

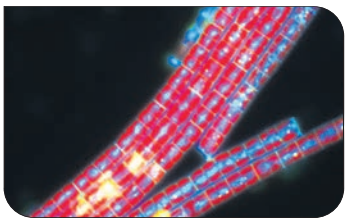
Grundlagenforschung in Österreich: Beispiele für FWF-geförderte Spitzenforschung

Das Eis der Gletscher



Die Mikrobiologin Birgit Sattler erforscht gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen der Universität Innsbruck das Eis auf Gletschern in den heimischen Alpen und in den Eiswüsten der Arktis und Antarktis. Das Eis gibt Aufschluss über unsere Klimageschichte und ist Lebensraum für speziell angepasste Mikroben.

Toxische Algenblüten einst und jetzt



Der Limnologe Rainer Kurmayer untersucht die Entstehung und Verbreitung der Toxinsynthese bei Cyanobakterien in heimischen Gewässern.

Nachhaltigkeit und Kollaps von Inselgemeinschaften



Zu viele Ziegen auf der griechischen Insel Samothraki. In einem transdisziplinären Projekt erforschen Marina Fischer-Kowalski und ihr Team nachhaltige Entwicklungspfade. Das Projekt wird durch „Citizen-Science-Methoden“ flankiert.

Mikroorganismen am Meeresboden



Der Mikrobiologe Alexander Loy erforscht gemeinsam mit seinem Team die Vielfalt und Funktion von Mikroorganismen im kalten Meeresboden der Arktis.



Unter Wasser wird immer häufiger mit ferngesteuerten Tauchrobotern geforscht.

[-Stockphoto]

Unbekannte Meerestiefen

Tiefseeforschung. Der Kohlenstoffkreislauf in der offenen See war lange Zeit rätselhaft. Mit neuen Methoden haben Wiener Forscher dieses Geheimnis gelüftet.

Über die Tiefsee wissen wir weniger als über den Mond“, pflegt Gerhard Herndl, Professor für Meeresbiologie an der Universität Wien, zu sagen. Das hängt zum einen damit zusammen, dass die Mondoberfläche viel einfacher zu scannen ist als der Meeresgrund, zum anderen aber auch damit, dass das Interesse an der Tiefsee (und damit auch die Mittel für deren Erforschung) viel geringer war und ist als für die Raumfahrt.

Das sollte sich Herndls Überzeugung nach ändern: „Das Meer ist ein wesentlicher Teil unseres Systems Erde, und es spielt in der Klimaregulierung eine zentrale Rolle.“ So landet ein großer Teil des vom Menschen verursachten Kohlendioxid-Ausstoßes im Meer und wird dadurch der Atmosphäre als Treiber für die globale Erwärmung zumindest mittelfristig entzogen. Überdies ist das Meer ein sehr großer Wärmespeicher: „93 Prozent des Wärmezuwachses von 1960 bis jetzt hat der Ozean aufgenommen“, so Herndl.

Meeresschnee

Bloß: Man kennt all diese Prozesse, die dafür verantwortlich sind, nur sehr schlecht. So ist beispielsweise der globale Kohlenstoffkreislauf ohne die Meere unvollständig – und bis vor kurzem waren die Kohlenstoffbilanzen in den Ozeanen rätselhaft. Dass hier mittlerweile mehr Klarheit herrscht, ist mit ein Verdienst von Herndl. Sein Spezialgebiet ist die Erforschung der Tiefsee, also jenes riesigen Teils der Meere, in dem es stockfinster und eiskalt ist, in dem immens hohe Drücke herrschen.

„Tiefseeorganismen leben zu einem großen Teil von dem, was in den sonnendurchfluteten oberen hundert Metern des Meeres von Algen produziert wird. Dieses Material rieselt in die Tiefsee“, erläutert Herndl. Diese organischen Substanz wird von den Lebewesen in der Wassersäule verwertet, der überwiegende Teil von Mikroorganismen, die entweder frei lebend sind oder sich auf den Partikeln finden, die im Wasser schweben. Eine bestimmte Form dieser Partikel nennt man Meeresschnee („Marine Snow“; weil diese Schwebeteilchen in ihrem Aussehen Schneeflocken ähneln). Dabei handelt es sich um polymere Gerüste, die von pflanzlichem Plankton gebildet wurden und von einer Viel-

zahl an Mikroorganismen besiedelt sind. „Früher dachte man, dass es sich dabei nur um Bakterien handelt. Zu unserer Überraschung haben wir aber auch viele Pilze gefunden“, so Herndl: Pilze sind in gleich großer Menge auf dem Meeresschnee der Tiefsee vorhanden wie Bakterien. Sie sind derzeit Gegenstand intensiver Forschungen – denn zur Zeit sind keinerlei Daten über sie in den einschlägigen molekularen Datenbanken enthalten.

Hoher Druck in der Tiefe

Wie sieht es nun mit dem Kohlenstoffkreislauf aus? Zum einen ist bekannt, wie groß die Menge an Biomasse ist, die in die Tiefsee absinkt. Zum anderen wusste man aus Messungen der Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen, wie viel organisches Material in der Tiefsee verbraucht wird. Zwischen diesen beiden Werten besteht aber eine große Differenz. Herndl: „Laut diesen Daten wird in der Tiefsee wesentlich mehr organisches Material verbraucht, als aus den oberflächennahen Schichten des Meeres in die Tiefsee hinunterrieselt. Somit konnte der Kohlenstoffkreislauf der Ozeane nicht geschlossen werden.“

Also haben sich Herndl und sein Team auf die Suche nach Mechanismen begeben, die bisher vielleicht übersehen wurden. Sie sind auf zwei wichtige Phänomene gestoßen, die zumindest einen Teil der Diskrepanz erklären können. Ein Teil der Erklärung ist, dass der Stoffwechsel der Tiefseeorganismen bei Oberflächendruckbedingungen gemessen wurde – und nicht beim hohen Druck in der Tiefe. „Man hat angenommen, dass die Tiefsee-Bakterien an diese Druckverhältnisse angepasst sind. Dem scheint aber nicht so zu sein: Der Großteil der Bakterien der Tiefsee lebt zwar unter diesen Druckverhältnissen, aber eben gerade so, dass sie dahinvegetieren.“ Bringt man sie unter normale Druckbedingungen, beschleunigen sie ihren Stoffwechsel; wenn man ihren Stoffwechsel also in diesem Zustand misst, erhält man zu hohe Stoffwechselraten im Vergleich zu den Raten in der Tiefsee.

Herndl und seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben daher

spezielle Hochdruckkammern konstruiert, mit deren Hilfe diese Messungen auch bei mehreren hundert Bar Druck durchgeführt werden können. Diese Instrumente werden von einem Forschungsschiff in die gewünschte Tiefe hinuntergelassen und der Stoffwechsel der Mikroben unter den tatsächlichen Druckverhältnissen der Tiefsee gemessen. Das Ergebnis verblüffte die Fachwelt: Unter dem Druck einer 2000 Meter hohen Wassersäule ist die Stoffwechselaktivität der Bakterien um rund 80 Prozent niedriger, als wenn man sie unter Oberflächendruck messen würde. Der hohe Verbrauch an organischem Material in der Tiefsee beruhte also auf der falschen Annahme, dass Druck keinen Einfluss auf die Aktivität der Mikroben hätte.

Schwefel und Wasserstoff

Aber nicht nur das. Noch ein zweiter Effekt spielt eine wichtige Rolle: Es gibt Mikroben in der Tiefsee, die zur Bildung organischer Moleküle nicht vom Sonnenlicht abhängig sind („heterotroph“), sondern ihre Energie aus Substanzen wie etwa Schwefel oder Wasserstoff beziehen („autotroph“). Diese Organismen wurden im Rahmen des

Tiefseeorganismen leben großteils davon, was in den oberen 100 Metern des Meeres produziert wird.

internationalen Forschungsverbundes MOCA („Microbial Oceanography of ChemolithoAutotrophic planktonic Communities“) gemeinsam mit Partnern mit molekularbiologischen Methoden bestimmt. Man kennt nun deren wichtigste Enzyme und weiß daher, was sie machen. Man kann diese Organismen aber im Labor nicht kultivieren. „Da gibt es noch eine Menge zu erforschen“, so Herndl.

Eines ist aber bereits sicher: „Wir konnten zeigen, dass die Kohlendioxid-Fixierung der autotrophen Gemeinschaft der Tiefsee etwa so hoch ist wie jene der heterotrophen Mikrobengemeinschaft.“ Es wird also in der Tiefsee beinahe so viel Biomasse produziert, wie von der Oberfläche hinunterrieselt. Mit diesen Arbeiten, die der Kern von Herndls Wittgenstein-Preis-Projekt waren, konnten also Grundzüge des organischen Kohlenstoffkreislaufs in der Tiefsee aufgeklärt werden.

Das Nahrungsnetz-Gefüge in der Tiefsee umfasst aber auch noch

weitere Besonderheiten. Eine der spektakulärsten Erscheinungen sind Heißwasserquellen am Meeresgrund („Hot Vents“), die die Basis für eine Gemeinschaft von spektakulären Lebensformen sind, die ebenfalls nicht vom Sonnenlicht leben, sondern von Material, das vom heißen Wasser aus dem Magma-Kern herausgelöst wurde.

Sauerstoffmangel

Herndl macht darauf aufmerksam, dass all diese Schätze, die großteils noch unerforscht sind, gefährdet sind. So ist nicht wirklich bekannt, wie sich der Klimawandel auf die Ozeane auswirken wird. In Simulationsmodellen wird z. B. vorhergesagt, dass der Sauerstoffgehalt der Ozeane bis zum Ende des Jahrhunderts um 25 Prozent absinken wird. „Die Regionen, die jetzt schon anoxisch (sauerstofflos) sind, werden größer. Und das hat weitere Folgen: Wenn kein Sauerstoff da ist, steigt die Denitrifizierung an, das heißt, dass der Ozean auch Stickstoff an die Atmosphäre verliert“, so Herndl. Diese Prozesse untersuchen die Wiener Meeresforscher derzeit in der Adria.

Als weitere problematische Themen erwähnt Herndl auch die Überfischung von großen Teilen der natürlichen Bestände sowie das sogenannte „Deep-Sea Mining“. Darunter versteht man das Schürfen wertvoller Bodenschätze am Meeresgrund. So gibt es etwa Pläne, mit Mährescher-artigen Geräten Manganknollen vom Boden einzusammeln. „Alle Organismen und Tiefseelebewesen werden dabei zerstört. Die wachsen dann nur sehr langsam wieder nach.“ Allerdings wisse man darüber bisher nur sehr wenig.

Plastikmüll im Meer

Gleiches gilt für das Thema Plastik im Meer: Es gibt Vermutungen, dass ein Teil des Plastikmülls auf den Meeresboden absinkt. Gesucht werden nun Mikroorganismen, die Plastik möglicherweise abbauen können. Wenn es solche Bakterien gibt, dann verändert sich durch den Plastikmüll der Kohlenstoffkreislauf im Meer. In einem geringeren Ausmaß konnte das kürzlich bereits nachgewiesen werden: Allein schon die Zusatzstoffe (wie etwa Weichmacher), die aus dem Plastikmüll ausgewaschen werden, führten in Experimenten zu einer messbaren Stimulation der Aktivität von Meeresmikroben.

Was Ablagerungen am Meeresgrund verraten

Sedimente. Bei der Untersuchung von Sedimenten fand man zahlreiche bisher unbekannte Organismen. Überdies zeugen die Ablagerungen von geologischen Ereignissen, die das Leben im Meer befördert haben.

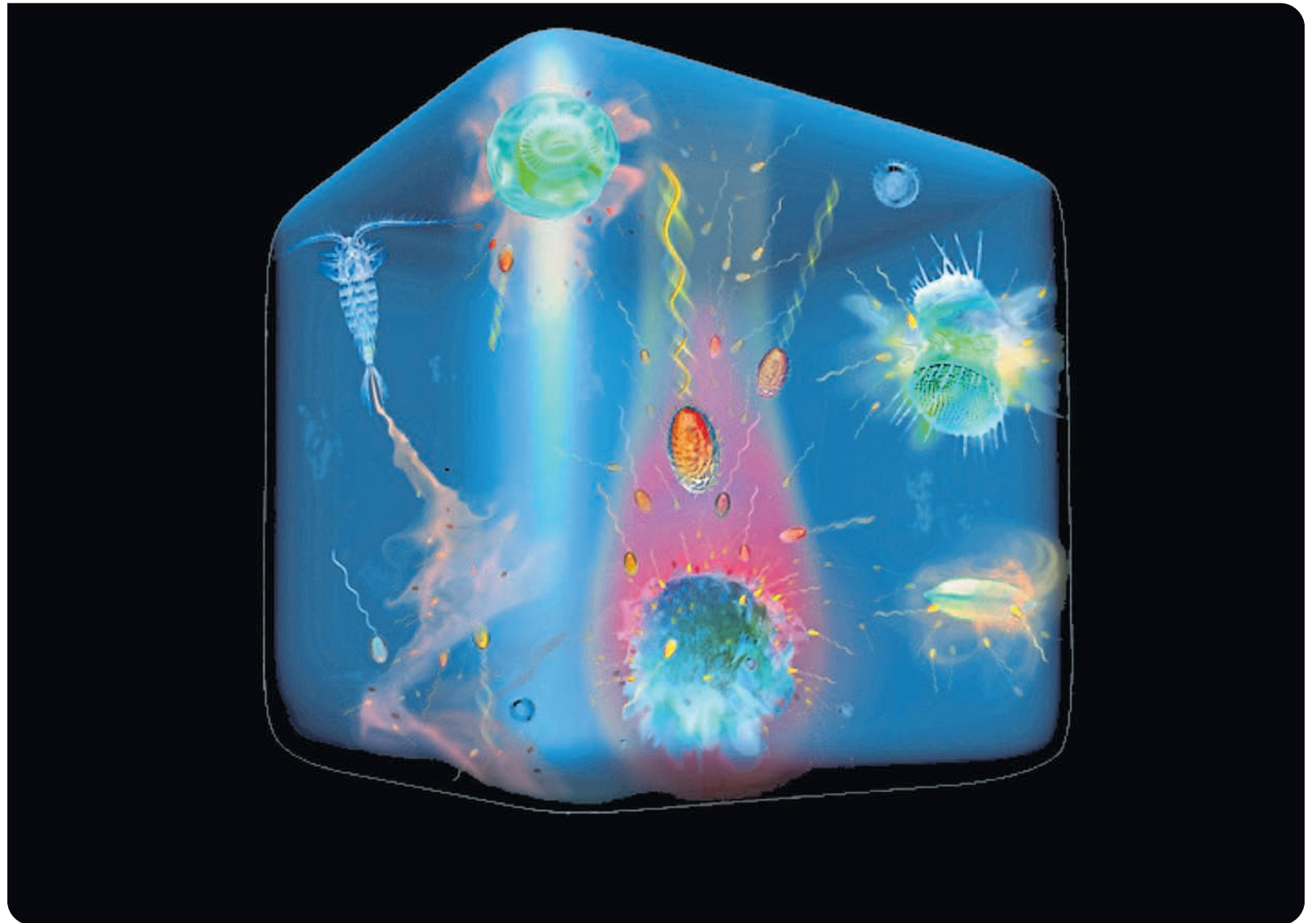
Marine Sedimente beherbergen das größte Reservoir an organischem Kohlenstoff in der Welt und auch eine riesige Zahl von Mikroorganismen“, berichtet Christa Schleper, Mikrobiologin an der Universität Wien. Was sie am Meeresboden besonders interessiert, sind sogenannte Archaea, die Schleper seit vielen Jahren erforscht. Das sind Mikroorganismen, die bereits sehr früh in der Evolution entstanden sind - und auf der Erde praktisch allgegenwärtig sind. Sie leben zum Beispiel auch zu Milliarden auf unserer Haut. Und sie erfüllen in vielen Ökosystemen und im globalen Stoffkreislauf wichtige Aufgaben.

Die Mikrobiologin ist vor allem an der Frage interessiert, wie im Laufe der Evolution aus einfachen einzelligen Lebewesen (Prokaryonten) kompliziertere Zellen (Eukaryonten) wurden, aus denen heutige Pilze, Pflanzen und Tiere aufgebaut sind. Einen Teil der Antwort sucht sie eben auch am Meeresboden. Denn dort leben unter anderem Lokiarchaeota. Diese Organismen wurden erst im Jahr 2015 in Tiefseesedimenten entdeckt und gelten derzeit als die nächsten Verwandten zu Eukaryoten. Das Problem an ihnen: Sie können bislang nur mit molekularen Techniken nachgewiesen und noch nicht im Labor gezüchtet werden.

Globaler Stickstoff-Zyklus

Eine weitere wichtige Gruppe von Archaea, die sogenannten Thaumarchaeota sind die einzigen Archaea, die es - ausgehend von einem Leben in heißen Quellen - geschafft haben, sich überall auf der Erde auszubreiten. Sie übernehmen im Meer sowie in Böden eine wichtige ökologische Funktion im Stickstoffkreislauf. Konkret: Thaumarchaeota können in aeroben Ökosystemen Ammoniak oxidieren und übernehmen damit im globalen Stickstoff-Zyklus einen wichtigen Schritt beim Abbau von Biomasse. Einige Vertreter dieser Archaea konnten bereits im Labor gezüchtet werden, jedoch noch keiner aus der Tiefsee.

Wie grundlegend ihre Funktion ist, sieht man an ihrer Häufigkeit in zwei von Schleper und ihrem Team



Die vielfältige Gemeinschaft von Mikroorganismen in der Wassersäule versorgt auch die Tiefsee mit Kohlenstoff.

[Roman Stocker/ETH Zürich]

untersuchten Bohrkernen aus der „ultra slow spreading ridge“ des Nordatlantik. In acht von 15 Horizonten dieser jeweils drei Meter langen Bohrkern dominieren Thaumarchaeota verschiedener Subgruppen. Durch die Untersuchung soll zum einen eine Korrelation zwischen der Geochemie und den Änderungen in der mikrobiellen Gemeinschaft in den verschiedenen Horizonten gefunden werden. Zum anderen sollen basierend auf den geochemischen Kontextdaten neue Kultivierungsbedingungen für Thaumarchaeota getestet werden - um künftig noch mehr über diese für uns noch recht

fremden Lebensformen erfahren zu können und am Ende auch die Verwandtschaftsbeziehungen und die Evolution einer der am weitesten verbreiteten und häufigsten, aber sehr wenig charakterisierten Mikroorganismen-Gruppen auf diesem Planeten zu klären.

Erdbeben im Japangraben

Meeresedimente sind auch für Forscher anderer Zweige ein wahre Fundgrube an neuen Erkenntnissen. So untersucht zum Beispiel der Innsbrucker Geologe Michael Strasser Sedimentablagerungen, um daraus Rückschlüsse auf frühere Erdbeben zu ziehen. Als Teil-

nehmer an einem internationalen Team war er daran beteiligt, die Schichten im mehr als sieben Kilometer tiefen Japangraben zu erforschen - wobei neben geologischen Aspekten auch der globale Kohlenstoffkreislauf ein wichtiges Thema ist. Denn: Die Tiefseesedimente stammen typischerweise von Material, das sich im flachen Wasser absetzt und dann in die Tiefsee transportiert wird - zum Beispiel durch Erdbeben. Durch die mittransportierten Kohlenstoffteilchen lässt sich das Alter der Umlagerung datieren, aus der Deformation der Sedimentschichten kann man auf das zugrunde liegende Er-

eignis rückschließen. Auf diese Weise konnte an einem Bohrkern an drei Stellen älteres organisches Material sowie eine erhöhte Zufuhr von organischem Kohlenstoff nachgewiesen werden. Diese Stellen entsprechen drei historisch-bekannteren Erdbebenereignissen im Japangraben.

Die Ergebnisse könnten damit auch einen Beitrag zur Erklärung des Lebens in der Tiefsee liefern: Denn da durch Erdbeben immer wieder organisches Material aus dem Küstenbereich auf den Meeresboden gelangt, könnte dieser Prozess auch ein Motor für Leben in der Tiefsee sein.

Hot Vents: Üppiges Leben an heißen Quellen

Hydrothermalquellen. In geologisch aktiven Zonen kommt es zum Austritt von heißem Wasser aus dem Meeresboden. Die gelösten Mineralstoffe lassen in der Kälte der Tiefsee eine ungeahnte Artenvielfalt blühen.

Hydrothermalquellen in der Tiefsee sind weitverbreitete, extreme Lebensräume, die an mittelozeanischen Rücken zu finden sind. Unabhängig vom Sonnenlicht lebt an diesen Quellen - im Englischen „Hot Vents“ genannt - eine sehr spezielle Tierfauna. Das Wasser wird dabei in Rissen und Kanälen im Untergrund vom nahe gelegenen Magma erhitzt und löst auf seinem Weg viele Substanzen, etwa Sulfide oder Metalle, aus dem Gestein heraus. Wenn es durch Löcher am Meeresgrund austritt, wird es schlagartig vom eiskalten Umgebungswasser abgekühlt.

Dabei bilden sich feste Partikel, die wie Rauchschwaden wirken - daher kommt der Name „Schwarzer Raucher“ für manche Hydrothermalquellen - und oft bis zu 20 Meter hohe Schloten aufbauen.

Die unmittelbare Umgebung ist für zahlreiche spezialisierte Arten ein interessanter Lebensraum.

Dort ist es erstens wärmer, und zweitens können bestimmte Bakterien die Mineralstoffe im Thermalwasser als Energiequelle nutzen und daraus Biomasse aufbauen. Dieser Prozess - der in der finsternen Tiefsee an die Stelle der Photosynthese tritt - ist die Basis für vielfältige Arten, wie etwa für Röhrenwürmer, die unter diesen Bedingungen bis zu eineinhalb Meter groß werden können. Sie können das nur, weil sie in enger Sym-

biose mit bestimmten schwefelwertenden Bakterien stehen: Anstatt eines Darms bilden sie ein spezielles Organ („Trophosom“), in denen die Mikroorganismen leben. Diese oxidieren das giftige Sulfid.

Dynamische Entwicklung

Die aus der Oxidation gewonnene Energie wird zum Aufbau von organischen Molekülen genutzt, von denen ein Teil an den Wirt abgegeben wird. Wie diese Lebensvorgän-

ge in der extremen Umgebung im Einzelnen funktionieren, hat die Wiener Meeresbiologin Monika Bright in einer Reihe von Projekten erforscht. Sie hat beispielsweise herausgefunden, dass die Symbionten in jeder Wirtsgeneration neu aus der Umwelt aufgenommen werden und diese den Wirt nach seinem Tod auch wieder verlassen.

Im Zuge ihrer Forschungen an Hot Vents stieß Bright im ostpazifischen Raum auf einen untersee-

ischen Vulkan, der eben erst ausgebrochen war und dabei alle Tiergesellschaften rund um die heißen Quellen getötet hatte. Sie verfolgte dann vier Jahre lang die Wiederbesiedlung der Hydrothermalquelle mit kleineren und größeren Lebewesen: Diese ging überraschend rasch von statten: Innerhalb von weniger als einem Jahr war bereits eine Tiergemeinschaft präsent, die schon bald wieder sehr vielfältig war.



Gerhard J. Herndl

Pavillon kuratiert von Pavilion curated by

Gerhard J. Herndl

Gerhard J. Herndl ist Dekan der Fakultät für Lebenswissenschaften und Leiter der Forschungsplattform „Plastics in the Environment and Society“ an der Universität Wien. 2011 wurde er vom Wissen-

schaftsfonds (FWF) mit dem Wittgenstein-Preis ausgezeichnet und erhielt den vom Europäischen Forschungsrat finanzierten ERC Advanced Grant.



Mit Beiträgen von
With contributions from

Christa Schleper, Monika Bright



Michael Strasser

