

GOTTFRIED HOFBAUER

# Vulkane in Deutschland





Blick über den nordwestlichen Hegau



Foto: lenslife - Fotolia.com

Gottfried Hofbauer

# Vulkane in Deutschland

**wbg**THEISS

Alle Fotografien stammen, sofern nicht anders vermerkt,  
vom Autor.

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

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.  
Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig.  
Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen,  
Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung  
durch elektronische Systeme.

wbg Theiss ist ein Imprint der wbg.

Aktualisierte Sonderausgabe 2021.

© 2021 by wbg (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), Darmstadt  
Die Herausgabe des Werkes wurde durch die Vereinsmitglieder  
der WBG ermöglicht.

Redaktion: Christiane Martin, Köln

Layout, Satz und Prepress: schreiberVIS, Seeheim

Coverabbildung: Hohentwiel, Hegau, Deutschland

© picture alliance / Westend61

Covergestaltung: Peter Lohse, Heppenheim

Gedruckt auf säurefreiem und alterungsbeständigem Papier

Printed in Europe

Besuchen Sie uns im Internet:

[www.wbg-wissenverbindet.de](http://www.wbg-wissenverbindet.de)

ISBN 978-3-8062-4274-4

Elektronisch sind folgende Ausgaben erhältlich:

eBook (PDF): 978-3-8062-4275-1

eBook (epub): 978-3-8062-4276-8

## Inhalt

### Teil I

<b>Vulkanismus in Deutschland</b> .....	9
<b>1. Aktive Erde</b> .....	10
Alle 2500 Jahre ein Vulkanausbruch? .....	12
Große Ausbrüche – und wo ist der Vulkan? .....	13
Ruheloser Planet .....	13
Die globale Perspektive .....	14
Vulkanismus inmitten einer Lithosphärenplatte .....	15
Der junge europäische Vulkangürtel .....	16
Krustenspannungen vor den Alpen .....	20
<b>2. Die fortwährende Entgasung der Erde</b> .....	22
Kohlendioxidaustritte in aktiven Vulkangebieten .....	23
Kohlendioxidaustritte in Deutschland .....	24
Kohlendioxidaufstieg in nicht mehr aktiven Vulkangebieten .....	24
Kohlendioxid, Wasser und Mineralwasser .....	25
Gefahr durch Kohlendioxid? .....	26
<b>3. Vulkane und ihre Produkte</b> .....	27
Pyroklastische Gesteine .....	27
Festgesteine aus erstarrter Lava .....	31
<b>4. Schlackenkegel, Maare und Tuffringe</b> .....	40
Kleine Vulkane .....	40
Schlackenkegel .....	41
Maare .....	45
Maare in der Landschaft .....	59
Tuffringe und Tuffkegel .....	76
Schlackenkegel mit initialen Maaren bzw. Tuffringen .....	79
<b>5. Große Bimssteineruptionen in der Osteifel</b> .....	84
Plinianische Eruptionen .....	84
Vorhersagbarkeit von Eruptionen .....	100
<b>6. Lavadome</b> .....	101
Dom oder Kryptodom? .....	104
Natürlicher Verfall am Beispiel der Steinwand (Rhön) .....	109
<b>7. Lavaströme und Säulenklüftung</b> .....	111
Viele, aber meist nur kurze Lavaströme .....	111
Säulenstruktur .....	114

<b>Teil II</b>	
<b>Vulkangebiete</b>	119
<b>8. Die deutschen Vulkanlandschaften</b>	120
<b>9. Tertiäres Hocheifel-Vulkanfeld</b>	121
<b>10. Quartäres Westeifel-Vulkanfeld</b>	124
Ulmener Maar	126
Dauner Maare	128
Mosenberg-Gruppe mit Meerfelder Maar	129
Meerfelder Maar	130
Pulvermaar	131
Papenkaule und Sarresdorfer Lavastrom	132
Rockeskyller-Kopf-Gruppe	132
Vulkane um Steffeln	135
Eichholz-Maar	136
Wartgesberg-Gruppe	136
<b>11. Quartäres Osteifel-Vulkanfeld</b>	138
Bimsvulkane und Lavadome	138
Seltene Maare	138
Initiale Maare und Tuffringe unter Schlackenkegeln	138
<b>12. Tertiäres Siebengebirgs-Vulkanfeld</b>	142
Tuffe und Intrusiva	144
Gibt es eine große Siebengebirgs-Caldera?	144
Basaltische Laven	145
<b>13. Tertiäres Westerwald-Vulkanfeld</b>	148
Das Maar am Stöffel bei Enspel	148
Weitere Punkte	151
<b>14. Tertiäres Vogelsberg-Vulkanfeld</b>	152
Die Gesteine	155
Aufschlüsse	156
Maintrapp	157
<b>15. Tertiärer Vulkanismus der Hessischen Senke</b>	158
Vulkanismus in feuchter Soft-rock-Umgebung	158
Felsberg, Maden und Scharfeneck	160
Posteruptive Freistellung	161

<b>16. Tertiärer Rhön-Vulkanismus</b> .....	168
Wasserkuppenrhön .....	170
Weitere Zeugnisse .....	174
<b>17. Heldburger Gangschar (Tertiär)</b> .....	176
<b>18. Vulkanismus im Umfeld des Eger-Rifts</b> .....	179
Egergraben Südwest: Tertiäres Kemnather Vulkanfeld und Reichsforst-Vulkanfeld .....	179
Egergraben Südwest: Aktiver Egerbecken-Westrand-Vulkanismus .....	184
Tertiäres Lausitz-Vulkanfeld .....	188
Vulkanische Zeugnisse im Erzgebirge .....	193
<b>19. Tertiäres Uracher Vulkanfeld</b> .....	197
<b>20. Tertiäres Hegau-Vulkanfeld</b> .....	202
<b>21. Tertiärer Kaiserstuhl-Vulkan</b> .....	205
Limberg-Komplex .....	207
<b>22. Früher Vulkanismus am Nördlichen Oberrheingraben</b> .....	209
Vulkangruppe Nierstein-Astheim .....	209
Messel und andere Vulkane .....	209
Katzenbuckel .....	210
 <b>Sachregister</b> .....	 212
 <b>Ortsverzeichnis</b> .....	 213
 <b>Vulkane in Deutschland – Koordinaten</b> .....	 216
 <b>Zitierte Literatur</b> .....	 221



Weinfelder Maar (Westifel)

# Teil | Vulkanismus in Deutschland

1. Aktive Erde
2. Die fortwährende Entgasung der Erde
3. Vulkane und ihre Produkte
4. Schlackenkegel, Maare und Tuffringe
5. Große Bimssteineruptionen in der Osteifel
6. Lavadome
7. Lavaströme und Säulenklüftung

# 1

## Aktive Erde

**D**as Thema „Vulkane in Deutschland“ mag vielleicht etwas weit hergeholt erscheinen. Niemand kann sich erinnern, dass hier schon mal ein Vulkan ausgebrochen wäre, und genauso wenig fühlen wir uns von

dieser Form der Naturgewalt auch nur annähernd bedroht. Doch die Zeugnisse der Natur reichen weit hinter den Erfahrungsschatz unserer Lebenszeit wie auch unserer gegenwärtigen Kultur zurück. Die Geologie hat

### ► 1 Vulkanfelder in Deutschland.

#### Aktive Vulkanfelder:

Westeifel **WE**

Osteifel **OE**

quartärer westlicher

Egergraben **QWEG**.

#### Tertiärzeitliche

##### Vulkanfelder:

Tertiäre Hocheifel **TH**

Siebengebirge **SG**

Westerwald **WW**

Vogelsberg **VB**

Hessische Senke **HS**

Rhön **RH**

Heldburger Gangschar **HGS**

tertiärer westlicher

Egergraben **TWEG**

Lausitz **LA**

Erzgebirge um

Scheibenberg **SBG**

Urach **UR**

Hegau **HE**

Kaiserstuhl **KS**.

Im tschechischen Teil

des Egergrabens ge-

legene tertiärzeitliche

Vulkanfelder:

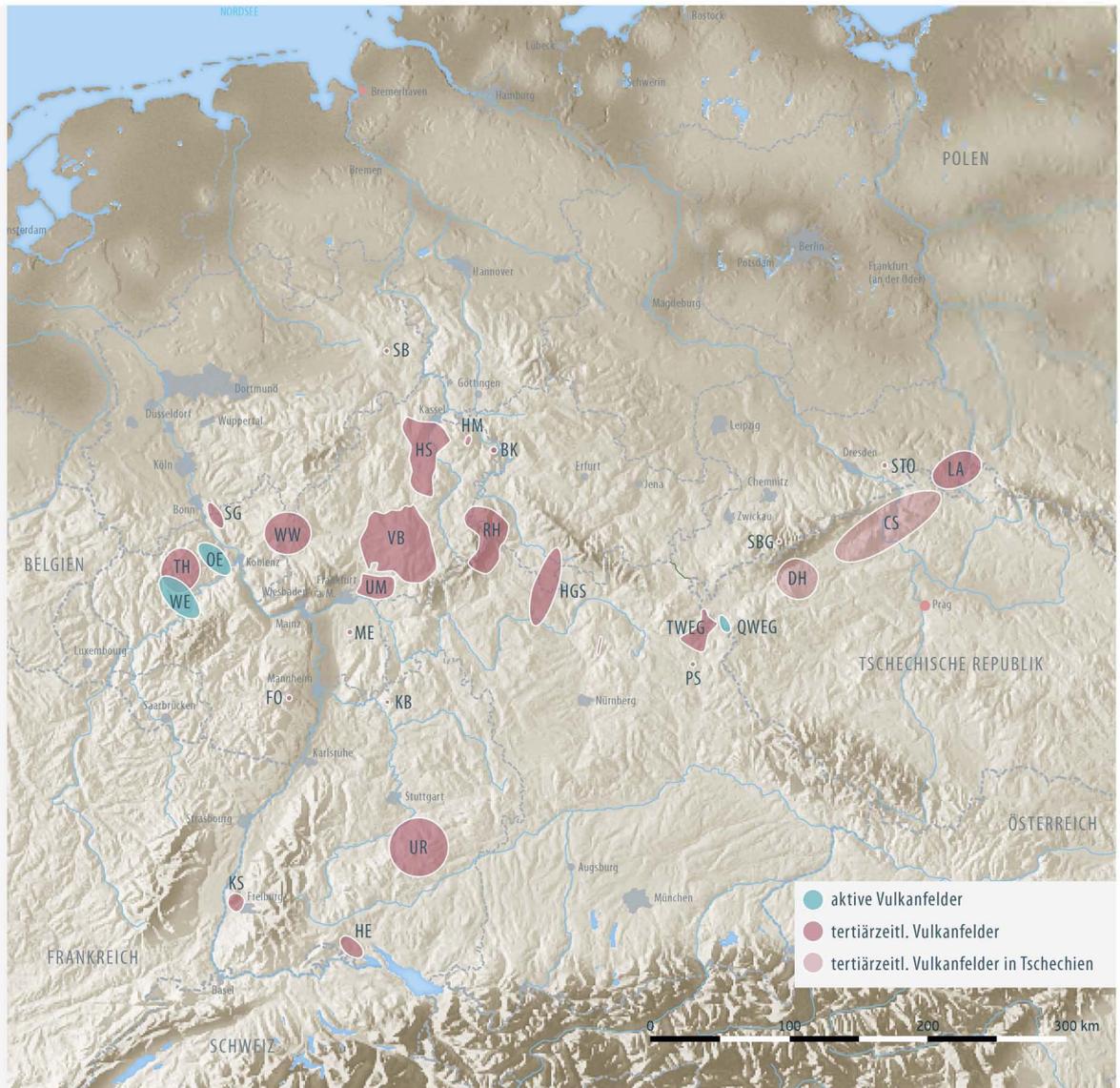
České Středohoří

(Böhmisches Mittel-

gebirge) **CS**

Doupovské hory (Dupp-

aauer Gebirge) **DH**.



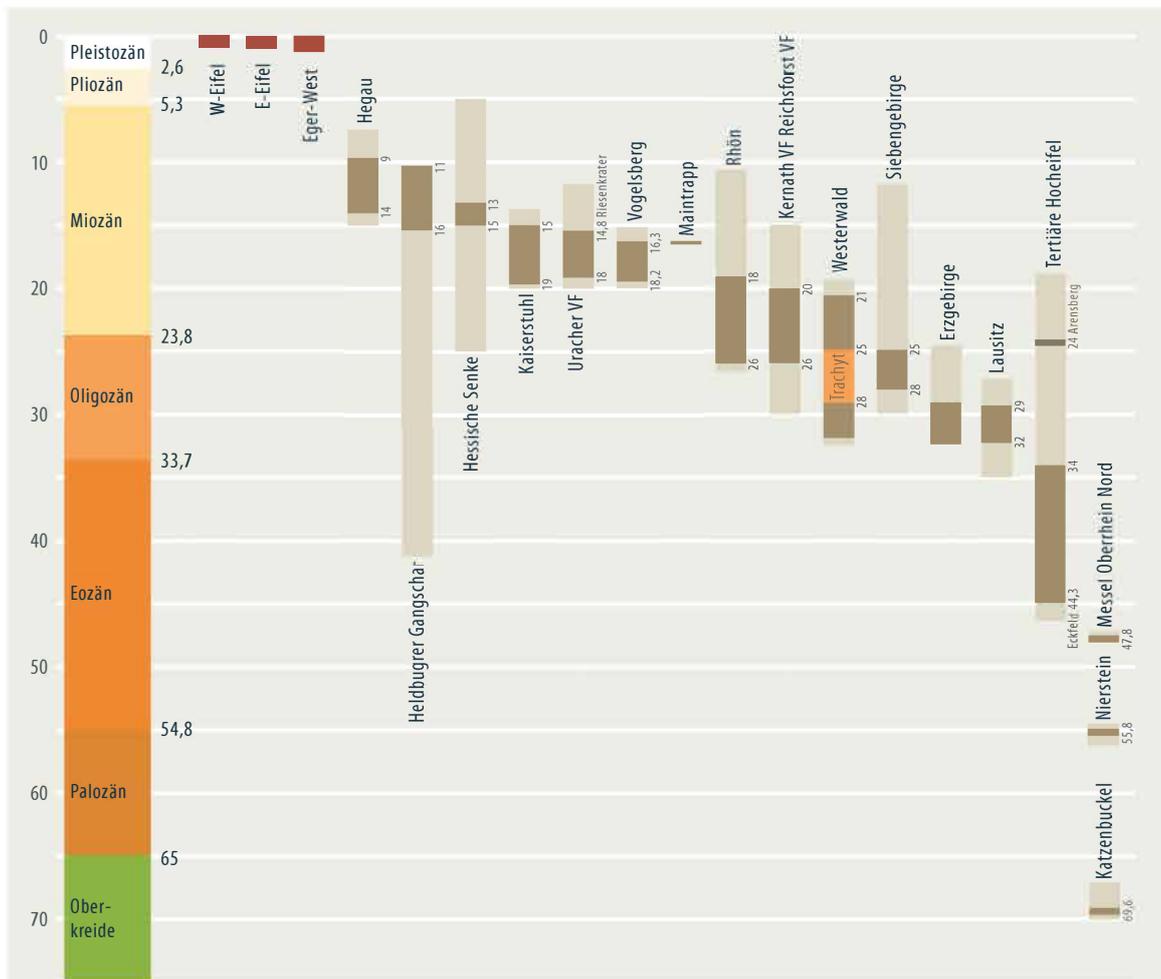
**Weitere Vorkommen:** Blaue Kuppe **BK**, Forst **FO**, Hoher Meißner **HM**, Katzenbuckel **KB**, Messel **ME**, Parkstein **PS**, Sandebeck **SB**, Stolpen **STO**, Untermain-Trapp **UM**.

es vermocht, viele dieser Zeugnisse zu entschlüsseln und dabei auch in Deutschland mehr als nur schwache Spuren vulkanischer Tätigkeit entdecken können: Tatsächlich wird das Erscheinungsbild vieler unserer Landschaften von ehemaligen Vulkanen geprägt.

Erst in letzter Zeit hat der **Tourismus** die einheimischen Vulkane entdeckt. Landschaften und Regionen lassen sich durch die gefühlte Anbindung an unvermittelt ausbrechende Naturgewalten sehr wirksam bewerben. Die gestiegene Aufmerksamkeit ist zumindest zu

einem Teil aber auch das Resultat der Forschungsgeschichte der letzten Jahrzehnte, die die Sicht auf die in Deutschland erhaltenen vulkanischen Zeugnisse grundlegend verändert hat.

In den Medien werden Vulkanologen mitunter als eine besondere Wissenschaftler-Spezies geschildert, deren Alltag darin besteht, über die ganze Erde von Ausbruch zu Ausbruch zu reisen, um letztlich erst in der Nähe heißer, möglichst spektakulär zerspritzender Lava auf Betriebstemperatur zu kommen. Das mag viel-



▲ 2 Vulkane in Deutschland – Zeittafel. Die von zahlreichen Autoren veröffentlichten radiometrischen Daten sind nicht als exakte Zeitangaben zu verstehen, sondern als Näherung. Auf ein konkretes Gestein bezogen, sind die Schwankungen je nach Labor bzw. Autor mitunter größer als die jeweiligen methodenspezifischen Fehlergrenzen einer einzelnen Datierung. Obwohl die Präzision in den letzten Jahrzehnten zugenommen hat, sind die zeitlichen Ober- und Untergrenzen vieler Vulkangebiete noch nicht endgültig festgeschrieben. Auch ist immer nur ein Teil der Gesteine eines Vulkangebiets datiert.

leicht für einen kleinen Teil zutreffen – die Mehrheit der Vulkanologen arbeitet hingegen in der traditionellen Aufgabenstellung der Geologie und Erdgeschichtsforschung. Dabei geht es vor allem auch darum, Aufbau, Wirkungsweise und Eruptionsgeschichte ehemaliger Vulkane zu rekonstruieren. Denn auch erloschene Vulkane funktionierten im Wesentlichen nicht anders als gegenwärtige, und so können sie uns vieles über die Entstehung vulkanischer Erscheinungen erzählen. So gesehen ist es nicht verwunderlich, dass bedeutende Beiträge zur modernen Vulkanologie auch aus dem Vulkanland Deutschland kommen.

Eine der neuen Perspektiven ist, dass die vulkanische Aktivität in einigen Gebieten Deutschlands gar nicht als erloschen angesehen werden kann. Um das zu verstehen, müssen wir zwei verschiedene Bedeutungen des Attributs „aktiv“ in Betracht ziehen: „im Grunde aktiv“ muss nicht „aktuell aktiv“ heißen. Ob ein Vul-

kangebiet aktiv ist, hängt nicht davon ab, ob wir in der Gegenwart einen Ausbruch erlebt haben, sondern davon, ob es Gründe dafür gibt, dass es einen Ausbruch geben kann. So gesehen stellt sich heraus, dass in der Eifel oder am Westrand des Egergrabens nur die Pausen zwischen den einzelnen Eruptionen so lang sind, dass wir uns an den letzten Ausbruch nicht mehr erinnern können. Es ist nicht unsere Wahrnehmungsdimension, sondern die zeitliche Reichweite der magmatischen Prozesse, die als naturgegebenes Kriterium bestimmt, ob ein Vulkangebiet als aktiv gelten kann.

### ■ Alle 2500 Jahre ein Vulkanausbruch?

Allein in der Westeifel sind in weniger als 1 Million Jahren mindestens 275 Eruptionen erfolgt (Seib et al. 2013). In einer groben statistischen Mittelung ergäbe das alle 2500 Jahre einen Ausbruch. Nachdem der jüngste Ausbruch nach dem aktuellen Stand der Datierungen



▲ 3 Der Vesuv – über die Bucht von Neapel vom Capo Miseno gesehen. Etwa von diesem Standpunkt aus hat Plinius der Jüngere den Ausbruch des Vesuvs 79 n. Chr. und die später nach ihm als „plinianisch“ benannte, weit aufsteigende Eruptionssäule beobachtet. Kegel wie der Vesuv haben das Bild vom Aussehen eines Vulkans weithin geprägt. Doch nicht jeder Vulkan ist ein Berg.



◀ 4 Der Laacher-See-Vulkan mit seinem Wall, der durch einige schon vor dem Ausbruch vorhandene Schlackenkegel zusätzlich akzentuiert wird – Blick vom Gänsehalsturm nach Ost-Nord-Ost. Vom Laacher See selbst ist nur ein kleiner, randlicher Abschnitt zu sehen. Über die Brücke führt die von Koblenz kommende A 61 in Richtung Köln.

mit der Eruption des **Ulmener Maars** vor etwa 11 000 Jahren erfolgte, würde ein erneuter Ausbruch schon lange überfällig sein.

Doch so regelmäßig scheint der Vulkanismus in der Eifel und offenbar auch in vielen anderen Vulkangebieten nicht zu funktionieren. Die Eruptionsgeschichte zeigt lange Pausen, zwischen denen es kürzere aktive Episoden mit gehäuften Ausbrüchen gab. So gesehen ist es verständlich, dass kein Geologe die vulkanische Aktivität in der Eifel als erloschen ansehen kann – es ist nur nicht möglich, eine einigermaßen präzise Vorstellung vom Zeitpunkt des nächsten Ausbruchs zu bekommen.

### ■ Große Ausbrüche – und wo ist der Vulkan?

Ein weitverbreiteter Irrtum besteht in der Annahme, dass „große“ Vulkanausbrüche auch ein entsprechend imposantes Vulkangebäude voraussetzen – oder ein solches hinterlassen müssen. Der Ausbruch des Vesuvs 79 n. Chr. gehört zu den klassischen Ausbrüchen der Vulkanologie, wie kein anderer ist er Teil unserer Kultur- und Naturgeschichte geworden. Es wird in Europa nur wenige Menschen geben, die noch niemals vom Untergang Pompejis gehört haben. Und kaum jemand wird in diesem Zusammenhang nicht auch das Bild des Vesuvs vor sich haben: ein gewaltiger Kegel mit einem tiefen, von steilen Wänden begrenzten Krater.

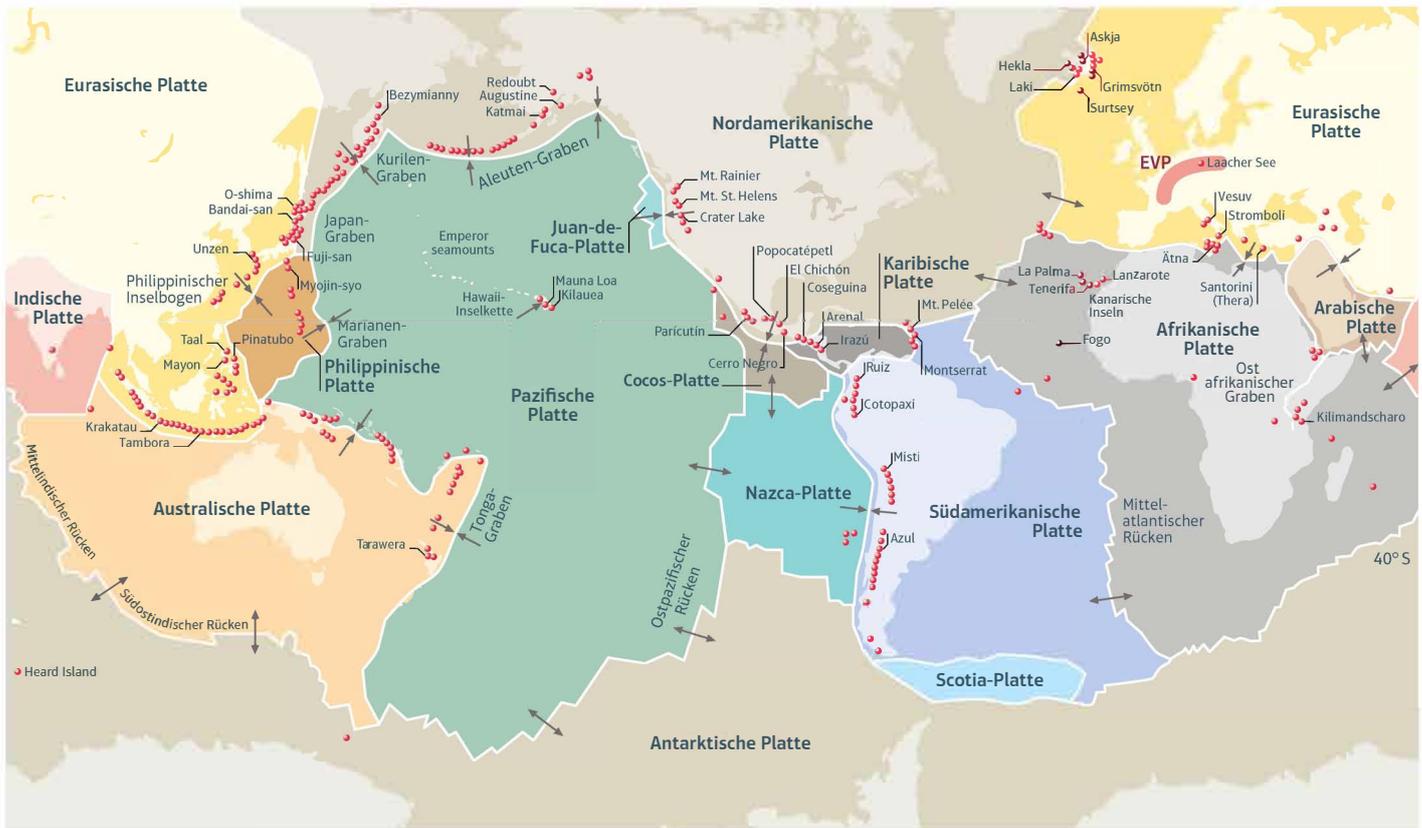
Der Ausbruch des **Laacher-See-Vulkans (LSV)** vor knapp 13 000 Jahren hat nach Ansicht der meisten Geo-

logen mehr magmatisches Material hervorgebracht als seinerzeit der Vesuv. Es war der größte Ausbruch in der jüngeren Geschichte Mitteleuropas – aber wir entdecken dort nicht die Spur eines Vulkankegels. Stattdessen treffen wir auf einen in einer lieblichen Landschaft liegenden See und klösterliche Stille. Aber auch wenn der LSV-Ausbruch kein beeindruckendes Vulkangebäude hinterlassen hat, sind die dabei ausgeworfenen Produkte in der Umgebung noch so vollständig erhalten, dass es an der historischen Realität dieses Ereignisses keine Zweifel geben kann. Auch wenn uns kein Plinius einen Bericht vom Verlauf des Ausbruchs überliefert hat, sind wir in der Lage, ihn bis in viele Details zu rekonstruieren.

Aus dem heute von einem See eingenommenen Krater oder auch aus einem neuen Schlot in der Umgebung könnte in Zukunft wieder eine Eruption wie jene vor 13 000 Jahren ausgehen. Mendig, Krufth oder Andernach wären dann vielleicht ein neues Pompeji.

### ■ Ruheloser Planet

Vulkane sind natürlich ein besonders markanter Ausdruck der geologischen Aktivität einer Region, doch nicht ihr einziger. Das Innere der Erde ist ständig in Bewegung. Das heiße Gestein im Erdmantel kriecht plastisch mit Geschwindigkeiten von mehreren cm/Jahr, während die darüberliegende, kühle Kruste aufgebauten Spannungen nur durch Verstellungen und Verwerfun-



▲ 5 Die gegenwärtigen Lithosphärenplatten der Erde. Die Vulkangebiete in Deutschland befinden sich – wie die junge Europäische Vulkanprovinz (EVP) – innerhalb der Eurasischen Platte. Modifiziert nach Schmincke (2013).

gen ausgleichen kann. Die in der spröden Kruste durch abrupten Spannungsabbau ausgelösten Erdbeben sind Ausdruck dieser globalen Dynamik.

Erdbeben sind viel häufiger als Vulkanausbrüche, doch auch hier gibt es keine kollektive Erinnerung an frühere Ereignisse. Die nahezu völlige Zerstörung Basels im Jahr 1356 war eine der großen Naturkatastrophen des Mittelalters, doch wer trägt diese Bilder dauerhaft in sich? Erst der Einsatz moderner **seismographischer Geräte** hat deutlich gemacht, dass die Erde nahezu ohne Unterlass immer irgendwo bebt – in manchen Regionen häufiger und stärker, in anderen seltener und vielleicht über lange Zeit nur mit geringer Energie. Ohne dass wir es im Alltag merken, sehen oder spüren, ist die Erde in ständiger Umwälzung begriffen.

### ■ Die globale Perspektive

Wenn wir in Deutschland vergeblich nach großen Vulkankegeln suchen, dann liegt das vor allem daran, dass

wir uns in einer anderen geotektonischen Umgebung als der befinden, in der diese Vulkanform in der Regel auftritt.

Die Oberfläche der Erde ist – wie ihr Inneres – in ständiger Bewegung. In den 1960er-Jahren wurde erkannt, dass in den Ozeanen vulkanisch aktive Zonen existieren, an denen ständig neue ozeanische Kruste erzeugt wird. Die magmatische Produktion neuer Kruste an diesen **Mittelozeanischen Rücken** führt dazu, dass sich die Ozeanbecken mit Beträgen von mehreren cm/Jahr ausdehnen. Eine Folge davon ist, dass der Abstand zwischen Amerika und dem Eurasischen Kontinent kontinuierlich größer wird. Die Mittelozeanischen Rücken sind die aktivsten vulkanischen Zonen der Erde, hier wird am meisten Volumen magmatischer Gesteine produziert. Kein Wunder, dass Geowissenschaftler die Erde erst dann richtig zu verstehen begannen, als sie die unserer Alltagswahrnehmung entzogenen Welten in der Tiefe der Ozeane näher zu erkunden begannen.

An den Mittelozeanischen Rücken entstehen aber trotz der hohen vulkanischen Aktivität keine großen Vulkankegel, wie wir sie von den großen festländischen Vulkanen kennen. Einer der Gründe ist, dass die Lava basaltische Komposition hat und damit zu dünnflüssig ist, um Berge mit steilen Flanken aufzubauen. Die Auflast des darüberstehenden Wassers unterdrückt auch den Schlackenwurf, wie er an der Oberfläche maßgeblich zum Hochbau eines Kegels oder zumindest zum Aufbau eines Schlackenkegels beiträgt. Und schließlich entfernen sich die vulkanisch entstandenen Oberflächenformen an den Rücken ständig voneinander, so dass – bezogen auf einen Abschnitt der Kruste – keine über längerer Zeit ortsfeste vulkanische Aktivität gegeben ist.

Die klassischen **Vulkankegel** findet man hingegen vor allem an bzw. über den **Subduktionszonen**: Hier taucht die ozeanische Lithosphäre wieder in den Erdmantel ab. Auf dem Weg in die Tiefe geben die Gesteine unter zunehmendem Druck das Wasser ab, das sie zuvor an den Mittelozeanischen Rücken eingebaut haben. Dieses Wasser steigt nach oben, wo es die Schmelzpunkte im Erdmantel der darüberliegenden Platte so erniedrigen kann, dass sich Magmen bilden. Die Magmen der Vulkane an den Subduktionszonen unterscheiden sich von denen anderer geotektonischer Situationen tatsächlich auch durch einen bedeutend höheren Wassergehalt. Das ist auch einer der Gründe für die hohe Explosivität dieser Vulkane.

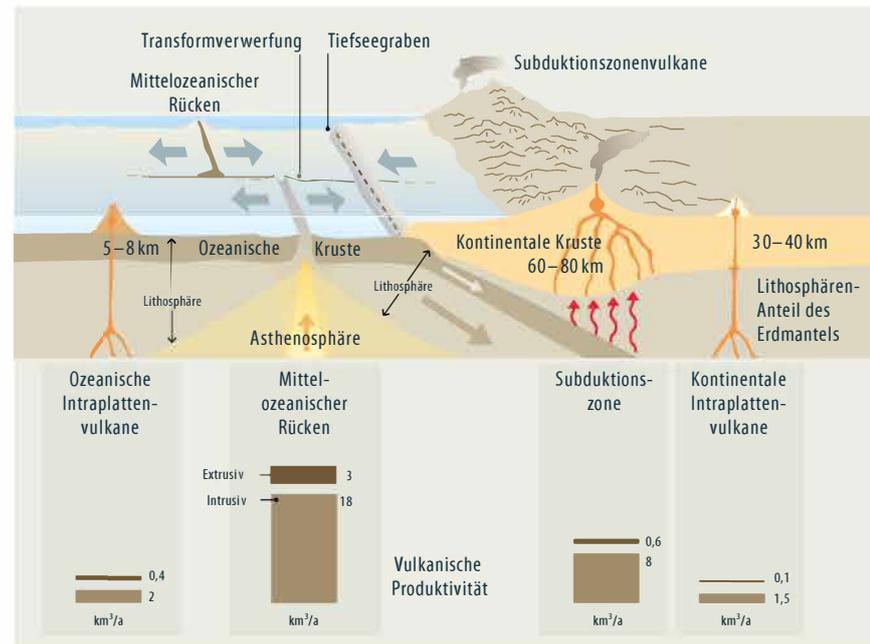
Für den Aufbau der großen Vulkankegel eines klassischen **Schichtvulkans** bedarf es aber vor allem auch eines ortsfesten magmatischen Fördersystems. Die Ausbrüche müssen über Tausende oder Zehntausende von Jahren immer wieder vom gleichen Krater kommen, während in der Tiefe – von der unteren, abtauchenden Platte – anhaltend Wasser für die Erzeugung neuen Magmas abgegeben wird. Eine solche dynamische Situation ist bei den Vulkanen in Deutschland nicht gegeben.

### ■ Vulkanismus inmitten einer Lithosphärenplatte

Vulkanismus findet auf der Erde somit im Wesentlichen an den Rändern der Lithosphärenplatten statt: an den Mittelozeanischen Rücken, an denen neue ozeanische Lithosphäre entsteht, sowie an den Subduktionszonen, an denen die Platte in den Mantel abtaucht. Die Vulkane in unserer Region liegen jedoch weit entfernt von einer

aktiven Plattengrenze. Dieser **Intraplattenvulkanismus** ist, was das Volumen eruptierten Magmas betrifft, der relativ unbedeutendste. Dazu kommt das Problem, dass seine Ursachen nicht so ohne Weiteres in allgemeiner Weise erklärt werden können wie bei den Plattenrandvulkanen, für deren Wirken man überall in den Lehrbüchern Schemata findet. Warum, so könnte man fragen, finden sich Intraplattenvulkane in Deutschland, aber nicht in England oder Skandinavien?

An dieser Stelle müssen wir festhalten, dass der Intraplattenvulkanismus nicht durchweg eine nur schwach entwickelte Erscheinung ist. Es gibt punktuell auch innerhalb der Platten einige volumenreiche und lange aktive Vulkansysteme. Musterbeispiele hierfür sind **Hawaii** oder **Yellowstone** – das erste innerhalb einer ozeanischen Platte, das zweite in kontinentaler Umgebung. Für solche hochaktiven vulkanischen Zentren gibt es auch eine weithin akzeptierte Erklärung: Diese Intraplattenvulkane liegen offenbar über eng begrenzten Aufstiegszonen heißen Mantelgesteins. Durch die



▲ 6 Die vulkanische Produktivität in verschiedenen plattentektonischen Situationen. Der intrakontinentale Intraplattenvulkanismus hat im globalen Durchschnitt die schwächste Produktivität. Weiterhin gilt, dass nur der kleinere Teil der im Erdmantel erzeugten Magmen auch die Oberfläche erreicht und dort Vulkanausbrüche auslöst – der größere Teil bleibt im Grenzbereich von Kruste und Mantel oder auch höher in der Kruste stecken. Verändert nach Schmincke (2013).

beim Aufstieg resultierende Druckentlastung kann es schließlich zur teilweisen Aufschmelzung des Gesteins und damit zur Bildung von Magma kommen.

Solche Aufstiegszonen wurden bereits in der frühen Zeit der nach 1960 formulierten Plattentektoniktheorie vermutet und **Hot Spots** genannt. Indem die Platte über den – relativ ortsfesten – Hot Spot wandert, entsteht eine Vulkankette: Während der aktive vulkanische Bereich gerade direkt über dem Hot Spot sitzt, sind ältere Vulkane bereits mit der Platte über diesen Punkt hinweggewandert und erloschen. Je weiter sie vom Hot Spot entfernt sind, desto älter sind sie. Dies kann an der Hawaii-Kette lehrbuchartig demonstriert werden. Auch die Spur des Hot Spots unter dem amerikanischen Kontinent lässt sich über 18 Millionen Jahre verfolgen. Gewaltige Volumen basaltischer Lava schufen das Columbia Plateau (vor 17 bis 14 Millionen Jahren), nachfolgend das Snake River Plateau und im jüngsten Abschnitt den Yellowstone-Vulkan. Beide Hot Spots sind also auch geologisch langlebige Systeme, wobei der unter Hawaii sitzende Hot Spot sogar seit 85 Millionen Jahren aktiv ist.

Das äußerst erfolgreiche Erklärungspotenzial dieses plattentektonischen Konzepts hat Geologen dazu geführt, auch für die Entstehung der Vulkanregionen in Deutschland einen Hot Spot zu postulieren (Duncan et al. 1972). Doch mit zunehmender Zahl und Genauigkeit radiometrischer Datierungen wurde bald deutlich, dass die Verteilung der Vulkangebiete keiner geordneten raum-zeitlichen Entwicklung folgt. Zudem sind die Volumen eruptierter Lava in den meisten Vulkangebieten relativ gering, sodass ein Vergleich mit der vulkanischen Tätigkeit an charakteristischen Hot Spots wie den oben genannten auch in dieser Hinsicht wenig überzeugend erscheint.

### ■ Der junge europäische Vulkangürtel

Die Hot-Spot-Hypothese als Ursache des jungen Vulkanismus in Deutschland wurde aufgegeben, ohne anfangs gleich plausible Ansätze zur Hand zu haben. Im Laufe der letzten ein bis zwei Jahrzehnte haben die Erklärungsversuche allerdings eine Richtung genommen, die die regionalen geologischen und erdgeschichtlichen Verhältnisse als wesentlichen Faktor ansehen.

Die Lage der deutschen Vulkangebiete verläuft gürtelförmig vor dem nördlichen Außenrand der Alpen. Nimmt man die jungen Vulkangebiete Frankreichs dazu, erweitert sich dieses Muster stimmig bis in das

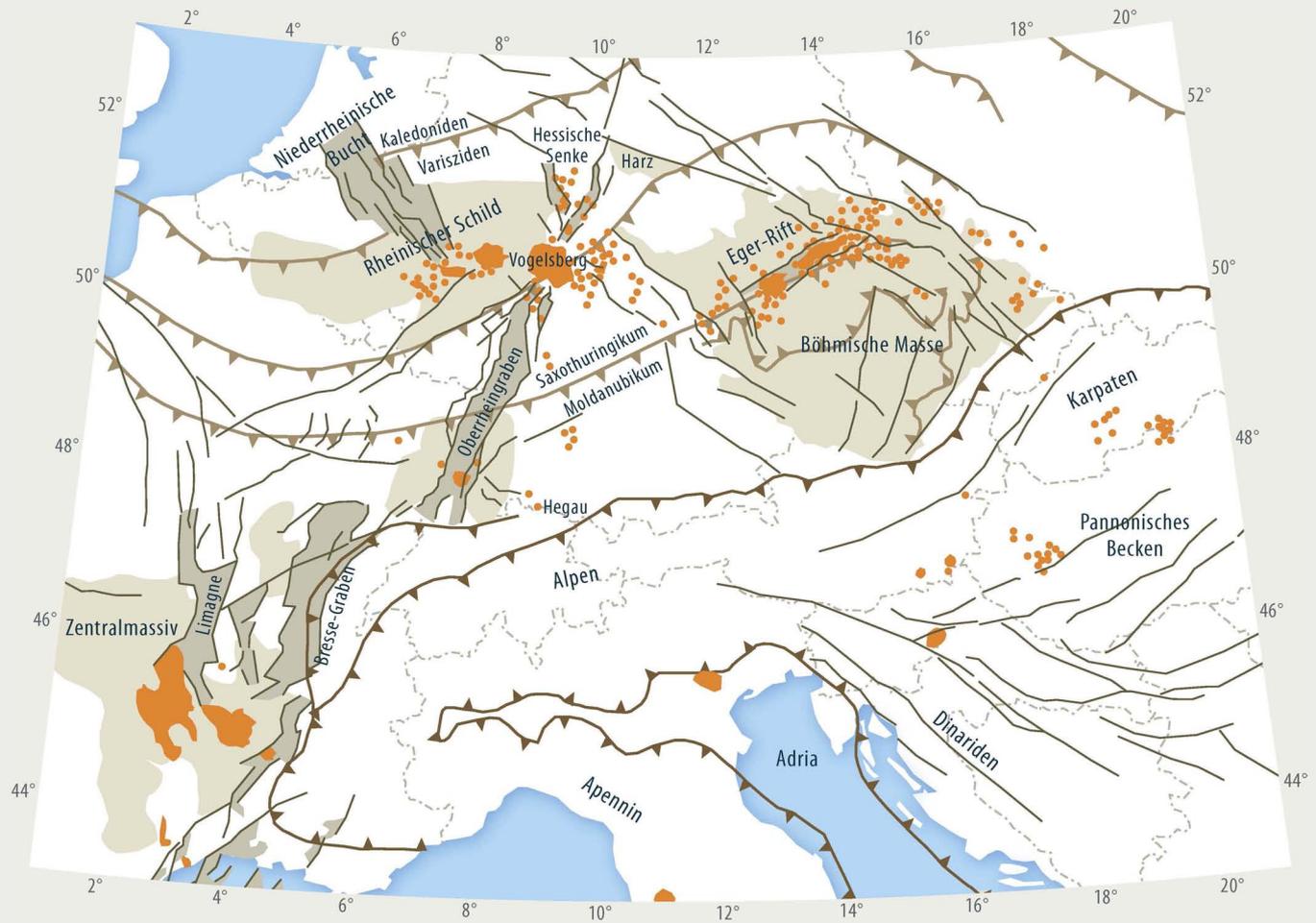
Vorland westlich der Alpen. In dieser Anordnung kann der Vulkanismus in eine kausale Beziehung mit den vom Alpenraum ausgehenden Spannungen gebracht werden. Um die gemeinsame Anlage dieser Vulkangebiete zum Ausdruck zu bringen, haben Geologen sie unter der Bezeichnung *European Cenozoic Volcanic Province* (ECVP), also Europäische erdneuzeitliche Vulkan-Provinz, zusammengefasst (Meyer & Foulger 2007 u. a.). Neben dem räumlichen Aspekt kommt darin auch ein erdgeschichtlicher Faktor zum Ausdruck: Der Vulkanismus ist im Wesentlichen auf das Känozoikum, also die Erdneuzeit konzentriert. Diese umfasst mit dem Tertiär und dem Quartär die letzten 65 Millionen Jahre.

Andere Autoren verwenden stattdessen die Bezeichnung *Central European Volcanic Province* (CEVP), also Zentral-Europäische Vulkanprovinz, womit die zeitliche Einordnung vernachlässigt, auf der andere Seite aber die räumliche Position präzisiert wird (Wimmer 1974, Kolb et al. 2012, Jung et al. 2012 u. a.). Der Einfachheit halber werden wir im Folgenden etwas abgekürzt von der **Europäischen Vulkanprovinz (EVP)** sprechen – und dabei weder ihre geologische Jugend noch ihre Beschränkung auf den vor den Alpen gelegenen Gürtel vergessen.

Sieht man von ersten schwachen vulkanischen Aktivitäten in der Oberen Kreide ab, war die Hauptaktivität in allen Gebieten der EVP in der Tertiärzeit, vor allem im Oligozän und Miozän. Nach Unterbrechungen hat die Aktivität dann in Deutschland wie auch in Frankreich in der jüngsten Vergangenheit, also erst wieder im Quartär, erneut zugenommen. In Frankreich gehören die *Chaîne des Puys*, der *Mont Dore* und der *Devès* zu diesen jungen aktiven Gebieten, in Deutschland sind es die West- und Osteifel sowie der westliche Egergraben.

Dem Vulkanismus der EVP ging eine lange Zeit magmatischer Ruhe voraus. Um in Deutschland frühere vulkanische Epochen zu finden, müssen wir weit in die Erdgeschichte zurückgehen. Erst zur Zeit des Perms treffen wir wieder auf umfangreiche Zeugnisse vulkanischer Aktivität, weitere folgen in noch älteren Perioden. Vielfach prägen selbst diese erdgeschichtlich alten Formen noch die heutige Landschaft – der **Rotenfels** an der Nahe oder der südlich davon in der Pfalz gelegene **Donnersberg** sind markante Beispiele für den permzeitlichen Vulkanismus.

Die vulkanischen Zeugnisse der geologischen Vergangenheit sind also definitiv nicht gleichmäßig in der Erdgeschichte verteilt. Nach dem Unteren Perm – vor



▲ 7 Die Lage des jungen Europäischen Vulkangürtels vor den Alpen ist mit mehreren großen Rift-Strukturen verknüpft. Die Skizze zeigt auch strukturelle Grenzen innerhalb der Lithosphäre, wie sie beim Zusammenbau Europas seit dem Erdaltertum (kaledonische, variskische und alpidische Gebirgsbildung) entstanden sind. Nach Ulrych et al. (2011).

270 bis 260 Millionen Jahren – herrschte in unserer Region über etwa 200 Millionen Jahre weitgehend vulkanische Ruhe. Aus Trias und Jura gibt es in Deutschland nur ganz wenige, kaum nennenswerte Relikte. Das trifft auch noch für weite Abschnitte der Kreide zu, in der dann erst gegen Ende erste, schwache Aktivitäten nachzuweisen sind.

Der eigentliche Schwerpunkt der nun wieder zunehmenden vulkanischen Aktivität war jedoch im Tertiär, insbesondere im Oligozän und Miozän. Plattentektonisch betrachtet ist das die Zeit, in der die Alpen aus den ozeanischen Bereichen zwischen der Eurasischen und Afrikanischen Platte herausgehoben und nach Norden und Nordwesten auf die kontinentale europäische Kruste geschoben wurden. Die Deformationen reichten – und reichen – dabei weit in das nördlich-nordwestliche Vorland der Alpen hinein. Ein augenfälli-

ger Ausdruck der dabei aufgebauten Spannungen ist die Deformation und Aufschichtung des **Französisch-Schweizer Faltenjuras** vor erst 10 bis 5 Millionen Jahren.

Die jüngste, in die Gegenwart reichende vulkanische Phase ist nicht überall scharf von älteren zu trennen, denn Pausen von mehreren Millionen Jahren hat es in einigen Regionen auch schon zwischen den älteren Aktivitätsphasen gegeben. Im westlichen Alpenvorland, also in Frankreich, scheint die junge bzw. gegenwärtige Aktivität im Vergleich zu Deutschland durchgängiger mit den früheren Phasen verbunden zu sein (Nowell et al. 2006).

In Deutschland sind die jungen aktiven Gebiete zeitlich schärfer von den vorangehenden, älteren abzugrenzen. Räumlich liegen diese jungen Gebiete aber dennoch in der Nähe der älteren Vulkangebiete. Im

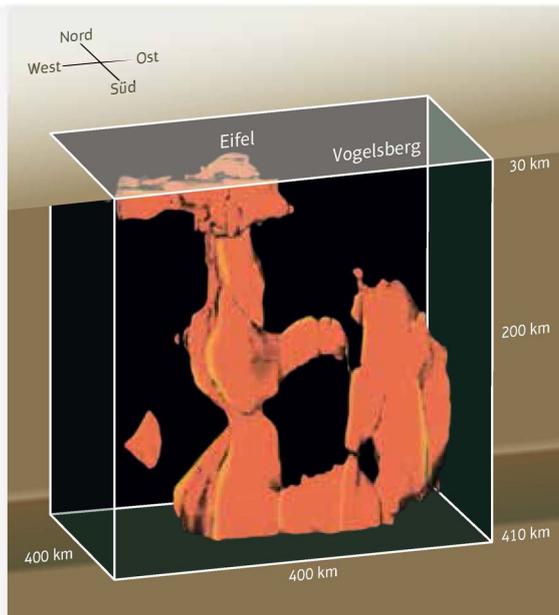


Die Schlackenkegel der Monte Silvestri (Ätna, Südhang)



Foto: antonio2114 - Fotolia.com

► 8 Dreidimensionale Modellierung der Temperaturunterschiede im Erdmantel unter Eifel und Vogelsberg. Während unter der Eifel leicht erhöhte Manteltemperaturen festgestellt werden können, zeichnet sich eine solche Anomalie unter dem lange erloschenen Vogelsberg erst in größerer Tiefe ab. Nach Ritter et al. (2001), Ritter (2002)



Egergraben finden sie sich im Bereich einer tektonisch aktiven Zone am Westrand des Egerbeckens, in dessen Umgebung schon im Oligozän zahlreiche Vulkane entstanden waren. Die aktiven Vulkangebiete der Ost- und Westeifel überschneiden sich ihrerseits randlich mit den zeitlich weit gestreuten Vulkanen des tertiärzeitlichen **Hocheifel-Vulkanfelds**. Der Vulkanismus der EVP kann somit als eine räumlich einheitliche, aber auch zeitlich deutlich von der vorangehenden erdgeschichtlichen Entwicklung abgrenzbare Erscheinung verstanden werden.

### ■ Krustenspannungen vor den Alpen

Die Vulkanregion der EVP deckt sich mit einem Bereich, der aufgrund seiner strukturellen Eigenschaften ebenfalls unter einen zusammenfassenden Begriff gebracht wurde: Das **Europäische känozoische Riftsystem (European Cenozoic Rift System, ECRIS; Prodehl et al. 1995, Wilson & Downes 2006, Ziegler & Dèzes 2007 u. a.)** ist durch die erdneuzeitliche Entstehung von großen Grabenbrüchen definiert. Egergraben und der Oberrheingraben mit seinen Fortsetzungen in der Hessischen Senke sowie die tektonisch aktive Niederrheinische Bucht sind die dominierenden Strukturen in Deutschland. Nach Südwesten hin kommen in Frankreich Bresse- und Limagnegraben sowie weitere, kleinere Strukturen dazu.

Die großen Grabenstrukturen wurden traditionell vor allem vertikalen Prozessen zugeschrieben. „He-

bung, Spaltung, Vulkanismus“ – diese Folge galt als ein Konzept, das vor der Zeit der Plattentektonik eine Verbindung zwischen Grabenbildung und den dort auffälligen vulkanischen Erscheinungen sah (Cloos 1939). Später, aus der Sicht der Plattentektonik, wurden die Gräben als „Rifts“ bezeichnet, womit nicht nur eine Anbindung an die englischsprachige Terminologie, sondern auch eine veränderte Sichtweise einherging: Rifts waren nicht einfach nur Grabenbrüche, sondern Zonen, an denen tektonische Platten auseinanderreißen und am Ende sogar neue Ozeane entstehen konnten. Als Modellbeispiel eines derartigen Rifts wird häufig das Ostafrikanische Grabensystem zitiert. Diese Bruchlinie wird von zahlreichen, sehr produktiven Vulkanen begleitet. Im Norden trifft das Grabensystem auf das Rift des Roten Meeres, in dem bereits ozeanische Kruste zu finden ist.

In der Frühzeit der Plattentektonik herrschte die Meinung vor, wesentliche tektonische Prozesse wären ausschließlich auf die Plattenränder konzentriert. Erst mit der Zeit wurde deutlich, dass die Platten auch fern von den Rändern unter beträchtlichen Spannungen stehen können. In der Folge begann man zu unterscheiden, ob solche Riftstrukturen tatsächlich durch von unten aufsteigende heiße Mantelmaterie verursacht wurden oder ob nicht umgekehrt seitlich anliegende Spannungen zur Ausdünnung der Lithosphäre führten. Im zweiten Fall wäre der Aufstieg des Mantels und damit auch die vulkanische Aktivität nicht der primäre, ursächliche Effekt, sondern die Folge. Die erste Art von Rifts wurde als **aktiv**, die zweite als **passiv** bezeichnet.

Die in der Tertiärzeit vor den Alpen aktivierten Grabenbrüche wurden nun von vielen Geologen als solche passiven Riftstrukturen verstanden. Der Vulkanismus in der Umgebung dieser durch Krustenausdünnung gekennzeichneten Bereiche konnte somit prinzipiell mit Aufschmelzungen innerhalb des infolge der Krustendehnungen sekundär aufgestiegenen, heißen Erdmantels erklärt werden. So gesehen wäre der Intraplattenvulkanismus der EVP also eine Folge der Zerrung und Ausdünnung der Lithosphäre vor der Front der Alpen.

Die Anbindung des Vulkanismus an die Grabenstrukturen ist allerdings nur zum Teil räumlich eng. Einige tektonisch besonders aktive Bereiche, wie etwa die Niederrheinische Bucht unterhalb Kölns, sind völlig frei von vulkanischen Aktivitäten. Die aktiven Eifel-Vulkanfelder liegen hingegen weit von den Grabensystemen entfernt und markieren Zonen starker, aktiver Hebung.

Ist es nicht doch möglich, dass hier der Aufstieg heißen Mantels der Ausdünnung der Lithosphäre vorangeht?

Aufsteigendes heißes Mantelgestein wird zumeist als ein **pilzförmiger Auftriebsbereich** modelliert. Unter der Front (Kopf, *head*) dieses Bereichs folgt nach den aktuellen Modellvorstellungen eine Art Stiel oder Schlauch (Schweif, *tail*). Weil diese Formen gleichsam durch den umgebenden, relativ kühleren Mantel nach oben durchstoßen, wurde der Begriff **Manteldiapir** gewählt (englisch auch *Mantle Plume*, was im Deutschen weniger prägnant Mantelwolke oder -fahne bedeuten würde). Mit den modernen Techniken der Seismographie lassen sich solche heißen Bereiche im Mantel anhand der dort verlangsamten Laufzeiten entdecken. Unter den großen Hot Spots wie Island und Hawaii konnten solche heißen Aufstiegszonen tatsächlich auch nachgewiesen werden. Auch unter einigen Regionen der EVP wurden Hinweise auf solche heißen Manteldiapire gefunden – allerdings im Durchmesser viel kleiner als die bekannten großen Hot Spots, sodass manche hier gar von *Baby Plumes* (Heuer et al. 2011) oder „**heißen Fingern**“ sprechen (Wilson & Patterson 2001).

Im Gegensatz zur Eifel ist es im ebenfalls vulkanisch aktiven westlichen Egergraben bisher nicht gelungen, einen solchen „Baby Plume“ nachzuweisen. In den älteren, tertiärzeitlichen Vulkanfeldern ist der seismische Nachweis solcher ehemaliger kleiner Manteldiapire schon wegen der fortgeschrittenen Abkühlung kaum mehr möglich. Allein für den Vogelsberg wurden solche Hinweise gefunden (Wilson & Downes 2006).

Es bleibt festzustellen, dass das Verständnis von der Dynamik des Erdmantels und den Ursachen des Intraplattenvulkanismus offenbar noch nicht ausreicht, um in diesen Fragen gegenwärtig zu einem Konsens zu kommen. In mancher Hinsicht scheint es so, dass Vertreter des „Passiven-Rift-Konzepts“, also einer durch seitliche Spannungen angestoßenen Bildung vulkanischer Schmelzen, und die Vertreter des „Manteldiapir“- oder zumindest „Baby-Plume-Konzepts“ kein Konzept finden, das beide Aspekte als gemeinsamen Ausdruck der thermischen Organisation des Erdmantels zu integrieren vermag.

In mehreren Fällen – Vogelsberg, Westlicher Egergraben – gibt es Hinweise, dass die aus früheren geotektonischen Prozessen ererbte Struktur der Kruste eine wesentliche Rolle für den Aufstieg der Schmelzen bildet. Ehemalige Plattengrenzen aus der Zeit der bereits im Unterkarbon abgeschlossenen variskischen Krustendeformationen könnten als vorgegebene strukturelle Wege funktionieren. Auch könnte der Erdmantel die Folgen der Alpenbildung noch nicht völlig „verdaut“ haben: Abtauchende kühle Lithosphärenplatten müssen in der Umgebung zum Ausgleich den Aufstieg heißen Mantelmaterials hervorrufen (Wilson & Downes 2006).

Mit der zunehmenden zeitlichen Präzisierung der Eruptionsgeschichte ist ein weiterer Aspekt relevant geworden: Die jüngeren quartärzeitlichen Aktivitätsphasen scheinen mit dem eiszeitlichen Klimagang zu korrelieren (Nowell et al. 2006). Ausbrüche häufen sich offenbar gegen Ende der Kaltzeiten. Dies sind die Phasen, in denen Kruste und Mantel durch das Abschmelzen mächtiger Eismassen in relativ kurzer Zeit starken Spannungsänderungen ausgesetzt sind. Solche Korrelationen sind aus Island bekannt, wo die Vulkane allerdings direkt unter dem Eispanzer lagen. Da die EVP aber, zumindest in ihrem deutschen Abschnitt, durchweg im eisfreien Bereich lag, erscheint ein solcher Zusammenhang auf den ersten Blick nicht einfach mit Veränderungen der Auflast erklärbar zu sein. Allerdings könnten ausgleichende Bewegungen auch den Erdmantel außerhalb der vom Eis bedeckten Regionen erfassen. Die sich zukünftig weiter verbessernde Datenlage wird zeigen, ob sich diese Hypothese erhärten lässt.

Unsere Frage nach den Ursachen der jungen Vulkane in Deutschland kann nach dem Stand der Dinge nicht mit einer einfachen Antwort geklärt werden. Es muss uns genügen, die nahen Ursachen der vulkanischen Erscheinungen zu verstehen: die Entstehung von Schmelzen im Erdmantel, die eventuelle Veränderung ihrer Komposition bei Zwischenaufhalten in Magmenkammern im Bereich der Kruste, die Bedeutung der Magmenkomposition und auch der oberflächennahen geologischen Bedingungen für den Verlauf der Eruption. ▲

# 2

## Die fortwährende Entgasung der Erde



▲9 Aus dem aktiven Krater des Stromboli (Liparische Inseln, Italien) steigen zwei unterschiedliche Wolken auf. Das größere Volumen nimmt die helle Wolke ein: Dabei handelt es sich vor allem um Wasserdampf, dazu auch Kohlendioxid und stark untergeordnet auch um Anteile anderer Gase. Diese Form der Entgasung ist an aktiven Vulkanen weitgehend kontinuierlich. Am rechten Rand ist eine kleine, dunkle Wolke zu erkennen: Diese stammt von einer schwachen Eruption. Die dunkle Färbung wird durch den hohen Anteil an Asche verursacht. In der Dunkelheit würde man auch einige rot glühende Bomben oder Lavafetzen fliegen sehen. Schwächere Entgasung findet auch an der Flanke des Kegels statt: Helle Geländebereiche markieren Zonen, in denen die heißen Gase das vulkanoklastische Gestein zersetzt haben. In den gelben Bereichen ist Schwefel auskristallisiert (Aufnahme 1999).

**K**ohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ), oder verkürzt gesprochen, Kohlendioxid, hat gegenwärtig keinen guten Ruf, weil es als Treibhausgas möglicherweise zur aktuellen Klimaerwärmung beiträgt oder diese gar verursacht. Eine Einschränkung auf diese Perspektive wird aber der Bedeutung des Kohlendioxids im Stoffkreislauf der Erde nicht gerecht. **Kohlendioxid** ist wesentlich für Pflanzen und jene Bakterien, die mithilfe von Sonnenenergie und Wasser daraus Zucker gewinnen. Durch diese Photosynthese wird die für die Nahrungskette grundlegende organische Substanz erzeugt, die die Existenzgrundlage für Pflanzenfresser und letztlich auch für die sich von Pflanzen-

fressern ernährenden Fleischfresser bildet. So gelangt Kohlenstoff auch in unseren Körper, wo er mit der Atmung wieder zu Kohlendioxid „verbrannt“ wird und mit unserer Atemluft erneut in die Atmosphäre gelangt.

Es sind vor allem die Vulkane, die das Kohlendioxid ursprünglich in die Atmosphäre gebracht haben und es noch immer aus der Tiefe des Erdmantels an die Oberfläche bringen. Die gegenwärtige vulkanische Aktivität der Erde macht etwa 1% des aktuellen, durch Verbrennung fossiler Energieträger vom Menschen produzierten Kohlendioxids aus. So betrachtet, erscheint dieser Anteil bescheiden. Doch ohne den anthropogen verur-

sachten CO<sub>2</sub>-Ausstoß würden 100 Jahre genügen, um den gleichen Effekt zu erzielen, und die Erdgeschichte reicht lange genug zurück, sodass gewaltige Mengen dieses Gases an die Erdoberfläche gelangen konnten.

In der Atmosphäre findet man dennoch nur einen sehr kleinen Teil des in der Erdgeschichte freigesetzten Kohlendioxids, höhere Anteile sind in die Ozeane und über die **Photosynthese** in die Biomasse gewandert, und noch wesentlich mehr ist in Sedimenten begraben oder in den Carbonatgesteinen der Erdkruste gespeichert.

### ■ Kohlendioxidaustritte in aktiven Vulkangebieten

CO<sub>2</sub> ist nicht die einzige Komponente, doch nach dem Wasser bildet es in der Regel den zweithöchsten Anteil der Gase, die beim Aufstieg von Magmen freigesetzt werden. **Schwefelwasserstoff** und **Schwefeldioxid**, deren Anwesenheit aktiven Vulkanen die charakteristische Duftnote verleiht, erreichen normalerweise bei Weitem nicht diesen Anteil, auch wenn sie mit der Nase deutlicher wahrzunehmen sind als das geruch- wie farblose Kohlendioxid. Am Ende stammen aber alle Komponenten der Atmosphäre, wie vermutlich auch der überwiegende Anteil des auf der Erdoberfläche befindlichen Wassers, aus der Entgasung des Erdmantels. Vulkane sind die Systeme, an denen die Entgasung der Erde besonders direkt wie effizient verläuft.

**Tab. 1** Zusammensetzung vulkanischer Gase (Daten nach Textor et al. 2004, ergänzt und modifiziert(\*) nach Fischer 2008, dort allerdings nur Vulkane an Subduktionszonen).

	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	HCl	N <sub>2</sub> *	H <sub>2</sub> *	HF	HBr
% vol	50 – 90	1 – 40	1 – 25	1 – 10	1 – 10	– 3,6	– 1,18	< 10 <sup>-3</sup>	< 10 <sup>-3</sup>

Gase können sich in Flüssigkeiten und so auch in Magma lösen. Die Lösung von Gasen wird durch physikalische Bedingungen wie Druck und Temperatur modifiziert. Eine Sekt- oder Sprudelflasche liefert hier eine anschauliche Analogie: Die Druckentlastung durch Öffnen der Flasche führt dazu, dass zuvor gelöstes und daher nicht als Gasbläschen erkennbares Kohlendioxid in die Gasphase übergeht und nun Bläschen bildet, die – wenn sie sehr heftig aufsteigen – auch gleich noch eine spektakuläre Eruption verursachen können.

Der Vergleich mit der Sprudelflasche übergeht allerdings einen Unterschied: Bei vulkanischen Erupti-



▲ 10 Die „Bublak“ genannte Quelle ist der stärkste bekannte CO<sub>2</sub>-Austritt im Egerbecken (Tschechische Republik, Geopark Bayern-Böhmen). Im Gegensatz zu heißen Fumarolen sind kühle Mofetten kein hinreichendes Zeugnis für eine in der Tiefe sitzende aktive Magmenkammer (Aufnahme 2015).



▲ 11 Trockengefallene, kalte CO<sub>2</sub>-Austrittsstellen im Naturschutzgebiet Soos (Tschechische Republik, Geopark Bayern-Böhmen). Die lineare Anordnung zeigt, dass der Aufstieg hier über eine entsprechend orientierte Kluft im Untergrund erfolgt (Aufnahme 2015).