

Marine Supervulkane und deren Auswirkungen in der Erdgeschichte

PD Dr. Jörg Geldmacher, Dr. Reinhard Werner, Dr. Folkmar Hauff
(GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Dr. Gabriele Uenzelmann-Neben

(Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung AWI)

Millionen von Quadratkilometern im Meer sind von gigantischen Lavaschichten bedeckt. Sie sind das Resultat des Flutbasalt-Vulkanismus. Dabei entstand vulkanisches Gestein, welches auch zur Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre beitragen kann. Erdgeschichtlich führte dieser Vulkanismus jedoch immer wieder zum Massenaussterben von Arten.

- Flutbasalt-Vulkanismus ist selten und Folge außergewöhnlicher geologischer Prozesse.
- Dieser Vulkanismus kann zu einem globalen Massenaussterben führen. So geschehen vor 56 Millionen Jahren als gigantische Mengen CO₂ freigesetzt wurden.
- Innerhalb weniger tausend Jahre erwärmte sich die Erde um fünf bis acht Grad Celsius. Nur der derzeitige menschengemachte Temperatur-Anstieg läuft noch schneller ab.
- Es dauerte damals 150.000 Jahre bis das CO₂ wieder aus der Atmosphäre verschwunden war.

Im Laufe der Erdgeschichte kam es immer wieder zu besonders großräumigen vulkanischen Ausbrüchen. Diese dauerten mehrere Millionen Jahre an und türmten Lavagebirge auf, die viele Millionen Kubikkilometer groß wurden und von der Fachwelt als „Flutbasalt-Provinzen“ bezeichnet werden. Ereignete sich ein solcher Ausbruch im Ozean, spricht man hier auch von ozeanischen oder marinen Plateaus (Abb. 1). Diese sind weit weniger erforscht als die Flutbasalte auf dem Festland, aber mindestens ebenso bedeutend für das Verständnis des Systems Erde.

Wie entstehen Flutbasaltprovinzen?

Die Entstehung aller Flutbasalt-Provinzen wird mit dem Aufstieg von heißem Material erklärt, das vermutlich aus der Grenzregion zwischen Erdkern und Erdmantel stammt. Obwohl der Erdmantel und das aufsteigende heiße Material aufgrund des sehr hohen Drucks nicht geschmolzen sind, kann das heiße Material den bis zu 2.900 Kilometer langen Weg bis zur unteren

Grenze der Lithosphäre – dabei handelt es sich um die äußere, starre Schicht der Erde, also die kontinentale bzw. die ozeanische Erdkruste und den oberen Erdmantel, durch langsames „Kriechen“ der einzelnen Mineralkörner in etwa 100 Millionen Jahren zurücklegen (Steinberger & Anretter, 2006). An der Basis der Lithosphäre herrscht ein geringerer Druck, sodass das immer noch heiße Gestein seinen Schmelzpunkt nun überschreitet und bis zu über 30 Prozent aufschmelzen kann. Selbst diese Teilmenge reicht aus, um weite Gebiete mit mehreren Kilometern dicker Lava zu bedecken.

Das größte Plateau im Ozean ist das Ontong-Java-Plateau im Westpazifik, das mit einer Fläche von 4,3 Millionen Quadratkilometern etwa 12 Mal so groß wie Deutschland ist (Ingle & Coffin, 2004). Man nimmt an, dass es einst mit den benachbarten Hikurangi- und Manihiki-Plateaus vereint war und somit eine Gesamtfläche von fast acht Millionen Quadratkilometern, also mehr als ein Prozent der gesamten

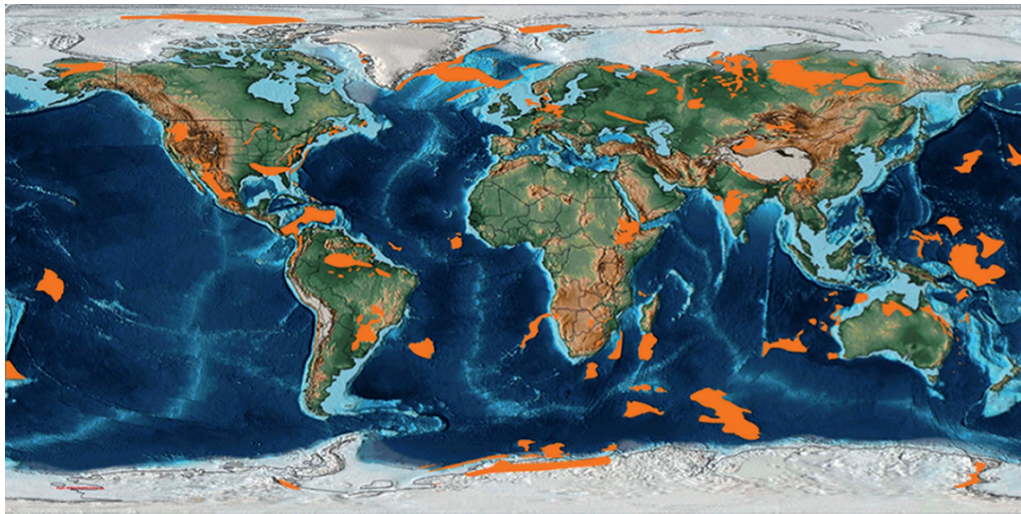


Abb. 1: Vorkommen von Flutbasalten auf den Kontinenten und ozeanischen Plateaus (Daten Johansson et. al., 2018). Karte: Stephan Homrighausen/GEOMAR, erstellt mit: PALEOMAP PaleoAtlas for GPlates and the PaleoData Plotter Program

Erdoberfläche, bedeckt hat (Hoernle et. al., 2010). Selbst die Laven des vergleichsweise kleinen Manihiki-Plateaus (Abb. 2) würden ausreichen, um ganz Deutschland, Frankreich und die Benelux-Länder mit einer zehn Kilometer mächtigen Gesteinsschicht zu bedecken.

Auswirkungen des Flutbasalt-Vulkanismus

Diese seltenen, aber enormen Ereignisse sind Zeugen außergewöhnlicher geologischer Prozesse, die einen bedeutenden Teil des Energie- und Massentransfers vom Erdinneren an die Erdoberfläche ausmachten, und oft in direktem Zusammenhang mit dem Wachstum und Auseinanderbrechen von Kontinenten standen.

Entstehungszeiträume von mehreren Millionen Jahren erscheinen für Menschen lang, sind aber geologisch gesehen nur eine kurze Zeitspanne. Entsprechend stark waren die Auswirkungen des Flutbasalt-/Plateau-Vulkanismus auf die globale Umwelt.

Für die letzten 300 Millionen Jahre zeigt sich eine fast perfekte zeitliche Übereinstimmung

dieses Vulkanismus mit globalen Massenaussterbe-Ereignissen (Courtillot & Renne, 2003; Ernst & Youbi, 2017). Als wichtigster Faktor gilt dabei die Freisetzung von großen Mengen vulkanischer Gase einschließlich Schwefelsäure und Treibhausgasen wie CO_2 , was zur massiven Störung der Atmosphärenchemie, des Sauerstoffaustausches zwischen Atmosphäre und Ozean oder der biologischen Produktivität führen kann (Wignall, 2005).

Vulkanisch-atmosphärische „Killer“-Mechanismen können dabei Ozeanversauerung, Vergiftung mit toxischen Metallen, saurer Regen, oder die Zerstörung der Ozonschicht sein. Mehrere globale „ozeanische anoxische Ereignisse“, bei denen die tiefen Wasserschichten der Weltozeane vollständig an Sauerstoff verarmten, werden mit Flutbasalt-/Plateau-Vulkanismus und der dadurch verursachten globalen Erwärmung in Verbindung gebracht (Bond & Grasby, 2017). Auch haben wachsende Plateaus Meeresströme blockieren bzw. ablenken können und damit ganze Meeresbecken von der Versorgung mit sauerstoffreichem Tiefenwasser abgeschnitten.

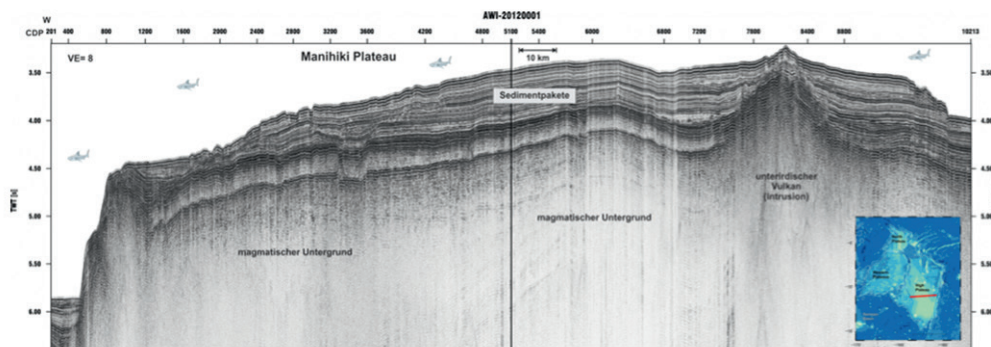


Abb. 2: Reflexionsseismisches Profil von etwa 100 Kilometer Länge über das Manihiki-Plateau von West nach Ost (rote Linie in Karte). Das Profil ist 8-fach überhöht. Man erkennt deutlich den magmatischen Untergrund und die darüber liegenden horizontalen Sedimentschichten. Im Osten auf der rechten Seite der Grafik erkennt man eine vulkanförmige Intrusion.

Grafik: Dr. Gabriele Uenzelmann-Neben

Vulkanismus vor 56 Millionen Jahren setzte viel Kohlendioxid und Methan frei

Eine der dramatischsten Entwicklungen ereignete sich vor rund 56 Millionen Jahren, als enorme Mengen CO_2 aus überwiegend vulkanischen Quellen in die Atmosphäre gelangten (Gutjahr et al., 2017). Der damalige Vulkanismus stand im Zusammenhang mit der Öffnung des nordatlantischen Ozeans. Man nimmt an, dass größere Mengen Magma in die kohlenstoffreichen Sedimente, die sich im noch schmalen, schlecht durchlüfteten Ozeanbecken ablagerten, eingedrungen sind und dadurch auch große Mengen des Super-Treibhausgases Methan freigesetzt wurden (Berndt et al., 2016; Galerne & Berndt, 2020). Innerhalb weniger tausend Jahre erwärmte sich die Erde um fünf bis acht Grad Celsius. Nur der derzeitige menschengemachte Temperatur-Anstieg läuft noch schneller ab: Nach neuesten Berechnungen könnten wir deshalb schon im Jahr 2160 (also in 140 Jahren oder nur fünf Generationen) klimatische Bedingungen wie zu dieser Zeit erreichen (Gingerich, 2019).

Entfernung des überschüssigen Kohlendioxid dauerte viele Jahrtausende

Erschreckend ist, dass die Erde damals etwa 150.000 Jahre gebraucht hat, um den zusätzlichen Kohlenstoff resultierend aus dem Flutbasalt-Vulkanismus wieder aus der Atmosphäre

zu entfernen und die globalen Temperaturen wieder auf Werte fast wie vor diesem Ereignis zurückzuschrauben. Bei diesem Reinigungsprozess hilft das Vulkangestein selber kräftig mit: Wie der Name schon sagt, bestehen Flutbasaltprovinzen und Marine Plateaus überwiegend aus Basalt, einem relativ siliziumarmen Gestein, das 5 bis 10 Mal schneller verwittert als die überwiegend siliziumreicheren Gesteine der kontinentalen Kruste, wie z. B. Granit (Dessert et al., 2003).

Meeresorganismen bauen Kohlendioxid ab

Die bei der Verwitterung freigesetzten Elemente, wie z. B. Calcium, werden als gelöste Ionen (geladene Teilchen) über Flüsse ins Meer transportiert und dort von kalkschalenbildenden Organismen (z. B. bestimmten Planktonarten) unter Einbindung von CO_2 zu Karbonat verarbeitet, das sich schließlich als Sediment am Meeresboden absetzt und Kalkstein bildet. Je wärmer und feuchter es ist, desto schneller arbeitet die Verwitterung (positive Rückkopplung) und desto mehr Ionen stehen für die Kalksteinproduktion zur Verfügung. Durch diesen Prozess wird CO_2 langfristig der Atmosphäre entzogen und als Sediment im Meeresboden gebunden. Die globale Temperatur sinkt wieder ab (negative Rückkopplung).

Bei ozeanischen Plateaus entsteht, wenn auch weniger effektiv, bei der submarinen Verwitterung das Karbonat direkt im Gestein (ohne Mit Hilfe durch Organismen). Solange die submarinen Lavadecken nach der Eruption noch warm genug waren und Seewasser in ihren Spalten zirkulierte, kam es auch zur chemischen Ausfällung von Karbonat direkt aus dem Seewasser (Alt & Teigel, 1999) und damit ebenfalls zu CO₂-Entzug.

Der Flutbasalt/Plateau-Vulkanismus trug somit langfristig dazu bei, die durch ihn entstandene Störung des globalen Kohlenstoffkreislaufes wieder auszugleichen. Auch in der heutigen Zeit finden solche Verwitterungsprozesse statt. Wir sollten uns aber auch darüber im Klaren sein, dass dieser Ausgleichsprozess in menschlichen Zeithorizonten betrachtet sehr langsam abläuft und nicht dazu taugt, dem anthropogenen Klimawandel merklich entgegen zu wirken.

Referenzen

- Alt, J. C. & Teigel, D. A. H. (1999). Uptake of carbon during alteration of oceanic crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(10), 1527-1535. doi:10.1016/S0016-7037(99)00123-4
- Berndt, C., Hensen, C., Mortera-Gutierrez, C., Sarkar, S., Geilert, S., Schmidt, M., ... Lizarralde, D. (2016). Rifting under steam – How rift magmatism triggers methane venting from sedimentary basins. *Geology*, 44(9), 767-770. doi:10.1130/G38049.1
- Bond, D. P. G. & Grasby, S. E. (2017). On the causes of mass extinctions. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 478, 3-29. doi:10.1016/j.palaeo.2016.11.005
- Courtillot, V. & Renne, P. R. (2003). On the ages of flood basalt events. Sur l'âge des trapps basaltiques. *Comptes Rendus Geoscience*, 335(1), 113-140. doi:10.1016/S1631-0713(03)00006-3
- Dessert, C., Dupré, B., Gaillardet, J., François, L. M. & Allègre, C. J. (2003). Basalt weathering laws and the impact of basalt weathering on the global carbon cycle. *Chemical Geology*, 202(3-4), 257-273. doi:10.1016/j.chemgeo.2002.10.001
- Ernst, R. E. & Youbi, N. (2017). How large igneous provinces affect global climate, sometimes cause mass extinctions, and represent natural markers in the geological record. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 478, 30-52. doi:10.1016/j.palaeo.2017.03.014
- Galerne, C. & Berndt, C. (2020). Magmatismus in Sedimentbecken – der Ursache vergangener Umweltkatastrophen auf der Spur. In D. Spreen, J. Kandarr, P. Klinghammer & O. Jorzik (Hrsg.), *ESKP-Themen-spezial Vulkanismus und Gesellschaft. Zwischen Risiko, Vorsorge und Faszination* (S. 109-112). Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2020.2.5.4
- Gingerich, P. (2019). Temporal scaling of carbon emission and accumulation rates: Modern anthropogenic emissions compared to estimates of PETM onset accumulation. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 34(3), 329-335. doi:10.1029/2018PA003379
- Gutjahr, M., Ridgwell, A., Sexton, P. F., Anagnostou, E., Pearson, P. N., Pälike, H., Norris, R. D., Thomas, E. & Foster, G. L. (2017). Very large release of mostly volcanic carbon during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum. *Nature*, 548, 573-577. doi:10.1038/nature23646
- Hoernle, K., Hauff, F., van den Boogard, P., Werner, R., Mortimer, N., Geldmacher, J., Garbe-Schönberg, D. & Davy, B. (2010). Age and geochemistry of volcanic rocks from the Hikurangi and Manihiki oceanic Plateaus. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74(24), 7196-7219. doi:10.1016/j.gca.2010.09.030
- Ingle, S. & Coffin, M. F. (2004). Impact origin for the greater Ontong Java plateau. *Earth and Planetary Science Letters*, 218(1-2), 123-134. doi:10.1016/S0012-821X(03)00629-0
- Johansson, L., Zahirovic, S. & Müller R.D. (2018). The interplay between the eruption and weathering of large igneous provinces and the deep-time carbon cycle. *Geophysical Research Letters*, 45(11), 5380-5389. doi:10.1029/2017GL076691
- Steinberger, B. & Antretter, M. (2006). Conduit diameter and buoyant rising speed of mantle plumes: Implications for the motion of hotspots and shape of plume conduits. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7(11):Q11018. doi:10.1029/2006GC001409
- Wignall, P. (2005). The link between large igneous province eruptions and mass extinctions. *Elements*, 1(5), 293-297. doi:10.2113/gselements.1.5.293

Impressum

Herausgeber

Helmholtz-Zentrum Potsdam
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ
Telegrafenberg
14473 Potsdam

Redaktion

PD Dr. Dierk Spreen
Jana Kandarr
Oliver Jorzik

Layout

Pia Klinghammer

E-Mail: redaktion-eskp@gfz-potsdam.de

Alle Artikel sind auch im Internet abrufbar:

<https://themenspezial.eskp.de/vulkanismus-und-gesellschaft/inhalt-937231/>

Stand: September 2020

Heft-DOI: doi.org/10.2312/eskp.2020.2

ISBN: 978-3-9816597-3-3

Zitiervorschlag:

Jorzik, O., Kandarr, J., Klinghammer, P. & Spreen, D. (Hrsg.). (2020). *ESKP-Themenspezial Vulkanismus und Gesellschaft. Zwischen Risiko, Vorsorge und Faszination*. Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2020.2

Einzelartikel:

[Autor*innen]. (2020). [Beitragstitel]. In O. Jorzik, J. Kandarr, P. Klinghammer & D. Spreen (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Vulkanismus und Gesellschaft. Zwischen Risiko, Vorsorge und Faszination* ([Seitenzahlen]). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:[DOI-Nr.]

Die Verantwortung für die Inhalte der Einzelbeiträge der vorliegenden Publikation liegt bei den jeweiligen Autorinnen und Autoren.

Empfehlungen zum Verhalten an aktiven Vulkanen, Vulkaninfos für Reisende usw. sind nach bestem Wissen entwickelt worden. Dennoch können das GFZ sowie andere beteiligte Zentren oder Institutionen nicht verantwortlich gemacht werden und keinerlei Haftung für Schäden übernehmen, die durch die Beachtung dieser Hinweise entstehen. Das Gleiche gilt für die zu dieser Publikation beitragenden Autorinnen und Autoren oder in dieser Publikation zitierte Personen.



Text, Fotos und Grafiken soweit nicht andere Lizenzen betroffen:
eskp.de | [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)