

Vulkanismus und erzbildende Prozesse an Subduktionszonen

Dr. Philipp A. Brandl, Dr. Sven Petersen (GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

An Inselbogenvulkanen können sich im Untergrund, nahe des entgasenden Magmas, Lagerstätten für ökonomisch interessante Metalle wie Kupfer, Molybdän oder Gold bilden.

- Vulkanausbrüche entlang von Subduktionszonen können wegen der Zähflüssigkeit der Lava und den bestehenden Druckverhältnissen besonders gefährlich sein.
- Unter Wasser kommt es bei vulkanischer Aktivität zur Interaktion zwischen mehreren hundert Grad heißem Magma und Meerwasser. Im Flachwasser kann es daher zu explosiven Vulkanausbrüchen kommen
- Entlang von Inselbogenvulkanen kommt es zu vielfältigen Prozessen der Erzbildung. Hier finden sich Metalle wie Kupfer, Molybdän und Gold, aber auch wirtschaftlich interessante Spurenmetalle wie Antimon oder Indium.

Subduktion ist in der Geologie ein grundlegender Prozess der Plattentektonik. Vereinfacht gesagt, kollidiert hier eine ozeanische Platte mit einer kontinentalen und taucht unter dieser ab. Subduktionszonen sind daher sogenannte destruktive Plattengrenzen, weil sich an ihnen einzelne Lithosphärenplatten – Erdkruste und der obere starre Erdmantel – aufeinander zu bewegen und letztlich eine der beiden zurück in den zähflüssigen Erdmantel (die sogenannte Asthenosphäre) absinkt und dort quasi „recycelt“ wird.

Dabei entscheidet die spezifische Dichte der jeweiligen Platten, welche der beiden unter die andere abtaucht. Weil die kontinentale Kruste eine geringere Dichte als die ozeanische hat, tauchen die ozeanischen Platten unter den kontinentalen weg. Bewegen sich dagegen zwei ozeanische Platten aufeinander zu, wird diejenige subduziert, die älter und kälter ist, und somit die spezifisch höhere Dichte aufweist. In diesem Sonderfall spricht man von intra-ozeanischen Subduktionszonen (Abb. 1).

Woran erkennt man Subduktionszonen?

Von ihrer Form her, das heißt morphologisch, erkennt man Subduktionszonen anhand der Tiefseerinnen, die eine Wassertiefe von bis zu 11 Kilometern aufweisen können. Die ozeanische Lithosphäre, die in den Erdmantel abtaucht, führt große Mengen Wasser mit sich, das in die Kristallstruktur von Mineralen wie z. B. Amphibol eingebaut ist. In der Tiefe werden diese Minerale durch den enormen Druck instabil und geben das enthaltene Wasser sowie andere flüchtige Elemente wie Kohlenstoff, Schwefel, Halogene (Chlor, Fluor, Brom etc.), aber auch Metalle frei. Diese Elemente steigen in den darüber liegenden heißen Mantelkeil auf und setzen dort den Schmelzpunkt des Mantelgesteins herab. So kommt es zur Bildung von Magma (Abb. 1).

Diese Gesteinsschmelze steigt dann nach oben und bildet an der Erdoberfläche Vulkane. Wie an einer Perlenschnur aufgereiht, findet man diese in einem gewissen Abstand hinter der Tiefseerinne. Aufgrund ihrer gebogenen Form werden diese Zonen allgemein als magmatische Bögen oder, im Fall von intraozeanischen Subduktions-

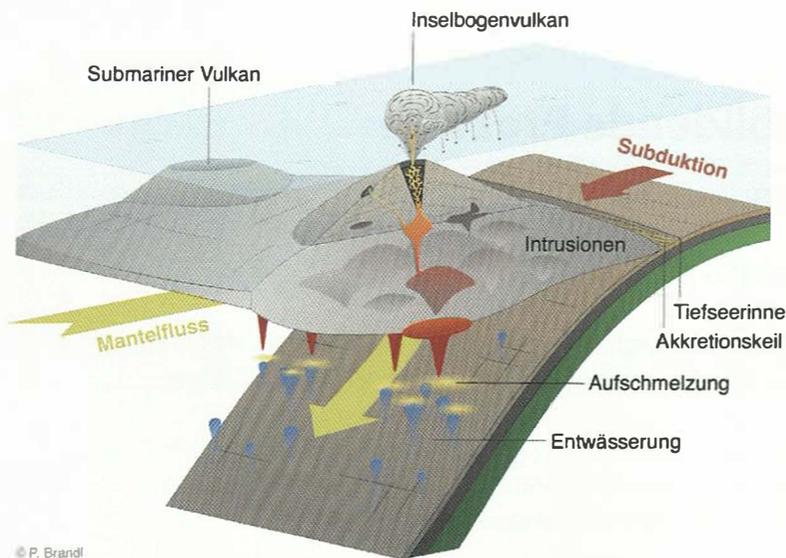


Abb. 1: Schemazeichnung einer Subduktionszone mit nachgelagertem Inselbogen. Wasser aus der subduzierten Platte führt zur Aufschmelzung im darüber liegendem heißen Mantelkeil. Die entstehenden Schmelzen steigen auf, erstarren in der Tiefe als Intrusionen oder formen Vulkane an der Oberfläche. Grafik: Philipp Brandl

zonen, wo nur die Spitzen einiger Vulkane über den Meeresspiegel herausragen, als Inselbögen bezeichnet. Auffällig ist, dass fast der gesamte Pazifische Ozean von Subduktionszonen umgeben ist. Die Vielzahl an Vulkanen entlang der Pazifischen Platte prägte den Begriff des Pazifischen Feuerrings. Zu ihm gehören die Inselbögen der Aleuten, Izu-Bonin, Marianen, Salomonen, Neue Hebriden (Vanuatu), Tonga und Kermadec sowie die aktiven Kontinentalränder Japans, Kamtschatkas, der Kaskaden und der Anden.

Gefährlicher Vulkanismus an Subduktionszonen

Im Gegensatz zu den Schmelzen am Mittelozeanischen Rücken, enthält Magma, das an Subduktionszonen gebildet wird, einen relativ hohen Anteil an Wasser und anderen flüchtigen Elementen. In der Wissenschaft spricht man hier auch von sogenannten „Volatilen“. Dies hat zwei Effekte: Zum einen kommt es zu einer starken magmatischen Differenzierung der Gesteine und andererseits zu einem hohen Gas- bzw. Fluiddruck. Die Differenzierung hat zur Folge, dass das Magma zunehmend höhere Gehalte an Siliziumdioxid (SiO_2) aufweist und damit zähflüssiger wird.

Während basaltische Schmelzen an einem Mittelozeanischen Rücken z. B. ca. 50 Gewichtsprozent SiO_2 aufweisen, haben andere vulkanische

Gesteinsorten wie Andesite, Dazite oder Rhyolite an Inselbogenvulkanen SiO_2 -Gehalte von 57 bis über 75 Gewichtsprozent. Zusammen mit den enthaltenen Volatilen ergibt sich aus dieser Zähflüssigkeit eine gefährliche Kombination, denn sie erschwert die kontinuierliche Entgasung während des Aufstiegs der Schmelzen. Daraus kann ein Überdruck entstehen, der in einem explosiven Vulkanausbruch mündet. Dies ist der Grund, warum Vulkanismus im Zusammenhang mit Subduktionszonen so gefährlich und teils zerstörerisch ist.

Vulkanausbrüche unter Wasser

Unter Wasser kommt es bei vulkanischer Aktivität zur Interaktion zwischen mehreren hundert Grad heißem Magma und Meerwasser. Im Flachwasser kann es dabei zu einer sogenannten „Surtseyanischen Aktivität“ kommen, benannt nach dem Ausbruch des Vulkans Surtsey 1963 südlich vor Island. Hierbei kommt es zur explosionsartigen Entstehung von Wasserdampf und der plötzlichen Ausdehnung der in der Schmelze enthaltenen Volatile.

Die entstehenden Eruptionsprodukte bestehen überwiegend aus Asche, Tuff und fragmentierter Lava wie z. B. Bimsstein, und die Eruptionssäule durchbricht die Wasseroberfläche. Mit zunehmender Wassertiefe nimmt jedoch die Tendenz für explosive Eruptionen ab, da der steigende



Abb. 2: Blick in den Krater von White Island, einem Inselbogenvulkan nördlich von Neuseeland. Der Kratersee des aktiven Vulkans besteht aus magmatischen Fluiden wie Wasser oder Schwefelwasserstoff, gelöstem Gestein und Regenwasser und ist extrem sauer. White Island setzt kontinuierlich große Mengen an Schwefelgasen frei. Foto: P. Brandl (Aufnahme: Dezember 2009)

Umgebungsdruck eine hemmende Wirkung auf die Entwicklung von Gasblasen und damit die Explosivität von Vulkanausbrüchen hat. In diesen Fällen durchbricht die Eruptionssäule häufig nicht die Wasseroberfläche, und es überwiegen Ausbrüche mit untermeerischen Lavaströmen.

Wie lösen sich wertvolle Minerale aus dem Gestein?

Die Wärme des Magmas und das umgebende Meerwasser sind die Grundzutaten für hydrothermale Systeme. Wasser dringt in das Gestein ein, erhitzt sich und beginnt das Gestein umzuwandeln, also zu „alterieren“. Bestimmte Elemente, u. a. viele Metalle, werden aus dem Gestein gelöst und in der Lösung angereichert und transportiert. Diese Lösungen können Temperaturen von über 400 °C erreichen und erhalten dadurch einen positiven Auftrieb, der sie zur Meeresbodenoberfläche aufsteigen lässt. Dort kommt es zum Kochen der Lösung und/oder zur Mischung mit dem kalten Meerwasser und so zur Abscheidung aus der mineralreichen Lösung. An Inselbögen kommt noch ein direkter Eintrag magmatischer Fluide, Gase und Metalle dazu (Abb. 2). Je nach Anteil des magmatischen Eintrags spricht man von Seewasser-dominierten oder magmatisch-hydrothermalen Hybridsystemen.

Vor allem letztere finden sich häufig an Inselbogenvulkanen. Im Untergrund, nahe des entgasenden Magmas kann es zur Bildung sogenannter porphyrischer Lagerstätten kommen, die für ihre ökonomisch wichtigen Metalle Kupfer, Molybdän und Gold bekannt sind. Der Begriff „porphyrisch“ bezeichnet dabei das Gefüge eines Gesteins, welches aus einer feinkörnigen Matrix und makroskopisch sichtbaren Einsprenglingen besteht.

Näher an der Oberfläche und daher bei niedrigeren Temperaturen von ca. 150–300 °C bilden sich sogenannte epithermale Mineralisationen, die wichtige Vorkommen an Gold, Silber und Tellur darstellen. Überwiegt das hydrothermale System, kommt es zu Massivsulfid-Erzbildungen ähnlich denen am Mittelozeanischen Rücken. Neben den Metallen Kupfer und Zink sind Massivsulfide an Inselbögen jedoch darüber hinaus mit wirtschaftlich interessanten Spurenmetallen wie Antimon, Gallium, Germanium, Indium, Wismut und Zinn angereichert. Das Erforschen der aktiven, erzbildenden Prozesse in der Tiefsee trägt dazu bei, unser Verständnis dieser Lagerstätten zu verbessern. Dies hilft, die Rohstoffgewinnung an Land zu verbessern und die Rohstoffversorgung für grüne Zukunftstechnologien zu sichern.

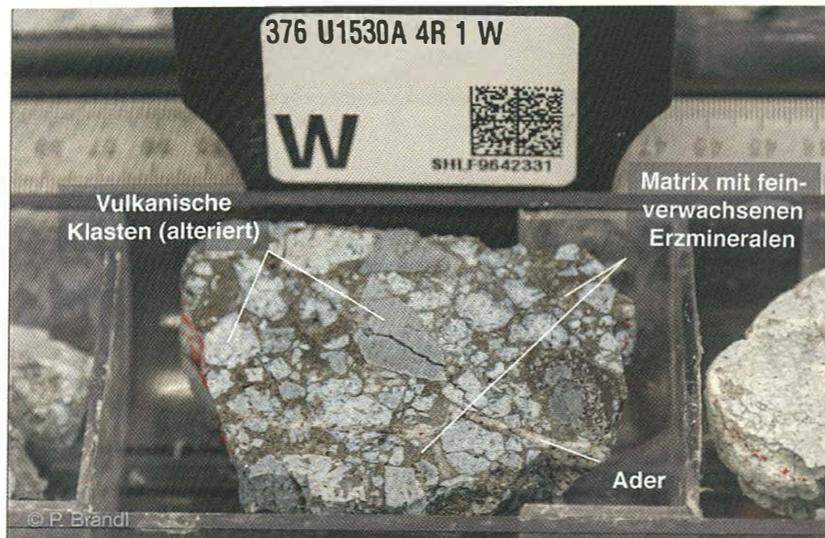


Abb. 3: Auf dem Bild sieht man den Teil eines Bohrkerns, der 2018 während IODP (International Ocean Discovery Program) Expedition 376 aus dem Inneren des submarinen Brothers-Vulkans nördlich von Neuseeland erbohrt wurde. Das Handstück zeigt eine sogenannte vulkanoklastische Brekzie, also ein Gestein, das aus Bruchstücken vulkanischer Gesteine besteht. In der Matrix der stark alterierten Brekzie finden sich feinverwachsene Erzminerale wie Pyrit und Kupferkies. Auch eine Ader, gebildet durch zirkulierende Fluide, ist sichtbar. Foto: P. Brandl

Referenzen

- Brandl, P. A., Hannington, M. D., Geersen, J., Petersen, S. & Gennerich, H.-H. (2020). The submarine tectono-magmatic framework of Cu-Au endowment in the Tabar-to-Feni island chain, PNG. *Ore Geology Reviews*, 121:103491. doi:10.1016/j.oregeorev.2020.103491
- de Ronde, C., Humphris, S. E., Hofig, T. W., Reyes, A. G. & the IODP Expedition 376 Scientists. (2019). Critical role of caldera collapse in the formation of seafloor mineralization: The case of Brothers volcano. *Geology*, 47(8), 762-766. doi:10.1130/G46047.1
- de Ronde, C. E. J., Massoth, G. J., Butterfield, D. A., Christenson, B. W., Ishibashi, J., Ditchburn, R. G., ... Takai, K. (2011). Submarine hydrothermal activity and gold-rich mineralization at Brothers Volcano, Kermadec Arc, New Zealand. *Miner Deposita*, 46, 541-584. doi:10.1007/s00126-011-0345-8
- Hannington, M. D., de Ronde, C. & Petersen, S. (2005). Sea-floor tectonics and submarine hydrothermal systems. In J. W. Hedenquist, J. F. H. Thompson, R. J. Goldfarb & J. P. Richards (Hrsg.), *Economic Geology. One Hundredth Anniversary Volume, 1905-2005* (S. 111-141). Littleton: Society of Economic Geologists, Inc. doi:10.5382/AV100.06