

Die Wechselwirkungen von Vulkanismus und Klima

Dr. Julie Christin Belo (GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Hochexplosive Vulkanausbrüche können immense Wirkungen auf die Ozonschicht haben und beeinflussen die schädliche UV-Strahlung, die auf der Erde ankommt. Auch kann es vermehrt regnen oder regional durch Verdunklung und Abkühlung zu Missernten kommen. Eine umgekehrte Wirkung wird ebenfalls diskutiert: Der Klimawandel könnte sich zeitlich versetzt auf vulkanische Aktivität auswirken.

- Nach einem Plinianischen Vulkanausbruch sind noch jahrelang deutlich niedrigere Oberflächentemperaturen zu verzeichnen.
- Gleichzeitig kann die Ozonschicht soweit geschädigt werden, dass die biologisch zerstörerische UV-Strahlung deutlich zunehmen könnte.
- Es gibt Hinweise darauf, dass es auch zu umgekehrten Effekten kommt und globale klimatische Effekte wiederum für vermehrte Vulkanaktivitäten sorgen.

Vulkanausbrüche können einen direkten Einfluss auf das regionale und sogar das globale Wetter haben. Auch längerfristig können sie auf das Klima einwirken. Im besonderen Fokus stehen hier große, hochexplosive Plinianische Vulkanausbrüche. Sie transportieren mit ihren teils bis zu 40 Kilometer hohen Eruptionssäulen große Volumina an klimawirksamen Gasen wie Schwefel und Halogene sowie Asche direkt in die Stratosphäre.

Dort bilden diese zum einen eine Aerosolschicht. Diese Schicht verhindert, dass die wärmenden Sonnenstrahlen weiter mit der gleichen Intensität wie vorher auf die Erdoberfläche gelangen können. Zum anderen zerstören die in die Stratosphäre gelangenden vulkanischen Gase die schützende Ozonschicht nachhaltig (Brenna et al., 2019a).

Nach einem Plinianischen Vulkanausbruch sind als klimatische Auswirkung in den Jahren nach dem Ausbruch im Jahresdurchschnitt deutlich niedrigere Oberflächentemperaturen zu verzeichnen. Modelle gehen davon aus, dass Plinianische Eruptionen in den Tropen die Ozonschicht soweit schädigen können, dass die

biologisch zerstörerische UV-Strahlung um 80 bis 400 Prozent im Vergleich zur gegenwärtigen Situation zunehmen könnte. Bei sehr großen Eruptionen, sogenannten Supereruptionen, könnte diese für Organismen so schädliche UV-Strahlung sogar auf 550 Prozent über eine Dauer von fünf Jahren ansteigen (Brenna et al., 2020).

Andererseits halten Aerosole und Aschepartikel auch die wärmende Sonnenstrahlung ab. Einige der historisch „kältesten“ Jahre stehen in direktem Zusammenhang mit Großeruptionen. So ist zum Beispiel das Jahr 1816, das Jahr nach dem Ausbruch des Mount Tambora in Indonesien, als das „Jahr ohne Sommer“ bekannt. Der damalige Ausbruch wirkte sich global aus. Es kam zu Missernten und Hungersnöten in Mitteleuropa und Nordamerika. Die beeindruckenden Farben am Himmel, die durch die Wechselwirkung von Asche in der Atmosphäre und Sonnenstrahlen entstehen, wurden von Künstlern wie dem englischen Maler William S. Turner (1775–1851) anschaulich auf Leinwand festgehalten. Ein anderes Beispiel ist Caspar David Friedrichs Ansicht des Hafens in Greifswald (Zerefos et al., 2014).

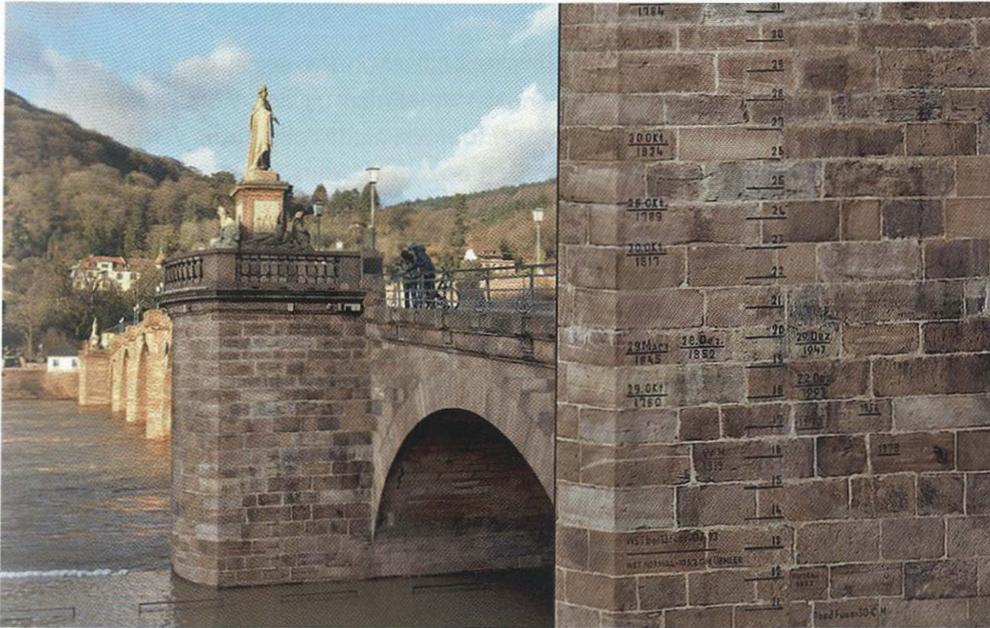


Abb. 1: Die „Alte Brücke“ über den Neckar in Heidelberg. Am südwestlichen Brückenpfeiler befinden sich die Hochwassermarken der letzten Jahrhunderte (rechts). Die Brücke wurde am 27. Februar 1784 durch ein katastrophales Eishochwasser zerstört. Dieses Hochwasser folgte einem besonders kalten und schneereichen Winter in Nord- und Mitteleuropa, der durch die Laki-Spalteneruption auf Island im Jahr 1783 verursacht wurde. Das Hochwasser von 1784 ist das bislang höchste, welches am Neckar gemessen wurde. Copyright: Das Foto wurde freundlicherweise von Janet Harvey aufgenommen und zur Verfügung gestellt.

Die Folgen der Laki-Spalteneruption

Die Laki-Spalteneruption auf Island von 1783 stellte für Nord- und Mitteleuropa eines der katastrophalsten historischen Ereignisse dar. Auf Island selbst kam es zu einem dramatischen Sterben: Zehntausend Menschen kamen ums Leben und hunderttausende Nutztiere verendeten, vermutlich durch die zu hohe Aufnahme von Fluorid.

Im darauffolgenden Winter wurde in Neuengland eine durchschnittlich fünf Grad niedrigere Temperatur gemessen (Sigurdsson, 1982). Zudem war 1784 das niederschlagsreichste Jahr in den letzten 1.000 Jahren und führte in Mitteleuropa zu Hochwassern und Fluten. Die Asche fungiert als Kondensationskern an dem sich Wasser sammelt und abregnet. In Heidelberg zeugen noch heute die damals gemessenen Hochstände des Neckars von den Folgen dieses Ausbruches (Abbildung 1). Hier sieht man ganz deutlich, dass der höchste jemals gemessene Wasserstand im Neckar aus dem Jahr 1784 stammt.

Erstmalige Beobachtung der globalen Verbreitung

Die globale Verbreitung von Vulkanasche und vulkanischen Gasen konnte 1983 während des Ausbruches des mexikanischen Vulkans El Chichón und 1991 während des Ausbruches des Pinatubos auf den Philippinen mit Hilfe von Satellitenaufnahmen erstmals rund um den Globus beobachtet und nachgewiesen werden. In geologischen Zeiträumen ist man bei der Rekonstruktion von Schwefelemissionen und dem Einfluss auf das Klima auf die Analyse von Eisbohrkernen und andere Näherungswerte (Proxies) angewiesen (s. auch Wagner, 2020 in diesem Band). Die daraus gewonnenen Ergebnisse wiederum können für Klimamodellierungen genutzt werden.

Auch umgekehrt: Klimaveränderungen wirken auch auf den Vulkanismus

Weitaus weniger erforscht und bekannt sind bislang jedoch die Auswirkungen von Klimaverän-

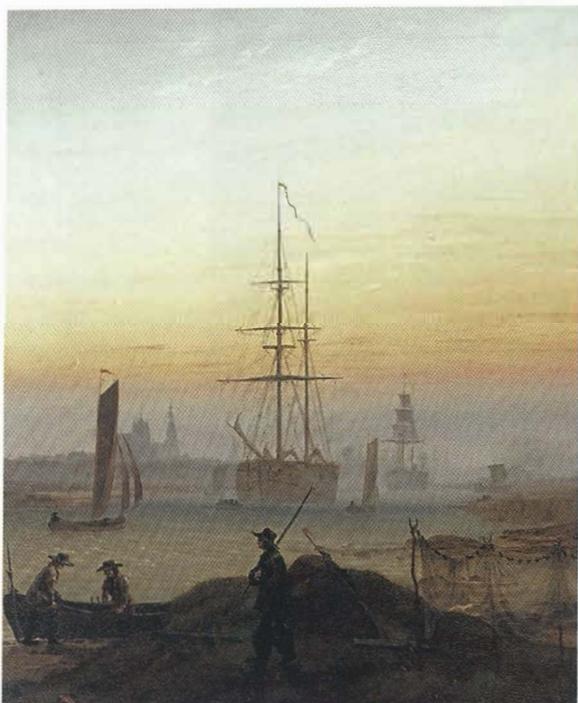


Abb.2: Schiffe im Hafen von Greifswald. Gemalt von Caspar David Friedrich, ca. 1820.

Quelle: (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Caspar_David_Friedrich_038.jpg), als gemeinfrei gekennzeichnet, Details auf Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/Template:PD-old>

derungen auf den Vulkanismus. Die Erkenntnis, dass globale Klimaveränderungen auch einen Einfluss auf vulkanische Aktivitäten haben, stammt aus Island (z. B. Sigvaldason et al., 1992) und anderen vergletscherten Regionen wie zum Beispiel Alaska (Praetorius et al., 2016). Dort konnte eine deutliche Steigerung der Vulkanaktivität nach dem Ende der letzten Eiszeit dokumentiert werden. Aber auch in nicht vergletscherten Regionen wie dem Mittelmeerraum zeigen Studien (McGuire et al., 1997), dass Eruptionszyklizitäten mit den Klimazyklen korrelieren (Rampino et al., 1979).

Diese Beobachtungen haben aktuell eine besondere Brisanz, da sich die Frage aufdrängt, wie sich der von Menschen (anthropogen) verursachte Klimawandel auf die Vulkanaktivität und damit verbundene Gefahren auswirken wird (Tuffen, 2010; Pagli & Sigmundsson, 2008; Albino et al., 2010).

Die physikalischen Prozesse, die dieser Interaktion von Vulkanismus und Klima zugrunde liegen, sind noch nicht vollständig verstanden und werden noch diskutiert. In vergletscherten Regionen ist es naheliegend, dass ein Zusammenhang zwischen dem Rückgang der Gletscher und der damit verbundenen Entlastung der Lithosphäre besteht. Ob aber lediglich Wegbarkeiten für das aufsteigende Magma (z. B. entlang von Klüften oder Störungen) geschaffen wurden oder tatsächlich die Schmelzproduktion von Magma gesteigert wurde, ist fraglich.

Aufschlussreiche Aschelagen in marinen Sedimenten

Ein Problem bei der Findung der zugrunde liegenden Prozesse sind auch die vorhandenen geologischen Zeitreihen, da diese meist nur die letzte Warm- und Kaltzeit umfassen. Eine Chance bieten lange, mehrere Eiszeitzyklen umfassende Zeitserien von Aschelagen, die in marinen Sedimenten abgelagert wurden und ein Archiv des explosiven Vulkanismus in einer Region oder auch global darstellen. Und tatsächlich haben mehrere Studien gezeigt, dass die Tephra-Zeitserien regelmäßig wiederkehrende Ereignisse, sogenannte Zyklizitäten, beinhalten und dass diese mit den globalen Klimazyklen korrelieren, wenn auch mit einer zeitlichen Verschiebung.

Die globalen Klimazyklen werden von den globalen Orbitalparametern, den sogenannten Milankovitch-Zyklen (Präzession (23 ky), Neigung der Erdachse (41 ky) und Exzentrizität der Erdbahn (100 ky)) beeinflusst. Hierbei handelt es sich um langperiodische Schwankungen in der Sonneneinstrahlung, die ihre Ursache in verschiedenen zyklischen Veränderungen haben, die die Lage der Erde bei ihrem Umlauf (Orbit) um die Sonne betreffen.

Die Beobachtungen der Übereinstimmung von periodischen Schwankungen in der Vulkanaktivität und orbitalabhängigen Klimaveränderungen sind momentan der stärkste Hinweis dafür, dass der Vulkanismus entweder durch die Orbitalparameter selbst (z. B. Erdzeiten) oder durch deren globale klimatische Effekte, wie zum Bei-

spiel die Veränderungen von Eisauflasten während dem Wechsel von Eis- und Warmzeiten beeinflusst wird. Die verschiedenen Studien kommen allerdings zum Beispiel für vergletscherte und nicht vergletscherte Regionen zu unterschiedlichen Ergebnissen und es bedarf daher weiterer umfassenderer Studien, um alle offenen Fragen zu beantworten.

Für alle Leser*innen, die sich noch tiefergehend mit diesem Thema beschäftigen möchten, haben wir zum Schluss noch folgende Empfehlung: Eine ausführliche Betrachtung und Auswertung aller bisher veröffentlichten wissenschaftlichen Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Vulkanismus wurde 2019 in der Fachzeitschrift *Quaternary Science Reviews* von Dr. Steffen Kutterolf (GEOMAR) und seinen Kollegen veröffentlicht.

Referenzen

- Albino, F., Pinel, V. & Sigmundsson, F., (2010). Influence of surface load variations on eruption likelihood: application to two Icelandic subglacial volcanoes, Grímsvötn and Katla. *Geophysical Journal International*, 181(3), 1510-1524. doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04603.x
- Brenna, H., Kutterolf, S. & Krüger, K. (2019a). Global ozone depletion and increase of UV radiation caused by pre-industrial tropical volcanic eruptions. *Scientific Reports*, 9(1):9435. doi:10.1038/s41598-019-45630-0
- Brenna, H., Kutterolf, S., Mills, M. J. & Krüger, K. (2020). The potential impacts of a sulfur- and halogen-rich supereruption such as Los Chocoyos on the atmosphere and climate. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 6521-6539. doi:10.5194/acp-20-6521-2020
- Kutterolf, S., Schindlbeck, J. C., Jegen, M., Freundt, A. & Straub, S. M. (2019). Milankovitch frequencies in tephra records at volcanic arcs: The relation of kyr-scale cyclic variations in volcanism to global climate changes. *Quaternary Science Reviews*, 204, 1-16. doi:10.1016/j.quascirev.2018.11.004
- McGuire, W. J., Howarth, R. J., Firth, C. R., Solow, A. R., Pullen, A. D., Saunders, S. J., Stewart, I. S. & Vita-Finzi, C. (1997). Correlation between rate of sea-level change and frequency of explosive volcanism in the Mediterranean. *Nature*, 389, 473-476. doi:10.1038/38998
- Pagli, C. & Sigmundsson, F. (2008). Will present day glacier retreat increase volcanic activity? Stress induced by recent glacier retreat and its effect on magmatism at the Vatnajökull ice cap, Iceland. *Geophysical Research Letters*, 35(9). doi:10.1029/2008GL033510
- Praetorius, S., Mix, A., Jensen, B., Froese, D., Milne, G., Wolhowe, M., Addison, J. & Prah, F. (2016). Interaction between climate, volcanism, and isostatic rebound in Southeast Alaska during the last deglaciation. *Earth and Planetary Science Letters*, 452, 79-89. doi:10.1016/j.epsl.2016.07.033
- Rampino, M. R., Self, S. & Fairbridge, R. W. (1979). Can Rapid Climatic Change Cause Volcanic Eruptions? *Science*, 206(4420), 826-829. doi:10.1126/science.206.4420.826
- Sigurdsson, H. (1982). Volcanic pollution and climate: the 1783 Laki eruption. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 63(32), 601-602. doi:10.1029/EO063i032p00601
- Sigvaldason, G. E., Annertz, K. & Nilsson, M. (1992). Effect of glacier loading/deloading on volcanism: postglacial volcanic production rate of the Dyngjufjöll area, central Iceland. *Bulletin of Volcanology*, 54, 385-392. doi:10.1007/BF00312320
- Tuffen, H. (2010). How will melting of ice affect volcanic hazards in the twenty-first century? *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1919), 2535-2558. doi:10.1098/rsta.2010.0063
- Wagner, S. (2020). Vulkanismus und Klima in der Vergangenheit: Was lässt sich für die Zukunft lernen? In O. Jorzik, J. Kandarr, P. Klinghammer & D. Spreen (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Vulkanismus und Gesellschaft. Zwischen Risiko, Vorsorge und Faszination* (S. 84-89). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2020.2.4.1
- Zerefos, C. S., Tetsis, P., Kazantzidis, A., Amiridis, V., Zerefos, S. C., Luterbacher, J., Eleftheratos, K., Gerasopoulos, E., Kazadzis, S. & Papayannis, A. (2014). Further evidence of important environmental information content in red-to-green ratios as depicted in paintings by great masters. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 2987-3015. doi:10.5194/acp-14-2987-2014