



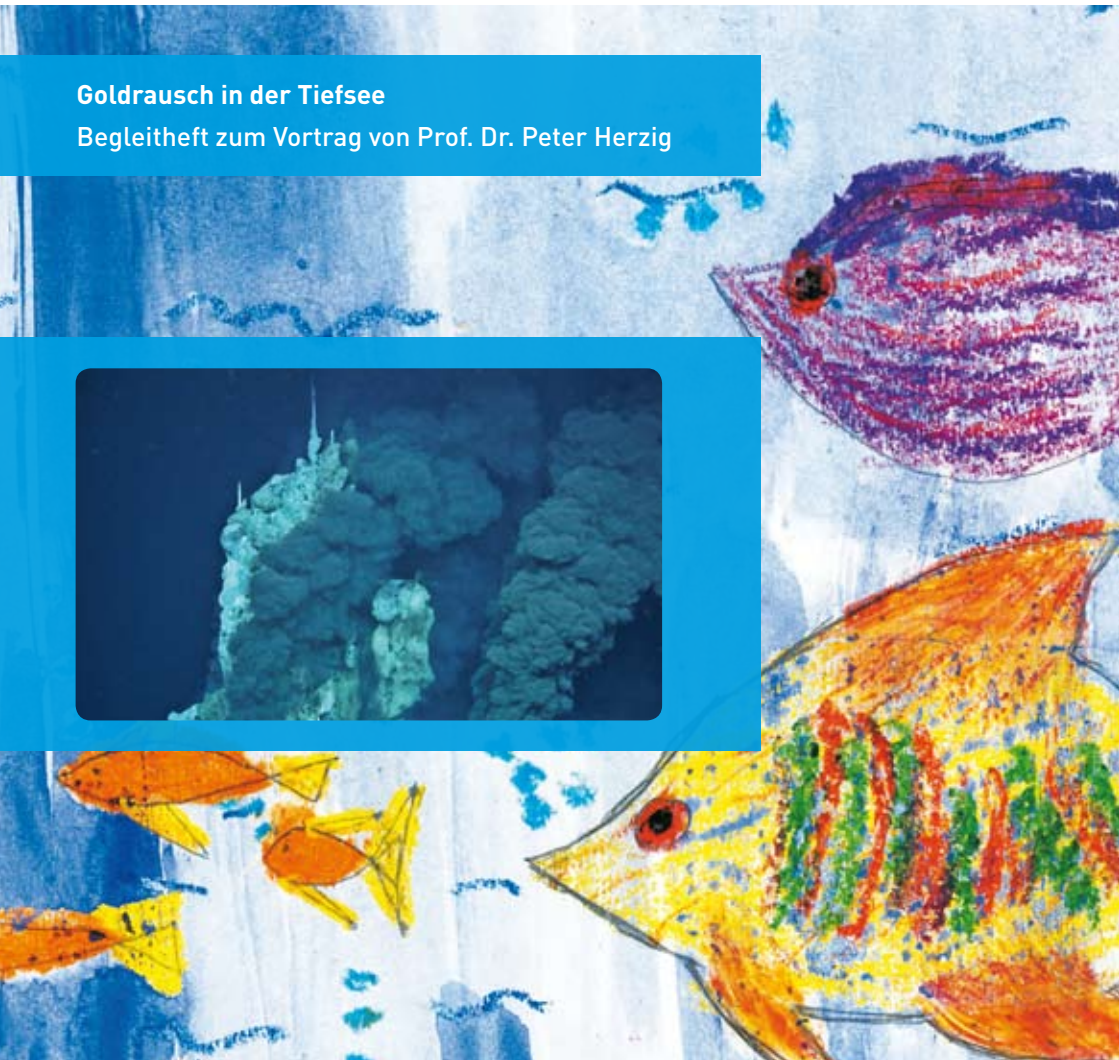
ozean der zukunft
DIE KIELER MEERESWISSENSCHAFTEN

KINDER-UND SCHÜLERUNI OZEAN DER ZUKUNFT 2009

| Für Schülerinnen und Schüler von 12 bis 16 Jahren

Golddrausch in der Tiefsee

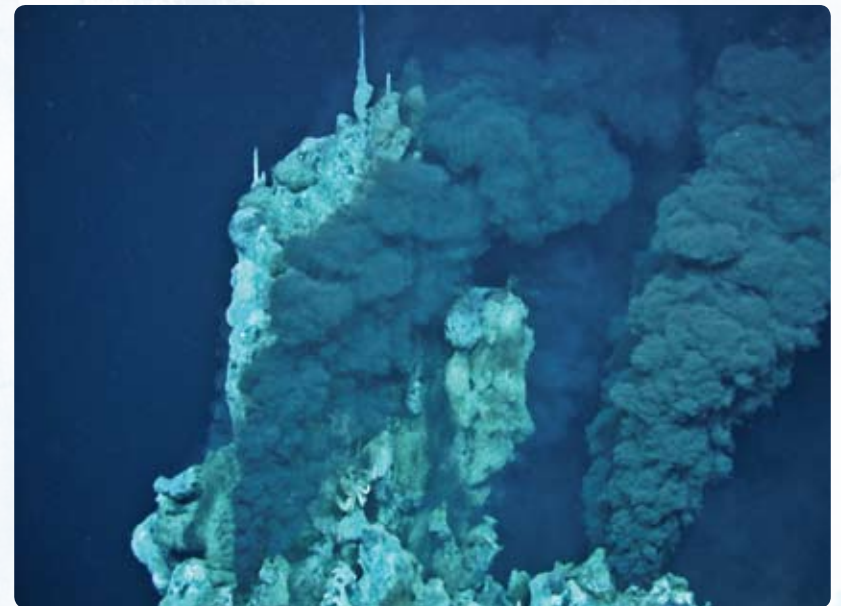
Begleitheft zum Vortrag von Prof. Dr. Peter Herzig





DIENSTAG, 21. April 2009

GOLDRAUSCH IN DER TIEFSEE
Prof. Dr. Peter Herzig
Leibniz-Institut für Meereswissenschaften
(IFM-GEOMAR)



Als Forscher 1979 die ersten heißen Tiefseequellen im Pazifik entdeckten, war dies eine Sensation. Heute wissen wir mehr über die „Schwarzen Raucher“. Sie werden bis zu 400 Grad heiß und fördern wertvolle Elemente wie Gold, Kupfer und Zink aus dem Erdinneren. Professor Peter Herzig gibt Einblicke in die faszinierenden Oasen der Tiefsee.

GOLDRAUSCH IN DER TIEFSEE

„ ... in den Tiefen der Ozeane gibt es Vorkommen von Zink, Eisen, Silber und Gold, die man vielleicht eines Tages gewinnen kann.“

>> So sprach Kapitän Nemo 1870 in Jules Vernes Science Fiction Roman, Zwanzigtausend Meilen unter dem Meer. Und Jules Verne hatte Recht.

ERZFABRIKEN IN DER TIEFSEE - HEISSE QUELLEN AM MEERESBODEN

Jules Vernes Zukunftsvisionen sind heute, mehr als 100 Jahre später, wissenschaftliche und technische Realität. Im Frühjahr des Jahres 1979 entdeckte die Besatzung des amerikanischen Forschungstauchbootes ALVIN am Grunde des Pazifischen Ozeans in einer Wassertiefe von 2.600 Metern etwas selbst für Meeresgeologen Atemberaubendes.

An dieser Stelle bei 21 Grad nördlicher Breite am Ostpazifischen Rücken, einem untermeerischen Gebirge, tritt 350 Grad Celsius heißes Meerwasser in Form von schwarzen Rauchwolken unter hohem Druck am Meeresboden aus. Im Scheinwerferlicht der ALVIN ließ sich erkennen, dass die Rauchwolken aus bis zu 15 Meter hohen, kaminähnlichen Schloten hervorquollen, die einem mehrere Meter hohen Hügel aufsitzen (Abb.1).



Abb.1a: Weiße Raucher in 1.700 Meter Wassertiefe im Südwestpazifik. Im Gegensatz zu den »Black Smokern« besteht der Rauch hier überwiegend aus hellen Mineralpartikeln wie Baryt (Schwerspat) und Kieselsäure (SiO_2).

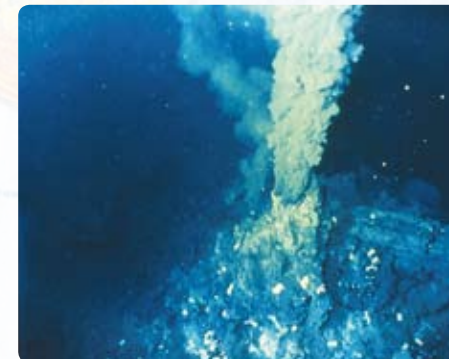


Abb.1b: Austrittsstelle einer heißen Quelle in 1.700 Metern Wassertiefe auf dem Grund des Pazifischen Ozeans. Die schwarze Farbe der 340 Grad Celsius heißen Fontäne ist auf fein verteilte Mineralbildungen zurückzuführen. Dieser »Black Smoker« wurde im Frühjahr 1989 von uns mit dem französischen Tieftauchboot NAUTILE entdeckt.

Detaillierte Untersuchungen dieses ungewöhnlichen Vorkommens zeigten, dass es sich bei dem schwarzen Rauch um fein verteilte Sulfidpartikel (Metall-Schwefelverbindungen) handelt. Auch die Schlote und Hügel bestehen überwiegend aus Kupfer-, Zink- und Eisensulfiden, die mineralogisch als Kupferkies, Zinkblede und Pyrit bezeichnet werden (Abb.2). Es wurde den Wissenschaftlern sehr schnell bewusst, dass sie Augenzeugen der Entstehung einer Metallerzlagerstätte waren.

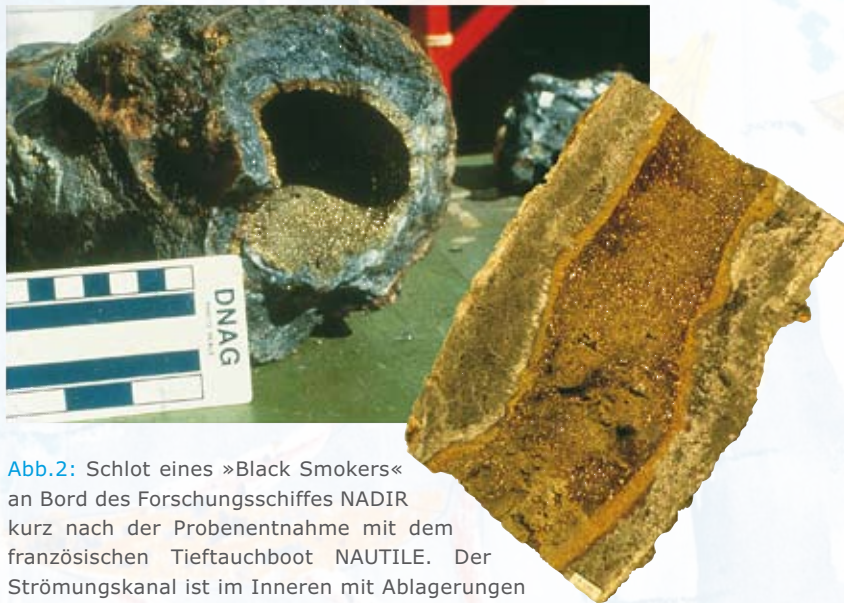


Abb.2: Schlot eines »Black Smokers« an Bord des Forschungsschiffes NADIR kurz nach der Probenentnahme mit dem französischen Tieftauchboot NAUTILE. Der Strömungskanal ist im Inneren mit Ablagerungen des Kupfer-Sulfides Kupferkies ausgekleidet, das bei Temperaturen von mehr als 300 Grad Celsius aus der Lösung auskristallisiert ist. **Im Vordergrund:** Querschnitt durch einen »Black Smoker« Schlot. Der zentrale Flüssigkeitskanal besteht aus Kupferkies, im Außenbereich finden sich die Minerale Zinkblede, Pyrit und Baryt. Während der Probenahme wurde der »Sulfidkamin« von 334 Grad Celsius heißen Lösungen durchströmt.



Abb.3: Schema der Bildung und Wiederaufschmelzung von ozeanischer Kruste. Die im Zentrum von langgestreckten submarinen Gebirgszügen durch das Aufdringen und Erstarren magmatischer Schmelzen neu entstehende ozeanische Kruste wird mit Geschwindigkeiten von bis zu 10 cm/Jahr vom Ort der Entstehung wegtransportiert. In so genannten Subduktionszonen wird die dann schon einige Millionen Jahre alte, kalte und damit schwere Kruste unter den Rand der Kontinente geschoben und hier aufgeschmolzen. Dieser Prozess ist zum Beispiel die Ursache für den Vulkanismus in den Anden.

Die Entdeckung der ALVIN war nicht nur besonders spektakulär und von großer Bedeutung, sondern sie hat auch mitgeholfen, unser Bild von der Erde nachhaltig zu verändern. Die von dem deutschen Geophysiker und Meteorologen Alfred Wegener bereits Ende der 1920er Jahre entwickelte Theorie von der Kontinentalverschiebung feierte hier – am Grunde des Pazifischen Ozeans – einen späten Triumph. Denn das Auftreten von heißen Quellen und schwefelreicher mineralreicher Flüssigkeit am Ostpazifischen Rücken beweist indirekt, dass solche untermeerischen Gebirge Nahtstellen sind, an denen neue Erdkruste gebildet wird (Abb.3).

WIE ENTSTEHT NEUER OZEANBODEN?

Aus Magmakammern, die sich nur zwei bis drei Kilometer unter dem Meeresboden befinden, steigt schmelzflüssige Lava mit Temperaturen von bis zu 1.200 Grad Celsius durch Risse in der Erdkruste zum Meeresboden auf und erstarrt dort. An den Stellen, an denen der Meeresboden auseinanderdrückt, wird so ständig neue Ozeankruste gebildet. Dieser Prozess, der im Englischen sehr plastisch »seafloor spreading« genannt wird, findet an den Mittelozeanischen Rücken mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten statt. Im Pazifischen Ozean sind Raten von fast 20 Zentimetern neuer Erdkruste pro Jahr gemessen worden, während es im Atlantik nur etwa fünf Zentimetern pro Jahr sind. Diese submarine Gebirge durchziehen mit einer Gesamtlänge von fast 60.000 Kilometern alle Weltmeere.

Die an den Mittelozeanischen Rücken neu produzierte Ozeankruste muss an anderer Stelle auch wieder konsumiert werden, da sich die Erde sonst ausdehnen würde. Diese »Krustenvernichtung« findet in den so genannten Subduktionszonen statt, das heißt, sie wird in Tiefseegräben »verschluckt« (Abb.3). Bekanntestes Beispiel ist der südamerikanische Kontinentalrand. Die ozeanische Kruste wird unter den Kontinentalrand gedrückt und in Tiefen von circa 150 Kilometern aufgeschmolzen. Dabei kommt es am Kontinentalrand oft zu Gebirgsbildungen verbunden mit vulkanischen Aktivitäten. Durch das Zusammenspiel von Meeresboden-Spreizung (»seafloor spreading«) und Subduktion kommt es über lange Zeiträume hinweg letztendlich zur Verschiebung von Kontinenten.

WAS SIND SCHWARZE RAUCHER UND WIE ENTSTEHEN SIE?

Offensichtlich entstehen bei der Bildung ozeanischer Erdkruste auch Erzvorkommen. Außer den 1979 im Pazifischen Ozean entdeckten Schwarzen Rauchern, die auch oft mit »Black Smoker«, bezeichnet werden, kennen wir heute durch den Einsatz moderner Tiefseeroboter (Abb.4) in den Weltozeanen mehr als 300 solcher Hydrothermalvorkommen, die auf die Aktivität von heißem Meerwasser zurückgehen. Die Mehrzahl dieser Vorkommen ist inaktiv, es gibt aber auch etwa 100 Vorkommen, an denen gegenwärtig heiße Quellen Metallsulfide bilden (Abb.5).

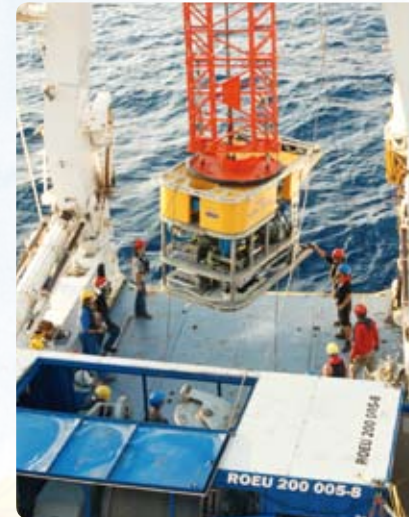


Abb.4: Aussetzen des ROV Kiel 6000 von Bord des französischen Forschungsschiffes L'Atalante. ROV ist eine Abkürzung des englischen Namens: Remotely Operated Vehicle. Das bedeutet: „Ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug“. Dieses Gerät ist über ein Kabel mit dem Schiff verbunden.

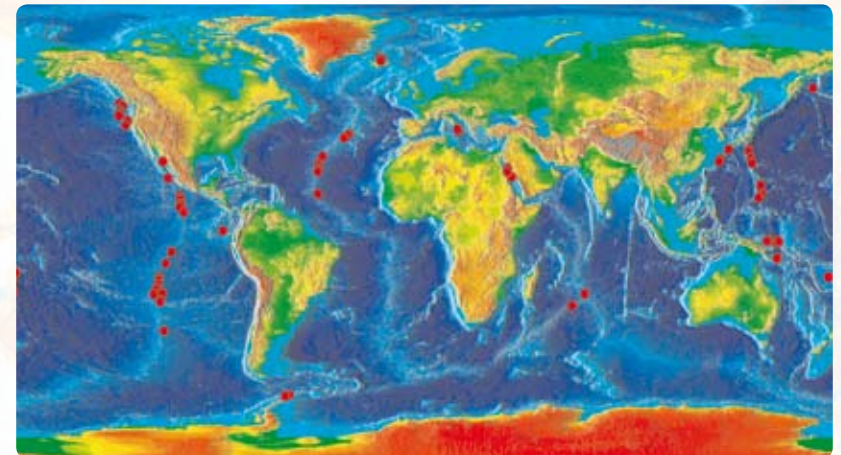


Abb.5: Karte der weltweit wichtigsten bisher bekannten Sulfidvorkommen am Meeresboden.

Wie entstehen diese? Meerwasser dringt im Bereich der Mittelozeanischen Rücken zwei bis drei Kilometer tief in den Ozeanboden ein, wird in der Nähe der Magmenkammern auf Temperaturen von circa 500 Grad Celsius aufgeheizt und steigt dann auf Grund der geringeren Dichte durch Risse und Klüfte wieder auf. Das Meerwasser wird bei seinem Weg durch die ozeanische Kruste aber nicht nur aufgeheizt. Geochemische Prozesse, die auf Wechselwirkungen der umgebenden Basaltgesteine mit dem Meerwasser zurückgehen, sorgen für eine drastische Abnahme des so genannten pH-Wertes von circa acht (Meerwasser) auf Werte hinunter bis zu pH zwei. Die Flüssigkeit ist nun eine starke Säure. Gleichzeitig wird der reichlich vorhandene Sauerstoff aus dem Meerwasser entfernt. Diese heiße und chemisch aggressive Flüssigkeit wird nun mit Recht nicht mehr als Meerwasser bezeichnet, sondern mit dem Begriff »hydrothermale Lösung« belegt. Beim Aufstieg zum Meeresboden greift diese saure Lösung nun die Minerale der umgebenden Gesteine an und laugt Kupfer, Zink, Eisen, Mangan, Schwefel und andere Elemente heraus. Beim Kontakt der bis zu 400 Grad Celsius heißen Erzlösungen mit dem zwei Grad Celsius kalten Meerwasser kommt es zur Ausfällung von Sulfiden, die lokal mächtige, von rauchenden Schloten gekrönte Hügelstrukturen aufbauen.

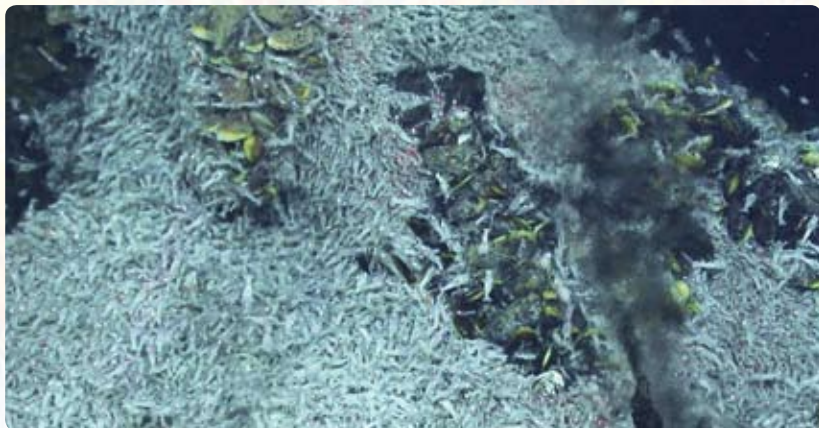


Abb.6: Schwarzer Raucher am Mittelatlantischen Rücken bedeckt mit Tiefseekrabben und Muscheln.

TIEFSEESCHLOTE AM LEBENSRAUM FÜR VIELE ORGANISMEN

Die spektakulären »Black Smoker« mit Förderraten von mehreren Zehner Kilogramm pro Sekunde sind quasi die rauchenden Schornsteine der Erzfabriken am Meeresboden. Obwohl aus den Schloten auch viele giftige Substanzen ausströmen, ist die Umgebung der heißen Quellen am Meeresboden Ort regen Lebens. Die dichte Besiedelung mit Garnelen, Schnecken, Krebsen und Röhrenwürmern ist aber nur durch die Gegenwart von speziellen Bakterien möglich (Abb.6).

Diese können aus dem austretenden Schwefel Energie gewinnen und stellen so das erste Glied einer Nahrungskette dar, die bis zu höheren Lebewesen reicht. Die Bakterien bilden die Grundlage für Lebensgemeinschaften, die bei völliger Dunkelheit, unter hohem Druck und bei hoher Temperatur in einem giftigen Milieu existieren. Die offensichtlich sehr widerstandsfähigen Bakterienkulturen sind heute auch für die Pharm- und gentechnische Industrie von Interesse, da sie Wirkstoffe enthalten, die bei der Bekämpfung schwerer Krankheiten helfen könnten.

WIE GROSS SIND DIE ERZVORKOMMEN, DIE DIE SCHWARZEN RAUCHER AM MEERESGRUND AUFBAUEN?

Die Größe der meisten uns bis heute bekannten Vorkommen schwankt zwischen einigen Tausend und etwa fünf Millionen Tonnen, wobei diese Menge das Berliner Olympiastadion bis an den Rand füllen würde. Ein gut untersuchtes Vorkommen in 3.650 Metern Wassertiefe im Atlantischen Ozean hat bei einer Tonnage von vier Millionen Tonnen einen Durchmesser von etwa 200 Metern, eine Höhe von etwa 50 Metern und ist bis in eine Tiefe von mehr als 100 Metern nachgewiesen worden. Dies sind aber im Vergleich mit vielen Landlagerstätten eher bescheidene Dimensionen.

Es gibt allerdings kontinentnahe Bereiche der Mittelozeanischen Rücken, an denen die Austrittsstellen der heißen Lösungen unter einigen Hundert Metern Sediment begraben sind. Hier geben die heißen Quellwässer den überwiegenden Teil ihrer Erzfracht bereits beim Durchströmen der mit kaltem Meerwasser durchtränkten Sedimente ab. Obwohl man am Meeresboden nicht mehr viel davon sieht, ist diese Art der Erzproduktion effektiv. Tiefbohrungen in kanadischen Gewässern, etwa 200 Kilometer westlich von Vancouver Island schätzen die Erzmenge des dortigen

Massivsulfidvorkommens auf etwa 70 Millionen Tonnen. Ein derart großes Vorkommen findet sich auch im Roten Meer. Das Metallerzvorkommen »Atlantis II« im Roten Meer birgt etwa 95 Millionen Tonnen Erz. Hierin sind allein zwei Millionen Tonnen Zink, 500.000 Tonnen Kupfer und »nebenbei« etwa 4.000 Tonnen Silber und 50 Tonnen Gold enthalten.

GOLDRAUSCH IN DER TIEFSEE?

Gold fasziniert natürlich nicht nur die marinen Lagerstättenforscher. Erste Analysen mariner Erze auf Gold waren aber eher ernüchternd. Durchschnittsgehalte von etwa einem bis maximal sieben Gramm pro Tonne gaben keinen Anlass zu übertriebenen Erwartungen. Im Südwestpazifik hat man vor einigen Jahren an einem kleinen, submarinen Gebirgszug in 2.000 Metern Tiefe allerdings erstmals Goldgehalte nachgewiesen, die lokal fast 30 Gramm pro Tonne betragen. Unter dem Mikroskop kann man das Gold erkennen (Abb.7).

WERDEN WIR IRGENDWANN SOLCHE LAGERSTÄTTEN NUTZEN?

Dies hängt zum einen von wirtschaftlichen Überlegungen ab, denn der Aufwand, den man betreiben muss, ist hoch. Zum anderen darf dabei das komplizierte und empfindliche marine Ökosystem unter keinen Umständen geschädigt werden. Daher müssen vor marinen Bergbauaktivitäten Methoden zur umweltverträglichen Gewinnung der marinen Rohstoffe erforscht und entwickelt werden. Darüber hinaus ist in vielen Bereichen noch nicht geklärt, wem die Vorkommen überhaupt gehören. Bisher ist, mit Ausnahme des »Atlantis II« Tiefs im Roten Meer, nicht nachgewiesen worden, dass marine Rohstoffvorkommen tatsächlich gewinnbringend abgebaut werden können. Ein zweites interessantes Gebiet liegt im Südwestpazifik. Dort hat die Regierung von Papua-Neuguinea Ende 1997 die ersten Lizenzen zum Abbau von marinen Erzen an eine australische Bergbaugesellschaft vergeben, weitere sind beantragt. Zielgebiete sind besonders goldreiche Erzvorkommen an untermeerischen Vulkankratern, die in Wassertiefen von 1.000 bis 2.000 Metern auftreten und sich in den Hoheitsgewässern der Staaten des westlichen Pazifiks befinden.

GOLDREICHE ERZVORKOMMEN UNTER WASSER

Ein solches Goldvorkommen haben Wissenschaftler mit dem deutschen Forschungsschiff SONNE bereits 1994 in der Umgebung der Insel Lihir, Papua-Neuguinea entdeckt. Auf dieser Insel befindet sich eine der größten landgebundenen Goldlagerstätten der Welt mit 1.300 Tonnen Goldmetallinhalt. 1998 wurde südlich von Lihir in 1.000 Metern Wassertiefe vom Forschungsschiff SONNE aus mit Fernsehgreifern die Goldvererzung »Conical Seamount« beprobt. Die Goldkonzentrationen erreichen in Oberflächenproben vom Gipfelplateau eines erloschenen Vulkans gigantische 230 Gramm pro Tonne. Im Herbst 2002 konnten dann mit einem britischen Meeresbodenbohrgerät erste Bohrungen in bis zu fünf Metern Tiefe durchgeführt werden. Diese haben gezeigt, dass die Goldvererzung mindestens fünf Meter in die Tiefe reicht. Für den Nachweis, dass es sich um eine wirtschaftlich gewinnbare Goldlagerstätte handelt, werden tiefere Bohrungen benötigt. Da es hier bereits Aufbereitungsanlagen an Land gibt, sind auch günstigen Rahmenbedingungen für die weitere Verarbeitung des Golderzes sehr günstig. Das Vorkommen »Conical Seamount« besitzt das Potenzial, zu einem der ersten tatsächlich für einen kommerziellen Abbau vorgesehenen, marinen Goldvorkommen zu werden. Erst vor wenigen Jahrzehnten hat die Ölindustrie sehr erfolgreich den Schritt vom Land ins Meer vollzogen. Die »Jules Vernes« der Bergbauindustrie bereiten sich momentan entschlossen darauf vor, diesem Beispiel zu folgen.

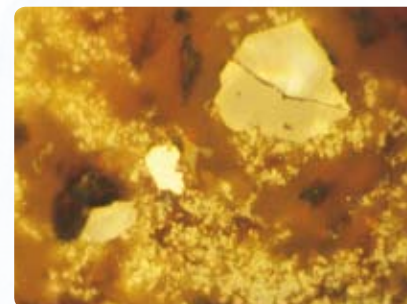


Abb.7: Mikroskopische Aufnahme eines Goldkorns (Größe 18 Mikrometer) in einem goldreichen Sulfid-erz aus dem Südwestpazifik (Lau Becken, Wassertiefe 1.700 Meter).

DER KIELER EXZELLENZCLUSTER OZEAN DER ZUKUNFT

Der Kieler Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ ist ein in Deutschland einmaliger Forschungsverbund von mehr als 140 Wissenschaftlern aus sechs Fakultäten der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, des Leibniz-Instituts für Meereswissenschaften (IFM-GEOMAR), des Instituts für Weltwirtschaft (IfW) und der Muthesius Kunsthochschule.

Ziel des interdisziplinären Verbundes aus Meeres-, Geo- und Wirtschaftswissenschaftlern sowie Mediziner, Mathematikern, Juristen und Gesellschaftswissenschaftlern ist es, den Ozean- und Klimawandel gemeinsam zu erforschen, die Risiken und Chancen neu zu bewerten und ein weltweit nachhaltiges Management der Ozeane und mariner Ressourcen zu ermöglichen. Der Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ wird im Rahmen der Exzellenzinitiative von der deutschen Forschungsgemeinschaft im Auftrag von Bund und Ländern gefördert.

Weitere Informationen unter: www.ozean-der-zukunft.de



Wir danken der Förde Sparkasse und ihrer Stiftung
„200 Jahre Sparkasse Kiel“ für die freundliche Unterstützung:



Stiftung 200 Jahre
Sparkasse Kiel



Förde
Sparkasse



Kieler Nachrichten

