

Bei Schwarzen Rauchern handelt es sich um Hydrothermalquellen an vulkanisch aktiven Zonen der Tiefsee. Der schwarze „Rauch“, der aus den bis zu 30 Meter hohen Schloten quillt, besteht aus fein verteilten Sulfidpartikeln. Auch die Schlote selbst und die Hügel unter ihnen bestehen aus Metall-Schwefelverbindungen, den sogenannten Massivsulfiden.

| KURZSTECKBRIEF MASSIVSULFIDE | |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hauptvorkommen | vulkanisch aktive Zonen an submarinen Plattengrenzen |
| Wassertiefe | 1.000 bis 4.000 Meter |
| Hauptbestandteile | eisenreiche Schwefelverbindungen |
| wirtschaftlich interessante Metalle | Kupfer und Zink [in Spuren auch Gold, Silber, Germanium, Indium, Tellur und Wismut] |
| Verwendung | Komponenten für die Kommunikationstechnologie |

Im Jahr 1979 taucht das amerikanische Forschungstauchboot ALVIN im pazifischen Ozean. Durch die kleinen Bullaugen der Druckhülle erblickte die Besatzung auf dem Meeresboden in rund 2.600 Metern Tiefe meterhohe Schlote, aus denen scheinbar schwarze Rauchwolken quollen. Die Wissenschaftler hatten die ersten hydrothermalen Quellen, sogenannte „schwarze Raucher“, entdeckt. Untersuchungen zeigten, dass sich rund um die Quellen Minerale ablagern und Vorkommen sogenannter Massivsulfide bilden. Inzwischen sind mehr als 390 Vorkommen in allen Ozeanen bekannt, wobei es aber gewaltige Unterschiede in der Größe der Vorkommen gibt. Hydrothermalquellen sind aber nicht nur Rohstofflieferant, sondern auch ein außergewöhnlicher Lebensraum.

In den letzten Jahren hat das wirtschaftliche Interesse an den Massivsulfiden zugenommen. Die erste Abbaulizenz für Massivsulfide rund um ein erloschenes Hydrothermalsystem wurde 2011 für ein Vorkommen vor der Küste Papua-Neuguineas erteilt. Der Abbau hat aber noch nicht begonnen (Stand 2019).

Schlotfragment eines Schwarzen Rauchers

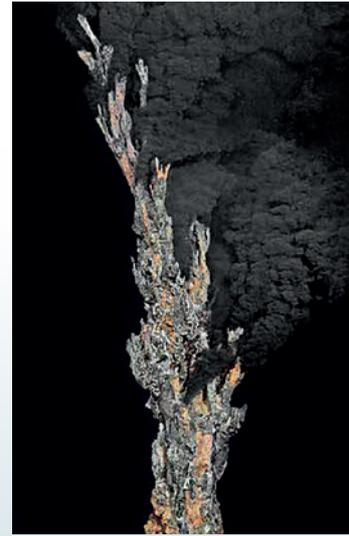
Die Probe wurde 2016 während der Fahrt mit dem Forschungsschiff FALKOR am Niua Vulkan aus einer Wassertiefe von 1.146 Metern genommen. Foto: Jan Steffen / GEOMAR



Entstehung von Massivsulfiden an schwarzen Rauchern

Die faszinierenden Formationen der Schwarzen Raucher in der Tiefsee entstehen durch das Zusammenspiel von vulkanischer Aktivität und Meerwasser an aktiven Platten-grenzen.

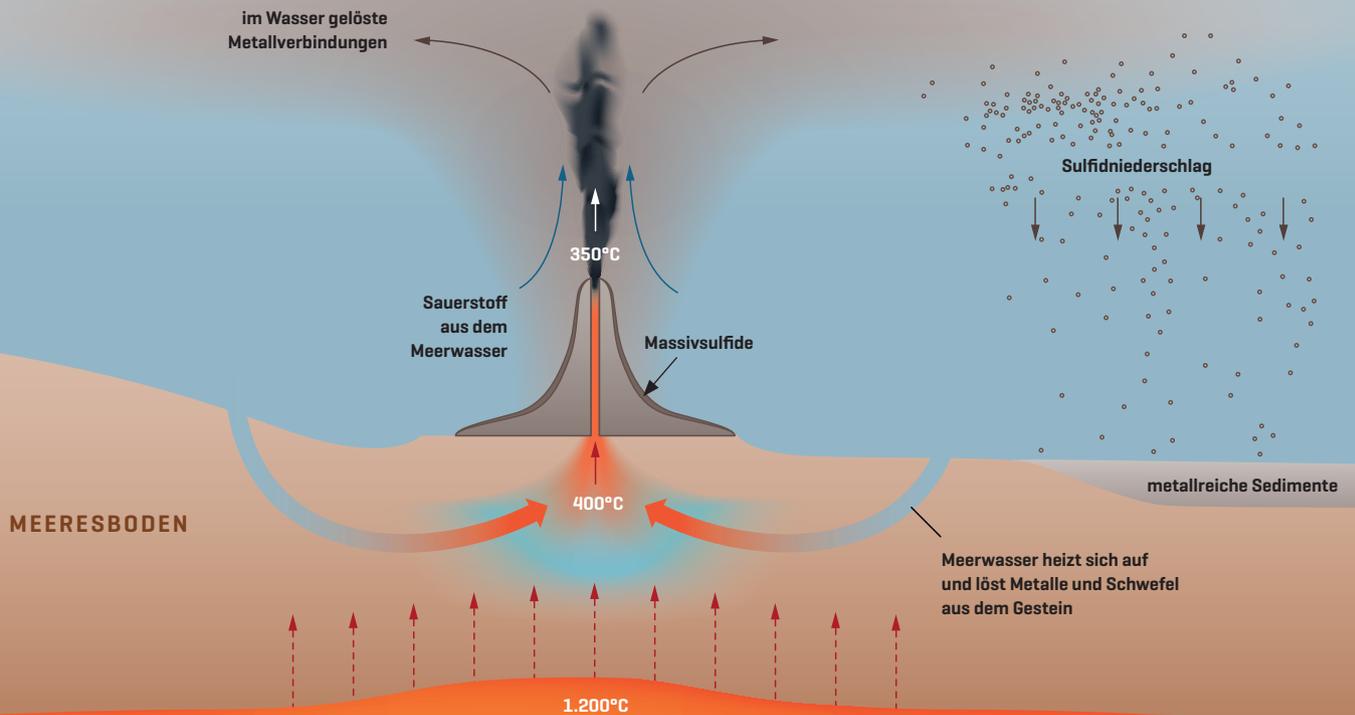
Das Meerwasser sickert an den Hydrothermalquellen durch Risse und Spalten im Meeresboden langsam in die Tiefe und trifft in zwei bis drei Kilometern Tiefe auf riesige Magmakammern. Dort wird es erhitzt und steigt aufgrund seiner geringeren Dichte wieder auf. Dabei verwandeln chemische Prozesse das Wasser in eine schwache Säure. Sie wäscht auf dem Weg zurück zum Meeresboden Elemente, wie Kupfer, Zink, Eisen, Gold und Silber sowie Schwefel, aus dem umgebenden Gestein aus. Mit diesen Stoffen angereichert trifft die teilweise über 400 Grad heiße Lösung am Meeresboden auf das etwa zwei bis vier Grad kalte Bodenwasser des Ozeans. Die Metall-Schwefelverbindungen fallen aus und lagern sich am Meeresboden als Sulfidhügel, -schornsteine oder metallreiche Sedimente ab.

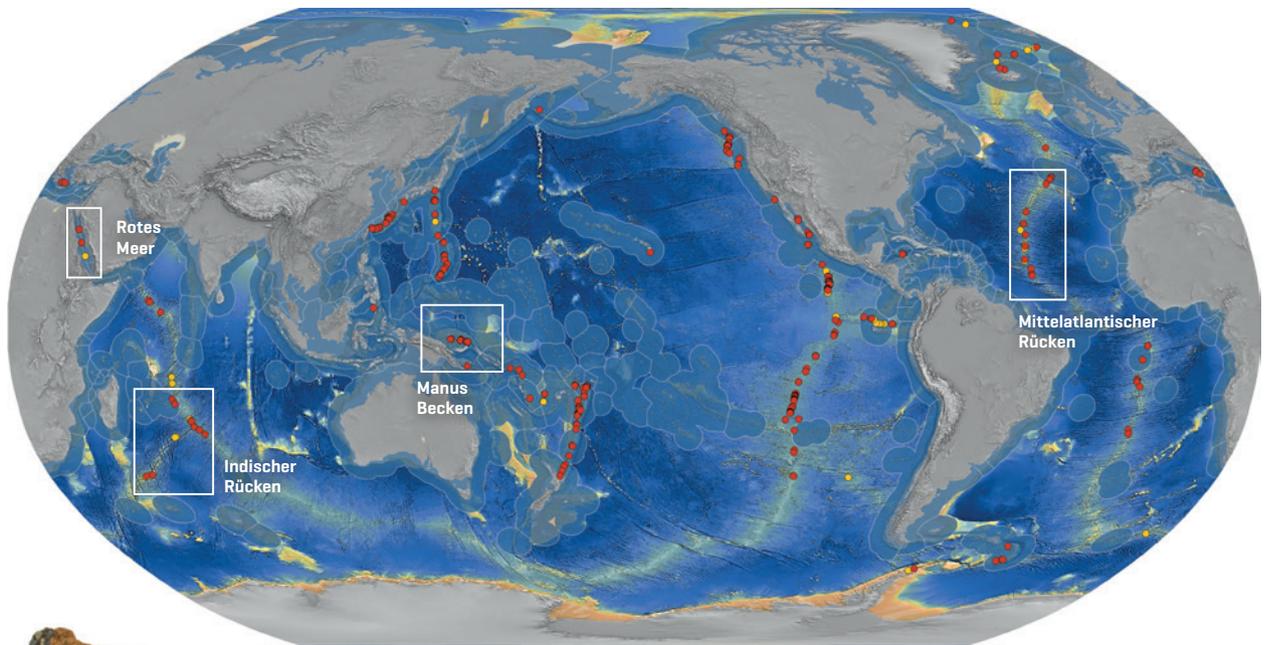


Fünf Meter hoher Schlot eines Schwarzen Rauchers im zentralen Atlantik.

Der größte bisher entdeckte Schwarze Raucher wurde am Juan de Fuca Rücken entdeckt. Sein Schlot war 45 Meter hoch. Foto: Nico Augustin / GEOMAR

Grafik: maribus, WDR3





Verteilung von aktiven (rot) und inaktiven (gelb) Schwarzen Rauchern im Ozean

Gebiete von besonderem wirtschaftlichem Interesse und Grenzen der Ausschließlichen Wirtschaftszonen sind hervorgehoben. Große Bereiche, insbesondere in den südlichen Ozeanen, sind bisher nicht untersucht worden und sind nur deshalb nicht auf der Karte verzeichnet. [Stand 2019]. Karte: Sven Petersen / GEOMAR

Vorkommen und Rohstoffpotenzial von Massivsulfiden

Die Wertmetallgehalte und das wirtschaftliche Potential von Massivsulfiden unterscheiden sich deutlich von denen der Manganknollen und Kobaltkrusten. Es gibt darüber hinaus gewaltige Unterschiede in der Größe der einzelnen Vorkommen. Dazu kommt, dass die Bunt- und Edelmetallgehalte der Vorkommen je nach Region stark schwanken.

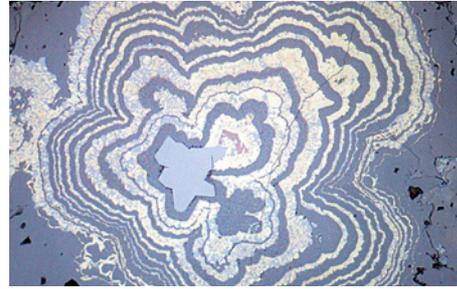
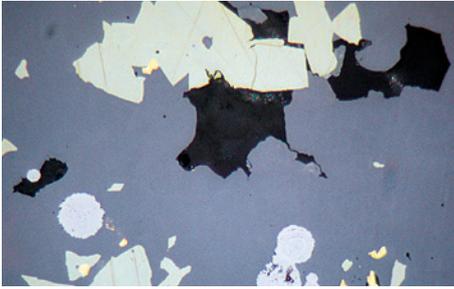
Die Schwarzen Raucher entlang der Mittelozeanischen Rücken werden überwiegend aus eisenreichen Sulfiden aufgebaut, an denen wenig wirtschaftliches Interesse besteht. Hier machen Kupfer und Zink zusammen etwa nur ein Achtel der Massivsulfide aus. Die Goldgehalte liegen bei knapp über 1 Gramm pro Tonne. Eine besondere Klasse von Vorkommen hat sich an den Rücken des Atlantischen und Indischen Ozeans an Verwerfungen abseits der zentralen vulkanischen Rückenachse gebildet. Hier sind durch

tektonische Prozesse Gesteine des oberen Erdmantels am Meeresboden aufgeschlossen. Massivsulfide, die an solche Gesteine gebunden sind, weisen erhöhte Kupfer und Goldgehalte auf. Die Vorkommen im Südwestpazifik, wie zum Beispiel im Manus Becken,

zeigen die höchsten Kupfer-, Zink-, und Goldgehalte und sind daher für einen möglichen Bergbau besonders interessant. Neben diesen Elementen gibt es aber auch eine ganze Reihe von Metallen, die in Spuren von einigen Gramm pro Tonne in solchen Sulfiden enthalten sein können und in eine wirtschaftliche Betrachtung einfließen könnten. Allerdings sind die Gehalte sehr großen Schwankungen unterworfen und die Ergebnisse der Untersuchungen zu ihrer Verteilung noch sehr lückenhaft.

Veränderung verschiedener Metallpreise von 2000 – 2019 Quelle: InfoMine.com





Mikroskopische Aufnahmen von Massivsulfiden

Links: kleine, hellgelbe Goldflitter als Einschlüsse in verschiedenen Sulfiden. Die Größe der Goldkörner liegt zwischen 2 – 10 Mikrometern. Rechts: Die physikochemischen Eigenschaften der heißen Lösungen bilden Wechsellagerungen aus Zinksulfiden [mittelgrau] und Kupfersulfiden [gelb, hellgrau, braun].

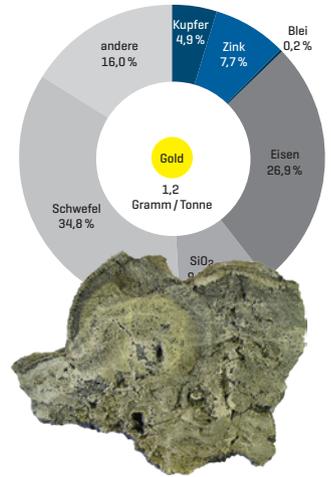
Die südwestpazifischen Vorkommen befinden sich zusätzlich in vergleichsweise geringen Wassertiefen mit weniger als 2.000 Metern sowie in den Wirtschaftszonen von Anrainerstaaten, was einem möglichen Abbau technologisch und rechtlich entgegenkommt. Die Firma Nautilus Minerals hat im Januar 2011 die erste Abbaulizenz für ein Vorkommen mit circa zwei Millionen Tonnen Sulfid in den Hoheitsgewässern von Papua-Neuguinea erhalten.

Das größte bekannte Sulfidvorkommen befindet sich im Roten Meer. Hier treten die Sulfide nicht als Schwarze Raucher, sondern in Form eisenreicher Erzschlämme mit erhöhten Gehalten an Kupfer, Zink, Silber und Gold auf. Dieses Vorkommen in Wassertiefen um die 2.000 Meter ist seit den 1960er Jahren bekannt. Dank der schlammigen Konsistenz dieser Lagerstätten erscheint ein Abbau technisch unproblematisch und wurde bereits in den 1980er Jahren erfolgreich getestet. Für dieses Vorkommen wurde 2010 eine auf 30 Jahre befristete Abbaulizenz gewährt, wobei noch nicht bekannt ist, wann mit einem Abbau begonnen werden soll.

Über 90 Prozent aller bekannter Vorkommen sind zu klein, um wirtschaftlich interessant

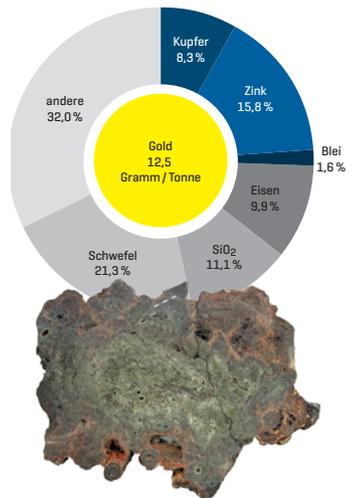
zu sein. Bisher fand die Erkundung immer über Anomalien in der Wassersäule statt. Das bedeutet: Ein aktiver schwarzer Raucher ist durch seine „Rauchfahne“ in der Wassersäule leicht zu finden. Diese Anomalien können über große Bereiche und über größere Entfernung bestimmt und zu ihrer Quelle zurückverfolgt werden. Dies führt allerdings dazu, dass bei der Suche nur aktive Schwarze Raucher gefunden werden. Diese Systeme sind aber sehr jung und daher auch sehr klein. Zur Erkundung inaktiver, größerer Erzvorkommen gibt es noch großen Forschungsbedarf. So wurden im Rahmen des EU-Projektes „Blue Mining“ bereits Technologien für die Suche nach diesen wirtschaftlich interessanteren Vorkommen entwickelt.

Während bei Knollen und Krusten die Probenahme direkt am Meeresboden für Rohstoffberechnungen ausreicht, sind bei Massivsulfiden Bohrungen unerlässlich, um Informationen aus dem Inneren der Ablagerungshügel zu bekommen. So hat sich bei vielen Untersuchungen gezeigt, dass es große Unterschiede in den Metallgehalten zwischen Proben von der Oberfläche und aus dem Inneren gibt. Da solche Bohrungen nur von wenigen Vorkommen existieren, sind Abschätzungen des globalen Rohstoffpotentials der Massivsulfide bisher kaum möglich.



Schwarzer Raucher vom Mittelatlantischen Rücken

Viele Vorkommen an Mittel-ozeanischen Rücken werden vorwiegend aus Eisen-Schwefelverbindungen aufgebaut.



Schwarzer Raucher aus dem östlichen Manus Becken vor Papua-Neuguinea

Deutlich ist der Unterschied zwischen einem kupferreichen Kern und einem bräunlichen zinkreichen Außenbereich zu sehen. Der durchschnittliche Goldgehalt beträgt für diese Probe 15 Gramm Gold pro Tonne Erz.



Fazit: Nach heutigem Stand scheinen nur wenige der bekannten Massivsulfid-Vorkommen über die ausreichende Größe und Metallgehalte zu verfügen, um wirtschaftlich abbauwürdig zu sein. Um dieses Bild zu ändern, ist es nötig, neue Erkundungstechnologien zu entwickeln, die über die Suche nach kleinen, aktiven Vorkommen hinausgehen, und nach großen, inaktiven Vorkommen abseits der vulkanisch aktiven Zonen zu suchen. Trotzdem erscheint das Rohstoffpotential der Massivsulfide, verglichen mit dem der Manganknollen oder kobaltreichen Mangankrusten, eher gering zu sein. Allerdings sind, aufgrund des dreidimensionalen Charakters der Vorkommen, die Umweltauswirkungen eines Abbaus vermutlich deutlich geringer als bei den großen Flächen, die bei einem Abbau von Knollen und Krusten zu erwarten sind.



1



2



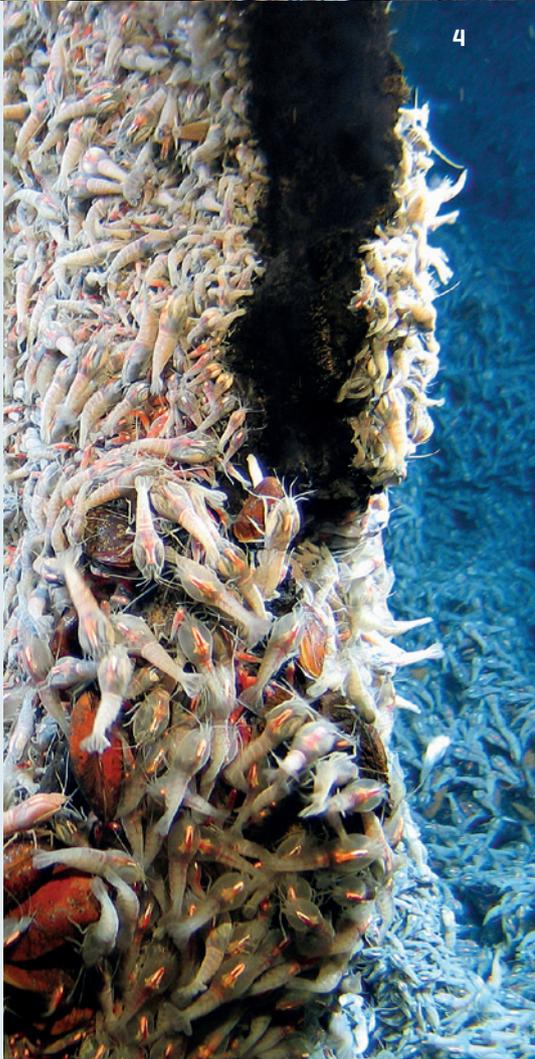
3

Biodiversität

Das erste Leben auf der Erde könnte an den Schwarzen Rauchern in der Tiefsee entstanden sein. Hier hat sich im Laufe von Jahrmillionen ein Ökosystem entwickelt, das perfekt an die eigentlich lebensfeindlichen Bedingungen angepasst ist.

In einer Umgebung von absoluter Dunkelheit, mit extremem Wasserdruck sowie mit giftigen Metallverbindungen angereichertem Wasser und Temperaturen von mehr als 350 Grad Celsius befindet sich dort eine einzigartige Artengemeinschaft: Dichte Populationen von Schnecken [1], Muscheln [2], Krebsen [3], Garnelen [4] und Röhrenwürmern [5] bevölkern die Hydrothermalquellen. Basis dieses Ökosystems bilden Matten von urtümlichen Mikroorganismen [6], die, unabhängig vom Licht, ihre Energie aus der Umwandlung von Schwefel und Methan beziehen.

Fotos: ROV KIEL 6000/GEOMAR



4



5



6