

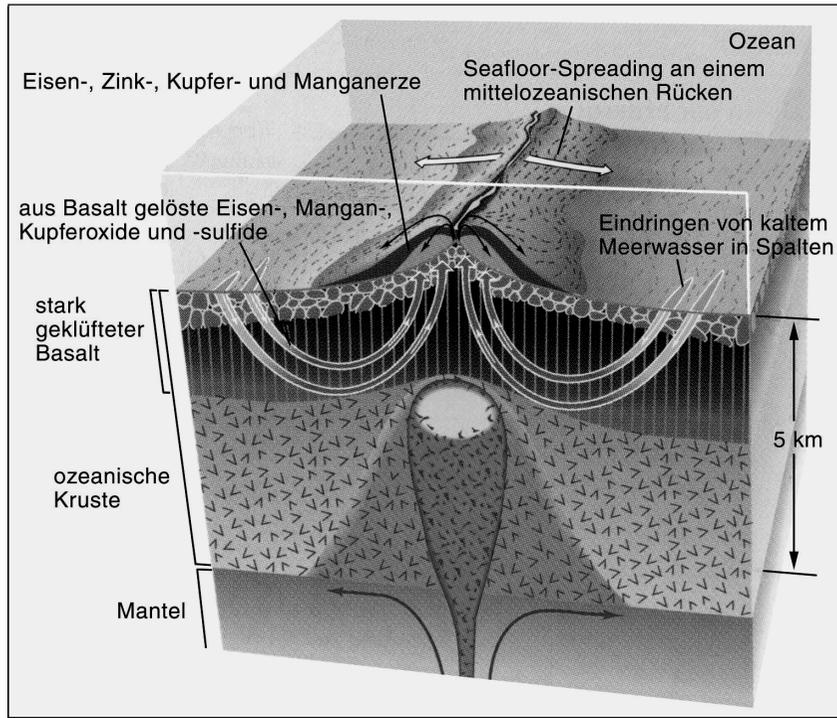
*Je mehr man kennt, je mehr man weiß,
 Erkennt man, alles dreht im Kreis;
 Erst lehrt man jenes, lehrt man dieß,
 Nun aber waltet ganz gewiß
 Im innern Erdenspatium
 Pyro-Hydrophylacium,
 Damit's der Erden Oberfläche
 An Feuer und Wasser nicht gebreche.
 Wo käme denn ein Ding sonst her,
 Wenn es nicht längst schon fertig wär'?
 So ist denn, eh' man sich's versah,
 Der Pater Kircher wieder da.
 Will mich jedoch des Worts nicht schämen;
 Wir tasten ewig an Problemen.*

Hydrophylacien - Beobachtungen und Phantasien zum Kreislauf des Wassers

Angeregt durch frühe Beobachtungen über den eigentümlichen Ursprung der Paderquelle und des sog. Bollerbrunnens bei Paderborn sowie an Strudeln in der Straße von Messina zwischen „Skylla und Charybdis“, die er während seiner Südtalienreise studierte, entwickelt Kircher Vorstellungen zum unterirdischen Kreislauf des Wassers, die er in eindrucksvollen Zeichnungen dokumentiert. Demnach existieren im Erdinnern mit Wasser gefüllte Hohlräume (*Hydrophylacia*), die untereinander durch ein Netzwerk von Kanälen verbunden sind und die – wie schon im PREDIGER SALOMO behauptet – durch das Meer gespeist werden, und zwar durch Strudel, wie Kircher sie in der Straße von Messina beobachtet hatte. Das Wasser steigt an die Erdoberfläche auf, tritt dort als Quelle wieder zutage und gelangt schließlich über die Flüsse wieder zurück ins Meer. Damit belebt Kircher uralte Vorstellungen wieder, nach denen es unterirdische Verbindungen zwischen den Weltmeeren geben soll. Dieses Konzept hat allerdings mit einer grundsätzlichen Schwierigkeit zu kämpfen, die von Kircher – im Gegen-

satz zu seinen Vorläufern – klar erkannt wurde (Biswas 1970, 176-180): Wie kann Wasser aus dem Meer oder gar aus dem Erdinneren zu den Quellorten in höheren Gebirgsniveaus transportiert werden? Zur Lösung dieses Problems zog Kircher – allerdings irrtümlich – hydro-mechanische Kräfte, insbesondere Pumpvorgänge durch Gezeitenkräfte heran. Zum anderen rechnete er mit der Wirkung der Hitze im Erdinnern. Das Wasser in denjenigen Hydrophylacien, die sich in der Nachbarschaft von Feuerherden (Pyrophylacien) befinden, wird aufgeheizt und verdampft. Das gleiche gilt für Wasser, das bei seinem Transport in der Nähe von Pyrophylacien vorbei strömt. Nahe der Erdoberfläche kondensiert der Wasserdampf und tritt als heiße Quelle an die Erdoberfläche. Richtig an dieser Vorstellung ist, dass Thermalquellen oder Geysire in Gebieten mit erhöhtem geothermischen Gradienten auftreten. So kann versickertes Grundwasser in der Nähe einer Magmenkammer aufgeheizt werden und verdampfen; solche Heißdämpfe werden z. B. in der Region von Larderello (Toscana) zur Gewinnung geothermischer Energie genutzt.

Prinzipiell richtig sind auch die Ideen Kirchers zur Entstehung von Mineralquellen: Die in ihnen enthaltenen chemischen Komponenten, z. B. Schwefel oder Eisen, werden beim Transport des heißen Wassers aus dem durchströmten Gestein ausgelaugt, wobei die Quellzusammensetzung von der jeweiligen Gesteinsart kontrolliert wird. Wie wir heute wissen, können solche Vorgänge zur Bildung von Erzlagerstätten führen. Schon vor mehreren Jahrzehnten nahmen deutsche Lagerstättenforscher an, dass bestimmte Erzlagerstätten, wie z.B. die berühmte Kupfer-Blei-Zink-Lagerstätte Rammelsberg bei Goslar, durch untermeerische Thermalquellen entstanden sind (Ramdohr 1953; Kraume 1955). Dieses Modell fand 1977/79 durch Entdeckung der Black Smoker eine überraschende, ja geradezu sensationelle Bestätigung. Aus dem Tauchboot *Alvin* heraus konnte erstmals eine submarine



(oben links) Modell zur Entstehung eines Black Smokers im Bereich eines mittelozeanischen Rückens.

Auf Klüften und Störungsflächen sickert Meerwasser in die ozeanische Erdkruste ein. Beim Eindringen in größere Tiefen wird das Meerwasser immer stärker aufgeheizt und es werden Schwermetalle wie Eisen, Zink und Kupfer sowie Schwefel aus dem Basaltgestein ausgelaugt. Im Bereich über der etwa 1200°C heißen Magmenkammer, die sich unter der Achse des mittelozeanischen Rückens befindet, wird das Meerwasser auf maximal 400°C überhitzt. Dadurch steigt es wieder auf und mischt sich am Meeresboden mit kaltem Seewasser. Hierbei kommt es zur Ausfällung von dunkel gefärbten Schwermetall-Sulfiden, die sich zu einer Erzlagerstätte anreichern können.

(Aus Press, Frank/Siever, Raymond: Allgemeine Geologie. Heidelberg/Berlin/Oxford 1995, Abb. 19.10 [Deutsche Ausgabe von Understanding

Lagerstättenbildung an den mittelozeanischen Rücken in einer Wassertiefe von 2600 m direkt beobachtet und fotografiert werden. Ganz ähnliche Aufnahmen machte 1989 das französische Tauchboot *Nautilus* im Südwest-Pazifik. Wie von Kircher vorausgeahnt, sickert Meerwasser auf



the Earth]; mit freundlicher Genehmigung des Verlages Freeman & Company, New York).

(oben rechts) Querschnitt durch einen Black-Smoker-Schlot, Lau-Becken, Süd-West-Pazifik.

In dem aufgeschnittenen Schlot erkennt man den zentralen Fluid-Kanal; er besteht aus Kupferkies CuFeS_2 , der bei ca. 300°C aus der Lösung auskristallisierte. Im Außenbereich finden sich die Minerale Zinkblende ZnS , Pyrit FeS_2 und Schwerspat BaSO_4 .

(Freundliche Leihgabe von Professor Dr. Peter Herzig, Lehrstuhl für Lagerstättenlehre und Leibnizlabor für Angewandte Meeresforschung, TU Bergakademie Freiberg).

Klüften in die ozeanische Kruste ein, wird dort aufgeheizt und löst aus den Basalten Schwermetalle und Schwefel heraus. Die etwa 350°C heißen, gesättigten Erzlösungen steigen auf und treten am Meeresgrund in Form einer Fontäne aus, wobei es im Kontakt mit dem

2 °C kalten Meereswasser zur Ausfällung von Schwermetallsulfiden kommt, die sich zu schlotartigen Gebilden zusammenballen. Wegen ihrer dunklen Färbung durch die feinverteilten Erzpartikel werden die heißen Fontänen als Black Smoker („Schwarze Raucher“) bezeichnet. Daneben gibt es auch White Smoker („Weiße Raucher“), in denen die abgeschiedenen Mineralpartikel aus Schwespat und Kieselsäure bestehen. Die entstehenden Erzanreicherungen können im Prinzip abbauwürdig sein; doch stehen einer Nutzung zur Zeit die hohen Gewinnungskosten sowie unkontrollierbare Umweltprobleme entgegen (Herzig, 1994).

Eine verborgene Lebewelt – Die Black-Smoker-Lebensgemeinschaften

Gebunden an den Austritt der heißen Quellen in großer Meerestiefe entwickelten sich einzigartige und hochspezialisierte Ökosysteme benthischer Lebensformen, d.h. von Organismen, die auf dem felsigen Meeresboden leben bzw. angeheftet sind. Dort herrschen extremste Bedingungen; denn es gibt in diesen Lebensräumen kein Tageslicht mehr und die Drücke der Wassersäule erreichen bei einer Meerestiefe von 2000 bis 4000 m schon 200 bis 400 bar. Die Wassertemperaturen im Umfeld der Black- und White-Smoker liegen in einem Temperaturbereich von 10 bis 350 °C, denn die heißen Quellen verlassen mit einer Temperatur von ca. 350 °C den Meeresgrund und vermischen sich mit dem kalten Tiefseewasser des Ozeans, das nur eine Temperatur von 2 °C aufweist.

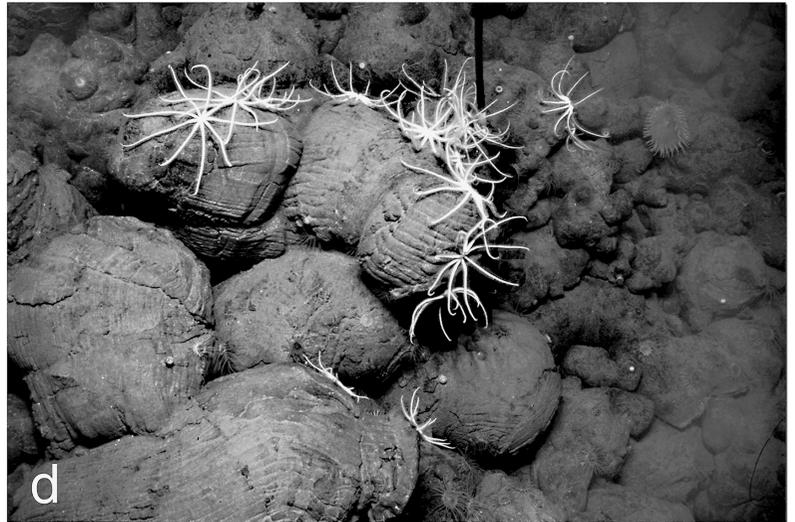
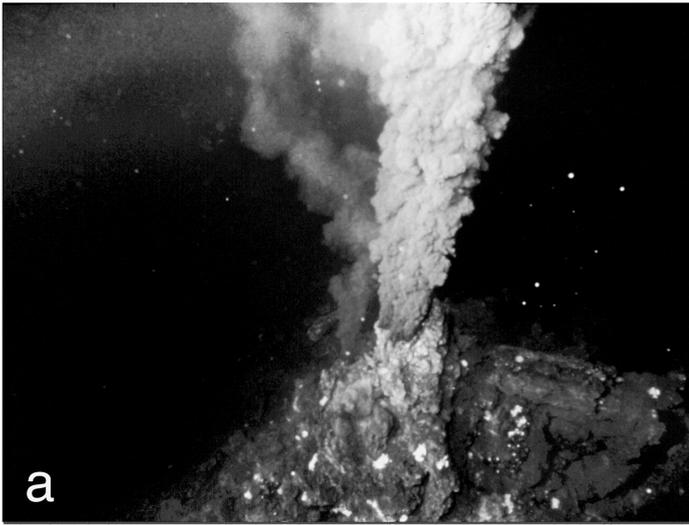
In einer solchen extremen Umwelt vermögen am besten Mikroorganismen mit thermostabilen Zellbestandteilen und Enzymsystemen zu existieren, z.B. die Archaea (eines der sechs Reiche der Organismen, früher als Archaeobakterien bezeichnet). Diese können bei einer Temperatur über 113 °C existieren und sich vermehren – sinkt die Temperatur aber auf weniger als 90 °C, stellen sie ihr Wachstum ein. Archaea sind die Basis der Nah-



Lebensbild von *Riftia*-Würmern (Vestimentifera) und weiteren Organismen an der Austrittsbasis eines Black Smokers. (Zeichnung von V. Martin, nach Laubier (1986), verändert).

rungepyramide, alle höheren Organismen ernähren sich von ihnen oder stehen mit ihnen in Symbiose. Das Black-Smoker-Ökosystem bezieht seine Energie also nicht über die Photosynthese von der Sonne, sondern vielmehr aus Schwefelwasserstoff, Kohlendioxid und Sauerstoff der heißen mineralischen Wässer. Bei der Chemosynthese dient der Schwefelwasserstoff aus den Schloten als Energiequelle.

Zuerst überziehen die Archaea die Umgebung der Austrittsstellen dieser hydrothermalen Lösungen, einige



(a) Black Smoker und (b) White Smoker am Grunde des Pazifischen Ozeans in 1700 m Wassertiefe.

Sie wurden im Jahre 1989 durch das französische Tauchboot *Nautilus* im Vai-Lili-Hydrothermalgebiet am Valu-Fa-Rücken des Lau-Beckens, Südwest-Pazifik, entdeckt. Die schwarze Farbe der 340 °C heißen Fontäne des Black Smoker ist auf feinverteilte Kriställchen von Schwermetallsulfiden zurückzuführen, die im Kontakt zwischen der heißen Quelle und dem 2 °C kalten Meerwasser ausgefällt wurden. Demgegenüber besteht der 334 °C heiße Rauch des White Smoker überwiegend aus hellen Mineralpartikeln wie Schwefel und Kieselsäure.

(Diese Fotos wurden in dankenswerter Weise von Professor Dr. Peter M. Herzig, Lehrstuhl für Lagerstättenlehre, TU Bergakademie Freiberg zur Verfügung gestellt).

c) Röhrenwürmer der Spezies *Riftia pachytila* von einer Black-Smoker-Lebensgemeinschaft des Ostpazifischen Rückens
(Mit freundlicher Genehmigung der Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA, USA).

d) Zu den Brisingiidae gerechnete Seesterne (Echinodermata, Asterozoa) aus einer Meerestiefe von 2380 m des Ostpazifischen Rückens. Die Tiere sitzen auf untermeerisch ausgeflossenen Basaltlaven mit typischer Kissenstruktur (Pillow-Laven).
(Foto: Dr. Vesna Marchig BGR Hannover; mit freundlicher Genehmigung von Dr. Jens Stecher, Forschungsinsitut Senckenberg, Frankfurt am Main).