

INTIME

PARTNERSCHAFT

INTIME PARTNERSCHAFT

AUS DEN REGENWÄLDERN DER MEERE

ANNIKA GUSE

Korallenriffe gelten wegen ihrer großen biologischen Vielfalt als die „Regenwälder der Meere“. Anhand des komplexen marinen Ökosystems lässt sich nicht nur faszinierende Biologie aufzeigen – es ist auch ein Exempel dafür, wie grundverschiedene Organismen friedlich und zu beiderseitigem Nutzen zusammenleben können.

K

Korallenriffe sind beeindruckende Ökosysteme. Sie sind bunt, immer in Bewegung, am Tag wie in der Nacht, sie beherbergen eine unglaubliche Fülle Leben und wirken in ihrer chaotischen Ästhetik verschwenderisch. Weltweit beanspruchen sie lediglich 0,1 Prozent der Meeresfläche, beherbergen aber 25 Prozent aller marinen Arten: Korallenriffe sind Hotspots der Biodiversität, sie sind die „Regenwälder der Meere“.

Zu finden sind Korallen in flachen, sonnen-durchfluteten, tropischen Gewässern, die relativ nährstoffarm sind. Das ist auffällig und lässt fragen: Woher rührt die immense

biologische Vielfalt, wenn die Nährstoffe begrenzt sind? Die Antwort findet sich in der nutzbringenden Partnerschaft, die Korallen, also tierische Organismen, mit einzelligen Algen, also pflanzlichen Lebewesen, eingehen. Die Algen nutzen das Sonnenlicht, um mittels Photosynthese Zucker, Aminosäuren und Fette zu erzeugen, und teilen die Nährstoffe mit den Korallen: Ohne diesen Nährstofftransfer können Korallen in den nährstoffarmen Gewässern nicht überleben. Im Gegenzug versorgen Korallen die Algen mit anorganischen Nährstoffen und bieten ihnen Schutz. Die Partnerschaft von Koralle und Alge ist eine „Bona-fide-Symbiose“: Zwei unterschiedliche Organismen leben zusammen, und beide Partner ziehen daraus ihren Nutzen. Im übertragenen Sinne könnte man auch von einer Freundschaft zwischen Alge und Koralle sprechen, bei der sich beide gegenseitig unterstützen.

Das Besondere an der Beziehung zwischen Koralle und Alge ist, dass es sich dabei um eine „Endosymbiose“ handelt: Die ein-

zellige Alge lebt im Innern der Korallenzelle. Die intime Partnerschaft zu beiderseitigem Nutzen muss also auf zellulärer Ebene reguliert werden. Korallenriffe sind makroskopische Schönheiten – es ist aber die mikroskopische Interaktion der beiden unterschiedlichen Zellen, die das gesamte Ökosystem antreibt: Die Erforschung der Korallensymbiose ist Zellbiologie.

Wie finden sich die Partner?

Die meisten der sich sexuell vermehrenden Korallen produzieren Larven, die zunächst nicht-symbiotisch sind: Jede neue Korallengeneration muss immer wieder aufs Neue Algensymbionten aus der Umwelt aufnehmen. Aber wie finden sich die beiden doch so unterschiedlichen Partner? Wie kann die Korallenzelle zwischen freundlichen Symbionten und gefährlichen Feinden, etwa Krankheitserregern, unterscheiden? Das sind Fragen, die wir in unserer Forschungsgruppe „Zellbiologie der Endosymbiose“ im Centre for Organismal Studies (COS) der Universität Heidelberg mit genetischen, biochemischen und zellbiologischen Ansätzen beantworten wollen.

Für unsere wissenschaftliche Arbeit benötigen wir nicht-symbiotische Larven. Doch diese Larven sind selten: Korallen vermehren sich nur einmal im Jahr. Aus diesem Grund haben wir ein Modellsystem für die Untersuchung der Symbiose von Korallen

und Algen geschaffen, das uns zellbiologische Experimente unter kontrollierten Laborbedingungen erlaubt. Als Modellorganismus dient uns die kleine marine Seeanemone *Aiptasia* (*Exaiptasia pallida*). Sie geht mit den gleichen Algen wie die Korallen eine Symbiose ein. Im Labor lässt sich die sexuelle Fortpflanzung von *Aiptasia* mit der Simulation von Mondlicht auslösen – Mondlicht ist auch der natürliche Stimulus zur synchronen Abgabe von Eiern und Spermien bei Korallen. So lässt sich die für unsere Untersuchungen notwendige Anzahl an Larven erzeugen. *Aiptasia* ist zudem anspruchslos, sie wächst schnell und vermehrt sich nicht nur sexuell, sondern auch asexuell, was es uns erlaubt, genetisch identische Tiere zu generieren – ein wichtiger Aspekt, um Experimente vergleichbar zu machen. Weitere Vorteile sind, dass das Erbgut von *Aiptasia* bekannt ist und in den letzten zehn Jahren wichtige molekularbiologische Standardtechniken entwickelt wurden, die wir für unsere Untersuchungen nutzen können. Das *Aiptasia*-Modell für die Korallen-Algen-Symbiose hat uns entscheidend dabei geholfen, der Frage auf den Grund zu gehen, wie es nicht-symbiotischen Larven gelingt, zwischen Freund und Feind zu unterscheiden.

Ein unerwartetes Ergebnis

Mit unserem Modellsystem haben wir beispielsweise entdeckt, dass die Erst-

aufnahme von Algen nicht selektiv erfolgt: Es werden die unterschiedlichsten Algen aufgenommen – aber nur die echten Symbionten verbleiben in der Wirtszelle und vermehren sich in ihr. Das bedeutet: Die Entscheidung, eine symbiotische Partnerschaft mit einer Alge einzugehen, wird erst nach der Aufnahme der Alge in die Wirtszelle gefällt. Aber was geschieht mit all den anderen gleichsam wahllos aufgenommenen Algen?

Unsere Vorstellung war, dass sie als eine Art Futter dienen und nach ihrer Aufnahme im Innern der Zelle verdaut werden. Diese Hypothese beruht auf der evolutionären Entstehungsgeschichte der „Phagozytose“, der Aufnahme von Partikeln durch eine Zelle. Ursprünglich diente die Phagozytose einzelligen Tieren als Methode, um sich Nahrungspartikel aus der Umwelt einzuverleiben. Diese Taktik zur Nahrungsaufnahme wird auch heute noch genutzt, zum Beispiel von Amöben. Aber auch im menschlichen Immunsystem spielt die Phagozytose eine Rolle: Die Makrophagen – die Fresszellen unseres Immunsystems – nehmen Eindringlinge wie Viren, Bakterien oder Parasiten durch Phagozytose auf, verdauen sie und schützen uns so vor Krankheiten.

Entgegen unserer Erwartung werden die von Wirtszellen aufgenommenen nicht-symbiotischen Algen aber nicht verdaut, sondern wieder „ausgespuckt“. Es scheinen nur diejenigen Algen in der Zelle zu verbleiben und zu echten Symbionten zu werden, die die Immunantwort der Wirtszelle unterdrücken können. Auch bei anderen Organismen wurde ein solches „Ausspucken“ beobachtet: Jüngst haben Immunologen etwa entdeckt, dass ein Pilz (*Cryptococcus neoformans*), der bei immungeschwächten Menschen eine schwere Lungenkrankheit hervorrufen kann, von den Makrophagen des Immunsystems zunächst ordnungsgemäß phagozytiert wird, dass sie ihn aber nicht verdauen und auflösen, sondern wieder ausstoßen. Dieser Prozess wird fachsprachlich „Vomozytose“ genannt – und er hat große Ähnlichkeit mit der Situation bei Algen- und Korallenzellen.

„Korallenriffe sind Hotspots der Biodiversität, sie sind die ‚Regenwälder der Meere‘.“

„Das Wohlergehen der Menschheit hängt von intakten Ökosystemen ab – die Korallenriffe sind dafür exemplarisch.“

Halten wir fest: Korallen und Amöben – und die Makrophagen des menschlichen Immunsystems – können Partikel, die sie via Phagozytose aufgenommen haben, wieder aktiv hinausbefördern. Damit stellt sich die Frage, ob es sich bei der Vomozytose womöglich um eine sehr ursprüngliche Form der Immunabwehr handeln könnte. Folgendes Szenario ist evolutionsbiologisch denkbar: Frühe mobile Einzeller suchten nach der Versuch-und-Irrtum-Methode in ihrer Umwelt nach Nahrungspartikeln und phagozytierten sie; handelt es sich bei den einverleibten Teilchen um eine Fehlentscheidung, werden sie wieder in die Umwelt entlassen. Was für einzellige Lebewesen eine durchaus gute Vorgehensweise ist, kann für mehrzellige Organismen fatale Folgen haben: Werden gefährliche Krankheitserreger in die Zelle aufgenommen, aber nicht verdaut, sondern wieder freigesetzt, können sie andere Zellen des Lebewesens infizieren. Womöglich erklärt das, warum die Vomozytose bei den Makrophagen des menschlichen Immunsystems nur im absoluten Ausnahmefall vorkommt.

Diese Zusammenhänge machen deutlich: Die Erforschung eines grundlegenden Prinzips – die Endosymbiose zwischen Korallen und Algen – kann wichtige Erkenntnisse zum Verständnis des Lebens liefern und lässt beispielsweise auch die Arbeitsweise des menschlichen Immunsystems besser verstehen, etwa wie es Freund und Feind erkennt.

Von unschätzbarem Wert

Korallenriffe sind nicht nur besonders ästhetische Ökosysteme mit einer faszinierenden Biologie – sie haben auch einen immensen Wert für die Gesellschaft. Die Aufzählung gerät lang: Korallenriffe sind Kinderstube für viele Fische, sie bilden die Basis für andere Ökosysteme oder fungieren als Wellenbrecher im Küstenschutz – ohne die umliegenden Korallenriffe würden etwa die Malediven nicht existieren. Korallenriffe sind zudem wichtige Nahrungslieferanten und Einkommensquellen: Nicht weniger als ein Achtel der Weltbevölkerung profitiert unmittelbar von ihnen. Und nicht zuletzt sind Korallenriffe eine wertvolle – und noch weitgehend unerforschte – Quelle für neue chemische Verbindungen und Moleküle, die als Medikamente eingesetzt werden können, beispielsweise zur Krebstherapie, gegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder als Knochen-Transplantate. Insgesamt schätzt man den Wert, den Korallenriffe weltweit an Ökosystemdienstleistungen erbringen, auf alljährlich mehr als 30 Milliarden Dollar.

Umso schwerer wiegt es, dass Korallenriffe in großem Maße vom Klimawandel betroffen sind: Der Anstieg der Wassertemperatur in den Ozeanen stört die Symbiose zwischen Koralle und Alge. Die Folge ist die sogenannte Korallenbleiche: Die Koralle verliert die Alge – und damit alle essenziellen Nährstoffe, die sie von ihrem Symbionten erhält. Dies lässt die Korallen sterben. In den letzten drei Jahrzehnten

COS: Von Molekülen zu lebenden Systemen

Das Centre for Organismal Studies (COS) ist das größte lebenswissenschaftliche Forschungszentrum an der Universität Heidelberg. Ziel der Wissenschaftler am COS ist es, die komplexen biologischen Mechanismen lebender Systeme über alle Größenskalen und Organisationsstufen hinweg zu erforschen: von der molekularen Analyse über die Ebene der Zelle bis hin zur Gesamtheit eines Organismus im Kontext mit seiner Umwelt. 2010 wurde das Zentrum aus einem Zusammenschluss der beiden Heidelberger Institute für Zoologie und Pflanzenwissenschaften gegründet; es gehört zu den zentralen wissenschaftlichen Einrichtungen der Universität.

Das COS besteht derzeit aus 16 Abteilungen und sechs unabhängigen Nachwuchsgruppen. Insgesamt arbeiten hier aktuell 41 Forschungsgruppen mit rund 300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern; sie alle leisten wichtige Beiträge in der Grundlagenforschung und in der Lehre. Der Botanische Garten Heidelberg ist mit einer eigenen Organisationsstruktur ebenfalls am COS eingebunden.

www.cos.uni-heidelberg.de

„Es gilt, die große Bedeutung der Beziehung von Mensch und Natur tiefer in der Gesellschaft zu verankern – und dafür neue transformatorische Konzepte zu entwickeln.“

haben wir bereits 50 Prozent der Korallenriffe weltweit verloren, in den letzten Jahren hat sich die Geschwindigkeit des Korallensterbens noch einmal massiv beschleunigt.

Das Wohlergehen der Menschheit hängt von intakten Ökosystemen ab – die Korallenriffe sind dafür exemplarisch. Es gilt, die große Bedeutung der Beziehung von Mensch und Natur tiefer in der Gesellschaft zu verankern – und dafür neue transformatorische Konzepte zu entwickeln. Der Fokus muss darauf liegen, die Ressourcen und die Stabilität der Ökosysteme zu erhalten, ohne die Lebensqualität der Menschen massiv zu beschneiden. Dafür müssen transformative Zukunftskonzepte geschaffen werden, die einen positiven Ausblick erlauben.

Von unschätzbarem Wert

Hier setzt das Projekt „Towards Symbiosis“ an, das ich gemeinsam mit der Wiener Künstlerin Stephanie Guse und Nikolas Jaspert, Professor für Mittelalterliche Geschichte der Universität Heidelberg, am Marsilius-Kolleg der Universität durchführe. Am Beispiel des Mittelmeeres wollen wir aufzeigen, wie ein möglichst rascher Übergang gelingen kann von der Ausbeutung mariner Ressourcen hin zu einer „symbiotischen Koexistenz“. Dazu gilt es, die Verbindung des Menschen zum Meer emotional erfahrbar zu machen und zusammen mit gesellschaftlichen Akteuren alternative Konzepte für einen adäquaten und zugleich attraktiven Lebensstil zu entwickeln – anstatt immer nur zu mehr Verzicht aufzurufen. Dies wollen wir in unserem internationalen Pilotprojekt mit einer engen Verbindung von Kunst und Wissenschaft erreichen, wobei die Kunst die Brücke schlagen soll zwischen Wissenschaft und Gesellschaft. Konkret ist geplant, in der spanischen Stadt Águilas am Mittelmeer mit einer Gruppe renommierter Wissenschaftler, Künstler und Ortsansässiger die Verbundenheit mit dem Meer beim Tauchen zu erleben („Erfahrung“), wissenschaftlich zu diskutieren („Science“) sowie Kunstprojekte und Zukunftskonzepte zu entwickeln und zu realisieren („Art“). Durch transformative Kunst – etwa in den Bereichen



PROF. DR. ANNIKA GUSE ist seit Anfang 2013 als Emmy-Noether-Gruppenleiterin am Centre for Organismal Studies (COS) der Universität Heidelberg tätig und leitet dort seit 2018 die Abteilung Zellbiologie der Endosymbiose. Zuvor forschte sie an der Stanford University (USA) und am Forschungsinstitut für Molekulare Pathologie (IMP) in Wien (Österreich). Annika Guse wurde 2016 in das renommierte Programm der „EMBO Young Investigators“ aufgenommen, seit 2017 wird ihre innovative Forschung mit einem Consolidator Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC) mit rund 2,2 Millionen Euro gefördert. Zusätzlich zu ihrer Forschung im Labor führt sie Feldarbeit an Korallenriffen in Japan durch und hat Erfahrung im Bereich Umweltschutz des Ökosystems Korallenriff in Mexiko und Ägypten.

Kontakt: annika.guse@cos.uni-heidelberg.de

INTIMATE PARTNERSHIP

THE RAINFORESTS OF THE SEAS

ANNIKA GUSE

Coral reefs are ecosystems of great ecological and economic importance. They are biodiversity hotspots, and millions of people depend on their ecosystem services, such as providing food and coastal protection as well as income from tourism and fisheries. Their immense productivity is powered by the intimate partnership between reef-building corals and photosynthetic algae. The algal symbionts reside inside the coral's cells and provide their host with essential nutrients such as sugars, amino acids and lipids. This microscopic friendship is not immediately visible to the human eye, yet when it breaks down the colourful coral reefs turn into pale graveyards incapable of supporting the reefs' abundant marine life. This is known as "coral bleaching", a phenomenon caused by climate change which is threatening coral reefs worldwide.

The symbionts' residence inside the coral host cell may seem unusual, but many micro-organisms, symbionts as well as pathogens, benefit from such an intracellular lifestyle. Combining a model systems approach at the bench with coral work in the field, our research aims to elucidate how molecular interactions between these distinct species lead to stable and complex ecosystems. Analysing the cell biology of coral symbiosis is the key to understanding coral bleaching. Thus, our research is a prime example of how basic cell biology research in the context of ecology translates into addressing a major societal issue – the accelerating destruction of coral reef ecosystems affecting millions of people worldwide. ●

PROF. DR ANNIKA GUSE joined Heidelberg University's Centre for Organismal Studies in early 2013 as an Emmy Noether research group leader and has headed the centre's "Cell Biology of Endosymbiosis" division since 2018. She previously worked at Stanford University (USA) and at the Research Institute of Molecular Pathology (IMP) in Vienna (Austria). In 2016 Annika Guse was selected for the renowned EMBO Young Investigator Programme; since 2017 her innovative research has been funded with 2.2 million euros through a Consolidator Grant by the European Research Council (ERC). Besides her research in the lab, she does field work at coral reefs in Japan and has worked on conservation projects at coral reef ecosystems in Mexico and Egypt.

Contact: annika.guse@cos.uni-heidelberg.de

“Coral reefs are hotspots of biodiversity; they are the ‘rainforests of the seas’.”

Performance, Tanz und Film, aber auch durch Zauberei oder Kochen und jeweils inspiriert von Wissenschaft und Erlebnis – soll die Verbundenheit des Menschen mit dem Meer intuitiv erfahrbar gemacht werden. Darüber hinaus sollen transformative Konzepte für einen „symbiotischen Lifestyle“ in den Bereichen nachhaltiger Tourismus, Produkte und Wirtschaft entstehen. Der Prozess und die Ergebnisse werden filmisch dokumentiert und über die sozialen Medien kommuniziert.

Auf lokaler Ebene erwarten wir, mit unserem Projekt den nachhaltigen Tourismus und die Gemeinde vor Ort stärken zu können sowie konkrete Entwicklungskonzepte für die Stadt zu initiieren. Auf übergeordneter Ebene möchten wir die

enge Verbindung von Mensch und Meer sichtbar machen, wir wollen Optimismus für eine „symbiotische Zukunft“ generieren und die Kraft partizipatorischer und disziplinenübergreifender Ansätze demonstrieren. Das sind entscheidende Schritte für einen „Paradigmen-Shift“: weg von dem feindlich anmutenden Ausbeuten der Meeresressourcen und hin zu einem freundschaftlichen Miteinander von Mensch und Natur. ●

Herausgeber

Universität Heidelberg
Der Rektor
Kommunikation und Marketing

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Peter Comba (Vorsitz)
Prof. Dr. Beatrix Busse
Prof. Dr. Beate Ditzen
Prof. Dr. Markus Hilgert
Prof. Dr. Nikolas Jaspert
Prof. Dr. Marcus A. Koch
Prof. Dr. Carsten Könniker
Prof. Dr. Alexander Marx
Prof. Dr. h.c. Thomas Pfeiffer
Prof. Dr. Joachim Wambsganß
Prof. Dr. Reimut Zohlhörer

Redaktion

Marietta Fuhrmann-Koch
(verantwortlich)
Mirjam Mohr (Leitung)
Claudia Eberhard-Metzger

Layout

KMS TEAM GmbH, München

Druck

ColorDruck Solutions GmbH, Leimen

Auflage

6.000 Exemplare

ISSN

0035-998 X

Vertrieb

Universität Heidelberg
Kommunikation und Marketing
Grabengasse 1, 69117 Heidelberg
Tel.: +49 6221 54-19026
ruca@uni-heidelberg.de

Das Magazin kann kostenlos unter oben genannter Adresse abonniert werden.

Im Internet ist es verfügbar unter:

<https://www.uni-heidelberg.de/de/presse-medien/publikationen/forschungsmagazin>

<http://heiup.uni-heidelberg.de/journals/index.php/rupertocarola>