

## Vulkanismus und Klima in der Vergangenheit: Was lässt sich für die Zukunft lernen?

Dr. Sebastian Wagner (Helmholtz-Zentrum Geesthacht - Zentrum für Material- und Küstenforschung, HZG)

**Insbesondere große Vulkanausbrüche in den Tropen können weltweit Wirkungen zeigen, da sich Partikel in beide Hemisphären der Erde verteilen. Sulfat-Aerosole spielen bei diesem Ferntransport in andere Regionen eine wichtige Rolle. Aus Eisbohrkernen der Polarregionen lässt sich ablesen, wie stark Vulkanausbrüche in der Vergangenheit waren. Die genauen Auswirkungen werfen zahlreiche Forschungsfragen auf.**

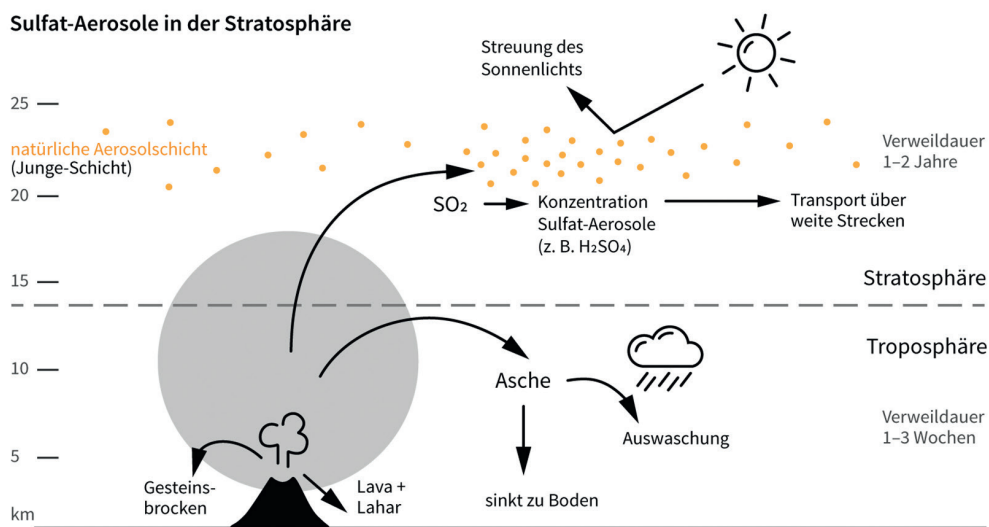
- 
- Wenn wir wissen, wie stark die Auswirkungen von großen Vulkanausbrüchen in der Vergangenheit waren, wäre dies ein wesentlicher Baustein für künftige Klimamodelle und Vorsorgemaßnahmen.
  - Bei der Auswertung von Forschungsdaten erkennt man deutliche Parallelen zwischen dem Temperaturverlauf und Vulkanismus.
  - Insbesondere sehr große Vulkanausbrüche in den tropischen Breiten führen im globalen Mittel in der Regel zu einer Abkühlung der bodennahen Luftschichten.
- 

Vulkane haben einen direkten Einfluss auf die sie umgebende Umwelt und vor allem auf die in unmittelbarer Nähe lebende Bevölkerung. Bei entsprechender Stärke eines Vulkanausbruchs ergeben sich darüber hinaus indirekte klimatische Auswirkungen (Strehlow, 2020). Zu wissen, wie stark diese Wirkungen waren, wäre ein wesentlicher Baustein für künftige Klimamodelle und auch Vorsorgemaßnahmen, die bereits in der Gegenwart getroffen werden können. Wie können wir nun aber genauer abschätzen, wie groß der Einfluss von Vulkanausbrüchen auf das Klima in der Vergangenheit und auch die damals lebenden Menschen und ihre Umwelt war? – Und sind wir darüber hinaus in der Lage, diese Erkenntnisse aus vergangenen Perioden für die zukünftige Klimaentwicklung mit zu berücksichtigen?

### Vulkanpartikel im Eis: Das Vulkanobservatorium der Vergangenheit

Da Vulkanausbrüche für Menschen stets eindrückliche Ereignisse waren, gibt es bereits aus frühen Zeiten historische Aufzeichnungen, zum Beispiel von Plinius dem Jüngeren, der den Ausbruch des Vesuvs im Jahr 79 live als Augenzeuge erlebte. Es stellt sich jedoch die Frage, wie man solche Informationen für solche Zeiträume rekonstruieren kann, in denen Menschen noch nicht systematisch die Ausbrüche großer Vulkane dokumentierten. Eine gute Möglichkeit bieten hier Ablagerungen im Eis der Polargebiete – erstaunlicherweise also in Regionen, die von den Gebieten starker Vulkanaktivität weit entfernt liegen.

Klimarelevant sind nämlich vor allem starke, explosive tropische Vulkanausbrüche, welche ausgestoßene Partikel in den oberen Atmosphären-



**Abb. 1:** Bei Vulkanausbrüchen können Asche- und Sulfatpartikel in große Höhen (bis in die Stratosphäre) transportiert werden. Während Asche-Aerosole wieder zu Boden sinken oder ausgewaschen werden, verbleiben die Sulfat-Aerosole über einen langen Zeitraum in der Atmosphäre. In der sogenannten „Junge-Schicht“ (natürliche Aerosolschicht) kommt es durch den zusätzlichen Sulfateintrag zu einer so hohen Konzentration, dass das Sonnenlicht absorbiert bzw. gestreut wird. Dadurch kann es zu einer Temperaturabnahme an der Erdoberfläche und damit zu Klimaveränderungen kommen.

Grafik: Wissensplattform Erde und Umwelt, eskp.de / CC BY 4.0

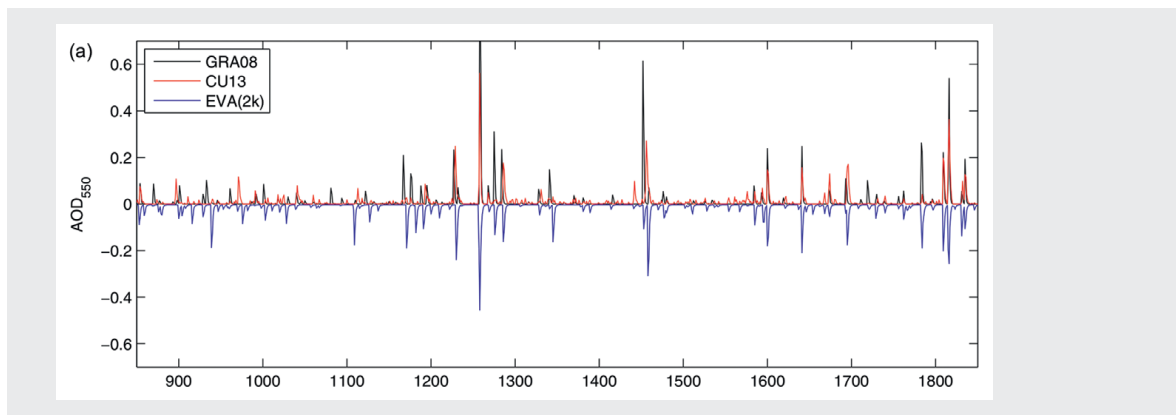
schichten beider Hemisphären verbreiten und die somit global klimawirksam werden. Durch die hohen Atmosphärenschichten werden die Partikel aus Vulkanausbrüchen bis zu den Polarregionen transportiert. Dort lagern sie sich im herabfallenden Schnee, der später zu Eis verhärtet, ab. Durch die Untersuchung von Eisbohrkernen lassen sich deshalb heute vergangene Vulkanausbrüche rekonstruieren.

### Sulfat-Aerosole haben besonderen Erkenntniswert

Da große klimarelevante Vulkanausbrüche vor allem in den weit von den Polarregionen entfernten tropischen Regionen stattfinden, findet man in den Eisbohrkernen fast keine Asche. Asche wird bereits relativ nah am Ausbruchsort durch Regen wieder aus der Atmosphäre entfernt oder rieselt trocken allmählich wieder zu Boden. In der Wissenschaft wird letzterer Vorgang als trockene Deposition bezeichnet.

Im Ferntransport besonders beachtenswerte Partikel sind die sogenannten Sulfat-Aerosole, die bei Vulkanausbrüchen in die Atmosphäre gelangen (Matthias 2020 in diesem Band). Sie bewirken in den „oberen Stockwerken der Atmosphäre“, der Stratosphäre, einerseits eine direkte Absorption der Sonnenstrahlung. Gleichzeitig streuen sie einen nicht unerheblichen Anteil in den Weltraum zurück.

Besonders bei Vulkanausbrüchen in den Tropen werden solche Sulfat-Aerosole weiträumig verteilt und es ist ein globaler Klimaeffekt festzustellen. Sehr große Vulkanausbrüche in den tropischen Breiten führen im globalen Mittel in der Regel zu einer Abkühlung der bodennahen Luftschichten. Die Konzentration der im Eis abgespeicherten Sulfatpartikel gibt Wissenschaftler\*innen auch Auskunft über die Stärke des Vulkanausbruchs – wie z. B. der des Tambora im Jahr 1815, welcher im darauffolgenden Jahr das „Jahr ohne Sommer“ mit globalen Auswirkungen und Missernten verursachte.



**Abb. 2:** Rekonstruktionen der globalen Vulkan-Aktivität für das letzte Jahrtausend, dargestellt in der Reduktion der optischen Dichte (AOD) in der Stratosphäre. Die Abbildung zeigt unterschiedliche Rekonstruktionen mit verschiedenen Quellen der Eisbohrkerne (hinter den Akronymen oben links verbergen sich verschiedene Autorennamen). Zur besseren Unterscheidbarkeit wurde die untere Zeitserie mit dem Faktor -1 multipliziert. Grafik: Abbildung aus Jungclaus et al., 2017. *Climate of the Past*, CC BY 3.0

### Vulkane und Klima während der letzten 1.000 Jahre – Welchen Einfluss haben Vulkanausbrüche wirklich?

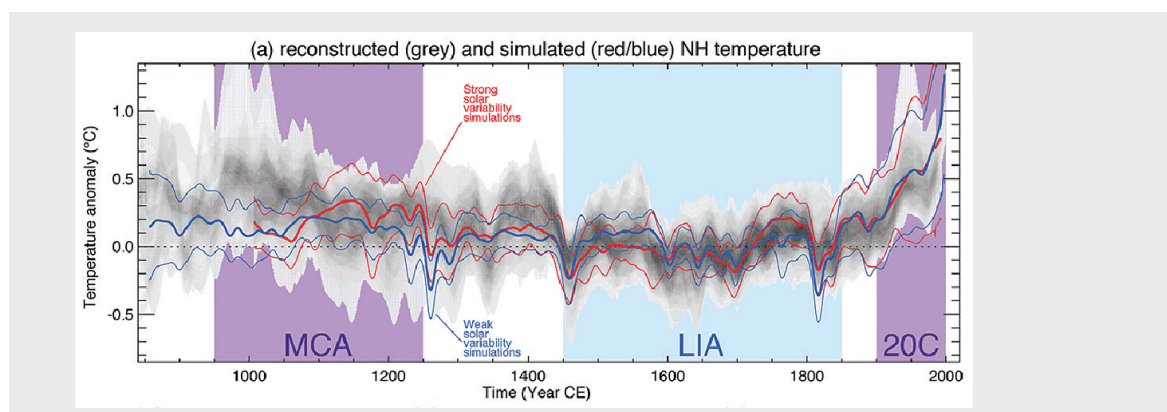
Aufbauend auf den Rekonstruktionen aus Eisbohrkernen, welche auch am Helmholtz-Zentrum Geesthacht durchgeführt und begleitet werden, und/oder bereits bekannten und schriftlich dokumentierten Zusammenhängen, kann man Erkenntnisse aus Eisbohrkernen auch nutzen, um ganze historische Zeitserien von Vulkanausbrüchen zu rekonstruieren (s. Abb. 2). Wissenschaftler\*innen sehen dabei deutlich, dass sich zum einen die großen und kleineren Ausbrüche nicht in einer regelmäßigen zeitlichen Abfolge aneinanderreihen, sondern teilweise sehr große zeitliche Lücken auftreten. Andererseits jedoch gibt es Perioden, welche ein gehäuftes Auftreten von Vulkaneruptionen andeuten. Welchen Einfluss hatten diese Vulkanausbrüche nun auf das Klima der historischen Zeit und wie können wir dieses abschätzen?

Ein wichtiges Werkzeug sind hierbei komplexe Klima- und Erdsystemmodelle, die auf Supercomputern gerechnet werden müssen. Diese Modelle simulieren die verschiedenen Komponenten des Erdsystems und versuchen so realitätsnah wie möglich das Klima darzustellen. Wichtige Eingabeparameter, um das Klima der Vergangenheit darzustellen, sind hierbei unter

anderem Vulkanausbrüche aber auch Änderungen in den langfristigen Schwankungen der Sonnenaktivität.

Abbildung 3 zeigt den zeitlichen Verlauf der Mitteltemperaturen in der nördlichen Hemisphäre, wie sie aus einer ganzen Reihe von globalen Erdsystemmodellen erstellt wurden, die auch mit dem Einfluss von Vulkanen als Eingabeparameter angetrieben wurden. Zusätzlich ist eine ganze Bandbreite von verschiedenen Rekonstruktionen der Mitteltemperaturen zum Vergleich dargestellt, welche mit Hilfe von sogenannten Proxyarchiven oder auch Analysen historischer Dokumente erstellt wurden. Basis für Proxyarchive zum Beispiel für Baumring- oder Pollenanalysen.

Bei der Auswertung der Daten erkennt man sehr deutlich Parallelen zwischen dem Temperaturverlauf und Vulkanismus: Angefangen mit einer Periode sehr schwacher Vulkanaktivität in den Jahren 900 – 1200 AD sieht man die sogenannte „Mittelalterliche Klimaanomalie“, die in einer Reihe von Regionen überdurchschnittliche Temperaturen hervorbrachte. Wie wir aus historischen Schriftstücken wissen, konnte beispielsweise zu dieser Zeit Grönland durch Erik den Roten besiedelt werden und auch Getreideanbau war bis in den Norden Schottlands und Skandinaviens möglich.



**Abb. 3:** Gemittelte 2m-Temperaturen über der Nordhemisphäre einer Reihe von Klimamodellen (rote und blaue Kurven) sowie verschiedenen Proxy-Rekonstruktionen (graue Kurven) des Weltklimarates IPCC, die u. a. mit Änderungen in der Vulkanismusaktivität angetrieben wurden. Die Vulkanausbrüche zeigen sich durch starke negative Abweichungen in der Temperaturkurve. Die verschiedenen Modelle zeigen Unterschiede, weil sie einerseits unterschiedliche Vulkanrekonstruktionen verwenden und durch unterschiedlich starke langfristige Schwankungen der Sonnenaktivität angetrieben wurden. **Ausschnitt aus der Grafik:** Figure 5.8 from Masson-Delmotte et al., 2013, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Dieser Wärmeperiode im Mittelalter folgt eine globale Temperaturdepression, die von ca. 1450 bis 1850 reichte. Diese Periode ging einher mit einer Zunahme und Intensivierung des Vulkanismus bei gleichzeitigem Absinken der Solaraktivität. Diese sogenannte „Kleine Eiszeit“ war durch überdurchschnittlich kalte Winter und teilweise kühl-feuchte Sommer geprägt. Eine Folge dieser kühlen Periode war das Vorschreiten der Gletscher in weiten Teilen der Alpen und Skandinaviens. Einige Forschergruppen schreiben den Vulkanen sogar eine so große Bedeutung zu, dass sie die Kleine Eiszeit erst ermöglicht und ausgelöst haben. Manche Studien vermuten sogar einen Zusammenhang zwischen Klima und kriegerischen Auseinandersetzungen wie dem 30-jährigen Krieg aufgrund der ungünstigen Klimabedingungen während dieser Periode.

Unsere jüngste Vergangenheit – inklusive des 20. Jahrhunderts – ist vor allem durch einen starken Anstieg der Temperaturen, bedingt durch den menschlichen Treibhausgasausstoß, charakterisiert. Auch in dieser Phase konnten eine Reihe mittelgroßer Vulkanausbrüche während der 1960er und 1970er Jahre den Temperaturanstieg abschwächen und in einigen Regionen wieder kalte Winter und nass-kühle Sommer verursachen.

### Die Vergangenheit für die Zukunft nutzen – Das Vulkanarchiv als Grundlage für Szenarien

Die Erkenntnisse aus der Vergangenheit liefern interessante Einblicke in vergangene KlimaePOCHen und die Auswirkungen auf historische Gesellschaften. Aber können wir sie auch für die heutige Zeit, respektive für die zukünftige Entwicklung nutzen? Gegenwärtig können wir kaum gesicherte Aussagen treffen, weil große Vulkane nur einen relativ schwachen Einfluss auf das jüngste Klimageschehen hatten. Daher stehen diese großen Vulkanausbrüche und deren klimatische Auswirkungen nicht im Fokus der aktuellen Klimadiskussion.

Die Einblicke in den Vulkanismus der historischen Zeit liefern jedoch wichtige Einblicke in die Bandbreite des Auftretens und der Intensität von Vulkanismus. Durch das Erstellen verschiedener Szenarien unter Zuhilfenahme der Kataloge vergangener Ausbrüche können wir versuchen, einen möglichen Einfluss der Vulkane auch auf das Klima der kommenden Jahre mit Erdsystemmodellen abzuschätzen.

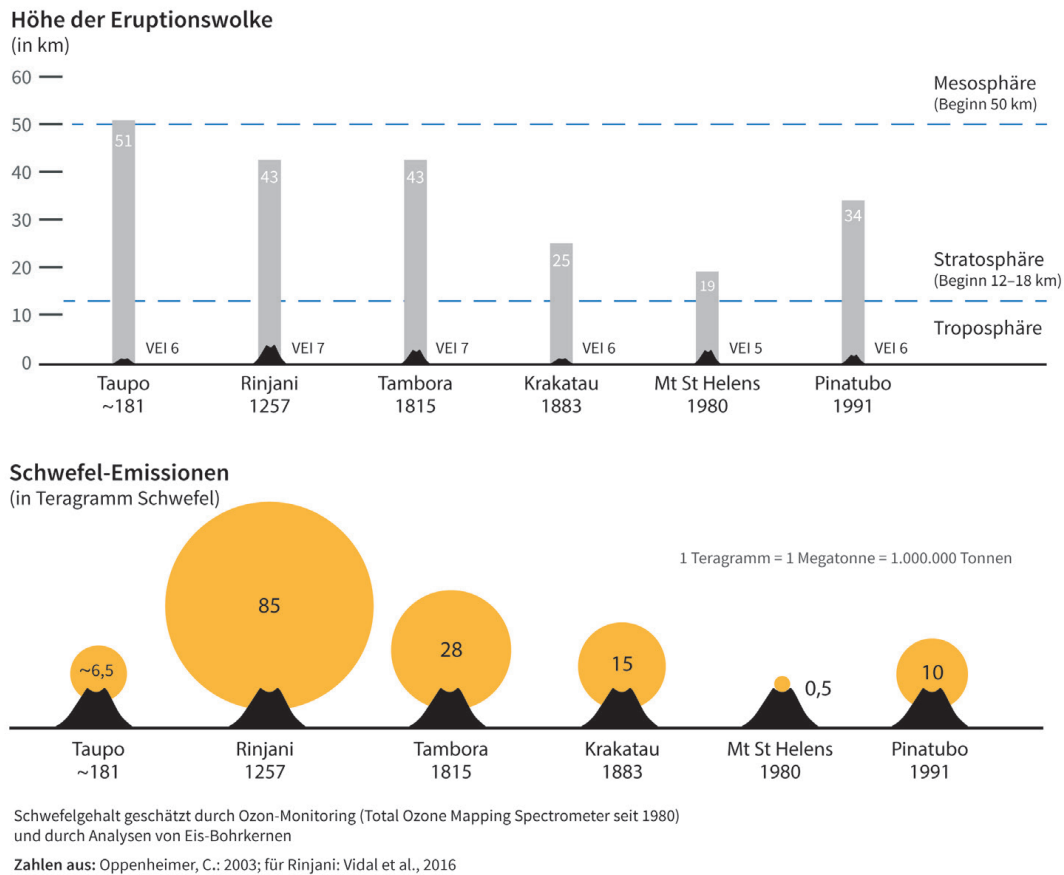


Abb. 4: Eruptionshöhe (oben) und Schwefel-Emissionen (unten) ausgewählter Vulkane im Vergleich. Grafik: Wissensplattform Erde und Umwelt, eskp.de / CC BY 4.0

### Vulkanausbrüche können Klimawandel langfristig voraussichtlich nicht mindern

Ein wichtiges Ergebnis dieser Klimamodellierungen stellt das grundsätzliche Erreichen eines sehr ähnlichen Temperaturniveaus bis zum Ende des 21. Jahrhunderts in einem Klimaszenario mit weiter ansteigenden Treibhausgaskonzentrationen dar, auch wenn dieser Zeitraum von starken vulkanischen Aktivitäten begleitet wäre. Die Ergebnisse der Modellanordnung zeigen: Selbst nach einer Reihe von großen Vulkanausbrüchen erreichen die weltweiten Temperaturen nach spätestens 10 oder 20 Jahren wieder ihr ursprüngliches Niveau, welches auch ohne die starken Vulkanausbrüche aufgetreten wäre.

Allerdings können starke Ausbrüche, und hier das Auftreten einer Reihe sehr starker Vulkanausbrüche, den Temperaturentwicklungspfad

sehr stark beeinflussen und in extremen Fällen zu starken Temperaturrückgängen über mehrere Jahre führen. Die Temperaturen erreichen dann im Laufe der Zeit aber wieder das ursprüngliche Niveau vor den Vulkanausbrüchen. Eine Unsicherheit bei diesem Modell besteht darin, dass die Bandbreite und Intensität der Vulkanausbrüche künftig sogar größer ausfällt als in der Vergangenheit beobachtet.

### Quo vadis – Was wir unternehmen, um auf Vulkanausbrüche besser vorbereitet zu sein

Wann, wo, und in welcher Stärke der nächste Vulkan bzw. eine Reihe von Vulkanen ausbrechen wird, kann niemand sagen. Durch Studien, die den Einfluss der Vulkane auf das vergangene und künftige Klima untersuchen, können allerdings Auswirkungen auf die Umwelt und damit

auch auf die menschliche Gesellschaft abgeleitet werden. Dabei darf man allerdings nicht vergessen, dass historische Gesellschaften andere Verletzlichkeiten beziehungsweise auch Widerstandsfähigkeiten aufwiesen als moderne Gesellschaften des 21. Jahrhunderts.

Durch eine Reihe internationaler Projekte soll genau dieses Spannungsfeld vergangener Auswirkungen (z. B. VICS – Volcanic Impacts on Climate and Society mit Beteiligung von HZG-Forschenden und künftiger Folgen (z. B. VolClim – Volcanic impact on surface climate) untersucht werden, um entsprechende Handlungs- und Entwicklungsoptionen beim Auftreten großer Vulkanausbrüche bereit zu stellen.

Diese Initiativen beleuchten in größeren Details die Auswirkungen auch auf angrenzende Bereiche der Gesellschaft wie z. B. Landwirtschaft, globale Wirtschaftsbeziehungen und Wechselwirkungen mit globalen Lieferketten. Außerdem versuchen sie gezielt aus den Erfahrungen der Vergangenheit zu lernen, um in Zukunft besser auf derartige Naturereignisse gewappnet zu sein. Ausschlaggebend wird allerdings das Bewusstsein von Gesellschaften sein auf derartige Ereignisse adäquat und zeitnah reagieren zu können, um bereits im Frühstadium die Weichen für einen richtigen Umgang mit den Auswirkungen zu stellen.

## Referenzen

- Bethke, I., Outten, S., Otterå, O. H., Hawkins, E., Wagner, S., Sigl, M., & Thorne, P. (2017). Potential volcanic impacts on future climate variability. *Nature Climate Change*, 7, 799-805. doi:10.1038/nclimate3394
- Jungclaus, J. H., Bard, E., Baroni, M., Braconnot, P., Cao, J., Chini, L. P., ... & Zorita, E. (2017). The PMIP4 contribution to CMIP6 – Part 3: The last millennium, scientific objective, and experimental design for the PMIP4 past1000 simulations. *Geoscientific Model Development*, 10(11), 4005-4033. doi:10.5194/gmd-10-4005-2017
- Masson-Delmotte, V., Schulz, M., Abe-Ouchi, A., Beer, J., Ganopolski, A., González Rouco, J., ... & Timmermann, A. (2013). Information from Paleoclimate Archives. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Hrsg. von T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P. M. Midgley, S. 383-464). Cambridge/New York: Cambridge University Press.
- Matthias, V. (2020). Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung von Vulkanasche. In O. Jorzik, J. Kandarr, P. Klinghammer & D. Spreen (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Vulkanismus und Gesellschaft. Zwischen Risiko, Vorsorge und Faszination* (S. 67-72). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2020.2.3.5
- Oppenheimer, C. (2003). Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonesia) 1815. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 27(2), 230-259. doi:10.1191/0309133303pp379ra
- Strehlow, K. (2020, 31. Januar). Vulkanismus auf den Philippinen und die Taal Eruption im Januar 2020. *Earth System Knowledge Platform* [www.eskp.de], 7. doi:10.2312/eskp.005
- Vidal, C. M., Métrich, N., Komorowski, J.-C., Pratomo, I., Michel, A., Kartadinata, N., Robert, V., Lavigne, F. (2016). The 1257 Samalas eruption (Lombok, Indonesia): the single greatest stratospheric gas release of the Common Era. *Scientific Reports*, 6:34868. doi:10.1038/srep34868

# 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](mailto: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](https://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/)