



**Gutachten zur Prüfung des aktuellen Standes des  
Ausschlusskriteriums „vulkanische Aktivität“  
laut § 22 Abs. 2 Nr. 5 Standortauswahlgesetz**

Prognose vulkanische Aktivität

Auftraggeber: Nationales Begleitgremium  
Geschäftsstelle  
Buchholzweg 8  
13627 Berlin

Vergabestelle  
Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau

Autor(en): Dr. Jochen Zemke

Datum:	15.08.2020	Revision:	0	Anzahl Seiten (ohne Anlagen)	27
				Dr. Jochen Zemke	
				..... (Unterschrift)	

Inhalt

<b>Inhaltsangabe .....</b>	<b>1</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Vorbemerkungen und Aufgabenstellung .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Ausschlusskriteriums „vulkanische Aktivität“ .....</b>	<b>6</b>
2.1 Begriffsbestimmung zum Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“ .....	6
2.2 Ableitung des Ausschlusskriteriums „vulkanische Aktivität“ .....	7
2.3 Känozoischer Vulkanismus in Deutschland .....	10
2.4 Prognosemöglichkeit .....	12
2.4.1 Prozessverständnis – Geodynamik.....	12
2.4.2 Bewertungskriterien – Indikatoren.....	14
<b>3 Vorschlag Dr. Franz May zur Ableitung von Prognosen für    „vulkanische Aktivität“ .....</b>	<b>16</b>
3.1 Ausschlusskriterium – Ausweisung von Erwartungsgebieten.....	17
3.2 Stellungnahme zum Vorschlag .....	18
<b>4 Methodischer Umgang der BGE mit dem Ausschlusskriterium    „vulkanische Aktivität“ .....</b>	<b>21</b>
<b>5 Empfehlungen zum Umgang mit dem Ausschlusskriterium    „vulkanische Aktivität“ .....</b>	<b>23</b>
<b>6 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>24</b>
<b>7 Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>27</b>
<b>8 Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>27</b>

---

## Inhaltsangabe

Das Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“ definiert laut § 22 Abs. 2 Nr. 5 im Standortauswahlgesetz ein Gebiet, das nicht als Endlagerstandort geeignet ist, wenn quartärer Vulkanismus vorliegt oder zukünftig vulkanische Aktivität zu erwarten ist. Die historische Ableitung zum Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“ wird dargestellt und Möglichkeiten zur Prognose zukünftiger Ereignisse innerhalb des Nachweiszeitraums von 1 Millionen Jahren diskutiert. Der derzeitige Stand zur Prognose vulkanischer Aktivität in Deutschland und der methodische Umgang des Verfahrensträgers damit zur Ausweisung von potentiellen Gefährdungsgebieten wird aufgearbeitet und bewertet. Abschließen wird ein Ausblick und eine Empfehlung zu weiteren Verfahrensschritten in Bezug auf die Abgrenzung von Erwartungsgebieten und die Festlegung eines erweiterten Sicherheitsbereiches gegeben.

## **Abstract**

The exclusion criterion "volcanic activity" defines, according to Section 22 (2) No. 5 in the Site Selection Act, an area that is not suitable as a repository site if there is quaternary volcanism or if future volcanic activity is to be expected. The historical derivation of the exclusion criterion "volcanic activity" is presented and options for forecasting future events within the detection period of 1 million years are discussed. The current status of the prognosis of volcanic activity in Germany and the methodical handling of the responsible authority for the identification of potential hazard areas is processed and evaluated. Finally, an outlook and a recommendation for further procedural steps with regard to the delimitation of areas of expectation for volcanisms and the definition of an extended security area are given.

## 1 Vorbemerkungen und Aufgabenstellung

Mit dem Standortauswahlverfahren soll in einem partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahren für die im Inland verursachten hochradioaktiven Abfälle ein Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für eine Anlage zur Endlagerung nach § 9a Absatz 3 Satz 1 des Atomgesetzes in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt werden.

Die Aufgabe des Nationalen Begleitgremiums (NBG) ist gemäß § 8 Abs. 1 S. 1 Standortauswahlgesetz (StandAG) die vermittelnde und unabhängige Begleitung des Standortauswahlverfahrens, insbesondere der Öffentlichkeitsbeteiligung, mit dem Ziel, so Vertrauen in die Verfahrensdurchführung zu ermöglichen. Weiterhin wird in § 8 Abs. 4 S. 3 StandAG das NBG ermächtigt, in allen drei Phasen der Standortauswahl „sich durch Dritte wissenschaftlich beraten (zu) lassen“.

In der aktuellen Phase 1 des Standortauswahlverfahrens wird die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) als Vorhabenträger nach § 13 Abs. 2 S. 3 StandAG voraussichtlich noch in diesem Jahr einen Zwischenbericht veröffentlichen und an das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE, ehem. BfE Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit) übermitteln. Das BASE wird nach § 9 StandAG eine Fachkonferenz Teilgebiete einberufen, die den Zwischenbericht erörtert.

Das NBG möchte sich daher unabhängig und wissenschaftlich zu den für die Standortauswahl anzuwendenden Ausschlusskriterien, vor allem zu den derzeit noch nicht abschließend geklärten Fragen beraten lassen, um eine Grundlage für die erfolgreiche Öffentlichkeitsbeteiligung während der Vorbereitung der Fachkonferenz Teilgebiete zu schaffen.

Im vorliegenden Fall wurde ein Gutachten in Auftrag gegeben, um die folgende Frage zum aktuellen Stand des Ausschlusskriteriums „vulkanische Aktivität“ zu klären:

**„Wie ist die Prognose der vulkanischen Aktivität einzuschätzen, die die BGE vorgenommen hat?“**

Bereits in einem vorhergehenden Gutachten für das NBG (Brewitz, 2019) ergab sich der Hinweis zu weiterem Forschungsbedarf zur Prognose vulkanischer Aktivitäten in Deutschland.

In einem von der BGE in Auftrag gegebene Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) werden die Gebiete Eifel und östliche Oberpfalz als Gebiete mit zu erwartendem zukünftigen Vulkanismus genannt (May, 2019).

Insbesondere vor dem Hintergrund der in diesem Bericht gegebenen Einschätzung und der methodischen Umsetzung durch die BGE soll die oben genannte Frage beantwortet werden.

## 2 Ausschlusskriteriums „vulkanische Aktivität“

Eine Einschätzung zum aktuellen Stand des Ausschlusskriteriums „vulkanische Aktivität“ kann nur vor dem Hintergrund der historischen Entwicklung bis zu der im StandAG (2004) formulierten Definition für dieses Kriterium gegeben werden. Daher soll dieser zusammen mit den aus der Einschätzung von May (2019) dazu abgeleiteten Empfehlungen zur Erarbeitung eines Vorschlags zur Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland kurz zusammenfassend wiedergegeben und kommentiert werden. Zuvor wird eine kurze Begriffsbestimmung zum Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“ gegeben.

### 2.1 Begriffsbestimmung zum Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“

Unter dem Begriff Vulkanismus werden alle geologischen Vorgänge und Erscheinungen gefasst, die mit dem Austritt von heißen, flüssigen Gesteinsschmelzen und Gasen an der Erdoberfläche in Zusammenhang stehen (Schmincke, 2015). Beim Austritt von Magma an die Erdoberfläche wird das ruhige Ausfließen (Effusion) vom explosiven Herausschleudern (Eruption) unterschieden. Magmatischen Eruptionen, bei denen Explosion und Fragmentierung durch vom Magma mitgeführte juvenile Volatile verursacht werden, sind von phreatomagmatische Eruptionen, bei denen externes Wasser (Grund-, See-, Meer- und Schmelzwasser) eine Rolle spielt, zu unterscheiden. Die vielfältigen Erscheinungsformen der vulkanischen Aktivität können auf unterschiedliche Art und Weise entscheiden Einfluss auf die Sicherheit eines Endlagerstandortes haben.

Das Standortauswahlgesetz StandAG (2017) behandelt daher das Vorhandensein von vulkanischer Aktivität als ein geowissenschaftliches Ausschlusskriterium.

Das Ausschlusskriterium vulkanische Aktivität ist in § 22 Absatz 2 Nummer 5 wie folgt beschrieben: „es liegt quartärer Vulkanismus vor oder es ist zukünftig vulkanische Aktivität zu erwarten.“

Im Text zur Begründung für das StandAG ist dazu explizit dargelegt: „Durch das Kriterium werden Gebiete ausgeschlossen, für die auf Grund der geologischen Verhältnisse das Auftreten von Vulkanismus und daraus resultierende Beeinträchtigungen des Endlagers innerhalb des Nachweiszeitraumes befürchtet werden. Um das Gefährdungspotenzial von vulkanischen Aktivitäten angemessen zu berücksichtigen, sollte dabei ein Sicherheitsabstand von 10 km zu diesen Gebieten eingehalten werden“ (DS 18, 2017).

Zum Nachweiszeitraum wird im § 1 StandAG (2017) eine Zeitspanne von 1 Millionen Jahren angegeben: „[ ] die bestmögliche Sicherheit für den dauerhaften Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung und sonstigen schädlichen Wirkungen dieser Abfälle für einen Zeitraum von einer Million Jahren gewährleistet“.

## 2.2 Ableitung des Ausschlusskriteriums „vulkanische Aktivität“

### 2001 AKEnd-Arbeitsgruppe

In einer Ausarbeitung im Auftrag der Arbeitsgruppe „Kriterienentwicklung“ (AG-Krit) des Arbeitskreises „Auswahlverfahren Endlagerstandorte“ (AKEnd) schlägt Jentzsch (2001) die schrittweise Entwicklung eines Kriteriums „vulkanische Aktivität“ zum Ausschluss von Gebieten für die weitere Untersuchung hinsichtlich der Eignung als Standort eines Endlagers für radioaktive Abfälle vor.

In einem ersten Schritt sollen dafür zunächst in Gebieten mit in der jüngeren Erdgeschichte (Quartär) auftretendem Vulkanismus mögliche Gefährdungen identifiziert werden, wobei für unterschiedliche Eruptionstypen und Ausbruchsszenarien verschiedene Kriterien verwendet werden.

Die Festlegung eines allgemeinen Radius von derzeit 10 km führt dann zu einer Abgrenzung des Gefährdungsbereiches, in dem mit einem zukünftigen Aufleben des Vulkanismus zu rechnen ist.

In einem dritten Schritt wird geprüft, inwieweit für mögliche Endlagerstandorte in der Nähe der Abgrenzung durch lokale Faktoren eine zusätzliche Gefährdung zu erwarten ist.

Auch zur Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität finden sich bei Jentzsch (2001) erste Aussagen, die aufgrund einer Expertenbefragung abgeleitet wurden. Danach wird für die Eifel, innerhalb der oben beschriebenen Abgrenzung, die Wahrscheinlichkeit für einen erneuten Ausbruch in den nächsten eine Million Jahren mit 100 % angegeben. Für das Wiederaufleben des Vulkanismus im Vogtland und in Nordwestböhmen innerhalb des Prognosezeitraums von 1 Million Jahren wird dagegen eine Wahrscheinlichkeit von etwa 50 % angenommen.

### BGR 2019

In dem BGR Bericht von May (2019) werden die in den Arbeiten von Jentzsch (2001, 2013) am Beispiel der quartären Vulkanfelder der Eifel und des westlichen Egergrabens dargelegten Erkenntnisse, Daten und abgeleiteten Kriterien ausführlich diskutiert und mit den folgenden wesentlichen Anmerkungen versehen.

- Es wurden unterschiedliche Indikatoren zur Abgrenzung von Ausschlussgebieten verwendet, womit gegen das im StandAG festgelegte Gleichbehandlungsgebot einer ergebnisoffenen, wissenschaftsbasierten Vorgehensweise verstoßen würde.

- Eine mögliche räumliche Verlagerung der vulkanischen Aktivität, wie sie bereits für die Vulkanfelder im Quartär bekannt war, wurde nicht bei der Abgrenzung der Erwartungsgebiete für zukünftigen Vulkanismus berücksichtigt.
- Das Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“ wurde zunächst ausschließlich auf den quartären Vulkanismus beschränkt, ohne die langsam ablaufenden Prozesse des Magmenaufstiegs im Känozoikum und damit die Möglichkeit einer erneuten Aktivierung des ursprünglich jüngeren tertiären Vulkanismus auch nach sehr langen Ruhephasen mit zu berücksichtigen.
- Die pauschalen Angaben zu Eintrittswahrscheinlichkeiten für zukünftige vulkanische Aktivität entbehren eine umfassende und plausible Datengrundlage und einer laut StandAG entsprechenden wissenschaftsbasierten Herangehensweise. Eine Zuordnung in die Klasse der „wahrscheinlichen Entwicklungen“ mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von > 10 % entsprechend den Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle (BMU, 2010) sei daher nicht machbar.

Im Ergebnis der vorgenannten Diskussion leitet May (2019) Empfehlungen ab, die vom Verfasser im Rahmen des vorliegenden Gutachtens wie folgt eingeordnet werden.

- *„Die Indikatoren für zukünftigen Vulkanismus sollen nicht nur auf die Vulkanfelder, sondern auf Deutschland insgesamt angewandt werden.“*

Diese weitgehende Öffnung würde zwar die Transparenz des Verfahrens erhöhen, erscheint aber viel zu aufwändig und ist daher sowohl aus praktischen als auch aus wissenschaftlichen Erwägungen nicht umsetzbar.

- *„Der tertiäre Vulkanismus sollte für das Verständnis der geodynamischen Prozesse als Basis für die Bewertung der quartären und für die Prognose des zukünftigen Magmatismus mit einbezogen werden.“*

Dieser Aussage kann vollumfänglich zugestimmt werden, da einige Ursachen für den känozoischen Vulkanismus auch in Zukunft wirksam sein werden. Hier sind zum Beispiel das Spannungsfeld im Ergebnis der Alpidischen Orogenese, aktive Riftzonen, Zonen starker aktiver Hebung oder bevorzugte Aufstiegswege für Magma zu nennen (Meschede, 2018).

Die Aktivität einzelner Vulkane beziehungsweise Vulkanfelder ist im Tertiär zumeist über mehrere Millionen Jahre (fünf bis dreißig Millionen Jahre) belegt, wobei Zeiten intensiverer Aktivitäten mit einer Dauer von 2 bis 11 Millionen Jahren auch von mehreren Millionen Jahre andauernden Ruhephasen unterbrochen sein können (Hofbauer, 2016).



Jentzsch (2001) weist bereits auf die Möglichkeit des Auflebens des tertiären Vulkanismus hin, hat aber das Kriterium wegen der großen Unsicherheit der Prognostizierbarkeit solcher Ereignisse bisher nicht berücksichtigt.

- *„Die mögliche Verlagerung des quartären Vulkanismus in der Eifel sollte bei der Ausweisung zukünftiger Erwartungsgebiete berücksichtigt werden.“*

Diese Aussage sollte grundsätzlich beachtet werden und sobald Erkenntnisse darüber vorliegen, auch in den anderen Gebieten mit potentiell auftretendem Vulkanismus angewandt werden. Es wird aber bezweifelt, dass die Verlagerung der vulkanischen Aktivitäten im Quartär bei dem derzeitigen Kenntnisstand als primäres Ausschlusskriterium geeignet ist. Vielmehr sollte diese auf der Grundlage zusätzlicher standortspezifischer Untersuchungsprogramme im weiteren Verlauf des Verfahrens individuell für die einzelnen Regionen berücksichtigt werden.

- *„Auf die Angabe von Wahrscheinlichkeiten sollte verzichtet werden“*

Dazu hatte Jentzsch (2001) bereits vorgeschlagen, sich auf einen semiquantitativ ermittelten Ansatz zu beschränken, da „eine moderne, wissenschaftlich seriöse Gefährdungsanalyse des quartären Vulkanismus in der Osteifel nach wie vor aussteht.“ Auch aktuelle Untersuchungen (Hensch, 2019; Kreemer, 2020) belegen auch heute noch die regionale Spezifik und die andauernde Aktivität des Vulkanismus in der Osteifel.

Explizite Wahrscheinlichkeiten waren bereits gemäß der Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle BMU (2010) nur anzugeben, „falls eine quantitative Angabe zur Eintrittswahrscheinlichkeit einer bestimmten Entwicklung möglich ist.“

In einem neuen Entwurf für die Verordnung über Sicherheitsanforderungen und vorläufige Sicherheitsuntersuchungen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (BMU, 2020) ist dies im Abschnitt 2 Langzeitsicherheit noch näher ausgeführt. „Es werden keine konkreten Werte für die voraussichtliche Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Entwicklungen oder von Eigenschaften, Ereignissen und Prozessen vorgegeben, da die Einstufung der Entwicklungen an Hand streng rechnerisch abgeleiteter Wahrscheinlichkeiten in der Praxis nur in Ausnahmefällen möglich erscheint.“

Ein Gutachten von Prof. Jentzsch für das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie zur Vulkanischen Gefährdung in Sachsen (Jentzsch, 2013) das dem Verfasser nicht vorliegt, wurde in May (2019) kommentiert. Daraus ergibt sich in Hinblick auf die Anwendung des Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“ im Wesentlichen eine räumliche und zeitliche Ausweitung der Indikatoren.

Zur räumlichen Ausweitung stellt Jentsch in seinem Gutachten (2013) fest, dass sich zukünftige Eruptionen nicht nur auf den Bereich der vorhandenen Förderschloten eingrenzen lassen und die Abgrenzung von Arealen mit potentiell vulkanischem Vulkanismus im Bereich Vogtland, Egerbecken und Oberpfalz auch unter Einbeziehung benachbarter Gebiete mit auftretenden Schwarmbeben, quartären Vulkaniten und Mofetten erfolgen sollte. Aus dem Auftreten von Mofetten lassen sich insbesondere nach Analyse der austretenden Gase Hinweise auf magmatische Aktivitäten im Zusammenhang mit bereits erloschenen oder rezenten vulkanischen Aktivitäten ableiten. Sie gelten nach Schmincke (2014) als Begleiterscheinungen von Vulkanismus und sind definitionsgemäß mit prägend für diesen Ausdruck.

Die zeitliche Ausweitung wird bei Jentsch (2013) durch die Einbeziehung länger zurückliegender vulkanischer Aktivitäten (Tertiärer Vulkanismus) zur Ermittlung prognostischer Eintrittswahrscheinlichkeiten für zukünftige Ereignisse vorgenommen. Nur aus längeren Zeitreihen könnten so Prognosen zu zukünftigen vulkanischen Aktivitäten abgeleitet werden. Gleichzeitig weist Jentsch (2013) darauf hin, dass diese Aktivitäten kein stochastischer Prozess sind und Sprünge und Unterbrechungen im Känozoikum auch für zukünftige Szenarien berücksichtigt werden müssten.

### **2.3 Känozoischer Vulkanismus in Deutschland**

Die deutschen Vulkangebiete liegen zentral in der Europäischen erdneuzeitlichen Vulkanprovinz (Meyer & Foulger, 2007) und bilden einen breiten Gürtel vor dem Nordrand der Alpen und lassen so nach (Hofbauer 2016) mit ihrer Lage einen ursächlichen Zusammenhang mit dem vom Alpenraum ausgehenden Spannungszustand erkennen (siehe Abb. 1).

Die wesentlichen vulkanischen Aktivitäten in diesem Gebiet fanden abgesehen von schwachen Ereignissen in der Oberen Kreide vorwiegend im Tertiär, insbesondere im Oligozän und Miozän und nach einer Phase mit Unterbrechungen auch im Quartär statt.

Erdgeschichtlich junge vulkanische Gebiete sind in Deutschland in der West- und Osteifel sowie im westlichen Egergraben zu finden. Eine strikte zeitliche Abgrenzung der Aktivitäten dieser bis in die Gegenwart reichenden Phase gegenüber älteren vulkanischen Perioden ist nicht überall möglich, da es auch in der Vergangenheit immer mal Unterbrechungen der vulkanischen Aktivitäten von mehreren Millionen Jahren gegeben hat.

Die letzte Aktivitätsphase in der im nördlichen Teil des Vulkangürtels in Deutschland gelegenen Eifel liegt erst einige tausend Jahre zurück (Meschede, 2018). Der Ausbruch, der vor etwa 11.000 Jahren zur Entstehung des Ulmener Maars in der Osteifel führte, gilt als eines der jüngsten nachgewiesenen vulkanischen Ereignisse in Mitteleuropa (Zolitschka et al. 1995). Die jüngeren, sich entlang von NW-SE streichenden Störungszonen orientierenden, vulkanischen Aktivitäten in der West- und Osteifel begannen etwa vor 650.000 Jahren, während in der Hocheifel vor allem ältere Ausbrüche aus dem Tertiär dokumentiert sind.



**Abbildung 1: Vulkanfelder in Deutschland. Quelle: nach (Hofbauer, 2016)**

Aktive Vulkanfelder: Westeifel **WE**, Osteifel **OE**, quartärer westlicher Egergraben **QWEG**.

Tertiärzeitliche Vulkanfelder: Tertiäre Hocheifel **TH**, Siebengebirge **SG**, Westerwald **WW**, Vogelsberg **VB**, Hessische Senke **HS**, Rhön **RH**, Heldburger Gangschar **HGS**, tertiärer westlicher Egergraben **TWEG**, Lausitz **LA**, Erzgebirge um Scheibenberg **SBG**, Urach **UR**, Hegau **HE**, Kaiserstuhl **KS**.

Im tschechischen Teil des Egergrabens gelegene tertiärzeitliche Vulkanfelder:

Ceske Sfedohofi (Böhmisches Mittelgebirge) **CS**, Doupovske hory (Duppauer Gebirge) **DH**

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

Größere Gebiete mit känozoischen Vulkanismus finden sich auch im Westerwald, im Bereich des Vogelsberges, der Hessischen Senke, der Rhön und der Heldburger Gangschar. Weiter südlich gelegen sind der Kaiserstuhlvulkan, die Uracher Tuffschlote und die aufragenden Vulkanschlote des Hegau.

Am weitesten nördlich in Deutschland befinden sich östlich des Eggegebirges mehrere Lokationen, an denen mit miozänem Vulkanismus verbundene Gesteine, beziehungsweise CO<sub>2</sub>-Exhalationen auftreten (Wygash, 2007), (NTW/E, 2013), (Grabert, 1998). Zu diesen an Störungen (Osningachse, Driburger Achse) gebundenen Phänomenen gehören unter anderem die Vulkanite vom Uhlenberg bei Sandebeck, dem Desenberg bei Warburg und dem Hüsenberg bei Eissen, sowie die Mofetten (CO<sub>2</sub>) von Herste und Bad Driburg.

Bereits seit dem Beginn des Tertiärs (vor ~ 65 Mio. Jahren) gibt es im Egergrabengebiet mit Senkungszonen im zentralen Egergraben in Böhmen, in der Oberpfalz und im Fichtelgebirge Vulkanismus, der sich entlang einer aktiven Riftzone orientiert. Dieser war bis ins Quartär aktiv, wie durch das Alter von 300.000 Jahren des Vulkans Eisenbühl an der deutsch-tschechischen Grenze belegt ist. Neuere Funde in der Umgebung des Eisenbühl wie das Mytina-Maar mit einem Alter von etwa 288.000 Jahren (Mrlina, 2007) bestätigen die Aktivitäten in der jüngeren Erdgeschichte.

## **2.4 Prognosemöglichkeit**

Für eine Prüfung des aktuellen Standes des Ausschlusskriteriums „vulkanische Aktivität“ ist einerseits das zugrunde liegende Prozessverständnis, also die Ursache für den in Deutschland beobachteten quartären Vulkanismus und andererseits die Möglichkeit der Vorhersage anhand von unterschiedlichen Bewertungskriterien zu klären. Beide Punkte werden in den folgenden Abschnitten diskutiert.

### **2.4.1 Prozessverständnis – Geodynamik**

Die grundlegenden geodynamischen Prozesse zur Entstehung des Vulkanismus im Allgemeinen und dem känozoischen Vulkanismus in Deutschland sind in der von der BGE beauftragten Studie zu den Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland (May, 2019) in ausreichender Weise dargestellt und kommentiert worden.

Dabei werden ausgehend von der Mantelkonvektion als grundlegendem planetarischem Prozess die unterschiedlichen Theorien zu Ursachen für Vulkanismus diskutiert. Entweder als Weiterentwicklung auf der Basis der seit 1915 von Alfred Wegener postulierten Theorie der Kontinentaldrift, die dann als Plattentektonik wissenschaftlich Akzeptanz fand, oder des von Professor Jason Morgan seit 1971 zusätzlich eingeführten „Mantelplume“-Konzepts. Beide Ansätze zeigen Schwächen bei der generellen Erklärung aller beobachteten Phänomene

und sind Anlass langer, bis in die heutige Zeit andauernder wissenschaftlicher Dispute (Foulger, 2007, 2012), die an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden sollen.

Die Begriffe Plume oder auch Hotspot werden im wissenschaftlichen Kontext nicht immer eindeutig für dieselben geodynamischen Prozesse verwendet. Diese können in der Größenordnung sehr stark variieren zwischen sehr kleinen Baby-Plumes zu sehr großen, längere Zeit stabilen Super-Plumes mit einer durch Metasomatose geprägten Heterogenität beziehungsweise räumlichen Differenzierung des Magmas.

Auch eine Reaktion asthenosphärischer Schmelzen mit dem heterogenen lithosphärischen Mantel wird zur Entstehung von unterschiedlichen Magmenvarietäten in Erwägung gezogen (Rummel, 2018), sowie die weitere Differenzierung in unterschiedlichen Bereichen des lithosphärischen Mantels und der Kruste (Schmincke, 2007).

So konnte Puziewicz (2020) zeigen, dass große Teile des variskischen lithosphärischen Mantels in der Zeit nach der variskischen Orogenese und / oder während der Riftbildung im Känozoikum metasomatisch verjüngt wurden, während an einigen Stellen auch Schichten des subozeanischen Mantels, die dem wachsenden variskischen Orogen zugeführt wurden, erhalten sind.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass es bis heute keine alles umfassende, allgemeingültige Theorie für den Zusammenhang zwischen den wirkenden geodynamischen Prozessen einerseits und dem Auftreten von Vulkanismus andererseits gibt. Vielmehr stehen unterschiedliche Erklärungsansätze konkurrierend oder mit verschiedenen Abwandlungen und Anpassungen gleichzeitig zur Verfügung. Die Überprüfung der Anwendbarkeit der jeweiligen theoretischen Ansätze erfolgt unter Berücksichtigung der regionalen geologischen Situation durch aktuelle Forschungsprojekte. Wobei auch hier im Laufe der Zeit für einzelne Lokationen ein Paradigmenwechsel erfolgen kann.

Aktuelle Untersuchungen liefern, gestützt auf gekoppelte numerische Simulationen der Prozesse im Mantel und der Lithosphäre, ein verbessertes Verständnis der zugrunde liegenden Prozesse und tragen so dazu bei, dass die zunächst konträr erscheinenden Theorien (Plattentektonik versus Plume) zur Entstehung von Vulkanismus auch gemeinsam, in unterschiedlicher regionaler und zeitlicher Ausprägung angewendet werden können (Bunge und Glasmacher, 2018).

Die Prognosemöglichkeiten für zukünftige potentielle vulkanische Aktivität ist durch das Fehlen eines allumfassenden Erklärungsansatzes nur eingeschränkt gegeben. Es muss daher zunächst für jede Region / Lokalität mit möglichem Vulkanismus zunächst das Prozessverständnis geklärt / aktualisiert werden, bevor die zeitliche Entwicklung dieser Prozesse in die Zukunft anhand von geeigneten Indikatoren weiter eingegrenzt werden kann.

## 2.4.2 Bewertungskriterien – Indikatoren

Auf der Basis eines grundlegenden Prozessverständnis könnten zukünftige Entwicklungen zur vulkanischen Aktivität mit geeigneten, den Prozess begleitenden Indizien besser vorhergesagt werden. Franz May (2019) hat in seinem Kurzbericht zu den „Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland“ solche geodynamischen, geologischen, petrologischen und geochemischen Indikatoren benannt und die zugrunde liegenden Phänomene, Prozesse und Eigenschaften beschrieben.

Die genannten Indikatoren für zukünftig zu erwartende vulkanische Aktivität sind unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Kenntnisstandes vollständig aufgeführt und in Bezug auf ihre Prognosemöglichkeiten hinreichend beschrieben. Im Rahmen dieser Stellungnahme werden sie daher nicht noch einmal im Einzelnen bewertet werden, sondern sind zusammen mit Angaben zur Datenlage und zur Relevanz in der von May (2019) erstellten Tabelle 1 wiedergegeben. Die dazu subjektiv abgeschätzte Relevanz der Indikatoren ergibt sich aus der Möglichkeit mit den zu dem Indikator vorliegenden Informationen Prognosen für zukünftigen Vulkanismus ableiten zu können.

Viele der Indikatoren sind in ihrer Aussagekraft nicht eindeutig belegt, beziehungsweise werden weiterhin wissenschaftlich, zum Teil kontrovers diskutiert. Häufig liegen die Informationen mit Hinweisen auf mögliche zukünftige vulkanische Aktivität nicht flächendeckend vor, so dass die Indikatoren nur für regional begrenzte Gebiete angewendet werden können.

Ein allenfalls notwendiger Interpretationsbedarf soll am Beispiel der Schwereanomalien verdeutlicht werden. Schwereanomalien können u.a. sowohl ein Indikator für Magmenkammern als auch für andere Gesteinskomplexe, die im Zusammenhang mit Vulkanismus stehen; auftreten. So wurde in der Hocheifel im Gebiet des Vulkanfeldes eine negative Schwereanomalie vermessen, die insbesondere durch oberflächennahe differenzierte Vulkanite verursacht wird (DEKORP, 1991), während am Kaiserstuhl im Zusammenhang mit dem Vulkanismus mutmaßlich eine positive Schwereanomalie auftritt.

Zur Einordnung der Indikatoren ist es wichtig zu wissen, dass einige Indikatoren mit niedriger (z.B. neotektonische Aktivität, Schwereanomalien, Geoid,...) für sich allein betrachtet keine direkten Rückschlüsse auf eine mögliche vulkanische Aktivität erlauben, sondern nur im Zusammenhang mit weiteren Indikatoren höherer Relevanz oder in Ergänzung zu diesen.

Auch wenn für einzelne Indikatoren quantitative Werte vorliegen, kann eine auf der Basis der Informationen aus mehreren Indikatoren abgeleitete Prognose für zukünftigen Vulkanismus immer nur qualitativ vorgenommen werden, da es immer noch Unsicherheiten bei der vollständigen Beschreibung der zugrunde liegenden geodynamischen Prozesse und damit verbunden mit der entsprechenden Parametrisierung gibt und darüber hinaus auch noch größere Datenlücken vorhanden sind. Aus den gleichen Gründen ist auch die Festlegung von Grenzwerten oder Gefahrenklassen für einzelne Indikatoren nicht exakt wissenschaftlich zu belegen.

Tabelle 1: Vorläufige Übersicht zur Verfügbarkeit und Bedeutung von Daten zu möglichen Indikatoren. Quelle: Tabelle aus May (2019)

Indikator	Datenlage	Relevanz
Teleseismische Laufzeitanomalien im Erdmantel	regional	hoch
Tiefe niedrigfrequente DLF-Erdbeben	lokal	sehr hoch
Schwarmbeben	regional	mittel
Vulkano-tektonische Störungen	lokal	mittel
Wärmestromdichte	regional und lokal	gering bis mittel
Langfristige Hebung	regional	mittel
Extensives Spannungsfeld	deutschlandweit, heterogene Datendichte	mittel
Neotektonische Aktivität	deutschlandweit, regionale und lokale Einzelveröffentlichungen	gering bis mittel
Schwereanomalien	deutschlandweit	gering bis mittel
Magnetfeldanomalien	deutschlandweit	gering bis mittel
Geoid	deutschlandweit	gering
Tiefenseismische Strukturen	Meist nur 2D-Profile	gering bis mittel
Elektrische Leitfähigkeit	regional	gering
Ergebnisse von numerischen Simulationen der Mantelkonvektion	deutschlandweit, unsichere Parametrisierung	Prognosen fraglich
Ergebnisse numerischer Simulationen der Lithosphärendynamik	deutschlandweit, unsichere Parametrisierung	Prognosen fraglich
Verbreitung känozoischer Vulkanfelder	deutschlandweit	mittel bis hoch
Isolierte känozoische Vulkane	deutschlandweit	mittel
Mantelxenolithe	lokal bis regional	mittel
Krustenxenolithe	lokal bis regional	mittel
Phänokristalle	lokal bis regional	mittel
Gesteinschemismus	deutschlandweit	mittel
Thermalwässer	deutschlandweit	gering bis mittel
Geochronologische Daten	Felder: deutschlandweit, Vulkane: lokal	mittel bis hoch
Mofetten, Säuerlinge	deutschlandweit	mittel
Gas- und Isotopengeochemische Analysen von Mantelfluiden	lokale Spezialanalysen, nahezu deutschlandweit für Heliumisotopie	mittel
Ergebnisse petrologischer Experimente	lokal an ausgewählten Proben aus Deutschland, international an vergleichbaren Proben	wichtig für Prozessverständnis, Prognosen fraglich
Numerische Modelle zur Genese und Differenziation von Magmen	prinzipiell auf alle Schmelzprozesse und Magmen anwendbar	wichtig für Prozessverständnis, Prognosen fraglich

### 3 Vorschlag Dr. Franz May zur Ableitung von Prognosen für „vulkanische Aktivität“

Auf Veranlassung der BGE hat Dr. Franz May in einem Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (May, 2019) nach Überprüfung des Sachstandes, des Standes der wissenschaftlichen Forschung und der Datenlage einen Vorschlag zur Erarbeitung von Prognosen zur vulkanischen Aktivität dargelegt.

Darin findet sich zunächst die Aussage, dass es zwar besonders in jüngster Vergangenheit eine deutliche Wissenszunahme zu geodynamischen Prozessen als Ursache für Vulkanismus gegeben hat, aber auch, dass das heutige Prozessverständnis nicht ausreicht, um quantitative Aussagen zu Eintrittswahrscheinlichkeiten für zukünftige vulkanische Aktivität für den Nachweiszeitraum von 1 Millionen Jahren zu machen.

Wie bereits von Jentzsch (2001) vorgeschlagen, erscheint es nach May (2019) derzeit möglich, basierend auf einem semiquantitativen Ansatz Gebiete auszuweisen in denen eher mit zukünftig auftretendem Vulkanismus zu rechnen ist. Eine Quantifizierung soll, soweit dies möglich ist, anhand der in Kapitel 2.4.2 vorgeschlagenen Indikatoren vorgenommen werden.

Nach Hinweis auf unterschiedliche Relevanz der verschiedenen Indikatoren, lassen sich nach May (2019) unter Berücksichtigung von Koinzidenzen und Kausalitäten und noch vorhandenen Datenlücken beziehungsweise Unsicherheiten, aus der Kombination der Indikatoren zu einem Index die folgende Kategorisierung zu zukünftigen vulkanischen Aktivitäten vornehmen:

- **Erwartete Aktivität - vulkanische Aktivität wahrscheinlich**  
Für den bereits seit dem Tertiär andauernden Vulkanismus in den quartären deutschen Vulkangebieten in der Eifel und im Egergraben (Oberpfalz) ist das erneute Auftreten von vulkanische Aktivität im Nachweiszeitraum von 1 Millionen Jahren zu erwarten.
- **Mögliche Aktivität - vulkanische Aktivität weniger wahrscheinlich**  
In den tertiären Vulkanfeldern in einem Gürtel zwischen Eifel und Lausitz, sowie in den Gebieten des Kaiserstuhls und Urach-Kirchheim ist aufgrund des Wiederauflebens des Vulkanismus auch nach mehreren Millionen Jahren Unterbrechung auch zukünftig die Möglichkeit für vulkanische Aktivität gegeben.
- **Nicht auszuschließende Aktivität - vulkanische Aktivität nicht unwahrscheinlich**  
Im Randbereich beziehungsweise angrenzend an die vorgenannten Gebiete kann nicht ausgeschlossen werden, dass es zukünftig vulkanische Aktivität geben könnte. Das gilt insbesondere für Bereiche in denen Indikatoren, wie Anomalien im oberen Erdmantel, Mantelgasaustritten oder Mofetten und Säuerlingen auf Magmatismus hinweisen, auch wenn bisher noch keine klassischen Vulkanausbrüche belegt sind.



### 3.1 Ausschlusskriterium – Ausweisung von Erwartungsgebieten

Für die nach § 13 StandAG geforderte Ermittlung von Teilgebieten ist in Bezug auf das Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“ auch eine räumliche Zuordnung der Gebiete in denen diese Aktivität zukünftig **erwartet** wird, **möglich** ist oder **nicht ausgeschlossen** werden kann, vorzunehmen.

In Ermangelung eines allumfassenden Prozessverständnisses für die Ursachen und Abläufe des Vulkanismus und weiterhin vorhandenen Unsicherheiten und Datenlücken hält May (2019) im ersten Schritt einen pragmatischen Ansatz für sinnvoll.

Für die **erwartete Aktivität** in den aktiven **quartären Vulkanfeldern** wird ein Umkreis von **75 km** um die heute bekannten Eruptionszentren angegeben. Dazu wird der folgende Ansatz gewählt:

- 15 km Ausdehnung der Mantelquelle als möglicher Aufstiegsbereich, ermittelt aus dem Neigungswinkel von Deep-Low-Frequency (DLF) und Schwarmbeben in der Osteinifel (Hensch, 2019).
- 50 km Umkreis zur Berücksichtigung der weiteren Ausdehnung der Vulkanfelder in den nächsten 1 Million Jahren auf der Basis der von Mertz (2015) ermittelten lateralen und vertikalen Bewegungen, einer mit der vulkanischen Aktivität in Verbindung gebrachten, hoch dynamischen Anomalie, in der Größenordnung von etwa 5 cm/Jahr.
- 10 km für den von Jentzsch (2001) bereits genannten Sicherheitsaufschlag zur Berücksichtigung eines möglichen Einwirkradius.

Für die **mögliche Aktivität** in den derzeit ruhenden **tertiären Vulkanfeldern** wird für das Aufleben des Vulkanismus ein Bereich mit einem Saum von **25 km** um die bekannten Vulkanfelder angegeben. Dabei werden im Wesentlichen die gleichen Annahmen wie bei den quartären Vulkanfeldern verwendet. Eine Berücksichtigung der weiteren Ausdehnung ist für den ruhenden tertiären Vulkanismus allerdings nicht vorgenommen worden.

Für die Ausweisung darüber hinausgehender Zonen mit **nicht auszuschließender Aktivität** in den **erweiterten Randbereichen** gibt es keine konkrete Angabe für die Ausweisung von Flächen. Diese könnten sich beispielsweise an der flächenhaften Verbreitung der Mitteleuropäischen Asthenosphärenanomalie (Meyer, 2016) orientieren, da diese auch andere Indikatoren für eine mögliche vulkanische Aktivität wie einen CO<sub>2</sub> Aufstieg oder das Vorhandensein singulärer Vulkane mit erfasst.

Die so ausgewiesenen Gebiete könnten nach (May, 2019) im Standortauswahlverfahren als erster Schritt zur vereinfachten, qualitativen Ausweisung für Gebiete mit zukünftigem Vulkanismus verwendet werden.

In weiteren Schritten könnten sie auch modifiziert und an eine veränderte Datengrundlage beziehungsweise neuere wissenschaftliche Erkenntnisse angepasst werden. Dabei wäre auch über eine weitere Ausweitung der Erwartungsgebiete (konservativer Ansatz) oder eine engere Abgrenzung (stringenter Ansatz) zu entscheiden.

### 3.2 Stellungnahme zum Vorschlag

Die auf der Basis des Vorschlags von May (2019) qualitativ unterschiedenen Gebiete mit erwarteter bis hin zu nicht gänzlich auszuschließender zukünftiger vulkanischer Aktivität umfassen in ihrer Gesamtheit ein deutlich größeres Areal als die zuletzt von Jentzsch (2013) für einen Ausschluss aufgrund vulkanischer Aktivität genannte Umgrenzung.

Ein wesentlicher Unterschied bei der Ausweisung der Erwartungsgebiete besteht in der Berücksichtigung einer möglichen Verlagerung der quartären Vulkanfelder im Nachweiszeitraum. Die dabei zu erwartende Größenordnung wurde anhand von Ergebnissen von Messungen in einem Vulkanfeld in der Westeifel abgeschätzt.

Dazu ist anzumerken, dass die dafür erforderliche radiometrische Altersbestimmung der Vulkanite keinen exakten Rückschluss auf die genaue räumliche und zeitliche Zuordnung zulässt und so die tatsächlichen Bewegungsmuster nur abgeschätzt werden können. Des Weiteren ist zu hinterfragen, inwieweit sich die in einem Vulkanfeld abgeleitete Ausdehnung auf die anderen Regionen mit quartären Vulkanismus uneingeschränkt übertragen lässt, ohne die dort vorhandenen lokalen Randbedingungen zu berücksichtigen.

Insgesamt erscheint diese pauschale Ausweitung des Erwartungsgebietes noch als zu wenig wissenschaftlich belegt und ohne weitere standortspezifische Untersuchungen daher als Begrenzung für das Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“ im ersten Schritt nicht vertretbar. Die zugrunde liegenden wissenschaftlichen Methoden sind aber sehr wohl geeignet, um in Verbindung mit zusätzlichen regionalen Untersuchungen im weiteren Verfahrensverlauf mögliche Gefährdungsbereiche auszuweisen.

Auch die sowohl für die quartären als auch die tertiären Vulkanfelder ausgewiesene Größe einer möglichen Mantelquelle von 15 km ist nur exemplarisch für die Osteifel abgeleitet worden. Auf Grund der Methodik der Auswertung muss für das Ergebnis ein deutlicher Fehlerbereich in Betracht gezogen werden. Die generelle Übertragbarkeit auf alle anderen quartären und tertiären Vulkanfelder ist keinesfalls wissenschaftlich belegt und auf dieser Basis auch nicht transparent kommunizierbar.

Für die Ausweisung von Flächen, die noch darüber hinausgehen und nicht auszuschließende Aktivitäten beinhalten, ist nach May (2019) keine konkrete Eingrenzung möglich. Diese können also derzeit ohne weitere Untersuchungen oder Analysen als Ausschlusskriterium nicht in Betracht gezogen werden.

Die im Rahmen dieses Gutachtens zu beantwortende Frage:

**„Wie ist die Prognose der vulkanischen Aktivität einzuschätzen, die die BGE vorgenommen hat?“**

ist also wie folgt zu beantworten:

- Auf der Basis des derzeitigen eingeschränkten Prozessverständnisses können Eintrittswahrscheinlichkeiten für vulkanische Aktivität in den nächsten 1 Millionen Jahren nicht quantifiziert werden (May, 2019).
- Es wird stattdessen ein semiquantitativer Ansatz zur Abgrenzung von Gebieten mit erwarteten, möglichen und nicht auszuschließenden zukünftigen Ereignissen vorgeschlagen. Dieses pragmatische Vorgehen scheint geeignet in der Zukunft Lokationen mit unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten für Vulkanismus zu differenzieren. Es gibt aber derzeit weder einen wissenschaftlichen Konsens zur Abgrenzung der unterschiedlichen Wahrscheinlichkeitsklassen (Gefährdungsbeurteilung) noch zu den dazu auszuweisenden jeweils betroffenen Regionen.
- Eine erweiterte Datenbasis und eine tiefergehende Analyse der geodynamischen Prozesse unter Einbeziehung aller standortspezifischen Charakteristika des Vulkanismus sollte genutzt werden, um die Fähigkeit zur Prognose der vulkanischen Aktivität weiter zu verbessern.

Abschließend weist May (2019) darauf hin, dass die Kriterien in weiteren Schritten bei Vorliegen einer erweiterten Datenbasis oder neueren Erkenntnissen auch modifiziert werden und die Erwartungsgebiete entweder ausgeweitet oder enger begrenzt werden könnten. Im wissenschaftlichen Kontext ist eine solche Vorgehensweise vollkommen nachvollziehbar. Im Zusammenhang mit der praktischen Durchführung des Standortauswahlverfahrens im Sinne des StandAG wird diese Möglichkeit aber eher kritisch gesehen.

Als konservativer Ansatz sollte hier eine Methode gewählt werden, mit der zunächst nur Gebiete ausgeschlossen werden, für die nach derzeitigem Kenntnisstand, wissenschaftlich fundiert und transparent durch eine breite Öffentlichkeit nachvollziehbar vulkanische Aktivitäten zu erwarten sind.

Dabei sollte zunächst eine Beschränkung auf Gebiete erfolgen, für die es einen breiten wissenschaftlichen Konsens gibt. Hiermit wird auch der Tatsache Rechnung getragen, dass eine spätere Rücknahme von einmal ausgeschlossenen Gebieten im laufenden Verfahren nur sehr schwer umsetzbar, juristisch anfechtbar und öffentlich schwer vermittelbar wäre.

Ausgehend von diesen auf der Basis des „kleinsten gemeinsamen Nenners“ definierten Kernzonen wird eine spätere Ausweitung „step by step“ in einzelnen Regionen unter Einbeziehung aller standortspezifischen wissenschaftlichen Erkenntnisse eher den Anforderungen des StandAG (2017) nach einem „partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahren“ gerecht. Wohlwissend, dass unter ökonomischen Aspekten und Berücksichtigung eines vermeintlich höheren Sicherheitsempfindens die frühzeitige Ausweisung von größeren Ausschlussgebieten subjektiv zu bevorzugen wäre.

Bei der bereits genannten standortspezifischen Ausweitung der Einflussgebiete sollte dann neben der Vergrößerung der Zonen für einen potentiellen Ausbruch auch die möglicherweise vergrößerten Einwirkbereiche mit berücksichtigt werden. Für die plinianische Eruption des Laacher See-Vulkans vor 12.900 Jahren sind diese Einwirkungen durch weitreichende Vulkanaschewolken, pyroklastische Ströme, Lahare und mächtige Tephra-Ablagerungen sehr gut erforscht. Sie hätten unter Beachtung der regionalen Topographie und der aktuellen Besiedlung verheerende Folgen für die bestehende Infrastruktur und damit gegebenenfalls auch auf einen möglichen Endlagerstandort selbst in einer sehr weiten Umgebung um das Eruptionszentrum.

#### 4 Methodischer Umgang der BGE mit dem Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“

Basis für den methodischen Umgang der BGE mit dem Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“ sind die folgenden von Jentzsch (2001) getätigten und von May (2019) auch aktuell bestätigten Aussagen:

- Quantitative Prognosen zu zukünftigen vulkanischen Aktivitäten können auf der Basis des derzeitigen Prozessverständnisses für den Nachweiszeitraum von 1 Millionen Jahren nicht gegeben werden.
- Für die quartären Vulkangebiete in der Eifel und in der Region Vogtland-Oberpfalz gilt aufgrund vergleichbarer Abläufe im Tertiär, mit einem Wiedererwachen des Vulkanismus nach mehreren Millionen Jahren langen Ruhephasen, eine vulkanische Aktivität innerhalb der nächsten 1 Millionen Jahre als wahrscheinlich.

Für den Ausschluss nach dem Kriterium „vulkanische Aktivität“ schlägt die BGE daher Gebiete vor, in denen quartärer Vulkanismus bekannt ist. Zur Abgrenzung der Gebiete wird in Ermangelung weiterer, allgemeingültig festgehaltener, wissenschaftlicher Kriterien zunächst der von Jentzsch (2001) vorgeschlagene Ansatz verwendet, nachdem zur Berücksichtigung der Auswirkungen zukünftiger vulkanischer Aktivität ein Radius von **10 km um jedes Eruptionszentrum** in den bekannten quartären Vulkangebieten in der Eifel und der Region Vogtland-Oberpfalz gezogen wird. Nach der Auswertung einer Datenabfrage zu quartärem Vulkanismus und zur Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität bei den Geologischen Diensten der Bundesländer und der BGR arbeitet die BGE derzeit an einer Aktualisierung der von Jentzsch (2001) verwendeten Datengrundlage

Konkret folgt die BGE dabei den Empfehlungen des AkEnd (2002) und dem Begründungstext des StandAG (DS 18, 2017), nachdem die potentielle Gefährdungsgebiete mit bekannten quartärem Vulkanismus beziehungsweise in den nächsten 1 Millionen Jahren zu erwartenden vulkanischen Aktivitäten mit einem **Sicherheitssaum von 10 km** um vulkanische Eruptionszentren in der Eifel und der Region Vogtland-Oberpfalz abzugrenzen sind. Auf diese Weise soll sowohl der untertägige, aber insbesondere auch der übertägige Einwirkungsbereich einer zukünftigen vulkanischen Aktivität berücksichtigt werden.

Die so ausgeschlossenen Gebiete sind zunächst deutlich kleiner als die von May (2019) aufgrund der vorgeschlagene Methodik zu bestimmenden Gebiete unter Verwendung der genannten Indikatoren. In einem ersten Schritt können nach Einschätzung der BGE auf der Grundlage der derzeitigen Datenbasis und Erkenntnislage noch nicht alle zukünftigen Prozesse, wie zum Beispiel die räumliche Ausweitung des quartären Vulkanismus (Mertz, 2015) sicher wissenschaftlich fundiert berücksichtigt werden.

Es wird zunächst nur ein „Minimalabstand“ von den bekannten Eruptionszentren angegeben, der nach wissenschaftlichem Konsens derzeit sicher belegbar ist. Ein weiterer Aufschlag zur Ausweitung des Sicherheitsbereichs kann daher in weiteren Verfahrensschritten nur zu einer Vergrößerung und nicht zu einer Rücknahme der bereits ausgeschlossenen Gebiete führen, was wie in Kapitel 3.2 bereits beschrieben, für eine erfolgreiche Durchführung des Standortauswahlverfahrens im Sinne des StandAG von Vorteil ist.

Für die Anwendung der von May (2019) vorgeschlagenen Indikatoren und anderer Untersuchungsergebnisse zur Ausweisung von Gebieten mit zu erwartender vulkanischer Aktivität fehlt demnach derzeit noch eine fundierte wissenschaftliche Grundlage.

Die BGE hat daher ein Forschungsvorhaben an Professor Jentzsch (Universität Jena) und Professor Schreiber (Universität Duisburg-Essen) vergeben, durch das Gebiete mit einem Risiko für zukünftige vulkanische Aktivität lokalisiert und einer präziseren Gefährdungsanalyse unter Beachtung der individuellen Charakteristik des lokalen Vulkanismus unterzogen werden, um in dieser Hinsicht angepasste Sicherheitszonen auszuweisen. Die Lokalisierung der Risikogebiete soll dabei nicht nur anhand von quartären Eruptionszentren erfolgen, sondern auch bisher nicht berücksichtigte Gebiete mit möglicher Gefährdung, die durch jüngeren tertiären Vulkanismus oder andere vulkanische Phänomene, wie zum Beispiel Mofetten angezeigt ist, umfassen. Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens liegen derzeit noch nicht vor und sollen in einem zweiten Schritt der ersten Phase des Standortauswahlverfahrens berücksichtigt werden.

## 5 Empfehlungen zum Umgang mit dem Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“

Auf der Basis von jahrzehntelanger Erfahrung aus der Erkundung und Bewertung von unterirdischen Speicheranlagen kann abgeleitet werden, dass eine pauschalierte Bewertung über mehrere Kriterien auch bei einer entsprechenden Wichtung der einzelnen Kategorien nicht zwangsläufig zielführend ist. Sicherlich lassen sich auf diese Weise Hinweise auf Vorzugsregionen, in diesem Fall Ausschlussregionen ableiten. Immer ist darauf aufbauend oder unabhängig davon aber eine standortspezifische Analyse vorzunehmen, die die regionalen Besonderheiten berücksichtigt.

Auf diese Weise können für unterschiedliche Regionen auch verschiedenen Bewertungsgrundlagen für das Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“ herangezogen werden, wie das beispielsweise bei Jentzsch (2001) für die Regionen Eifel einerseits und Vogtland und Nordwestböhmen andererseits erfolgt ist. Auch die BGE folgt in ihrer Methodik letztlich dieser individuellen Herangehensweise für die Gefährdungsanalyse der verschiedenen Regionen.

Auch wenn dies zunächst gegen den Gleichheitsgrundsatz und eine ergebnisoffene, unvoreingenommene Bewertung aller Regionen verstoßen mag, wie von May (2019) eingeschätzt wird, entspricht dieses Vorgehen jedoch der gängigen Praxis und dem Stand von Wissenschaft und Technik bei der untertägigen Erkundung.

Pauschalierte Bewertungsansätze auch mit der Angabe von Eintrittswahrscheinlichkeiten für einzelne Kriterien können allenfalls für erste vorläufige Einschätzungen verwendet werden. Eine endgültige Bewertung kann erst im Rahmen der weiteren Bewertung und Erkundung unter Berücksichtigung regionaler beziehungsweise standortspezifischer Besonderheiten erfolgen.

Der Verfasser hat langjährige Erfahrung im Umgang mit dem Begriff „Geologisches Risiko“ bei der Erkundung und Bewertung von geeigneten Standorten für die unterirdische Speicherung von verschiedenen gasförmigen und flüssigen Medien und mehrfach erlebt, wie ein einzelnes negatives Ergebnis bei der standortspezifischen Untersuchung trotz der positiven Bewertung aller anderen Analyseparameter zum Ausschluss beziehungsweise zum vollständigen Abbruch für das Erkundungsprojekt führen kann.

Im umgekehrten Fall sollten für das Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“ zunächst nur die nach derzeitigem Stand von Wissenschaft und Technik sicher begrenzten Kernzonen ausgeschlossen werden und darauf aufbauend „step by step“ mit wachsendem Erkenntnisstand und unter Berücksichtigung aller lokaler Randbedingungen und Einwirkbereiche um weitere Sicherheitsbereiche erweitert werden.

## 6 Literaturverzeichnis

Brewitz, W. (2019): Einsicht in die Akten der BGE durch NBG-Gutachter Prof. Dr. Wernt Brewitz.

[https://www.nationalesbegleitgremium.de/SharedDocs/Downloads/DE/Downloads\\_Akteneinsicht\\_NBG/Akteneinsicht\\_BGE\\_Prof\\_Brewitz\\_28.05.2019.html?nn=12378128](https://www.nationalesbegleitgremium.de/SharedDocs/Downloads/DE/Downloads_Akteneinsicht_NBG/Akteneinsicht_BGE_Prof_Brewitz_28.05.2019.html?nn=12378128)  
(Stand: 12.06.2020)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2010): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle. Berlin, 22 S.

[https://www.bmu.de/fileadmin/bmu\\_import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/sicherheitsanforderungen\\_endlagerung\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/bmu_import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/sicherheitsanforderungen_endlagerung_bf.pdf) (Stand: 20.06.2020)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2020): Verordnung über Sicherheitsanforderungen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle. Berlin, 64 S.

[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Glaeserne\\_Gesetze/19\\_Lp/endsianf\\_verordnung/Entwurf/endsianf\\_vo\\_refe\\_verordnung\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Glaeserne_Gesetze/19_Lp/endsianf_verordnung/Entwurf/endsianf_vo_refe_verordnung_bf.pdf)  
(Stand: 20.06.2020)

Bunge, H.-P., Glasmacher U. A. (2018): Models and observations of vertical motion (Move-On) associated with rifting to passive margins: Preface, Gondwana Research Volume 53: Pages 1-8

DEKORP Research Group (1991): Results of the DEKORP 1 (BELCORP-DEKORP) deep seismic reflection studies in the western part of the Rhenish Massif. Geophysical Journal International 106: 203-227

Drucksache des Deutschen Bundestages 18/11398 vom 07.03.2017: Entwurf eines Gesetzes zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze.  
<https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/113/1811398.pdf> (Stand: 18.06.2020)

Friedrich, A. M., Bunge, H.-P., Rieger, S. M., Colli, L., Ghelichkhan, S., Nerlich, R. (2018): Stratigraphic framework for the plume mode of mantle convection and the analysis of interregional unconformities on geological maps, Gondwana Research, Volume 53: Pages 159-188

Grabert, H. (1998): Abriss der Geologie von Nordrhein-Westfalen, S. 285–292, Stuttgart, Schweitzerbart



- Foulger, G. R. (2007). The "plate" model for the genesis of melting anomalies. Special Paper of the Geological Society of America 430: 1-28
- Foulger, G. R. (2012). Plates vs. Plumes: A geological controversy. Bulletin Volcanology 74: 1257–1258
- Hensch, M., Dahm, T., Ritter, J., Heimann, S., Schmidt, B., Stange, S., Lehmann, K. (2019): Deep low-frequency earthquakes reveal ongoing magmatic recharge beneath Laacher See Volcano (Eifel, Germany). Geophysical Journal International 216: 2025–2036
- Hofbauer, G. (2016): Vulkanismus in Deutschland. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 224 S.
- Jentzsch, G. (2001): Vulkanische Gefährdung in Deutschland. Entwicklung eines Kriteriums zum Ausschluss von Gebieten für die weitere Untersuchung hinsichtlich der Eignung als Standort eines Endlagers für radioaktive Abfälle. K-MAT 12-14.  
<http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/18/C...012-14.pdf> (Stand: 22.05.2020)
- Jentzsch, G. (2013): Ausarbeitung vulkanische Gefährdung in Sachsen. Unveröffentlichtes Gutachten für das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Jena, 35 S.
- Jorzik, O. (2020): Lassen sich vulkanische Risiken und eventuelle Katastrophen managen? In D. Spreen, J. Kandarr & O. Jorzik (Hrsg.), ESKP-Themenspezial Vulkanismus und Gesellschaft. Zwischen Risiko, Vorsorge und Faszination. Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.  
<https://doi.org/10.2312/eskp.2020.2.3.1> (Stand: 12.07.2020)
- Kreemer, C., Blewitt, G., Davis, P. M. (2020): Geodetic evidence for a buoyant mantle plume beneath the Eifel volcanic area, NW Europe. Geophysical Journal International 222: 1316–1332
- May, F. (2019): Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland. Kurzbericht, BGR Hannover, 87 S.  
[https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Aktuelles/2020\\_10\\_16\\_prognose\\_vulkanismus.html](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Aktuelles/2020_10_16_prognose_vulkanismus.html) (Stand: 20.05.2020)
- 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.

- 
- Mertz, D.F., Löhnertz, W., Nomade, S., Pereira, A., Prelević, D., Renne, P.R. (2015): Temporal–spatial evolution of low-SiO<sub>2</sub> volcanism in the Pleistocene West Eifel volcanic field (West Germany) and relationship to upwelling asthenosphere
- Meschede, M. (2018): Geologie Deutschlands - Ein prozessorientierter Ansatz, 2. Auflage, Springer Spektrum, Berlin, 252 S.
- Meyer, R., Foulger, G.R. (2007) The European Cenozoic Volcanic Province is not caused by mantle plumes. <http://www.mantleplumes.org/WebpagePDFs/Europe.pdf> (Stand: 30.06.2020)
- Mrlina, J., Kämpf, H., Geissler, W.H., van den Bogaard, P. (2007): Assumed Quaternary maar structure at the Czech/German border between Mýtina and Neualbenreuth (western Eger Rift, Central Europe): geophysical, petrochemical and geochronological indications. Zeitschrift für geologische Wissenschaften, Berlin 35 4–5: 213–230
- Naturpark Teutoburger Wald/Eggegebirge (2013): Der nördlichste Vulkan Deutschlands.- 2 Seiten.
- Oppenheimer, C. (2011): Eruptions that Shook the World. Cambridge: Cambridge University Press.
- Puziewicz, J., Matusiak-Małek, M., Ntaflou, T., Grégoire, M., Kaczmarek, M.-A., Aulbach, A., Ziobro, M., Kukuła, A. (2020): Three major types of subcontinental lithospheric mantle beneath the Variscan orogen in Europe, Lithos Volumes 362–363, 105467
- Rummel, L., Kaus, B.J.P., Baumann, T.S. White, R.W.(2019): Compositional evolution in magmatic systems investigated by coupled petrological-geodynamical models, Geophysical Research Abstracts, Vol. 20, EGU2018-12805.
- Schmincke, H.-U. (2007): The Quaternary Volcanic Fields of the East and West Eifel (Germany), In: Ritter J.R.R., Christensen U.R. (eds) Mantle Plumes. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-68046-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-540-68046-8_8) (Stand: 12.06.2020)
- Schmincke, H.-U. (2014): Vulkane der Eifel. Springer Spektrum, 2. Auflage, 168 S.
- Schmincke, H.-U. (2015): Vulkanismus. Wbg Academic in Wissenschaftliche Buchgesellschaft (WBG), 4. Auflage, 168 S.
- Wygasch, J. (2007): Vulkanismus im Paderborner Land.- in Naturwissenschaftlicher Verein Paderborn e.V. (Hrsg.): Mitteilungen, S. 3-11, Paderborn

---

Zolitschka, B., Negendank, J.F.W., Lottermoser, B.G. (1995): Sedimentological proof and dating of the Early Holocene volcanic eruption of Ulmener Maar (Vulkaneifel, Germany). *Geologische Rundschau* 84, 213–219. <https://doi.org/10.1007/BF00192252> (Stand: 18.06.2020)

## 7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Vorläufige Übersicht zur Verfügbarkeit und Bedeutung von Daten zu möglichen Indikatoren. Quelle: Tabelle aus May (2019)	15
-----------	---	----

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Vulkanfelder in Deutschland. Quelle: nach (Hofbauer, 2016)	11
-------------	--	----