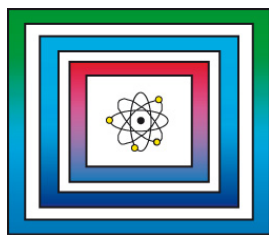


Standortauswahl

9S2018050000

Dokumentation und
Auswertung einer
Expertenbefragung zur
langfristigen Vorhersage
vulkanischer Aktivität in
Deutschland



Dokumentation

Hannover, August 2020

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND
ROHSTOFFE HANNOVER

Standortauswahl

Entwicklung von Indikatoren zukünftig zu erwartender vulkanischer
Aktivität in Deutschland

Dokumentation und Auswertung einer Expertenbefragung zur
langfristigen Vorhersage vulkanischer Aktivität in Deutschland

Dokumentation

Autoren:	Bartels, Alexander, Dr. Rummel, Lisa, Dr. May, Franz, Dr.
Auftragsnummer:	9S2018050000
Datum:	06.08.2020
Geschäftszeichen:	B3.1/B50161-11/2020-0002/001
Gesamtblattzahl:	104

Im Auftrag:

gez. G. Enste

Direktor und Professor G. Enste
Abteilungsleitung B 3 und Projektleitung Endlagerung

Inhaltsverzeichnis	Seite
Verkürzte Zusammenfassung	3
Abstract	4
1 Einleitung	5
1.1 Veranlassung und Zielsetzung	5
1.2 Zielgruppe und Befragung	6
1.3 Betrachtung zur Statistik	6
1.4 Definitionen	7
1.4.1 Relative Mehrheit	7
1.4.2 Absolute Mehrheit	8
1.4.3 Überwiegende Mehrheit	8
2 Prognosemöglichkeit des Vulkanismus in Deutschland	9
3 Vulkanismus in Deutschland	12
3.1 Relevanz der präquartären Vulkanfelder	12
3.2 Zukünftige vulkanische Aktivität in den känozoischen Vulkanfeldern	13
3.3 Räumliche Verlagerung des quartären Vulkanismus	15
4 Bewertung möglicher Indikatoren für die Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland	17
5 Relevanz der einzelnen Indikatoren für das Prozessverständnis vulkanischer Aktivität in Deutschland	23
6 Geodynamik und Prozessverständnis	28
6.1 Entstehung des känozoischen Vulkanismus in Deutschland	28
6.2 Vergleichbare Vulkanfelder und Zusammenhang zu großmaßstäbigen Strukturen	33
7 Wissenslücken	38
7.1 Aufarbeitung von Wissenslücken	38
7.2 Vorschläge für vertiefende Workshops	40
8 Fazit	46
9 Nächste Schritte	48
Literaturverzeichnis	49
Tabellenverzeichnis	51
Abbildungsverzeichnis	53
Anhangverzeichnis	57

Verkürzte Zusammenfassung

Autoren:	Bartels, Alexander, Dr. Rummel, Lisa, Dr. May, Franz, Dr.
Titel:	Dokumentation und Auswertung einer Expertenbefragung zur langfristigen Vorhersage vulkanischer Aktivität in Deutschland
Schlagwörter:	Expertenumfrage, Indikatoren, Vulkanismus, Prognose, Standortauswahl, Ausschlusskriterium

Für die Suche nach einem Endlager für hochradioaktive Abfälle ist das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland hinsichtlich einer zukünftig möglichen vulkanischen Aktivität zu bewerten. 41 Experten und Expertinnen wurden zum Vulkanismus in Deutschland und zu einem, durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) angestrebten, einheitlichen Modell für die Abschätzung des zukünftigen Vulkanismus in Deutschland befragt. Die Befragten erwarten, dass sowohl in den quartären als auch in den präquartären Vulkanfeldern in Deutschland von einer erneuten vulkanischen Aktivität innerhalb der kommenden 1 Mio. Jahre ausgegangen werden muss. Ein deutschlandweit anwendbares Modell für die Prognose der vulkanischen Aktivität wird durch die überwiegende Mehrheit der Befragten befürwortet. Die Einschätzungen zu den geodynamischen und petrologischen Prozessen spiegeln die generelle wissenschaftliche Debatte über die Ursachen des Magmatismus im Platteninnern wider. Die Rückmeldungen zeigen Wissenslücken hinsichtlich des europäischen Intraplattenvulkanismus auf und enthalten Vorschläge zur weiterführenden Diskussion von Themen im BGR-initiierten Projekt „Magmatismus“.

Abstract

Authors:	Bartels, Alexander, Dr. Rummel, Lisa, Dr. May, Franz, Dr.
Title:	Documentation and evaluation of an expert survey on the long-term forecast of volcanic activity in Germany
Subject terms:	expert survey, indicators, volcanism, forecast, site selection, exclusion criteria

When looking for a repository for highly radioactive waste, the area of the Federal Republic of Germany must be assessed with regard to possible future volcanic activity. 41 experts were interviewed regarding volcanism in Germany and regarding a uniform model, aimed by the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), for assessment of future volcanic activity. The experts expect that renewed activity within the next 1 million years must be assumed for both, the quaternary as well as the pre-quaternary volcanic fields in Germany. The predominant majority of the participants support the proposal of a uniform assessment model for future volcanic activity that can be used throughout Germany. The assessments of the geodynamic and petrologic processes causing volcanism reflect the general scientific debate on the causes of magmatism in the interior of continental plates. The responses reveal gaps in knowledge regarding European intraplate volcanism. The interviewed experts made proposals for topics that could be discussed further in the project „Magmatism“, initiated by BGR.

1 Einleitung

1.1 *Veranlassung und Zielsetzung*

Bei der Suche nach einem Standort für hochradioaktive Abfälle sind Gebiete mit zu erwartender zukünftiger vulkanischer Aktivität in den kommenden 1 Mio. Jahren auszuschließen (§22 Abs. 2 Nr. 5 Standortauswahlgesetz (StandAG 2017)). Im Forschungsprojekt „Magmatismus“ der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) soll ein Konzept für die Prognose einer zukünftigen vulkanischen Aktivität in Deutschland erarbeitet werden, das bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen genutzt werden kann. Dabei wird der Bericht „Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland“ von May (2019) zugrunde gelegt, der für die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) erstellt wurde. In diesem Bericht wird die Verwendung von Indikatoren zur Abschätzung der zukünftig zu erwartenden vulkanischen Aktivität vorgeschlagen, und soll anhand der vorhandenen Daten und unter Einbeziehung der wissenschaftlichen Gemeinschaft konkretisiert werden.

Ein Fragebogen wurde als erster Schritt zur Erfassung des aktuellen Meinungsbildes innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft erstellt, dessen Auswertung den zentralen Teil dieses Berichtes darstellt. Der Fragebogen beinhaltet Fragen zu Prognosemöglichkeiten des Intraplattenvulkanismus sowie grundsätzlichen Vorstellungen zu den Ursachen und Prozessen des jungen Magmatismus in Deutschland. Das Ziel der Befragung ist die Dokumentation zum Stand der wissenschaftlichen Kenntnis bzw. möglicher offener Fragen zum zukünftig möglichen Magmatismus.

Die ausgewerteten Daten sollen Anregungen zur Optimierung oder Ergänzung des Vorschlags von May (2019) geben, sowie zur Fokussierung der weiteren Arbeiten auf relevante, aber auch auf uneinheitlich bewertete Indikatoren dienen. Ferner sollen mögliche Themen erarbeitet werden, bei denen, innerhalb des durch das StandAG vorgesehenen Zeitraums für die Standortfindung, eine Verbesserung der Prognosemöglichkeiten möglich erscheint. In weiterführenden Befragungsrunden oder Workshops können diese Themen ausführlicher erörtert und diskutiert werden. Dabei ist der primäre Zweck die Unterstützung des Standortauswahlverfahrens, nicht der wissenschaftliche Fortschritt, was jedoch nicht ausschließt, dass sich Empfehlungen oder Ansätze für weitere Forschungen ergeben können.

1.2 Zielgruppe und Befragung

Aufgrund von Publikationen und Internetrecherchen wurden Fachleute identifiziert, die sich selbst aktuell mit dem Magmatismus und der jungen Geodynamik in Deutschland beschäftigen bzw. in der Vergangenheit (ab ca. 1980) daran geforscht haben, oder zum allgemeinen Prozessverständnis beitragen können. Die Auswahl der Expertinnen und Experten wurde auf Basis der in May (2019) aufgestellten Liste von möglichen relevanten Indikatoren getroffen und umfasst folglich Repräsentanten eines breiten Spektrums geowissenschaftlicher Fachrichtungen und Arbeitsgebiete. Bei Fachgebieten, die durch die vertretene Expertise der Teilnehmenden nicht ausreichend repräsentiert waren, wurde gezielt nach weiteren Fachleuten auf den entsprechenden Gebieten recherchiert und diese angeschrieben. Einladungen zur Teilnahme wurden an insgesamt 101 Expertinnen und Experten verschickt, von denen die Mehrzahl in Deutschland ansässig ist. Insgesamt haben 47 Personen ihr Interesse bekundet, an dem Projekt mitzuwirken. Davon haben 41 Personen den Fragebogen bearbeitet. Darunter sind Fachleute mit unterschiedlichem wissenschaftlichem Hintergrund sowohl von Forschungseinrichtungen als auch von den geologischen Diensten der Länder sowie der BGR. Bei der Auswertung der Fragen sind Vorschläge oder Textzitate nicht personenbezogen wiedergegeben worden.

1.3 Betrachtung zur Statistik

In der statistischen Betrachtung der Stichprobe von 41 beantworteten Fragebögen wird von einer Grundgesamtheit von 101 Fachleuten ausgegangen, die, wie oben beschrieben, auf Basis des durch May (2019) erarbeiteten Vorschlags und den dort beschriebenen Indikatoren zum zukünftigen Vulkanismus in Deutschland, ausgewählt wurden.

Die sich aus den beantworteten Fragebögen ergebene Stichprobengröße von 41 ist im Hinblick auf ihre Repräsentativität zu bewerten. Da weder die Auswahl der Expertinnen und Experten noch deren Antworten einer statistisch gesetzmäßigen Verteilung unterliegen, sind statistische Auswertungen zur Beurteilung der Konfidenz der Ergebnisse der Umfrage nicht sinnvoll. Wir beschränken uns daher auf die Angaben der Anzahl der Antworten und auf deren graphische Darstellung sowie, wenn notwendig, eine Klassifizierung der mehrheitlich genannten Antworten nach allgemein verständlichen und nachvollziehbaren Klassengrenzen (siehe 1.4).

Da die Fachleute ein weites Spektrum an Fachkenntnissen abdecken, ist eine weitere Differenzierung in der Auswertung der Antworten sinnvoll. Nicht jede Person hat zu allen Fragen geantwortet. Daher haben wir jeweils die Enthaltungen mit angegeben, um eine bessere Abschätzung des wissenschaftlichen Konsenses zu ermöglichen.

Rein statistische Einschätzungen des wissenschaftlichen Konsenses sind zudem nicht sinnvoll, da die befragten Fachleute die den Indikatoren zugrundeliegenden Wissensgebiete in unterschiedlicher Breite und Tiefe sowie in unterschiedlicher Anzahl abdecken. Die Befragten wurden um eine persönliche Einschätzung ihrer Fachkenntnisse in Bezug auf die in Tab. 1 aufgeführten Indikatoren gebeten. Dieser Bitte kamen 24 Personen nach, wobei Mehrfachnennungen möglich waren. Die 17 Personen, die keine Angaben gemacht haben, sehen sich möglicherweise als Generalisten oder als Experten anderer Fachgebiete. Die Auswertung zeigt, dass 20 der insgesamt 27 Indikatoren von mindestens zwei der befragten Personen als persönliche Expertise angegeben wurden. Diese Verteilung von Spezialisten und Personen, die sich vermutlich mehr als Generalisten sehen oder Experten auf anderen Gebieten sind, ist für die interdisziplinäre Aufgabe von Vorteil, wenn einerseits Einschätzungen auf einer Mehrheit der Befragten beruhen und andererseits Spezialisten mit einschlägigen Kenntnissen diese mehrheitlichen Ansichten teilen.

Die jeweilige Bewertung der Relevanz eines Indikators durch die Gesamtzahl der Befragten kann so der Bewertung der für einen Indikator identifizierten Expertinnen und Experten gegenübergestellt und so für die Abschätzung des Konsenses bzw. zum Aufdecken möglicher Diskrepanzen genutzt werden. Für den Zweck dieser Studie werden Indikatoren als hinreichend repräsentiert angesehen, wenn zwei Personen diesbezüglich eine persönliche Expertise angegeben haben.

Sieben der in Tab. 1 aufgeführten Indikatoren wurden von keiner bzw. maximal einer Person als persönliche Expertise angegeben. Diese werden daher als unterrepräsentiert angesehen. Es ist jedoch anzumerken, dass diese sieben Indikatoren, obwohl nicht als persönliche Expertise angegeben, trotzdem von einer Mehrheit der Befragten hinsichtlich ihrer Relevanz bewertet wurden. Bei der Betrachtung dieser sieben Indikatoren können im weiteren Projektverlauf gezielt Expertenmeinungen eingeholt und diese bei der abschließenden Bewertung der Indikatoren hinsichtlich ihrer Relevanz für einen zukünftigen Vulkanismus in Deutschland miteinbezogen werden.

1.4 Definitionen

Die folgenden qualitativen Angaben sind wie folgt definiert und finden im weiteren Verlauf des Textes Verwendung.

1.4.1 Relative Mehrheit

Vereint eine Antwortoption mehr Stimmen auf sich als jede andere Option, ist dies als relative Mehrheit definiert.

1.4.2 Absolute Mehrheit

Vereint eine Antwortoption mehr Stimmen auf sich als alle anderen Optionen zusammen (> 50 %), inklusive der Anzahl der Enthaltungen, ist dies als absolute Mehrheit definiert.

1.4.3 Überwiegende Mehrheit

Vereint eine Antwortoption mehr als zwei Drittel aller abgegebenen Stimmen ($\geq 66\%$), inklusive Enthaltungen, ist dies als überwiegende Mehrheit definiert.

2 Prognosemöglichkeit des Vulkanismus in Deutschland

Der erste Abschnitt des Fragebogens erfasst die allgemeine Einschätzung zu den Prognosemöglichkeiten eines zukünftigen Vulkanismus in Deutschland innerhalb der nächsten 1 Mio. Jahre. Nur 15 % der Befragten halten aktuell quantitative Aussagen zur Wahrscheinlichkeit zukünftiger Vulkanausbrüche in den kommenden 1 Mio. Jahren in Deutschland für möglich. Demgegenüber stehen 78 %, die eine solche Aussage aktuell für nicht möglich halten (Abb. 1).

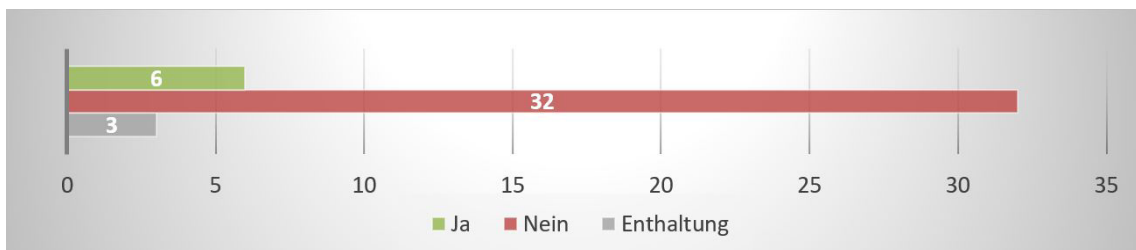


Abb. 1: Zustimmung zur Möglichkeit, quantitative Aussagen zur Wahrscheinlichkeit zukünftiger Vulkanausbrüche in den kommenden 1 Mio. Jahren in Deutschland zu treffen (Frage 1, Anhang 1.1). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Begründet wird dies in erster Linie mit einer mangelhaften Datengrundlage sowie einem unzureichenden Prozessverständnis. Mögliche fehlende Methoden wurden hier als zweitrangig eingestuft (Abb. 2).

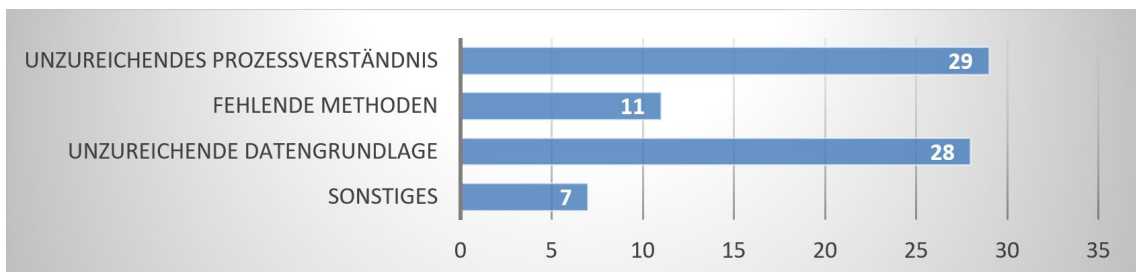


Abb. 2: Vorhandene Defizite, die eine quantitative Bewertung der Prognosemöglichkeiten der zu erwartenden Vulkanausbrüche in den kommenden 1 Mio. Jahren in Deutschland einschränken (Frage 1, Anhang 1.1). Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten. Mehrfachnennungen sind möglich.

Spezifiziert wird, dass nur wenig über mögliche Magmenherde bzw. -akkumulationen im oberen Erdmantel bekannt ist. Dies ist sowohl auf unzureichende Daten, evtl. fehlende Methoden und folglich auch auf ein mangelndes Prozessverständnis zurückzuführen. Des Weiteren fehlen sowohl die Datengrundlage als auch die Methoden (Rechenkapazitäten und Programme) für die Realisierung umfangreicher, physikalisch konsistenter Modelle, die sowohl die Dynamik der Lithosphäre als auch die der magmatischen Prozesse berücksichtigen.

Neben den vorgegebenen Punkten (unzureichende Datengrundlage, fehlende Methoden sowie fehlendes Prozessverständnis, Abb. 2) wird insbesondere das Fehlen einer intensiven, interdisziplinären Bewertung aller vorhandenen geologischen, geophysikalischen sowie geochemischen Daten bemängelt. Auch ein unzureichendes Monitoring verschiedenster seismologischer und geochemischer Daten (tiefe niederfrequente (deep low frequency (DLF)) Erdbeben, $\delta^{13}\text{C}$ (CO_2), $^3\text{He}/^4\text{He}$ von Fluiden) wird an dieser Stelle von mehreren Befragten herausgestellt.

Kritisch angemerkt wird, dass „die Prognostizierung einer vulkanischen Aktivität oder deren Nichtauftreten für eine Provinz oder breite Zone überregional einer anderen Konfidenz unterliegt als die Prognose lokaler Ausbruchsszenarien“. Die überregionale Prognostizierung wird dabei für möglich gehalten und deren Aussagekraft durch die „Standfestigkeit“ geodynamischer Modelle definiert. Die Prognose lokaler Ausbruchsszenarien ist hingegen bei aktueller Datenlage nicht möglich.

Bei der Beurteilung hinsichtlich möglicher qualitativer Aussagen zur Wahrscheinlichkeit zukünftiger Vulkanausbrüche in Deutschland geben 88 % der Befragten an, dass sie solche Aussagen nach aktuellem wissenschaftlichem Kenntnisstand für möglich halten (Abb. 3).

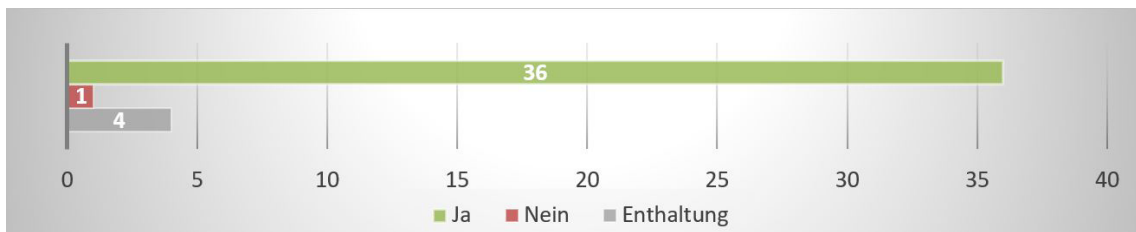


Abb. 3: Zustimmung zur Möglichkeit, qualitative Aussagen zur Wahrscheinlichkeit zukünftiger Vulkanausbrüche in den kommenden 1 Mio. Jahren in Deutschland zu treffen (Frage 2, Anhang 1.2). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Dabei halten 80 % der Befragten eine grobe regionale Abgrenzung von Gebieten, in denen zukünftiger Vulkanismus in den kommenden 1 Mio. Jahren in Deutschland ausgeschlossen werden kann bzw. zu erwarten ist, für möglich (Abb. 4). 12 % der Befragten halten an dieser Stelle sogar eine wissenschaftlich begründete Grenzziehung für realisierbar.

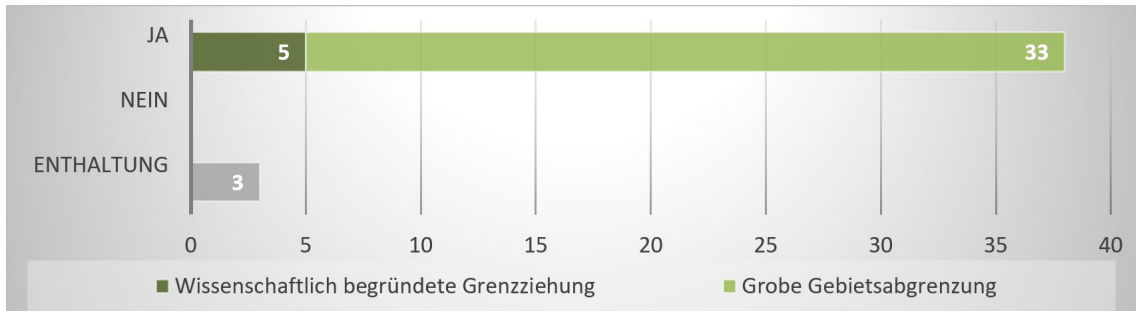


Abb. 4: Zustimmung zur Möglichkeit einer regionalen Abgrenzung von Gebieten in denen zukünftiger Vulkanismus in Deutschland ausgeschlossen bzw. erwartet werden kann (Frage 3, Anhang 1.3). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Aufgrund der politischen Herausforderung einer fairen, unvoreingenommenen und nachvollziehbaren Standortauswahl, erscheint ein einheitliches Vorgehen in allen Regionen Deutschlands, unabhängig von der Datenlage oder der Verbreitung vulkanischer Aktivität in der Vergangenheit, wünschenswert. Daher sollten die Teilnehmer bewerten, inwieweit sie eine Prognose des zukünftig zu erwartenden Vulkanismus anhand eines einheitlichen, deutschlandweit anwendbaren Schemas, mittels eindeutig definierter und gewichteter Indikatoren, für praktikabel halten. Mit 56 % gibt die absolute Mehrheit der Befragten an, dass sie ein solches Vorgehen für sinnvoll halten, 29 % stimmen dem nicht zu (Abb. 5).

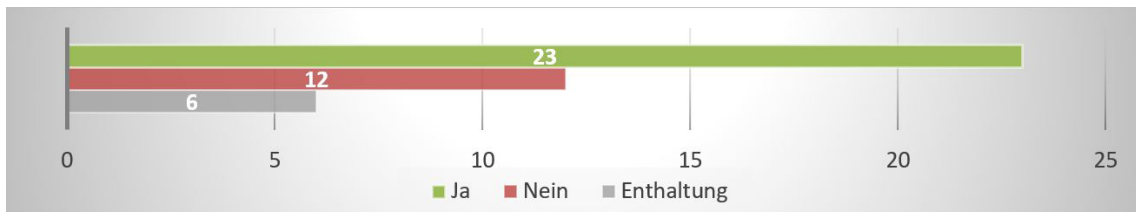


Abb. 5: Zustimmung zur Umsetzungsmöglichkeit eines deutschlandweit anwendbaren Schemas für die Prognose vulkanischer Aktivität (Frage 15, Anhang 1.15). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Einschränkend wird hier der derzeit eher qualitative Kenntnisstand aufgeführt, welcher aktuell keine zeitlichen Prognosen zulässt. Zudem fehlen ausreichend Monitoring Stationen für eine adäquate Datenerhebung der einzelnen Vulkanfelder.

Auch ist nach Meinung einiger Befragten die Relevanz einzelner Indikatoren in den jeweiligen Vulkanfeldern unterschiedlich zu gewichten. So ist beispielsweise der Strukturbaue der Kruste sowie dessen Vorprägung von Vulkanfeld zu Vulkanfeld unterschiedlich zu bewerten. Auch sollte die Relevanz einiger Indikatoren in den quartären Vulkanfeldern anders gewichtet werden als in den präquartären Feldern. Ein deutschlandweit anwendbares Schema wäre also nicht durchführbar. Vielmehr sollten die jeweiligen Vulkanfelder einzeln betrachtet und die jeweils relevanten Indikatoren erarbeitet werden.

3 Vulkanismus in Deutschland

In diesem Abschnitt wurden die Befragten differenzierter hinsichtlich ihrer Einschätzung zu einer möglichen zukünftigen vulkanischen Aktivität innerhalb der känozoischen Vulkanfelder in Deutschland befragt.

3.1 Relevanz der präquartären Vulkanfelder

Für ein verbessertes Prozessverständnis, sowie zur Prognose einer möglichen vulkanischen Aktivität in Deutschland, gibt die überwiegende Mehrheit der Befragten (68 %) an, dass neben den quartären auch die präquartären Vulkanfelder in die Betrachtungen mit einbezogen werden sollten (Abb. 6).

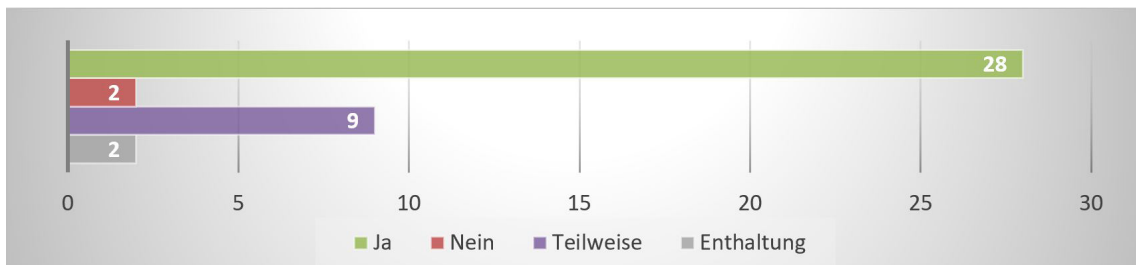


Abb. 6: Relevanz der präquartären Vulkanfelder für die Prognosemöglichkeit zukünftiger Vulkanausbrüche in Deutschland (Frage 4, Anhang 1.4). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Ein grundlegendes Argument für die Einbeziehung der präquartären Vulkanfelder besteht in der Tatsache, dass es bereits Vulkanfelder gibt, in denen sowohl präquartärer als auch quartärer Vulkanismus aufgetreten ist (Eifel, Siebengebirge, Westerwald, südlicher Egergraben). Folglich ist auch ein wiederauftretender Vulkanismus für weitere präquartäre Vulkanfelder nach heutigem Stand des Wissens nicht gänzlich auszuschließen. Konkretisiert wird außerdem, dass vermutlich ein stoffliches und daher wahrscheinlich auch ein „genetisches Kontinuum zwischen quartärem und tertiärem Vulkanismus“ besteht. Informationen zu grundlegenden Prozessen (Magmenentwicklung, -aufstieg, etc.) und Eigenschaften (Aktivitätsdauer, Periodizität, etc.) des quartären Vulkanismus könnten daher auch aus der Untersuchung präquartärer Vorkommen gewonnen werden, die z. B. häufig tiefer erodierte Stockwerke von Vulkangebäuden darstellen. Des Weiteren kann der präquartäre Vulkanismus in einigen Regionen (z. B. Hocheifel, Egergraben und am Oberrhein) auf tektonische Vorgänge zurückgeführt werden, die aber im Einzelnen noch nicht vollständig verstanden sind. Ein erweitertes Verständnis dieser Prozesse kann auch zu einem besseren Verständnis der quartären Vulkanfelder führen und somit auch zu verbesserten Prognosemöglichkeiten zukünftiger Vulkanausbrüche.

Bei der Antwortoption „Teilweise“ (Abb. 6) wird insbesondere auf die Betrachtung der Vulkanfelder verwiesen, die in unmittelbarer Nähe zu den quartären Vulkanfeldern liegen oder pliozänes Alter aufweisen.

3.2 Zukünftige vulkanische Aktivität in den känozoischen Vulkanfeldern

Für den Standort eines möglichen Endlagers ist gemäß StandAG (§22 Abs. 2 Nr. 5) eine vulkanische Aktivität innerhalb der nächsten 1 Mio. Jahre auszuschließen. Im Bereich der quartären Vulkanfelder in Deutschland (Westeifel, Osteifel und Oberpfalz) hält die überwiegende Mehrheit der Befragten einen erneuten aktiven Vulkanismus innerhalb des, durch das StandAG definierten Zeitraumes von 1 Mio. Jahren, für wahrscheinlich bzw. sehr wahrscheinlich (Abb. 7). Dabei werden die Kategorien „wahrscheinlich“ und „sehr wahrscheinlich“ mit 1-10 Ausbrüche / 1 Mio. Jahre bzw. > 10 Ausbrüche / 1 Mio. Jahre quantifiziert. Von einer befragten Person wird auf die geringe Datenlage im Bereich der Oberpfalz und angrenzenden Gebieten hingewiesen, in denen bislang nur wenige quartäre Vulkanstrukturen nachgewiesen werden konnten.

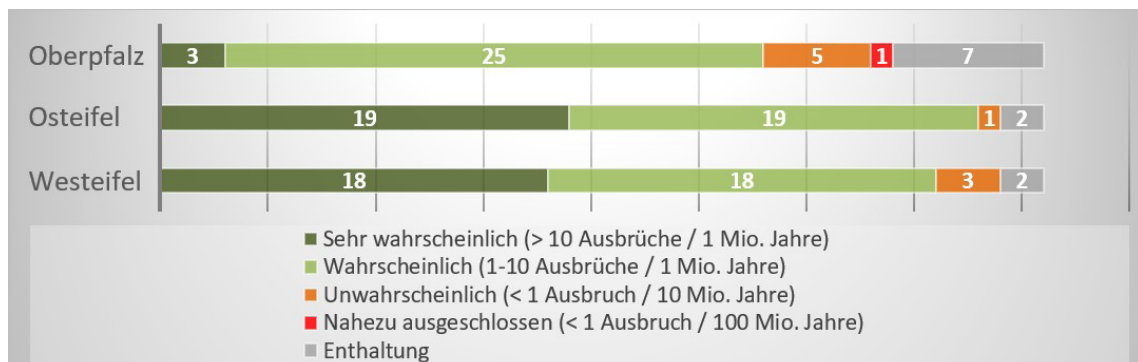


Abb. 7: Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen, aktiven Vulkanismus innerhalb der quartären Vulkanfelder in Deutschland (Frage 5, Anhang 1.5). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Das Risiko eines erneuten aktiven Vulkanismus innerhalb der präquartären Vulkanfelder in Deutschland wird hingegen durch eine relative Mehrheit der Befragten (19 Personen) als unwahrscheinlich eingestuft, wobei diese Kategorie mit einem Wert von < 1 Ausbruch / 10 Mio. Jahre quantifiziert ist (Abb. 8). Demgegenüber stehen jedoch insgesamt 17 Personen, die eine erneute Aktivität für wahrscheinlich (14 Personen) bzw. sehr wahrscheinlich (3 Personen) halten. Gänzlich ausgeschlossen wird es von keiner der befragten Personen.

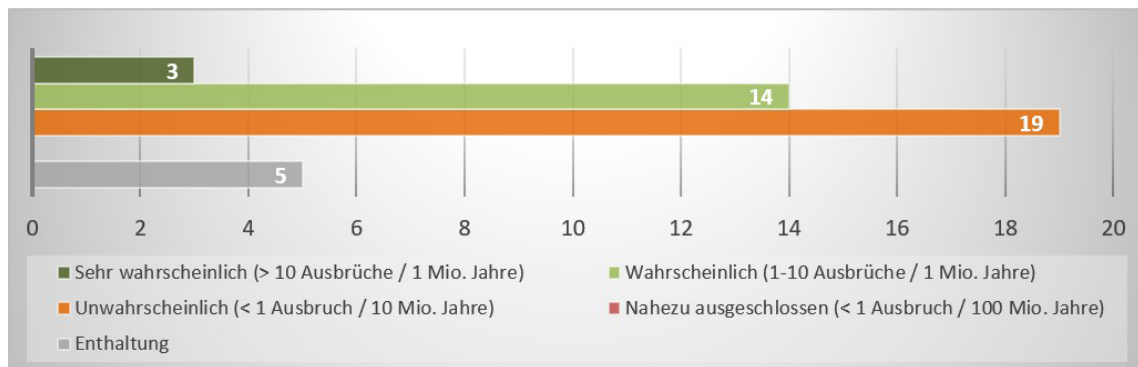


Abb. 8: Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen, aktiven Vulkanismus innerhalb der präquartären Vulkanfelder in Deutschland (Frage 6, Anhang 1.6). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Dabei erwarten sieben der befragten Personen einen erneuten Ausbruch in den paläogenen und neogenen Vulkanfeldern, in denen es bereits im Quartär zu Vulkanausbrüchen kam (Eifel und Oberpfalz) und in solchen, die in unmittelbarer Umgebung zu diesen liegen. Des Weiteren werden die Vulkanfelder Hegau (1x), Kaiserstuhl (2x), Urach (2x), Vogelsberg und oberer Rheingraben (2x) sowie das Vogtland (1x) benannt. Weitere sieben Personen (17 %) geben an, dass auf Basis der aktuellen Datengrundlage in keinem der präquartären Vulkanfeldern ein Wiederaufleben des Vulkanismus ausgeschlossen werden kann. Konkret werden die Arbeiten von Legendre et al. (2012) und Meier et al. (2016) erwähnt, die in allen Vulkanfeldern, die jünger als 70 Mio. Jahre sind, Aufwölbungen der Lithosphären-Asthenosphäregrenze (LAB) nachgewiesen haben. „Sollte eines dieser Systeme durch erneute Massenzufuhr aus der Asthenosphäre reaktiviert werden, dann wäre erneut Magmenbildung möglich. Nach den Daten liegen die Tiefen der Oberkanten der Aufwölbungen in den westlichen Feldern im Allgemeinen flacher als in den östlichen Feldern“.

Diese Meinungen sind insofern nicht unerheblich, da sie mit dem Auftreten vulkanischer Aktivität in den präquartären Vulkangebieten verknüpft sind. Nach den Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), sind Ereignisse als wahrscheinlich anzunehmen, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit mindestens 10 % beträgt (BMU, 2010, Kap. 2, Pkt. 9). Daraus könnte man schlussfolgern, dass die tertiären Vulkangebiete als Standort für ein mögliches Endlager hochradioaktiver Abfälle auszuschließen seien.

Eine befragte Person gibt an, dass, solange sich Europa und Afrika in Kollision befinden, Ausbrüche möglich sind. Diese müssen nicht zwangsläufig an bereits existierende Vulkanfelder gebunden sein. Eine räumliche Eingrenzung eines wiederauflebenden Vulkanismus ist demnach schwierig.

3.3 Räumliche Verlagerung des quartären Vulkanismus

Die mögliche Verlagerung der vulkanischen Aktivität innerhalb eines Vulkanfeldes muss bei der Prognose eines zukünftigen Vulkanismus in Deutschland berücksichtigt werden. Auf Basis der vorhandenen geochronologischen Daten hat eine solche Verlagerung innerhalb der Vulkanfelder der Eifel bereits in der Vergangenheit stattgefunden (May 2019, Mertz et al. 2015, Schmincke 2007). Eine absolute Mehrheit von 61 % der Befragten erwartet auch in der Zukunft eine erneute Verlagerung des Vulkanismus in den quartären Vulkanfeldern Deutschlands (Abb. 9).

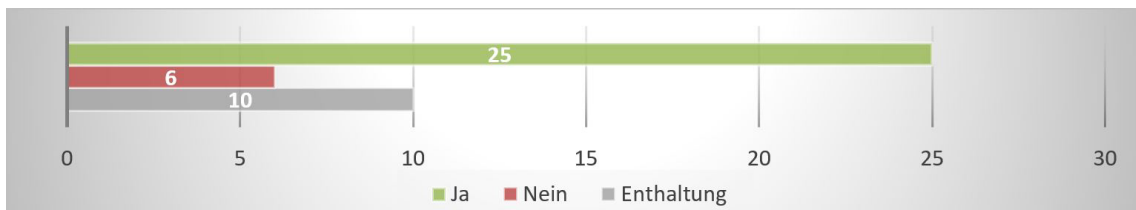


Abb. 9: Zustimmung zur Möglichkeit der Verlagerung eines zukünftigen Vulkanismus in den quartären Vulkanfeldern Deutschlands (Frage 7, Teil1, Anhang 1.7). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Dabei gehen 56 % von einer gerichteten Verlagerung aus. An dieser Stelle wurde um eine Konkretisierung der gerichteten, räumlichen Verlagerung der quartären Vulkanfelder gebeten.

Die überwiegende Mehrheit der Befragten, die eine generelle Verlagerung des Vulkanismus in der Eifel für möglich hält, präferiert eine Verlagerung in Richtung SO (Abb. 10). Dies entspricht dem bislang durch geochronologische Daten identifizierten Trend beider Vulkanfelder. Für die Westeifel wird auch eine Verlagerung in Richtung Südeifel und in Richtung Wittlicher Senke/Mittelmosel genannt. Eine mögliche Ausbreitung entlang einer NW-SO verlaufenden Achse sowie ein mögliches Zusammenwachsen beider Vulkanfelder wird jeweils von einer befragten Person vorgeschlagen.

Im Bereich Oberpfalz/südlicher Egergraben sind nur wenige quartäre Ausbruchszentren bekannt und nur wenige geochronologische Daten vorhanden. Eine generelle Einschätzung einer möglichen Verlagerung wird daher von den meisten Befragten nicht abgegeben. Zwei der befragten Personen halten eine Verlagerung in Richtung Vogtland für möglich.

Neben einer gerichteten Verlagerung gehen 26 % der Befragten von einer ungerichteten Verlagerung aus. Demzufolge ist eine Verlagerung je nach dem zugrundeliegenden geodynamischen Modell gerichtet oder auch chaotisch und entsprechend nicht vorhersagbar.

Denkbar ist unter Berücksichtigung einer Zeitskala von 1 Mio. Jahren auch eine Verlagerung des Vulkanismus in Teile Mittel- oder Süddeutschlands, in denen bislang noch kein Vulkanismus aufgetreten ist.

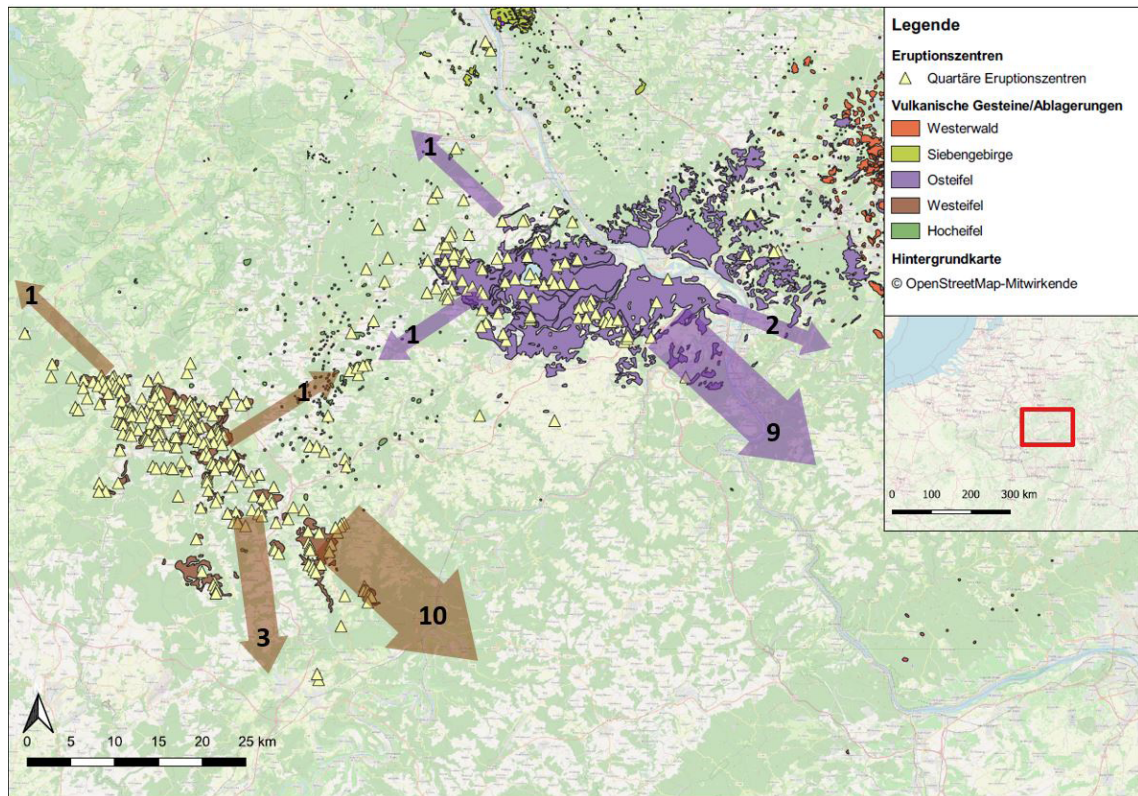


Abb. 10: Mögliche räumliche Verlagerung der Vulkanfelder der West- (braun) und Osteifel (lila) nach Einschätzung der Befragten. Gelbe Dreiecke entsprechen bekannten quartärzeitlichen Eruptionszentren (nach Blenke 1879; Busch 1952; Büchel 1984; Büchel & Mertes 1982; Duda & Schmincke 1985; Fuhrmann 1983; Lippolt & Todt 1978; Meyer 2013; Paulick et al. 2008; Schmincke 2014). Zahlen innerhalb der Pfeile entsprechen der Anzahl der Befragten, die eine den Pfeilen entsprechende räumliche Verlagerung für möglich halten (Frage 7, Anhang 1.7). Vulkanische Gesteine/Ablagerungen bearbeitet nach © Geoviewer der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 2020.

4 Bewertung möglicher Indikatoren für die Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland

Magmatische Prozesse äußern sich in einer Vielzahl von Phänomenen (Erdbeben, Vertikalbewegungen, teleseismische Laufzeitanomalien, etc.), die als Indikatoren für die Abschätzung einer zukünftigen vulkanischen Aktivität herangezogen werden könnten. Im Auftrag der BGE hat die BGR eine Kurzstudie zu Prognosemöglichkeiten erstellt (May 2019), die u. a. eine Liste möglicher Indikatoren enthält, die für die Prognose eines zukünftigen Vulkanismus in Deutschland von Relevanz sein können (Tab. 1).

Die in der Tab. 1 aufgeführten Indikatoren wurden von den Befragten in Hinblick auf ihre Relevanz für die Prognose des Vulkanismus in Deutschland für die kommenden 1 Mio. Jahre bewertet. Des Weiteren wurden die Befragten gebeten, auf Basis der genannten Indikatoren, ihre persönliche, fachliche Expertise anzugeben. Erfreulicherweise hat sich, bis auf die Indikatoren 5 (Wärmestromdichte) und 13 (elektrische Leitfähigkeit), zu jedem Indikator mindestens eine Person als Expertin bzw. Experte gefunden. Die Indikatoren 5 und 13, zusammen mit den Indikatoren 7 (extensives Spannungsfeld), 8 (neotektonische Aktivität), 11 (Geoidanomalie), 18 (Mantelxenolithe) und 19 (Krustenxenolithe), die jeweils nur von einer Person als persönliche Expertise angegeben wurden, werden in der vorliegenden Studie als unterrepräsentiert bewertet. Für die fünf Indikatoren mit der höchsten durchschnittlichen Relevanz, haben jeweils mindestens drei Personen diese als persönliche Expertise angegeben (Tab. 1). Drei der fünf Indikatoren mit der geringsten Relevanz (Geoidanomalie, Krustenxenolithe und elektrische Leitfähigkeit) sind jedoch von nur einer bzw. keiner Person mit persönlicher Expertise angegeben und daher unterrepräsentiert. Dieses könnte auf eine systematische Bevorzugung von Themen durch die jeweiligen, daran arbeitenden Expertinnen und Experten hindeuten. Bei den Abweichungen der Expertenmeinung eines Indikators (s. u.) halten sich die positiven und negativen Differenzen zur Gesamtmeinung aber nahezu die Waage, so dass hier, bei der geringen Anzahl der Antworten, systematische Fehler in der Statistik aufgrund persönlicher Präferenzen nicht bewiesen werden können.

Generelle Enthaltungen wurden bei der Auszählung der Antworten der Rubrik „keine Aussage“ zugerechnet (Tab. 1). Von einigen Befragten wurden teilweise für einen Indikator zwei Relevanzstufen vergeben. Diese sind der Übersicht halber in Tab. 1 beide mit aufgenommen. Bei der Faktorisierung der Relevanzen wurde für diese Fälle jeweils der Mittelwert der unterschiedlich gesetzten Relevanzen für einen Indikator verwendet.

Tab. 1: Bewertung der durch May (2019) aufgestellten Indikatoren, hinsichtlich ihrer Relevanz für die Prognose der zukünftiger vulkanischen Aktivität in Deutschland (Frage 8, Anhang 1.8). Angegeben ist die Gesamtzahl der abgegebenen Antworten inklusive Mehrfachbewertungen einzelner Indikatoren (siehe Text für weitere Details).

Nr.	Indikator	Relevanz (bitte ankreuzen)						Persönliche Expertise
		sehr hoch (unerlässlich)	hoch	mittel	gering	sehr gering (unbedeutend)	keine Aussage	zutreffendes bitte ankreuzen (Mehrfachnennungen möglich)
1	Teleseismische Laufzeitanomalien im Erdmantel	12	15	7	2	-	7	5
2	Tiefe niederfrequente DLF-Erdbeben	21	8	5	1	-	7	6
3	Schwarmbeben	12	19	6	1	-	5	6
4	Vulkano-tektonische Störungen	9	13	8	7	1	4	5
5	Wärmestromdichte	4	9	9	4	3	12	-
6	Langfristige Hebung	6	9	21		3	3	2
7	Extensives Spannungsfeld	3	10	9	3	1	15	1
8	Neotektonische Aktivität	6	14	14	1	-	6	1
9	Schwereanomalien	1	5	14	9	-	12	4
10	Magnetfeldanomalien	-	3	9	10	5	14	2
11	Geoidanomalien	-	1	7	9	7	17	1
12	Tiefenseismische Strukturen	3	10	13	5	2	8	4
13	Elektrische Leitfähigkeit	-	4	10	9	1	17	-
14	Ergebnisse von numerischen Simulationen der Mantelkonvektion	1	8	11	8	2	11	2
15	Ergebnisse numerischer Simulationen der Lithosphärendynamik	2	10	9	8	3	10	3
16	Verbreitung känozoischer Vulkanfelder	15	14	8	2	-	3	3
17	Isolierte känozoische Vulkane	7	11	16	5	1	3	3
18	Mantelxenolithe	2	12	8	8	5	6	1
19	Krustenxenolithe	1	7	10	8	7	8	1
20	Phänokristalle	5	9	8	10	2	8	2
21	Gesteinschemismus	3	12	9	8	1	8	5
22	Thermalwässer	3	14	12	8	1	5	2
23	Geochronologische Daten	20	11	4	2	-	6	7
24	Mofetten und Säuerlinge	10	14	10	1	-	7	3
25	Gas- und Isotopengeochemische Analysen von Mantelfluiden	22	8	6	1	1	4	4
26	Ergebnisse petrologischer Experimente	4	16	7	6	2	6	4
27	Numerische Modelle zur Genese und Differenziation von Magmen	4	10	12	5	1	9	4

Nach Auszählung der Bewertungen zur Relevanz einzelner Indikatoren (Tab. 1), wurde der Bewertungsmaßstab faktorisiert (sehr hoch = 5 Pkt. bis sehr gering = 1 Pkt.) und auf den Wert der höchsten, für einen Indikator abgegebenen Stimmen (maximal 38), normalisiert. In einem weiteren Analyseschritt wurden ausschließlich die Bewertungsdaten berücksichtigt, bei denen der jeweils Befragte diesen Indikator auch als seine persönliche Expertise angegeben hat. Dabei wurden ausschließlich Indikatoren berücksichtigt, die von mindestens zwei der Befragten als persönliche Expertise genannt wurden und somit als ausreichend repräsentiert definiert sind. Die so ermittelten Daten sind in der folgenden Abb. 11 den Daten der Gesamtauswertung gegenübergestellt.

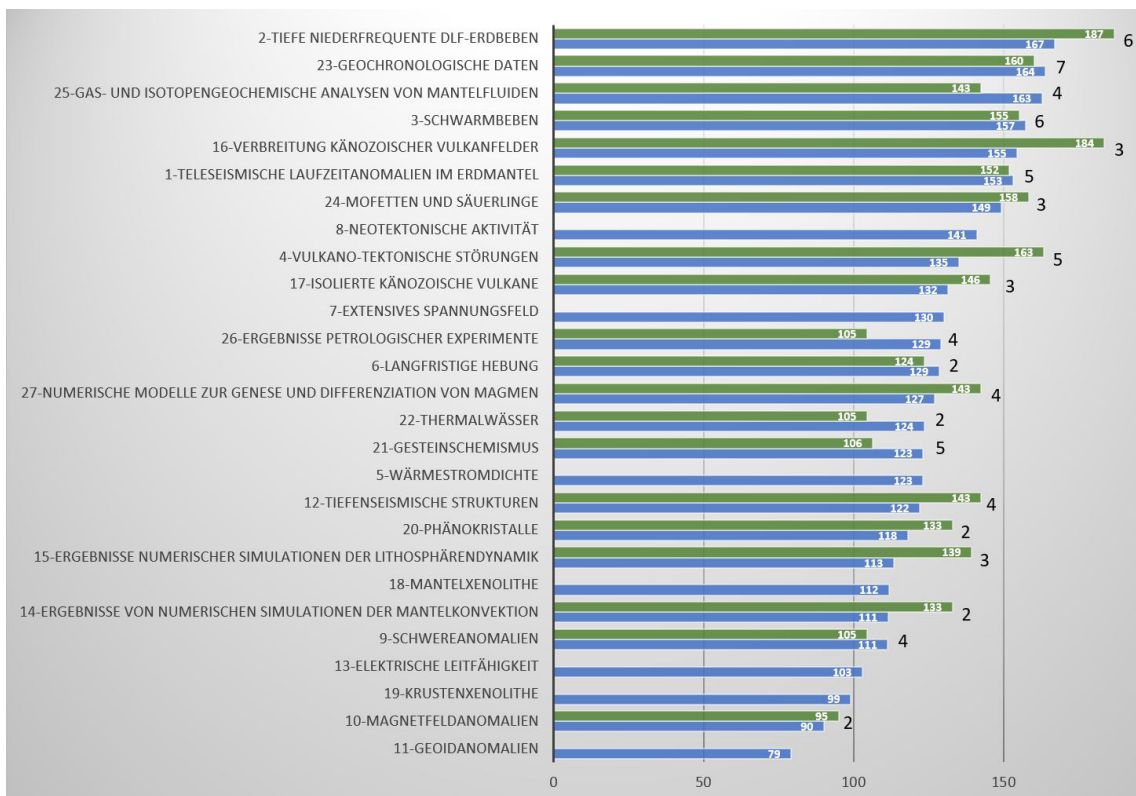


Abb. 11: Ergebnisse der Gesamtbewertung (blau) im Vergleich zur Bewertung der Experten für einen jeweiligen Indikator (grün). In schwarz: Die Anzahl der Befragten die diesen Indikator jeweils als persönliche Expertise angegeben haben.

Die überwiegende Mehrheit der Indikatoren wird durch die Befragten mit persönlicher Expertise als ähnlich relevant ($\pm 20\%$ Abweichung) bewertet wie durch die Gesamtheit der Befragten. Dabei werden elf Indikatoren durch die jeweiligen Experten, im Vergleich zur Gesamteinschätzung, als höher und neun als niedriger relevant eingestuft. Für die folgenden Indikatoren weichen die Experteneinschätzungen gegenüber der Gesamteinschätzung um mehr als 20 % ab:

- Ergebnisse numerischer Simulationen der Lithosphärendynamik
- Vulkano-tektonische Störungen

Dabei werden beide Indikatoren von den jeweiligen Expertinnen bzw. Experten, im Vergleich zur Gesamtbewertung, mit einer höheren Relevanz bewertet.

Bei der Gesamtbewertung lassen die ermittelten Werte für die Relevanz der Indikatoren keine klaren Gruppierungen zu. Vielmehr folgen die entlang der y-Achse aufsteigend sortierten Werte (Abb. 11) einem kontinuierlichen Anstieg von 79 Pkt. für den am niedrigsten bewerteten Indikator (Geoidanomalien) bis hin zu 167 Pkt. für den am höchsten bewerteten Indikator (DLF-Erdbeben).

Auffällige Sprünge mit jeweils 8 Pkt. liegen zwischen den Indikatoren 24 (Mofetten und Säuerlinge) und 8 (neotektonische Aktivität) bzw. 9 (Schwereanomalie) und 13 (elektrische Leitfähigkeit). Diese trennen die Gesamtauswahl in einen Block von sieben Indikatoren mit einer hoch bewerteten Relevanz, einen breiten Mittelblock mit insgesamt dreiundzwanzig Indikatoren sowie einen Block aus vier Indikatoren mit einer niedrig bewerteten Relevanz (Abb. 11). Mit der niedrigsten Relevanz (79) ist der Indikator Geoidanomalien bewertet. Hier zeigt sich eine deutliche Lücke von 11 Pkt. zum nächst höher bewerteten Indikator (Magnetfeldanomalien).

Neben den durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren, werden durch die Befragten weitere mögliche Indikatoren genannt, die für die Bewertung eines zukünftigen Vulkanismus in Deutschland von Relevanz sein können (Frage 9, Anhang 1.9). Diese sind im Folgenden zusammenfassend aufgelistet. Eine detailliertere Aufstellung findet sich im Anhang.

- Hochauflösende Geländedaten (LIDAR)
- Plattentektonische Modelle
- Allgemeine Schwächezonen
- Deformationsprozesse (vertikale sowie horizontale Komponente)
- Kompressives Spannungsfeld
- Aktive Blattverschiebungen
- Störungen und ältere Strukturen
- Kurzfristige Hebungen
- Neigungsmessungen
- Großräumige Seismologie
- Sukzessive Approximation
- Monitoring-Daten (genannt wurden hier z. B. CO₂, Chemie und Temperatur von Thermalwässern, Seismizität, Gas-Isotopengeochemie und Gasflussraten)

- Geländearbeit (z. B. Mächtigkeiten von Tephra-Ablagerungen und pyroklastischen Strömen)
- Fluideinschlüsse
- Magmatransport-Modelle (an Hand von Diffusionsanalysen an Mineralen)
- Verhalten von Ameisen
- Hydrogeologische Verhältnisse
- Eruptionshistorie
- Volatilgehalt

Dazugehörige Relevanzen in Beziehungen zum Vulkanismus sind in den überwiegenden Fällen bei den zusätzlich vorgeschlagenen Indikatoren nicht angegeben. Im weiteren Verfahren können, auf Basis der genannten Vorschläge, zusätzliche Indikatoren definiert und in die späteren Betrachtungen mit aufgenommen werden. In Teilen können jedoch auch einige der genannten Vorschläge und Anmerkungen bereits vorhandenen Indikatoren zugeordnet werden bzw. ergänzen diese durch aufgezeigte Methoden (wie z. B. großräumige Seismologie oder hochauflösende Geländedaten).

Die Befragten wurden weiterhin gebeten, Einschätzungen dahingehend abzugeben, ob sie die Relevanz einzelner Indikatoren höher bewerten würden, wenn diese parallel zu einem weiteren Indikator auftreten (Frage 10, Anhang 1.10). Dabei war sowohl die Kombination der Indikatoren als auch die dadurch resultierende höhere Relevanz anzugeben. 28 Personen haben sich hierzu geäußert.

Insgesamt sind durch die Befragten eine Vielzahl an Kombinationen angegeben, jedoch lässt sich hier kein klarer Trend für bestimmte Indikatoren-Kombinationen ableiten (Anhang 1.10). Auch ist nur in sehr wenigen Fällen eine Bewertung hinsichtlich einer möglichen höheren Relevanz innerhalb der durch die Befragten angegebenen Indikatoren-Kombinationen durchgeführt worden. Folglich lässt sich hier nur eine Auswertung der absoluten Nennungen einzelner Indikatoren durchführen. Die am häufigsten genannten Indikatoren sind die Indikatoren 2 (17x), 3 (17x), 25 (11x) sowie 1, 8, 12 und 24 (jeweils 8x).

Explizit wird an dieser Stelle von drei Befragten auf die Wichtigkeit der geochronologischen Daten hingewiesen. Wenn geochronologische Daten „bestimmte Wiederkehrzeiten zeigen, sollten alle anderen Indikatoren entsprechend höher gewichtet werden“. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass generell angestrebt werden muss, numerische Modelle mit geochemischen, geo- sowie petrophysikalischen Parametern zu evaluieren. Diese Kopplung bedingt auch eine mögliche Änderung der jeweiligen Relevanzen. Auch auf

ein grundsätzlich notwendiges „multivariables Monitoring, einhergehend mit sogenannten multivarianten Statistiken“ wird an dieser Stelle hingewiesen, um etwaige Zusammenhänge von Indikatoren zu identifizieren.

Insgesamt ergibt sich aus diesen Antworten der Befragten, dass, neben der Relevanz einzelner Indikatoren, Koinzidenzen von Indikatoren bei deren Kombination zu einem Index mit gewichtet werden sollten.

Grundsätzlich halten es 88 % der Befragten, auf Basis der oben genannten Indikatoren, für möglich, qualitative Aussagen zur zukünftigen vulkanischen Aktivität in den känozoischen Vulkanfeldern zu treffen (Frage 11, Anhang 1.11, Abb. 12).

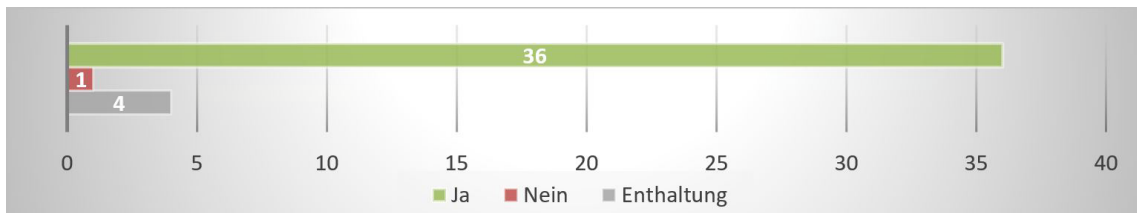


Abb. 12: Zustimmung zur Möglichkeit, qualitative Aussagen, auf Basis der durch May (2019) aufgestellten Indikatoren, zur zukünftigen vulkanischen Aktivität innerhalb der känozoischen Vulkanfelder Deutschlands zu treffen (Frage 11, Anhang 1.11). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Einschränkend wird angemerkt, dass hier ein besseres Prozessverständnis sowie eine solidere Datenlage, insbesondere eine detaillierte Datierung, nötig sind. Auch wird von einem Befragten angemerkt, dass eine solche Aussage auf Basis der aktuellen Datenlage zurzeit nur für das Vulkanfeld der Eifel möglich ist (Anhang 1.11).

5 Relevanz der einzelnen Indikatoren für das Prozessverständnis vulkanischer Aktivität in Deutschland

Die durch May (2019) aufgestellten Indikatoren ermöglichen Erkenntnisse über verschiedene Prozesse, von der Entstehung und Differentiation der Magmen, über deren Aufstieg bis hin zu den Eruptionsmechanismen an der Erdoberfläche. Zudem ermöglichen die Antworten der Fragen 8 (Tab. 1) und 10 (Tab. 6, Anhang 1.10) ergänzende Einsichten zur Relevanz von Indikatoren. Die folgenden Abbildungen (Abb. 13 bis Abb. 15) zeigen die Beurteilungen der Indikatoren durch die Befragten hinsichtlich ihrer Relevanz bezüglich möglicher Erkenntnisse über die Quelle und Entstehung des Magmas im Erdmantel, den Aufstieg und die Differentiation des Magmas innerhalb der Erdkruste sowie über das Eruptionsverhalten des Magmas (Fragen 12 bis 14, Anhang 1.12, 1.13, 1.14). Jeweils 21 (Frage 12 und 13, Anhang 1.12, 1.13) bzw. 16 Personen (Frage 14, Anhang 1.14) haben ihre Antworten unter Verwendung der in Tab. 1 aufgelisteten Indikatoren und deren Nummerierung abgegeben. Die übrigen Personen (jeweils 15 bei den Fragen 12 und 13 bzw. 16 bei Frage 14) haben ausführlichere Antworten abgegeben und die Indikatoren und ihre entsprechende Relevanz für das Prozessverständnis erläutert. Um eine statistische Auswertung zu ermöglichen, wurden die in den Erläuterungen angeführten Indikatoren, denen der in der vorgeschlagenen Liste von May (2019) genannten Indikatoren, zugeordnet. Um dabei ein objektives Verfahren zu wahren, erfolgte die Zuteilung ausschließlich nur dann, wenn die Erläuterungen eindeutig einem Indikator zuzuordnen waren (Anhang 1.12, 1.13, 1.14). So konnten den Erläuterungen zu den Fragen 12, 13 und 14 jeweils 25, 44 und 23 Indikatoren zugeordnet werden. Bei jeweils 11, 12 und 25 Erläuterungen war keine klare Zuordnung zu einem Indikator möglich. Die weiteren Ausführungen, die keinem eindeutigen Indikator zugewiesen werden konnten, werden im Anschluss an die folgende Diskussion kurz beschrieben und können bei einer späteren Beurteilung der Indikatoren im Laufe des Projektes berücksichtigt werden. Da diese nicht in die Auszählung sowie grafische Darstellung miteinfließen, spiegeln die Ergebnisse in Abb. 13 bis Abb. 15 sowie die nachfolgende Diskussion auch nicht das vollständige Meinungsbild, sondern vielmehr eine Tendenz der wissenschaftlichen Meinung wider.

Interessanterweise werden Geoidanomalien weder für das Verständnis von Prozessen im Erdmantel noch für Prozesse in der Kruste für relevant angesehen. Sie belegen auch den letzten Platz im Ranking der Indikatoren insgesamt (Abb. 11). Damit ist die Verwendung dieses Indikators bei der Anwendung der Ausschlusskriterien für einen Endlagerstandort kritisch zu hinterfragen. Informationen können gegebenenfalls bei der Betrachtung der langfristigen Hebungen mitberücksichtigt werden.

Einigen, meist weniger häufig genannten Indikatoren, wird lediglich eine Eignung zur Ableitung von Erkenntnissen über Prozesse entweder im Erdmantel oder in der Erdkruste zugeordnet. Dieses sind für Mantelprozesse die numerischen Simulationen der

Mantelkonvektion und für krustale Prozesse vulkanotektonische Störungen, langfristige Hebungen, extensives Spannungsfeld, Magnetfeldanomalien, tiefenseismische Strukturen, die Verbreitung der känozoischen Vulkanfelder und isolierte Vorkommen von känozoischen Vulkanen.

Die am häufigsten, sowohl für krustale als auch für Mantelprozesse genannten Indikatoren (Abb. 13 und Abb. 14), sind Gas- und Isotopenzusammensetzung von Mantelfluiden (13x, bzw. 21x), Gesteinschemismus (15x, bzw. 17x) und numerische Modelle zur Genese und Differentiation von Magmen (17x, bzw. 11x). Häufiger für Mantelprozesse genannte Indikatoren sind zudem Mantelxenolithe (24x) und teleseismische Laufzeitanomalien (15x). Erkenntnisse primär über Prozesse in der Erdkruste werden hingegen mehrfach von den Indikatoren numerische Simulationen der Magmengenese (17x), petrologische Experimente (17x), Krustenxenolithe (16x) und DLF-Erdbeben (14x) erwartet. Die Indikatoren numerische Simulationen der Magmengenese und petrologische Experimente sind neben dem Gesteinschemismus auch die häufigsten angeführten Indikatoren (Abb. 15) für Erkenntnisse über das Eruptionsverhalten des Magmas. Die an der Oberfläche zugänglichen stofflichen Zeugen magmatischer Prozesse werden also vielfach als geeignete Indikatoren für zukünftige magmatische Prozesse angesehen.

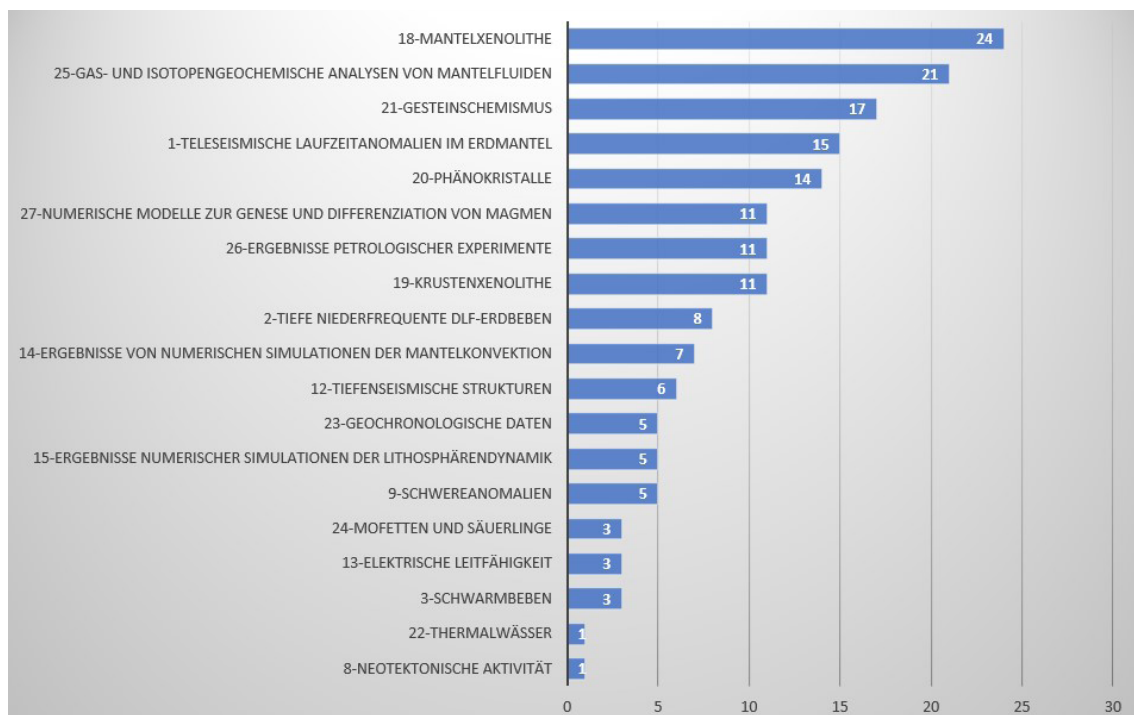


Abb. 13: Beurteilung der Indikatoren hinsichtlich ihrer Relevanz für mögliche Erkenntnisse über die Quelle und Entstehung eines Magmas im Erdmantel. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen bzw. zugewiesenen Antworten (Frage 12, Anhang 1.12).

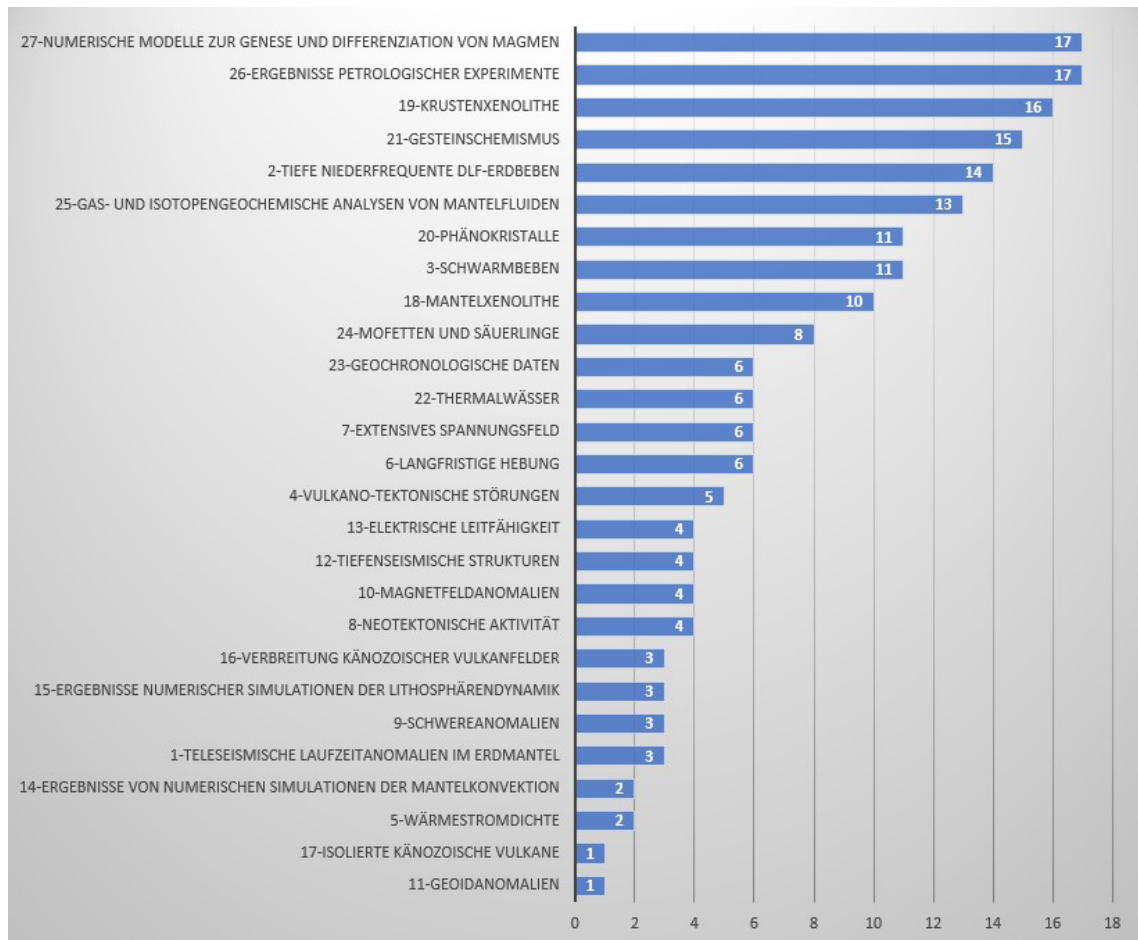


Abb. 14: Beurteilung der Indikatoren hinsichtlich ihrer Relevanz für mögliche Erkenntnisse über den Aufstieg und Differentiation des Magmas innerhalb der Erdkruste. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen bzw. zugewiesenen Antworten (Frage 13, Anhang 1.13).

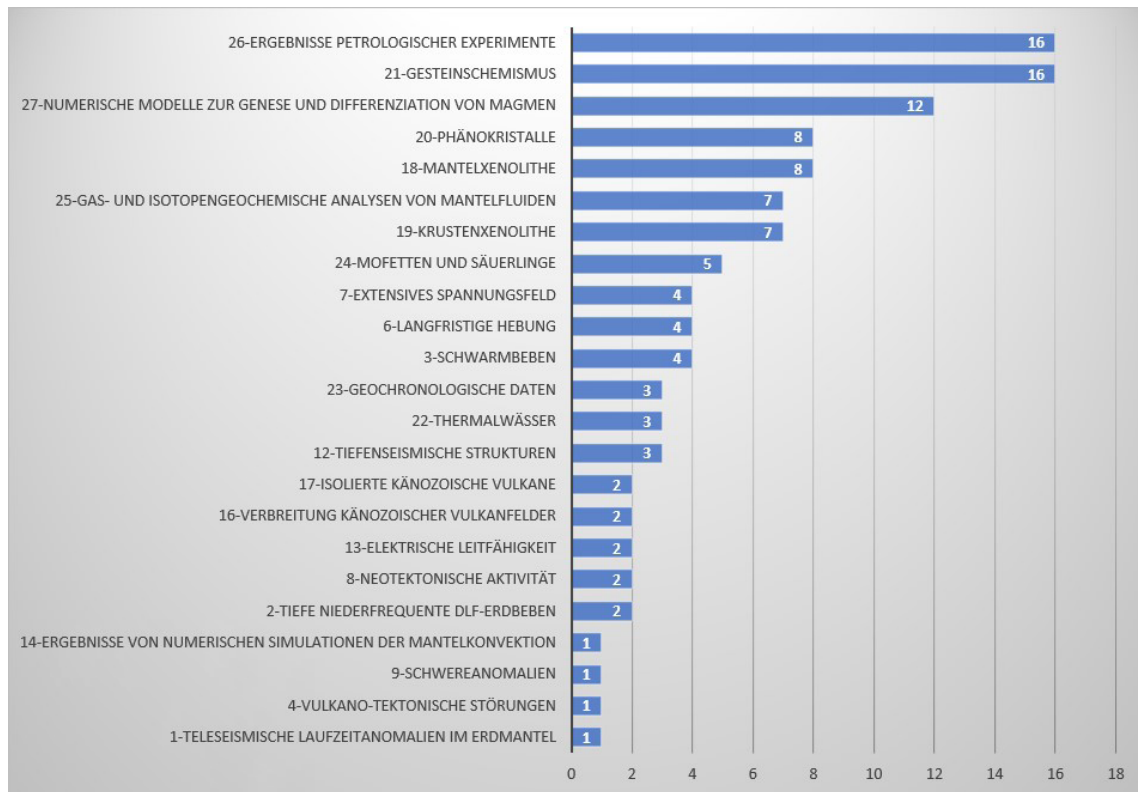


Abb. 15: Beurteilung der Indikatoren hinsichtlich ihrer Relevanz für mögliche Erkenntnisse über das Eruptionsverhalten des Magmas. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen bzw. zugewiesenen Antworten (Frage 14, Anhang 1.14).

Die durch die Experten genannten weiteren Erläuterungen, die keinem eindeutigen Indikator zugewiesen werden konnten, werden im Folgenden diskutiert.

In Bezug auf mögliche Mantelquellen (Frage 12, Anhang 1.12) wird unter anderem auf allgemeine Daten der Geochemie (2x), Petrologie (2x), Mineralogie (2x) sowie Geophysik (1x) hingewiesen. Von fünf Personen wird die Wichtigkeit von Daten aktiver und passiver seismischer und seismologischer Untersuchungen herausgestellt. Auch Informationen zu Mantelplumes im Allgemeinen oder Isotopensystemen werden von jeweils einer befragten Person angeführt. Hinsichtlich der Erkenntnisse über den Aufstieg und die Differentiation eines Magmas in der Kruste (Frage 13, Anhang 1.13) werden allgemeine Daten der Geochemie (3x), Petrologie (2x), Geo- und Petrophysik (jeweils 1x) angeführt. Im Speziellen wird auf Isotopensysteme sowie den Volatilgehalt der Magmen hingewiesen. Die Intention von Frage 14 (Anhang 1.14) war nicht nur geeignete Indikatoren für das Auftreten von Vulkanismus zu identifizieren, sondern auch für die mögliche Abgrenzung von Ausschlussgebieten, in denen eine zukünftige vulkanische Aktivität nicht auszuschließen ist. Für den letzteren Zweck sind nicht nur Prognosen der Ausbruchsorte, sondern auch zum Eruptionsverhalten und damit zur Reichweite von Auswirkungen erforderlich. Hierfür können zusätzliche Indikatoren betrachtet werden. Die Verfügbarkeit externen Wassers ist

eine Voraussetzung für das Auftreten phreatomagmatischer Ausbrüche und daher sehen zehn der befragten Personen hydrogeologische Verhältnisse als zusätzlichen, weiteren relevanten Indikator in diesem Kontext an. Neben den verstreuten kleinen, monogenetischen Vulkanen, treten in einigen Vulkanfeldern auch größere polygenetische Vulkane oder Vulkankomplexe auf. In diesen Fällen ist es wichtig, die Ausbruchshistorie (Alter, Art, Masse und Verbreitung vulkanischer Förderprodukte) zu kennen um ggf. vorhandene Tendenzen im magmatischen und Eruptionsgeschehen erkennen und extrapolieren zu können. Sechs Befragte haben auf diesen weiteren Indikator („Eruptionshistorie“) hingewiesen. Zu den vulkanischen Förderprodukten gehören auch flüchtige Elemente und Verbindungen, die einen wesentlichen Einfluss auf die Eigenschaften des Magmas und die Explosivität von Ausbrüchen haben. Magmatische Fluide können hierbei in Phänokristallen oder in der rasch erstarrten Schmelze eingeschlossen werden. Bei rezenten Eruptionen vergleichbarer Vulkane können diese Einschlüsse beprobt und analysiert werden. Ihr Einfluss auf die Magmeneigenschaften und das Eruptionsgeschehen kann in Laborversuchen studiert und in numerischen Modellen simuliert werden. Der Volatilgehalt wird daher von vier Personen als relevanter weiterer Indikator angesehen. Die hier diskutierten zusätzlichen Indikatoren: „hydrogeologische Verhältnisse“, „Eruptionshistorie“ und „Volatilgehalt“, sind bei der Auswertung der Frage 9 nach zusätzlichen, möglicherweise relevanten Indikatoren mit berücksichtigt (siehe Auflistung in Kapitel 4), aber nicht in der Abb. 15 aufgeführt.

6 Geodynamik und Prozessverständnis

Die wissenschaftliche Meinung über die Bedeutung von Modellen der Magmengenese für die Abschätzung des zukünftigen Vulkanismus in Deutschland wurde in Frage 22 (Anhang 1.21) abgefragt. Die absolute Mehrheit der Befragten (52 %) vertritt die Ansicht, dass Vorhersagen zu Verbreitung und Intensität zukünftig zu erwartender vulkanischer Aktivität in Deutschland maßgebend vom zugrundeliegenden Genesemodell abhängen. Dagegen sind 31 % der Befragten der Meinung, dass die Art der Magmengenese sekundär für die Prognose des zukünftigen Vulkanismus in Deutschland ist, da der zu erwartende Vulkanismus vergleichbar ist, unabhängig von den zugrunde liegenden Modellen (Abb. 16). Bei dieser Frage haben sich 17 % der Befragten enthalten. Eine der befragten Personen gibt zudem beide Möglichkeiten an (zugeordnet zu A und B, Abb. 16), da die zeitliche Referenzskala eine entscheidende Rolle spielt. So wäre ein wiederauftretender Vulkanismus in Deutschland innerhalb der nächsten 10.000 bis 100.000 Jahre wohl vergleichbar mit dem känozoischen Vulkanismus, für längerfristige Prognosen ist das „Verständnis der zugrundeliegenden geodynamischen Prozesse jedoch unerlässlich“. Auf die Wichtigkeit der lithosphärischen Struktur für das Auftreten des Vulkanismus wird von zwei Personen hingewiesen (Anhang 1.21).

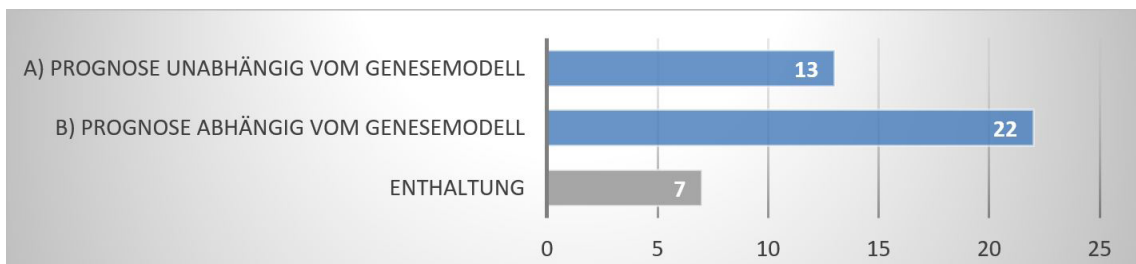


Abb. 16: Wichtigkeit des Magmengenese模elles für die Prognose des zukünftigen Vulkanismus in Deutschland (Frage 22, Anhang 1.21). Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.

6.1 Entstehung des känozoischen Vulkanismus in Deutschland

Um die wissenschaftliche Meinung zur Entstehung des känozoischen Vulkanismus in Deutschland genauer zu erfassen, wurden Antworten auf die Fragen 16-18 (Anhang 1.16 und 1.17) erbeten, welche sich mit möglichen Genesemodellen befassen.

Neben Enthaltungen (21 %), sind insgesamt 21 % der Befragten der Meinung, dass der känozoische Vulkanismus in Deutschland basierend auf einem einzigen Genesemodell erklärbar ist. Hingegen bevorzugt mit 57 % die absolute Mehrheit der Befragten mehrere Modelle (Abb. 17). Von diesen Personen ist die überwiegende Mehrheit (16 der Befragten) der Meinung, dass zwischen den Modellen sowohl zeitlich als auch räumlich differenziert

werden sollte. Eine der befragten Personen gibt zudem als Antwort beide Möglichkeiten an (zugeordnet zu A und B, Abb. 17), da ein einziges Genesemodell für den Vulkanismus in Mitteleuropa vorstellbar ist, wo „verschiedene Prozesse sich überlagern oder aufeinander folgen dürfen“, benennt jedoch den Vulkanismus in Süddeutschland als eine „andere Sache“. Ein weiterer Teilnehmer zweifelt aufgrund des Fehlens eines einheitlichen, chemisch-physikalisch konsistenten Modelles die generelle Aussagekraft der existierenden Genesemodelle an und schlägt vor, 3D geodynamische Modelle zu entwickeln, um rezente magmatische Prozesse nicht nur petrologisch sondern auch mechanisch zu verstehen (Anhang 1.16).

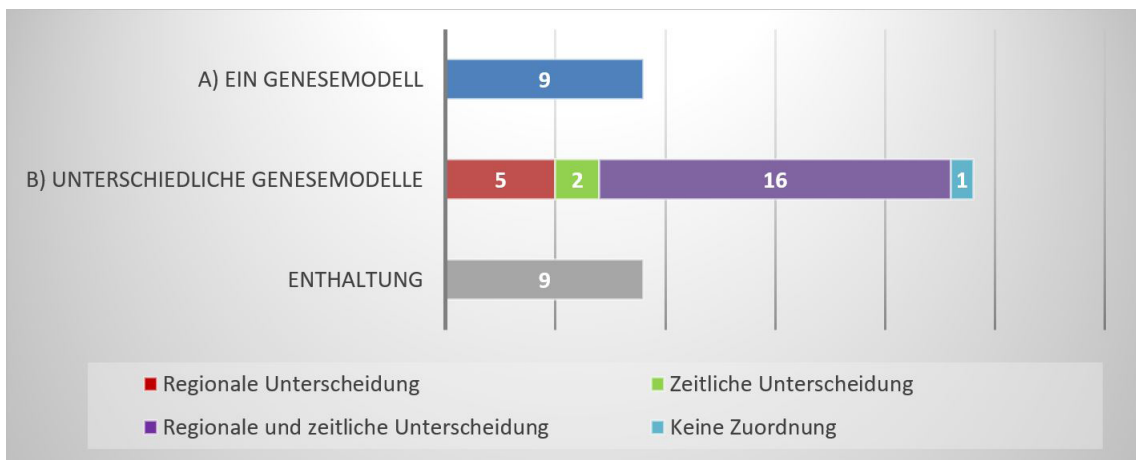


Abb. 17: Einschätzung erforderlicher Genesemodelle zur Erklärung des känozoischen Vulkanismus in Deutschland (Frage 16, Anhang 1.16). Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.

Bei der Art des Genesemodells bzw. der Genesemodelle zum känozoischen Vulkanismus in Deutschland, geht die wissenschaftliche Meinung stark auseinander und es wird sichtbar, dass sowohl zwischen den verschiedenen Vulkanfeldern als auch für einzelne Felder, unterschiedliche Modelle vorgeschlagen werden. Die Antworten zu präferierten sowie alternativen Genesemodellen (Frage 17 und 18, Anhang 1.17) werden zusammengefasst beschrieben, da die Fragen zum einen nicht von allen Befragten separat beantwortet wurden und sich zum anderen nur ein geringer Anteil zur Frage 18 äußerte bzw. Alternativvorschläge angab (9 der 41 Befragten). Die Frage 17 hingegen wurde insgesamt von 26 der 41 befragten Personen beantwortet. Um das Ergebnis graphisch darzustellen (Abb. 18), wurden die jeweiligen Antworten neun verschiedenen Rubriken zugeordnet, wobei die meisten Befragten mehrere Prozesse bzw. Einflussfaktoren angaben, die sich in unterschiedlichen Rubriken widerspiegeln. Eine Rubrik kann hierbei unterschiedliche Prozesse oder Einflussfaktoren beinhalten. Die Antworten sind im Anhang ausführlich aufgelistet und den jeweiligen Rubriken zugeordnet (Tab. 13, Anhang 1.17). Falls nur eine Literaturangabe als Antwort zum Genesemodell erfolgte, wurden die Prozesse aus der Literatur abgeleitet und den jeweiligen Rubriken zugeordnet. Die Rubriken sind absteigend

sortiert von tieferen Mantelprozessen bis hin zu krustalen und erdoberflächennahen Ereignissen (Abb. 18). Die Tiefenbereiche der Prozesse dienen als Basis für die Erstellung der Rubriken, wobei es jedoch bei einigen lithosphärischen oder sub-lithosphärischen Prozessen zu Überschneidungen in der Tiefe kommen kann. So ist z. B. der Einfluss der Alpidischen Orogenese der Rubrik „Aktives/passives Rifting, Einfluss der Alpidischen Orogenese, Spannungsfeld“ und somit lithosphärischen Phänomenen zugeordnet, obwohl sie in Verbindung mit subduzierten Platten auch große Auswirkungen auf die Konvektion im sub-lithosphärischen Mantel haben kann.

Von den Befragten vorgeschlagene Prozesse im sub-lithosphärischen Mantel beinhalten vor allem die Destabilisierung von Material und die damit oft verbundene Konvektion. Angaben der befragten Personen, die der Rubrik „Vertikaler Mantelmaterialstrom“ (Abb. 18) zugeordnet sind, umfassen diverse Phänomene und so werden unter anderem Plumes aus unterschiedlichen Tiefen (ausgehend vom oberen Mantel, der Mantelübergangszone oder tieferen Stockwerken) sowie Mantel-Diapire aufgeführt. Weiterhin werden die Begriffe „aktive“ oder „passive Upwellings“ genannt, die den allgemeinen Materialauftrieb beschreiben, und z. B. durch stagnierende oder sinkende subduzierte Platten induziert werden können. Das aufsteigende Mantelmaterial kann sowohl anormale Temperaturen als auch Zusammensetzungen aufweisen, wodurch Schmelzen und Fluide in unterschiedlichsten Manteltiefen freigesetzt werden können und aufsteigen. Ein Zusammenhang zwischen dem Aufstieg dieser Fluide/Schmelzen und dem gleichzeitigen Aufsteigen des Mantelmaterials muss hierbei nicht zwingend gegeben sein. Neben der Niedriggeschwindigkeitsanomalie im unteren Mantel, werden vor allem subduzierte Platten, der Einfluss der Alpidischen Orogenese und des Mittelozeanischen Rückens (MOR) im Nordatlantik auf die Magmengense im Platteninnern, sowie kleine Konvektionszellen genannt, die zur Destabilisierung des sub-lithosphärischen Mantels führen können. Somit gibt es neben der vertikalen auch eine horizontale Konvektionskomponente, so dass Material im Mantel sowohl vertikal als auch horizontal über größere Distanzen transportiert werden kann. Phänomene, die sich bevorzugt in der Asthenosphäre abspielen (z. B. asthenosphärische Upwellings) sind der Rubrik „Asthenosphärische Upwellings und thermische Instabilitäten“ zugeordnet. Die oben genannten Prozesse erscheinen in den ersten drei Rubriken der Abb. 18. Zudem werden Delaminierungen der Lithosphäre als auch der subduzierten Platten von zwei der befragten Personen spezifiziert (Abb. 18).

Neben diesen tiefreichenden Prozessen, wird in den Rubriken 6-8 (Abb. 18) vor allem auf lithosphärische Phänomene Bezug genommen. So wird in den Genesemodellen von sechs der Befragten der Aufstieg der Schmelze von der Asthenosphäre ausgehend, die mögliche Interaktion mit der Lithosphäre und deren Teilaufschmelzung, und/oder die Stagnation der Schmelze in flacheren lithosphärischen Regionen erwähnt. Besonders in krustalen Bereichen kontrolliere das Spannungsfeld den letztendlichen Erfolg des Schmelzaufstieges

(„episodische Aufstiege je nach Deformation der mechanisch aufgeweichten Erdkruste“). Der Magmenaufstieg kann hierbei z. B. durch alte, bereits existierende lithosphärische Strukturen (wie z. B. variszische Suturen) oder Schwächezonen beeinflusst sein, die im Zusammenhang mit dem neotektonischen Rifting in Mitteleuropa stehen. Das passive oder aktive Rifting wird als Magmengenesemodell, oder zumindest als Einflussfaktor auf den Vulkanismus in Deutschland, in den Rubriken der lithosphärischen Phänomene am häufigsten genannt.

Weiterhin ist anzumerken, dass drei der Befragten das Genesemodell bzw. die Genesemodelle auf das Eruptionsverhalten und Vulkanfelder beziehen (Rubrik 9, Abb. 18). So wird von zwei der Befragten „phreatisch- bzw. phreatomagmatisch und stromboleanisch“ für die Oberpfalz bzw. südliches Vogtland genannt. Die dritte Person gibt diverse Arten von Vulkanfeldern an, „mit vielen kleinen Vulkanen“, „mit z. T. hochvolumigen Austritten“, „die sich zu Schildvulkanen entwickelten“, „in Gräben“ und „auf Halbhorsten der Gräben“.

Drei weitere Personen sind der Meinung, die verschiedenen Prozesse und Phänomene könnten durch ein einziges Genesemodell erklärt werden.

Weiterhin ist anzumerken, dass einer der Befragten vorschlägt, sich nicht auf die Genesemodelle zu konzentrieren, sondern auf Wahrscheinlichkeitsrechnungen von möglichen Eruptionseignissen in den jeweiligen Vulkanfeldern (wie z. B. im DEVORA Projekt für das Auckland Volcanic Field in Neuseeland (Deligne et al. 2015)). „Grundlage dieser Ansätze ist immer eine verlässliche Bestimmung der Eruptionsvolumina und -zeitpunkte“.

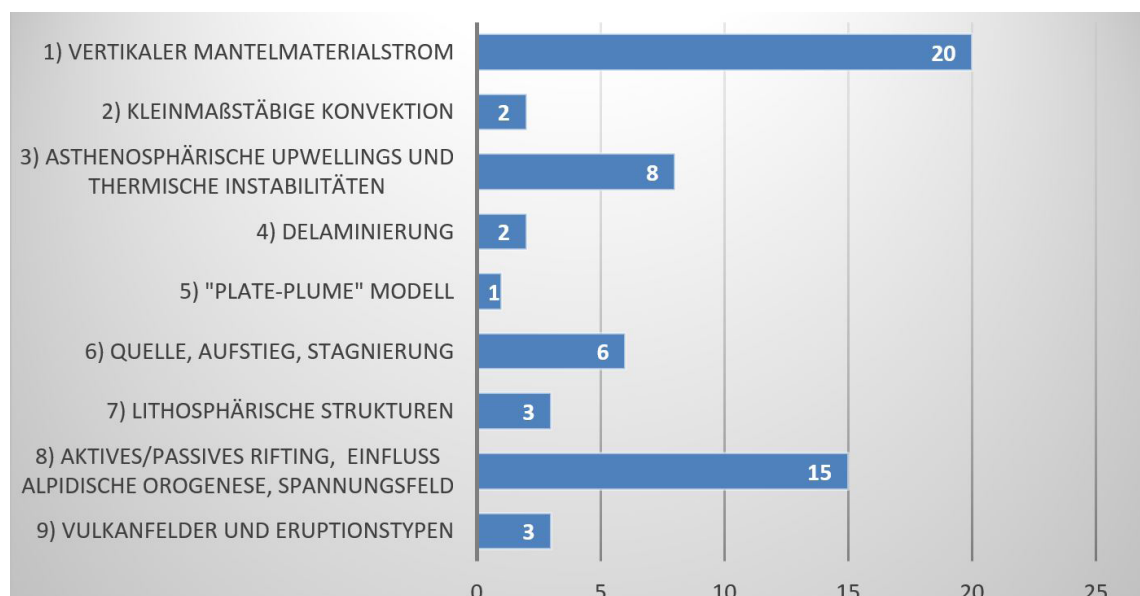


Abb. 18: Mögliche Genesemodelle zum känozoischen Vulkanismus in Deutschland (Fragen 17 und 18, Anhang 1.17). Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten.

Die häufig genannten Prozesse (vertikaler Mantelmaterialstrom (z. B. Mantel-Plumes), asthenosphärische Upwellings und aktives/passives Rifting) spiegeln die wissenschaftliche Debatte über die Ursachen des Magmatismus im Platteninnern, die Plate versus Plume-Kontroverse (Foulger 2010), wider. Ein mögliches Genesemodell für den känozoischen Vulkanismus in Deutschland könnte auch aus einer Kombination von Prozessen beider kontrovers diskutierten Theorien bestehen, wie von einer der befragten Personen vorgeschlagen („Mischung aus Plate und Plume Theorie“, Abb. 18).

Die Präferenzen für diese scheinbar gegensätzlichen Hypothesen wurden nochmals separat mittels Frage 23 (Anhang 1.22) ermittelt, um Einschätzungen der Befragten zu den möglichen Ursachen des Intraplattenvulkanismus zu erhalten. Lediglich 14 % der Befragten vertreten keine Position zu der Frage und enthielten sich. Während 9 % der befragten Personen der Meinung sind, dass die Dynamik der Lithosphäre entscheidend für den Intraplattenvulkanismus ist, denken 14 %, dass die Mantelkonvektion von zentraler Bedeutung ist (Abb. 19). Interessanterweise entschieden sich 63 % der Befragten und somit die absolute Mehrheit für die Möglichkeit, dass sowohl die Bildung von Schmelzen in der Asthenosphäre als auch die Bildung von Aufstiegswegen in der Lithosphäre bedeutsam sind und in geeigneter Weise (zeitlich und örtlich) zusammenpassen müssen, damit Magmen die Erdoberfläche im Inneren von tektonischen Platten erreichen können (Abb. 19). Somit scheint die Mehrzahl der Befragten, trotz der anhaltenden wissenschaftlichen Diskussion, keine unüberbrückbaren Gegensätze zwischen den Hypothesen zu sehen, die primär von Prozessen der Mantelkonvektion ausgehen oder denen der Reaktion der Asthenosphäre auf lithosphärische Prozesse. Zwei der Befragten geben mehrere Möglichkeiten an (zugeordnet zu A, B und C, Abb. 19).

Weiterführende Erkenntnisse über die möglichen Quellen sowie die Genese von Magmen im Erdinneren können über die in diesem Projekt aufgestellten Indikatoren (Abb. 13) erarbeitet werden. Diesbezügliche Vorschläge werden in Kapitel 7 aufgeführt.

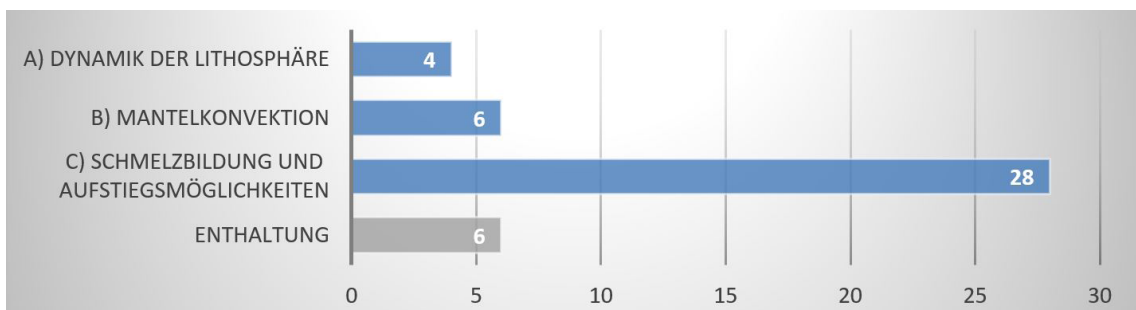


Abb. 19: Verantwortliche Prozesse für den Intraplattenvulkanismus (Frage 23, Anhang 1.22). Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.

6.2 Vergleichbare Vulkanfelder und Zusammenhang zu großmaßstäbigen Strukturen

Während sich die Standortsuche für hochradioaktive Abfälle und die Anwendung der Ausschlusskriterien auf Deutschland beschränken müssen, kann zum Verständnis der magmatischen Prozesse eine weiträumigere, im Einzelnen eventuell sogar globale Betrachtung von Phänomenen, Eigenschaften und Prozessen sinnvoll sein. Daher beziehen sich die Fragen 19-21 (Anhang 1.18, 1.19 und 1.20) auf den Vergleich des känozoischen Vulkanismus in Deutschland mit anderen Vulkanfeldern sowie auf den Zusammenhang mit großmaßstäbigen Strukturen. Vergleichbare Vulkanfelder sind nach Meinung der Befragten weltweit zu finden, wobei vor allem das Zentralmassiv in Frankreich heraussticht und am häufigsten genannt wird (Abb. 20). Neben direkten Nennungen von Ländern bzw. spezifischen Regionen (blaue Balken, Abb. 20), wurden auch vergleichbare Vulkanfelder aufgrund ihrer tektonischen Lage oder ihres vermeintlich ähnlichen Entstehungsprozesses bzw. ihrer vermeintlich ähnlichen Quelle genannt (grüne Balken, Abb. 20). Zur graphischen Darstellung, sind die Antworten zur Frage 19 Ländern, Regionen, Kontinenten oder allgemeinen Definitionen zugeordnet worden (Abb. 20). Eine genauere Beschreibung der Rubriken findet sich im Anhang (1.18).

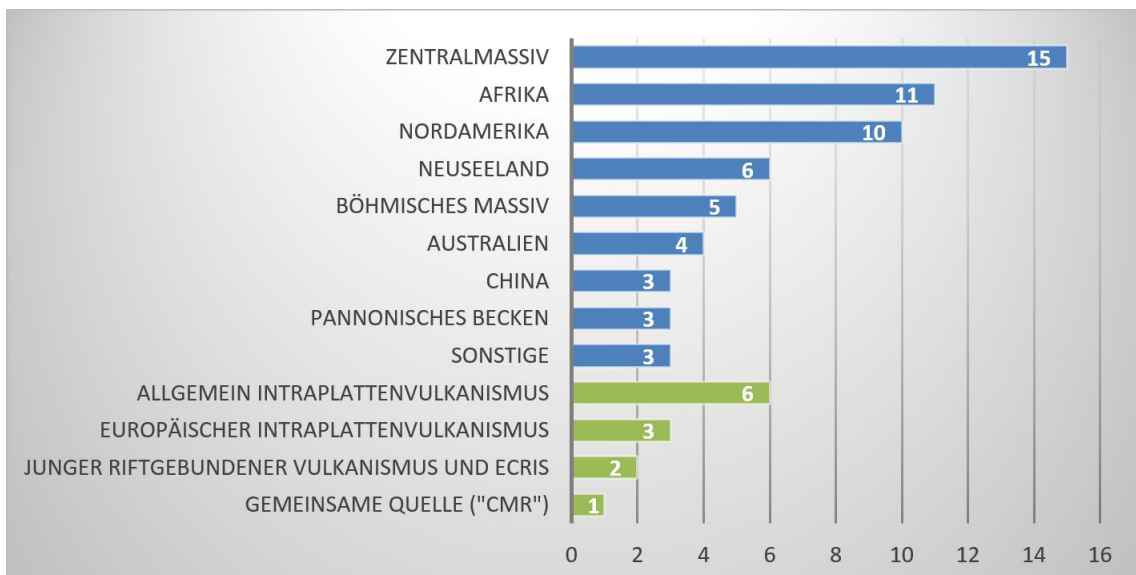


Abb. 20: Nennungen vergleichbarer Vulkanfelder (Frage 19, Anhang 1.18). Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten. ECRIS: European Cenozoic Rift System; CMR: Common Mantle Reservoir.

Die überwiegende Mehrheit der Befragten (83 %) sieht einen Zusammenhang zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und dem känozoischen Vulkanismus im weiteren Umfeld. Nur 5 % der Befragten sehen keinen Zusammenhang (Abb. 21).

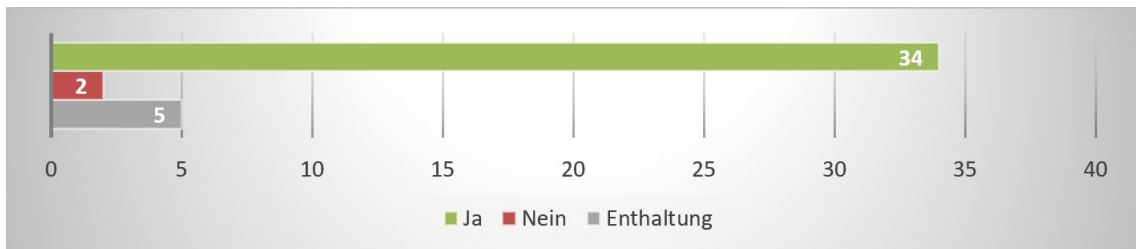


Abb. 21: Zustimmung zur Existenz von Zusammenhänge zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und dem känozoischen Intraplattenvulkanismus im weiteren Umfeld (Frage 20, Teil 1 Anhang 1.19). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Den Zusammenhang sehen die meisten der Befragten aufgrund ähnlicher Entstehungsprozesse, wie z. B. eines Mantel-Plumes, der plattentektonischen Lage und in tektonischen Gemeinsamkeiten. Weiterhin werden das vergleichbare Alter der Vulkanausbrüche, die Zusammensetzung der Gesteine oder Fluide sowie Ähnlichkeiten zu speziellen Gebieten (z. B. das Zentralmassiv) genannt. Um die Aussagen der Befragten graphisch darzustellen, wurden die Antworten sechs verschiedenen Rubriken (Abb. 22) zugeordnet. Die genaue Zuordnung ist im Anhang (Tab. 14, 1.19) aufgelistet. Eine genauere Beschreibung der Rubriken wird in der folgenden Auflistung gegeben:

- Die Rubrik „Ähnliches geodynamisches Modell und Entstehungsprozesse“ enthält Aussagen der Befragten, die sich auf die Entstehung und damit auch auf tiefreichende Ursachen des Vulkanismus beziehen. Sie umfassen z. B. subduzierte Platten, Mantel-Plume/Diapir, oder allgemeine Aussagen wie z. B. die gleiche Ursache oder ähnliche Mantelprozesse.
- Die Rubrik „Plattentektonische Konstellation/tektonisches Setting, Alpen, räumliche Beziehung“ enthält Angaben zur plattentektonischen Lage der Vulkanfelder, oft unter Einbeziehung der Alpen und der Auswirkungen der Alpidischen Orogenese, sowie zu tektonischen Gemeinsamkeiten wie z. B. Grabenstrukturen.
- In der Rubrik „Ähnliches Alter der vulkanischen Aktivität“ sind Angaben der Befragten enthalten, die sich auf das Alter der Gesteine bzw. der Vulkanausbrüche und dessen Ausbruchsrythmen beziehen.
- Die Rubrik „Ähnlichkeit zu anderen Gebieten“ umfasst Angaben der Befragten, in denen ausschließlich eine Lokalität genannt wurde, wie z. B. das Zentralmassiv und die Böhmisches Masse, aber auch Norditalien, Steinmark, pannonisches Becken, Katalonien, weitere spanische Vulkanfelder und ganz allgemein „European Cenozoic Volcanic Provinces“. Dies bedeutet jedoch nicht, dass auch in den anderen Rubriken ein Bezug zu einer Lokalität hergestellt werden kann, solange z. B. ein Prozess mit angegeben ist.

- In der Rubrik „Ähnliche Gesteine und Vulkanfelder“ sind Angaben der Befragten enthalten, die sich auf die Zusammensetzung der Gesteine und deren Petrographie sowie auf die Art der Vulkanfelder beziehen.
- Die letzte Rubrik „Ähnlichkeit in Fluidisotopie“ umfasst Angaben zur Isotopensignatur von Mantelgasen (z. B. von He, C_{CO2} oder Xe).

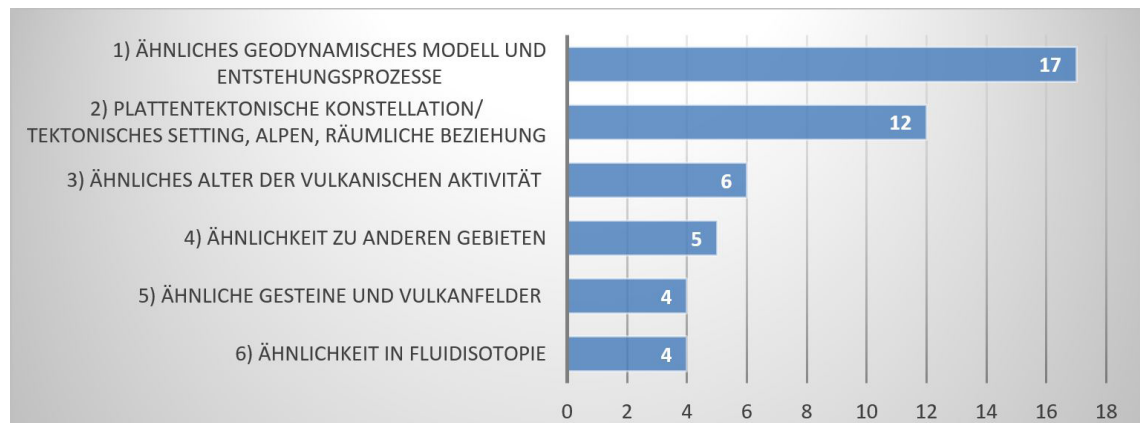


Abb. 22: Zusammenhänge zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und dem känozoischen Intraplattenvulkanismus im weiteren Umfeld (Frage 20, Teil 2, Anhang 1.19). Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten.

Zudem sieht die überwiegende Mehrheit der Befragten (78 %) einen klaren Zusammenhang zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und regionalen oder plattentektonischen Strukturen (Frage 21, Anhang 1.20). Nur eine der befragten Personen sieht keine eindeutigen Zusammenhänge (Abb. 23).

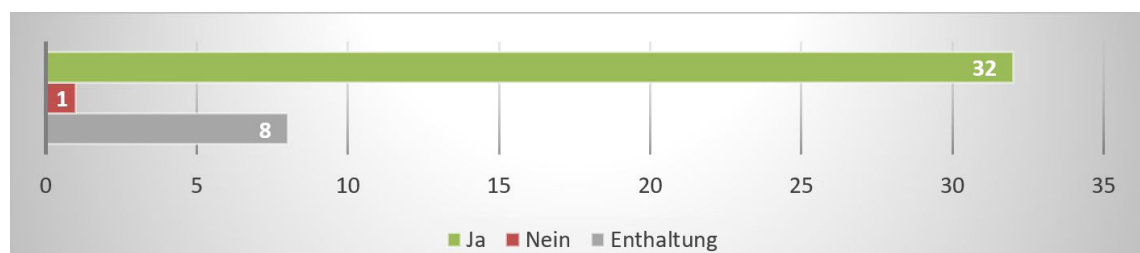


Abb. 23: Zustimmung zur Existenz von Zusammenhänge zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und regionalen oder plattentektonischen Strukturen (Frage 21, Teil 1 Anhang 1.20). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Die erläuternden Kommentare der Befragten (Tab. 15, Anhang 1.20) sind zur graphischen Darstellung sechs verschiedenen Rubriken zugewiesen worden (Abb. 24). Der Zusammenhang zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und regionalen oder plattentektonischen Strukturen wird vor allem mit dem Europäischen Känozoischen Riftsystem (ECRIS) oder Teile von ihm, wie z. B. dem Oberrheingraben oder dem Egergraben, begründet (Abb. 24).

Die Rubriken sind in der folgenden Auflistung beschrieben:

- Angaben der Befragten, die der Rubrik „Zusammenhang Gräben/Rift“ zugeordnet sind, beinhalten den Rheingraben/Oberrheingraben, Egergraben, Zollerngraben, ECRIS, Central European Basin System (CEBS) sowie Riftstrukturen einschließlich deren Schulterbereiche.
- Unter der Rubrik „Einfluss der Alpidischen Orogenese“ fallen neben Einflüssen, ausgehend von der Alpidischen Orogenese (z. B. auf Grabenstrukturen, Lithosphäre oder auf die Orientierung der Vulkanfelder), auch allgemeine Angaben zur Plattentektonik.
- Unter der Rubrik „Einfluss älterer Strukturen“ fallen Faktoren, wie z. B. Störungszonen zwischen den variszischen Gebirgsbögen, ältere Suturen, Mittelgebirge, variszische oder permokarbone Strukturen und andere alte Lineamente.
- Die Rubrik „Struktur und Kräfteverhältnisse“ enthält ein breites Spektrum an Antworten der Befragten. Sie reichen vom Spannungsfeld, Einfluss von Eismassen, bis hin zur Orientierung von Brüchen/Störungen und deren Einfluss auf die Vulkanfelder (wie z. B. in der Eifel oder Heldburger Gangschar).
- Neben größeren Strukturen, die vor allem die Lithosphäre betreffen, haben sechs der Befragten (Abb. 24) tieferreichende Prozesse und Faktoren angegeben. So sind in der Rubrik „Mantelströme“ Aussagen zum Aufstrom von Material, subduzierte Platten, Mantel-Plumes, Konvektion und Mantel-Upwellings zugeordnet, die teilweise auch mit der Alpidischen Orogenese oder der Plattentektonik in Verbindung gebracht werden.
- Die letzte Rubrik „Sonstige“ enthält Angaben, die nur von sehr wenigen der befragten Personen angegeben wurden. Diese umfassen: „Moho Step and transparent lower crustal wedge in Rhenish Massif“ (1x), „Gemeinsamer Ursprung der Magmengenese im unteren Mantel“ (1x), Nennungen eines speziellen Ortes („pleistozäne Westeifel“ (1x)) und Angaben zu Mantelgasen und deren Verbindung zum Mantel-Plume oder Magmaintrusionen (2x).

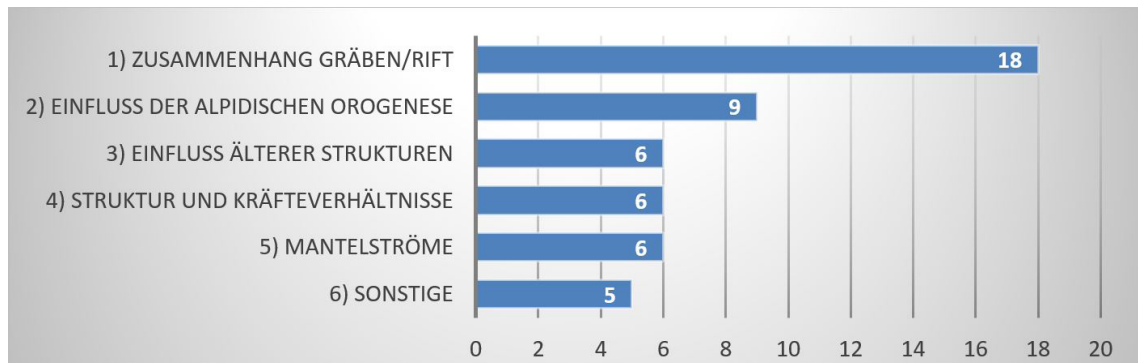


Abb. 24: Zusammenhang zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und regionalen oder plattentektonischen Strukturen (Frage 21, Teil 2 Anhang 1.20). Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten.

An dieser Stelle wird von einer befragten Person darauf hingewiesen, dass die Verbreitung der von uns dargestellten känozoischen Vulkangebiete in Deutschland erweitert werden sollte, da bestimmte Gebiete aufgrund aktueller Messungen von CO₂-Entgasungen zukünftig relevant werden könnten, obwohl hier noch kein Vulkanismus bekannt ist. Angegeben ist die Südeifel („Die beprobten CO₂-Mofetten in der Südeifel dürften etwa der Lage des Plumekopfes des Eifel-Plumes entsprechen“) und ein Gebiet des nördlichen Cheb Beckens, grenznah zum sächsischen Vogtland („Im Bereich der Mofette Bublak (Cheb Becken, CZ) wurde eine He-Isotopenanomalie nachgewiesen, die als verdeckte Magmenintrusion interpretiert wurde“).

Ein weiterer Befragter empfiehlt einige Vulkanvorkommen zu einem separaten Feld zusammenzuschließen (wie die des südlichen Westerwalds und nördlichen Oberrheingrabens).

7 Wissenslücken

7.1 Aufarbeitung von Wissenslücken

Gemäß StandAG ist die Festlegung auf einen Endlagerstandort für hochradioaktive Abfälle bis 2031 anzustreben. Ob aktuelle Wissenslücken bis dahin beseitigt werden können und in welchem Stadium des Standortauswahlverfahrens dies erfolgen sollte, kann aus den Antworten zur Frage 24 (Anhang 1.23) abgeleitet werden. Neben Enthaltungen (12 %), sind lediglich 9 % der Befragten der Meinung, dass vorhandene Mängel an Prozessverständnis, Methoden oder Daten für den oben genannten Zweck nicht bis 2031 behoben werden können (Abb. 25). Die überwiegende Mehrheit, 79 % der Befragten, sind der Meinung, dass solche Mängel behoben werden können. Hierbei sagen 15 der Befragten aus, dass erst nach der Ermittlung der Teilgebiete zusätzliche wissenschaftliche Arbeiten erfolgen sollten, 16 Befragte hingegen sind davon überzeugt, dass es zum jetzigen Zeitpunkt schon feststeht, was sinnvollerweise getan werden sollte (Abb. 25). Einer der Befragten gab beide Möglichkeiten an (zu „Ja“ und „Nein“ zugeordnet, Abb. 25), da zwar „Fortschritte gerade in der umfassenden numerischen Modellierung neue Wege ermöglichen, jedoch werden bis 2031 Ungewissheiten verbleiben“.

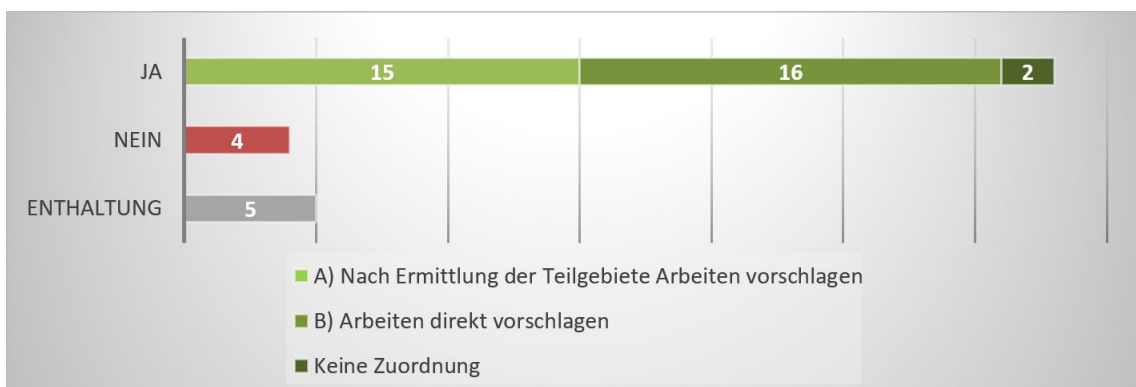


Abb. 25: Behebbarkeit von vorhandenen Mängeln am Prozessverständnis, an Methoden oder Daten bis 2031 (Frage 24, Anhang 1.23). Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.

Die vorgeschlagenen Arbeiten sind im Anhang (1.23) im Detail wiedergegeben. Sie umfassen folgende Themen (die Häufigkeit der Angabe ist angegeben in Klammern):

- Die Dokumentation, Neuerfassung und Überprüfung bereits existierender Daten (z. B. Eruptionsalter) (8x).
- Die Dokumentation und Untersuchung von CO₂-Austrittsstellen sowie CO₂-beeinflussten Wässern sowie deren Monitoring (5x).

- Die Ausweitung des seismischen Netzes (z. B. zur Überprüfung von niederfrequenten (LF) Erdbeben) sowie Durchführung seismischer Experimente zur Untersuchung von z. B. Schmelzstagnationsbereichen in der Kruste (2x).
- Die seismologische Kartierung der Mohorovičić-Diskontinuität (Moho) und der LAB (2x).
- Die allgemeine Untersuchung des deutschen Vulkanismus (1x).
- Die Untersuchung der aktuellen Hebung und der Untergrunddeformation (2x).
- Die bessere Charakterisierung von regionalen Störungen und Untersuchungen der Krustenstruktur zur Identifizierung tieferreichender Störungen (2x).
- Die Untersuchung vom Spannungsfeld (1x).
- Die Erstellung von genaueren gravimetrischen und magnetischen Daten (1x).
- Die Interpretation hochauflösender digitaler Geländemodelle (1x).
- Die Datenkollektion für Lithosphärendynamik-Modelle (Strukturinformationen) sowie für Modelle zum Magmaaufstieg (Diffusionsdaten von Xenolithen/Phenokristallen, Viskosität, Dichte, Verteilung der Eruptionszentren und deren zeitliche Entwicklung) (1x).
- Die Erstellung von geodynamisch konsistenten Modellen zur Interpretation existierender Daten, sowie Simulationen zu magmatischen Aktivitäten und allgemeinen Prozessen und deren zeitliche Komponente (2x).
- Interdisziplinäre Forschungsschwerpunkte/-projekte (2x).
- Die Erstellung einer umfassenden Datenbank in der alle verfügbaren geophysikalischen, geodynamischen, geochronologischen, geologischen, petrologischen etc. Daten vorhanden sind (1x).
- Die Untersuchung einer Methodenkombination die zur langfristigen Überwachung von Prozessen sinnvoll ist (1x).

Häufig wird auch eine Kombination verschiedener Untersuchungen von den Befragten vorgeschlagen, wie z. B. „Deutschland-weit: kombinierte seismologische Kartierung von Moho- und LAB-Grenze, gekoppelt mit der Gas-isotopengeochemischen Untersuchung von CO₂-reichen freien Quellgasen“.

Die Notwendigkeit zur Dokumentation und Erhebung neuer geochronologischer Daten wird von den Befragten am häufigsten genannt (7x), gefolgt von der Untersuchung und Überwachung von CO₂-Austrittsstellen und CO₂-beeinflussten Wässern (5x), sowie seismologischer und seismischer Untersuchungen (4x).

7.2 **Vorschläge für vertiefende Workshops**

Für die weitere Entwicklung von Vorschlägen zur Anwendung des Ausschlusskriteriums „zukünftiger Vulkanismus“ basierend auf multiplen Indikatoren ist eine breite wissenschaftliche Expertise erforderlich und die externen Fachkräfte sind eingeladen, das Projekt „Magmatismus“ weiter zu unterstützen. Für die Fokussierung der Themen und die Vertiefung der Diskussion sind themenspezifische Workshops vorgesehen. In solchen Workshops können Wissenslücken erkannt, besprochen und definiert werden, vielleicht auch durch neue Erkenntnisse geschlossen werden. Zur Vorbereitung solcher Treffen wurden die generelle Bereitschaft zur Teilnahme und Themenvorschläge abgefragt (Fragen 25-28, Anhang 1.24 bis 1.27).

In der überwiegenden Mehrheit der Rückmeldungen (85 %) haben die Befragten die Bereitschaft zur Teilnahme an einem Workshop bekundet (Frage 25, Anhang 1.24). Um einen Einblick über die erwünschten Themenschwerpunkte zu bekommen, wurden zunächst 6 Workshops vorgeschlagen (Frage 26) und erfragt, welche dieser Themenschwerpunkte für sinnvoll erachtet würden. Es konnten hierzu mehrere Vorschläge gemacht werden. Die vorgeschlagenen Schwerpunkte sind der Häufigkeit ihrer Nennung entsprechend im Folgenden aufgelistet und dargestellt (Abb. 26):

- Schwerpunkt 1: Datendichte, Unsicherheiten und Interpretationen
- Schwerpunkt 2: Vom tiefen Magmenreservoir zur vulkanischen Aktivität
- Schwerpunkt 3: Geodynamik: Plates vs. Plumes im Licht des känozoischen Vulkanismus in Deutschland
- Schwerpunkt 4: Aussagekraft, Unsicherheiten und Interpretation seismischer Anomalien im Bereich des Mantels
- Schwerpunkt 5: Möglichkeiten und Grenzen numerischer Modelle der Mantel- und Lithosphärendynamik
- Schwerpunkt 6: Zusammensetzung des Erdmantels unter Mitteleuropa

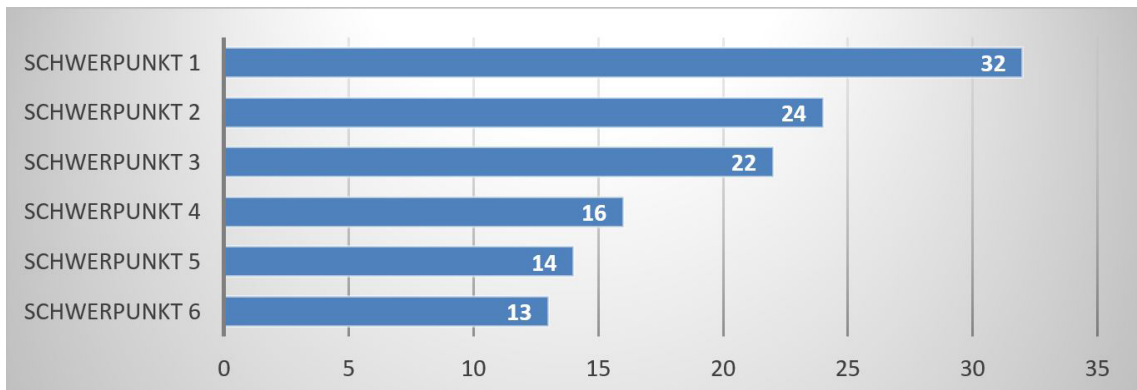


Abb. 26: Als sinnvoll erachtete Themenschwerpunkte der Workshops (Frage 26, Anhang 1.25). Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.

Der Themenschwerpunkt „Datendichte, Unsicherheiten und Interpretationen“ wird hierbei am häufigsten genannt (Abb. 26).

Weitere fachübergreifende oder themenspezifische Schwerpunkte wurden vorgeschlagen und sind im Folgenden aufgelistet. Die vollständigen Aussagen sind z. T. nur im Anhang verzeichnet (Frage 27, Anhang 1.26).

Fachübergreifende Vorschläge:

- „Fachübergreifende Workshops, wo Seismiker mit Petrologen, Geologen und Modellierern gemeinsam diskutieren“
- „Fachübergreifende Interpretation vorhandener Daten und Erkenntnisse zur Bewertung der vulkanischen Gefährdung in Deutschland“
- „Gekoppelte zeitliche, kompositionelle, petrologische Entwicklung der pleistozänen Vulkanfelder und Vergleich mit seismologischen (und weiteren geophysikalischen) Daten“
- „Unsicherheiten, seismische Anomalien, zeitliche Abläufe von kontinentalem Intraplatten-Vulkanismus“
- „Blick zurück/Quartärvulkanismus: Erkenntnisse aus paläovulkanischen-, Xenolith- und experimentell petrologischen Untersuchungen; Gegenwart/Blick voraus: Ergebnisse aus der Seismologie zur Kartierung der Moho- und LAB-Tiefenlage mit anderen, z. B. tomographischen Untersuchungen und deren Kopplung mit Ergebnissen zur Gas-Isotopengeochemie; Gemeinsame Diskussion der offenen Fragen“
- „Allg. sollten die Workshops so gestaltet werden, dass möglichst viele Leute mit unterschiedlichstem wissenschaftlichem Hintergrund zusammen diskutieren können um vielleicht am Ende mögliche Genesemodelle aufzustellen, die dann z. B. mit

Hilfe von geodynamischen Modellen auf ihre Konsistenz überprüft werden können. Mit diesen numerischen Modellen kann auch aufgezeigt werden, ob alle relevanten Prozesse und Fakten berücksichtigt sind, oder nicht“

Spezielle Themen:

- „Verbesserung des seismologischen und Fluid-Volatilen Monitorings und der Interpretation der Daten / Transienten; Vernetzung zum geplanten SPP Eifel“
- „Interpretationsgrenzen für low frequency earthquakes (LFE), da sie auch außerhalb von Vulkangebieten auftreten“; „Tiefe niederfrequente Erdbeben“
- „Geochronologie“; „Datierungsmethoden“; „Geochronologische Datenanalyse – Zeitlücken zwischen den einzelnen Aktivitätsphasen“
- „Känozoische Sedimentarchive“
- „Eruptionsarten“
- “Volcanology of the fields – what styles of volcanism can we expect based on past behaviour”
- „Reichweiten von vulkanischen Einflüssen (Magmenaufstiege, Änderungen des Spannungsfelds, Veränderungen der Seismizität, Reaktivierung von Störungen, Veränderung des Chemismus von Wässern)“
- „Gefahren- und Risikoabschätzungen sowie Notfallpläne für den Fall einer Eruption in Deutschland“
- Zeitlicher Aspekt der Prognose (1 Ma unterteilt in kleinere Abschnitte?)
- „In wie fern können sich die bekannten känozoischen vulkanischen Gebiete ausdehnen oder migrieren innerhalb der nächsten 2 Mio. Jahre?“
- „Geodynamische Modellierungsaspekte“
- „Möglichkeiten der Speicherung und Vernetzung von Geodaten“

Die zusätzlich genannten Themen könnten teilweise den vorgeschlagenen Themenschwerpunkten (Abb. 26) zugeordnet werden, oder Schwerpunkte für separate Workshops bilden. Auffallend ist, dass sieben von zwanzig Personen, die Vorschläge zu dieser Frage gemacht haben, eine fachübergreifende Diskussion vorschlagen.

Weiterhin wurde den Befragten die Möglichkeit gegeben, Fragen zu äußern, die sie anderen Expertinnen und Experten zum Magmatismus und Vulkanismus in Mitteleuropa stellen würden (Frage 28, Anhang 1.27). Die Rückmeldungen beinhalten sowohl Fragen

zu Prozessen als auch zu Daten und wurden vier Hauptthemen zugeordnet. Zudem wurde eine Frage zu den Auswirkungen von Vulkanausbrüchen gestellt. Die angegebenen Fragen (siehe unten) können zum einen hilfreich für die Gestaltung von Workshops und Diskussionsrunden sein und zum anderen aufzeigen, welche Fragestellungen für einen Teil der Befragten noch nicht geklärt sind bzw. von anderen Experten erörtert und beantwortet werden müssen, um eine Diskussion auf einer gemeinsamen Basis führen zu können, unabhängig von der Expertise des jeweiligen Teilnehmers.

Fragen zum Vulkanismus:

- „Welchen Bezug sehen Sie zwischen dem Vulkanismus in Deutschland und in Mitteleuropa?“
- „siehe SPP Antrag Eifel“
- „Sehen Sie den quartären Vulkanismus als den Beginn einer eigenständigen Phase nach dem Höhepunkt des Tertiären Vulkanismus (im Oligo-/Miozän) an?“
- „Ist es Zufall, dass sich die beiden quartären Vulkanfelder (Eifel, Oberpfalz) am Rand des nördlichen Bogens der Mitteleuropäischen Asthenosphärenanomalie befinden?“
- „Kann der Gürtel von Vulkanfeldern von der Eifel über Rhön und Egergraben bis hin zu den Sudeten auf eine gemeinsame Ursache zurückgeführt werden, oder sollten Regionen differenziert betrachtet werden?“
- „Warum gibt es diesen auffälligen Bogen und die Lücke zu den südlichen Vulkanfeldern?“
- „Was weiß man über die Lebensdauer von kontinentalen Intraplatten-Vulkanfeldern, können die tertiären Vulkanfelder wieder aktiv werden oder ist dieses Szenario so (wenig) wahrscheinlich als dass sich in Deutschland ein völlig neues Vulkanfeld entwickelt?“
- “What do you consider to be the reason for the collection of melt in the mantle below the Eifel?”
- “What is the main control on the transport of melt out of the mantle and into the crust?”
- “How do you reconcile a mantle plume model for volcanism in Western and Central Europe with the age distribution and geographic distribution and the lack of most of the features considered diagnostic of plumes”
- “Braucht man wirklich die Einbeziehung der Lithosphäre um den Gesteinschemismus der Magmatite zu erklären, oder könnte auch die Asthenosphäre in sich genug angereichert sein?”

Fragen zum Rifting und zum Spannungsfeld:

- „Wie wichtig ist ECRIS und das regionale Spannungsfeld und dessen zeitliche Änderung?“
- „Gibt es Zusammenhänge zwischen dem Spannungsfeld der Erdkruste und dem Vulkanismus?“
- „In welchem Maße korreliert das (Paläo)-Spannungsfeld (und dessen zeitliche Variation) in (mittel) Europa mit vulkanischer Aktivität? Wodurch wird die zeitlich-räumliche Änderung des Paläospannungsfeldes kontrolliert?“
- „Was wissen wir über den Zusammenhang der Alpen-Orogenese und den süd-deutschen Vulkanfeldern? Was müsste dort noch erforscht werden?“

Fragen zu Datengrundlagen:

- „Fragen bezüglich der Bewertung von chronologischen Daten verschiedener Altersbestimmungsmethoden“
- „Wie zuverlässig sind geochronologische Daten? Welche Unsicherheiten müssen hier angesetzt werden?“
- „Mich würde interessieren, welche Gewichtung geochronologische Daten bei der Gefahrenabschätzung erfahren und wie bisherige Daten in quantitative oder qualitative Aussagen über mögliche zukünftige vulkanische Aktivität einfließen“
- „Wie ist die Datenlage zu Geochronologie von känozoischen Vulkaniten in Deutschland einzuschätzen und welcher Untersuchungsbedarf ergibt sich daraus, um methodisch abgesicherte zeitliche und regionale Trends ableiten zu können?“
- „Wie ist die Datenlage bezüglich der Herkunft der Magmen von känozoischen Vulkaniten (Plume, Asthenosphäre, Lithosphäre, Kruste) zu beurteilen? Welche Lücken bzw. offenen Fragen gibt es?“
- „Fragen über konsistente Daten des rezenten und subrezentem Stressfeldes in Europa“
- „Welche Daten sollten zukünftig erhoben werden um unser Prozessverständnis über die deutschen Vulkanfelder zu verbessern? Wie könnte eine praktische Umsetzung aussehen?“
- “Can we distinguish between earthquake swarms related to neotectonics in the Rhine graben and magma movement?”

- „Wie tief gehen beobachtete Anomalien im Mantel wirklich, was sind die Unsicherheiten?“
- „Ob Sie meinen, dass es möglich ist Vorhersagen zu treffen über die nächsten Million Jahre, nur an Hand von geologischen, geophysikalischen und petrologischen Daten, ohne physikbasierte Simulationen“
- „Was und wie wäre was modelltechnisch (geodynamisch) umsetzbar!“

Sonstige Fragen:

- „Gibt es Erkenntnisse zur Rekonstruktion von Paläo-Schäden zu Vulkanausbrüchen im Quartär auf deutschem Territorium?“
- „Können Szenarien entwickelt werden, welche Auswirkungen ein Endlager zuerst betreffen? (Ist es die Hebung und damit die Deformation des Endlagerbereichs? Ist es die Temperaturentwicklung? Ist die Entwicklung von Rissen/Reaktivierung von Störungen entscheidend?)“

8 Fazit

- Die überwiegende Mehrheit der Befragten hält quantitative Prognosen zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland in absehbarer Zeit nicht für möglich, wohl aber grobe, regionale, qualitative Differenzierungen der Möglichkeiten zukünftigen Vulkanismus für machbar.
- Es wird ein deutschlandweit anwendbares Schema für die Prognose vulkanischer Aktivität mittels eindeutig definierter und gewichteter Indikatoren von der absoluten Mehrheit der Befragten für umsetzbar gehalten. Es gibt aber auch Argumente für eine regional differenzierte Betrachtung, die im Zuge der räumlichen Einengung im Verlauf der Standortsuche für hochradioaktive Abfälle sinnvoll werden könnte.
- Die überwiegende Mehrheit der Befragten ist der Meinung, dass neben den quartären auch die präquartären Vulkanfelder in die Betrachtungen des zukünftig möglichen Vulkanismus in Deutschland mit einbezogen werden sollten.
- Die überwiegende Mehrheit der Befragten geht von einer hohen bis sehr hohen Wahrscheinlichkeit vulkanischer Aktivität in den kommenden 1 Mio. Jahre in den quartären Vulkanfeldern Deutschlands aus. Dabei geht die absolute Mehrheit der Befragten von einer räumlichen Verlagerung der vulkanischen Aktivität aus. Bezüglich des Wiederauflebens vulkanischer Aktivität in den präquartären deutschen Vulkanfeldern gehen die Meinungen der Befragten auseinander. Siebzehn Befragte halten dies aber für wahrscheinlich oder sehr wahrscheinlich und sieben Befragte sind der Ansicht, dass erneute Ausbrüche in keinem der präquartären Vulkanfelder ausgeschlossen werden können.
- Die Nutzung der vorgeschlagenen Indikatoren als Methode, zu qualitativen Abschätzungen des zukünftig möglichen Vulkanismus in Deutschland zu gelangen, wird von der überwiegenden Mehrheit der Befragten befürwortet.
- Die höchste Relevanz wird den Indikatoren tiefe niederfrequente (DLF) Erdbeben, geochronologische Daten, Gas- und Isotopengeochemische Analysen von Mantelfluiden, Schwarmbeben, Verbreitung känozoischer Vulkanfelder, teleseismische Laufzeitanomalien im Erdmantel sowie Mofetten und Säuerlinge zugesprochen. Allerdings lassen sich aus den abgegebenen Bewertungen keine deutlich herausgehobenen noch gänzlich als unbedeutend angesehene Indikatoren identifizieren.
- Bezüglich des Prozessverständnisses und der Ursachen des känozoischen Vulkanismus ergibt sich ein uneinheitliches und breit gefächertes Meinungsspektrum. Dementsprechend wurden etliche Vorschläge zur Differenzierung von Indikatoren und zur Einbeziehung weiterer Indikatoren, zu Kenntnislücken und Forschungsbedarf,

sowie zu Themen für vertiefende Diskussionen gemacht. Aufgrund der Wechselwirkungen zwischen asthenosphärischen und lithosphärischen Prozessen, ist die absolute Mehrheit der Befragten der Ansicht, dass jeweils passende Kombinationen der damit zusammenhängenden Strukturen, Eigenschaften und Prozesse den Vulkanismus an der Erdoberfläche ermöglichen.

- Nur neun der Befragten sind der Meinung, dass der känozoische Vulkanismus in Deutschland durch ein einziges Genesemodell erklärbar ist. Hingegen würde die absolute Mehrheit der Befragten den Ansatz unterschiedlicher Modelle bevorzugen. Dieses Ergebnis ist insofern von Bedeutung, da die absolute Mehrheit der Befragten der Ansicht ist, dass Abschätzungen des zukünftigen Vulkanismus in Deutschland vom zugrundeliegenden Genesemodell abhängen. Solange die wissenschaftliche Debatte zum Prozessverständnis noch anhält empfiehlt es sich daher, alternative, räumlich und zeitlich differenzierte Genesemodelle zu betrachten. Im Sinne eines möglichst einheitlichen Vorgehens erscheint eine im Detail zu differenzierte und dem wissenschaftlichen Fortschritt entsprechend veränderliche Betrachtung des Magmatismus jedoch nicht sinnvoll. Eine grundsätzliche Gruppierung ähnlicher Modelle sollte zumindest für die Dauer des Standortauswahlprozesses Bestand haben.
- Der känozoische Vulkanismus in Deutschland wird von der überwiegenden Mehrheit der Befragten mit dem Intraplattenvulkanismus im weiteren Umfeld verknüpft. Für ein verbessertes Prozessverständnis muss folglich eine großräumige Betrachtung des Vulkanismus erfolgen. Zudem wird von der überwiegenden Mehrheit der Befragten ein Zusammenhang zu regionalen oder plattentektonischen Strukturen gesehen, was abermals für eine Betrachtung des deutschen Vulkanismus im größeren Kontext spricht.

9 Nächste Schritte

Aufbauend auf den hier dargestellten Ergebnissen der ersten Expertenbefragung, sind zunächst die folgenden Schritte zur verbesserten Abschätzung der möglichen zukünftigen vulkanischen Aktivität in Deutschland für die Zwecke der Standortauswahl nach StandAG vorgesehen:

- Überarbeitung der Liste der Indikatoren auf Basis der aufgezeigten Anregungen aus der Expertenbefragung.
- Identifikation von Parametern, die quantitative Aussagen zu den einzelnen Indikatoren ermöglichen.
- Weitere Diskussionen im Expertenkreis und Ableitung daraus resultierender Konsequenzen für die Gewichtung von Indikatoren.

Literaturverzeichnis

- Blenke, R. (1879): Der Laacher See und seine vulkanische Umgebung. – 1-84 S.; (Strüder).
- Büchel, G. (1984): Die Maare im Vulkanfeld der Westeifel, ihr geophysikalischer Nachweis, ihr Alter und ihre Beziehung zur Tektonik der Erdkruste.
- Büchel, G. & Mertes, H. (1982): Die Eruptionszentren des Westeifeler Vulkanfeldes. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 133: 409-429.
- Busch, P.J. (1952): Naturdenkmale: Ein Heimatbuch d. Trierer Raumes. (Bongers).
- Deligne, N.I., Lindsay, J.M. & Smid, E. (2015): An integrated approach to Determining Volcanic Risk in Auckland, New Zealand: the multi-disciplinary DEVORA project. – In: Vye-Brown, C., Brown, S.K., Sparks, S., Loughlin, S.C. & Jenkins, S.F. (Hrsg.): Global Volcanic Hazards and Risk. – 233-238; Cambridge (Cambridge University Press). DOI: 10.1017/CBO9781316276273.007.
- Duda, A. & Schmincke, H.U. (1985): Polybaric differentiation of alkali basaltic magmas: evidence from green-core clinopyroxenes (Eifel, FRG). – Contributions to Mineralogy and Petrology, 91, 4: 340-353. DOI:10.1007/BF00374690.
- Foulger, G. (2010): Plates vs. Plumes: A Geological Controversy. – DOI:10.1002/9781444324860.
- Fuhrmann, I.J. (1983): Kalium-Argon-Untersuchungen an neogenen Vulkaniten des Rheinischen Schildes. – Universität Heidelberg: 157 S.
- Legendre, C.P., Meier, T., Lebedev, S., Friederich, W. & Viereck-Götte, L. (2012): A shear wave velocity model of the European upper mantle from automated inversion of seismic shear and surface waveforms. – Geophysical Journal International, 191, 1: 282-304. DOI:10.1111/j.1365-246X.2012.05613.x.
- Lippolt, H.J. & Todt, W. (1978): Isotopische Altersbestimmungen an Vulkaniten des Westerwaldes. – Neues Jahrb Geol Paläontol Monatsheft, 6: 332-352.
- Lustrino, M. & Wilson, M. (2007): The circum-Mediterranean anorogenic Cenozoic igneous province. – Earth-Science Reviews, 81: 1-65.
- May, F. (2019): Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland.

- Meier, T., Soomro, R.A., Viereck, L., Lebedev, S., Behrmann, J.H., Weidle, C., Cristiano, L. & Hanemann, R. (2016): Mesozoic and Cenozoic evolution of the Central European lithosphere. – *Tectonophysics*, 692: 58-73. DOI:10.1016/j.tecto.2016.09.016.
- Mertz, D.F., Löhnertz, W., Nomade, S., Pereira, A., Prelević, D. & Renne, P.R. (2015): Temporal–spatial evolution of low-SiO₂ volcanism in the Pleistocene West Eifel volcanic field (West Germany) and relationship to upwelling asthenosphere. – *Journal of Geodynamics*, 88: 59-79. DOI:10.1016/j.jog.2015.04.002.
- Meyer, W. (2013): *Geologie der Eifel. (Schweizerbart)*.
- Paulick, H., Ewen, C., Blanchard, H. & Zöller, L. (2008): The Middle-Pleistocene (~300 ka) Rodderberg maar-scoria cone volcanic complex (Bonn, Germany): Eruptive history, geochemistry, and thermoluminescence dating. – *International Journal of Earth Sciences*, 98: 1879-1899. DOI:10.1007/s00531-008-0341-0.
- Schmincke, H. (2007): The Quaternary Volcanic Fields of the East and West Eifel (Germany). – *Mantle plumes: a multidisciplinary approach*: 241-322. DOI:10.1007/978-3-540-68046-8_8.
- Schmincke, H. (2014): *Vulkane der Eifel*. – DOI:10.1007/978-3-8274-2985-8.

Tabellenverzeichnis	Seite
Tab. 1: Bewertung der durch May (2019) aufgestellten Indikatoren, hinsichtlich ihrer Relevanz für die Prognose der zukünftiger vulkanischen Aktivität in Deutschland (Frage 8, Anhang 1.8). Angegeben ist die Gesamtzahl der abgegebenen Antworten inklusive Mehrfachbewertungen einzelner Indikatoren (siehe Text für weitere Details).	18
Tab. 2: Angaben zu paläogenen und neogenen Vulkanfeldern, in denen nach Einschätzung der Befragten in den kommenden 1 Mio. Jahre erneut Vulkanismus auftreten könnte.	65
Tab. 3: Räumliche Angaben der zu erwartenden gerichteten Verlagerung	66
Tab. 4: Bewertung der durch May (2019) aufgestellten Indikatoren, hinsichtlich ihrer Relevanz für die Prognose der zukünftigen vulkanischen Aktivität in Deutschland. Angegeben ist die Gesamtzahl der abgegebenen Antworten inklusive Mehrfachbewertungen einzelner Indikatoren.	68
Tab. 5: Angaben zu möglichen, zusätzlichen Indikatoren.	70
Tab. 6: Durch die Befragten angegebene Kombinationen von Indikatoren.	71
Tab. 7: Auswertung Frage 12. Angegeben ist die Anzahl der Nennungen der von May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren bzw. die durch die Autoren des vorliegenden Berichts, auf Basis von textbasierten Erläuterungen, zugewiesenen Indikatoren.	74
Tab. 8: Durch die Befragten angeführten ausführlichen Erläuterungen zur Frage 12 und deren Zuordnung zu den durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren.	75
Tab. 9: Auswertung Frage 13. Angegeben ist die Anzahl der Nennungen der von May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren bzw. die durch die Autoren des vorliegenden Berichts, auf Basis von textbasierten Erläuterungen, zugewiesenen Indikatoren.	76
Tab. 10: Durch die Befragten angeführten ausführlichen Erläuterungen zur Frage 13 und deren Zuordnung zu den durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren.	77
Tab. 11: Auswertung Frage 14. Angegeben ist die Anzahl der Nennungen der von May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren bzw. die durch die Autoren des vorliegenden Berichts, auf Basis von textbasierten Erläuterungen, zugewiesenen Indikatoren.	78
Tab. 12: Durch die Befragten angeführten ausführlichen Erläuterungen zur Frage 14 und deren Zuordnung zu den durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren.	79
Tab. 13-1: Präferierte und alternative Genesemodelle für den känozoischen Vulkanismus in Deutschland (Fragen 17 und 18). Die Antworten sind den Rubriken (Abb. 40) zugeordnet.	84

Tab. 13-2: Fortsetzung Tabelle 13-1. Präferierte und alternative Genesemodelle für den känozoischen Vulkanismus in Deutschland (Fragen 17 und 18). Die Antworten sind den Rubriken (Abb. 40) zugeordnet.	85
Tab. 13-3: Fortsetzung Tabelle 13-2. Präferierte und alternative Genesemodelle für den känozoischen Vulkanismus in Deutschland (Fragen 17 und 18). Die Antworten sind den Rubriken (Abb. 40) zugeordnet.	86
Tab. 14: Zusammenhänge zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und dem känozoischen Intraplattenvulkanismus im weiteren Umfeld (Frage 20). Die Antworten sind den Rubriken (Abb. 43) zugeordnet.	90
Tab. 15: Zusammenhang zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und regionalen oder plattentektonischen Strukturen (Frage 21). Die Antworten sind den Rubriken (Abb. 45) zugeordnet.	92

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Zustimmung zur Möglichkeit, quantitative Aussagen zur Wahrscheinlichkeit zukünftiger Vulkanausbrüche in den kommenden 1 Mio. Jahren in Deutschland zu treffen (Frage 1, Anhang 1.1). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	9
Abb. 2: Vorhandene Defizite, die eine quantitative Bewertung der Prognosemöglichkeiten der zu erwartenden Vulkanausbrüche in den kommenden 1 Mio. Jahren in Deutschland einschränken (Frage 1, Anhang 1.1). Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten. Mehrfachnennungen sind möglich.	9
Abb. 3: Zustimmung zur Möglichkeit, qualitative Aussagen zur Wahrscheinlichkeit zukünftiger Vulkanausbrüche in den kommenden 1 Mio. Jahren in Deutschland zu treffen (Frage 2, Anhang 1.2). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	10
Abb. 4: Zustimmung zur Möglichkeit einer regionalen Abgrenzung von Gebieten in denen zukünftiger Vulkanismus in Deutschland ausgeschlossen bzw. erwartet werden kann (Frage 3, Anhang 1.3). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	11
Abb. 5: Zustimmung zur Umsetzungsmöglichkeit eines deutschlandweit anwendbaren Schemas für die Prognose vulkanischer Aktivität (Frage 15, Anhang 1.15). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	11
Abb. 6: Relevanz der präquartären Vulkanfelder für die Prognosemöglichkeit zukünftiger Vulkanausbrüche in Deutschland (Frage 4, Anhang 1.4). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	12
Abb. 7: Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen, aktiven Vulkanismus innerhalb der quartären Vulkanfelder in Deutschland (Frage 5, Anhang 1.5). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	13
Abb. 8: Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen, aktiven Vulkanismus innerhalb der präquartären Vulkanfelder in Deutschland (Frage 6, Anhang 1.6). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	14
Abb. 9: Zustimmung zur Möglichkeit der Verlagerung eines zukünftigen Vulkanismus in den quartären Vulkanfeldern Deutschlands (Frage 7, Teil1, Anhang 1.7). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	15
Abb. 10: Mögliche räumliche Verlagerung der Vulkanfelder der West- (braun) und Ostefel (lila) nach Einschätzung der Befragten. Gelbe Dreiecke entsprechen bekannten quartärzeitlichen Eruptionszentren (nach Blenke 1879; Busch 1952; Büchel 1984; Büchel & Mertes 1982; Duda & Schmincke 1985; Fuhrmann 1983; Lippolt & Todt 1978; Meyer 2013; Paulick et al. 2008; Schmincke 2014). Zahlen innerhalb der Pfeile entsprechen der Anzahl der Befragten, die eine den Pfeilen entsprechende räumliche Verlagerung für möglich halten (Frage 7, Anhang 1.7). Vulkanische Gesteine/Ablagerungen bearbeitet nach © Geoviewer der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 2020.	16

Abb. 11:	Ergebnisse der Gesamtbewertung (blau) im Vergleich zur Bewertung der Experten für einen jeweiligen Indikator (grün). In schwarz: Die Anzahl der Befragten die diesen Indikator jeweils als persönliche Expertise angegeben haben.	19
Abb. 12:	Zustimmung zur Möglichkeit, qualitative Aussagen, auf Basis der durch May (2019) aufgestellten Indikatoren, zur zukünftigen vulkanischen Aktivität innerhalb der känozoischen Vulkanfelder Deutschlands zu treffen (Frage 11, Anhang 1.11). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	22
Abb. 13:	Beurteilung der Indikatoren hinsichtlich ihrer Relevanz für mögliche Erkenntnisse über die Quelle und Entstehung eines Magmas im Erdmantel. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen bzw. zugewiesenen Antworten (Frage 12, Anhang 1.12).	24
Abb. 14:	Beurteilung der Indikatoren hinsichtlich ihrer Relevanz für mögliche Erkenntnisse über den Aufstieg und Differentiation des Magmas innerhalb der Erdkruste. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen bzw. zugewiesenen Antworten (Frage 13, Anhang 1.13).	25
Abb. 15:	Beurteilung der Indikatoren hinsichtlich ihrer Relevanz für mögliche Erkenntnisse über das Eruptionsverhalten des Magmas. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen bzw. zugewiesenen Antworten (Frage 14, Anhang 1.14).	26
Abb. 16:	Wichtigkeit des Magmengenesemodells für die Prognose des zukünftigen Vulkanismus in Deutschland (Frage 22, Anhang 1.21). Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.	28
Abb. 17:	Einschätzung erforderlicher Genesemodelle zur Erklärung des känozoischen Vulkanismus in Deutschland (Frage 16, Anhang 1.16). Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.	29
Abb. 18:	Mögliche Genesemodelle zum känozoischen Vulkanismus in Deutschland (Fragen 17 und 18, Anhang 1.17). Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten.	31
Abb. 19:	Verantwortliche Prozesse für den Intraplattenvulkanismus (Frage 23, Anhang 1.22). Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.	32
Abb. 20:	Nennungen vergleichbarer Vulkanfelder (Frage 19, Anhang 1.18). Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten. ECRIS: European Cenozoic Rift System; CMR: Common Mantle Reservoir.	33
Abb. 21:	Zustimmung zur Existenz von Zusammenhänge zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und dem känozoischen Intraplattenvulkanismus im weiteren Umfeld (Frage 20, Teil 1 Anhang 1.19). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	34
Abb. 22:	Zusammenhänge zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und dem känozoischen Intraplattenvulkanismus im weiteren Umfeld (Frage 20, Teil 2, Anhang 1.19). Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten.	35

Abb. 23: Zustimmung zur Existenz von Zusammenhänge zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und regionalen oder plattentektonischen Strukturen (Frage 21, Teil 1 Anhang 1.20). Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	35
Abb. 24: Zusammenhang zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und regionalen oder plattentektonischen Strukturen (Frage 21, Teil 2 Anhang 1.20). Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten.	37
Abb. 25: Behebbarkeit von vorhandenen Mängeln am Prozessverständnis, an Methoden oder Daten bis 2031 (Frage 24, Anhang 1.23). Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.	38
Abb. 26: Als sinnvoll erachtete Themenschwerpunkte der Workshops (Frage 26, Anhang 1.25). Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.	41
Abb. 27: Auswertung Frage 1, Teil 1. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten. ..	59
Abb. 28: Auswertung Frage 1, Teil 2. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.	60
Abb. 29: Auswertung Frage 2. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	61
Abb. 30: Auswertung Frage 3. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	61
Abb. 31: Auswertung Frage 4. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	62
Abb. 32: Auswertung Frage 5. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	63
Abb. 33: Auswertung Frage 6. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	64
Abb. 34: Auswertung Frage 7, Teil 1. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten. ..	66
Abb. 35: Auswertung Frage 7, Teil 2. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten, die eine räumliche Verlagerung der vulkanischen Aktivität erwarten (Frage 7, Teil 1).	66
Abb. 36: Auswertung Frage 9. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	69
Abb. 37: Auswertung Frage 11. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	73
Abb. 38: Auswertung Frage 15. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	80
Abb. 39: Auswertung Frage 16. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.	81
Abb. 40: Auswertung Frage 17 und 18. Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten.	83
Abb. 41: Auswertung Frage 19. Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten. ECRIS: European Cenozoic Rift System; CMR: Common Mantle Reservoir.	88
Abb. 42: Auswertung Frage 20, Teil 1. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	89
Abb. 43: Auswertung Frage 20, Teil 2. Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten.	89

Abb. 44: Auswertung Frage 21, Teil 1. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	91
Abb. 45: Auswertung Frage 21, Teil 2. Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten.	91
Abb. 46: Auswertung Frage 22. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.	93
Abb. 47: Auswertung Frage 23. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.	94
Abb. 48: Auswertung Frage 24. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.	95
Abb. 49: Auswertung Frage 25. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.	98
Abb. 50: Auswertung Frage 26. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.	100

Anhangverzeichnis		Seite
Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen)		59
1.1	Auswertung Frage 1	59
1.2	Auswertung Frage 2	61
1.3	Auswertung Frage 3	61
1.4	Auswertung Frage 4	62
1.5	Auswertung Frage 5	63
1.6	Auswertung Frage 6	64
1.7	Auswertung Frage 7	65
1.8	Auswertung Frage 8	67
1.9	Auswertung Frage 9	69
1.10	Auswertung Frage 10	71
1.11	Auswertung Frage 11	73
1.12	Auswertung Frage 12	73
1.13	Auswertung Frage 13	75
1.14	Auswertung Frage 14	78
1.15	Auswertung Frage 15	80
1.16	Auswertung Frage 16	81
1.17	Auswertung Frage 17 und 18	82
1.18	Auswertung Frage 19	87
1.19	Auswertung Frage 20	88
1.20	Auswertung Frage 21	91
1.21	Auswertung Frage 22	93
1.22	Auswertung Frage 23	94
1.23	Auswertung Frage 24	94
1.24	Auswertung Frage 25	98

1.25	Auswertung Frage 26	99
1.26	Auswertung Frage 27	100
1.27	Auswertung Frage 28	102

Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen)

Im Folgenden sind die an die Teilnehmer gestellten Fragen sowie die abgegebenen Antworten detailliert aufgelistet. Die Abschnitte des ursprünglichen Fragebogens sind dabei kursiv dargestellt. Einleitende Textpassagen aus dem ursprünglichen Umfragedokument sind dabei nicht berücksichtigt. Die für das Projekt inhaltlich relevanten Kommentare der Befragten zu den jeweiligen Fragestellungen sowie deren Gruppierung und Zuordnung zu inhaltlich verwandten Rubriken sind aufgeführt und erläutert. Beigefügte Grafiken zeigen die Ergebnisse der Auswertung an. Bei Textantworten ist deren jeweilige Zuordnung zu den Indikatoren bzw. Rubriken angegeben.

1.1 Auswertung Frage 1

1. *Halten Sie quantitative Aussagen zur Wahrscheinlichkeit zukünftiger Vulkanausbrüche in den kommenden 1 Mio. Jahren in Deutschland für möglich?*

- ja*
- nein*

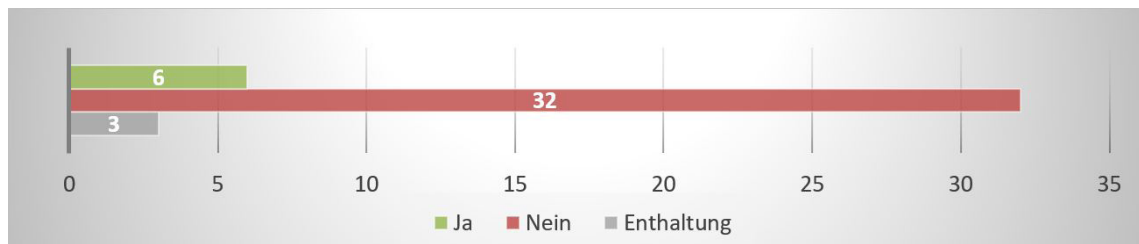


Abb. 27: Auswertung Frage 1, Teil 1. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Wenn nein, was beschränkt die Prognosemöglichkeiten? (Mehrfachnennungen möglich)

- unzureichendes Prozessverständnis*
- fehlende Methoden*
- unzureichende Datengrundlage*
- Sonstiges (bitte benennen):*

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

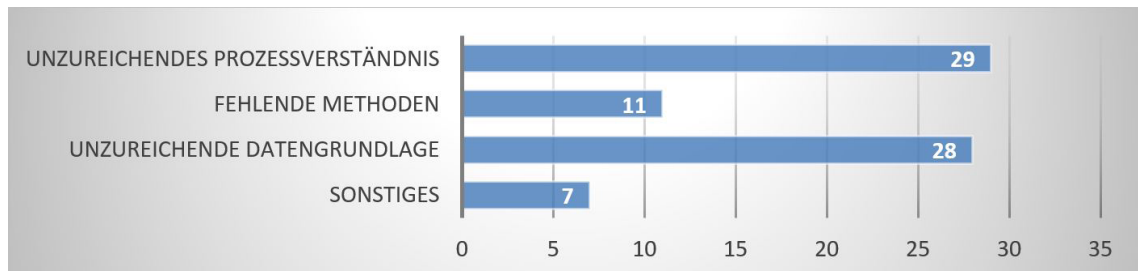


Abb. 28: Auswertung Frage 1, Teil 2. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.

Unter der Antwortmöglichkeit „Sonstiges“ wurden folgende Kommentare abgegeben:

- „Es fehlt eine intensive interdisziplinäre Bewertung von geologischen, geophysikalischen und geochemischen Erkenntnissen.“
- „Zu kurze Zeitreihen im Bezug zum Vorhersagehorizont; die erst kürzlich ermöglichte Beobachtung von deep low-frequency Beben in der Eifel zeigt, dass die Wissenschaft technisch noch nicht sicher in der Lage ist, relevante Daten zu erfassen (oder Möglichkeiten bislang nicht genutzt hat).“
- „Rechenkapazität zur Simulation voll gekoppelter Modelle, so denn die Daten und Programme verfügbar wären. (Methoden zur hochauflösenden Analyse der Zustände und Beschaffenheit des Erdinneren fehlen ebenfalls und damit entsprechende Daten für die Modellierung.)“
- „Es fehlen permanente Zeitreihenuntersuchungen in mindestens wöchentlichem Abstand von Gasproben mittels Isotopie (vor allem $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$, $^3\text{He}/^4\text{He}$) in der Ost-, West- und Südeifel sowie in NE-Bayern und dem südlichen Vogtland.“
- „Aufgrund der Komplexität des Systems Erde sind langfristige quantitative Aussagen (< 1 Jahr) unmöglich.“
- „Man kennt nicht die Magmenherde bzw. Magmenakkumulationen im obersten Erdmantel, aus denen sich dann Eruptionen ergeben könnten. Selbst in der Eifel ist keine spezifische größere Magmenakkumulation (oberhalb des Plumes) bekannt.“
- „Es braucht physikalisch konsistente Computermodelle, die die Dynamik der Lithosphäre sowie magmatische Prozesse berücksichtigen. Solche Modelle existieren teilweise schon (und werden momentan weiterentwickelt); Sie wurden allerdings noch nicht auf Deutschland angewendet. Eine Prognose für 1 Mio. Jahre zu machen ohne solche Modellrechnungen (und ohne Unsicherheiten in Materialparametern) zu berücksichtigen ist wissenschaftlich unverantwortlich.“

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

1.2 Auswertung Frage 2

2. Halten Sie **qualitative** Aussagen zur Wahrscheinlichkeit zukünftiger Vulkanausbrüche in den kommenden 1 Mio. Jahren in Deutschland für möglich?

- ja
- nein

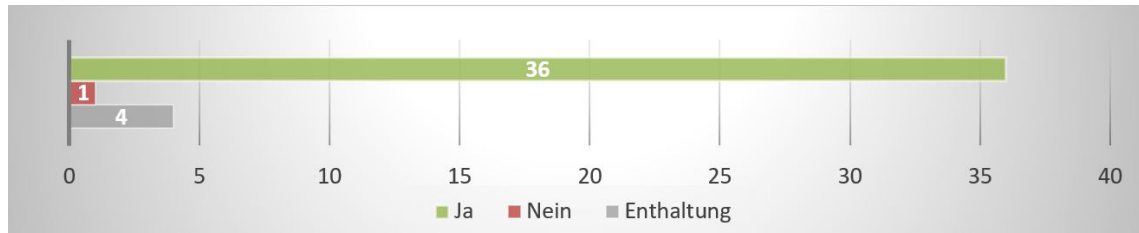


Abb. 29: Auswertung Frage 2. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

1.3 Auswertung Frage 3

3. Halten Sie eine regionale Abgrenzung von Gebieten, in denen zukünftiger Vulkanismus in den kommenden 1 Mio. Jahren in Deutschland ausgeschlossen werden kann bzw. zu erwarten ist, für möglich?

- ja, dabei ist eine wissenschaftlich begründete Grenzziehung möglich
- ja, dabei ist jedoch nur eine grobe Gebietsabgrenzung möglich
- nein

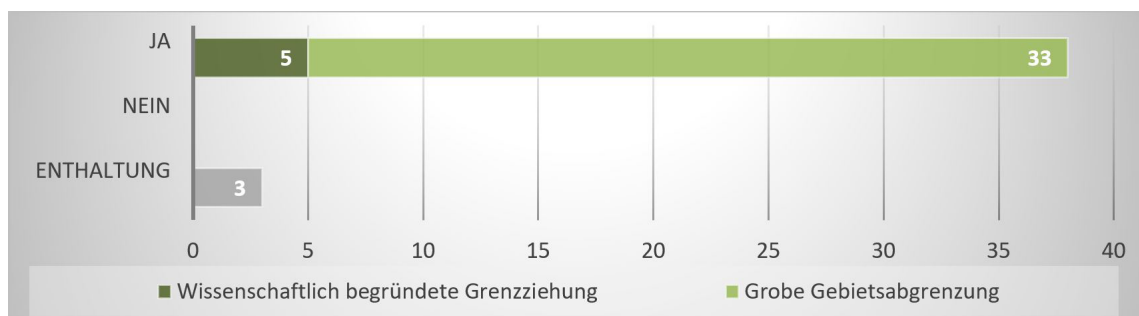


Abb. 30: Auswertung Frage 3. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

1.4 Auswertung Frage 4

4. *Sollten zum Prozessverständnis und zur Prognose einer möglichen vulkanischen Aktivität in Deutschland neben den quartären auch die präquartären Vulkanfelder in die Betrachtungen mit einbezogen werden?*

- ja
- nein
- teilweise (*bitte konkretisieren*)

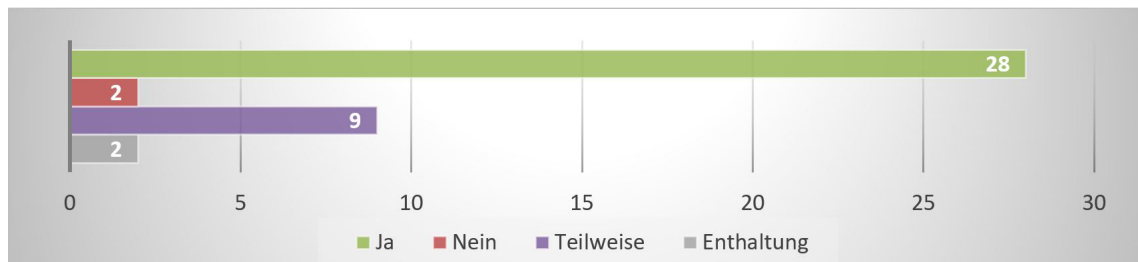


Abb. 31: Auswertung Frage 4. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Unter der Antwortmöglichkeit „Teilweise“ wurden folgende Kommentare abgegeben:

- „In Fällen in denen es Hinweise gibt auf eine Migration präquartärer vulkanischer Aktivitäten.“
- „Gut erforschte känoz. Vulkanfelder erlauben Einschätzung bzgl. Aktivitätsdauer und -takt von quartären Feldern.“
- „Zu überlegen ist, ob für ein besseres Verständnis der aktiven Felder ein Vergleich mit „inaktiven Felder“ weiterhelfen kann (ohne konkrete Ideen zu haben), ggf. auch für methodische Entwicklungen (Eger Rift ↔ Eifel).“
- „Der tertiäre Vulkanismus in der Hocheifel und am Rheingraben kann auf tektonische Vorgänge zurückgeführt werden, die aber im Einzelnen noch nicht vollständig verstanden sind.“
- „In Fällen, bei denen pleistozäne und präpleistozäne Aktivität räumlich in Zusammenhang stehen (Eifel, Egergraben).“
- „Es besteht ein stoffliches und daher wahrscheinlich auch ein genetisches Kontinuum zwischen quartärem und tertiärem Vulkanismus. Informationen zu grundlegenden Prozessen könnten daher auch aus der Untersuchung tertiärer Vorkommen gewonnen werden, die z. B. häufig tiefer erodierte Stockwerke von Vulkangebäuden darstellen.“

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

- „There has been quaternary activity in the Tertiary Eifel field – so it is not possible to completely rule out future volcanism in any of the Tertiary volcanic fields. The possibility of future volcanism could likely be evaluated with regional teleseismic studies of the mantle below the Tertiary field.“
- „Mit Hilfe von geodynamischen Modellen lässt sich im Prinzip die Dynamik der Lithosphäre der letzten paar Million Jahren nachbilden & extrapolieren. Vulkanische Aktivität hängt eng zusammen.“
- „Pliozäne Gebiete“

1.5 Auswertung Frage 5

5. Für wie wahrscheinlich halten Sie einen erneuten aktiven Vulkanismus im Bereich der **quartären** Vulkanfelder in Deutschland innerhalb der nächsten 1 Mio. Jahre?
(bitte nur ein Kreuz je Vulkanfeld vergeben)

	Westeifel	Osteifel	Oberpfalz
sehr wahrscheinlich (> 10 Ausbrüche / 1 Mio. Jahre)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
wahrscheinlich (1-10 Ausbrüche / 1 Mio. Jahre)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
unwahrscheinlich (< 1 Ausbruch / 10 Mio. Jahre)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
nahezu ausgeschlossen (< 1 Ausbruch / 100 Mio. Jahre)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

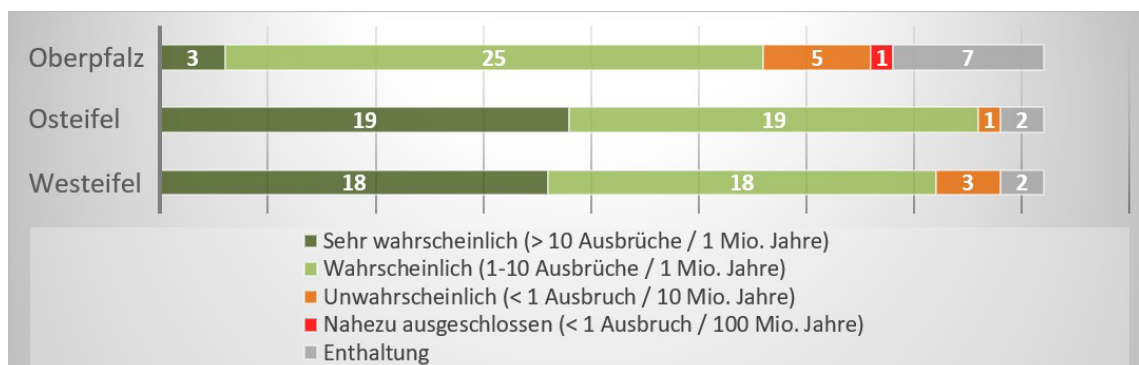


Abb. 32: Auswertung Frage 5. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

Folgende zusätzliche Erläuterungen wurden von den Befragten angegeben:

- „Die meisten erloschenen Vulkane in Nordbayern stammen aus dem Tertiär. Aber im Dreiländereck Bayern, NW Böhmen und Sachsen ist quartärer Vulkanismus (z. B. Maar bei Neualbenreuth, Eisenbühl an der deutsch-tschechischen Grenze, Mytina Maar und weitere Hinweise auf Maar-Strukturen im Cheb Becken) nachgewiesen. Dazu kommt, dass die Heliumisotopensignaturen der CO₂-reichen Gase im Cheb Becken zu den höchsten in Europa gehören.“
- „Unzureichende Datenlage, sehr wenige Vulkane in der Oberpfalz.“
- „Sehr subjektive Aussage, da einzig die Anzahl der bekannten quartären Ausbrüche pro Feld vermutet in die Zukunft gezogen wurden. Lieber Einen annehmen als Keinen. Für mich liegt der quartäre Vulkanismus in seiner Intensität aber deutlich hinter dem was im Paläogen-Neogen abging. Demnach könnte man eine allg. Abnahme der Intensität über Gesamtdeutschland annehmen. Gefühlt ähnlich zur Hebungsgeschichte der Regionen. Hegau könnte interessant sein durch die seism. Aktivität die dort auch verzeichnet wird? Ebenso die Schwarmbeben.“

1.6 Auswertung Frage 6

6. Für wie wahrscheinlich halten Sie einen erneuten aktiven Vulkanismus im Bereich der **paläogenen und neogenen** Vulkanfelder in Deutschland innerhalb der nächsten 1 Mio. Jahre?

- sehr wahrscheinlich (> 10 Ausbrüche / 1 Mio. Jahre)
- wahrscheinlich (1-10 Ausbrüche / 1 Mio. Jahre)
- unwahrscheinlich (< 1 Ausbruch / 10 Mio. Jahre)
- nahezu ausgeschlossen (< 1 Ausbruch / 100 Mio. Jahre)

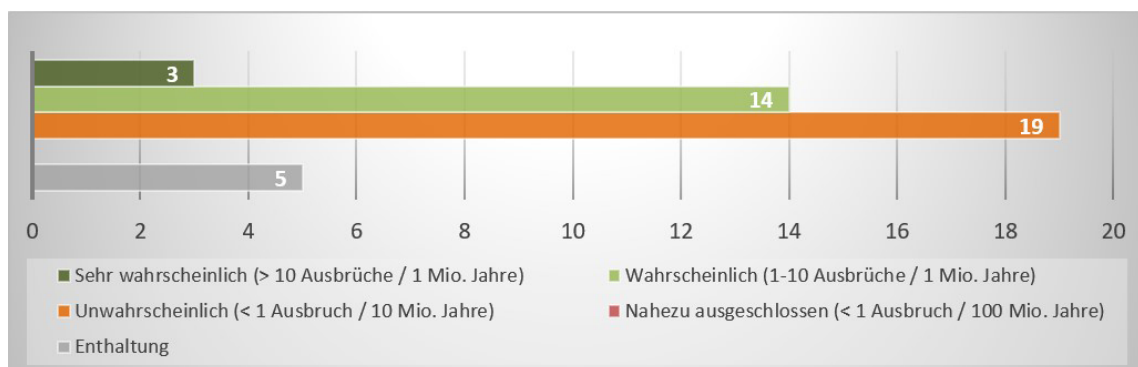


Abb. 33: Auswertung Frage 6. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Wenn wahrscheinlich, oder sehr wahrscheinlich, in welchen Vulkanfeldern?

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

Tab. 2: Angaben zu paläogenen und neogenen Vulkanfeldern, in denen nach Einschätzung der Befragten in den kommenden 1 Mio. Jahre erneut Vulkanismus auftreten könnte.

Anzahl Nennungen	Angaben zu Vulkanfeldern
3	„Westeifel/Osteifel/Oberpfalz“
1	„Based on the studies of the the P and S wave anomalies and the available age data on the East and West Eifel, I think it is extremely likely that there will be eruptions in the next few thousand years.“
1	„Osteifel, Ohre Rift mit Schulterbereichen (Oberpfalz)“
1	„Dies ist schwer zu beurteilen ich verweise hier aber auf den tertiären Vulkanismus in der Hocheifel und entlang des oberen Rheingrabens.“
1	„Für in der Nähe zu quartären Feldern gelegenen tertiären Vulkanfelder.“
2	„Vogelsberg, Kaiserstuhl, Westlich Urach“
1	„Hegau, zwar mit geringer Wahrscheinlichkeit, aber doch ab und zu seismisch etwas auffällig. Ebenso das Vogtland.“
1	„Solange sich Europa und Afrika in Kollision befinden sind Ausbrüche möglich. Wo ist unklar.“
1	„Alle Gebiete, die in den letzten ca. 20 Mio. Jahren aktiv waren. Hierfür muss besser erforscht werden, wie lange solche Gebiete aktiv sind.“
2	„In allen nicht auszuschließen. Eventuell etwas in der Peripherie der quartären Vulkanfelder (Hocheifel, Siebengebirge, Westerwald, Oberpfalz) zu erwarten.“
1	„Ich denke das auch hier der Vulkanismus nicht ausgeschlossen werden kann. Es müssen alle betrachtet werden, besonders die, die von einer asthenosphärischen Anomalie unterlagert sind (siehe Fichtner et al. 2015).“
3	„Leider allen. Da der Prozess bisher unzureichend verstanden ist.“
1	„Die Arbeitsgruppe von Thomas Meier in Kiel hat unter all denen, die jünger sind als 70 Mio. Jahre, noch eine Aufwölbung der Lithosphären-Asthenosphärengrenze (LAB) nachgewiesen (Legendre et al. 2012, Meier et al. 2016). Sollte eines dieser Systeme durch erneute Massenzufuhr aus der Asthenosphäre reaktiviert werden, dann wäre erneut Magmenbildung möglich. Nach seinen Daten liegen die Tiefen den Oberkanten der Aufwölbungen in den westlichen Felder i. A. flacher als in den östlichen.“

1.7 Auswertung Frage 7

7. Ist eine räumliche Verlagerung der vulkanischen Aktivität in den quartären Gebieten in Zukunft zu erwarten?

- ja
- nein

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

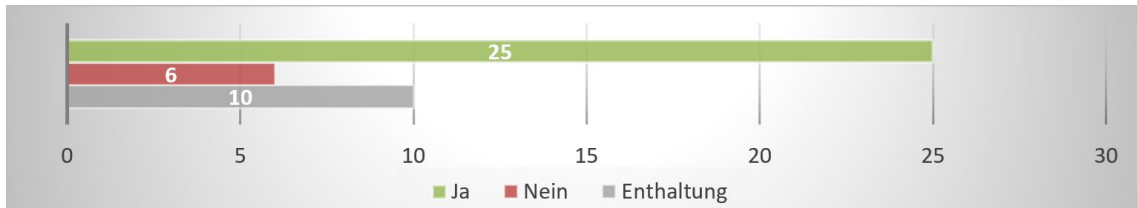


Abb. 34: Auswertung Frage 7, Teil 1. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Wenn ja, erwarten Sie eine gerichtete Verlagerung?

ja (bitte Angaben jeweils für die West-, Osteifel und die Oberpfalz)

nein

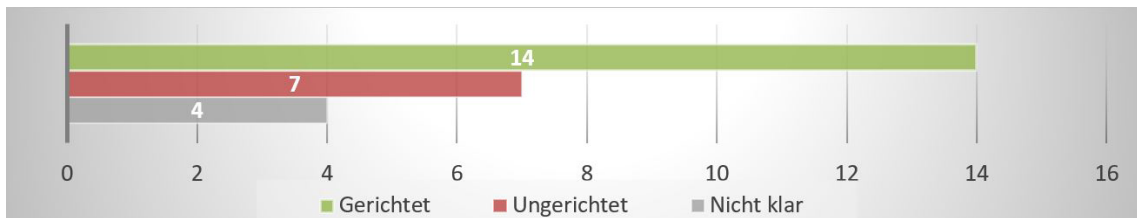


Abb. 35: Auswertung Frage 7, Teil 2. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten, die eine räumliche Verlagerung der vulkanischen Aktivität erwarten (Frage 7, Teil 1).

Tab. 3: Räumliche Angaben der zu erwartenden gerichteten Verlagerung

Region	Erwartete Richtung der Verlagerung mit Anzahl der Nennungen in Klammern			
Westeifel	Südosten (10)	Süden (3)	Nordwest-Südost (1)	Nordost (1)
Osteifel	Südosten (9)	Osten (3)	Nordost-Südwest (1)	Südwest (1)
Oberpfalz	Vogtland (2)	-	-	-

Des Weiteren wurden folgende Anmerkungen gemacht:

- „Je nach zugrundeliegendem geodynamischem Modell ist die Richtung der Verlagerung schwer vorhersagbar (wahrscheinlich chaotisch und Richtung nicht vorher-sagbar), aber auf Zeitskalen von 1 Mio. Jahre ist eine Verlagerung auch in andere (bisher nicht betroffene) Teile Mitteldeutschlands oder Süddeutschlands nicht vollkommen auszuschließen. Auf Zeitskalen von 10.000-100.000 Jahren scheint eine starke Verlagerung weniger wahrscheinlich.“
- „Wie weit? Eine geringe Verlagerung ist sicher denkbar (siehe differenzierte Zentren der Osteifel).“
- „Wenn man sich die Felder auf der Karte anschaut ist das eher wie so ein Schrot-schuss. Interessant finde ich die allgemeine Verteilung. Vulkanische Provinzen mit den meisten Effusiva aber eher Paläogen-Neogen befinden sich in einem zentralen

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

Cluster (VB, HS, RH etc.) die quartären Felder liegen an den Endpunkten dieser vulkanisch aktiven Zone. Wenn da System dahinter steckt dann würde ich wenn dann erneute Aktivität westlich und östlich der quartären Gebiete vermuten. Oder nahe dieser quartären Felder. Zumindest für die Eifel und Belgien sind das ja auch aktive Hebungsgebiete. Gefühlt halte ich den permokarbonen Strukturbau und dessen Strukturelemente für relevant (NNE bis SSW oder ESE streichend). Immerhin ist entlang dieser Strukturen auch schon einmal starker Vulkanismus an vielen Stellen Deutschlands belegt. Dem variszischen oder kaledonischen Gebirgsbau und dessen Strukturierung glaube ich nicht, dass der so einen riesigen Einfluss auf die Migration von Fluiden hat. Viele Überschiebungsbahnen sind mehrfach verfaltet und Schmelzen müssten auch beträchtliche Anteile horizontal migrieren um sich an diese Störungsmuster zu halten. Ausnahmen wären steil stehende Transferelemente des variszischen Orogen oder zumindest deren Vermutete unter dem Rhein-Graben (Eisbacher?) bis Eichsfeld-Altmark Schwelle.“

- „Generell halte ich jedoch das Auftreten von Vulkanismus in neuen Teilfeldern, unabhängig von der bisherigen Verlagerung und rezenter Indikatoren für gut möglich, in jeglicher Richtung um die bisherigen Vulkanfelder herum.“
- „In der Ost- und Westeifel sind Trends bekannt. Im Rahmen dieser Trends würde ich bevorzugt aber nicht ausschließlich weitere Aktivität erwarten. Es sind jedoch auch Eruptionen in andere Richtungen denkbar, wenn man eine Million Jahre berücksichtigt. D. h. man muss vermutlich gewichten, was gerichtete Trends angeht.“
- „Volcanism in the West Eifel has shown an eastward step in the most recent eruptions. Volcanism began in the northwest and progressed to the southeast. Despite this overall trend there have been significant eruptions to the east – most recently at Ulmener Maar. It is not clear to me whether this is an eastward extension of west Eifel activity or a westward extension of activity from the East Eifel. Determining this will require more geochronology and a better understanding of the controls on magma transport in the crust across the Eifel field.“

1.8 Auswertung Frage 8

8. *Bitte bewerten Sie die in der folgenden Tabelle aufgeführten Indikatoren im Hinblick auf ihre Relevanz für die Prognose des Vulkanismus in Deutschland für die kommenden 1 Mio. Jahre.*

Tab. 4: Bewertung der durch May (2019) aufgestellten Indikatoren, hinsichtlich ihrer Relevanz für die Prognose der zukünftigen vulkanischen Aktivität in Deutschland. Angegeben ist die Gesamtzahl der abgegebenen Antworten inklusive Mehrfachbewertungen einzelner Indikatoren.

Nr.	Indikator	Relevanz (bitte ankreuzen)						Persönliche Expertise <i>zutreffendes bitte ankreuzen (Mehrfachnennungen möglich)</i>
		<i>sehr hoch (unerlässlich)</i>	<i>hoch</i>	<i>mittel</i>	<i>gering</i>	<i>sehr gering (unbedeutend)</i>	<i>keine Aussage</i>	
1	Teleseismische Laufzeitanomalien im Erdmantel	12	15	7	2	-	7	5
2	Tiefe niederfrequente DLF-Erdbeben	21	8	5	1	-	7	6
3	Schwarmbeben	12	19	6	1	-	5	6
4	Vulkano-tektonische Störungen	9	13	8	7	1	4	5
5	Wärmestromdichte	4	9	9	4	3	12	
6	Langfristige Hebung	6	9	21		3	3	2
7	Extensives Spannungsfeld	3	10	9	3	1	15	1
8	Neotektonische Aktivität	6	14	14	1	-	6	1
9	Schwereanomalien	1	5	14	9	-	12	4
10	Magnetfeldanomalien	-	3	9	10	5	14	2
11	Geoidanomalien	-	1	7	9	7	17	1
12	Tiefenseismische Strukturen	3	10	13	5	2	8	4
13	Elektrische Leitfähigkeit	-	4	10	9	1	17	-
14	Ergebnisse von numerischen Simulationen der Mantelkonvektion	1	8	11	8	2	11	2
15	Ergebnisse numerischer Simulationen der Lithosphärendynamik	2	10	9	8	3	10	3
16	Verbreitung känozoischer Vulkanfelder	15	14	8	2	-	3	3
17	Isolierte känozoische Vulkane	7	11	16	5	1	3	3
18	Mantelxenolithe	2	12	8	8	5	6	1
19	Krustenxenolithe	1	7	10	8	7	8	1
20	Phänokristalle	5	9	8	10	2	8	2
21	Gesteinschemismus	3	12	9	8	1	8	5
22	Thermalwässer	3	14	12	8	1	5	2
23	Geochronologische Daten	20	11	4	2	-	6	7
24	Mofetten und Sauerlinge	10	14	10	1	-	7	3
25	Gas- und Isotopengeochemische Analysen von Mantelfluiden	22	8	6	1	1	4	4
26	Ergebnisse petrologischer Experimente	4	16	7	6	2	6	4
27	Numerische Modelle zur Genese und Differenziation von Magmen	4	10	12	5	1	9	4

Insgesamt haben 24 Personen ihre persönliche Expertise angegeben.

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

1.9 Auswertung Frage 9

9. Sind Ihnen weitere Indikatoren bekannt, die von Relevanz sein können?

ja

nein

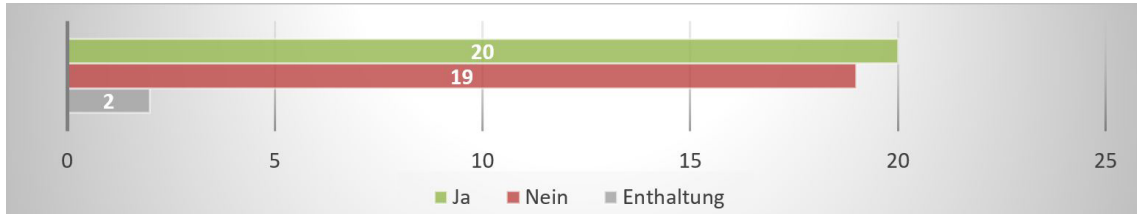


Abb. 36: Auswertung Frage 9. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Wenn ja, welche und welche Relevanz haben diese Ihrer Meinung nach?

Tab. 5: Angaben zu möglichen, zusätzlichen Indikatoren.

Von den Befragten vorgeschlagene zusätzliche Indikatoren und deren Erläuterung	Zugewiesener Indikator*
„Neben den sicher wesentlichen Plume-Systemen sollte man aktive Blattverschiebungen mit einbeziehen. An ihnen können kleine Vulkankomplexe entstehen.“	Aktive Blattverschiebung
„Analyse hochauflösender digitaler Geländedaten (LIDAR) hinsichtlich „junger“ (hochgradienter) Strukturen.“	Hochauflösende Geländedaten (LIDAR)
„Sukzessive Approximation (Tiefenauflösung) relevanter geophysikalischer Lokalstrukturen.“	Sukzessive Approximation
„Monitoring-Daten z. B. über CO ₂ -Flux.“	Monitoring Daten
„Überregionale plattentektonische Modelle und mögliche Spannungsfeld-Änderungen in Zukunft.“	Plattentektonische Modelle
„Daten von Neigungsmessern (lokale Druck / Spannungsänderungen).“	Neigungsmessungen
„Großräumige seismische Tomographie: Von Island – Mitteleuropa.“	Großräumige Seismologie
„Es wird nicht klar zu welchem Indikator eine kurzfristige topographische Veränderung (zum Beispiel einer Vulkanflanke beim Aufstieg von Magma) zugerechnet wird. Der Begriff „langfristige Hebung“ ist hier etwas unklar. Kurzfristige Hebungen könnten mit GPS- oder Tilt-Messungen (über fest installierte Stationen oder Kampagnen-basiert), InSAR, sowie auch regelmäßiger Drohnenkampagnen, z. B. gemessen werden. Unter Umständen würden auch Wärmebildaufnahmen (z. B. von Drohnen- oder Flugzeug-basierten Kampagnen) ein erhöhtes Entgasungsverhalten und damit möglicherweise aufsteigendes Magma anzeigen.“	Kurzfristige Hebung
„Trotz summarisch in Pkt. 25 enthalten ließe sich H ₂ S noch eigenständig mit hoher Wichtigkeit betonen.“	** (Gas- und Isotopengeochemische Analysen von Mantelfluiden)
„Transportweite und Mächtigkeiten der pyroklastischen Vorkommen sowie Tephra-Ablagerungen (inkl. Microtephren) in Seen + Seeablagerungen.“	Geländearbeit
„Absolute Plattengeschwindigkeiten; mittlere Relevanz fürs Prozessverständnis, geringe Relevanz für regional differenzierte Prognosen.“	Plattentektonische Modelle
„Hohe Relevanz: Radiogene und stabile Isotopensystematik an Mantelgesteinen und ihren mineralogischen Komponenten (in-situ-Analytik an Olivin etc.)“	** (Mantelxenolithe)
„Kombinierte Zeitreihenuntersuchungen der Seismizität, von Gas-isotopengeochemischen Untersuchungen, des Gasflusses- und der Temperatur.“	Monitoring Daten
„Zeitliche Veränderungen von Chemismus und Leitfähigkeit der Geothermischen Wässer über Jahre. Diese könnten meiner Meinung nach Aussagen zu sich entwickelnden Aufstiegskanälen geben.“	Monitoring Daten
„Charakterisierung von Fluideinschlüssen in Mineralen aus Vulkaniten, Krusten- und Mantelxenolithen. Volatile sind kritisch im Zusammenhang mit Vulkanismus.“	Fluideinschlüsse
„Aufsuchung von Gasaustritten über Störungzonen in der Eifel - Verhalten von Ameisen.“	Verhalten von Ameisen
„Magma transport models based on studies of diffusion during xenolith, xenocryst and phenocryst ascent. These models use available rock chemistry and models of magma density and viscosity to calculate ascent times based on a variety of different conduit sizes and shapes. These could be relevant because we already have some data for the Eifel that indicates that mush columns develop in the crust and mantle over decades before eruptions. The development of these mush columns should lead to many of the eruption indicators in the table above.“	Magmatransportmodelle
„Uncertainty Quantification: Das berücksichtigen von Unsicherheiten in Materialeigenschaften sowie tektonische/petrologische Parametern in geodynamischen Modellen von magmatischen Systemen ist unerlässlich um wissenschaftlich vertretbare Vorhersagen zu machen.“	Keine klare Zuordnung
„Mechanically consistent interpretation of magmatic systems: Es ist wohl etabliert, dass die meisten geophysikalischen Datensätze wie Schwereanomalien/ Magnetik aber auch seismische Tomographie nicht-eindeutig interpretierbar sind. Es braucht daher mechanisch konsistente Modelle die sowohl die Mechanik der Lithosphäre korrekt abbilden als auch die verschiedenen geophysikalischen Datensätze berücksichtigen und daher einen joint-interpretation ermöglichen.“	Keine klare Zuordnung
„Allgemein Schwächezonen, dass können z. B. auch alte variszische Strukturen sein. Sie dienen als potentielle Aufstiegswege.“	Allgemeine Schwächezonen
„Störungen und ältere Strukturen.“	Störungen und ältere Prozesse
„Deformationsprozesse (die vertikale Komponente ist durch Hebung schon vertreten aber auch die horizontale Komponente ist wichtig).“	Deformationsprozesse
„Kompressives Spannungsfeld.“	Kompressives Spannungsfeld
„Aufnahmen der Geländeoberfläche (Luftbild, Laser etc.). Können z.B. großmaßstäbige Strukturen anzeigen.“	Hochauflösende Geländedaten (LIDAR)

* Zuweisung durch die Autoren des vorliegenden Berichtes.

** Zuweisung durch die Autoren des vorliegenden Berichtes zu einem bereits bestehenden Indikator. Entsprechender Indikator ist in Klammern angegeben.

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

1.10 Auswertung Frage 10

10. *Würden Sie die Relevanz einzelner Indikatoren höher bewerten, wenn diese parallel zu einem weiteren Indikator auftreten. Wenn ja, welche? (bitte die Kombination der Indikatoren angeben und welchen Sie entsprechend höher bewerten würden. Beispiele unter Verwendung der in der Tabelle angegebenen Nummerierung)*

Tab. 6: Durch die Befragten angegebene Kombinationen von Indikatoren.

Indikatoren	Zusätzlicher Kommentar	Indikatoren	Zusätzlicher Kommentar	Indikatoren	Zusätzlicher Kommentar
1, 2, 3	-	12, 2	-	1, 6, 8,	-
2, 8, 9	-	12,21	-	2, 3, 4	-
12, 13		16, 23	-	16, 17, 12	-
1, 2, 3, 6, 8	-	18, 26	-	18, 23, 25	-
1, 2, 25	-	20, 26	-	1, 2, 3, 4, 5	-
3, 6	-	1, 15	-	2, 3, 25	-
1, 3, 4, 5, 8, 13, 16, 17, 20, 22, 23, 24	Variabel kombinierbar	1, 2, 3, 4, 23	-	2, 8, 25	-
2, 12, 13, 16	-	7, 3	7 höher	3, 25	-
2, 8, 25	-	7, 24	7 höher	3, 24, 25	-
24, 25	-	22, 9, 6, 8	-	2, 3, 4, 13	-
14, 15	-	1, 13	1 höher	3, 6, 12	-
14, 27	-	6, 9	9 höher	3, 24, 9, 10, 12, 1, 6	-
24,16	-	23, 25, 14, 15	-	12, 6, 3 höher, wenn mit 1	-
24, 1	-	1, 2, 3	-	9, 10, 12 höher, wenn mit 16	-
2, 3	-	1, 2, 8, 12, 13, 16, 23	-	-	-
1,6	-	3, 24	-	-	-

Es haben sich 13 Personen enthalten. Zusätzlich wurden folgende Anmerkungen angeführt:

- „Korrelationen sind höchstwahrscheinlich vorhanden, ihr Zusammenhang ist jedoch (noch) nicht eindeutig nachgewiesen. Daher erscheint ein multivariablen Monitoring unabdingbar, einhergehend mit sog. multivarianten Statistiken.“

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

- „Grundsätzlich würde ich langfristig (!) numerische Modelle anstreben, die durch geowissenschaftliche Langzeitdaten evaluiert (kalibriert) werden. Die Limitierung dürfte aber in den geringen Prozessraten liegen.“
- „Ja, selbstverständlich.“
- „Sinnvoll wäre eine Koppelung zwischen geochemischen (insbesondere isotopischen) und geophysikalischen (insbesondere seismologischen) Parameter.“
- „JA! Die Unsicherheiten der geophysikalischen Modelle / Parameter müssen durch petrophysikalische Randbedingungen eingegrenzt werden; Geochronologie wird für fast alle Indikatoren benötigt, um den zeitlichen Ablauf inkl. Zeitdauer zu ermitteln.“
- „23 mit nahezu allen anderen Indikatoren. Wenn geochronologische Daten bestimmte Wiederkehrzeiten zeigen, sollten alle anderen Indikatoren entsprechend höher gewichtet werden. Nr. 23 ist (evtl. mit Nr. 6, 16 und 17) der einzige in die Vergangenheit gerichtete Indikator.“
- „For the Eifel we already know that there are teleseismic anomalies in the mantle, so for East and West Eifel I would consider occurrence of any combination of 3, 5, changes in composition in 22 and 24 and changes in ratios of 25 cause for additional concern.“
- „Wenn ich erst einmal LFE habe, dann gilt es folgende Parameter auf ihre Veränderungen auf kleinregionalem Level zu monitoren: 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 22, 24 um Indikatoren für Änderungen in der Kruste und später in der Oberkruste zu erfassen, um das Timing der Aufstiegsprozesse in der betroffenen Region beschreiben zu können.“
- „Fast alle oben angegebenen Indikationen sind wichtig; wenn es um langfristige Vorhersagen geht sind kurzfristige Beobachtungen wie Schwarmbeben jedoch nur bedingt nutzbar; viel wichtiger sind prozessbasierte Modellrechnungen die diese Indikationen berücksichtigen.“

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

1.11 Auswertung Frage 11

11. *Halten Sie es für möglich, auf Basis der oben genannten Indikatoren qualitative Aussagen zur zukünftigen Aktivität känozoischer Vulkanfelder zu treffen?*

- ja*
- nein*

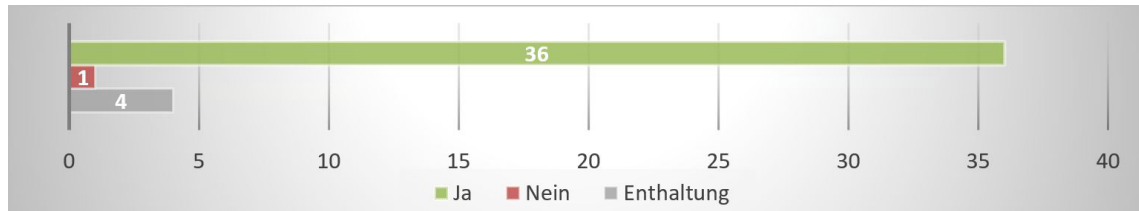


Abb. 37: Auswertung Frage 11. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Wenn nein, bitte kurz begründen.

Folgende Anmerkung wurde angeführt:

- „Begrenzt. Wir benötigen dringend ein besseres Prozessverständnis und das beinhaltet solide Datierungen.“

1.12 Auswertung Frage 12

12. *Welche Indikatoren ermöglichen Erkenntnisse über die Quelle und Entstehung eines Magmas im Erdmantel?*

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

Tab. 7: Auswertung Frage 12. Angegeben ist die Anzahl der Nennungen der von May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren bzw. die durch die Autoren des vorliegenden Berichts, auf Basis von textbasierten Erläuterungen, zugewiesenen Indikatoren.

Nr.	Indikator	Anzahl der Antworten* auf Basis der durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren	Anzahl der zugewiesenen Antworten**	Summe
-	keine Aussage	4	1	5
1	Teleseismische Laufzeitanomalien im Erdmantel	11	4	15
2	Tiefe niederfrequente DLF-Erdbeben	4	4	8
3	Schwarmbeben	2	1	3
8	Neotektonische Aktivität	1		1
9	Schwereanomalien	2	3	5
12	Tiefenseismische Strukturen	6	-	6
13	Elektrische Leitfähigkeit	3	-	3
14	Ergebnisse von numerischen Simulationen der Mantelkonvektion	7	-	7
15	Ergebnisse numerischer Simulationen der Lithosphärendynamik	5	-	5
18	Mantelxenolithe	18	6	24
19	Krustenxenolithe	8	3	11
20	Phänokristalle	12	2	14
21	Gesteinschemismus	14	3	17
22	Thermalwässer	1	-	1
23	Geochronologische Daten	3	2	5
24	Mofetten und Säuerlinge	1	2	3
25	Gas- und Isotopengeochemische Analysen von Mantelfluiden	14	7	21
26	Ergebnisse petrologischer Experimente	10	1	11
27	Numerische Modelle zur Genese und Differenziation von Magmen	11	-	11

* Angaben von 21 der befragten Personen

** Auf Basis von 15 textbasierten Erläuterungen (s.u.), die durch die Autoren des vorliegenden Berichts zugewiesen wurden.

Die in der Tab. 8 aufgelisteten ausführlichen Erläuterungen wurden, wenn möglich, einem der durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren zugeordnet (Tab. 7, Spalte 4).

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

Tab. 8: Durch die Befragten angeführten ausführlichen Erläuterungen zur Frage 12 und deren Zuordnung zu den durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren.

Angeführte Erläuterungen	Zugewiesene Indikatoren
„Petrologie und Geochemie.“	-
„Nachweis von Laufzeitanomalien im Erdmantel, Registrierung tiefer niederfrequenter Erdbeben sowie Monitoring der Isotopenzusammensetzung von an der Oberfläche austretenden Mantelfluiden.“	1, 2, 24, 25
„He-Isotopie, Mantel-Chemie und -mineralogie.“	-
„z.B. Volatile, DLF Erdbeben und Tiefherdbeben (wenn messbar), Xenolithe & Geochemie, Seismologie (z. B. S-Wellen v-Anomalien und Dämpfung), evtl. Gravimetrie, <i>Aktive und passive seismische Methoden zur Charakterisierung von Kruste und Mantel, etc..</i> “	1, 2, 9, 18, 19
„Geochemie der Gesteine und Xenolithe (einschließlich der Edelgaszusammensetzung), sowie <i>geophysikalische Indikatoren.</i> “	18, 19, 21
„Gas-Isotopie, Mantelxenolithe, Teleseismische Laufzeitanomalien, <i>Daten zu Mantle plumes, Schwereanomalien.</i> “	(1, 9, 18, 25)*
„Schwarmbeben, sehr tiefe Erdbeben, Zusammensetzung der Gase (CO ₂ , He, Isotopen, Mengen).“	2, 3, 25
„Für (a) aktives, rezentes Magma: <i>Kombination aus seismischen, seismologischen, Gas-isotopengeochemischen Untersuchungen, Gasfluss- und Temperaturmessungen.</i> Für (b) Vulkanismus im Holozän und Pleistozän: <i>Kombination aus isotopengeochemischen Untersuchungen an Phänokristen, Altersdatierungen und geophysikalischen Untersuchungen (seismische Profile, seismologische Untersuchungen).</i> “	(20, 23, 25)*
„Wesentlich ist eigentlich ein Aufstiegsweg, nicht die reine Entstehung von Magma. Die Quelle müsste über die chemische Zusammensetzung der Magmen zu ermitteln sein. Lokale Fluidaufstiege können Hinweise auf Aufschmelzen geben.“	21, 24, 25
„Geochemie, Petrologie, Xenolithe, <i>Detailentwicklung von Vulkanen.</i> “	18, 19
„The composition of the erupted lavas (major and trace element as well as isotopic), studies of the composition and evolution of mantle from mantle xenoliths, petrologic modelling including studies based on high pressure and high temperature experiments.“	18, 21, 26
„Edelgas-Isotopensignaturen (insbesondere He).“	-
„Deep LFE, deren Tiefe sagt mir, welche Zusammensetzung und Viskosität die entstehenden Magmen haben.“	2

*von zwei Beteiligten angeführt

In blau: zusätzliche Indikatoren und Erläuterungen, die keinem Indikator nach May (2019) klar zugeordnet werden konnten.

1.13 Auswertung Frage 13

13. Welche Indikatoren ermöglichen Erkenntnisse über den Aufstieg und die Differentiation des Magmas innerhalb der Kruste?

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

Tab. 9: Auswertung Frage 13. Angegeben ist die Anzahl der Nennungen der von May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren bzw. die durch die Autoren des vorliegenden Berichts, auf Basis von textbasierten Erläuterungen, zugewiesenen Indikatoren.

Nr.	Indikator	Anzahl der Antworten* auf Basis der durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren	Anzahl der zugewiesenen Antworten**	Summe
-	keine Aussage	5	0	5
1	Teleseismische Laufzeitanomalien im Erdmantel	3	-	3
2	Tiefe niederfrequente DLF-Erdbeben	10	4	14
3	Schwarmbeben	7	4	11
4	Vulkano-tektonische Störungen	4	1	5
5	Wärmestromdichte	1	1	2
6	Langfristige Hebung	3	3	6
7	Extensives Spannungsfeld	3	3	6
8	Neotektonische Aktivität	4	-	4
9	Schwereanomalien	1	2	3
10	Magnetfeldanomalien	2	2	4
11	Geoidanomalien		1	1
12	Tiefenseismische Strukturen	3	1	4
13	Elektrische Leitfähigkeit	3	1	4
14	Ergebnisse von numerischen Simulationen der Mantelkonvektion	1	1	2
15	Ergebnisse numerischer Simulationen der Lithosphärendynamik	2	1	3
16	Verbreitung känozoischer Vulkanfelder	3	-	3
17	Isolierte känozoische Vulkane	1	-	1
18	Mantelxenolithe	6	4	10
19	Krustenxenolithe	12	4	16
20	Phänokristalle	9	2	11
21	Gesteinschemismus	13	2	15
22	Thermalwässer	4	2	6
23	Geochronologische Daten	6	-	6
24	Mofetten und Säuerlinge	5	3	8
25	Gas- und Isotopengeochemische Analysen von Mantelfluiden	6	7	13
26	Ergebnisse petrologischer Experimente	16	1	17
27	Numerische Modelle zur Genese und Differenziation von Magmen	15	2	17

*Angaben von 21 der befragten Personen

**Auf Basis von 15 textbasierten Erläuterungen (s.u.), die durch die Autoren des vorliegenden Berichts zugewiesen wurden.

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

Die in der Tab. 10 aufgelisteten ausführlichen Erläuterungen wurden, wenn möglich, einem der durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren zugeordnet (Tab. 9, Spalte 4).

Tab. 10: Durch die Befragten angeführten ausführlichen Erläuterungen zur Frage 13 und deren Zuordnung zu den durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren.

Angeführte Erläuterungen	Zugewiesene Indikatoren
„geochemische und petrologische Analysen.“	-
„Die Identifizierung von Teilmagmen mit unterschiedlicher chemisch-mineralogischer Zusammensetzung die beim Aufstieg eines Magmas bestimmter Zusammensetzung von der Kruste/Mantelgrenze zur Oberfläche entstehen.“	-
„DLF Erdbeben, Geochemie, Isotopen, Volatile, evtl. Magnetik und Gravimetrie, usw.“	2, 9, 10
„u. a. indirekte Informationen durch zeitliche Veränderung petrophysikalischer Eigenschaften.“	-
„Zusammensetzung der Gase, sowie petrologische (Chemismus von Einsprenglingen) und geophysikalische Methoden.“	18, 19, 25
„Tiefe Beben, tremorartige Bebenverläufe, Spannungszustände der Kruste, Gas-Isotopie und Gas-Chemie, Temperaturanomalien der Wässer, Oberflächendeformationen.“	(2, 3, 6, 7, 25, 22)*
„Konsistente Modelle von magmatischen Systemen müssen entwickelt werden die #4,5,6,7,9,10,11,12,13 berücksichtigen und numerische Codes ähnlich zu #15 benutzen. Außerdem sollten petrologische Informationen #18,19,20,21,25,26 berücksichtigt werden.“	4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27
„Schwarmbeben, sehr tiefe Erdbeben, Zusammensetzung der Gase (CO ₂ , He, Isotopen, Mengen).“	2,3,25
Für aktives Magma: Vor allem ³ He/ ⁴ He Untersuchungen an CO ₂ -reichen freien Quellgasen (z. B. Bräuer et al. 2011)	(24,25)*
„Phasenübergänge bei Fluideinschlüssen können Hinweise auf Magmenaufstieg geben.“	-
„Geochemie, Petrologie, Xenolithe, Detailentwicklung von Vulkanen.“	18,19
„Detailed studies of zonation in phenocryst, xenocryst and xenolith minerals can give quantitative information on the ascent rate and residence time of crystals in magma. These will place constraints on the dynamics of magma transport beneath the fields. Rock and mineral chemical data can also be used to model the differentiation of the magmas.“	18,19,20,21,27
„Seismizität (z. B. Tremor). Beginnende oder sich wiederholende CO ₂ Ausgasungen zeigen an, dass basaltoide Magmen krustale Tiefen erreicht haben, da sie unterhalb dieser Drücke CO ₂ entmischen. Der beginnende Nachweis von magmatischem Schwefel in Mofetten belegt eine Aufstiegstiefe von ca. 15 km, da unterhalb dieser Druck basaltoide Magmen gelösten Schwefel als Gasphase entmischen. Die Differentiation ist als Prozess nicht von der Erdoberfläche aus nachzuweisen; ablaufende Differentiation von Schmelzkörpern führt jedoch zu pulsartiger Abgabe von CO ₂ , die man als Schwarmbeben nachweisen könnte, einem Prozess, den man secondary boiling nennt.“	3,24

*von zwei Beteiligten angeführt

In blau: zusätzliche Indikatoren und Erläuterungen, die keinem Indikator nach May (2019) klar zugeordnet werden konnten.

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

1.14 Auswertung Frage 14

14. Welche Indikatoren ermöglichen Erkenntnisse über das Eruptionsverhalten des Magmas?

Tab. 11: Auswertung Frage 14. Angegeben ist die Anzahl der Nennungen der von May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren bzw. die durch die Autoren des vorliegenden Berichts, auf Basis von textbasierten Erläuterungen, zugewiesenen Indikatoren.

Nr.	Indikator	Anzahl der Antworten* auf Basis der durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren	Anzahl der zugewiesenen Antworten**	Summe
-	keine Aussage	9	-	9
1	Teleseismische Laufzeitanomalien im Erdmantel	1	-	1
2	Tiefe niederfrequente DLF-Erdbeben	2	-	2
3	Schwarmbeben	2	2	4
4	Vulkano-tektonische Störungen	1	-	1
6	Langfristige Hebung	2	2	4
7	Extensives Spannungsfeld	-	4	4
8	Neotektonische Aktivität	-	2	2
9	Schwereanomalien	-	1	1
12	Tiefenseismische Strukturen	1	2	3
13	Elektrische Leitfähigkeit	2	-	2
14	Ergebnisse von numerischen Simulationen der Mantelkonvektion	1	-	1
16	Verbreitung känozoischer Vulkanfelder	2	-	2
17	Isolierte känozoische Vulkane	2	-	2
18	Mantelxenolithe	5	3	8
19	Krustenxenolithe	6	1	7
20	Phänokristalle	8	-	8
21	Gesteinschemismus	13	3	16
22	Thermalwässer	2	1	3
23	Geochronologische Daten	3	-	3
24	Mofetten und Säuerlinge	2	3	5
25	Gas- und Isotopengeochemische Analysen von Mantelfluiden	4	3	7
26	Ergebnisse petrologischer Experimente	14	2	16
27	Numerische Modelle zur Genese und Differenziation von Magmen	11	1	12

*Angaben von 16 der befragten Personen

**Auf Basis von 16 textbasierten Erläuterungen (s.u.), die durch die Autoren des vorliegenden Berichts zugewiesen wurden.

Die in der Tab. 12 aufgelisteten ausführlichen Erläuterungen wurden, wenn möglich, einem der durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren zugeordnet (Tab. 11, Spalte 4).

Tab. 12: Durch die Befragten angeführten ausführlichen Erläuterungen zur Frage 14 und deren Zuordnung zu den durch May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren.

Angeführte Erläuterungen	Zugewiesene Indikatoren
„Geochemische und neotektonische Analysen.“ „Detaillierte Untersuchungen des bisherigen Ausbruchsverhaltens.“	8
„Eine genaue Analyse der Daten von früheren Vulkanausbrüchen können Rückschlüsse auf künftige Eruptionen gestatten. Seismische Überwachung mit Identifizierung unterschiedlicher Typen seismischer Ereignisse lassen auf das Eruptionsverhalten schließen. Weitere Hinweise können durch das Monitoring von Entgasungsstellen im Umfeld des Vulkans gewonnen werden z. B. Anstieg von magmatischen Komponenten.“	24, 25
„Die Intensität geophysikalischer Phänomene, Hebungen und Thermal-Aktivität könnte eine Abschätzung über die Größe eines Ausbruchs zulassen.“	6, 22
„Ausbildung der pyroklastischen Förderprodukte. Petrologische und hydrogeologische Daten.“	-
„Volatilgehalt des Magmas, Grad der Magmendifferenzierung, Vorhandensein von Wasserkörpern (Seen/Grundwasserleiter) in der Nähe der Ausbruchsstelle.“	-
„petrologische Untersuchungen und Geländearbeit.“	-
„petrologische Experimente und die Untersuchung insbesondere quartärer Ereignisse. Da scheinen ja Maar-Eruptionen gehäuft vorzukommen.“	26
„Spannungszustände der Kruste, Historie der bisherigen Ausbrüche, Wasserkontaktmöglichkeiten am Eruptionspunkt, Fluid Inclusions von Mantelxenolithen von Vorläufern, Magmenchemie der vorangegangenen Eruptionsprodukte.“	(7, 18, 21)*
„Hydrogeologie, Bruchzonen u. Zerrungstektonik, Grad der Differentiation.“	7
„(1) Verfügbarkeit von Wasser in Oberflächennähe (phreatisch/phreatomagmatisch), (2) aus kombinierten seismologischen (Moho- und LAB-Aufwölbung, seismische Tomographie) und Gas-isotopengeochemischen Untersuchungen (He, Xe) kann der Herkunftsort des Magmas (unterer bzw. oberer Mantel bzw. Kruste) abgeleitet und damit grob auf die Viskosität und das potentielle Eruptionsverhalten des Magmas geschlossen werden, (3) die Existenz von begasten Störungssystemen (CO ₂ -Mofettenfeldern) weisen auf potentielle Magmen-Aufstiegspfade hin, (4) die Existenz von Schwarmbebengebieten mit in Zeit und Raum aufsteigenden Bebenherden weisen auf Magmen- bzw. magmatische Fluid-Aufstiegspfade hin (Hemmann et al. 2003; Hensch et al. 2019).“	(3, 12, 24, 25)*
„Vorhandensein von Fluiden, Porendrücke, Chemismus des Magmas, Nähe zu Störungszonen & Orientierung des Spannungsfelds.“	7, 8, 21
„Geochemie, Petrologie, Xenolithe, Detailentwicklung von Vulkanen.“	18, 19
„We have good models of magma viscosity and density based on composition so we can use these together with chemical data on the rocks themselves. What we do not have are good data on the volatile content of the magmas. Volatile exsolution will have a dominant control on eruptions style. Magma – ground water interaction in the maar volcanic systems likely exerts a very important control on the eruption style.“	26, 27
„Die Geschwindigkeit des Magmaaufstiegs ist bei gleichen Rahmenbedingungen (Stressfeld etc.) umso größer, je geringer die Viskosität des Magmas ist (d. h. bei gering differenzierten Magmen: heißer oder volatil-reicher).“	-
„Ohne den Nachweis von Schmelzstagnationsniveaus in der Erdkruste wird das Magma gering differenziert eruptieren, d. h. es ist relativ heiß, gasarm, gering viskos, hat eine relativ hohe Dichte. Wenn jedoch im Extremfall ein Schmelzkörper über mehrere Jahrhunderte bis Zehntausende in der Oberkruste existierte bzw. seismisch nachgewiesen wurde, dann ist z. B. hoch-differenziertes (syn. kälter, SiO ₂ -reicher und Mg-Ca-ärmer und daher viskoser, geringer dicht, da Fe-ärmer, CO ₂ -ärmer, H ₂ O-reicher) Magma zu erwarten. Um explosiv zu eruptieren (plinianisch), muss das System geschlossen gewesen sein, d.h. es darf während der Stagnation nicht zu Gasverlusten gekommen sein; war es ein offenes, wird die Eruption in Form eines zähen Domes erfolgen, ggf. als glasiges Gestein, syn. Obsidian. Die zu erwartende Zusammensetzung des eruptierenden Magmas können sie kurz vor Ende des Aufstiegs über die Dichte des Magmas aus der Kombination der Hebung und assoziierten Schwereänderung beschreiben.“	6, 9

*von zwei Beteiligten angeführt

In blau: zusätzliche Indikatoren und Erläuterungen, die keinem Indikator nach May (2019) klar zugeordnet werden konnten.

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

1.15 Auswertung Frage 15

15. Halten sie eine Prognose des zukünftig zu erwartenden Vulkanismus anhand eines einheitlichen, deutschlandweit anwendbaren Schemas, mittels eindeutig definierter und gewichteter Indikatoren, für praktikabel?

- ja
- nein

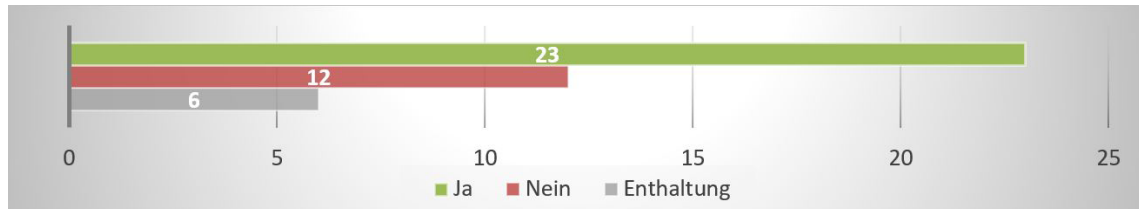


Abb. 38: Auswertung Frage 15. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Wenn nein, haben Sie Alternativvorschläge?

Folgende Alternativvorschläge wurden genannt:

- „Unser derzeitiger Kenntnisstand ist eher qualitativer Natur und lässt meines Erachtens keine zeitlichen Prognosen zu. Aber vielleicht unterschätze ich ja die Modellierungsmöglichkeiten.“
- „Präzise Vorhersagen m.E. nicht möglich aufgrund fehlenden Monitoring Stationen, außer ggfs. in der Eifel (Sonderforschungsprojekt?). Ggfs. mehr Projekte in den Ländern.“
- „Ein deutschlandweites Schema ist unrealistisch und ineffizient. Man sollte alle Forschungsenergie und -gelder auf die West- und Osteifel, sowie auf die Oberpfalz/Vogtland konzentrieren.“
- „Die relevanten Indikatoren je Vulkangebiet erarbeiten und vergleichend bewerten.“
- „Jedes Vulkanfeld muss einzeln analysiert werden.“
- „Wenn man den Indikator als geeicht betrachtet so geht das Ganze wieder in Richtung quantitative Aussagen, was ich für gerade deutschlandweit für nicht durchführbar halte. Allein der Strukturbau der Kruste und deren Vorprägung sind teils total unterschiedlich von einem Feld zum nächsten.“
- „Mir ist die Eichung von Indikatoren nicht klar. Ich würde für Regionen mit jungem Vulkanismus vermutlich andere Gewichtungen vornehmen als in Regionen mit altem Vulkanismus. Bei Regionen wie Hegau oder Rhön würde ich die Seismizität oder das Auftreten von Mofetten höher gewichten.“

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

- „Für jede Region muss aus richtig kombinierten Indikatoren eine Wahrscheinlichkeit abgeschätzt werden.“
- „Nur für die Eifel.“
- „Es sollten regional unterschiedliche Faktoren zu Geltung kommen.“

1.16 Auswertung Frage 16

16. Ist der känozoische Vulkanismus in Deutschland auf Grundlage eines einzigen Genesemodelles zu erklären oder sind unterschiedliche Modelle anzuwenden?

- a) ein Genesemodell
- b) es sind unterschiedliche Modelle anzuwenden

Wenn b):

- es sollte regional unterschieden werden
- es sollte zeitlich differenziert werden

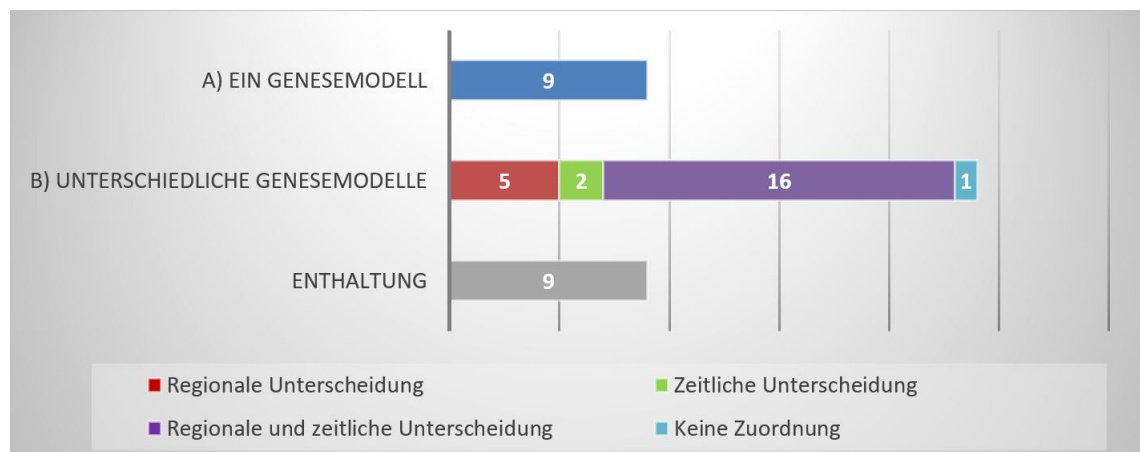


Abb. 39: Auswertung Frage 16. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.

Es wurden folgende Kommentare zu dieser Frage abgegeben:

- „Auch, wenn ich von Schmelzen eines Mantel-Plumes unter einem Kontinent als primärem Genesemodell ausgehe, sollte der Einfluss von Rifting durch die Dehnung der Kruste und damit bevorzugte Ausrichtung des Spannungsfelds und ggfs. von Magmenaufstiegskanälen mitberücksichtigt werden.“
- „Die schon existierenden Genesemodelle sind vor allem Gedankenmodelle oder Skizzen. Sie basieren zwar auf geologische/petrologische Daten, aber ob sie auch konsistent sind mit geophysikalischen Daten ist in den wenigsten Fällen getestet,

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

und ob sie auch mechanisch Sinn machen meistens schon gar nicht. Diese Art von Modellen entsprechen also nicht dem heutigen wissenschaftlichen Stand, und wenn nur solche benutzt werden um eine Vorhersage zu treffen über die nächsten Million Jahren ist dies, meiner Meinung nach, schwer fahrlässig.“

- „Es wäre möglich 3D geodynamische Modelle zu entwickeln für die verschiedenen Regionen in Deutschland um das dortige Auftreten von rezenten magmatischen Prozessen nicht nur petrologisch sondern auch mechanisch zu verstehen. Meiner Ansicht nach ist es eine Interaktion zwischen Schmelzbildung im oberen Mantel und Lithosphärendeformation die dafür sorgt das Magma hochkommt. Die dafür benötigten Computermodelle bestehen zum großen Teil schon; müssen allerdings für die verschiedenen Gebiete in Deutschland angepasst werden.“

1.17 Auswertung Frage 17 und 18

17. *Welches Genesemodell bzw. welche Genesemodelle für den känozoischen Vulkanismus in Deutschland präferieren Sie? (Bitte entsprechend Ihrer Antwort zur vorhergehenden Frage aufschlüsseln, wenn möglich, mit Literaturverweis)*
18. *Welche alternativen Genesemodelle zu Ihrem(n) präferierten Modell(en) sind Ihrer Meinung nach plausibel? (wenn möglich, mit Literaturverweis)*

Da die Fragen 17 und 18 meist zusammen beantwortet wurden, ist deren Auswertung zusammengefasst und in Abb. 40 dargestellt. Die Antworten der Befragten wurden neun Rubriken zugeordnet, die die angegebenen Prozesse bzw. Einflussfaktoren widerspiegeln. Die Zuordnung der Antworten zu den jeweiligen Rubriken ist in der Tab. 13 aufgeführt. Eine Antwort kann hierbei mehrere Rubriken enthalten. Teilweise sind die Antworten leicht gekürzt, ohne jedoch den Inhalt der Aussage zu verändern. Es haben sich insgesamt 15 Personen zur Frage 17 enthalten und 32 Personen haben sich zur Frage 18 enthalten bzw. gaben keine Alternativvorschläge an. Falls nur eine Literaturangabe als Antwort zum Genesemodell erfolgte, wurden die Prozesse aus der Literatur abgeleitet und den jeweiligen Rubriken zugeordnet.

Die Rubriken sind wie folgt definiert und in der Tab. 13 den Antworten der Befragten zugeordnet:

- Vertikaler Mantelmaterialstrom
- Kleinmaßstäbige Konvektion
- Asthenosphärische Upwellings und thermische Instabilitäten
- Delaminierung

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

- Plate-Plume Model (Foulger, 2011)
- Quelle, Aufstieg, Stagnierung
- Lithosphärische Strukturen
- Aktives/passives Rifting, Einfluss der Alpidischen Orogenese, Spannungsfeld
- Vulkanfelder und Eruptionstypen

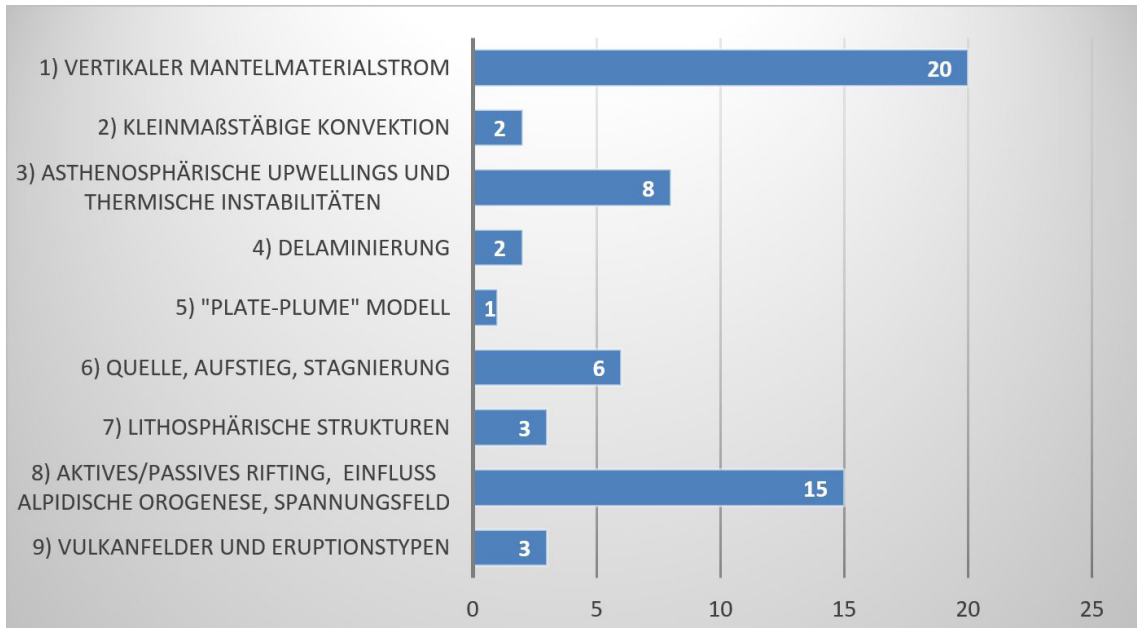


Abb. 40: Auswertung Frage 17 und 18. Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten.

Tab. 13-1: Präferierte und alternative Genesemodelle für den känozoischen Vulkanismus in Deutschland (Fragen 17 und 18). Die Antworten sind den Rubriken (Abb. 40) zugeordnet.

Präferierte Genesemodelle	Rubrik
-„Keine klare Präferenz; Datenlage unzureichend. Wahrscheinlich ist es eine Kombination von verschiedenen Mechanismen.“	-
-„Keine fundierte Meinung.“, „Was Ritter et al. herausgefunden haben, hat höchste Relevanz.“	1
-“Magmatic Underplating, asthenospheric thermal instability, lithospheric bending, mantle plume / mantle upwelling, delamination of subducted slab flat and/or bulldozed lithospheric keel, deep mantle low velocity anomalies, ... e.g. references in Dahm et al, submitted to G-cube.”	6, 3, 8, 1, 4
-“Intraplattenvulkanismus (Mantleplume unter der Eifel?), Asthenosphärische Aufwölbung (z.B. durch Rifting), Lithosphärische Delamination/Detachment.“	1, 8, 4
-Carminati et al., 2009; Doglioni et al., 2003	3
-„Tertiärer Vulkangürtel vom RSG bis Südpolen angelegt als aktives Rift in Begleitung zur Nordatlantiköffnung (Stichwort „failed arm“), durch plattentektonische Überprägung nur ansatzweise Ausbildung eines Aulakogens (NRB), Parallelentwicklung zur Kamerun-Linie.“ -„Diskrete Mantle plumes, wie rezent unter der Eifel.“ -„Südfelder: Passives Rift ORG/Kaiserstuhl, kleine Plumes unter Hegau und Urach in Reaktion auf die Alpenbildung.“	8*, 1*
-„Es gibt Vulkanfelder mit vielen kleinen Vulkanen, z.B. W-Eifel, Schwäbische Alb; es gibt Vulkanfelder mit z.T. hochvolumigen Austritten, z.B. Osteifel; und es gibt Vulkanfelder die sich zu Schildvulkanen entwickelten, z.B. Vogelsberg, Cantal in den Auvergne; es gibt Vulkanfelder in Gräben, z.B. Kaiserstuhl, Limagne; und es gibt Vulkanfelder auf den Halbhorsten der Gräben.“	9
-„Die vorrangigen Prozesse der Magmengenese sollten durch ein einheitliches Modell erklärbar sein, welches durch Berücksichtigung lokaler Einflussfaktoren modifiziert werden kann: Aufsteigende Mantelfluide/Schmelzen (Metasomatose) mit oder ohne Aufstieg des umgebenden asthenosphärischen Mantels (Diapire, Mini-Plume (u.a. Ritter) eventuell über tieferreichender aufsteigender Mantelkonvektion (z.B. Goes) führen zur Bildung von Teilschmelzen in Bereichen des heterogenen (Witt-Eichschen) lithosphärischen Mantels (Meier et al. 2016), deren Aufstieg und Ansammlungen in Lagergängen an der Krustenbasis und der Unterkruste bei gleichzeitiger AFC (Duda, Schmincke et al.) und episodischer Aufstiege je nach Deformation der mechanisch aufgeweichten Erdkruste (Cloething et. al. 2010) in einem extensiven Spannungsfeld über den Reservoiren (Blattverschiebungen in der Oberkruste (Schreiber & Rotsch 1998)) oder Aktivierung der Reservoire durch den Nachschub primitiver Schmelzen (z.B. Spera & Bohrsen 2018). Diese Magmen steigen meist rasch durch die Kruste auf, bis an die Erdoberfläche, seltener bilden sie größere Ansammlungen, die in der Kruste weiter differenzieren (Wörner et al.).“	1, 6
-„(i) Adiabatische Dekompression im Zusammenhang mit incipient oder active rifting.“ -„(ii) Kompositionellen (d.h. Fluide) oder thermischen Mantel-Plume.“	8, 1
-„Für Oberpfalz, südliches Vogtland: phreatisch- bzw. phreatomagmatisch und strombolianisch; Mrlina et al. JVGR, 2009; Rohrmüller et al., IJES, 2018; Lied et al., IJES, 2020 in review.“	9*
-„Vulkangebiete verbunden mit Aufwölbungen im oberen asthenosphärischen Mantel und dem Aufstieg von Plume-ähnlichen Instabilitäten aus der Übergangszone an der Basis des oberen Mantels“ (u.A. Wilson und Downes, 1992). -„Zumindest für den neogenen Vulkanismus und dessen Aufstiegskanäle können die Riftregionen in Europa im Vorfeld der Alpen eine Rolle spielen. Diese sind im Zuge der Alpenorogenese entstanden und auch durch passives Rifting können bevorzugte Aufstiegskanäle entstehen.“	1, 3, 8
-Wedepohl et al, 1994	3, 8
-„Es gibt nicht das Eine Genesemodell, Interaktion der Manteldynamik und der Plattentektonik muss untersucht werden, und in Korrelation gesetzt werden zur magmatischen Aktivität einer Region, und daraus dann ein Genesemodell erstellt werden. Im Idealfall ist dieses durch parametrisierte Geodynamische Settings vorhersagbar.“	-
-„Eifel: Plume-gesteuert plus lokale Beeinflussung durch den Asthenosphären-Lithosphären-Übergang (Struktur, Magmengenese); siehe Übersichtsartikel in Ritter & Christensen (Mantle Plumes, Springer, 2007).“ -„Urach / Hegau / Kaiserstuhl: Einfluss der Alpenorogenese? Mobilisierung von Mantelmaterial durch die Alpenorogenese?“	1, 8
Eifel: Mertz et al., 2015	1, 6
-„Ich sehe nicht, wie sich die Datengrundlage in den letzten Jahrzehnten verbessert hat, um bezüglich der obigen – und schon lange diskutierten - Genesemodelle für den känozoischen Vulkanismus eine Entscheidung zu treffen. Dagegen gibt es sehr erfolgreiche Ansätze, verbesserte und empirisch begründete Wahrscheinlichkeitsaussagen für Eruptionseignisse in Vulkanfeldern zu treffen (z.B. im DEVORA Projekt für das Auckland Volcanic Field, Neu Seeland; Deligne et al., 2015). Grundlage dieser Ansätze ist immer eine verlässliche Bestimmung der Eruptionsvolumina und –zeitpunkte. Volumina sind durch sorgfältige Kartierungen relativ einfach zu erhalten, aber die Bestimmung präziser und richtiger Alter ist eine schwierige Herausforderung. Aufgrund neuer analytischer Entwicklungen z.B. durch Multikollektions-Edelgas-Massenspektrometrie können heute 40Ar/39Ar Alter mit kleineren Probenmengen und mit höherer Genauigkeit bestimmt werden als dies noch vor 10 Jahren der Fall war. Dadurch kann beispielsweise der Einfluss von Probenkontamination minimiert werden, bzw. durch stufenweise Gasfreisetzung während der Analyse erkannt werden. Solche Labore existieren außerhalb Deutschlands (z.B. Leonard et al., 2017), aber die innerhalb Deutschlands bestehenden Labore verfügen über weder (1) das modernste Equipment, das eine hochpräzise Datierung ermöglicht, (2) die analytische Kapazität für großangelegte Neudatierungen, noch (3) die Erfahrung, die gerade für die Datierung junger Proben mit den entsprechenden analytischen Schwierigkeiten, erforderlich ist.“	-

Tab. 13-2: Fortsetzung Tabelle 13-1. Präferierte und alternative Genesemodelle für den känozoischen Vulkanismus in Deutschland (Fragen 17 und 18). Die Antworten sind den Rubriken (Abb. 40) zugeordnet.

Präferierte Genesemodelle	Rubrik
<p>Eifel (based on data from one or two volcanic centres and does not take into consideration the development of large crustal magma chambers):</p> <ul style="list-style-type: none"> -“Melting anomaly below the Eifel (Ritter et al. 2001; Hensch et al. 2019) (whether it is a mantle plume or not is not really relevant to a genesis model).” -“Magmas have an asthenospheric source with variable inputs from the lithospheric mantle (Shaw and Woodland 2011; Shaw et al. 2010; Mertz et al. 2015).“ -“Some magmas may have been present in the lithospheric mantle for thousands or tens of thousands of years before the development of surface activity (Shaw, Lebert, and Woodland 2018).” -“Diffusion in mantle xenolith minerals and development of glass rinds on crustal xenoliths to place limits on the residence time of magma in the upper mantle and crust (Denis, Demouchy, and Shaw 2013; Shaw et al. 2010; Shaw 2009; Shaw 2004). → some cases magma can be transported directly from the mantle in hours to days, but in all cases where this type of transport occurs there is evidence for development of a mush column below the volcanic centre over a period of 10’s to hundreds of years before eruption.” -“Geochronologic data indicate that the standard of 10,000 years of inactivity used to determine the transition from a dormant to extinct system cannot be applied to the Eifel (Shaw et al. 2010; Nowell, Jones, and Pyle 2006). There may be periods of dormancy much longer than 10,000 years e.g. in the Rockeskyllerkopf.” 	6
<p>„Riftgebundener Vulkanismus.“</p>	8
<p>„Magmen in unterschiedlichen Tiefen an der LAB durch mit abnehmender Tiefe zunehmendem Anschmelzgrad eines isotopisch homogenen peridotitischen Mantels entstanden.“</p> <p>Verlagerung der LAB/ Aufstieg asthenosphärischen Mantels durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> -„Druckentlastung als Folge der Wölbungsreaktion der Europäischen Lithosphäre durch die Einengung in Folge der alpinen Deformation (Buckling). Dafür spricht die gute Korrelation von Magmatischen Pulsen, d.h. Entstehung von Vulkanfeldern, mit Hauptphasen der Alpen-Einengung. Modifiziert wird dieser Prozess durch: -das Vorhandensein von erdgeschichtlich ererbten metasomatisch bedingten Materialunterschieden in der Lithosphäre -tektonische Strukturelemente in der Lithosphäre und Kruste, z.B. Längserstreckung des Niederhessischen Vulkanfeldes, im Bereich des Oberrheingrabens Fördergänge parallel Orientierung der Randstörungen. -Unsystematischer Aufstieg von plumes innerhalb des oberen Mantels infolge von pT-Anpassungsvorgängen (Ummineralisation) eines kalten slabs zwischen 440 und 660 km. -Aufgrund der geringen Aufschmelzgrade (geringes deltaT) und der nicht charakteristischen Isotopensignaturen können diese plumes nicht wie in Reunion oder Hawaii aus dem unteren Mantel stammen.“ 	8, 7, 1
<p>„Basaltische Eruptionen oder Eruption differenzierter Magmen aus Magmen-Systemen der oberen Kruste aufgrund von Mantelplumes/Hot Spot.“</p>	1
<p>„Mischung aus Plate und Plume Theorie.“</p> <p>„Ansatz der Plate Theorie ist z.Z. nachvollziehbarer.“</p>	5
<p>„Vertikaler und horizontaler Flow von Mantelmaterial in der Asthenosphäre. Vertikal: Mantelplume; horizontal von Island flow von Plumematerial in der Asthenosphäre.“</p>	1, 3
<p>„Ein gemeinsames Genesemodell, was sich aber durch das lokale Spannungsfeld und der Lithosphärenstruktur unterschiedlich auswirken kann.“</p> <p>„Asthenosphärische kompositionelle (+thermische) Anomalie durch horizontale oder vertikale Mantelströme (aus welcher Tiefe nicht direkt relevant, nur Zusammensetzung und Temperatur wichtig) bzw. allg. Upwellings in der Asthenosphäre.“</p> <p>„Schmelzentstehung in der Asthenosphäre oder schon in tieferen Stockwerken durch anomale Mantelzusammensetzung (z.B. Wasser, CO2, Anreicherung inkompatibler Elemente).“</p> <p>„Diese Schmelzen können entweder direkt aufsteigen, interagieren mit der Lithosphäre und/oder stagnieren in Krustenbereichen oder an der Moho.“</p> <p>„Wie weit Schmelzen nach oben steigen hängt von der Struktur der Lithosphäre ab (Schwächezonen) und vom Spannungsfeld, das z.T. auch durch die Upwellings in der Asthenosphäre gestört werden kann.“</p>	1, 3, 6, 7, 8
<p>„Durch die Plattentektonik hervorgerufene Spannungen in der Kruste führen zu passivem Aufstieg von Mantelmaterial.“</p>	8

Tab. 13-3: Fortsetzung Tabelle 13-2. Präferierte und alternative Genesemodelle für den känozoischen Vulkanismus in Deutschland (Fragen 17 und 18). Die Antworten sind den Rubriken (Abb. 40) zugeordnet.

Alternative Genesemodelle	Rubrik
-“Active hydrous upwellings from stagnant slabs [Richard and Bercovici, 2009; Long et al., 2019].” -“Passive upwelling due to slab sinking [Faccenna et al., 2010].” -“Small-scale convection, SSC [West et al., 2009].” -“Shear-driven upwelling, SDU [Conrad et al., 2010].” -“Combination of SSC+SDU [Ballmer et al., 2015].” -“Combination of SSC/SDU with upwellings from stagnant slab [Long et al., 2019].”	1, 2, 3
-MEIER et al., 2016; Burke 2011	3, 1
-„Ausgleichsbewegungen zur Subduktion während und nach der alpinen Orogenese führt zum Aufstieg von Mantelmaterial (Manteldiapire) und zu Dekompressionsschmelzen im Umfeld der Subduktionszone.“ Erzgebirge, Egergraben: -Magmengene im Erdmantel in einem Baby plume oder plume like structure (Heuer et al. 2011), Mischung karbonatitischer und silikatischer Schmelzen (Haase et al.). Tektonische Prozesse im Zuge der Bildung des Eger-Rifts ermöglichen passiven Aufstieg des oberen Mantels und Schmelzbildung. Mischung karbonatitischer Magmen tieferen Ursprungs mit lithosphärischen silikatischen Magmen (Haase et al.) Einlagerung an der Krustenbasis (Hrubcova et al. 2017). Aktuell offene Wegsamkeiten (u.a. Mousavi et al. 2017) durch die Kruste (Munoz et al. 2018, Hrubcova et al. 2018) werden mit einer reaktivierten variszischen Suture (Babuska & Plomerova 2010) in Zusammenhang gebracht Sie ermöglichen Entgasung, aber wenig quartärer Magmenaufstieg entlang diskreter Störungen. -Unklarer Zusammenhang der Mantelanomalie zu überregionalen plattentektonischen Vorgängen (alpine Kontinent-Kollision). Geochemische und zeitliche Beziehungen zur Bildung des Eger-Rifts scheinen gegeben zu sein (Ulrych et al. 2011). Kaiserstuhl-Urach und isolierte Vorkommen (bis hin zur Hocheifel nach Feciakova et al. 2010): -Magmenbildung Aufstieg durch die Lithosphäre durch tektonische Prozesse im Zuge der Alpenorogenese und der Bildung des Oberrheingrabens.“	1, 8, 7, 6
French et al., 2015	1
-„Plume-Vulkanismus.“	1
Nicht: -„Wanderung von Europa über einen stationären plume (s. May 2019).“ -„Horizontaler Mantelfluss von den Kanaren bis nach Mitteleuropa (s. May 2019).“ -„Reiner Riftvulkanismus, wegen der parallel zum Alpenbogen verlaufenden, die Riftzone querenden Orientierung der Felder.“	-
-„Kleinräumige Konvektionsströmungen in Verbindung mit der alpinen Orogenese (Meyer & Foulger 2007).“	2, 8
-„Habe keine direkten Alternativvorschläge. Es könnten nur andere Prozesse noch relevant sein, wie subduzierte stagnierende Platten, der Einfluss der konvergenten Plattengrenze der Alpen sowie die divergierende Plattengrenze am Mittelozeanischen Rücken etc.“	8
-„Thermisch induzierter, aktiver Aufstieg von Mantelmaterial.“	1

*von zwei Beteiligten angeführt

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

1.18 Auswertung Frage 19

19. *Welche weltweit vorkommenden Vulkanfelder sind Ihrer Meinung nach mit dem Känozoischen Vulkanismus in Deutschland vergleichbar und könnten als Analoga hilfreich für ein grundlegendes Prozessverständnis sein?*

Es haben sich insgesamt 11 Personen zu dieser Frage enthalten. Zur graphischen Darstellung wurden die genannten vergleichbaren Vulkanfelder bestimmten Regionen, Ländern oder Kontinenten zugeordnet. Neben direkten Nennungen von Ländern bzw. spezifischen Regionen (Teil 1, siehe Auflistung), wurden auch vergleichbare Vulkanfelder aufgrund ihrer tektonischen Lage oder ihres vermeintlich ähnlichen Entstehungsprozesses bzw. ihrer vermeintlich ähnlichen Quelle genannt (Teil 2, siehe Auflistung). Die Antworten der Befragten sind den Rubriken (Abb. 41) wie folgt zugeordnet:

Teil 1:

- Zentralmassiv: „Zentralmassiv“, „Auvergne“, „Chaîne des Puys“
- Afrika: „Vulkanfelder in Marokko: Flow von Mantelmaterial in der Asthenosphäre von den Kanarischen Inseln zur Subduktionszone in Kreta“, „Kamerun-Gürtel“, „Ostafrikanischer Graben/Rift“, „Algerien bis Sudan in Nordafrika“, „Meidob Volcanic Field“
- Nordamerika: „Colorado Plateau“, „Springerville Volcanic Field“, „USA“, „Mexico“, „Südwestliche USA“, „Yucca Mountains?“, „Basin and Range“, „Lunar crater field in Nevada“
- Neuseeland: „Neuseeland“, „Auckland und Waipiata (um Dunedin)“, „Northland“
- Böhmisches Massiv: „Tschechische und polnische Vulkanfelder“, „Böhmen“, „Westliches Eger Rift“, „Ohre Rift“
- Australien: „Australien“, „Ostaustralien“, „Südaustralien“
- China: „China“, „Känozoischer Vulkanismus in China“, „Ähnlicher Vulkanismus der sich in Baby-Plumes manifestiert“
- Pannonisches Becken: „Pannonisches Becken“, „Carpathian–Pannonian Region“
- Sonstige: „Ungarn“, „Saudi-Arabien“, „Iberischen Vulkane sind von der Petrologie und Struktur her den europäischen Vulkanen sehr ähnlich“

Teil 2:

- Allgemein Intraplattenvulkanismus: „Generelle Intraplattenvulkanismus im Bereich der Kontinente“, „Basaltische Vulkanfelder, insbesondere in intrakontinentalen

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

Settings“, „Alle Intraplatten -Vulkanfelder (innerhalb von Kontinenten oder in den Ozeanen)“, „Intraplattenfelder“

- Europäischer Intraplattenvulkanismus: „European Volcanic Provinces“, „Vulkanismus in Verbindung mit CEVP, also SiO₂ abgereicherter in inkompatiblen Elementen (+CO₂) angereicherter Vulkanismus“, „Andere Intraplattenvulkanfelder in Europa“
- Junger Riftgebundener Vulkanismus und ECRIS (European Cenozoic Rift System): „Alle Vulkangebiete, die mit dem Europäischen Känozoischen Riftsystem in Zusammenhang stehen“, „Alle Vulkanfelder die an sehr junge Riftsysteme gebunden sind“
- Gemeinsame Quelle (Common Mantle Reservoir, CMR): „Gemeinsame sublithosphärische Quelle (Common Mantle Reservoir CMR) für eine große Zahl von Vulkanfeldern vom Ostatlantik bis Afrika und die Türkei; die meisten dieser Regionen wie die Vulkane nördlich der Alpen sind mit Orogenese verbunden“

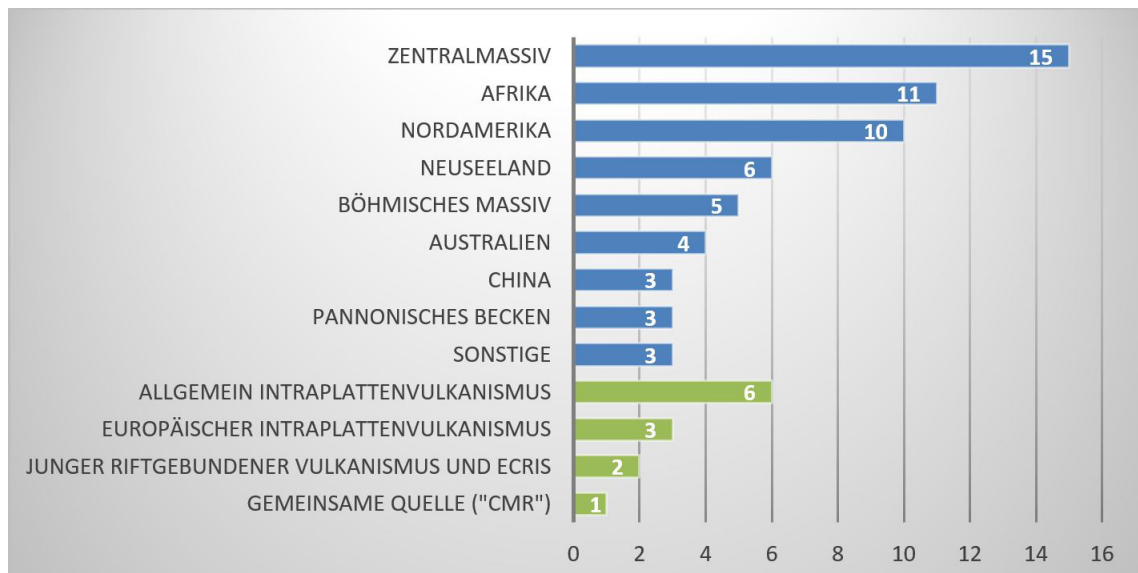


Abb. 41: Auswertung Frage 19. Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten. ECRIS: European Cenozoic Rift System; CMR: Common Mantle Reservoir.

1.19 Auswertung Frage 20

20. Sehen Sie Zusammenhänge zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und dem känozoischen Intraplattenvulkanismus im weiteren Umfeld (z. B. Massif Central/Zentralmassiv, Pannonisches Becken)?

- ja
- nein

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

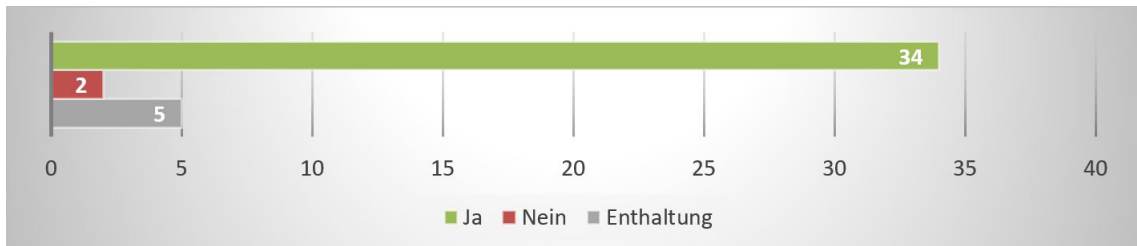


Abb. 42: Auswertung Frage 20, Teil 1. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Wenn ja, bitte kurz erläutern.

Um die Erläuterungen der Befragten graphisch darzustellen, wurden sie sechs Rubriken (Abb. 43) zugeordnet:

- Ähnliches geodynamisches Modell und Entstehungsprozesse
- Plattentektonische Konstellation/tektonisches Setting, Alpen, räumliche Beziehung
- Ähnliches Alter der vulkanischen Aktivität
- Ähnlichkeit zu anderen Gebieten
- Ähnliche Gesteine und Vulkanfelder
- Ähnlichkeit in Fluidisotopie

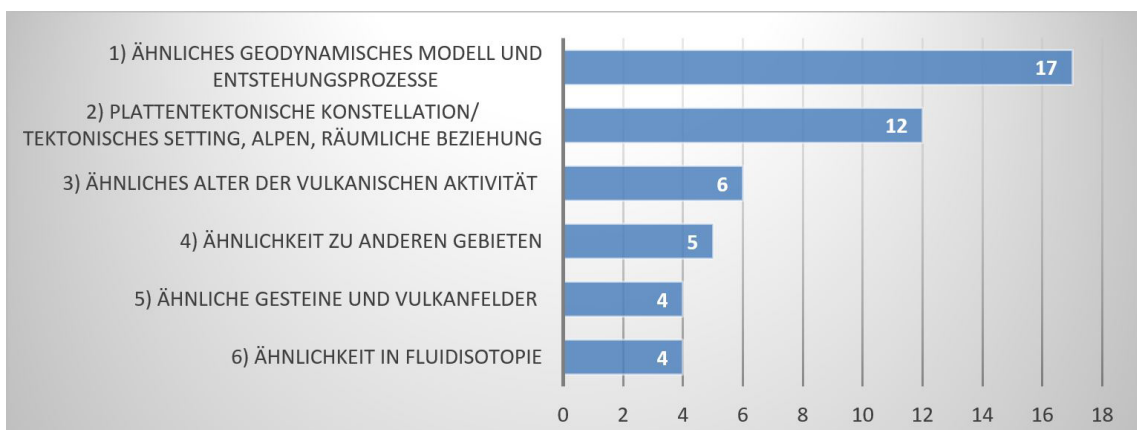


Abb. 43: Auswertung Frage 20, Teil 2. Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten.

Die Rubrikzuordnung zu der jeweiligen Antwort ist in der Tab. 14 aufgeführt. Eine Antwort kann hierbei mehreren Rubriken zugeordnet werden.

Tab. 14: Zusammenhänge zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und dem känozoischen Intraplattenvulkanismus im weiteren Umfeld (Frage 20). Die Antworten sind den Rubriken (Abb. 43) zugeordnet.

Zusammenhang zum Intraplattenvulkanismus im weiteren Umfeld	Rubrik
„Der Vulkanismus in Deutschland (Eifel, Oberrheingraben und schwäbische Alb) zeugt sehr starke Ähnlichkeiten zu Zentralmassiv und Böhmisches Masse.“	4
„Zu erklären durch ähnliches geodynamisches Genesemodell, e.g.: broad stagnant slab is sitting in the mantle transition zone beneath much of Western Europe.“	1
„Die Isotopensignatur (¹³ C _{CO2} , ³ He/ ⁴ He) des subkontinentalen lithosphärischen Mantels ist im Massif Central, dem Pannonischen Becken, der Eifel und in NW Böhmen vergleichbar was darauf hindeuten könnte, das es auch in Bezug zum känozoischen Vulkanismus Gemeinsamkeiten gibt.“	6
„Vergleichbare plattentektonische Konstellation.“	2
„Die benachbarten känozoischen Vulkangebiete sind interessant hinsichtlich des Vergleichs der Gründe für ihr zeitliches und räumliches Auftreten.“	-
„Räumlich nah zusammen, alles Intraplattenvulkanismus.“	2
„z. B. Wilson et al.“	1
„Entstanden durch ähnliche Prozesse.“	1
„Es gibt ähnliche Alter von Vulkanausbrüche (Massif Central). Die regional Tectonic setting sind auch ähnlich und wahrscheinlich verbunden: Graben Strukturen in Frankreich (Plaine de Limagne) bis zu Rheingebiet etc.“	3, 2
„Zwischen Massif Central und Eifel möglicherweise, jedoch nicht zum pannonischen Becken“ „jedoch zwischen Vulkanismus in Mitteldeutschland und dem Massif Central gibt es schon Ähnlichkeiten, zu mindestens wenn man den Vulkanismus entlang des Rhein Graben bis Eifel betrachtet (Limagne-Bresse-Rhein-Graben System).“ - „Die E-W Zone im Mitteldeutschland scheint dann doch langlebiger zu sein und ein wenig anders zu funktionieren.“ - „Vielleicht überlagern sich da auch zwei Mechanismen die Auswüchse desselben Mantelprozesses sind.“	4
„Massif Central scheint gleiche Mantelverhältnisse zu haben (Plume-Struktur) wie die Eifel.“	1*
„Norditalien, Steinmark, pannonisches Becken, Katalonien, weitere spanische Vulkanfelder.“	4
„Ähnliche Gesteine und Vulkanfelder sowie räumliche Nähe zu tertiärem Vulkanismus nördlich der Alpen-Dinariden für die Lustrino und Wilson 2007 eine gemeinsame Quelle im tieferen Mantel annehmen.“	5, 2, 1
„Geochronologische, petrologische, kompositionelle (chemisch und isotopisch) sowie seismologische Ähnlichkeiten.“	3, 5, 1
„Eifel und Massif Central sind beides Plumegebiete (beachte neue Resultate zur Xe-Isotopie).“	1*, 6*
„Massif Central gehört zu European continental Rift System, liegt im Alpenvorland, die Aktivität entwickelte sich ab Miozän und hatte ihren Höhepunkt zwischen 10-2 Ma. Eine Low-Verlocity Anomalie im Massif Central (wie in der Eifel) gibt Hinweise auf einen Manteldiapir.“	2, 3, 1
„Zusammengang weil sehr ähnliches geodynamisches Setting (Riftsystem).“ „Magmatische Aktivität wird geodynamisch/plattentektonisch gesteuert“ „Präzise definierte geodynamische Settings sollten typischen Vulkanismus zeigen.“	2, 1
„Eher nein; Zentralmassiv ist vermutlich isolierter kleiner Plume; Pannonisches Becken ist mit Plattentektonik (escape tectonics?) in Verbindung; Evtl. ähnliche Prozesse in Polen.“	-
„Beide Vulkanfelder gehen auf einen Mantle Plume (oder zumindest eine Anomalie im Mantel) zurück und zeigen episodischen Vulkanismus.“	1, 3
„Mantelplumemodell.“	1
„Stoffliche und zeitliche Übereinstimmungen, aber auch Unterschiede (z. B. in den geologischen Rahmenbedingungen; z. B. Aufbau und Zusammensetzung der Kruste).“	3, 5
„The arcuate distribution of the central european volcanic fields suggests a strong control from alpine tectonics – this has been argued in detail using geochemical data by (Lustrino & Wilson 2007).“	2
„Pannonisches Becken ist eine andere Situation als im Zentralmassiv. Zentralmassiv und die deutschen VF haben eine sehr ähnliche geotektonische Position.“	2
„Alpeneinengung, randlicher Verlauf des dichten kalten slabs im oberen Erdmantel.“	2, 1
„Alpidische Orogenese, European Cenozoic Volcanic Province (ECVP).“	2, 4
„Die Vulkanfelder von Frankreich bis Polen gehören alle zum „European Cenozoic Rift System“, dessen Entstehung möglicherweise mit der Alpen-Orogenese zusammenhängt. Auch Isotopenuntersuchungen (z.B. Gase) deuten auf wichtige Ähnlichkeiten hin.“	2, 6
„Mantelprozesse sind grundlegend ähnlich bzw. haben eventuell sogar den selben Ursprung.“	1
„Ja, das Massif Central hat einige Ähnlichkeiten. Das Pannonisches Becken ist zum größten Teil verbunden mit Subduktionsprozessen und daher nicht so ähnlich.“	4
„Ähnliche Zeiten.“	3
„Ursache für den Vulkanismus ist die gleiche.“	1
„Ähnliche Prozesse, die zu deren Entstehung führten und ähnlicher Chemismus.“	1, 5
„Ihre Anordnung rund um die Alpen ist auffällig und lässt auf einen ähnlichen, durch die Alpenorogenese induzierten, Entstehungsprozess schließen.“	2

*von zwei Beteiligten angeführt

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

1.20 Auswertung Frage 21

21. *Sehen Sie Zusammenhänge zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und regionalen oder plattentektonischen Strukturen? (bitte kurz erläutern)*

Acht der befragten Personen machten zu dieser Frage keine Angabe. Insgesamt hat sich nur einer der Befragten gegen einen Zusammenhang ausgesprochen und 32 der Befragten für einen Zusammenhang zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und regionalen oder plattentektonischen Strukturen (Abb. 44).

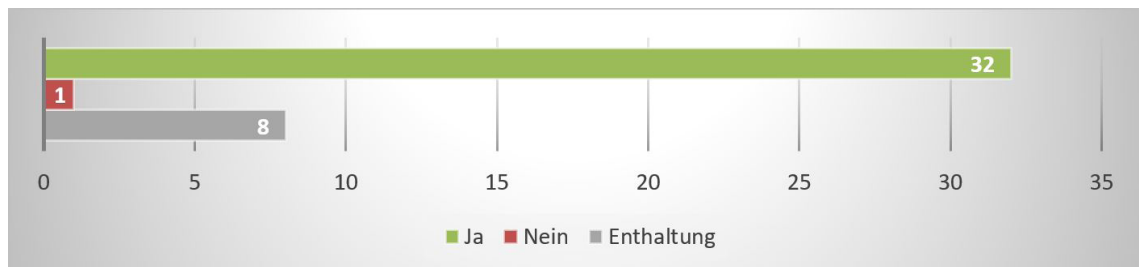


Abb. 44: Auswertung Frage 21, Teil 1. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

Die Antworten der Befragten sind zur graphischen Darstellung sechs Rubriken zugewiesen worden (Abb. 45). Eine Antwort kann mehrere Rubriken enthalten. Die Rubriken sind wie folgt definiert und in der Tab. 15 den jeweiligen Antworten zugeordnet:

- Zusammenhang Gräben/Rift
- Einfluss der Alpidischen Orogenese
- Einfluss älterer Strukturen
- Struktur und Kräfteverhältnisse
- Mantelströme
- Sonstige

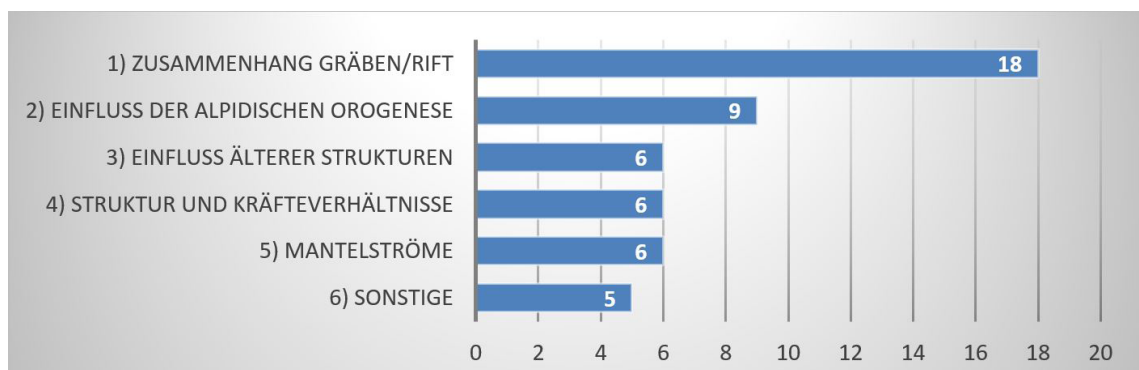


Abb. 45: Auswertung Frage 21, Teil 2. Angaben in absoluten Zahlen der den Rubriken zugewiesenen Antworten.

Tab. 15: Zusammenhang zwischen dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland und regionalen oder plattentektonischen Strukturen (Frage 21). Die Antworten sind den Rubriken (Abb. 45) zugeordnet.

Zusammenhang zu regionalen oder plattentektonischen Strukturen	Rubrik
-„Meiner Meinung nach spielen das regionale Stressfeld und die Plattentektonik eine Rolle bei der Verbreitung des Vulkanismus. Eine aktive Quelle im Untergrund → Aufstrom ist allerdings Voraussetzung!“	4, 2, 5
-„Ja, u. a. Rheingraben/Oberheingraben, Eger Graben, Zollerngraben.“	1
-„Broad stagnant slab is sitting in the mantle transition zone beneath much of western Europe. Cenozoic volcanism in western Europe occurs mostly above the edge of the stagnant slab.“	5
-„Die Nähe einiger Vulkanfelder zu tektonischen Grabenstrukturen (Oberheingraben, Egergraben) ist auffällig. Allerdings gilt dies nicht für alle Vulkanfelder (Vogelsberg, Rhön, Heldburg). Hier könnten ältere Strukturen (Störungszonen zwischen den variszischen Gebirgsbögen) den Aufstieg des Magmas begünstigt haben.“	1, 3
-„Ja, den Oberheingraben sowie den Mantelplume hat höchstwahrscheinlich einen großen Einfluss darauf wo das Magma hochkam. Wie genau kann nur mit mechanisch/thermodynamischen Modellen beantwortet werden.“	1, 5
-„Bei dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland handelt es sich um Intraplattenvulkanismus. Das Europäische Känozoische Riftsystem ist eine dominierende Struktur mit der der känozoische Vulkanismus in Europa verknüpft ist.“	1
-„Das rezente Stressfeld sowie weitere geodynamische Vorgänge wie z. B. das Abschmelzen der Eismassen im nördlichen Europa seit der letzten Eiszeit und damit die Entlastung der Lithosphäre, sowie günstig zum Stressfeld orientierte Brüche spielen vielleicht in diesem zeitlichen Maßstab eine entscheidende Rolle.“	4
-„Ja, im Egergraben und im Oberheingraben; ansonsten eher nicht offensichtlich.“	1
-„z. B. Moho Step and transparent lower crustal wedge in Rhenish Massif, distance to former suture of Rheic subduction, ... (e. g. Dahm et al., submitted).“	6, 3
-„Ja, eindeutig.“	-
-„Ja. Grabenstrukturen (z. B. Rheingraben) aus Reaktion auf die Alpenauffaltung.“	1, 2
-„Reaktion der Lithosphäre auf die Kollision bei der Alpen-Bildung.“	2
-„Möglicherweise: wenn dann aber eher zu Strukturen die sich durch den variszischen Kollaps und das Permokarbone Rifting herausgebildet haben; Weiterhin gibt es Anzeichen in der Magnetotelluric über eine ESE streichendes Lineament von UK bis Polen. Das beschreibt im Wesentlichen die Nordbegrenzung der vulkanisch geprägten Zone! Das heißt jetzt nicht, dass es direkt auf dieses Lineament zurückzuführen ist. Aber es könnte dort eine krustale Struktur anomalie vorliegen, die sowohl zur Häufung von oberkretazischer Kompression in diesen Bereich führte, als auch zu den folgenden Herausbildungen linearer thermischer Anomalien!“	3
-„Kaiserstuhl – Riftbezug.“ -„Verlagerung vulkanischer Aktivität durch Wanderung der Platte.“	1*, 2*
-„20 und 21 sehe ich im Zusammenhang.“	-
-„Regional fällt die Koinzidenz mit den Mittelgebirgen und die Nähe zu tertiären Riftsystemen auf. Geochemisch nehmen Wedepohl und Baumann 1999 einen gemeinsamen Ursprung der Magmengenese im unteren Mantel an.“	3, 1, 6
-„Ja, für die pleistozäne Westeifel.“	6
-„(1) Nach Cracausi et al. 2016 stammen die Schmelzen des CO ₂ -reichen Gases der Südeifel aus ca. 1000 km Tiefe. (2) Die beprobten CO ₂ -Mofetten in der Südeifel dürfte etwa der Lage des Plumkopfes des Eifel-Plumes entsprechen, vgl. Mertz et al. 2015. (3) Da in der Südeifel noch kein quartärer Vulkanismus bekannt ist, könnte es sich um ein Vulkangebiet der Zukunft handeln (bitte in Abb. 1 berücksichtigen). (4) Im Bereich der Mofette Bublak (Cheb Becken, CZ) wurde mittels Gas-Isotopenmonitoring im Frühjahr 2006 über 3 Monate eine He-Isotopenanomalie nachgewiesen, die als verdeckte Magmenintrusion interpretiert wurde, Bräuer et al. 2011. Die quartären Vulkane der Region liegen ca. 16 km südlich bzw. 10 km westlich. Aufgrund der verdeckten Magmenintrusion von Bublak sollte ein Gebiet des nördlichen Cheb Beckens, grenznah zum sächsischen Vogtland in Abb. 1 als potentiell zukünftiges Vulkangebiet ausgehalten werden.“	6*
-„Ja, die das Europäische Riftsystem.“	1
-„Nicht so sehr mit plattentektonischen Strukturen sondern neue Erkenntnisse über „mantle plumes“.“	5
-„Vulkanismus ist kontrolliert durch das Europäische Riftsystem i. w. S., also durch die Struktur und Kräfteverhältnisse (Stressfeld!).“	1, 4
-„Alpen-Orogenese und Vulkanismus in Süddeutschland? Impakt der Alpenorogenese auf Mantelprozesse, -konvektion?“	2, 5
-„Ja; Auf kleineren Maßstäben zeigt das Känozoische Riftsystem in Europa an, an welchen Stellen die Lithosphäre gedehnt wird, was den Aufstieg von Schmelze erleichtern könnte. Zum anderen kann dieses Riftsystem anzeigen welche älteren Strukturen wieder aktiviert werden können und damit wichtig für den Schmelzaufstieg sind; Großmaßstäbiger ist die Plattenkonstellation wichtig, weil diese zum einen das Spannungsfeld maßgeblich kontrolliert und damit Aufstiegswege für das Magma schafft und andererseits die Konvektion und damit Upwellings im oberen Mantel (Asthenosphäre und tiefer) beeinflusst. Weiterhin verändern subduzierte Platten die Konvektion, und können die Quelle angereichertem Material im Mantel sein.“	1, 3, 2, 5, 4
-„Ja. Der Vulkanismus in der Oberpfalz beispielsweise hängt zusammen mit dem Eger-Rift; auch bei der Heldburger Gangschar spielen tektonische Störungen eine Rolle. Weniger offensichtlich ist das für die Eifel.“	1, 4
-„Rheintalgraben.“	1
-„Keine eindeutigen.“	-
-„Yes, strong control alpine tectonics.“	2
-„Ja, deutlich an Riftstrukturen einschließlich der Schulterbereiche gebunden.“	1
-„Ja; Verlauf parallel zum Alpenbogen; lokal gebunden an Oberheingraben; Längserstreckung des Niederhessischen Vulkanfeldes; lokal Lage in sog. Regensburg-Rostock-Zone, B. Delitzsch; Orientierung der magmatischen Gänge (Ausbildung der Förderkanäle in der Kruste) in NNE-Richtung in den meisten känozoischen Vulkanfeldern, NW in den quartären Eifelgebieten.“	2, 1, 4, 3
-„Rheingraben und Egergraben bzw. Central European Basin System (CEBS).“	1
-„European Cenozoic Rift System.“	1

*von zwei Beteiligten angeführt

1.21 Auswertung Frage 22

22. Welche Aussage ist Ihrer Meinung nach eher zutreffend? (**nur ein Kreuz setzen**)

- Die Art der Magmengenese ist sekundär für die Prognose des zukünftigen Vulkanismus, da der zu erwartende Vulkanismus vergleichbar ist, unabhängig von den zugrunde liegenden Modellen. **(A)**
- Vorhersagen zu durch Vulkanismus betroffenen Regionen und der Intensität der zukünftig zu erwartender vulkanischer Aktivität in Deutschland hängen maßgebend vom zugrunde liegenden Genesemodell ab. **(B)**

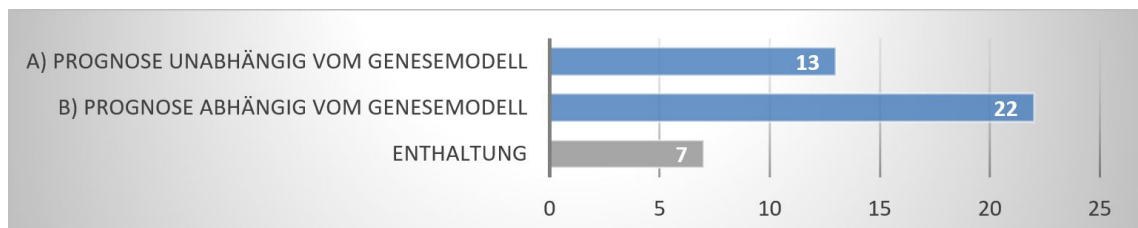


Abb. 46: Auswertung Frage 22. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.

Es wurden folgende Kommentare zu dieser Frage abgegeben:

- „Die Antwort hängt von der Referenzzeitskala ab. In näherer Zukunft (vielleicht 10.000-100.000 Jahre) ist Antwort A wahrscheinlich zutreffend. Für Prognosen auf Zeitskalen von 1 Myr ist ein Verständnis der zugrundeliegenden geodynamischen Prozesse unerlässlich.“
- „Die Art und Intensität des Vulkanismus ist immer sowohl von der Magmengenese und der Lithosphärenstruktur abhängig.“
- „Ich bin mir hier echt nicht sicher. Wenn ich mir ein Common Mantle Reservoir vorstelle, gibt es eh keine großen Unterschiede in den Magmen, ich denke, es ist eher die Verteilung der krustalen Schwächezonen, die für den lokalen Vulkanismus eine Rolle spielt.“
- „Ich erwarte in den nächsten 1 Mio. Jahren keine grundlegenden Änderungen der Magmengenese. Wenn wir die Magmengenese der bekannten känozoischen Vulkanfelder besser verstehen, sollte dies für eine Prognose genügen. Wichtig: Wie erloschen sind die jüngeren tertiären Vulkanfelder wirklich?“
- „Wie oben schon erwähnt warne ich davor zu viel zu extrapolieren basierend auf Genese- „Modellen“. Genauso wenig muss es nicht sein, dass die Aktivität immer regelmäßig abläuft. Es könnte genauso gut sein das ein „Tipping-point“ erreicht wird und es plötzlich zu viel explosiveren Vulkanismus kommt.“

1.22 Auswertung Frage 23

23. Welche Aussage ist Ihrer Meinung nach eher zutreffend? (**nur ein Kreuz setzen**)

- Entscheidend für das Auftreten von Intraplattenvulkanismus ist die Dynamik der Lithosphäre, die Wegsamkeiten für die Sammlung und den Aufstieg weit verbreitet vorhandener primitiver Teilschmelzen aus dem asthenosphärischen Mantel schafft. (A)*
- Entscheidende Ursache des Intraplattenvulkanismus ist die Mantelkonvektion. Daraus resultieren sowohl die Magmenbildung im Mantel, als auch die Deformation der darüber liegenden Lithosphäre, welche Aufstiegsmöglichkeiten für Magmen schafft. (B)*
- Sowohl die Bildung und Sammlung von Schmelzen in der Asthenosphäre als auch die Bildung von Aufstiegswegen in der Lithosphäre müssen in geeigneter Weise (zeitlich und örtlich) zusammenpassen, damit Magmen die Erdoberfläche im Inneren von tektonischen Platten erreichen können. (C)*

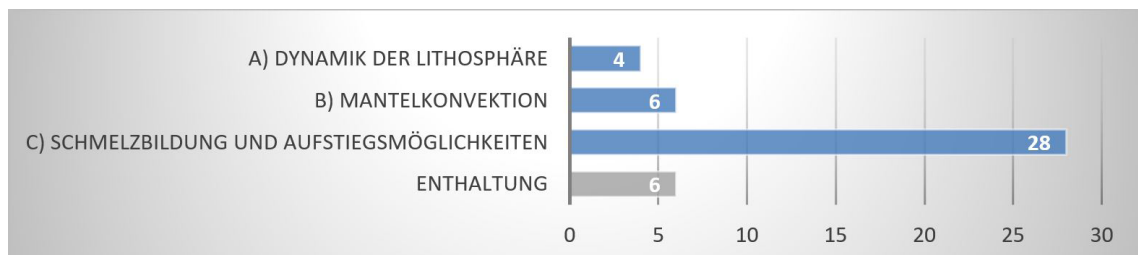


Abb. 47: Auswertung Frage 23. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.

1.23 Auswertung Frage 24

24. Können vorhandene Mängel am Prozessverständnis, an Methoden oder Daten Ihrer Meinung nach bis 2031 behoben werden, um bessere Grundlagen für regionale Prognosen zukünftiger vulkanischer Aktivität zu ermöglichen?

- ja
- nein

Wenn ja:

- es sollten erst nach der Ermittlung möglicher Teilgebiete, mit günstigen geologischen Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle, zusätzliche Arbeiten vorgeschlagen werden (A)*
- es lässt sich heute schon sagen, was sinnvollerweise getan werden sollte (**bitte kurz erläutern**) (B)*

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

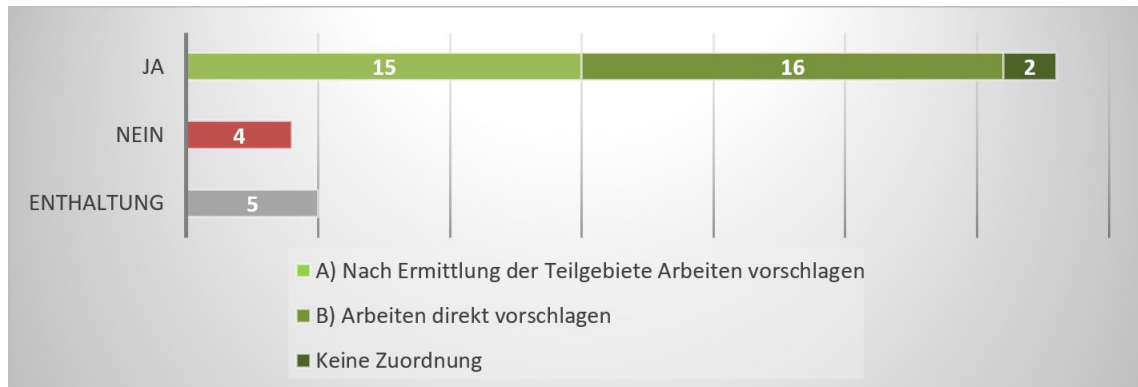


Abb. 48: Auswertung Frage 24. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.

Die von den Befragten vorgeschlagenen Arbeiten sind in der folgenden Auflistung im Detail wiedergegeben:

- „Eine erheblich bessere, detailliertere Datenbasis ist notwendig, d. h. zusätzliche Messungen der verschiedensten Art sind unabdingbar.“
- „Es ist jetzt schon möglich, geodynamisch konsistente Modelle von Teilgebieten von Deutschland zu machen, die zum einen dafür sorgen, dass wir viele der vorhandenen Datensätze in ein in sich konsistentes Modell interpretieren können. Zum anderen können Simulationen gemacht werden, um zu verstehen wieso die vulkanische Aktivität dort überhaupt auftritt. Ich erwarte das wir in den nächsten 10 Jahren große Fortschritte machen werden in unserer Fähigkeit, um magmatische Systeme zu modellieren. Allerdings bin ich überzeugt, dass was jetzt schon existiert auch schon ausreicht, um z. B. geodynamisch konsistente Interpretationen zu machen von verschiedenen Regionen. Nur schon die Anforderung, um unterschiedliche geophysikalische Datensätze in ein einziges konsistentes Modell zusammenzubringen hat bei anderen Projekten schon sehr viel ausgemacht. Allerdings braucht dies auf jeden Fall fokussierte Projekte, was nicht gratis ist.“
- „Umfassende Dokumentation chronologischer Daten und Einschätzung ihrer Alterswerte hinsichtlich der Entstehung der Vulkane (Eruptionszeitpunkte); Umfassende Dokumentation der CO₂-Austrittslokationen incl. quantitativer Betrachtungen sowie der CO₂-beeinflussten Grundwässer und Tiefenwässer (hydrochemische, hydroisotopische Daten); Auf der Grundlage der Dokumentationen Einrichtung von ausgewählten Lokationen zum Monitoring von CO₂-Flux und Hydrochemie; Gleichzeitig flächendeckende Interpretation von hochauflösenden DGM-Daten.“
- „Prozessverständnis ist grundlegende Voraussetzung.“
- „Gezielte Untersuchungen, welche Methoden/Methodenkombination für eine langfristige Überwachung von Prozessen in einzelnen Gebieten sinnvoll sind.“

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

- „Es erscheint mir sinnvoll, ein Endlager außerhalb von ECRIS anzulegen, also außerhalb des Gebietes mit Känozoischen Vulkanismus, Erdbeben, Zerrungs-tektonik, Thermalquellen etc., also in Norddeutschland oder Nordostdeutschland.“
- „Dann sollte eine zeitlich und räumlich differenzierte Betrachtung entsprechend Frage 16b erfolgen, um regionale Einflussfaktoren bei der Abschätzung zukünftigen Vulkanismus besser berücksichtigen zu können.“
- „Deutschland-weit: kombinierte seismologische Kartierung von Moho- und LAB-Grenze, gekoppelt mit der Gas-isotopengeochemischen Untersuchung von CO₂-reichen freien Quellgasen; An ausgewählten Standorten in der Eifel: Ost- West- und Südeifel, in der Oberpfalz und im südlichen Vogtland: Gas-isotopengeochemisches (C, He, Ne, Ar) Monitoring über 10 Jahre mit 2-wöchiger Probenahme.“
- „Identifikation von Regionen mit aktueller Hebung; Untersuchung der Krustenstruktur (3D) zur Identifizierung tiefreichender Störungen; Untersuchungen zum Spannungsfeld und der Seismizität; Chem. Analysen von Wässern und Entgasungen. Diese Art von Untersuchungen gibt es bereits, müssen nur eingesetzt werden.“
- „Die seismische Aktivität in der Eifel hat gezeigt, dass Vulkanismus in Deutschland untersucht werden sollte unabhängig von der Frage radioaktiver Endlagerung.“
- „Kennt man die Risikogebiete, kennt man automatisch die Teilgebiete mit günstigen geologischen Voraussetzungen. Es müssen ALLE verfügbaren geophysikalischen, geodynamischen, geochronologischen, geologischen, petrologischen etc. Daten in einer Datenbank erfasst werden; Diese Datenbank muss primär um eine große Zahl geochronologischer Daten erweitert werden, und kann dann die Basis sein für ein Expertensystem zur Identifizierung von Risikogebieten. Der Schlüssel liegt in der Kombination aller Daten, und damit in einem ersten Schritt in deren vollständigen Erfassung und Vernetzung. Geochronologische Daten sind fundamental wichtig zur Prognose der Zeit-Komponente.“
- „Wann sind die Teilgebiete bekannt? Reicht dann noch die Zeit für größere Forschungsprojekte (8-10 Jahre), Vorteil: regionale Eingrenzung spart Geld; Zusammenfassung aller modernen Datierungen von känozoischen Vulkaniten, um Zeitabläufe besser zu verstehen; Identifizierung von notwendigen neuen Datierungen.“
- „Es könnten die meisten Mängel beseitigt werden, aber nur wenn es genug Forschungsschwerpunkte zu diesem Thema gibt. Für die Eifel ist so ein Schwerpunkt mit dem SPP geplant. Aber dies sollte auch für andere Regionen in Deutschland vorgenommen werden, um zukünftig zu erwartenden Vulkanismus auszuschließen bzw. abzuwägen; Zur Abschätzung der vergangenen Prozesse sollten einige Daten aufgearbeitet werden (wie z. B. Altersbestimmungen von magmatischen Gesteinen,

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

die mit größeren Fehlern behaftet sein können); Um Rezente Prozesse abzuschätzen, sollte das Monitoring (Seismizität, Gasaustritte, Untergrunddeformation etc.) ausgeweitet werden; Weiterhin sollten numerische Simulationen durchgeführt werden, basierend auf der aktuellen Datenlage, um die Konsistenz der existierenden Modelle zu überprüfen und um den zeitlichen Aspekt der Prozesse besser greifen zu können.“

- „Um quantitative Modelle für die Eintrittswahrscheinlichkeit vulkanischer Eruptionen zu erstellen, muss die vergangene Eruptionshäufigkeit und -verteilung bekannt sein. Geochronologische Daten für den quartären Vulkanismus der Eifel basieren weitgehend auf Datierungen aus den 70er und 80er Jahren. Viele diese Datierungen sind nach heutigen Maßstäben zu ungenau oder mit damals nicht vollständig erkannten Fehlern behaftet. Um dies an einem Beispiel zu illustrieren: K-Ar Datierungen von Grundmasse der Rockeskyll Laven (Westeifel) ergaben Alter zwischen ca. 630 ± 40 and 360 ± 40 ka (Mertes & Schmincke, 1983); K-Ar und $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Phlogopit-Alter des gleichen Komplexes zeigen korngößenabhängige Alter zwischen 474 ± 39 ka und 642 ± 13 ka (in der Fein- bzw. Grobfraction; Shaw et al. 2010). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Datierungen an Sanidin einer die Rockeskyll-Laven und Schlacken überlagernden Einheit ergaben ein Alter von 469 ± 1 ka (van den Bogaard 1995). Räumlich hochauflösende U-Pb Datierungen megakristischer Zirkone aus Rockeskyll Ablagerungen lieferten Alter von 378 ± 30 ka (Schmitt et al. 2017). Aufgrund der hohen Schließtemperatur von Zirkon (> 900 °C) stellt dieses Alter ein Maximalalter für die Eruption dar, da Zirkon nur magmatisch und damit vor der Eruption kristallisiert. Diese Altersspanne von mehreren 100 ka für das gleiche Vorkommen zeigt die Schwierigkeiten in der verlässlichen Altersdatierung quartärer Vulkanite. Moderne Datierungen einiger weniger Eifelvulkanite (z. B. Mertz et al. 2015) belegen allerdings auch, dass analytische Probleme durch den Einsatz zeitgemäßer Methoden – und sorgfältige Probenauswahl – weitgehend eliminiert oder zumindest minimiert werden können; Einer umfassende Neubestimmung von Eruptionsaltern quartärer Vulkanite in Deutschland sollte daher eine hohe Priorität eingeräumt werden. Dies gilt für die Eifel und die Oberpfalz. Dabei sollten modernste massenspektroskopischen Methoden unter Verwendung verschiedener und komplementärer Datierungsansätze zum Einsatz kommen. Momentan gibt es in Deutschland keine geochronologischen Labore, die diese analytisch sehr aufwändigen Datierungen mit dem erforderlichen Probendurchsatz durchführen könnte. Modern ausgestattete Labore im Ausland sind meiner Erfahrung nach vollständig ausgelastet und wären daher nicht in der Lage, diese Datierungsarbeit vollumfänglich zu leisten. Die Einrichtung moderner geochronologischer Labore bzw. die Modernisierung existierender Labore mit der nötigen Infrastruktur und qualifiziertem Personal wäre aus meiner Sicht ein essenzieller Schritt, um die in diesem Fragebogen beschriebenen Aufgabenstellungen zu bewältigen.“

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

- „All of the tools needed to make reasonable models and predictions for future volcanism are in place – all that is really needed is further data collection to feed into models of lithosphere dynamics (structural information), magma ascent (diffusion data from xenoliths and phenocrysts; viscosity and density data, field data on volcano distribution). Further data collection on the temporal evolution of the fields is essential to developing the models of cyclicity of volcanism.“
- „Mehr und bessere geochronologische Daten; genauere (Messpunktstand) gravimetrische- und magnetische Daten; bessere Charakterisierung von regionalen Störungen.“
- „Bis 2031 werden wir keine Daten haben, die aus den neogenen oder paläogenen Vulkanfeldern plötzlich Gebiete mit sehr hoher Gefährdung machen. Wir sollten jedoch die seismischen Netze über diesen Feldern, insbesondere den jüngeren < 30 Ma, verdichten, z. B. um LFE ausschließen zu können; Um die Wahrscheinlichkeit der Aussagen zu den quartären Feldern zu erhöhen, wissen wir noch zu wenig über das Vorhandensein von Schmelzstagnationsbereichen in der Kruste > 15 km Tiefe der beiden quartären Vulkanfelder der Eifel. Wären solche Stagnationsbereiche in < 15 km vorhanden, müssten wir z. Zt. magmatische S-Gase nachweisen können. Aktive seismische Experimente sind vorrangig erforderlich; In den neogenen oder paläogenen Feldern sind unkristallisierte Stagnationsbereiche nicht zu erwarten; die Annahme von z. B. Schmelzresten im Vulkanfeld der Hocheifel wäre nicht sinnvoll.“
- „Wir benötigen viele neue Altersbestimmungen, die ziemlich abgesichert dann die Lebensdauer der Vulkanfelder anzeigen.“

1.24 Auswertung Frage 25

25. Wären Sie bereit an einem durch die BGR organisierten Workshop teilzunehmen?

- ja
- nein

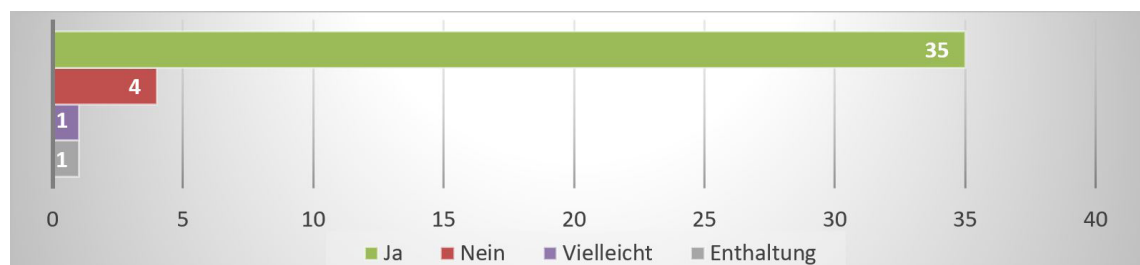


Abb. 49: Auswertung Frage 25. Angaben in absoluten Zahlen der Befragten.

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

1.25 Auswertung Frage 26

26. *Welchen der folgenden allgemeinen oder speziellen Workshops würden Sie für sinnvoll erachten? (Mehrfachnennungen möglich)*

- Datendichte, Unsicherheiten und Interpretationen*
- Geodynamik: Plates vs. Plumes im Licht des känozoischen Vulkanismus in Deutschland*
- Vom tiefen Magmenreservoir zur vulkanischen Aktivität*
- Aussagekraft, Unsicherheiten und Interpretation seismischer Anomalien im Bereich des Mantels*
- Zusammensetzung des Erdmantels unter Mitteleuropa*
- Möglichkeiten und Grenzen numerischer Modelle der Mantel- und Lithosphärendynamik*

Insgesamt haben sich 5 der Befragten zu dieser Frage enthalten.

Die von den Befragten vorgeschlagenen Schwerpunkte sind der Häufigkeit ihrer Nennung entsprechend im Folgenden aufgelistet und dargestellt (Abb. 50):

- Schwerpunkt 1: Datendichte, Unsicherheiten und Interpretationen
- Schwerpunkt 2: Vom tiefen Magmenreservoir zur vulkanischen Aktivität
- Schwerpunkt 3: Geodynamik: Plates vs. Plumes im Licht des känozoischen Vulkanismus in Deutschland
- Schwerpunkt 4: Aussagekraft, Unsicherheiten und Interpretation seismischer Anomalien im Bereich des Mantels
- Schwerpunkt 5: Möglichkeiten und Grenzen numerischer Modelle der Mantel- und Lithosphärendynamik
- Schwerpunkt 6: Zusammensetzung des Erdmantels unter Mitteleuropa

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

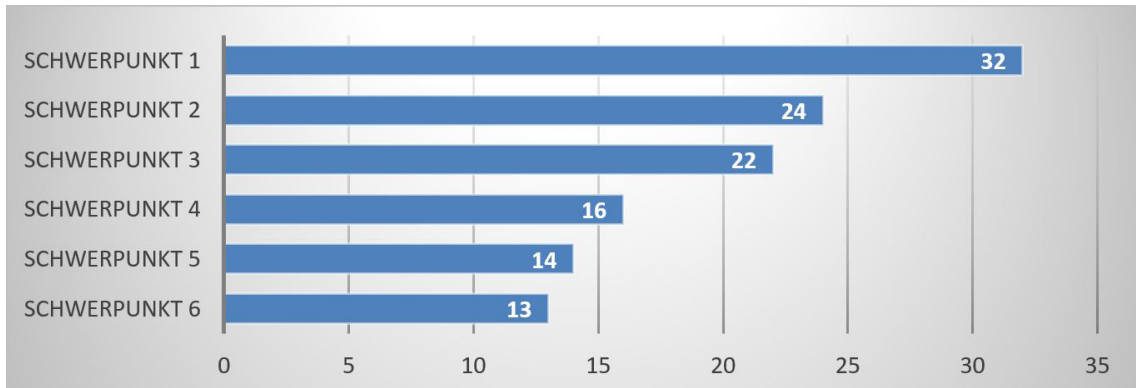


Abb. 50: Auswertung Frage 26. Angaben in absoluten Zahlen der abgegebenen Antworten.

1.26 Auswertung Frage 27

27. Welche weiteren Themenschwerpunkte würden Sie in einem Workshop diskutieren wollen?

21 der befragten Personen haben sich zu dieser Frage enthalten.

Es wurden folgende weiteren Themenschwerpunkte von den befragten Personen vorgeschlagen:

- „Grundsätzlich halte ich fachübergreifende Workshops, wo Sesimiker mit Petrologen und Geologen + Modellierern diskutieren für das sinnvollste. Nur wer miteinander spricht wird sich auch verstehen.“
- „Fachübergreifende Interpretation vorhandener Daten und Erkenntnisse zur Bewertung der vulkanischen Gefährdung in Deutschland.“
- „Gekoppelte zeitliche, kompositionelle, petrologische Entwicklung der pleistozänen Vulkanfelder und Vergleich mit seismologischen (und weiteren geophysikalischen) Daten.“
- „Unsicherheiten, seismische Anomalien, zeitliche Abläufe von kontinentalem Intraplatten-Vulkanismus.“
- „(1) Blick zurück/Quartärvulkanismus: Erkenntnisse aus paläovulkanischen-, Xenolith- und experimentell petrologischen Untersuchungen, (2) Gegenwart/Blick voraus: Ergebnisse aus der Seismologie zur Kartierung der Moho- und LAB-Tiefenlage mit anderen, z. B. tomographischen Untersuchungen und deren Kopplung mit Ergebnissen zur Gas-Isotopengeochemie, (3): Gemeinsame Diskussion der offenen Fragen aus 1 und 2 und Schlussfolgerungen.“

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

- „Allg. sollten die Workshops so gestaltet werden, dass möglichst viele Leute mit unterschiedlichem wissenschaftlichem Hintergrund zusammen diskutieren können um vielleicht am Ende mögliche Genesemodelle aufzustellen, die dann z. B. mit Hilfe von geodynamischen Modellen auf ihre Konsistenz überprüft werden können. Mit diesen numerischen Modellen kann auch aufgezeigt werden, ob alle relevanten Prozesse und Fakten berücksichtigt sind, oder nicht.“
- „Verbesserung seismologisches und Fluid-Volatilen Monitorings und der Interpretation der Daten / Transienten. Vernetzung zum geplanten SPP Eifel.“
- „Interpretationsgrenzen für low frequency earthquakes (LFE): da sie auch außerhalb von Vulkangebieten auftreten, werden sie nicht notwendigerweise durch Bewegungen von Magma oder magmatischen Fluiden erzeugt.“
- „Tiefe niederfrequente Erdbeben.“
- „Geochronologie.“
- „Eruptionen; Geochronologische Datenanalyse; Zeitlücken zwischen den einzelnen Aktivitätsphasen.“
- „Känozoische Sedimentarchive; Methoden der Datierung.“
- „Volcanology of the fields – what styles of volcanism can we expect based on past behaviour.“
- „Reichweiten von vulkanischen Einflüssen (Magmenaufstiege, Änderungen des Spannungsfelds, Veränderungen der Seismizität, Reaktivierung von Störungen, Veränderung des Chemismus von Wässern). Gibt es dazu schon Auswertungen für die europäischen Vulkangebiete? Ich sehe zwar Karten der Vulkangebiete, aber deren Auswirkungen sind meines Erachtens nach noch nicht umrissen.“
- „Gefahren- und Risikoabschätzungen sowie Notfallpläne für den Fall einer Eruption in Deutschland.“
- „Eine halbwegs realistische Abschätzung der prognostizierten geologischen Aktivitäten über einen Zeitraum von 1 Mio. Jahren halte ich für nicht sinnvoll. Vielmehr könnte man verschiedene Zeitabschnitte einer Betrachtung zuführen: a) die nächsten 1.000 Jahre, b) die nächsten 10.000 Jahre, c) die nächsten 100.000 Jahre, d) die nächsten 500.000 Jahre.“
- „Direkt relevant für die Endlagerproblematik wäre doch: Migration von vulkanischen Gebieten: In wie fern können sich die bekannten Känozoischen vulk. Gebieten ausdehnen oder migrieren innerhalb der nächsten 2 Mio. Jahren?“
- „Geodynamische Modellerungsaspekte.“

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

- „Möglichkeiten der Speicherung und Vernetzung von Geodaten.“

1.27 Auswertung Frage 28

28. *Welche Fragen würden Sie gerne an andere Fachkräfte stellen, die sich mit dem Magmatismus und speziell dem Vulkanismus in Mitteleuropa beschäftigen?*

Es haben sich insgesamt 25 der befragten Personen zu dieser Frage enthalten. Die Antworten sind im Folgenden aufgelistet und vier Hauptthemen zugeordnet:

Fragen zum Vulkanismus:

- „Welchen Bezug sehen Sie zwischen dem Vulkanismus in Deutschland und in Mitteleuropa?“
- „siehe SPP Antrag Eifel.“
- „Sehen Sie den quartären Vulkanismus als den Beginn einer eigenständigen Phase nach dem Höhepunkt des Tertiären Vulkanismus (im Oligo-/Miozän) an?“
- „Ist es Zufall, dass sich die beiden quartären Vulkanfelder (Eifel, Oberpfalz) am Rand des nördlichen Bogens der Mitteleuropäischen Asthenosphärenanomalie befinden?“
- „Kann der Gürtel von Vulkanfeldern von der Eifel über Rhön und Egergraben bis hin zu den Sudeten auf eine gemeinsame Ursache zurückgeführt werden, oder sollten Regionen differenziert betrachtet werden?“
- „Warum gibt es diesen auffälligen Bogen und die Lücke zu den südlichen Vulkanfeldern?“
- „Was weiß man über die Lebensdauer von kontinentalen Intraplatten-Vulkanfeldern, können die tertiären Vulkanfelder wieder aktiv werden oder ist dieses Szenario so (wenig) wahrscheinlich als dass sich in Deutschland ein völlig neues Vulkanfeld entwickelt?“
- “What do you consider to be the reason for the collection of melt in the mantle below the Eifel?”
- “What is the main control on the transport of melt out of the mantle and into the crust?”
- “How do you reconcile a mantle plume model for volcanism in Western and Central Europe with the age distribution and geographic distribution and the lack of most of the features considered diagnostic of plumes.”

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

- “Braucht man wirklich die Einbeziehung der Lithosphäre um den Gesteinschemismus der Magmatite zu erklären, oder könnte auch die Asthenosphäre in sich genug angereichert sein?”

Fragen zum Rifting und zum Spannungsfeld:

- „Wie wichtig ist ECRIS und das regionale Spannungsfeld und dessen zeitliche Änderung?“
- „Gibt es Zusammenhänge zwischen dem Spannungsfeld der Erdkruste und dem Vulkanismus?“
- „In welchem Maße korreliert das (Paläo)-Spannungsfeld (und dessen zeitliche Variation) in (mittel)Europa mit vulkanischer Aktivität? Wodurch wird die zeitlich-räumliche Änderung des Paläospannungsfeldes kontrolliert?“
- „Was wissen wir über den Zusammenhang der Alpen-Orogenese und den süd-deutschen Vulkanfeldern? Was müsste dort noch erforscht werden?“

Fragen zu Datengrundlagen:

- „Fragen bezüglich der Bewertung von chronologischen Daten verschiedener Altersbestimmungsmethoden.“
- „Wie zuverlässig sind geochronologische Daten? Welche Unsicherheiten müssen hier angesetzt werden?“
- „Mich würde interessieren, welche Gewichtung geochronologische Daten bei der Gefahrenabschätzung erfahren und wie bisherige Daten in quantitative oder qualitative Aussagen über mögliche zukünftige vulkanische Aktivität einfließen.“
- „Wie ist die Datenlage zu Geochronologie von känozoischen Vulkaniten in Deutschland einzuschätzen und welcher Untersuchungsbedarf ergibt sich daraus, um methodisch abgesicherte zeitliche und regionale Trends ableiten zu können?“
- „Wie ist die Datenlage bezüglich der Herkunft der Magmen von känozoischen Vulkaniten (Plume, Asthenosphäre, Lithosphäre, Kruste) zu beurteilen? Welche Lücken bzw. offenen Fragen gibt es?“
- „Fragen über konsistente Daten des rezenten und suprezenten Stressfeldes in Europa.“
- „Welche Daten sollten zukünftig erhoben werden um unser Prozessverständnis über die deutschen Vulkanfelder zu verbessern? Wie könnte eine praktische Umsetzung aussehen?“

- Anhang 1 (Ergebnisse und Auswertung der Fragebögen) -

- “Can we distinguish between earthquake swarms related to neotectonics in the Rhine graben and magma movement?”
- „Wie tief gehen beobachtete Anomalien im Mantel wirklich, was sind die Unsicherheiten?“
- „Ob Sie meinen, dass es möglich ist Vorhersagen zu treffen über die nächsten Million Jahre, nur an Hand von geologischen, geophysikalischen und petrologischen Daten, ohne physikbasierte Simulationen.“
- „Was und wie wäre was modelltechnisch (geodynamisch) umsetzbar!“

Sonstige Fragen:

- „Gibt es Erkenntnisse zur Rekonstruktion von Paläo-Schäden zu Vulkanausbrüchen im Quartär auf deutschem Territorium?“
- „Können Szenarien entwickelt werden, welche Auswirkungen ein Endlager zuerst betreffen? (Ist es die Hebung und damit die Deformation des Endlagerbereichs? Ist es die Temperaturentwicklung? Ist die Entwicklung von Rissen/Reaktivierung von Störungen entscheidend?).“