

## Das höllisch anmutende Oberpfälzer Mikrobenparadies

An der Universität Regensburg, in der sonst eher kühlen Oberpfalz, gibt es ein heißes Plätzchen, an dem sich mikrobielle Hitzeweltrekordler aus allen Teilen der Erde ein munteres Stelldichein geben: Am Archaeenzentrum wachsen in Druckkesseln, gefüllt mit kochend heißem Wasser und Schwefelgasen, die urtümlichsten Lebewesen, die man kennt, hyperthermophile Archaeen und Bakterien. Diese Urweltmikroben sind nicht nur spannende Objekte in der Grundlagenforschung, auch bei der Entwicklung neuartiger High-Tech-Produkte sowie bei der Lösung von Umweltproblemen können sie uns behilflich sein.

Dort, wo noch in jüngster Vergangenheit keinerlei Leben vermutet wurde, blühen manche Prokaryonten – diese zellkernlosen Kleinstlebewesen – erst richtig auf: in kochenden Vulkanschlämmen des Festlandes, Vulkanen und Hochdruck-Heißwasserkaminen der Tiefsee, den sogenannten „Schwarzen Rauchern“. Mikrobenhaltige Gesteins- und Schlammproben, die wir von unseren Expeditionen zu derartigen Extremgebieten nach Regensburg bringen, dienen uns als Ausgangsmaterial für Kultivierungsversuche. So konnten wir kürzlich mit dem amerikanischen Spezial-U-Boot „Alvin“, das durch seinen Besuch bei der versunkenen „Titanic“ berühmt wurde, in der Mitte des Atlantischen Ozeans 4000 Meter tief unter der Meeresoberfläche Proben nehmen, wo die afrikanischen und amerikanischen Kontinentplatten auseinanderdriften, heißes Magma emporquillt, und eine neue Kruste entsteht. Zehn Stunden dauerte diese Tauchfahrt in die lichtlose Tiefe, bei der wir im Scheinwerferlicht hundert Meter hohe Heißwasserfontänen erblickten, die, vollgepumpt mit Schwefelwasserstoff und gelö-

sten Metallen, aus Erzkaminen des Meeresbodens in die eiskalte Tiefsee ausgespien wurden.

Unsere in Regensburg kultivierten Mitbringsel vermehren sich am schnellsten, wenn man sie auf 80 bis 100°C erhitzt. Dies sind Temperaturen, bei denen normale Bakterien (z.B. Krankheitserreger) innerhalb weniger Sekunden abgetötet werden und die man deshalb in der Pasteurisierung zur Haltbarmachung von Produkten durch Erhitzen angewendet. Einige unserer hyperthermophilen Archaeen sind derartig an hohe Temperaturen angepaßt, daß sie sogar bei 80°C noch gar nicht wachsen, da es ihnen „zu kalt“ ist. Offensichtlich befinden sich hierbei lebensnotwendige Strukturen wie Zellmembranen und Proteine noch in einer falschen Konformation, in einer Art „Kältestarre“. Hyperthermophile der Gattungen *Methanopyrus* („Methanfeuer“), *Pyrodictium* („Feuernetz“) und *Pyrolobus* („Feuerlappen“) sind die uns derzeit bekanntesten Temperaturspitzenreiter mit Wachstumstemperaturen bis zu 113°C. Wenn wir diese „Feuerzwerge“ kultivieren wollen, müssen wir Bedingungen anwenden, wie sie im Schnellkochtopf herrschen: „Durch einen Überdruck von 2 Bar wird der Siedepunkt des Wassers erhöht, damit das Verdampfen verhindert wird. Wie wir kürzlich zeigen konnten, überleben Kulturen von *Pyrodictium* und *Pyrolobus* sogar einstündiges Autoklavieren bei 121°C, eine Methode, bei der bisher selbst hitzeresistente Sporen von Bakterien sicher abgetötet wurden. In ihrer vulkanischen Heimat bilden Hyperthermophile Hochtemperatur-Ökosysteme, in denen sowohl – ähnlich den grünen Pflanzen – ihre Zellbausteine aus Kohlendioxid aufgebaut, als auch organische Substanz aus abgestorbenen Zellen wieder abgebaut wird. Als Ener-

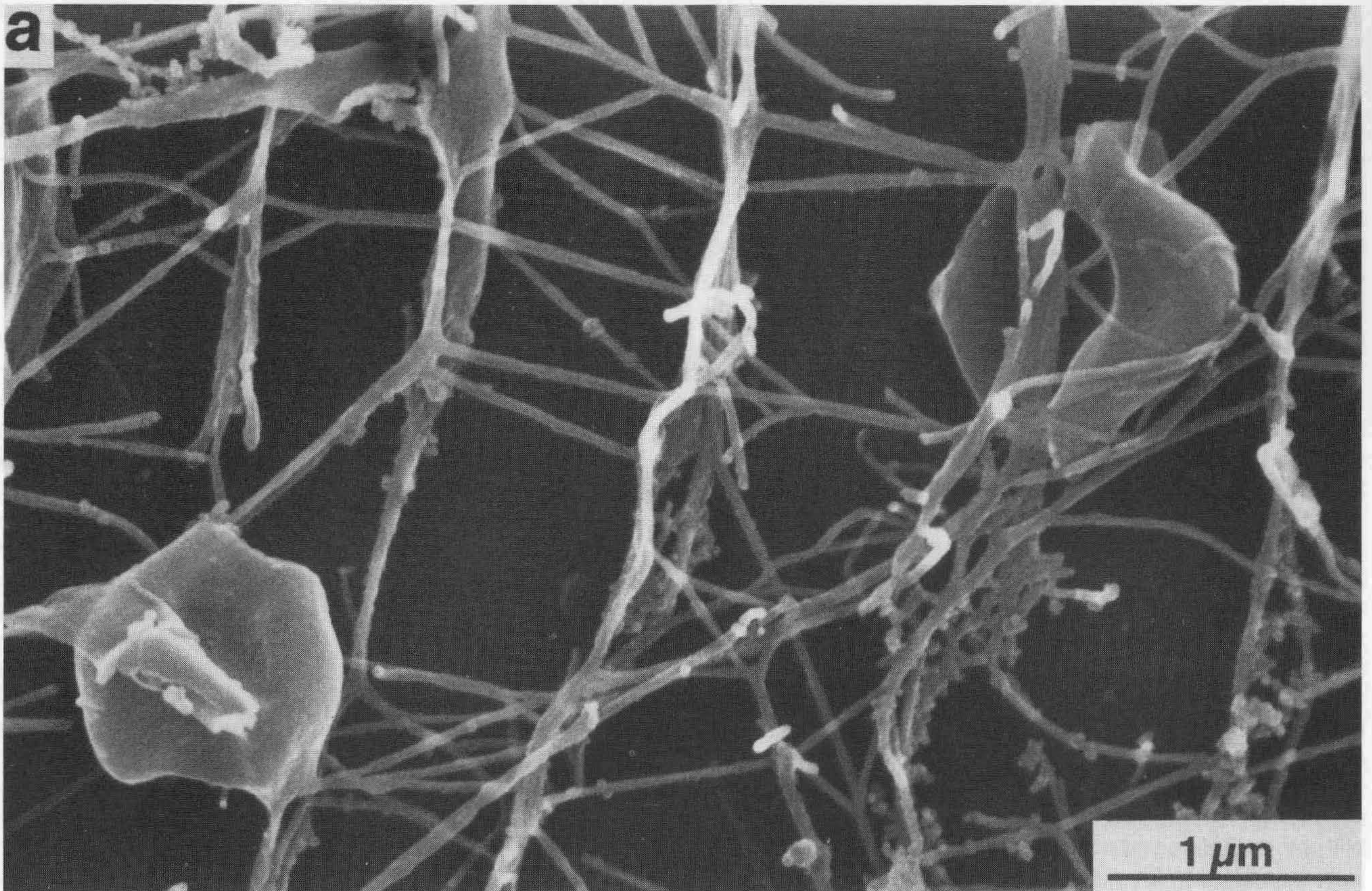
giequellen dienen hauptsächlich Wasserstoff, Schwefelwasserstoff und Schwefel aus den Vulkandämpfen. Aufgrund der Reduktionskraft der Gase sowie der hohen Temperaturen enthalten vulkanische Wässer und Böden meist keinen Sauerstoff, so daß eine Sauerstoffatmung nicht möglich ist. Hyperthermophile atmen – recht ungewöhnlich – ohne Sauerstoff, wobei ihre „Atemluft“ aus Kohlendioxid, Sulfat, Schwefel und Nitrat besteht, und Methan, Schwefelwasserstoff und Ammoniak ausgeatmet wird. Da sie völlig unabhängig von Sonnenlicht und Sauerstoff leben, könnten derartige Mikroben sogar auf jedem anderen Planeten vorkommen, sofern es dort Vulkanismus und Wasser gibt. Wahrscheinlich waren die ursprünglichsten Organismen auf unserer Erde in einem heißen Szenario entstanden, so daß die heutigen Hyperthermophilen deren direkte Nachfahren wären. Vor vier Milliarden Jahren, als gewaltige Vulkane ausbrachen und heiße Ozeane die Lebensbedingungen auf der noch jungen Urerde diktierten, fanden wohl die Urahnen von Feuernetz und Methanfeuer paradiesische Zustände vor. Genanalysen an unseren heutigen Hyperthermophilen zeigen, daß diese Organismen in den tiefsten und kürzesten Ästen im Stammbaum des Lebens angesiedelt sind und derzeit wohl die primitivsten noch existierenden Lebewesen auf der Erde darstellen.

Außer der Kultivierung und dem Verständnis der Lebensweise Hyperthermophiler in ihren Hochtemperatur-Ökosystemen ist die Erforschung der Prinzipien der Hitzestabilität ihrer Zellkomponenten eine große und aufregende Herausforderung für die mikrobiologische Forschung. So sind beispielsweise Proteine wie Stoffwechsellenzyme von Hyperthermophilen selbst die Temperaturen von 110 bis 130° C noch aktiv, obwohl sie aus ganz normalen Aminosäuren aufgebaut sind. Möglicherweise ist es ein verstärktes Auftreten von Ladungen an der Peripherie dieser Makromoleküle, die diese wie eine Klammer bei den hohen Temperaturen zusammenhalten, was derzeit ein Forschungsthema von Professor Jaenicke vom Lehrstuhl für Biochemie an der Universität Regensburg

ist. Membranen von hyperthermophilen Bakterien und Archaeen enthalten hauptsächlich Lipide (Fette) aus Glycerin und langkettigen Alkoholen, die über Ätherbindungen miteinander verknüpft und damit viel hydrolysestabiler als die üblichen Esterfette sind. Auch das genetische Material, die DNA-Doppelhelix, muß bei hohen Temperaturen geschützt werden, da sie sonst in Einzelstränge zerfällt und nicht mehr funktionsfähig ist. Hierbei scheinen bei Archaeen Histone beteiligt zu sein, funktionelle Proteine, die auch in den Zellkernen höherer Lebewesen (Eukaryonten) vorkommen.

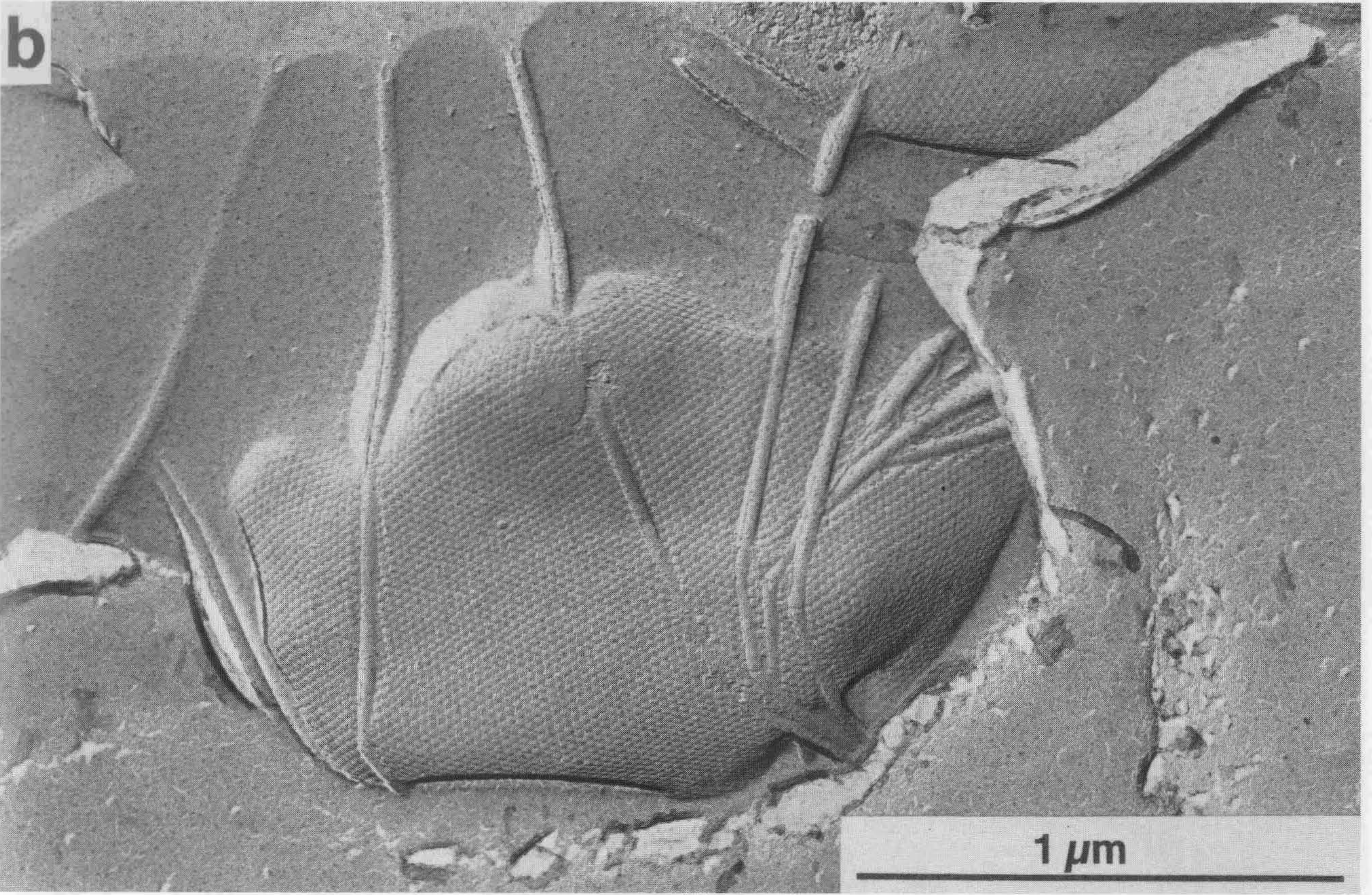
Aufgrund ihrer ungewöhnlichen Eigenschaften lassen die neuen Organismen bereits jetzt erste Anwendungsmöglichkeiten erkennen. Sie besitzen Abbauenzyme wie Proteasen, Amylasen und Lipasen, die beispielsweise selbst in Kochwäsche und Geschirrspülern Fett-Blut- und Rotweinflecken auflösen könnten. Die Palette möglicher Anwendung ist weitgespannt. Selbst giftige Schwermetallkatalysatoren, wie sie von der Chemischen Industrie verwendet werden, könnten in Zukunft durch maßgeschneiderte hochstabile Enzyme von Hyperthermophilen ersetzt werden. Biomoleküle wie Schwefel- und Ölemulgatoren, Anheftungsproteine sowie hitzeresistente Fette könnten zu neuartigen Hochtemperatur-Klebstoffen und Schmierstoffen führen. Manche Sekundärmetabolite versprechen interessante Impulse für die Pharmaforschung. Weiterhin ist es möglich, hyperthermophile Mikroben direkt in technischen Prozessen einzusetzen. So führen wie beispielsweise derzeit bereits gemeinsam mit der Industrie Versuche zur Entschwefelung von Rauchgas von Kohlekraftwerken sowie zur Entschwefelung von Erdöl durch.

Sicherlich handelt es sich bei den von uns und anderen Forschern kultivierten Mitbringseln nur um die Spitze eines „heißen Eisberges“, der noch weitgehend unerforscht ist. Wir werden auch in Zukunft alles versuchen, um unseren weltweit einmaligen Regensburger Hochtemperatur-„Mikrozoo“ weiter auszubauen und anzuwenden.



Hyperthermophiles Tiefsee-Archaeum *Pyrodictium abyssi* („Feuernetz der Tiefsee“)

a) Netzwerk aus ultradünnen Schläuchen, die die scheibchenförmigen Zellen verbinden. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme. Größenmaßstab 1  $\mu\text{m}$ , d.h. 1/1000 mm.



b) Zelle mit Oberflächenstruktur von Proteinen und (abgebrochenen) Schläuchen. Gefrierätzung. Elektronenmikroskopische Aufnahme. Größenmaßstab 1  $\mu\text{m}$ .