

Durch vulkanische Aktivität am Meeresboden sind in Millionen Jahren Seeberge, auch Seamounts genannt, in die Höhe gewachsen. Seamounts kommen in allen Meeren vor und erreichen eine Höhe von 1.000 bis 4.000 Metern. An ihnen bilden sich oft steinharte, metallhaltige Beläge, die in der Fachwelt als kobaltreiche Eisenmangan-krusten oder auch kurz Kobaltkrusten bekannt sind.

KURZSTECKBRIEF KOBALTKRUSTEN	
Hauptvorkommen	Sedimentfreie Hänge von alten submarinen Vulkanen
Wassertiefe	800 bis 2.500 Meter
Hauptbestandteile	Silikate, Mangan- und Eisenoxide
wirtschaftlich interessante Metalle	Kobalt, Nickel, und Seltene Erden (in Spuren auch Molybdän, Tellur, Zirkon und Platin)
Anwendung	High-Tech-Metalle, Umwelt- und Energietechnik

Rund 33.000 Seamounts gibt es in allen Meeren – wahrscheinlich. Denn die Ozeanböden sind bei Weitem nicht so genau kartiert wie die Kontinente. Die Zahl beruht auf Hochrechnungen bisher bekannter Strukturen. Es gibt also noch viele Chancen auf Neuentdeckungen.

Die Kobaltkrusten an den sedimentfreien Flanken der Seeberge entstehen ähnlich wie Manganknollen, indem sich im Laufe von Jahrmillionen Metallverbindungen im Wasser auf dem Gestein ablagern. Wie bei den Manganknollen läuft diese Ablagerung ausgesprochen langsam ab: Pro Million Jahre wachsen die Krusten 1 bis 5 Millimeter und damit sogar noch langsamer als die Manganknollen. Auch Kobaltkrusten gelten als mögliche untermeerische Erzlagerstätten. Da sie aber fest mit dem felsigen Untergrund verbunden sind, können sie nicht wie Manganknollen vom Meeresboden aufgelesen werden.

#### Bruchstück einer Kobaltkruste

Die Probe wurde Anfang 2018 während der Expedition MSM70 mit dem Forschungsschiff MARIA S. MERIAN am Carter Seamount (einem Teil der Bathymetrist Seamount Chain) aus einer Tiefe von 2.750 bis 2.450 Metern Metern genommen. Foto: Jan Steffen / GEOMAR

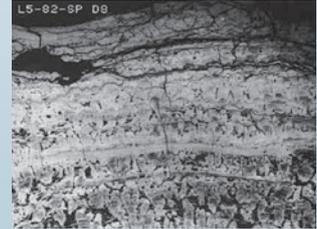


# Entstehung von Kobaltkrusten

Kobaltkrusten entstehen auf allen freiliegenden Gesteinsoberflächen an untermeerischen Erhebungen, vor allem auf Seamounts. Die Gesteinsoberflächen nehmen Metalle aus dem umgebenden Meerwasser auf und bilden in einem langem Zeitraum von Millionen Jahren daraus Beläge aus Eisen- und Manganoxiden, deren Dicke, abhängig vom Alter der Seeberge, von wenigen Millimetern bis zu ein paar Dezimetern reicht.

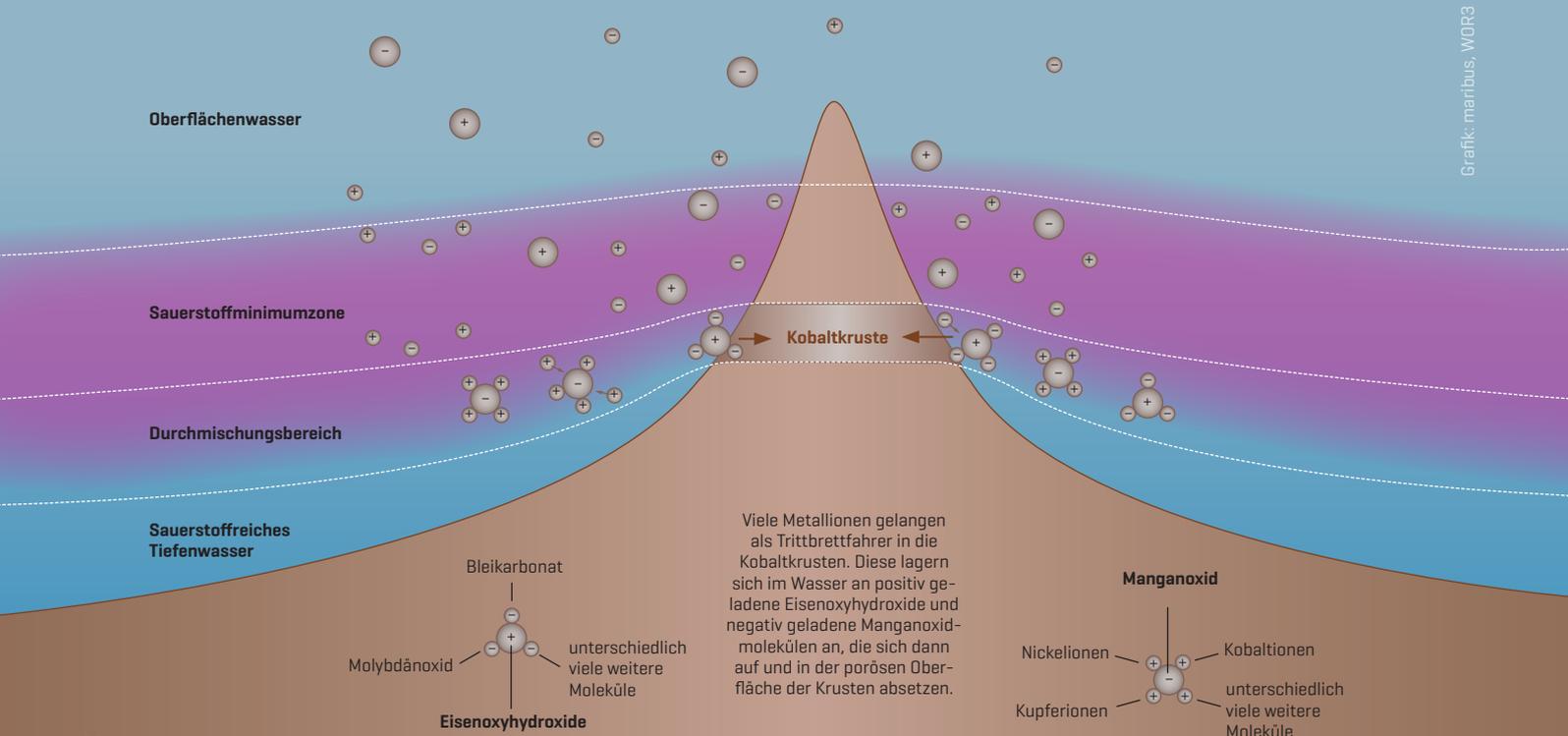
Zum Teil wirken Seamounts wie gigantische Rührstäbe im Meer, die große Wirbel erzeugen, in denen auch Metallverbindungen enthalten sind, die sich dann auf dem Gestein ablagern. Eine weitere wichtige Voraussetzung für die Bildung von Kobaltkrusten ist, dass der Fels oder die aufwachsenden Krusten frei von Ablagerungen sind. Auch hierfür sind die Bedingungen an Seebergen ideal: Die Strömungen tragen die feinen Sedimente fort und halten das Gestein und die Krusten frei. Kobaltkrusten findet man in Tiefen von 600 bis 7.000 Metern. Die dicksten und wertstoffreichsten Krusten befinden sich allerdings im oberen Bereich der Seeberghänge, die gut angeströmt werden. Im Durchschnitt liegen diese in Wassertiefen von 800 bis 2.500 Metern in der Nähe der Sauerstoffminimumzone.

Die Kobaltkrusten bilden sich, wenn Metallionen im Wasser mit Sauerstoff zu Oxiden reagieren, die sich auf dem Fels der Seeberge ablagern. Oxide können sich aber nur dort bilden, wo das Meerwasser ausreichend Sauerstoff enthält. Paradoxe Weise aber finden sich an Seebergen die mächtigsten Kobaltkrusten in der Nähe der Sauerstoffminimumzone, in der das Meerwasser am wenigsten Sauerstoff enthält. Dieser Widerspruch lässt sich allerdings auflösen: Da in der Sauerstoffminimumzone sehr wenig Sauerstoff vorhanden ist, reichern sich die freien Ionen im sauerstoffarmen Wasser an. An Seamounts aber strömt sauerstoffreiches Tiefenwasser vom Meeresboden empor. So entsteht ein Durchmischungsbereich, in dem sich Oxide bilden können, die sich dann als Niederschlag auf den Gesteinsoberflächen absetzen und im Laufe der Zeit die Krusten bilden.

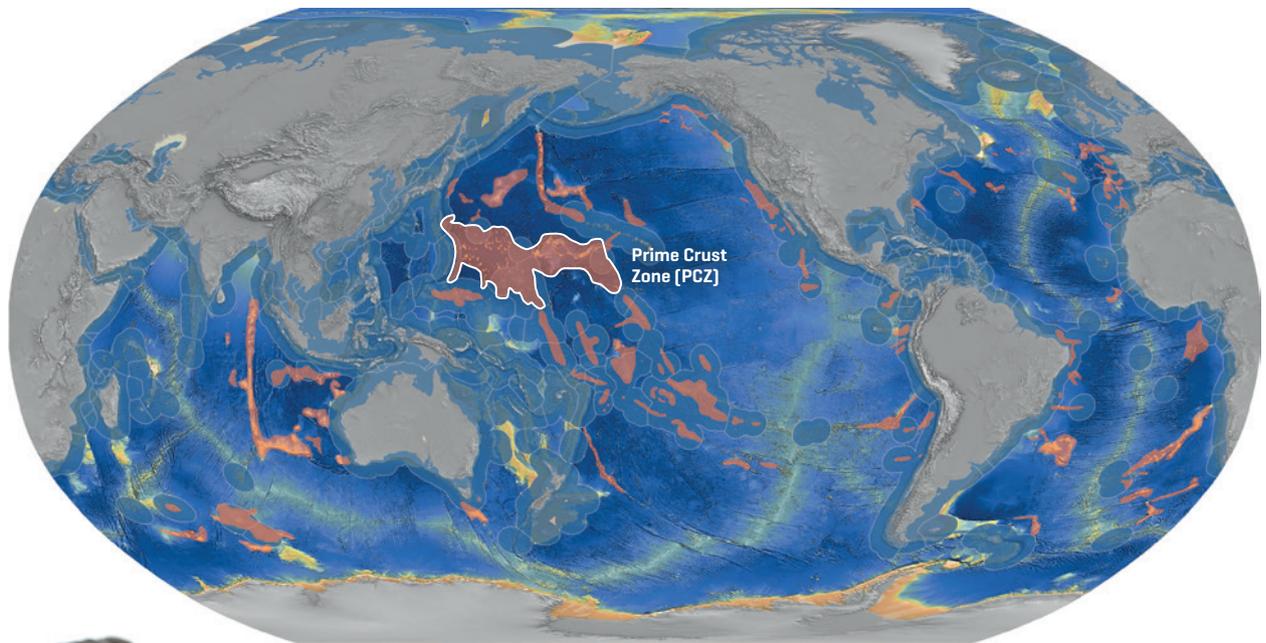


### Komplexe innere Struktur

Ähnlich wie ein Schwamm oder Aktivkohle, die oft als Filtersubstanz im Aquarium eingesetzt wird, sind Kobaltkrusten sehr porös. Dank dieser vielen nur wenige Mikrometer kleinen Poren haben die Krusten eine große innere Oberfläche. So wie in den Poren eines Aktivkohlefilters Schadstoffe hängen bleiben, lagern sich an der großen Oberfläche der Krusten Metallverbindungen ab. Foto: James Hein / USGS



Grafik: maribus, WOR3



**Verteilung von Kobaltkrusten im Ozean**

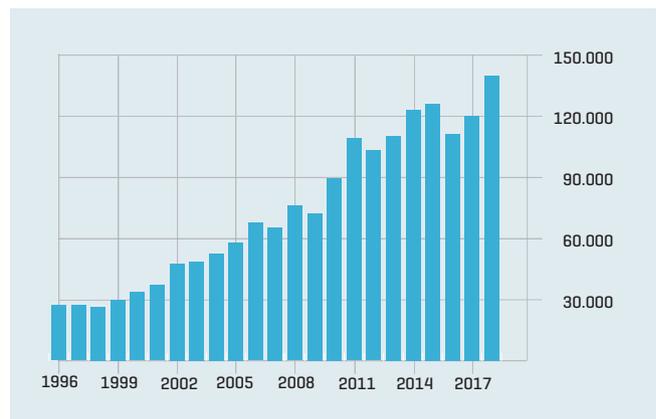
Gebiete von besonderem wirtschaftlichem Interesse und Grenzen der Ausschließlichen Wirtschaftszonen sind hervorgehoben. Im Gegensatz zu den Manganknollen treten die Krusten vermehrt innerhalb der 200-Seemeilen-Zonen der jeweiligen Anrainerstaaten auf. Karte: Sven Petersen / GEOMAR

## Vorkommen und Rohstoffpotenzial von Kobaltkrusten

Weltweit sind etwa 23 Millionen Quadratkilometer für die Bildung von wirtschaftlich interessanten Kobaltkrusten geeignet. Diese Fläche lässt sich mit Hilfe einer Kombination von Faktoren aus Topographie und Morphologie des Meeresbodens, des Alters der Ozeankruste und globaler Sedimentationsraten weiter eingrenzen, so dass sich eine Fläche von etwa 3 Millionen Quadratkilometern ergibt, die für die Erkundung von Kobaltkrusten von gesteigertem Interesse sein könnte.

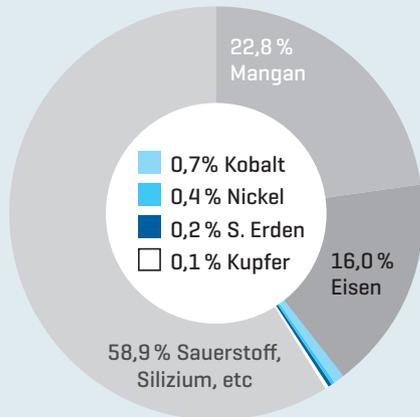
Wie bei den Manganknollen machen die in den Kobaltkrusten angereicherten Metalle Mangan und Eisen den Hauptanteil aus. Die wirtschaftlich interessanten Metalle sind Kobalt, Nickel und Seltene Erden. Kobalt ist das derzeit wichtigste Spurenmetall und erreicht oft Gehalte über 0,5 Prozent. Die

Wirtschaftlich interessante Krusten mit Dicken von über vier Zentimetern und erhöhten Wertmetallgehalten bilden sich überwiegend an den durch Strömungen sedimentfrei gehaltenen Hängen alter Seamounts in Wassertiefen zwischen 800 und 2.500 Metern. Experten schätzen, dass es weltweit mindestens 33.000 Seeberge gibt. Davon kommen etwa 57 Prozent im Pazifik vor. Der Pazifik ist somit die wichtigste Kobaltkrustenregion der Welt, besonders interessant ist der Westpazifik. Hier findet man die ältesten Seeberge, die bereits vor rund 150 Millionen Jahren entstanden sind. Entsprechend viele Metallverbindungen konnten sich hier im Laufe der Zeit ablagern und vergleichsweise dicke Krusten bilden. Primäre Krustenzone (Prime Crust Zone, PCZ) wird das Gebiet rund 3.000 Kilometer südöstlich von Japan genannt.



**Globale Produktion von Kobalt in den Jahren 1996 bis 2018 in Tonnen.**

Der Anstieg des Bedarfs zeigt die vermehrte Verwendung von Kobalt in Lithium-Ionen-Akkus [zum Beispiel für elektrische Fahrzeuge] auf. Quelle: USGS Mineral Commodity Summaries for Cobalt [1997-2019]



Durchschnittlicher Metallgehalt von Kobaltkrusten in der Prime Crust Zone.  
Quelle: Hein und Koschinsky, 2014



Probe aus ca. 1.700 Meter Wassertiefe von einem Seamount der Louisville-Kette im Südwest-Pazifik. Die Krusten aus dieser Region enthalten bis 1,6 Prozent Kobalt und sind signifikant angereichert an Seltenen Erden, Molybdän und Titan. Foto: BGR

Seltenen Erden sind in Mangankrusten angereichert, und ihre Konzentration liegt mit zusammen 0,16 bis 0,25 Prozent sogar über der in Manganknollen. Dies macht Kobaltkrusten zu einer interessanten Rohstoffquelle für High-Tech-Metalle und Anwendungen in der Umwelt- und Energietechnik. Andere Metalle, wie Molybdän und Tellur treten überwiegend in Spurenkonzentration von wenigen Gramm pro Tonne auf. Ob solche Konzentrationen wirtschaftlich gewinnbar sind, wird noch untersucht.

Schätzungen des Rohstoffpotentials der Krusten allein in der Prime Crust Zone gehen von über 7,5 Milliarden Tonnen aus, die etwa viermal mehr Kobalt und neunmal mehr Tellur enthalten als die bekannten Reserven an Land. Ähnlich wie bei den Manganknollen handelt es sich bei den Mangankrusten also um einen Rohstoff, dessen mariner Abbau eine sichere Versorgung der Industrie über viele Jahre ermöglichen könnte. Eine direkte Beprobung und Messung der Dicke von Kobaltkrusten ist allerdings schwierig, da Gesteinsbrocken abgerissen oder herausgebohrt werden müssen. Die lokalen Unterschiede sind

kaum bekannt, und die punktuelle Untersuchung ist ausgesprochen aufwendig und teuer. Präzise Messgeräte, die in der Tiefe die Dicke der Krusten zentimetergenau vermessen könnten und vom Fels unterscheiden können, gibt es bisher noch nicht.

Anders als bei den Manganknollen liegen die meisten ergiebigen Krustenvorkommen auch nicht in den internationalen Gewässern der Hohen See, sondern in den ausschließlichen Wirtschaftszonen verschiedener Inselstaaten. Über einen zukünftigen Abbau können dort nur die jeweiligen Regierungen bestimmen. Konkrete Pläne gibt es derzeit aber in keinem dieser Länder. Für die Krustenvorkommen in internationalen Gewässern gibt es seit 2012 ein verbindliches Regelwerk der Internationale Meeresbodenbehörde zur Exploration. Seitdem haben bereits China, Japan, Brasilien, Russland und seit 2018 auch Korea Erkundungslizenzen für kobaltreiche Mangankrusten erworben. Es liegen jedoch nur Konzepte für mögliche Abbaugeräte vor, und Tests haben bisher nicht stattgefunden.



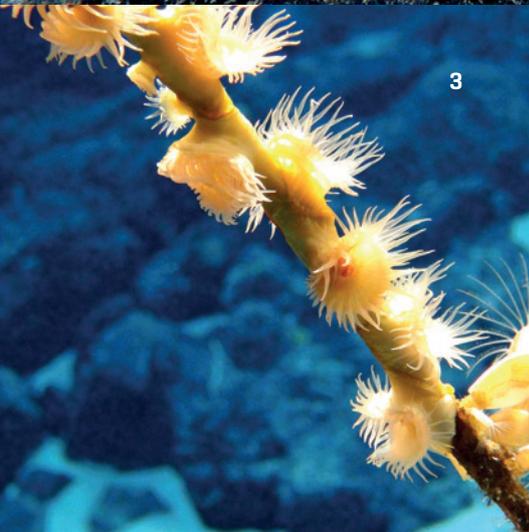
Kobaltkrusten sind eine vielversprechende Ressource am Meeresboden, da sie große Mengen an Kobalt, Nickel, Mangan und anderen Metallen enthalten, die die Gehalte in Landlagerstätten zum Teil übertreffen könnten. Allerdings gibt es nur wenige Vorkommen in internationalen Gewässern, für die Erkundungslizenzen beantragt wurden. Da Kobaltkrusten fest mit dem felsigen Untergrund verbunden sind, können sie nicht einfach wie Manganknollen vom Meeresboden aufgelesen werden, vielmehr müsste man sie aufwendig vom Untergrund abtrennen. Die Umweltauswirkungen eines Abbaus werden als ähnlich gravierend angenommen wie bei Massivsulfiden und Manganknollen, allerdings wären, im Vergleich zu Manganknollen, nur kleinere Abbaufächen betroffen.



1



2



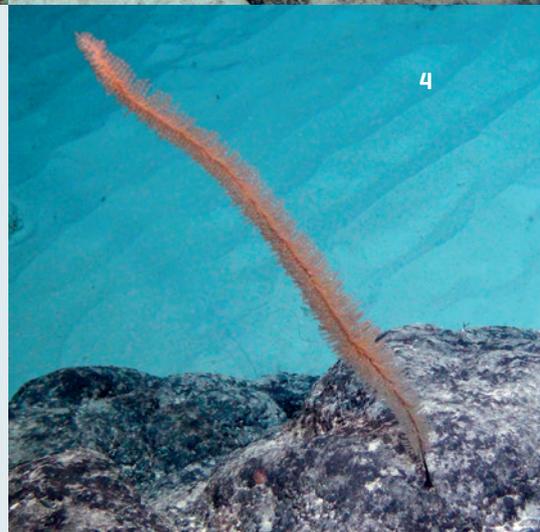
3

## Biodiversität

Die Artenzusammensetzung an Seebergen unterscheidet sich von Meeresgebiet zu Meeresgebiet deutlich. Die hier gezeigten Aufnahmen zeigen Organismen an Seamounts in der Clarion-Clipperton-Zone im Zentralpazifik: Tiefseekrebs [1], Weichkoralle [2], Anemonen und Entenmuscheln [3], Antipatharia Koralle [4], Garnele [5] Gestielter Schwamm [6] und Seegurke [7]

Die große Artenvielfalt an Seamounts ist auf die besonderen Meeresströmungen zurückzuführen: Zum einen werden Nährstoffe durch die kreisenden Strömungen am Seeberg gehalten, zum anderen wird nährstoffreiches Wasser durch die Strömungen an den Seebergen aus der Tiefe heraufbefördert, was zu verstärktem Planktonwachstum führt.

Fotos: ROV-KIEL 6000 / GEOMAR



4



5



6



7