

Monogenetischer Vulkanismus und Großstädte: Wo und wann bleibt ein Rätsel

Jana Kandarr (Earth System Knowledge Platform | ESKP)

Fachliche Prüfung: Edgar Zorn (Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ)

In monogenetischen Vulkanfeldern fallen Eruptionen meistens verhältnismäßig klein aus. Ist ein Vulkan in einem solchen Feld erloschen, bricht er an dieser Stelle nie mehr aus. Doch irgendwo anders wird sich Magma in einem aktiven Vulkanfeld wieder seinen Weg an die Oberfläche bahnen – an eine Oberfläche, die im Laufe der Jahrhunderte vielleicht dicht besiedelt wurde. Auckland und Mexiko-Stadt sind Beispiele für Großstädte, die auf einem solchen ausgedehnten Vulkanfeld im Erdmantel errichtet wurden.

- Vulkanausbrüche über monogenetischen Feldern sind typischerweise von geringem Volumen und geringer Explosivität. In der Regel ist nie genau absehbar, wo die nächste Eruption stattfindet.
- Monogenetische Vulkanfelder sind schwer zu überwachen. Nicht nur dass sie selten aktiv sind, die Geräusche und Erschütterungen in Großstädten erschweren Messungen erheblich.
- Auckland, Mexiko-Stadt, Neapel, Manila und Medina sind große Städte, die auf oder in der Nähe solcher monogenetischen Vulkanfelder erbaut wurden.

Wie eng die Überbleibsel vulkanischer Aktivität inzwischen mit einigen Stadtbildern verwoben sind, zeigen Aufnahmen von Auckland, der südlichen Stadtgebiete von Mexiko-Stadt oder auch vom Monte Nuovo bei Neapel, den man bezeichnenderweise einfach den „neuen Berg“ nannte. Obwohl der Monte Nuovo erst „vor kurzem“, sprich im Jahre 1538, und nur innerhalb einer Woche entstand, ist der 133 Meter hohe Vulkanberg in den Phlegräischen Feldern heute ringsum besiedelt. Auch Auckland hat sich bekanntermaßen ganz prächtig entwickelt. Die Wirtschaftskraft der größten Stadt Neuseelands ist beträchtlich, macht 35 Prozent des Brutto-sozialprodukts des Landes aus. Die ersten Siedler hatten offensichtlich keine Kenntnis davon, dass Mount Eden (Maori: Maungawhau) oder One Tree Hill (Maori: Maungakiekie) keine gewöhnlichen Hügel sind, sondern Zeugen eines aktiven vulkanischen Feldes.

Auch im Süden von Mexiko-Stadt ist inzwischen viel entstanden, so beispielsweise eine Universität auf erkalteten Lavaströmen. Ein anderes Beispiel findet sich in Saudi-Arabien. Unweit der heiligen Stadt Medina, die einige der wichtigsten religiösen Stätten des Islam beherbergt und welche jährlich von Millionen von Menschen besucht wird, schlummert Saudi-Arabiens größtes und immer noch aktives Vulkanfeld.

Das Tückische der ausgedehnten aktiven monogenetischen Vulkanfelder ist, dass sie einerseits flächendeckend praktisch nicht zu überwachen sind und andererseits niemand lange im Voraus wissen kann, wo Magma wieder plötzlich aufsteigen wird. Das liegt daran, dass monogenetische Vulkane nur einmal ausbrechen und dann wieder erlöschen. „Mono“ steht demnach für den „einmaligen“ Ausbruch an einer Stelle, auch wenn dieser länger andauert. Weitere Ausbrüche eines solchen Feldes bilden eben dann an anderer Stelle einen neuen Vulkan. Vulkane, die

mehrmals an einer Stelle ausbrechen, werden dagegen als polygenetisch bezeichnet.

Nach heutigem Kenntnisstand haben vermutlich dreiunddreißig Länder monogenetische Vulkanfelder, die in den letzten 10.000 Jahren, d. h. im Holozän, aktiv waren (Global Volcanism Program). Wesentlich mehr Staaten werden es, wenn man weiter zurückblickt. Erkennen kann man vulkanische Felder häufig an Schlackenkegeln, Maaren oder Tuffringen. Erstere gehören gleichzeitig zur häufigsten vulkanischen Landform der Erde (Wood, 1980).

Doch nur wenige moderne Großstädte haben sich auf monogenetischen Vulkanfeldern entwickelt. Dass sich Siedler ausgerechnet einen Flecken Erde ausgesucht haben, unter dem noch immer irgendwo, an unbekannter Stelle, Magma aufsteigen kann, ist aus heutiger Sicht also auch einfach Pech. Die weltweit gefürchtetsten Vulkane – das sind die Strato- und Schichtvulkane – sind im Gegensatz dazu meist sogenannten polygenetischen Systeme zuzuordnen. Diese sind durch mehrere Eruptionen über dem immergleichen Vulkanschlot und vor allem über wesentlich längere Zeiträume hinweg entstanden. Hier ist zumindest sehr klar, wo die Aktivität stattfindet.

Wie sehen monogenetische Vulkanfelder aus?

Monogenetischer Vulkanismus wird üblicherweise durch gehäuftes Auftreten einzelner Vulkane deutlich. In einem einzigen monogenetischen Vulkanfeld können einige Wenige bis Tausende kleine Einzelvulkane auftreten (Kereszturi & Németh, 2012). Ein bisschen bizarr muten solche Landschaftsformen schon an. Teils sehr weit und zufällig verstreut ragen eher kleinvolumige, oft perfekt geformte Vulkankegel aus Schlacke oder Asche empor.

Diese Kegel bilden sich bevorzugt in mafisch-magmatischen Systemen, das heißt aus Lava mit einem hohen Anteil an eisen- bzw. magnesiumhaltigen Mineralen, welche typischerweise aus sehr tiefen Magmaquellen im Erdmantel gespeist werden. „Mafisch“ ist dabei ein Kunstwort

” Ein 133 m hoher Vulkankegelberg bei Neapel entstand im Jahre 1538 innerhalb nur einer Woche.

aus Ma für Magnesium und F für Ferrum (lateinisch für Eisen). Dieser Typ Magma ist besonders flüssig und kann an der Erdoberfläche daher leicht als Schlacke ausgeworfen werden, was an der Ausbruchsstelle Kegel auftürmt. Meist sind diese Schlackenkegel weniger als 300 Meter hoch mit einem geringen Gesteinsvolumen von meist weniger als einem Kubikkilometer (Connor und Conway, 2000).

Abgesehen davon können nahezu perfekt kreisförmige Maare und Tuffringe das Landschaftsbild prägen. Maare sind Explosionskrater, die bei Kontakt des aufsteigenden Magma mit Wasser entstehen. Oft sind sie heute mit Regenwasser gefüllt und bilden kreisrunde Seen. Tuffringe werden nicht wie Maare aus der Oberfläche geschürft, sondern bauen sich durch Ablagerung der Eruptionsprodukte auf. Morphologisch gesehen sind Tuffringe breite, flache Landschaftsformen mit Flanken von zwei bis zehn Grad.

Ein anderes mögliches Merkmal von monogenetischem Vulkanismus ist die Ausbildung von Ausbruchsstellen und Kegeln an Flanken großer Stratovulkanen, die selbst nicht unbedingt monogenetisch sein müssen, sozusagen als Begleiterscheinung. Hier springt monogenetischer Vulkanismus dem Laien nicht gleich ins Auge. Viele solcher Kegel gibt es beispielsweise an der Flanke des Ätna in Italien. Sie sind nur einmal ausgebrochen, wobei der Ätna selbst immer wieder ausbricht und daher polygenetisch ist.

Welche Ausbrüche sind zu erwarten?

Vulkanausbrüche über monogenetischen Feldern sind typischerweise von geringem Volumen und geringer Explosivität. In der Regel ist nie genau

absehbar, wo die nächste Eruption stattfindet. Ein Ausbruch dauert mancherorts nur wenige Tage, andere Ausbrüche wiederum ziehen sich über viele Jahre wie der des Vulkankegels Paricutín, der im Michoacán-Guanajuato-Vulkanfeld in Mexiko mitten in einem ehemaligen Maisfeld emporwuchs und dann von 1943 bis 1952 aktiv war.

Ob monogenetische Systeme ausdauernde Magmakammern entwickeln oder aber Magmen mehr oder weniger direkt aus dem jeweiligen Quellgebiet im Erdmantel ausbrechen, ist bisher ungeklärt. Neuere Studien zeigen, dass der Aufbau eines monogenetischen Vulkans teils sehr komplex sein und längere Ausbruchsdauern als erwartet aufweisen kann (Németh, 2010).

Lavamengen

Der magmatische Output eines einzelnen Zentrums in einem Vulkanfeld ist ein bis drei Größenordnungen geringer als der eines polygenetischen Vulkans (Schild- oder Stratovulkan), obwohl das Gesamtfeld das gleiche Volumen wie ein polygenetischer Vulkan haben kann.

Gefahren

Zu den assoziierten Gefahren von Vulkanfeldern gehören pyroklastische Ströme und Druckwellen (base surges), Explosionen, Tephrafall sowie Lavaströme. Andere primäre und sekundäre Gefahren kommen hinzu, etwa Erdbeben, Tsunamis und Feuer, die im Vor- bzw. Nachhinein eine große Rolle spielen können (Deligne et al., 2017).

Ein wichtiger Faktor ist generell die Tiefenlage des wassergesättigten Sediments: in welcher Tiefe also kann Magma in Kontakt mit Wasser kommen (Deligne et al., 2017)? Je tiefer die Wassersättigung reicht, desto größer die Wahrscheinlichkeit eines ersten phreatomagmatischen Stadiums. Phreatomagmatische Ausbrüche beginnen, wenn heiße Gesteinsschmelze (Magma) in Kontakt mit Grund-, Oberflächen-, Meer- oder hydrothermale Wasser kommt. Das Bodenwasser erhitzt sich bei Kontakt mit Magma stark und dehnt sich beim Verdampfen aus, was so lange zu Explosionen und Druckwellen führt bis

der Wassernachschub versiegt bzw. der Druck abgebaut ist. Das aufsteigende Magma kann einen Vulkanausbruch speisen, der explosiv oder auch langsam fließend (effusiv) sein kann (Kereszturi und Németh, 2012).

Großstädte auf oder in der Nähe von monogenetischen Vulkanfeldern

Auckland

Als die ersten Siedler dieses Fleckchen Erde erkoren haben, konnten sie nicht ahnen, dass es für die inzwischen 1,4 Millionen Einwohner zählende Metropole und jährlich mehr als 2 Millionen Touristen einmal eine unangenehme Angelegenheit werden könnte, auf einem aktiven Vulkanfeld zu leben (ATEED, 2020).

Insgesamt erstreckt sich das „Auckland Volcanic Field“ über 360 Quadratkilometer und weist über 50 Eruptionszentren auf. Über 55 Ausbrüche lassen sich für die vergangenen 190.000 Jahre zählen, wobei im Schnitt jeweils circa 2 Kubikkilometer Tephra, Lava und andere vulkanische Ablagerungen hervorgebracht wurden (kumulatives Volumen) (Connor, 1990). Vor 32.000 Jahren war das Feld besonders aktiv. Allerdings ist Aucklands jüngster Vulkan, der Rangitoto nur 553 (+/- 7) Jahre alt (Needham et al., 2011). Sein Ausbruch gibt Wissenschaftlern Rätsel auf, denn er war ungewöhnlich groß. In nur 13 Kilometer Entfernung vom Stadtzentrum bildet Rangitoto heute eine stattliche Insel. Beim Rangitoto-Vulkan ist umstritten, ob er einmal, zweimal oder einmal über einen langen Zeitraum ausgebrochen ist, sodass der Begriff „monogenetisch“ bezüglich des Rangitoto mit Vorsicht zu betrachten ist.

Mit ziemlicher Sicherheit wird das „Auckland-Vulkanfeld“ wieder ausbrechen. Vermuten lässt dies eine Anomalie des Erdmantels, was ein Zeichen für teilweise geschmolzenes Magma in 70 bis 90 Kilometern Tiefe ist. Völlig ungewiss ist der Ort der nächsten Eruption, denn Muster sind bisher keine erkennbar. So liegt der Schlot des ältesten Vulkans (Pupuke) unmittelbar neben dem Schlot des jüngsten Vulkans (Rangitoto).



Abb. 1: Auckland-Vulkanfeld, Karte: Wissensplattform Erde und Umwelt, eskp.de, Lizenz: CC BY 4.0

Historisch gesehen kam es im Zusammenhang mit dem Vulkanfeld nur zu kleinen Beben in der Region in und um Auckland. Dementsprechend wäre von den Erschütterungen, die einem Vulkanausbruch vorausgehen, wohl wenig Schaden zu erwarten, dies auch, weil generell die Bauvorschriften aufgrund der Erdbebengefährdung in Neuseeland sehr streng sind. Die Wasserversorgung der Bevölkerung könnte am allerbesten durch Maßnahmen im Vorfeld schon sichergestellt werden. Zudem würde die schnelle Evakuierung der betroffenen Menschen eine der größten Herausforderungen darstellen.

Das Chichinautzin-Vulkanfeld bei Mexiko-Stadt

Mexiko ist in der Tat ein Land der Superlative, wenn es um monogenetischen Vulkanismus geht. Das ausgedehnte monogenetische Vulkanfeld Michoacán-Guanajuato weist über 1.400 Schloten auf, die ein 200 x 250 Kilometer großes Gebiet der Staaten Michoacán und Guanajuato in West-Zentralmexiko abdecken, darunter die historisch aktiven Schlackenkegel von Paricutín und Jorullo. Auch Mexiko-Stadt ist betroffen. Das Chichinautzin-Vulkanfeld beispielsweise

” Städte wie Auckland, die auf einem monogenetischen Feld liegen, könnten nur wenige Tage im Voraus gewarnt werden.

erstreckt sich über ein 100 Quadratkilometer großes Gebiet direkt südlich von der Hauptstadt. Mehr als 580.000 Menschen leben im unmittelbaren Umkreis von fünf Kilometern, mehr als vier Millionen Menschen sind es bereits, wenn man einen 30 Kilometer großen Radius spannt. Viele der mehr als 150 kleinen Kegel im Vulkanfeld sind in den letzten 11.000 Jahren entstanden, sind also holozäner Herkunft. Nimmt man das Pleistozän hinzu, sind insgesamt mehr als 220 monogenetische Schlotte zu finden.

Die bekannteste Eruption ereignete sich vor etwa 1670 Jahren. Die Eruption des Xitle-Vulkankegels verursachte einen massiven Lavastrom (3,2 km³), der landwirtschaftliche Flächen sowie Pyramiden und andere Strukturen von Cuicuilco und angrenzende prähispanische Stadtzentren bedeckte. Der südliche Teil von Mexiko-Stadt und die Nationale Universität von Mexiko liegen heute auf einem Ende des 13 Kilometer langen Lavastroms. Historisch von der Bevölkerung überliefert wurde des Weiteren auch der Ausbruch des Cerro Chichinautzin.

Metropolregion Manila

Das San-Pablo-Vulkanfeld, auch bekannt als das Laguna-Vulkanfeld, liegt am größten See der Insel Luzon. Von der gigantischen Metropolregion Manila mit seinen über 19 Millionen Einwohnern, sind es nur etwa 50 Kilometer in südöstlicher Richtung bis zum markantesten Merkmal des Vulkanfeldes, dem Mount Makiling. In einem Umkreis von fünf Kilometern leben annähernd 1,3 Millionen Menschen. Das Feld enthält Dutzende von Vulkankegeln und besteht aus über 200 ruhenden und monogenetischen Maaren, Krater-

seen aber auch Stratovulkanen, von denen Mount Makiling als höchster 1.090 Meter erreicht. Die ältesten Maare sind inzwischen mit Sedimenten gefüllt, während die jüngste Generation von Maaren tiefe Seen bildet. Lokale philippinische Legenden besagen, dass das jüngste Maar – der 1,2 Kilometer breite Sampaloc-See – erst vor etwa 500 bis 700 Jahren entstanden sei (Global Volcanism Program).

Lavaströme bis in die Nähe der Heiligen Stadt Medina

Saudi-Arabiens größtes Lavafeld „Harrat Rahat“ ist 20.000 Quadratkilometer groß und erstreckt sich über 300 Kilometer südlich der heiligen Stadt Medina, in die jährlich viele Millionen Menschen pilgern. Vier koalierende Lavafelder, die aus versetzten, nach Nord-Nord-West verlaufenden Schlot-Systemen ausbrachen, umfasst Harrat Rahat. Basaltische Schlackenkegel dominieren in dem Vulkanfeld. Kleine Schildvulkane und Lavakuppeln sind ebenfalls vorhanden. Die Aktivität ist nach Norden gewandert, was in historischer Zeit zu Ausbrüchen in der Nähe von Medina führte. Die bekannteste Eruption fand im Jahre 1256 statt, als ein 0,5 Kubikkilometer großer Lavastrom aus sechs aneinandergereihten Schlackenkegeln ausbrach, dann 23 Kilometer floss und so bis auf vier Kilometer an Medina heranreichte.

Neapel

Auch in Europa gibt es ausgedehnte monogenetische Vulkanfelder. Allerdings gelten sie – bis auf die Phlegräischen Felder in Italien – als nicht aktiv, da sie im Holozän, d.h. in den letzten 10.000 Jahren, nicht ausgebrochen sind. In den Phlegräischen Feldern bei Neapel gibt eine große Zahl monogenetischer Vulkane. Die Region zählt zu den am besten untersuchten und kontinuierlich überwachten vulkanischen Gebieten der Welt. Ausführlichere Informationen zu den Phlegräischen Feldern finden sich in dem ESKP-Beitrag „Zivilisation meets VEI-7 Eruption“ (Walter, 2018) sowie im Interview mit Dr. Eleonora Rivalta (Rivalta, 2020).

Fazit: Problem der Vorhersagbarkeit

Was kann nun getan werden, um Risiken zu minimieren? Eine fortwährende Untersuchung auf (möglicherweise) austretende Gase bzw. Bodenverformungen unter einer ganzen Stadt wird nicht realisierbar sein, solange nicht klar ist, auf welche Gebiete man sich konzentrieren sollte. Zu beachten ist dabei immer auch, dass es sehr lange ruhige Intervalle von teilweise mehreren tausend Jahren zwischen Eruptionen geben kann. Das macht Vorhersagen über mögliche Ausbrüche entsprechend schwierig und unzuverlässig. Geologische Zeiträume sind im Vergleich zu einem Menschenleben sehr groß. Als Option bleibt dann vor allem seismisches Monitoring. Nun gibt es in größeren Städten aber eine Menge Verkehr, es wird gebaut und gebaggert. All diese leichten Erschütterungen bereiten Experten Kopfzerbrechen, denn sie „verwaschen“ die seismologischen Messungen. Sogenannte „Background Noises“ können nur schwer herausgefiltert werden.

Deshalb kann voraussichtlich erst der tatsächliche Aufstieg des Magmas gemessen werden. So ergäbe sich momentan z. B. für Auckland nur eine Vorwarnzeit der Bevölkerung von 5 bis 14 Tagen. Wenig Zeit, um eine ganze Stadt zu evakuieren.

Es lässt sich also zusammenfassen, dass niemand für monogenetische Vulkanfelder räumlich vorhersagen kann, wo der nächste Vulkankegel aus der Erde wächst, wo sich Magma seinen Weg zur Oberfläche bahnt und potentiell dort lebende Menschen bedroht. Daher müssen in betroffenen Siedlungsgebieten gute Aktionspläne für den Fall einer Eruption ausgearbeitet werden.

Exkurs: Aktivität des überwiegend monogenetischen Vulkanfeldes in der Eifel

Als Teil der mitteleuropäischen Vulkanprovinz – einem 200 bis 300 Kilometer breiten Vulkangürtel, der sich nördlich der Alpen durch den Kontinent zieht – ist auch Deutschland geprägt von unterschiedlichen Vulkanregionen wie Vogelsberg, Rhön, Vogtland oder der Eifel.

Gerade die Eifel ist für Vulkanforscherinnen und -forscher besonders interessant, weil Vulkanismus in der Eifel ein junges Phänomen ist und es nach neueren wissenschaftlichen Einschätzungen eine realistische Möglichkeit gibt, dass dort auch in Zukunft (geologische Zeiträume) wieder Vulkanausbrüche beobachtet werden können. Ein prominentes Beispiel für Vulkanaktivitäten in der Eifel ist der Laacher See, an dem sich vor 12.900 Jahren eine plinianische Eruption ereignet hat, die auf dem vulkanischen Explosivitäts-Index (VEI) mit 6 klassifiziert werden kann, wobei der Laacher See selbst kein monogenetischer Vulkan ist und damit eine der wenigen Ausnahmen im Vulkanfeld der Eifel darstellt.

Die Eruption des Laacher-See-Vulkans war stärker als der Pompeji-Ausbruch des Vesuvs (Italien) 79 n. Chr. oder des Mt. St. Helens (USA) im Jahr 1980, die beide mit einem VEI von 5 klassifiziert sind. Während der explosiven Phase wurden Gesteinsblöcke mit vier Metern Durchmesser bis über zwei Kilometer weit aus dem Krater herausgeschleudert. Es entstand eine Eruptionssäule, bei der Bims, Asche und Gase mehr als 35 Kilometer in die Atmosphäre geschleudert wurden.

Die Gefahr weiterer Ausbrüche in der Eifel ist nur schwer einzuschätzen, da deren Zeitabstände sehr groß und unregelmäßig sind. Es ist allerdings klar, dass die Eifel Zeichen magmatischer Aktivität aufweist und nicht als erloschen betrachtet werden kann. In der gemeinsamen wissenschaftlichen Einschätzung und Bewertung aktueller Prozesse in der Eifel durch Forscher*innen verschiedener Helmholtz-Zentren (GFZ, KIT, UFZ) und zahlreicher Universitäten (u. a. Göttingen, Essen, Frankfurt, LMU München, Jena) heißt es: „Obgleich es unter Experten unumstritten ist, dass sich in der Eifel in der geologischen Zukunft, d. h. in Zeiträumen innerhalb von Tausenden von Jahren ähnliche Vulkanausbrüche wiederholen können, wird die Eifel bis heute nur unzureichend überwacht“ (Dahm et al., 2019, S. 1).

Insbesondere fehlen wichtige Kenntnisse zu Fluid-Bewegungen und es stellt sich die Frage, ob magmatische Reservoirs in der Erdkruste oder an der Erdkruste-Erdmantel-Grenze existieren. Gibt es Kanäle, die auch Magma für einen Aufstieg nutzen könnten? Solche Untersuchungen müssten mit modernen Methoden durchgeführt und dem heutigen Stand der Forschung in Beziehung gesetzt werden. Auch gibt es keine definierten Ausbruchsszenarien, die die Basis für Frühwarnsysteme bilden oder Handlungskonzepte, um auf eine vulkanische Krise in der Eifel zu reagieren.

Quelle: Dahm et al., 2019

Referenzen

- Auckland Tourism, Events and Economic Development – ATEED. (2020). Visitors [Auckland Besucherstatistik, www.aucklandnz.com]. Aufgerufen am 27.07.2020.
- Connor, C. B. (1990). Cinder Cone Clustering in the TransMexican Volcanic Belt: Implications for Structural and Petrologic Models. *Journal of Geophysical Research*, 95(B12), 19395-19405. doi:10.1029/JB095iB12p19395
- Dahm, T., Wörner, G., Ritter, J. & Walter, T. R. (2019). Vulkanismus in der Eifel – Wissenschaftliche Einschätzung. Bewertung aktueller Prozesse und Forschungsbedarf. *Mitteilungen / Deutsche Geophysikalische Gesellschaft*, 2, 5-15.
- Deligne, N. I., Fitzgerald, R. H., Blake, D. M., Davies, A. J., Hayes, J. L., Stewart, C., ... Woods, R. (2017). Investigating the consequences of urban volcanism using a scenario approach I: Development and application of a hypothetical eruption in the Auckland Volcanic Field, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 336, 192-208. doi:10.1016/j.jvolgeores.2017.02.023
- Kereszturi, G. & Németh, K. (2012). Monogenetic Basaltic Volcanoes: Genetic Classification, Growth, Geomorphology and Degradation. In K. Németh (Hrsg.), *Updates in Volcanology. New Advances in Understanding Volcanic Systems* (S. 3-89). London: IntechOpen. doi:10.5772/51387
- Németh, K., Carrasco-Núñez, G., Aranda-Gómez, J. J. & Smith, I. E. M. (Hrsg.). (2017). *Monogenetic Volcanism*. London: Geological Society Publishing House. doi:10.1144/SP446
- Németh, K. (2010). Monogenetic volcanic fields: Origin, sedimentary record, and relationship with polygenetic volcanism. In E. Cañón-Tapia & A. Szakács (Hrsg.), *What Is a Volcano?* (GSA Special Papers, 470, S. 43-66). Boulder, USA: Geological Society of America. doi:10.1130/2010.2470(04)
- Nieto-Torres, A., Lillian, A. & Del Pozzo, M. (2019). Spatio-temporal hazard assessment of a monogenetic volcanic field, near México City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 371, 46-58. doi:10.1016/j.jvolgeores.2019.01.006
- Porio, E. (2011). Vulnerability, Adaptation, and Resilience to Floods and Climate Change-Related Risks among Marginal, Riverine Communities in Metro Manila. *Asian Journal of Social Science*, 39(4), 425-445. doi:10.1163/156853111X597260
- Rivalta, E. (2020). Wo neue Vulkane entstehen können. In O. Jorzik, J. Kandarr, P. Klinghammer & D. Spreen (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Vulkanismus und Gesellschaft. Zwischen Risiko, Vorsorge und Faszination* (S. 51-53). Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.
- Scandone, R. (1979). Effusion rate and energy balance of Paricutin eruption (1943–1952), Michoacan, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 6(1-2), 49-59. doi:10.1016/0377-0273(79)90046-5
- Sigurdsson, H., Houghton, B. F., McNutt, S. R., Rymer, H. & Stix, J. (Hrsg.). (2015). *Encyclopedia of Volcanoes* (2. Aufl.). San Diego: Academic Press.
- Walter, T. (2018, 27. Juni). Zivilisation meets VEI-7 Eruption: Die Menschheit ist schlecht aufgestellt. *Earth System Knowledge Platform* [www.eskp.de], 5. doi:10.2312/eskp.026

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

Zitervorschlag:

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/)