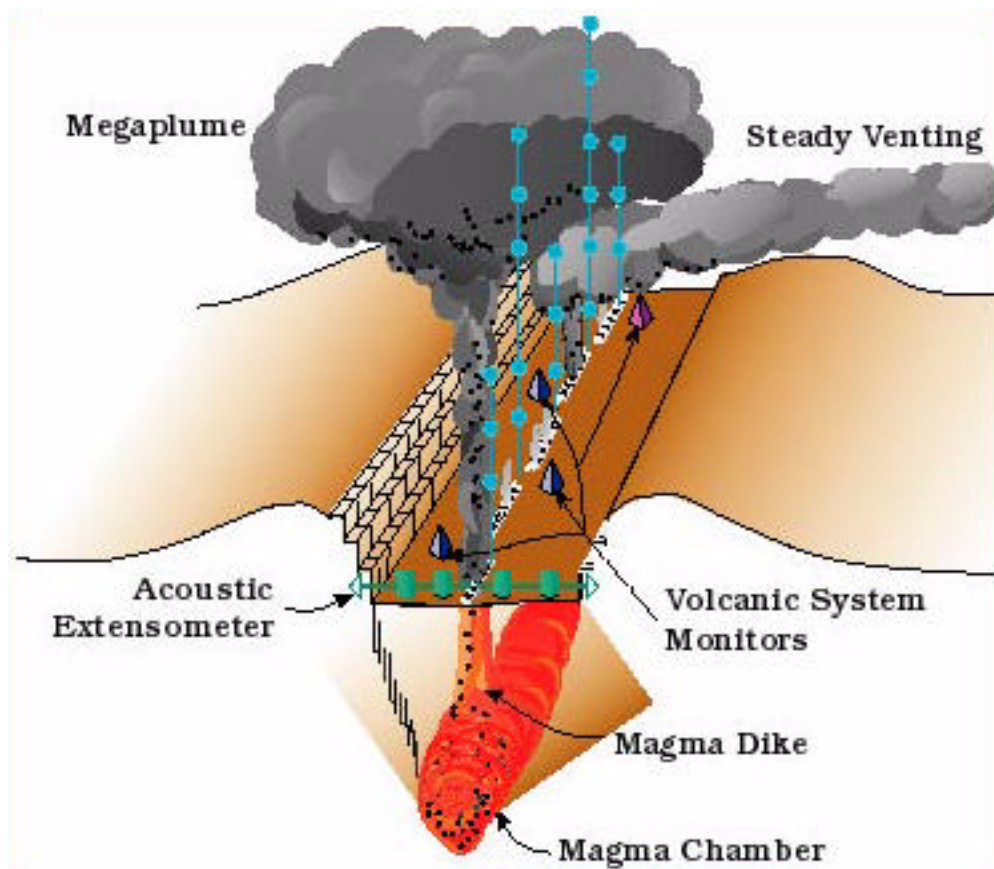


Oberseminarvortrag

Thema: Black Smoker, Biodiversität & Anpassung



Bearbeiter: Cornelia Rudolph
Betreuer : Dr. O. Elicki

Zusammenfassung

Die Tiefsee bildet einen der größten Lebensräume unserer Erde. Doch erst durch die moderne Technik ist es möglich geworden sie näher zu erforschen. Bei einer solchen Forschungsreise wurden 1979, durch amerikanische und französische Forscher, die Black Smoker entdeckt und mit ihnen, eine bis dahin unbekannte einzigartige Lebewelt. Hier leben Bakterien und höher entwickelte Organismen wie z.B. Röhrenwürmer, Venusmuscheln, blinde Krabben und Bathymodiolide Miesmuscheln unter extremen Lebensbedingungen. An diesen Black Smokern herrschen sehr hohen Temperaturen, ein extrem chemisches Milieu und gewaltige Drücke die bei einer Wassertiefe von 600m bereits 60 bar betragen. Bis jetzt wurden in diesen Biotopen über 350 Arten entdeckt. Davon waren 95% bei ihrer Entdeckung noch unbekannt. Da ähnliche Formen in fossilen Faunengemeinschaften von Massiv-Sulvid-Lagerstätten gefunden worden sind, welche unter solchen Bedingungen abgelagert wurden, wird vermutet das sich unser Leben an hydrothermalen Quellen entwickelt haben könnte. Aufgrund dieser Erkenntnisse gehen viele Wissenschaftler davon aus, daß sich auch auf anderen Planeten mit aktivem Vulkanismus und Wasser primitives Leben bilden kann.

1. Einleitung

Die Tiefsee gehört zu den noch unerforschtesten Gebieten unserer Erde. Wir wissen teilweise mehr über das Sonnensystem als über die großen Wassermassen auf unserer Erde. In unseren Ozeanen leben die meisten Lebewesen in einer Tiefe bis zu 200 m. In diese Tiefen kommt noch genug Sonnenlicht, um überleben zu können. Da diese Organismen von der Photosynthese abhängen. Stößt man weiter in die Tiefe vor, nimmt die Zahl der dort lebenden Individuen sehr stark ab, da sich der Druck sehr stark erhöht und das Sonnenlicht nicht mehr hinunterdringen kann. In einer Tiefe von 1000 m beginnt die Tiefseezone, die über 90% der Gesamtfläche der Ozeane entspricht, das ist über die Hälfte der gesamten Erdoberfläche. In diesen Tiefen kann an einigen Stellen Leben existieren (Begon, Harper, Townsend; 1998). 1979 entdeckten amerikanische und französische Forscher in der Nähe der Galapagos Inseln, in 2600m Tiefe kochend heiße Unterwasserquellen. Außerdem fanden sie eine Vielzahl von Organismen, die sich an die extremen Lebensbedingungen angepaßt haben. Sie sind teilweise nur mit dem Mikroskop erkennbar, jedoch gibt es auch Lebewesen, die Metergröße erreichen können. [1]

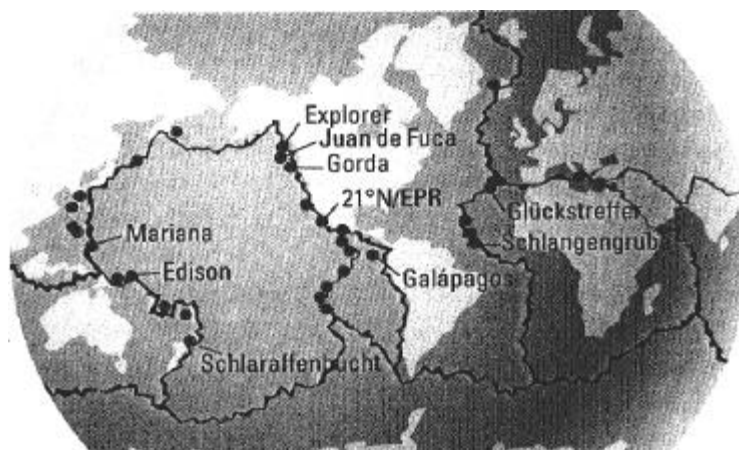


Abb. 1: hydrothermale Quellen an Kollisionslinien

der Krustenplatten.



2. Was sind Black Smoker ?

Bild 1: Black Smoker

Black Smoker sind hydrothermale Quellen in der Tiefsee, welche an mittelozeanische Rücken gebunden sind, an denen sich die Platten der Erdkruste voneinander weg bewegen und es zu Spreizungszonen kommt. An denen heißes Material aus dem Erdinneren an die Oberfläche tritt. Kaltes Wasser dringt durch die Spalten mehrere Kilometer ins Erdinnere, je mehr es sich dem 1200°C heißen Magma nähert, um so mehr erwärmt es sich. Auf dem Weg ins Erdinnere reagiert es mit dem umliegenden Gestein, belädt sich mit Metallen und Wasserstoff und tritt unter gewaltigem Druck durch Röhren im Gestein wieder an die Oberfläche. Diese hydrothermalen Quellen sind konische bis säulenförmige Kamine, die eine Höhe von ca. 20 m erreichen können. Sie wachsen auf frischen Basalten, und aus ihren Öffnungen treten heiße, mit gelösten Mineralen und Gasen gesättigte Lösungen mit extrem hoher Geschwindigkeiten aus. Diese Lösungen vermischen sich mit dem kalten Meerwasser, wodurch die gelösten Minerale ausgefällt werden. Kommen die aufsteigenden Lösungen schon in der oberen Bodenschicht mit dem kalten Meerwasser in Verbindung, werden die Metalle bereits unterirdisch ausgefällt. Dieser Vorgang ist eine wichtige Lagerstättengeneese, der neue wichtige marine Erzlagerstätten bildet. Wird überwiegend eisenhaltiges Material ausgefällt, entstehen schwarze Wolken, die bis zu einigen 100 m aufwärts und seitlich verteilt werden. Diese werden als Black Smoker bezeichnet. Ist dagegen der Zn - Gehalt höher, bilden sich bläuliche und weiße Anhydrit-Wolken, die sogenannten White Smoker. Die austretenden Lösungen haben meist eine Temperatur von ungefähr 350 °C und einen ph - Wert von ca. 4,3 - 8,5. Werden diese Kamine im Querschnitt betrachtet, findet man in ihrem Inneren Pyrit und Kupferkies. Nach Außen hin nehmen Zinkblende, Markasit, Baryt, Anhydrit und amorphes SiO₂ zu (Abb.2) (Petrascheck; 1992). Die Lagerstätten der Black Smoker sind reich an sulfidischen Erzen, mit hohen Gehalten an Kupfer, Zink, Eisen, Silber und Gold, die eine große wirtschaftliche Bedeutung erringen könnten.

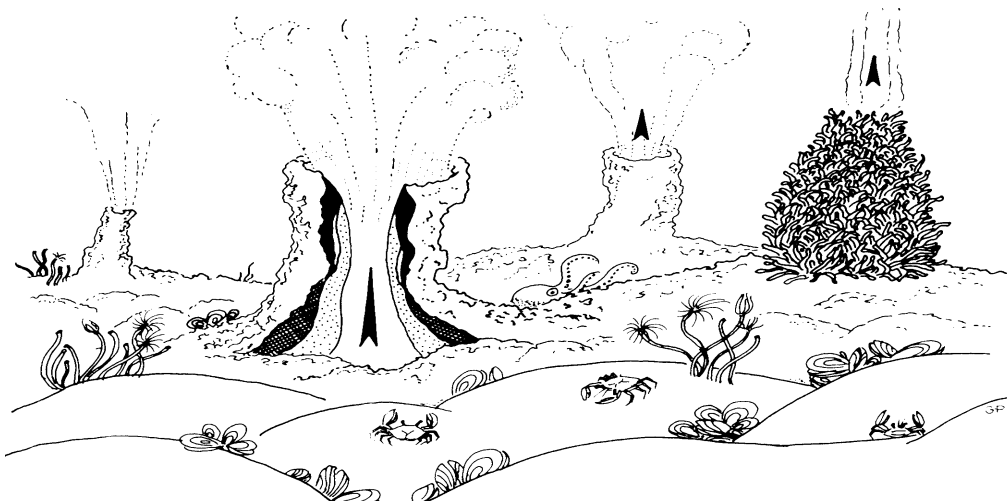


Abb. 2: schematische Darstellung eines Black Smoker mit Lebewelt punktiert = Cu-Fe-Sulfide; schraffiert = verwitterte Sulfide; weiß = Talk und Sulfide; schwarz = Anhydrit und Sulfide

3. Das Ökosystem Black Smoker

Durch Black Smoker entwickelten sich besondere Ökosysteme benthischer Lebensformen. Hier herrschen extreme Lebensbedingungen. In diesem Lebensraum gibt es kein Tageslicht und es existieren extrem hohe Drücke, die bei einer Tiefe von 2000 - 4000 m bereits 200 - 400 bar erreichen. Die Temperaturen liegen in einer Spanne von 10 - 400 °C. Die heißen Wässer treten mit einer Temperatur von ca. 350 °C aus dem Erdinnern und vermischen sich mit dem kalten Umgebungswasser, welches eine Temperatur von 2°C besitzt. Bei diesem Vorgang kühlen sich die heißen Wässer ab, wodurch ein zusammenhängender Temperaturbereich von 2°C bis 350°C entsteht (Begon, Harper, Townsend; 1998). Diese Systeme sind einzigartig auf der Erde, es gibt nur wenige Fälle in denen so komplexe und spezialisierte Lebensgemeinschaften sitzen, die sich solch einer besonderen Situation angepaßt haben. Marine hydrothermale Systeme enthalten oftmals die höchsten Salzkonzentrationen im Ozeanwasser, die pH - Werte liegen in einem Bereich von sauer bis alkalisch (pH 4,3 - 8,5). An diese extremen Umweltbedingungen passen sich am besten Mikroorganismen an. Sie besitzen thermostabile Enzymsysteme und Zellbestandteile, die es ihnen ermöglichen bei diesen Bedingungen zu existieren. Es wird angenommen, daß sie diese Fähigkeiten seit dem Archaikum besitzen, da einige Arten wie z.B. Sulfolobus und Thermoplasma, die zu den Archaeobakterien gehören schon, so wird angenommen, im Archaikum gelebt haben. Die höheren Organismen, die in diesem Ökosystem leben, ernähren sich von diesen Bakterien bzw. durch Symbiose mit ihnen. Sie beziehen ihre Energie nicht vom Sonnenlicht sondern aus Schwefelwasserstoffen, Kohlendioxid und Sauerstoff der hydrothermalen Lösungen (Jannasch, Mottl; 1985).

Hydrothermale Quellen sind flüchtige Erscheinungen. Sie existieren meist nur 10 Jahre, höchstens 100 Jahre. Die Quellen erkalten und werden durch Vulkanausbrüche von frischen Lavamassen begraben. Doch so schnell wie diese Lebensgemeinschaften durch solche Ereignisse vernichtet werden, so schnell besiedeln sie neue Energiequellen. Als erstes überziehen Bakterien den Grund, einige Wochen später folgen dann kleine Krebse, etwas später Röhrenwürmer und zum Schluß Muscheln und andere höherentwickelte Organismen. Wie sie die toten Strecken zwischen den hydrothermalen Quellen überwinden ist noch nicht bekannt (Sawyer, 1999).

3.1. Lebewelt

In der Umgebung von hydrothermalen Schloten existieren artenreiche Lebensgemeinschaften und für die Tiefsee ungewöhnliche eukaryotische Faunen. Die Archaea dienen als Energielieferanten für die wirbellosen Tiere, wie z.B. große Venusmuscheln, weiße Röhrenwürmer, blinde Krabben und Seesterne. Diese Eukaryoten bilden mit den chemosynthetisch aktiven Bakterien eine Symbiose. Es wird angenommen, daß es sich hier um Mutualismus handelt, eine besondere Art der Symbiose (Begon, 1998). Archaea bilden die Grundlage der Nahrungskette, sie beziehen ihre Energie und Nahrung aus den heißen mineralischen Wässern der Black Smoker. Sie können bei Temperaturen über 113 °C existieren und sich vermehren. Sinkt die Temperatur aber auf weniger als 90°C herab, stellen sie ihr Wachstum ein (Sawyer, 1999). Zur Chemosynthese nutzen sie Sulfidverbindungen. Die Chemosynthese ist die Photosynthese der Tiefsee, beide Prozesse beinhalten die Biosynthese der organischen Kohlenstoffverbindungen des CO₂. Bei der Photosynthese setzen Pflanzen mit Hilfe ihres Chlorophylls einen Teil des Sonnenlichts in Energie um. Mit dieser wandeln sie, nach dem Prinzip der Photosynthese, Wasser und CO₂ in Zucker und

Stärke um. Tiere und Menschen gewinnen letztendlich aus ihnen ihre Nahrung. Die Energie für die Chemosynthese wird aus der chemischen Umsetzung von Schwefelverbindungen oder Methan gewonnen. Aus dieser produzieren die Bakterien ihre Nährstoffe (Jannasch, Mottl; 1985). Bei der Untersuchung eines Schlotes im Middle Valley im Nordostpazifik wurden ungefähr 55 Taxa entdeckt, darunter sind vermutlich 15 neue Arten (M.E. Begon, et al 1992). Obwohl die heißen Wässer tief in den Black Smokern keimfrei sind, tummeln sich in ihrer unmittelbaren Umgebung, bei geringeren Temperaturen, eine große Anzahl von Hyperthermophilen, vor allem mikroskopisch kleine Organismen, wie z.B. Methanopyrus spp..

3.2. Organismen

Drei dieser hydrothermalen Lebewesen wurden schon näher erforscht: Röhrenwürmer, Venusmuscheln und Miesmuscheln.

Vestimentiverane Röhrenwürmer (Abb.3) sind die am Besten erforschten hydrothermalen Wesen, sie geben die umfassendste Auskunft über das Leben in der Tiefsee.

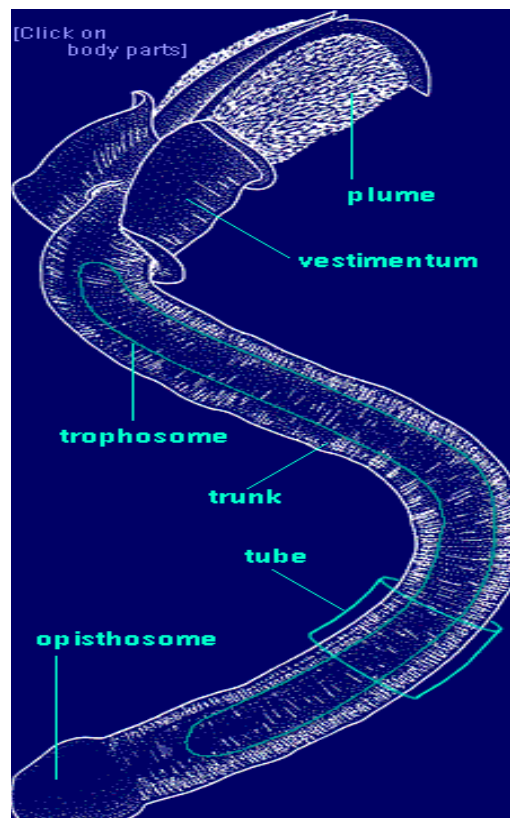


Abb. 3 Schema eine Röhrenwurms

Diese Würmer leben in Kolonien an hydrothermalen Schloten (Bild 3). Sie regulieren über ihre gesamte Körperlänge die Temperatur von über 80°C im Innern der Röhre auf 22°C an der Röhrenöffnung. Damit existiert auf der Gesamtlänge des Wurms ein Temperaturgradient von 60°C (Abb. 4). Diese Temperaturen werden über längere Zeitperioden relativ konstant gehalten (Abb.5). Gegenwärtige Forschungen haben ergeben, daß diese Röhren, in denen die Würmer leben, eigentlich kleine Kanäle sind, die heiße Fluide über die Wurmkörper verteilen (Cary,

Shank, Stein, 1998). Damit die Würmer, diese hohen Temperaturen überstehen, wird angenommen das auf ihrem Hinterleib wärmeliebende Bakterien leben, welche ihm hitzetolerante Enzyme zur Verfügung stellen (Sawyer, 1999). Weiterhin wurde herausgefunden, daß diese Würmer ein sehr rasches Wachstum haben. Bei einem Langzeitversuch entlang des Juan de Fuca Rücken vor der amerikanischen Nordwestküste, der 40 Tage ging, ergab sich ein Wachstum von 3,5 bis 5,5 cm, das sind im Jahr ungefähr 30 bis 50 cm (Abb.5). Aktuellste Berichte deuten auf Wachstumsraten von über 85 cm/a. Diese erreichen sie durch die Symbiose mit Bakterien. „Diese Symbionten produzieren so viele Nährstoffe, daß die Tiere erstaunlich rasch wachsen“ (Sawyer, 1999).

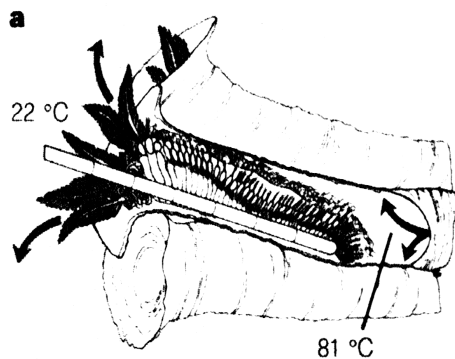


Abb. 4: Temperaturen des Pompeii Wurm Periode von 3h

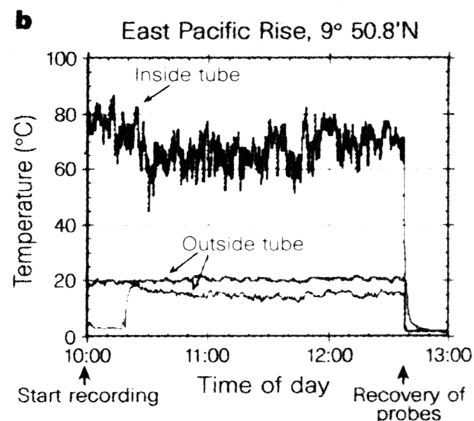


Abb. 5: Innen- und Außentemperatur über einer

Die Röhrenwürmer Larven sind in der Lage zu schwimmen, adulte Würmer leben sessil. Diese Organismen besitzen kein Maul und keinen Darm, sie können daher nicht verdauen und eliminieren. Sie leben mit Schwefelbakterien in Symbiose. Diese sitzen in den Zellen des langgestreckten Körpers und versorgen den Wurm mit Biomolekülen wie Zucker und Aminosäuren. Im Gegenzug versorgt der Wurm die Bakterien mit den benötigten sulfidischen Wässern (Sawyer, 1999). Das große rote federartige Organ am Körper des Wurmes (Bild 2) ist der einzige Teil, der den Wurm mit der Umwelt verbindet. Über dieses nimmt er Sulfide und Sauerstoff aus dem Schlotwasser auf und leitet es an die in ihm lebenden Schwefelbakterien weiter [3].

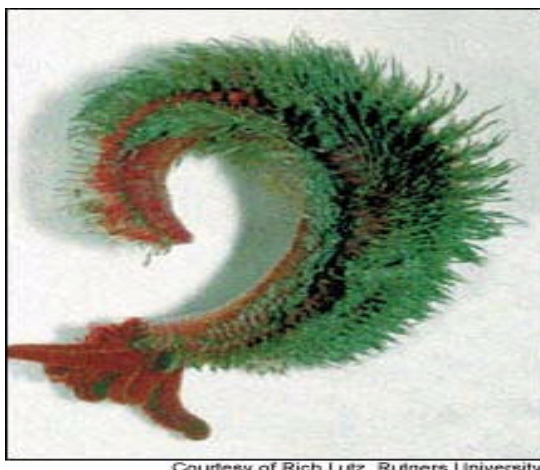


Bild 2: Alvinella pompejana

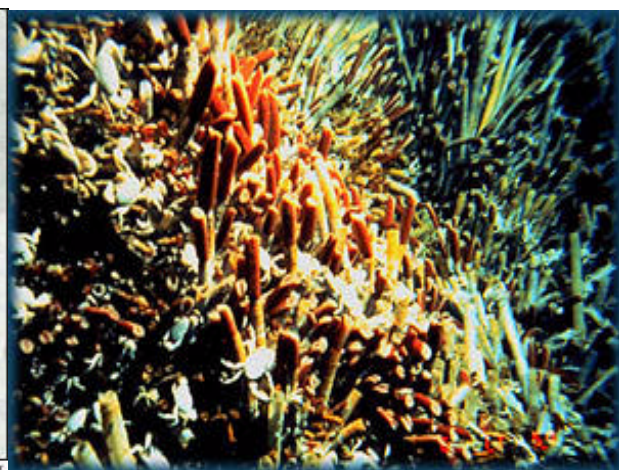


Bild 3: Röhrenwurm - Kolonie

Vescomyde Venusmuscheln (Bild 4) sind artverwandt mit der Familie der Venusmuscheln und ernähren sich durch Filtration. Die weißen Muscheln leben mit Bakterien in Symbiose, welche sich in ihren Lamellen befinden und für die Ernährung der Venusmuschel von großer Bedeutung sind. Die Bakterien erhalten von der Muschel das eingefilterte sulfidische Wasser und produzieren durch Chemosynthese im Gegensatz Nährstoffe für die Muschel.

Der hellrote Fuß an der Unterseite der Venusmuschel kann über eine gewisse Zeit ausgestreckt werden, damit nimmt die Muschel die sulfidischen Wässer auf [2].

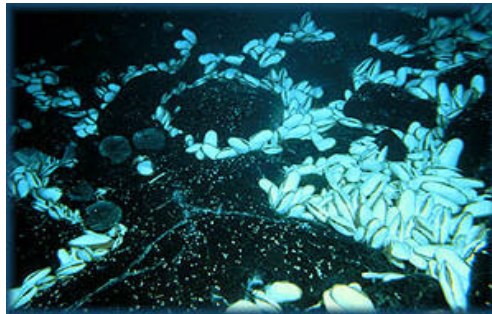


Bild 4: Venusmuscheln

Bathymodiolide Miesmuscheln (Bild 5) sind Artverwandte der Familie der Miesmuscheln. Sie haben ein besseres Filtriersystem als die Röhrenwürmer und Miesmuscheln aber sind immer noch auf die Symbiose mit Bakterien angewiesen. Die Bakterien leben in den Zellen der Muschel und bilden einen Deckel an der Oberfläche der Lamellenfilamente. Diese sind wichtig für die Nahrungsaufnahme. Miesmuscheln leben mit mehreren verschiedenen Bakterienarten zusammen und nicht wie die Röhrenwürmer und Venusmuscheln nur mit einer Art. Dadurch können sie in einer etwas entfernten Umgebung zum Schlot existieren [2].



Bild 5: Miesmuscheln

4. Fossile Faunen

Das Yaman Kasy ist eine Vulkanische Massiv Sulfid -Lagerstätte (VMS) im Süden des Urals. Die VMS Lagerstätte hat ein silurisches Alter. In ihr ist eine Gruppe von Makrofossilien gefunden worden wie .z.B. einklappige Muscheln, lingulate Brachiopden (Bild 8), Vestimentiferane Röhrenwürmer (Bild 6) und Ringelwürmer (Bild 7).



Bild 6: Vestimentiferaner Röhrenwurm



Bild 7: Ringelwurm

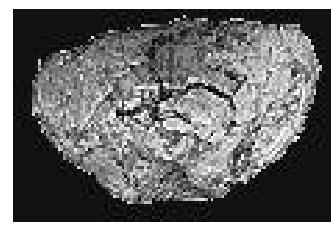


Bild 8: lingulater Brachiopode

Die Lagerstätte repräsentiert eine der ältesten und hoch diversesten fossilen hydrothermalen Gesellschaften, die bis jetzt bekannt geworden ist. Durch sie ist es möglich geworden, andere alte Schlotfaunen zu erkennen und zu verstehen. Die Faunen wurden an drei verschiedenen Orten der Lagerstätte gefunden (Abb.6).

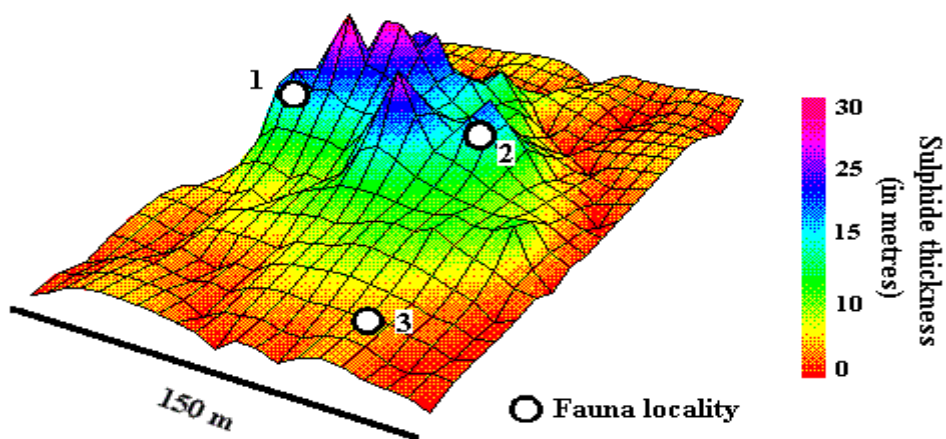


Abb. 6 : Modell der silurischen Lagerstätte

Die Yaman Kasy Lagerstätte bildete im Silur ein Becken zwischen einem Inselbogen und einem Kontinent, in dem es zur Bildung von Black Smokern kam. Damit herrschten zu dieser Zeit, in dem Becken wahrscheinlich ähnliche hydrothermale Bedingungen, wie sie auch heute an Black Smokern zu finden sind. Die Ähnlichkeiten in der mineralischen Struktur, der Paläotemperaturen an der Basis sowie die große Diversität der Sulfide am Top der Lagerstätte sind gute Indizien dafür. Außerdem wurden auch Fragmente von Kaminen der Black Smoker entdeckt.

Die Brachiopoden treten zusammen mit Monoplacophoren und Röhrenwürmern auf. Sie wurden aber auch in einzelnen Gruppen von bis zu 10 Individuen gefunden. In den meisten Fällen sind die Brachiopoden und Monoplacophoren nur in ihrer äußeren Form durch Pyritisierung erhalten, es ist also kein ursprüngliches Material mehr vorhanden.

Ringelwürmer und Vestimentiferane kommen gemeinsam in der Yaman Kasy Lagerstätte vor. Die wahrscheinlichen Ringelwürmer haben Durchmesser von 0,4 - 0,8 mm und eine maximale Länge von 75 mm. Die Wurmwand ist als eine 0,2 - 1 mm dicke Pyritschicht erhalten geblieben, und der Steinkern besitzt umlaufende Ringstrukturen.

Die Vestimentiferanen Wurmrohre haben einen durchschnittlichen Querschnitt von 10- 40 mm und sind maximal 400 mm lang. Die meisten von ihnen haben glatte Wände ohne Strukturen, einige von ihnen weisen jedoch verschiedene Diagenesegrade auf.

Diese fossilen Röhren ähneln sehr stark den heutigen Vestimentiferanen Wurmbauten (Little, 1997). Außerdem wurden viele kleine Fossile Würmer gefunden, die wahrscheinlich zu den Polychaeten gehören und analog den heutigen Alvinelliden sind.

Es existieren weitere fossile hydrothermale Fundstellen z. B.:

Zambalophiolithen auf den Philippinen, hier wurden in eozänen Kupfer- und Zinksulfidablagerungen 0,5 cm große Röhren gefunden, die mit einer Pyritschicht überzogen sind. Die Röhrenwände sind 150 µm dick und bestehen aus Pyritödem.

Ophiolithen Neu Caledoniens, hier ist in der Oberkreide und im Tertiär Kupfersulfid in Meeresbodenbasalten abgelagert worden. In diesen Basalten haben sich Baryt- und Quarzgänge ausgebildet, in denen millimetergroße Pyritröhren erhalten geblieben sind, die den heutigen Wurmbauten ähneln.

5. Evolution

Die meisten Lebewesen besitzen einen oxidativen Stoffwechsel, für den sie freien Sauerstoff benötigen. Ihre Entwicklung hat demnach erst begonnen als genügend freier Sauerstoff in der Atmosphäre war um überleben zu können. Daraus läßt sich schließen, daß sich das Leben im Meer entwickelt haben könnte und nicht auf dem Land.

Vor etwa vier Milliarden Jahren gab es viel mehr hydrothermale Quellen auf der Erde, die ein geeigneter Lebensraum für Hyperthermophile gewesen sein könnten. Im Archaikum lebten auf der Erde bereits Archaeobakterien, das sind wahrscheinlich dieselben Organismen, die auch in hydrothermalen Umgebung leben. Hier bilden sie die Basis einer einmaligen Nahrungskette. Ihre Energie erhalten sie dabei aus den hydrothermalen mineralreichen Wässern durch die Chemosynthese. Sie gebrauchen Kohlendioxid als einzige Kohlenstoffquelle und anorganische Energiequelle, dabei dienen molekular hydrogene und reduzierte Schwefelverbindungen als Elektronendonatoren während der CO_2 - Aufnahme. Oxidierende Schwefelverbindungen, NO_3^- , und Sauerstoff (in sehr geringen Mengen nur vorhanden) dienen als Elektronenakzeptoren. Sie sind somit völlig unabhängig vom Sonnenlicht.

Die hyperthermophilen Organismen bestehen aus Primärproduzenten und Konsumenten von organischer Materie und sie bilden einzigartige Ökosysteme in der Umgebung von Black Smokern.

Wissenschaftliche Experimente haben gezeigt, daß diese unwirklichen Lebensbedingungen ideal sind für die Bildung molekularer Bausteine des Lebens. Amerikanische Wissenschaftler haben Nitrat mit Wasser und Eisensulfid bei 500°C und 500fachem Atmosphärendruck zusammengetan. Diese Lösung bildete schon nach 15 Minuten Ammoniak in sehr großen Mengen. Dieser wird für den Aufbau von stickstoffhaltigen Biomolekülen (wie z.B. Aminosäuren) benötigt. In einem weiteren Experiment gelang es Ammoniak mit Brenztraubensäure zur Aminosäure Alanin zu verschweißen. Brenztraubensäure ist ein Molekül was aus drei Kohlenstoff-, drei Sauerstoff- und vier Wasserstoffatomen besteht. In einem weiteren Schritt gelang es Wissenschaftlern von der TU München Aminosäuren bei 100°C zu koppeln und Peptide entstehen zu lassen. Sie vollzogen damit einen Schlüsselschritt der Ur-Evolution (Sawyer, 1999)

Durch diese Experiment und die Forschung an hydrothermalen Quellen wird vermutet das sich auch auf anderen Planeten leben entwickeln könnte, wenn es dort einen aktiven Vulkanismus und Wasser gibt..

Archaeobakterien stehen daher am Anfang der Entwicklungsgeschichte und bilden die Wurzel des Evolutionsstammbaumes (Abb.5).

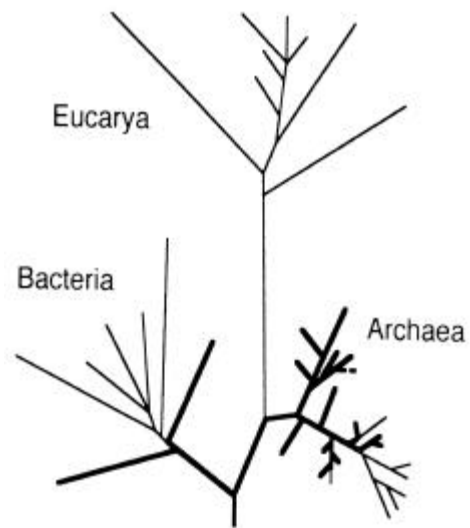


Abb. 5: Stellung der Hydrophilen im Stammbaum

Literaturverzeichnis

1. John Wiley & Sons, 1996, Evolution of hydrothermal ecosystems on earth (and mars?), Ciba Foundation Symposium 202, 1ff, 100ff, 120ff, 131-137, Chichester - New York - Brisbane - Toronto - Singapore
2. W. & W. Petrascheck's, 4.Auflage 1992, Lagerstättenlehre, Eine Einführung in die Wissenschaft von den mineralischen Bodenschätzen, 13-16, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart
3. R. Schubert, 3. Auflage 1991, Lehrbuch der Ökologie, 145ff, Gustav Fischer Verlag Jena
4. C.T.S. Little und Mitarbeiter, 9. Januar 1997, Nature, Vol 385, Silurian hydrothermal-vent community from the southern Urals, Russia, 146ff
5. R.A. Lutz, T.M. Shank und Mitarbeiter, 20.Oktober 1994, Nature, Vol 371, Rapid growth at deep-sea vents, 663f
6. S.C. Cary, T. Shank, J. Stein; 5. Februar 1998, Nature, Vol 391, Worms bask in extreme temperatures, 545f
7. H.W. Jannasch , M.J. Mottl; 23.August 1985, Science, Vol 229, Geomicrobiology of Deep-Sea Hydrothermal Vents, 717f
8. M.E. Begon et al, 1998, Ökologie, 41f, 346f, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg - Berlin
9. K. Sawyer, 1999, September 1999, GEO Wissen, Ozean und Tiefsee, Nr. 24, Tauchfahrt zum Quell des Lebens, 54 - 65

Internetverzeichnis

1. <http://www.arabella-talk.de/wunder/spezial/smoke3/>
2. <http://www.yrbe.edu.on.ca/~mdhs/compsci/dpt3a/oceanog/aocnflir.htm>
3. http://www.amnhonline.org/expeditions/blacksmoker/life_forms.html

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1. Einleitung	1
2. Was sind Black Smoker	2
3. Das Ökosystem Black Smoker	2
3.1. Lebewelt.....	3
3.2. Organismen.....	4
4. Fossile Faunen	7
5. Evolution.....	9
6. Literatur und Internetverzeichnis.....	10

