

Hardy Pfanz

# Kalter Atem schlafender Vulkane

Die unbekannte Welt der CO<sub>2</sub>-Mofetten

SACHBUCH



Springer

Kalter Atem schlafender Vulkane



Hardy Pfanzen

# Kalter Atem schlafender Vulkane

Die unbekannte Welt der CO<sub>2</sub>-Mofetten

2. Auflage

 Springer

Prof. Dr. Hardy Pfanz  
Angewandte Botanik & Vulkanbiologie  
Universität Duisburg-Essen  
Essen, Nordrhein-Westfalen, Deutschland

ISBN 978-3-662-60339-0      ISBN 978-3-662-60340-6 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-60340-6>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Auflage (2008) bei Rheinischer Ver. f. Denkmalpflege u. Landschaftsschutz

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Sebastian Müller  
Einbandabbildung: Hardy Pfanz  
Unter Verwendung eines Photos © von H. Pfanz

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

*Mofetten sind gefährliche Standorte, deren Erforschung genaue Kenntnis der geologischen sowie physikalisch-chemischen und klimatischen Faktoren voraussetzt. Vor eigenständigem Suchen und Erforschen von Mofetten sei hier ausdrücklich gewarnt! Meiden Sie vor allem die Nähe des Bodens. Knien und legen Sie sich auf keinen Fall hin. CO<sub>2</sub>-Gas ist schwerer als Luft. Es besteht Lebensgefahr, da CO<sub>2</sub> in erhöhten Konzentrationen auf den lebenden Organismus toxisch wirkt.*

*Meinem Freund und Kollegen Priv. Doz. Dr. Bohumir Lomský gewidmet, der uns viel zu früh verließ.*

# Vorwort zur zweiten Auflage

Das sich fast exponentiell vermehrende Wissen um die kalten CO<sub>2</sub>-Ausgasungen im Umfeld von Vulkanen und tektonischen Störungen machte eine erweiterte Beschreibung dieses interessanten geo-biologischen Phänomens nötig. Viele „Mofettologen“ haben die rein deskriptive, phänomenologische Phase der Mofettenforschung hinter sich gelassen und haben inzwischen quantitative Aussagen und Beschreibungen geliefert, die wesentlich mehr Einsicht in dieses fantastische Phänomen der geogenen CO<sub>2</sub>-Ausgasungen erlauben.

Es sei augenzwinkernd erwähnt, dass unter anderem wegen dieses biologischen Beitrages zur Vulkanologie, manch eingefleischter Eu-Geologe *das grüne Unkraut* (Kenner nennen es *Vegetation*) auf dem toten Untergrund inzwischen zur Kenntnis nimmt, ja sogar analytisch nutzt. Es ist ein Vergnügen zu beobachten, wie selbst der hartgesottenste Vulkanologe die Pflanzengattung *Carex* mittlerweile wie selbstverständlich nutzt, um den interessierten Geo-Studenten auf die indikatorische Zeigerwirkung dieser Pflanzen bei der Suche von geogenem CO<sub>2</sub> hinzuweisen.

Schön wäre, wenn auch dieses Werk wieder Menschen von der Schönheit, der Seltenheit und dem diabolischen Reiz von Mofetten überzeugen könnte. Vielleicht würde dies auch dazu beitragen, dass die fragilen Mofettenstandorte Nordwest-Tschechiens oder die der Osteifel (Laacher See) endlich den Schutz bekämen, den sie als **Geotope** oder besser **Geo-Biotope** verdienten.

Ich wünsche viele neue Erkenntnisse und mephitischen Spaß bei der Lektüre.

Dülmen  
im Sommer 2019

Hardy Pfanz

# Vorwort zur ersten Auflage

Pflanzen und ihre Reaktionen und Anpassungen sind viel spannender als man gemeinhin glauben mag. Obschon sich Lieschen Müller den klassischen Botaniker noch immer in abgewetzten Cordhosen, behütet mit einer völlig aus der Mode geratenen Kopfbedeckung und mit der charakteristischen Botanisiertrommel durch Sümpfe und Moore streifend vorstellt, haben sich die botanischen Wissenschaften in den letzten Jahrzehnten enorm weiterentwickelt. Neben der rein qualitativen Beschreibung der Pflanzen und ihrer Umwelt ist man nun zu hoch-quantitativen Verfahren und ausgefeilten Techniken übergegangen.

Seit langem schon fragt man nach den ursächlichen Zusammenhängen zwischen der belebten und unbelebten Umwelt und dies sowohl im Labor als auch im Freiland. Ausgesprochen spannend ist in diesem Zusammenhang die Auseinandersetzung mit den Phänomenen der Anpassung von Pflanzen an Extremstandorte. Ein solcher Standort, dem in jüngerer Zeit immer mehr Aufmerksamkeit gewidmet wird und an dem die botanischen Wissenschaften maßgeblich mitarbeiten, sind Standorte vulkanischer, gasförmiger CO<sub>2</sub>-Exhalationen – **die Mofetten**. In enger Zusammenarbeit mit vielen Geologen, Vulkanologen, Sedimento- und Pedologen, Geochemikern und Geophysikern bearbeitet die Biologie derzeit diese spannenden Standorte – und die Erkenntnis nimmt entsprechend zu. Die Befunde, die Erklärungen und die offenen Fragen dieser Zusammenarbeit sind Inhalt des vorliegenden Büchleins. Möge die Lektüre sowohl lehrreich und spannend als auch motivierend sein.

**X      Vorwort zur ersten Auflage**

Wenn der geneigte Leser nach der Lektüre in gleichem Maße botanophile sowie vulkanophile Neigungen zeigen sollte, hätte der Autor sein gesetztes Ziel erreicht.

Dülmen  
im Frühjahr 2008

Hardy Pfanz

# Danksagung

Der Deutschen Vulkanologischen Gesellschaft sei Dank für die Ermunterung, eine Neuauflage des Mofettenbuches zu wagen. Meinem Vater, Herrn Gerhard Pfanz, schulde ich Dank für das Lesbarmachen und die nervenzehrende Übersetzung der in Sütterlin handschriftlich aufgezeichneten Gerichtsakte über Gasbohrungen im Brohltal/Eifel. Prof. Dr. Dominik Vodnik und Prof. Dr. Franc Batič (Universität Ljubljana, Slowenien) schulde ich großen Dank für die Einführung in die Freiland-Mofettologie. Dir. Dr. Antonio Raschi (IBIMET, Florenz) sei Dank für die tolle Kooperation bei der Bearbeitung italienischer Mofetten. Herrn Dipl. Ökol. und Forstassessor Frank Saßmannshausen schulde ich Dank für die exzellente Bestimmung von Mofettenpflanzen inkl. der exakten Determination manch heikler *Carex*-Arten während unserer Messkampagnen. Ich danke Frau Dr. Annika Thomalla (sie hält mit weitem Abstand den Weltrekord der Bohrlochsetzung mit weit mehr als 900.000 gebohrten Löchern zur CO<sub>2</sub>-Bodenmessung) für die Erstellung der hübschen Gasemissionskarten, die Hilfe bei der Auswertung diffiziler Daten sowie die Bearbeitung von Abbildungen.

Prof. Dr. Wolfgang Oßwald (TU München) und Herrn Bürgermeister Dr. Wieland Gsell danke ich für die Organisation einer Mofetten-Expedition ins fränkische Sinntal und die praktische Unterstützung bei schweißtreibenden Bohrungen. Herrn Heinz Lempertz (DVG Mendig) sei Dank für Organisation und Betreuung vieler Messkampagnen in der Osteifel. Pater Basilius Sandner vom Benediktinerorden Maria Laach sowie dem gesamten Kloster ganz herzlichen Dank für den Zugang zum Archiv und die vielen Hilfen während der Erstellung des Bändchens. Herrn Ing. Kurt Degen

## XII Danksagung

herzlichen Dank für die wertvollen Tipps und die Überlassung von Daten. Dr. Horst Kämpf (GFZ Potsdam) sei Dank für die Führungen durch deutsche und tschechische Mofettengebiete. Frau Dr. Wittmann hat bei den ökophysiologischen Messungen in Slowenien und Tschechien trotz der permanenten Angriffe bössartiger Stechmücken exzellente Arbeit geleistet. Der Firma Carbo und vor allem ihrem ehemaligen Geschäftsführer, Herrn Dr. Krause, sowie dem neuen Geschäftsführer Herrn Oliver Kik sei Dank für eine Werksführung und das Zurverfügungstellen alter Photographien. Den Kollegen Professor Dr. K. Heide, Prof. Dr. L. Viereck, Prof. Dr. G. Büchel (alle Universität Jena), Dr. Christina Flechsig (Universität Leipzig) und PD Dr. Volker Tank (Deutsche Luft- und Raumfahrttechnik DLR, Oberpfaffenhofen), Dr. U. Koch (Sächsische Akademie der Wissenschaften), Dir. Dr. Bohumir Lomsky (VULHM, Prag) sei Dank für ihre aktive Mithilfe, ihre wertvollen Informationen aber auch für ihre anfängliche Skepsis gegenüber in fremden Territorien wildernden Botanikern.

Herzlichen Dank auch an Frau Kerstin Werner (Roermond, NL) für die tollen Ideen und die Mithilfe bei der tektonischen Maisfeldforschung. Den Studenten Olivier Ruiz und Laura Siegert sei Dank für die professionelle Bestimmung der nicht immer ansehnlichen und wahrlich nicht gut riechenden Tierleichen.

Weiterer Dank gebührt Herrn Dr. Simon Plank (DLR Oberpfaffenhofen) für die Bereitstellung der Luftbilddaten, Dr. Michael Tercek und John King, (Yellowstone), Dr. John (Jack) Lockwood (Hawaii) und Dr. Bill Evans (USDA, San Francisco). Dr. Fatima Viveiros, Dr. Catarina P.P. Silva (Ponta Delgada, Azoren), Prof. Dr. Georgos Papatheodorou, Prof. Dr. Maria Geras, Herrn Xenophon Dimas (alle Universität Patras), sowie Prof. Dr. Kostas Kyriakopoulos (Universität Athen) sei Dank für die Führungen und die Hilfe im jeweiligen Gelände.

Prof. Dr. Galip Yüce (Hacettepe Universität Ankara) und seinem Team, Prof. Dr. Antoine Kies (Universität Luxemburg), Dr. Giovanni Chiodini (Osservatorio Vesuviano, Neapel), Prof. Dr. Thilo Rennert (Universität Hohenheim), Prof. Dr. Wolfgang Bilger (Universität Kiel), Prof. Dr. Marian Kazda (Universität Ulm), Prof. Dr. Wolfgang Kirchner und Prof. Dr. Dominik Begerow (Universität Bochum), Prof. Dr. Hans-Ulrich Schmincke (Geomar, Kiel), Dr. Heiko Woith (GFZ Potsdam), Förster Karl-Hermann Gräf (Forstamt Koblenz), Frau Uhl vom Referat Naturschutz, Struktur und Genehmigungsdirektion Nord, Koblenz, sowie Frau K. Flick, Untere Landschaftsschutzbehörde des Kreises Siegen-Wittgenstein, sei Dank für die wertvolle Unterstützung bei Freilandaufenthalten. Für die Erlaubnis in der

Bad Pyrmonter Dunsthöhle Jahresmessungen machen zu dürfen, danke ich Herrn Dirk Langhammer und dem stellvertr. Kurdirektor André Schubert.

Meinem Sohn Benny Pfanz und meiner Frau Elfi Pfanz sei Dank für die Erstellung mancher Abbildungen und das perfekte Korrekturlesen. Die essentielle Hilfe und die nett formulierte Kritik beim Korrekturlesen durch Dr. Walter D'Alessandro (INGV, Palermo) und Dr. Jens Heinicke (Bergakademie Freiberg) muss hier unbedingt erwähnt werden: beide Kollegen bemühten sich, mir die geologischen und geophysikalischen Hintergründe geogener Gase näherzubringen. Walter D'Alessandro sei zudem Dank für die vielen Exkursionen und Messhilfen und die nicht abreiende Geduld, einem Biologen die Welt der Vulkane zu erklären.

Schlussendlich möchte ich dem Springer Verlag danken, namentlich Herrn Dr. Sebastian Müller und Frau Janina Krieger, die es mit unermüdlicher Geduld und Geschick verstanden, selbst einen Vulkanbiologen schlussendlich zufriedenzustellen.

Natürlich wird dieses Buch wieder Fehler und Ungenauigkeiten enthalten. Dies ist bei der Flle der Information nicht ganz zu verhindern. Hier bitte ich um direkte Mitteilung, damit ich diese Fehler für folgende Auflagen ausmerzen kann. Auch werde ich, wie eigentlich immer, einige Kollegen bei der Danksagung vergessen haben. Ich bitte dafür zutiefst um Verzeihung und gelobe Besserung bei der dritten Auflage des Mofettenbuches.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	1
<b>2</b>	<b>Magmatische, vulkanische und andere geogene Gasexhalationen</b>	3
2.1	Solfataren	4
2.2	Fumarolen	5
2.2.1	Heiße Geysire	6
2.3	Methan-freisetzende Entgasungen	8
2.3.1	Schlammvulkane	8
2.3.2	Ewiges Feuer	9
2.3.3	Submarine Methanquellen	10
2.4	Schwarze und weiße Raucher	11
2.5	CO <sub>2</sub> -Emissionen	12
<b>3</b>	<b>Mofetten</b>	13
3.1	Was sind Mofetten	14
3.2	Eu-Mofetten – echte Mofetten	22
3.2.1	Trockene oder nasse Mofetten?	22
3.3	Aquatische Mofetten	24
3.4	Gasgetriebene Kaltwasser-Geysire oder Sprudel	25
3.5	Säuerlinge	26
3.6	Eisenocker	26
3.7	Die biogene Entkalkung	28
3.7.1	Carbonat kann hart sein	28
3.7.2	Die Steinernen Rinnen	29

3.8	Wandernde Mofetten	30
3.9	Pseudo-Mofetten – keine Mofetten	31
3.9.1	Degradierete Moore – Sauerland	31
3.9.2	„Seismo-tektonisch“ induzierte Änderung der CO <sub>2</sub> -Freisetzung in Roermond	33
3.9.3	Biogene Bodenatmung	34
3.10	Kann man Mofetten suchen?	36
<b>4</b>	<b>Geologisch-vulkanologische Grundlagen</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>Kohlenstoffdioxid – Kohlendioxid – CO<sub>2</sub> – die Kenngröße für Mofetten</b>	<b>43</b>
5.1	Nomenklatorisches	43
5.2	Die physiko-chemischen Eigenschaften von CO <sub>2</sub>	44
5.2.1	Geruch und Geschmack	44
5.2.2	Die Wasserlöslichkeit	45
5.2.3	Die Säurewirkung	45
5.2.4	Absorption von Wärmestrahlung	49
5.2.5	Die spezifische Dichte	50
5.2.6	Die Sichtbarkeit des Gases	50
5.2.7	Die Verdrängung von Sauerstoff	51
5.3	Die Toxizität von Kohlendioxid	53
<b>6</b>	<b>Lebensraum Mofette</b>	<b>57</b>
6.1	Pflanzen in Mofetten	58
6.1.1	Pflanzen sterben ab	59
6.1.2	Wuchs und Aussehen der Pflanzen ändern sich	61
6.2	Angepasste Pflanzen können wachsen – die azonale Vegetation	64
6.2.1	Klare Grenzen	66
6.3	Physiologische Anpassungen von Pflanzen	70
6.3.1	Nährelemente in Mofettenpflanzen	72
6.4	Mofettophilie und Mofettophobie	73
6.5	CO <sub>2</sub> und Bäume	76
6.5.1	Das Problem der Schlenke	79
6.6	Die heißen „fumarolischen“ Mofetten der Azoren	79
6.7	Mofetten von oben gesehen	82

<b>7</b>	<b>Bakterien und Pilze</b>	85
7.1	Bakterien und Archaeen	85
7.2	Pilze	87
7.2.1	Umbelopsis	87
7.2.2	Pilze in Mofettenböden	87
7.2.3	Die Boden-Hefen	88
<b>8</b>	<b>Tiere</b>	91
8.1	Tiere sterben	92
8.2	Thanatocoenosen	94
8.2.1	Warum landen so viele verschiedene Tiere in der CO <sub>2</sub> -Todesfalle?	97
8.3	Tierleben im Gasgradienten	100
8.3.1	Springschwänze und Fadenwürmer	100
8.4	Tiere markieren Ausgasungsgrenzen	101
8.4.1	Maulwürfe	102
8.4.2	Schwalben	104
8.4.3	Fledermäuse	104
8.4.4	Wildschweine	105
8.5	Das bewusste Töten von Tieren	106
8.5.1	Grotta del Cane	107
8.5.2	La Grotte du Chien a Royat	108
<b>9</b>	<b>Mofetten und Klima</b>	111
9.1	Mofetten und das Mikroklima	112
9.2	Das CO <sub>2</sub> -Gas-Tal Bossoleto	112
9.2.1	Der CO <sub>2</sub> -Tagesgang	112
9.2.2	Die Wolkenbildung in Bossoleto	115
9.3	Bad Pyrmont	116
9.4	Mofetten und das Weltklima	118
<b>10</b>	<b>Die Böden in Mofetten</b>	119
10.1	Das Gas im Boden	120
10.1.1	Die Transektdarstellung	120
10.1.2	Die Flächendarstellung	121
10.1.3	Die Würfeldarstellung von Bodenmonolithen	122
10.2	Das CO <sub>2</sub> zu Sauerstoffverhältnis	123
10.3	Die pH-Werte in Mofettenböden	124
10.4	Die Pufferung des Bodens	125

10.5	Der Humusgehalt von Mofettenböden	126
10.6	Der Mineralstoffgehalt	126
<b>11</b>	<b>Die Bedeutung und Nutzung von Mofetten</b>	<b>129</b>
11.1	Wirtschaftliche Nutzung	129
11.1.1	Die Gewinnung von Mineralwässern	130
11.1.2	Herstellung von Chemikalien	131
11.1.3	Die Herstellung von Trockeneis	132
11.1.4	CO <sub>2</sub> bei der Herstellung, Verarbeitung und Haltbarmachung von Nahrungsmitteln	132
11.1.5	CO <sub>2</sub> bei der Schädlingsbekämpfung	133
11.1.6	CO <sub>2</sub> bei der Brandbekämpfung	133
11.1.7	CO <sub>2</sub> und die Pflanzendüngung	133
11.2	Die Erbohrung und Gewinnung von CO <sub>2</sub> -Gas	134
11.2.1	Kampf dem Treibhauseffekt	135
11.3	Die medizinische Nutzung von Mofetten	138
11.3.1	Kuren und Balneologie	138
11.3.2	Schlecht heilende Wunden	140
11.4	Mofetten und Tourismus – Geo-Biotope	141
11.5	Italien – Campi Flegrei	143
11.5.1	Tschechien – Soos	145
11.6	Deutschland – Die Vulkaneifel	146
<b>12</b>	<b>Die mythisch-ethnologische Bedeutung von CO<sub>2</sub>-Ausgasungen</b>	<b>151</b>
12.1	Mythische Orte und Opferstätten	151
12.1.1	Orakelstätten	152
12.1.2	Die antiken Eingänge zur Hölle	153
<b>13</b>	<b>Gefahr durch CO<sub>2</sub> – Menschliche Tragödien</b>	<b>159</b>
13.1	Mammoth – Horseshoe Lake	161
13.2	Djeng-Plateau	161
13.3	Afrikanische Vulkanseen: Monoun und Nyos in Kamerun	161
13.4	Nyiragongo und Nyamulagira	164
13.5	Zwei schauerliche Geschichten vom Laacher See	164
13.5.1	Der Tod der jungen Mönche	164
13.5.2	Die Plausibilitätsfrage	167
13.5.3	Das Bayer-Loch am Laacher See	170

<b>14 Mofexotisches und Mofetto-Pareidolie</b>	173
14.1 Gefangene Bläschen	174
14.1.1 Die Eisdecke und das CO <sub>2</sub> -Gas	174
14.1.2 Die Carbonatkruste	175
14.2 Der Spritzstein	175
14.3 Bläschenspiele	176
14.3.1 Das Flottieren von Seifenblasen	176
14.3.2 Veränderungen der Seifenblasenhaut	176
14.4 Der Untergang der griechischen Wiesen-Insel Mikro-Mephitos (μικρό μεφίτος)	177
14.5 Mofety Guláš	180
14.6 Blässhühner, Wildschweine und Wapitihirsche	181
14.7 Die Mais <i>La Ola – Welle</i>	182
14.8 CO <sub>2</sub> macht dick	182
14.9 CO <sub>2</sub> macht sexy	183
14.10 Der Papst und die Mofetten	183
14.11 Blasphemisches Kohlendioxid	184
14.12 Pareidolie	185
14.12.1 Mephitic Devilsporting	185
<b>15 Nachwort: Schutz von Mofetten</b>	189
<b>Zitierte sowie weiterführende Literatur</b>	191
<b>Stichwortverzeichnis</b>	215



# 1

## Einführung

Bei einer Wanderung durch ehemals vulkanische Gebiete, wie beispielsweise durch Nordwest-Tschechien, Nordost-Slowenien oder die Eifel, kann man allenthalben Mofetten entdecken (Abb. 1.1). Kleinere tote Tiere, das Fehlen der Pflanzendecke oder ungewöhnliche Wuchsformen von Pflanzen sind häufig untrügliche Zeichen dieser vulkanischen Ausgasungserscheinungen. Hat man solche Stellen gefunden, dann ist Vorsicht geboten. In Bodenvertiefungen können sich hohe Konzentrationen von  $\text{CO}_2$  bilden, die zu Erstickung führen können. Doch keine Panik, Mofetten sind nur dann wirklich gefährlich, wenn man nicht weiß, mit welchem Phänomen man es hier zu tun hat und wie man sich verhalten soll.

Mofetten sind „trockene“  $\text{CO}_2$ -Entgasungen; das Gas strömt dabei aus dem Erdreich entlang von Kluftzonen, meist aus einer natürlichen, oft mit Wasser gefüllten Vertiefung. Sie werden aber nicht, wie bei den Säuerlingen, durch ein Quellwasser mit gelöstem  $\text{CO}_2$  gespeist. Mofetten an Hanglagen sind meist ungefährlich, da das gegenüber Luft angereicherte und schwerere Gas talabwärts ablaufen kann. In flachem Gelände wird das Gas durch Luftbewegungen verteilt und dabei verdünnt. Ausgasungen mit hoher Entgasungsrate (hohem Gasfluss) in Tallagen sind allerdings extrem gefährlich, da sich das Gas dort zu einem „Gas-See“ ausbilden kann. Je nach Höhe der  $\text{CO}_2$  Konzentration kann dies zum Erstickungstod führen.

Im Folgenden soll auf das spannende Phänomen der geogenen Ausgasung von Kohlenstoffdioxid und anderen Fluiden näher eingegangen und die Verbindungen zu chemischen und physikalischen Veränderungen im Boden erläutert werden. Das speziell durch das  $\text{CO}_2$ -Gas veränderte Mikro- und



**Abb. 1.1** Die Mofette auf der Wiese Hartoušov im tschechischen Plesná-Tal. Die fehlende Vegetation in den Hauptausgasungsbereichen und die mofettenspezifische Vegetation in den Entgasungsfeldern sind gut zu erkennen. (© H. Pfanz 2019)

Mesoklima soll erwähnt werden, wie auch die vielen Einflüsse auf – und die Anpassungen von Organismen. Der Nutzen von Mofetten wie auch der potentielle Schaden und die Gefahren durch ausgasendes  $\text{CO}_2$  werden behandelt. Schließlich wird auch der historische Einfluss von  $\text{CO}_2$ -Gas auf die Geschichte und die Mythen der Griechen gestreift. Abgerundet wird unsere Besprechung durch die Klärung bekannter Alltagsphänomene und bislang wenig bekannter exotischer Erscheinungen.



# 2

## Magmatische, vulkanische und andere geogene Gasexhalationen

### Inhaltsverzeichnis

2.1 Solfataren .....	4
2.2 Fumarolen .....	5
2.3 Methan-freisetzende Entgasungen .....	8
2.4 Schwarze und weiße Raucher .....	11
2.5 CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	12

Ausgasungen an Vulkanen sind seit langem bekannt. Sowohl prä- als auch posteruptiv können Vulkangase aus den Tiefen der Magmenkammern an die Oberfläche gelangen. Und natürlich gerade während eines Vulkanausbruches entströmen riesige Gasmengen von CO<sub>2</sub> und Wasserdampf den Vulkankratern. Tektonische Ereignisse, wie beispielsweise Starkbeben, öffnen Risse und Klüfte in der Erdkruste, die als neue Transportpfade für das Aufsteigen und Exhalieren der Fluide fungieren. Bei vielen Autoren gelten Mofetten und andere gasförmige Exhalationen als untrügliche Kennzeichen eines alternden, zu Ende gehenden Vulkanismus eines Gebietes. Vor allem neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass das Freisetzen von Gasen magmatischen Ursprungs auch ein Anzeichen neuer oder erneuter vulkanischer Aktivität sein kann.

Wegen ihrer schlechteren Löslichkeit in Magmen sowie der Druckentlastung beim Aufsteigen der Magmen, entgasen CO<sub>2</sub> und Wasserdampf früher als andere vulkanische Gase (z. B. SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S). Sie sind dann oft sichtbar als hoch aufsteigende Rauch- (Wasserdampf-) Säulen. Am Ätna und an

vielen anderen Vulkanen (Nyiragongo) füllen sich in wenigen Kilometern Tiefe, also recht oberflächennah, Magmenkammern mit Kohlendioxid und Wasserdampf bis zu sechs Monate vor der eigentlichen Eruption. Von hier aus entgasen dann diese Fluide über offene Kanäle, Störungszonen und ehemalige Vulkanschlote bis an die Erdoberfläche.

Dann ist oft auch eine verstärkte Mofettentätigkeit am Rande der Vulkane zu konstatieren. Diese erhöhte Freisetzung von  $\text{CO}_2$  ist neben einer erhöhten Seismizität und geodätisch messbaren Bodenbewegungen, ein Indiz für die zu erwartende Aktivität des Vulkans. Es bleibt Zeit, Vorkehrungen zu treffen.

Häufig wird auch begleitend zur Eruption von der Freisetzung giftiger Gaswolken berichtet. Wie schon erwähnt, werden in Eruptionswolken von Vulkanen neben dem  $\text{CO}_2$  und Wasserdampf auch große Mengen an Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Chlorwasserstoff (HCl), Fluorwasserstoff (HF), Kohlenmonoxid (CO) und Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) freigesetzt (Schmincke 2000; Simper 2005). Wir werden bei der Besprechung des Untergangs von Pompeji und Herkulaneum durch den Ausbruch des Vesuvs auf diesen Punkt noch etwas genauer eingehen.

## 2.1 Solfataren

Nach Art und chemischer Reaktion der vulkanischen Gase unterscheidet man verschiedene Entgasungstypen an der Erdoberfläche. Neben den **Mofetten** sind noch weitere gasförmige Exhalationen in oder in der Nähe der Vulkane zu finden.

Natürliche Entgasungen, welche schwefelhaltige Verbindungen emittieren, werden **Solfataren** (*sulfur*, *sulphur* = lat. Schwefel) genannt und zwar unabhängig davon, ob der Schwefel in seiner oxidierten Form als Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) oder reduziert als Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) abgegeben wird (Abb. 2.1). Die Nase verrät dem Vorbeilafenden allerdings sehr schnell, um welche Schwefelform es sich handelt (riecht doch Schwefelwasserstoff sehr unangenehm nach faulen Eiern). Ausfällungen von elementarem Schwefel sind an den meist gelben Ablagerungen von feinsten Kristallen am Boden leicht zu erkennen.

Solfataren gibt es beispielsweise auf den Kraterrändern des Ätna, auf der äolischen Insel Vulcano und auf der neuseeländischen Vulkaninsel Whakaari (White Island). Einer der bekanntesten Orte für Solfataren, an dem auch elementarer Schwefel in großen Mengen durch reine Manneskraft gebrochen und am Kraterrand nach oben getragen wird, ist der Vulkan



**Abb. 2.1** Solfatare am Rand eines Nebenkraters des Ätna mit gelben Schwefelablagerungen (© H. Pfanz 2019)

Ijen auf Java Timur. Die Schwefelablagerungen leuchten weithin in gelben, orangeroten bis roten Farbtönen, können aber auch weißlich erscheinen. Die warmen Farben entstammen hier nicht dem Gas ( $\text{H}_2\text{S}$ ) selbst, sondern den kristallinen Abscheidungen, die je nach Kristallstruktur des Schwefels in unterschiedlichen Farben erscheinen.

## 2.2 Fumarolen

Wird heißer Wasserdampf aus hydrothermalen Quellen an die Atmosphäre abgegeben, so spricht man von **Fumarolen** (*fumus* = lat. Rauch, Dampf, Dunst) (Abb. 2.2) oder Dampfaustritten. Hier werden Temperaturen von über 100–700 °C erreicht (Paonita et al. 2002). Fumarolen werden gebildet, wenn sich zirkulierendes Grundwasser im Tiefengestein durch geothermale Prozesse aufheizt und als Wasserdampf nach oben strömt. Dabei sollte der



**Abb. 2.2** Fumarolen in Pisciarelli in der Nähe der Campi Flegrei bei Pozzuoli (© H. Pfanz 2019)

Druck möglichst nicht zu groß sein. Nur dann bleibt die exhaliierende Stelle auch eine Fumarole. Steht das Wasser jedoch unter großem Druck oder wird durch den Gasübergang des flüssigen Wassers bei hohen Temperaturen sehr großer Druck erzeugt, dann kann es zu echten phreato-vulkanischen Eruptionen kommen. In der Regel ist das Fumarolenwasser ombrogenen Ursprungs. Manchmal jedoch wird in Küstennähe sogar in heiße Tiefenzonen eindringendes Meerwasser gefunden (D'Alessandro pers. Mitt.).

Bekannt für ihre vielen Fumarolen sind der Yellowstone Nationalpark, sowie Island, Kamtschatka, Neuseeland aber auch einige Vulkanfelder in den Anden.

### 2.2.1 Heiße Geysire

Periodische Eruptionen sehr heißen, flüssigen Wassers werden **Geysire** genannt. Der Name entstammt dem Isländischen und steht für *geysa* = *quellen*, *heftig bewegen* oder *hervorströmen*. Alexander von Humboldt (1845,

resp. 2004) nannte diese Erscheinungen auch die „*isländischen Kochbrunnen*“. Das Prinzip der Heißwassergeysire ist das Vorhandensein eines Wasserreservoirs welches durch Grundwasser oder Regen gespeist und durch eine Magmakammer aufgeheizt wird. Im darüberliegenden Eruptionskanal muss mindestens eine Engstelle, ein Flaschenhals, vorhanden sein, der als Strömungshindernis wirkt. Durch diese Engstelle wird verhindert, dass der sich aufbauende Wasserdampfdruck ungehindert via Konvektion an der Erdoberfläche austreten kann. Durch die darüberstehende Wassersäule baut sich ein Druck auf. Wird der Druck durch die Temperaturerhöhung unterhalb des Flaschenhalses zu groß, so wird der Widerstand an der Engstelle durch heiße Dampfblasen überwunden und heißes Wasser wird in einer Eruptionssäule nach oben aus dem Kanal geschleudert. Die Eruptionen können dabei regelmäßig oder unregelmäßig sein (Abb. 2.3).

Bei diesen Eruptionen kann *heißes* Wasser bis zu 130 m in die Höhe emporgetrieben werden kann (e.g. Steamboat Geysir, Old Faithful, Yellowstone Natl. Park). Diese *Heißwassergeysire* sind auf Island, Neuseeland, im Yellowstone Nationalpark und in Alaska, im afrikanischen Grabenbruch, in den südamerikanischen Anden (vor allem Chile) aber auch in den Vulkanregionen Kamtschatkas zu finden (Bryan 2008).



**Abb. 2.3** Der bis zu 9 m hohe Heißwassergeysir „Prince of Wales Feathers“ eruptiert im Whakarewarewa-Tal bei Te Puia/Rotorua auf Neuseeland (© H. Pfanz 2019)