

# Ein Vergleich zu extremen irdischen Habitaten

Von Dr. Elisabeth Helmke



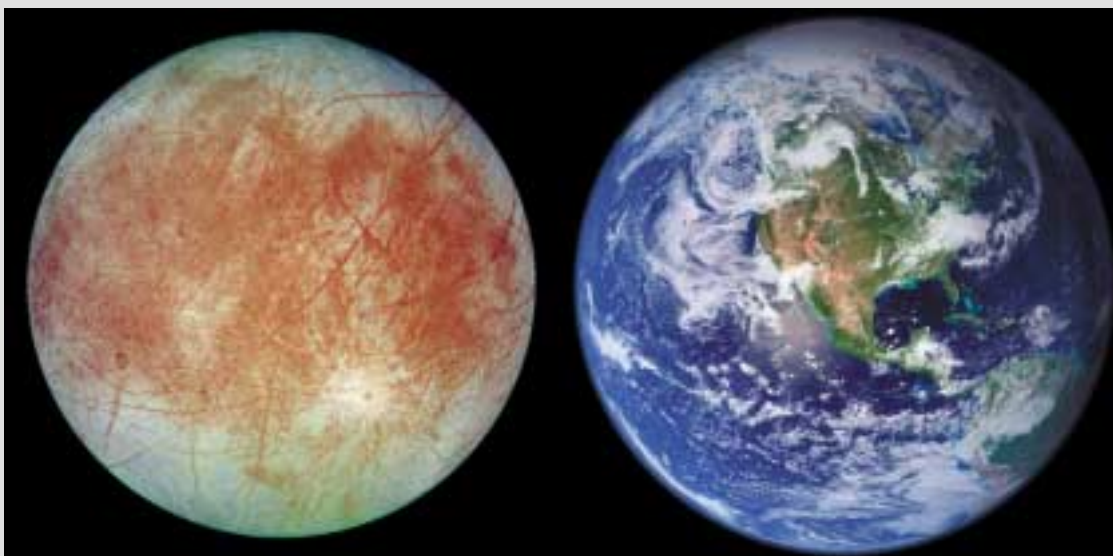
Aus den alltäglichen Erfahrungen wissen wir, dass flüssiges Wasser eine der Grundvoraussetzungen für das Leben auf der Erde ist. Da Wasser charakteristische und relativ einfach nachzuweisende Absorptionsbanden besitzt und darüber hinaus größere, flüssige Wasserströme typische Strukturen hinterlassen, konzentrierte man sich bei der Suche nach Leben im Kosmos zunächst auf diese Substanz. RC berichtete bereits über größere Vorkommen von Wassereis auf den Jupitertrabanten Ganymed, Callisto und über die spektakulären Nachrichten von möglichen unterirdischen Wasservorräten auf dem Mars (siehe auch Beitrag auf den Seiten 10-13). Diese Meldungen standen jedoch bereits im Schatten der Bilder und Daten, die die Sonde Galileo von den Jupitermonden lieferte. Insbesondere die hoch aufgelösten Fotos von Europa gaben der Diskussion um Leben außerhalb der Erde neuen Auftrieb. So konnten in den sogenannten "Chaos-Gebieten" auf der eisigen Europa-

Oberfläche auseinander gebrochene und auseinander getriebene Eiskrustenplatten sowie umgekippte Schollen, die teilweise in der umgebenden Matrix festgefroren waren, ausgemacht werden. Diese, dem irdischen Meereis ähnlichen Strukturen konnte man nur so deuten, dass das Untergrundeis zum Zeitpunkt seiner Entstehung weich, eventuell sogar flüssig, gewesen war, so dass sich die Gezeitenströme sichtbar auswirken konnten. Magnetometerexperimente und Spektrometerdaten lieferten weitere Hinweise auf einen salzwasserhaltigen Ozean von zirka 100 km Tiefe (entsprechend der 2-bis 3-fachen Wassermenge unserer Ozeane) unter einem flexiblen Eispanzer. Ob Europas Ozean auch heute noch flüssiges Wasser enthält, kann auf der jetzigen Datenbasis nicht eindeutig entschieden werden, es steht aber offensichtlich außer Frage, dass zumindest früher ein flüssiger Ozean existiert hat. Damit ist es das erste Mal, dass außerhalb der Erde eine ozeanähnliche Wasseransammlung entdeckt wurde, die die Zuversicht Leben außerhalb der Erde zu finden deutlich stärkt.

## Entstehung irdischen Lebens

Um die Möglichkeit der Entwicklung von Leben auf einem anderen Himmelskörper, wie Europa, einstufen zu können, ist es hilfreich sich zunächst klar darüber zu werden, was Leben, wie wir es von der Erde kennen, ausmacht und wie unser irdisches Leben entstanden ist. Die Entwicklung anderer, möglicher-

weise vom Wasser unabhängiger und nicht auf Kohlenstoff basierender Lebensformen soll dabei unberücksichtigt bleiben. Auch wenn heutzutage einzelne Phasen der Entstehung irdischen Lebens geklärt scheinen, sind andere Phasen noch sehr hypothetisch und einige der postulierten Abläufe umstritten. Unterschiedliche Ansichten gibt es z.B. darüber, wo das Leben entstanden ist. Neben der weitverbreiteten Vorstellung, dass das irdische Leben sich im wässrigen Milieu auf unserer Erde entwickelt hat, wird auch die Auffassung vertreten, dass das irdische Leben aus dem Kosmos stammt. Diese These stützt sich insbesondere auf Funde von organischen Molekülen wie Aminosäuren in Materialien aus dem Weltall. Käme das irdische Leben tatsächlich aus dem Weltall, wäre die Chance, dass wir Leben auf Europa und anderen Himmelskörpern finden, ungleich höher; denn, wenn es gelungen ist die Erde mit Lebenskeimen zu kontaminieren, warum dann nicht auch andere Himmelskörper einschließlich Europa. Für den Erhalt des Lebens bzw. seine Weiterentwicklung hätten "nur" die physikalischen und chemischen Bedingungen, einschließlich verfügbarem flüssigen Wasser, stimmen müssen. Die ansonsten notwendige, vermutlich wenig aussichtsreiche eigenständige präbiotische Entwicklung könnte entfallen. Bevor wir uns die einzelnen Schritte der Entwicklung, des zur Zeit auf der Erde existierenden Lebens ansehen, zunächst zur Frage: Was verstehen wir unter Leben?



Gibt es auf dem Jupitermond Europa ähnliche Bedingungen für die Entstehungen des Lebens wie auf der Erde? Europa (links) mit Eiskrustenoberfläche im Vergleich zur Erde mit den Ozeanen. Im Norden der Erde ist dichte Meereisbedeckung zu erkennen. Der helle Punkt auf Europa ist ein junger Krater namens Pwyll. Die Größenverhältnisse sind nicht korrekt. Europa hat ungefähr die Größe unseres Mondes. Fotos: NASA.



Das obere Bild zeigt eine etwa zwei Meter dicke aufgestellte Packeissscholle. Die honiggelbe Verfärbung wird durch eine hohe Anreicherung an Eisalgen verursacht.

Das untere Foto lässt eine aus dem Eispanzer von Europa herausgedrückte Eisscholle erkennen. Der Bildausschnitt umfasst eine Fläche von rund 1,5 x 4 Kilometer. Fotos: Autor, NASA.

Drei Forderungen werden an ein lebendes System gestellt, es muss

- sich selbst replizieren können,
- Energie verbrauchen oder anders ausge drückt, einen Stoffwechsel mit katalytischen Systemen haben,
- die Fähigkeit zur Evolution besitzen, dass heißt das Leben muss sich an die spezifischen Bedingungen seiner Umgebung durch Mutation und Selektion anpassen.

Um die Schwierigkeit der Lebensentstehung richtig einschätzen zu können, muss man sich vergegenwärtigen, dass der Aufbau des komplexen Replikations- und Stoffwechselsystems mit seiner Vielzahl von aufeinanderfolgenden und ineinandergreifenden Reaktionen nur auf der Abfolge zufälliger Ereignisse beruht. Das größte Problem bei der Entwicklung von Leben dürfte daher gewesen sein, dass die verschiedenen Komponenten und Bedingungen zur

rechten Zeit am rechten Ort waren. Ein solch komplizierter und von so vielen Zufällen abhängiger Ablauf kann daher nur selten zum Erfolg führen. Dieses wird bereits am irdischen Leben sichtbar, welches vom primitivsten Bakterium bis zum hoch entwickelten Homo sapiens, denselben replizierenden Mechanismus (Ribonukleinsäuren, DNA bzw. RNA), dieselbe Energieübertragungseinheit (Adenosin triphosphat, ATP) sowie die gleichen katalytischen Systeme (Enzyme auf Proteinbasis) besitzt, folglich unser heutzutage sehr komplex erscheinendes Leben wahrscheinlich nur auf ein einziges Ursprungssystem zurückgeht.

Betrachten wir die einzelnen Entwicklungsschritte, die das irdische Leben durchlaufen haben soll. Der erste Schritt scheint noch vergleichsweise problemlos abgelaufen zu sein. Die Bildung einfacher organischer Moleküle, die die Grundbausteine lebender Materie ausmachen, konnte aus den Bestandteilen der Ursuppe ( $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$  und  $NH_3$ ) unter Einwirkung von Blitzentladungen bereits in den 50er Jahren im Labor nachvollzogen werden. Später gelang es mit Hilfe von UV-Bestrahlung und anderen Gaszusammensetzungen prinzipiell alle zum Leben notwendigen Bausteine zu produzieren. In der Natur dürfte dieses dennoch etwas komplizierter und der Standort für die erfolgreiche Produktion des Molekülcocktails entscheidend gewesen sein. Einerseits benötigten diese Reaktionen Energie, andererseits mussten die empfindlichen Endprodukte auf einer atmosphärenfreien Erde vor UV-Zerstörung geschützt werden. Eine Wasser- oder Eisschicht von etwa 10 m oder mehr, wie es sie auf der Erde und auf Europa gab, sollten für den notwendigen UV-Schutz gesorgt haben.

Beim nächsten Schritt der Verkettung der kleinen Grundbausteine zu den eigentlichen Makromolekülen wurde es chemisch deutlich komplizierter. Unsere derzeitigen Vorstellungen über die Abläufe, bei denen Wasser freigesetzt wird, sind noch sehr spekulativ. Man ist sich allerdings darüber einig, dass diese Polymerisationsreaktionen keine Chance im offenen Ozean hatten. Nur in einer geschützten und zugleich kompartimentierten Umgebung, wo die Moleküle dicht beisammen bleiben konnten, um miteinander zu reagieren, konnte die Chemie gelingen. Katalytische und bindende Oberflächen werden ebenfalls als vorteilhaft bis notwendig für diese Reaktionen angesehen. Vulkanisch aktive, untermeerische Bereiche, aber auch Eisformationen werden als geeignete Orte für die präbiotischen Entwicklungsschritte auf der Erde in Betracht gezogen, da hier gleichermaßen verwertbare Energie, Schutz vor aggressiver Strahlung, und katalytische Oberflächen bzw. Kompartimentierungen zu finden sind.

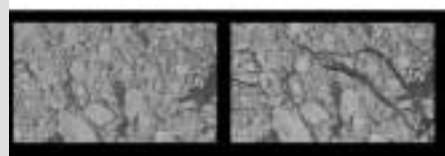
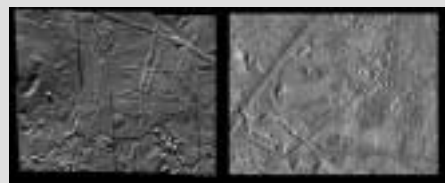
Zum Schutz der gebildeten Makromoleküle (Ribonukleinsäure, RNA), die anfänglich wahrscheinlich noch für beides, Replikation sowie Katalyse, verantwortlich waren, dürfte die Ausbildung von Koaservaten und Mikrosphären nützlich gewesen sein. Der Aufbau von

Hyperzyklen und einer Zellmembran dürften danach nochmals schwierige Schritte gewesen sein. Diese waren aber notwendig, damit das kooperative Zusammenspiel von Informationsträger (DNA) und Funktionsträger (Protein) nach deren molekularer Auftrennung funktionierte. Im Prinzip war damit dann die ursprüngliche lebensfähige Zelle fertiggestellt.

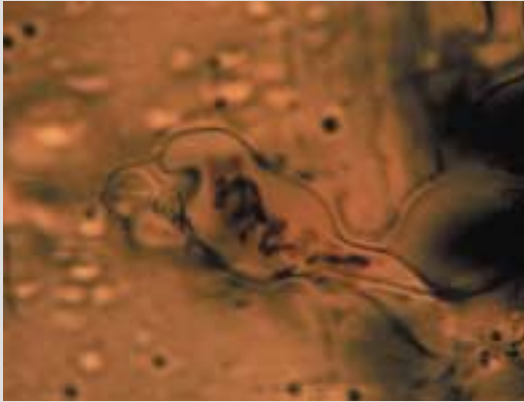
Während die irdischen Organismen, wie bereits erwähnt, im grundlegenden Aufbau identisch sind, hat die Natur im Laufe der Evolution bei ihrer Energiegewinnung eine Vielfalt von Lösungswegen gefunden. Sie reicht von der Oxidation unterschiedlichster anorganischer Verbindungen, über die Verbrennung organischer Stoffe, bis zur Verwertung von Licht mittels Photosynthese. Die meisten dieser Reaktionen gibt es sowohl in der Variante mit als auch ohne Sauerstoff. Das erste energiegewinnende System basierte vermutlich auf der Oxidation von Eisensulfid durch Schwefel zu Pyrit und funktionierte ohne Sauerstoff. Wie überhaupt die präbiotische und die frühe biotische Phase auf der Erde ohne Sauerstoff auskam. Generell ist die Anwesenheit von Sauerstoff wegen seiner Aggressivität für die anfänglichen Lebensphasen auch außerhalb der Erde als nachteilig anzusehen. In den späteren Phasen der Evolution hat sich hingegen Sauerstoff, durch die damit erzielbaren hohen Energieausbeuten bewährt. Letztendlich geht die Erfolgsgeschichte des irdischen Lebens auf den Aufbau eines Photosynthesystems unter Freisetzung von Sauerstoff und der daraus folgenden Ausbildung einer schützenden Ozonschicht zurück.

## Grenzbereiche irdischen Lebens

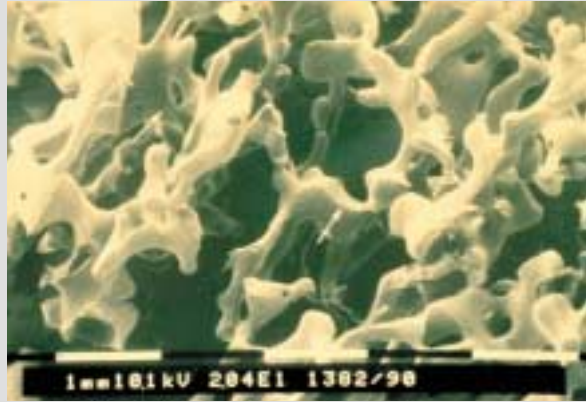
Heutzutage gibt es kaum eine Stelle auf unserem Planeten, die nicht besiedelt ist. Dieses gilt selbst für extremste Standorte wie heiße Quellen (Wachstumsgrenze für heiße Temperaturen liegt bei  $113^{\circ}C$ ), Eisformationen (Wachstumsgrenze für kalte Temperaturen bei  $-7^{\circ}C$ ), Natronseen (Wachstumsgrenze bei pH 11) und saure Gewässer (Wachstumsgrenze bei pH 0,7). Auch kommen Organismen in tiefen Erdschichten und in der ozeanischen Tiefsee vor, wo hydrostatische Drücke von z.T. mehr als 1.000 bar herrschen. Salzseen sind ebenfalls



Bilder von einem sehr dichten Vorbeiflug an Europa (oben) lassen ähnliche Eisstrukturen wie das arktische Packeis auf der Erde (untere zwei Aufnahmen) erkennen. Es werden in allen Bildern etwa gleich große Flächen von rund 100 x 100 km dargestellt. Fotos: NASA.



Salzlaugentasche mit Algen. Foto: Dieckmann, AWI.



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines präparierten Salzlaugenkanalsystems.  
Foto: Weissenberger, AWI.

besiedelt. Da Salz Wasser bindet, stellt in solchen Habitaten der frei verfügbare Wasseranteil den größten Stressfaktor dar. Frei verfügbares Wasser wird in Form von Wasseraktivität (*a<sub>w</sub>*-Werte erstrecken sich von 0 bis 1, reines Wasser) gemessen. Die Wachstumsgrenze liegt bei rund 0,7 (Getreide, Trockenobst). An den aufgeführten extremen Standorten können die sogenannten Extremophilen wachsen. Überlebt werden aber noch extremere Bedingungen wie z.B. ionisierende Strahlung von über 30 000 Gray (10 Gray sind bereits für den Menschen tödlich). Gerade diese hohe Überlebenskapazität einiger Organismen steigert die Wahrscheinlichkeit, dass Leben auf andere Himmelskörper gelangt ist und sich dort etabliert hat.

## Bedingungen auf Europa

Was können wir aus der Entwicklungsgeschichte des irdischen Lebens für die Chance auf Entstehung von Leben auf Europa ableiten? Wie aufgezeigt, ist die Entwicklung bis zum simplen Organismus von sehr vielen Zufällen abhängig. Es ist daher wenig wahrscheinlich, dass sich ein solch komplizierter Prozess an sehr vielen Stellen des Kosmos u.a. auf Europa wiederholt hat bzw. wiederholen wird. Nimmt man aber an, dass das Leben in seiner primitivsten Form nicht nur auf der Erde, sondern auch im Weltall oder nur dort entstanden ist, so steigen die Aussichten, dass ursprüngliche Lebenskeime nach Europa gelangt sind und sich dort weiterentwickelt haben, erheblich. Die auf Europa herrschenden Bedingungen scheinen zumindest nach unserem heutigen Kenntnisstand nicht so lebensfeindlich zu sein, als dass sich dort nicht Leben hätte weiterentwickeln können; denn die Bedingungen in einigen extremen irdischen Habitaten scheinen jenen auf Europa ähnlich.

Von Europa wissen wir ziemlich sicher, dass es dort keine Atmosphäre gibt, die Oberfläche aus einer bis zu 10 km dicken Salzwasser-Eis-schicht besteht, die von mineralhaltigen dunklen Bändern durchzogen wird und dass sich unter der festen Eisdecke weicher Eisbrei oder

gar ein flüssiger Ozean aus Salzwasser von zirka 100 km Tiefe befindet, der einer starken Gezeitenströmung unterliegt. Im Oberflächenbereich von Europa wird bei Temperaturen von  $-120^{\circ}\text{C}$  bis  $-140^{\circ}\text{C}$  kein Organismus wachsen können. Überleben scheint hingegen, mit Blick auf irdische Organismen, möglich, da Temperaturen von  $-196^{\circ}\text{C}$  (flüssiger Stickstoff) zur Konservierung von z.B. Bakterienzellen, Eizellen und kleinen embryonalen Zellverbänden eingesetzt werden. Aktives Leben wird sich auf Europa wenn, dann nur in größeren Eistiefen und im Wasser unter dem Eis abspielen, wo es wärmer und geschützter ist. Grundvoraussetzung für Wachstum ist auch dort, wie auf der Erde, eine ausreichende Energieversorgung. Irdisches Leben basiert im Prinzip auf Lichtenergie (sichtbares Licht) oder auf chemischer Energie aus Reduktions-Oxidations-Reaktionen unter Verwendung einer Vielzahl organischer sowie anorganischer Verbindungen. Im Eis auf Europa wird Licht für photosynthetische Prozesse höchstens bis zu einer Tiefe von 80 m verfügbar sein, wo die Bedingungen ansonsten recht lebensfeindlich sein dürften. Verbindungen für die Gewinnung chemischer Energie scheinen in größeren Tiefen vorhanden, so könnten z.B. Elektronendonoren Stoffe aus kosmischem Staub und/oder aktivem Vulkanismus genutzt werden und als Elektronenakzeptor Sulfat. Darüber hinaus kann man spekulieren, ob es nicht neuen Organismen typen möglicherweise gelungen ist, alternative Energieformen wie Wärmeenergie, magnetische Energie, Bewegungsenergie (Gezeitenströmung), Energie ionisierender Strahlung oder UV-Strahlung zu erschließen.

## Polares Meer eis

Irdische Habitats, die mit denen auf Europa verglichen werden können, liegen überwiegend in den polaren Regionen. So sind z.B. rund 7 Millionen  $\text{km}^2$  des Arktischen Ozeans und etwa 2 Millionen  $\text{km}^2$  des Antarktischen Ozeans im Sommer und 14 bzw. 20 Millionen  $\text{km}^2$  im Winter von einer Eisdecke bedeckt, die mit einer Dicke von 1-6 m im Vergleich zu

Europa allerdings dünn ist. Diese Packeisdecke ist ständig in Bewegung. Sie bricht auf, es bilden sich offene Wasserflächen, die Schollen verdriften und frieren in neuer Konstellation wieder zusammen. Ähnliche Bewegungen vermutet man aufgrund der gefundenen Strukturen auch auf Europa. Die Temperaturen im unteren und mittleren Bereich des Meereises liegen das ganze Jahr über recht konstant bei Temperaturen von  $-1,9^{\circ}\text{C}$  (Gefrierpunkt von Meerwasser) bis  $-5^{\circ}\text{C}$ , während sie sich im Oberflächenbereich über einen ziemlich breiten Bereich von  $0^{\circ}\text{C}$  im Sommer bis zu etwa  $-30^{\circ}\text{C}$  im Winter erstrecken. Der Eisoberflächenbereich wird wegen der sehr niedrigen winterlichen Temperaturen, eigentlich nur im Sommer im Bereich von Pfützen und Schmelztümpeln, die sich vorwiegend um dunkle Steine und Sedimenteinträge herum ausbilden, aktiv besiedelt. Im mittleren und unteren Bereich des Meereises leben hingegen das ganze Jahr über Lebensgemeinschaften, die überwiegend aus Algen und Bakterien bestehen und auffällig üppig und hochaktiv sind. Schon mit bloßem Auge ist die Ausbildung hoher Algen-Zelldichten durch grünliche bis dunkelbraune Verfärbungen erkennbar und die Bakterien geben sich im Mikroskop als doppelt bis 10-fach so große im Vergleich mit den Wasserbakterien zu erkennen.

Wie kann es zu solch üppigen Gemeinschaften an einem so extremen Standort kommen? Obwohl die Organismen sich im Eis befinden, leben sie dort in flüssigem Wasser. Wenn salzhaltiges Meerwasser unter  $-1,9^{\circ}\text{C}$  abkühlt, bilden sich zunächst nur Eiskristalle aus reinem Wasser. Die flüssige Salzlake, die sich mit sinkender Temperatur weiter aufkonzentriert, sammelt sich in einem Kanalsystem, das sich durch das ganze Meer eis hindurchzieht. Erst bei sehr tiefen Temperaturen wird auch die Salzlake fest. Bedingt durch das Salzlaugenkanalsystem kommt es zu einer Kompartimentierung, wodurch Nährstoffe und Organismen enger zusammengehalten und vor größeren Feinden geschützt werden. Nur in diesem flüssigen Milieu des Salzlaugensystems entwickeln sich die irdischen Meereis-Lebensgemeinschaften. Gletscher, die aus Süßwasser-

eis bestehen, folglich kein Salzlaugenkanal-system besitzen, können im Sommer manchmal auch von einem Hauch roter Algen überzogen, die enorme Anreicherung von Organismen wie im Meereis findet sich dort aber nicht. Die Hauptenergiequelle der irdischen Meereisgemeinschaften ist das Licht, welches von den Algen durch die Photosynthese unter Freisetzung von Sauerstoff genutzt wird. Wenn unter ungünstigen Bedingungen die Algen absterben, kann es zu einer Sauerstofflimitierung und zur Anreicherung von phototrophen Bakterien kommen, die z.B. durch rot gefärbte Zonen erkennbar wird. Zwar ist die Anreicherung von sauerstoffempfindlichen, phototrophen Bakterien im irdischen Meereis eine ökologisch unbedeutende Ausnahme, ihr könnte aber an anderen sauerstofffreien Standorten eine wichtige Rolle zukommen. Für das irdische Meereis zeigt dieser Befund, dass die Natur auf sich ändernde physikalisch/chemische Bedingungen selbst an extremen Standorten schnell reagiert. Offensichtlich überdauern Impfkulturen unterschiedlichster Anpassungsformen nahezu überall, und erobern den Standort, sobald sich für sie günstige Bedingungen ergeben. Können die Verhältnisse auf Europa mit jenen im Meereis verglichen werden, obgleich dieses dünner und die Temperatur milder ist? Da der Ozean bzw. das Eis auf Europa ebenfalls salzhaltig sein soll, müsste sich auch dort in der entsprechenden Temperaturzone ein flüssiges Salzlaugenkanalssystem ausbilden, welches für eine Besiedlung, wie oben ausgeführt, optimale Voraussetzungen bietet. Allerdings ist nicht zu erwarten, dass auf Europa bis in diese Regionen hinein sichtbares Licht vordringen kann, so dass die Organismen eine alternative Energiequelle finden müssten.

### Tiefsee und hydrothermale Quellen

Bei der Diskussion um Leben auf Europa wird als Standort das Wasser unter dem Eis favorisiert, obgleich auf der Erde das Wasser unter dem Meereis in der Regel deutlich dürrtiger als das Eis besiedelt ist. Der schwache Bewuchs hier liegt insbesondere an fehlender Kompartimentierung und Mangel an bindender Oberfläche, wodurch die Nährstoffe im Wasser stark verdünnt und damit schlechter zugänglich werden. Den Organismen, die in der Wassersäule unterhalb lichtdurchfluteter Tiefen leben, steht in der Regel als Energiequelle nur organische Substanz zur Verfügung, die aus dem Oberflächenbereich als partikuläre Substanz absinkt. Mit zunehmender Wassertiefe wird die Qualität der organischen Substanzen immer schlechter und in Folge dessen die Biologie dürrtiger.

Diese Situation wird sich auf Europa ähnlich stellen, falls die Organismen ihre Energie ebenfalls nur aus organischer Substanz gewinnen können. Allerdings gibt es auch im irdischen Ozean Bereiche, wo die Energie hauptsächlich aus der Oxidation anorganischer Substanzen gewonnen wird. Vor noch gar nicht allzu langer Zeit wurden untermeerische geothermale Aktivitäten (auch im Bereich der meereisbe-

deckten polaren Ozeane) entdeckt, in deren Umgebung sich Oasen mit hochproduktiven Lebensgemeinschaften ausbilden, deren einzelne Vertreter zum Teil gigantische Größen erreichen. Grund für das Aufblühen der Biologie im Bereich heißer Quellen und untermeerischer vulkanischer Aktivitäten sind die zusätzlichen, überwiegend anorganischen Energiequellen, die in Form von Methan, Schwefelwasserstoff, reduzierten Mangan- und Eisenverbindungen aus dem Boden sprudeln und die von Bakterien zur Energiegewinnung und zum Aufbau organischer Substanz genutzt werden. Bei den Bakterien, die hier im Tiefseebereich quasi die Rolle der photosynthetischen Algen im Oberflächenbereich übernommen haben, handelt es sich überwiegend um sehr speziell angepasste Formen und enge Verwandte jener Bakterien, die in der frühen Phase der Evolution der Erde eine wichtige Rolle gespielt haben, was die Hypothese unterstützt, dass Leben in der Nähe hydrothermaler Aktivitäten entstanden ist. Da die thermalen Standorte zu den produktivsten auf der Erde gehören wurde auch auf Europa nach Anzeichen dafür gesucht. Die Ausschau nach Geysiren blieb bis jetzt allerdings ohne Erfolg. Formationen, die als flache vulkanische Krater interpretiert werden, konnten hingegen auf der Eisoberfläche Europas ausgemacht werden. Die Begeisterung über die hochproduktiven geothermalen Gebiete und deren Organismengemeinschaften darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass diese Bereiche nur einen Bruchteil der irdischen Tiefsee ausmachen. Die übrige Tiefsee ist kalt und arm an organischen bzw. anorganischen Nährstoffen. Darüber hinaus steigt auf der Erde der hydrostatische Druck pro 10 m Wassersäule um 1 bar, so dass an der tiefsten Stelle der Erde, dem Marianengraben mit 11.400 m, ein Druck von über 1.000 bar auf die Organismen einwirkt. Dennoch ist auch diese Stelle der Erde, wenn auch spärlich, besiedelt, u.a. leben hier obligat barophile Bakterien, die optimal unter diesem hohem Druck, aber nicht mehr bei Atmosphärendruck wachsen können. Da angenommen wird, dass der Ozean auf Europa zirka 100 km tief ist, wird sich auch dort der hydrostatische Druck auf die Besiedlung auswirken, allerdings steigen wegen der kleineren Masse Europas relativ zur Erde die Drücke pro Meter Wassersäule geringer an. Zwar dürfte die kalte Tiefsee den Verhältnissen auf Europa schon recht nahe kommen, vermutlich noch ähnlicher war eine Phase auf der Erde, die es vor rund 500 bis 700 Millionen Jahren gegeben hat. Es wurden starke Hinweise dafür gefunden, dass damals fast die ganze Erde unter einem dicken Eispanzer begraben lag. Über die Biologie der damaligen "snowball earth" wissen wir allerdings bisher wenig, immerhin aber soviel, dass diese kalte Periode das Leben auf der Erde nicht ausgelöscht hat.

### Gletscher und Lake Vostok

Dicke Eispanzer existieren heute auf der Erde insbesondere über dem Festland. Grönland und auch der Antarktische Kontinent sind mit

dickem Gletschereis aus Süßwasser überzogen. Mit Hilfe von Radarmessungen gelang es jedoch nachzuweisen, dass sich unter dem teilweise mehr als 4.000 m dicken Gletschereis Antarktiskas an einigen Stellen flüssiges Wasser befindet. Inzwischen konnten 77 solcher Seen ausgemacht werden, von denen der Lake Vostok mit ungefähr 10.000 km<sup>2</sup> und einer Tiefe von 400 m der größte ist. Ansonsten wissen wir noch sehr wenig über diese Seen. Weder ihre Entstehungsgeschichte noch ihre Besiedlung sind geklärt. Allerdings sind im Lake Vostok sehr ähnliche Bedingungen wie in der irdischen Tiefsee und im Ozean von Europa zu erwarten: dunkel, kalt, hoher hydrostatischer Druck und wahrscheinlich nährstoffarm, wenn es dort nicht geothermale Aktivitäten gibt. Im Unterschied zur Tiefsee und Europa handelt es sich beim Lake Vostok jedoch um ein reines Süßwassersystem.

Um mehr über den See zu erfahren, wurde 1989 mit einer Eisbohrung begonnen, die 1998 bei rund 200 m über dem See gestoppt wurde, um den See nicht mit Umweltkeimen zu kontaminieren, und damit ein einmaliges Zeugnis, einer über zirka 1 Millionen Jahre separat verlaufenen Evolution zu zerstören. Entlang der gesamten Eistiefe isolierte man bekannte Organismenarten aus der Gruppe der Bakterien, Hefen, Pilze und Algen. Welche dieser Organismen tatsächlich im Eis gelebt bzw. überlebt haben und welche durch den Bohrprozess künstlich eingeführt wurden, ist allerdings schwierig festzustellen. Auch die letzte Probe dicht über dem See, die unmittelbar mit dem Wasser des Sees in Verbindung gebracht wird, enthielt keine neuartigen Lebensformen. Es kann aber auch nicht erwartet werden, dass ein Zeitrahmen von 500.000 bis 1 Million Jahre, die der See separiert gewesen sein soll, für die Entwicklung auffällig anderer Formen im Vergleich zu den heute lebenden ausreicht.

Der letzte Abschnitt der Bohrung ins flüssige Wasser des Sees soll erst in Angriff genommen werden, wenn geeignete sterile Beprobungsverfahren zur Verfügung stehen. Hohe Erwartungen werden an biologische Befunde von Lake Vostok hinsichtlich der Abschätzung von Leben auf Europa geknüpft. Ob die Ergebnisse Entscheidungshilfen bei den weiteren Untersuchungen nach Leben auf Europa geben werden, ist fraglich. Genutzt werden kann zumindest für zukünftige Untersuchungen die Technik, die zur Zeit für die kontaminationsfreie Exploration des Sees entwickelt wird. Allerdings wird diese Technik nicht vor 2020 auf Europa zum Einsatz kommen können, denn erst dann ist eine direkte Beprobung geplant. Die nächste Mission nach Europa, die 2008 starten soll, wird keinen Lander einsetzen, so dass wir noch viel Zeit haben werden, um über Leben auf Europa zu theoretisieren.

*Dr. Elisabeth Helmke ist Leiterin der Arbeitsgruppe "Mikrobiologie kalter extremer Standorte" im Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven.*