer, die reichlich Plankton oder andere organische Partikel enthalten. Daher war zunächst rätselhaft, wie sich in dem extrem oligotrophen Wasser der seit Jahrzehnten ganzjährig von Eis bedeckten Zentralarktis Schwammgärten entwickeln konnten, denn am Langseth-Rücken gibt es weder nennenswerten Planktonregen noch Nährstoffe zuführende Meeresströmungen und auch keine Methan oder Sulfide ausdünstenden Quellen. Nach den Schätzungen der Forscher ist der Bedarf an organischem Kohlenstoff für den Grundstoffwechsel der dort ansässigen Schwammpopulation viel zu hoch, als dass er durch Filtration der im freien Wasser verfügbaren Partikel

gedeckt werden könnte. Dennoch gedeihen die Schwämme offenbar prächtig: Ausgewachsene Exemplare erreichen Durchmesser von bis zu 110 cm und ihre Biomasse wurde auf über 20 kg Feuchtgewicht pro Quadratmeter geschätzt. Dieser für boreale Gewässer ungewöhnlich hohe Wert ist vergleichbar mit größeren Schwammvorkommen in warmen Gewässern, z. B. im Mittelmeer. Dass viele adulte Exemplare Anzeichen von Knospung zeigten, die für Hornkieselschwämme typische Form der vegetativen Vermehrung, und von einer Schar zentimetergroßer Jungtiere umgeben waren (Abbildung 1), gilt als weiteres Indiz für die gute Konstitution der Schwammkolonie. Die Kombination von Methoden der Isotopen- und Metagenomanalyse lieferte jetzt eine plausible Erklärung, wie sich die zentralarktischen Schwämme ernähren können [2].

Ausgangspunkt der Arbeitshypothese waren wiederum die mit der hochauflösenden Kamera des *Ocean Floor Observation and Bathymetry System* (OFOBS) gewonnenen Bilder. Auf den Gipfeln der Tiefseeberge finden sich die Schwammgärten stets in flachen Bereichen, die wie eine Schutthalde mit leeren, unbewohnten Röhren von Bartwürmern, vor allem aus der Gattung *Polybrachia* (Siboglinidae, Frenulata, Polychaeta, Annelida) bedeckt sind (Abbildung 2). Da Bartwürmer, die chemoautotrophe Symbionten beherbergen, typische Bewohner hydrothermaler Tiefseequellen sind, zeugen ihre verlassenen Röhren von inzwischen erloschener vulkanischer Aktivität am Langseth-Rücken. Der Schutt enthält weiterhin Muschelschalen verschiedener Spezies, die auf eine vormals artenreiche Lebensgemeinschaft schließen lassen, wie man sie von Orten aktiver vulkanischer Ausdünstung oder im methanreichen arktischen Schelfmeer kennt. Das Alter dieser Relikte wurde mit Hilfe der Radiocarbonmethode auf 2000 bis 3000 Jahre geschätzt.

Symbionten erschließen Nährstoffquellen

Die Koinzidenz des Schwammvorkommens mit dem Chitin- und Protein-reichen Röhrenschutt der Bartwürmer ist offenbar nicht zufällig. Zwar weist der Isotopengehalt des Schwammgewebes auf eine gemischte Nahrung hin, aber der Gehalt an stabilen Stickstoff- (^{15}N) - und Kohlenstoff- (^{13}C) -Isotopen zeigte wesentlich größere Ähnlichkeit zu den Bartwurmrohren als zu der im freien Wasser gelösten oder partikulären organischen Materie sowie allen anderen Besiedlern der Schwammgärten. Demnach nutzen die Schwämme die Röhren als Nährstoffquelle, und es stellte sich die Frage, wie sie dieses Material erschließen. Denn mittels Filtration können sie nur kleinste Partikel sammeln und durch Phagozytose aufnehmen, daneben auch im Wasser gelöste organische Substanzen durch Pinocytose. Deshalb richteten die Forscher ihren Blick auf die mikrobiellen Symbionten der Schwämme am Beispiel von *G. parva*. Passend zum Standort fanden sie keine Methan- und Schwefeloxidierer, die für die Lebensgemeinschaften hydrothermaler Quellen typisch sind. Stattdessen dominierte das Phylum der Chloroflexi, die dafür bekannt sind, mit Hilfe von Exoenzymen komplexe organische Materie zu verdauen, darunter auch Chitin. Tatsächlich fanden sich im Metagenom der arktischen *G. parva*-Symbionten unter anderem aktiv exprimierte Gene für Chitinasen sowie für Enzyme des Schwefelstoffwechsels, die helfen könnten, die teilweise durch Schwefelverbindungen geschwärzten Bartwurmrohren zu verwerten. Zusätzlich wurden bei den *Geodia*-Symbionten Gene des autotrophen Stoffwechsels exprimiert, die auf eine Assimilation von im Wasser gelösten Stickstoff- und Schwefelverbindungen sowie von anorganischem Kohlenstoff hinweisen. Diese Befunde lassen darauf schließen, dass *Geodia* die spärlichen durch Filtration erschließbaren



ABB. 2 Die Schwämme siedeln auf Matten verlassener Bartwurmrohren (dicke Strukturen), die teilweise durch Einlagerung von Schwefel geschwärzt sind. Dazwischen liegen die wesentlich feineren Röhren der Kalkröhrenwürmer. Foto: Antje Boetius, Bremerhaven.

Nahrungsquellen durch Verdauung ihrer mixotrophen Symbionten ergänzt.

Die Schwämme, die als Pioniere das ehemalige Bartwurm-vorkommen besiedeln, sind nicht nur Nutznießer der Nahrungsquelle, sondern gestalten als Ökosystemingenieure aktiv ihren Lebensraum. Zum einen dienen sie als Substrat für die Ansiedlung weiterer sessiler Organismen. Und begünstigt durch die örtlichen Verhältnisse – geringe Strömung, niedrige Temperaturen und geringe Kalklösung in einer Meerestiefe oberhalb der so genannten Carbonat-Kompensationstiefe (Grenzfläche, unterhalb der keine Carbonatschlämme abgelagert werden) – tragen die Schwämme mit ihren Spicula außerdem dazu bei, dass die Sedimentschicht auf Stärken im Dezimeterbereich anwächst. Dadurch werden sowohl die Retention von absinkendem Detritus auf der rauen Oberfläche als auch die Ansiedlung von Mikroorganismen im Sediment gefördert. In der Summe kann sich so eine vielfältige Lebensgemeinschaft ausbilden.

Literatur

- [1] T. M. Morganti et al. (2021). *Curr. Biol.* 31, R368–R370.
- [2] T. M. Morganti et al. (2022). *Nat. Commun.* 13, 638.

Annette Hille-Rehfeld, Stuttgart