Was steckt hinter den Ausschlusskriterien?

Gestartet wurde die Suche nach einem geeigneten Ort für ein Endlager für hoch radioaktive Abfälle mit einer weißen Deutschlandkarte. Das heißt, dass es keine Vorauswahl gab, die Suche fing bei Null an. Mithilfe der sogenannten Ausschlusskriterien wird nun eine erste Auswahl an Gebieten identifiziert, die nicht für einen Endlagerstandort in Frage kommen. Die Kriterien stehen im Standortauswahlgesetz (StandAG) in Paragraf 22.

Trifft auch nur eines der sechs Ausschlusskriterien auf ein Gebiet zu, wird es von dem weiteren Verfahren ausgeschlossen. Die einzelnen Ausschlusskriterien sollen im Folgenden erklärt werden. Oft sind die geologischen Prozesse komplex, sodass hier kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird. Vielmehr soll eine Idee von den zugrundliegenden geologischen Prozessen gegeben werden.

Großräumige Vertikalbewegungen

Wenn eine großräumige Hebung (ohne Einfluss von Menschen) in den nächsten eine Million Jahren zu erwarten ist, wird das Gebiet nach dem StandAG aus dem weiteren Verfahren ausgeschlossen. Eine Million Jahre sind der sogenannte „Nachweiszeitraum“. Alle Sicherheitsanforderungen in dem Prozess der Standortauswahl müssen für diesen Zeitraum gelten. Während dieser eine Million Jahre sollte es nach diesem Ausschlusskriterium also zu keinen großräumigen Hebungen kommen, die im Durchschnitt 1 mm/Jahr überschreiten. 1 mm hört sich zunächst sehr wenig an, aber mit eine Million multipliziert würde sich daraus im Nachweiszeitraum eine Hebung von 1000 m ergeben.

Aber wie können solche Hebungen überhaupt zustande kommen?
Es gibt eine ganze Reihe von Mechanismen, die zu einer Hebung der Erdoberfläche führen können. Hier sollen beispielhaft als weiträumige Prozesse die Hebung durch das Ende von Kaltzeiten und die Gebirgsbildung näher erläutert werden. Eine detaillierte Abhandlung ist auch dem Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) zu diesem Thema zu entnehmen.

- **Kaltzeiten**
  Seit ca. 800.000 Jahren vor heute gibt es einen Zyklus auf der Erde, bei dem alle 100.000 Jahre ein Wechsel zwischen Warm- und Kaltzeit erfolgt. Kaltzeiten werden manchmal auch Eiszeiten genannt. Die letzte Kaltzeit ging vor ca. 10.000 Jahren vorüber. Wir leben also aktuell in einer Warmzeit. Allerdings ist davon auszugehen, dass es nach dem 100.000-Jahre-Zyklus wie oben beschrieben in dem Nachweiszeitraum von einer Million Jahren zu weiteren Kaltzeiten kommen wird (Aktualitätsprinzip). Deren mögliche Auswirkungen müssen bei der Errichtung eines Endlagers berücksichtigt werden.

  Eine mögliche Auswirkung ist die Hebung der Erdoberfläche nach dem Ende einer Kaltzeit. Das geschieht aufgrund der Entlastung, die das Abschmelzen der Gletscher mit sich bringt. Während der letzten Kaltzeit in Nordeuropa bildeten sich Eisschilde von bis zu 3 km Mächtigkeit aus. Das war ein solches Gewicht, dass auf der Erdoberfläche gelastet hat, dass nach dem Einsetzen der Warmzeit und dem damit einhergehenden Schmelzen des Eises eine Entlastung einsetzte, die dazu führte, dass sich die Erdoberfläche anhob. Ähnlich wie bei einem weichen Ball, den man zusammendrücken kann (≙ Senkung der Erdoberfläche) und der sich wieder in seine ursprüngliche Form ausdehnt, wenn man ihn loslässt (≙

Nationales Begleitgremium · Geschäftsstelle · Bismarckplatz 1 · 14193 Berlin
Tel: +49.(0)30.8903-5655, geschaeftsstelle@nationales-begleitgremium.de, www.nationales-begleitgremium.de

Hebung der Erdoberfläche). Im Gegensatz zu einem Ball, entfaltet sich die Erde nach dem „Zusammendrücken“ aber deutlich langsamer. Die nachkaltzeitliche Hebung von Teilen Nordeuropas findet immer noch statt. In anderen Teilen Norddeutschlands finden hingegen Senkungen statt, die teilweise auch auf die Kaltzeiten zurückzuführen sind. Diese Senkungsprozesse sollen hier aber nicht näher erläutert werden.

- **Gebirgsbildung (Orogenese)**
  Unter den Kontinenten, die wir an der Erdoberfläche sehen, befinden sich sogenannte Lithosphärenplatten, bzw. vereinfacht Kontinentalplatten. Diese Platten entsprechen in ihrer Form nicht unbedingt der der Kontinente. Sie schwimmen auf dem flüssigen Teil der Erde und sind immer in Bewegung - wenn auch sehr langsam. Zwei solcher Platten treffen im Mittelmeerraum aufeinander. Dabei stoßen die afrikanische Platte und die europäische zusammen, weshalb die Gesteine auf der europäischen Platte aufgefaltet, sozusagen „geknautscht“ werden. Diese Auffaltung führte zur Entstehung der Alpen. Da sich die afrikanische Platte immer weiter auf die europäische zubewegt, werden die Alpen auch immer weiter emporgehoben.

  Ein gegensätzlicher Prozess zu der Emporhebung der Alpen sind Verwitterung und Erosion, die für eine Reduzierung der Höhe der Alpen sorgen.

Aktive Störungszonen

Störungszonen sind „Brüche in den Gesteinsschichten der oberen Erdkruste wie Verwerfungen [...] sowie ausgedehnte Zerrüttungszonen“ (§ 22 Ziffer 2 StandAG). Das heißt, dass die Gesteine wie sie ursprünglich einmal in ihrer räumlichen Anordnung/Orientierung entstanden sind „gestört“ wurden. Ein Gestein zu „stören“ heißt so an ihm zu ziehen, zu drücken, zu drehen oder andere Bewegungen herbeizuführen, dass sich eine Trennfuge ausbildet. Diese Prozesse können an der Oberfläche sichtbare Risse bis hin zu großen Spalten hervorrufen. Sie können sich aber auch im Untergrund abspielen, ohne, dass diese an der Erdoberfläche sichtbar werden. Störungszonen können sehr klein sein (cm-Bereich) oder sich über viele Kilometer erstrecken. Oft spielen sich die zugrundeliegenden Prozesse über lange Zeiträume ab. Spannungen, die sich an Störungszonen aufbauen, können aber auch schlagartig freigesetzt werden und Erdbeben auslösen. Auch unabhängig von Erdbeben, können Gebiete mit Störungszonen „unruhig“ sein und die Barrierewirkung der Gesteine für ein Endlager negativ beeinflussen.

Störungen decken ganz unterschiedlichen Größenskalen ab. Entsprechend liegen ihnen sehr verschiedene Entstehungsgeschichten zugrunde. Die Erde ist ein dynamisches System, in dem ständig alles in Bewegung ist - wenn auch sehr langsam. Spannungen bauen sich auf und ab und hinterlassen Störungen.
Man kann Störungen anhand verschiedener Attribute beschreiben. Eines davon ist der „Versatz“. Im Gesetz steht „Verwerfungen mit deutlichem Gesteinsversatz“ seien ein Ausschlusskriterium. Der Versatz gibt an, wie groß die Bewegung des betrachteten Bereichs durch die Störung war (Abbildung 1).

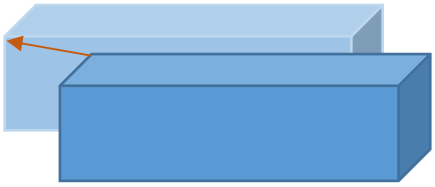


Abbildung 1: Zwei gegeneinander verschobene Gesteinsblöcke (blau) mit eingezeichnetem Versatz (orangefarbener Pfeil). Mathematisch gesehen ist der Versatz, die Länge des Versatzvektors (orangefarbener Pfeil).

Ein weiteres Attribut, das eine Störungszone erfüllen muss, um als Ausschlusskriterium zu gelten ist ihre Aktivität. Nur Störungszonen an denen in den letzten 34 Millionen Jahren vor heute Bewegungen stattgefunden haben gelten nach StandAG als aktiv und werden berücksichtigt.

Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit

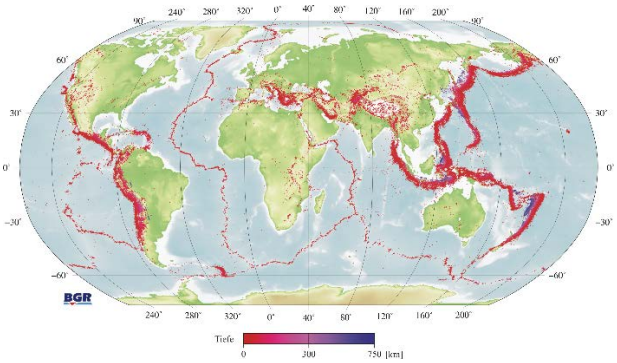
Wenn das Gebirge, in dem ein Endlager errichtet werden soll bereits durch Bergbau oder Bohrungen durchlöchert ist wie ein „Schweizer Käse“, dann kann dort kein sicherer Einschluss des radioaktiven Abfalls gewährleistet werden. Es bestünde die Gefahr der Instabilität und der Durchlässigkeit des Gebirgsbereiches.

Seismische Aktivität

Ein Erdbeben wird ausgelöst, wenn sich ruckartig Spannung abbaut. Diese Spannung hat sich zuvor an einem Bruch aufgebaut. So ein Bruch kann etwa zwischen zwei Platten bestehen, aber auch wie oben beschrieben an Störungszonen. Oft sind die jeweiligen Bruchenden nicht glatt, sondern reliefartig mit Ecken und Kanten. Bei natürlichen Bewegungsprozessen der Erde, kann es daher dazu kommen, dass sich die Bruchteile gegeneinander verkanten. Die natürliche Bewegung wird gehemmt und es bauen sich Spannungen auf. Irgendwann wird der Druck auf die verkanteten Teile so groß, dass sich schlagartig die aufgebauten Spannungen lösen und sich die freigesetzte Energie in Form seismischer Wellen vom Ort der Entstehung des Bebens (Hypozentrum) zur Erdoberfläche (Epizentrum) ausbreitet.

Erdbeben können auch an aktiven Vulkanen (s. Ausschlusskriterium vulkanische Aktivität), durch menschliches Handeln (z. B. Tunnelbau) oder Einstürze (z. B. Einsturz von Höhlen) ausgelöst werden. Täglich finden viele Erdbeben statt. Nur wenige davon sind für Menschen überhaupt spürbar. Auch die wenigsten Menschen, die in Deutschland wohnen, haben je ein Erdbeben gespürt. Es treten aber durchaus welche auf, wie in Abbildung 2 (links) gezeigt ist.

In Deutschland gibt es nicht direkt einen Plattenrand, der Erdbeben auslösen könnte (Abbildung 2 rechts). Aber die afrikanische Platte drückt im Mittelmeerraum auf die eurasische Platte, wodurch Spannungen entstehen, die bis nach Deutschland reichen. Dort können sie an Schwächezonen zu Erdbeben führen. Solche Schwächezonen, die besonders „angreifbar“/“empfänglich“ für Spannungsentladungen sind, sind der Oberrheintalgraben, die Niederrheinische Bucht, die Schwäbische Alb und das Vogtland (Abbildung 3). Für die Endlagersuche werden die Gebiete ausgeschlossen, die nach DIN-Norm in einer Erdbebenzone >1 liegen (DIN EN 1998-1/NA 2011-01).



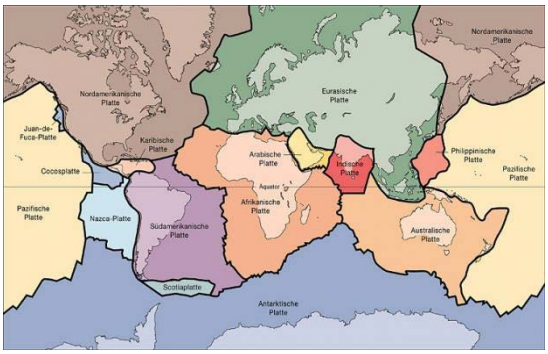


Abbildung 2: links: Karte der weltweit aufgezeichneten Erdbeben seit 1954 (Magnitude >4.0) (© BGR Hannover). Rechts: Karte der Plattengrenzen (U.S. Geological Survey). Im Vergleich ist zu sehen, dass die meisten Erdbeben an den Plattengrenzen auftreten.

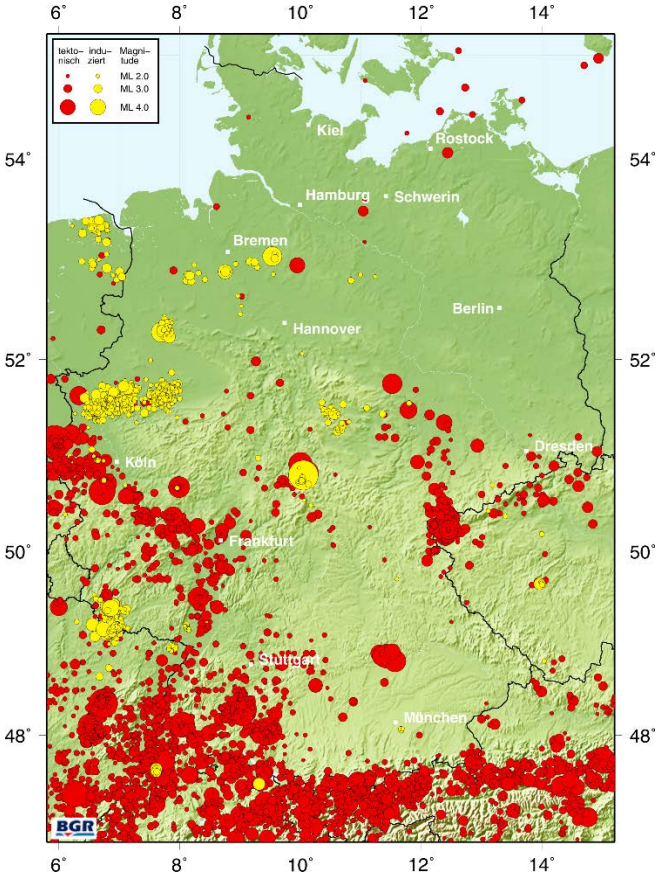


Abbildung 3: aufgezeichnete Erdbeben in Deutschland seit 1968 (© BGR Hannover). Rechts: Erdbebengefährdungszonen in Deutschland (GFZ).

Vulkanische Aktivität

Deutschland ist zwar nicht gerade bekannt für seine Vulkane, aber es gibt sie durchaus. Für die Endlagersuche werden diejenigen berücksichtigt, die im geologischen Zeitalter „Quartär“, also seit ca. 2,6 Millionen Jahren aktiv waren oder von denen zukünftig Aktivität zu erwarten ist. Vulkane sind Aufwölbungen an der Erdoberfläche, die durch erkaltete und erstarrte Lava entstanden sind. Es gibt verschiedene Arten von Vulkanismus. Wie bereits in den Abschnitten Störungszonen und Seismische Aktivität erwähnt, gibt es Platten, die auf dem Erdmantel „aufschwimmen“, sich bewegen, Risse bilden, kollidieren und sich voneinander entfernen können. Wo zwei Platten sich

treffen (kollidieren), wird die schwerere Platte wie ein Keil unter die leichtere Platte geschoben. Diesen Prozess nennt man Subduktion (Abbildung 4). Dabei wird Wasser mit in die Tiefe gezogen, was mit dem heißen Magma im Erdinneren zu einer explosiven Mischung führen kann, aus der ein Vulkan hervorgeht.

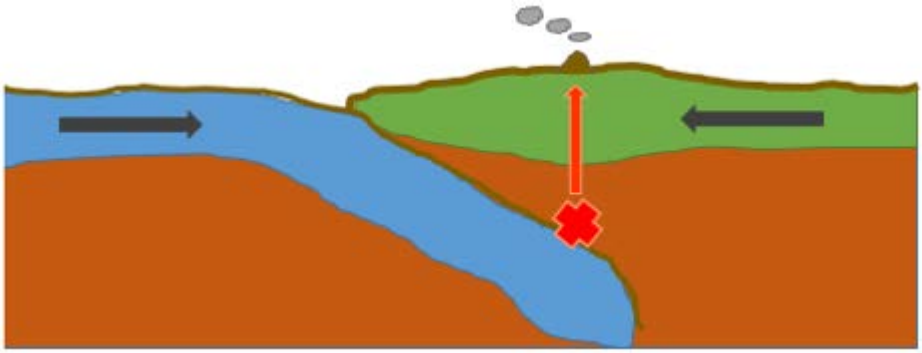


Abbildung 4: Entstehung eines Vulkans an einer Subduktion. Die blaue, ozeanische Platte schiebt sich unter die grüne, kontinentale Platte. Dabei bringt die ozeanische Platte Meerwasser mit in die Tiefe. Das Wasser und das geschmolzene Magma (orange im Bild) im Erdinnern, reagieren miteinander (rotes Kreuz im Bild). Das kann dazu führen, dass Magma aufsteigt und sich an der Erdoberfläche ein Vulkan ausbildet.

Auch wenn zwei Platten sich voneinander trennen und Risse bilden, kann das zu Vulkanausbrüchen führen. Aber auch innerhalb von Platten kann Vulkanismus auftreten (Intraplattenvulkanismus). Dies ist in Deutschland der Fall. Bei näherer Betrachtung, stößt man z. B. erneut auf den Oberrheingraben (s. auch Abschnitte zu Störungszonen und Seismische Aktivität).

Am Oberrheingraben ist die Erdkruste verdünnt, wodurch es zu einer Druckentlastung kommt, die dass unter dem Graben liegende Gestein aufschmelzen lässt. Weitere Informationen zu diesem Ausschlusskriterium können auch dem Kurzbericht „Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland“ der BGR entnommen werden.

Grundwasseralter

Hintergrund des Ausschlusskriteriums: Wenn man im Untergrund junges Grundwasser findet, dann heißt das, dass ein hydraulischer Kontakt zwischen der betrachteten Gesteinsformation und einem Grundwasserleiter besteht. Das möchte man nicht in einem Endlager, weil ja möglichst wenig Kontakt und Austausch zwischen Endlager und belebter Umwelt stattfinden soll.

Was heißt überhaupt Alter von Wasser? Wie kann Wasser jung oder alt sein?
Das Alter wird bestimmt als Zeitraum zwischen Versickerung an der Erdoberfläche und Beprobung (Abbildung 5). Wenn zwischen der Versickerung und der Beprobung des Wassers in der zu untersuchenden Erdschicht wenig Zeit vergangen ist, dann ist das Wasser jung. Wenn es zum Zeitpunkt der Beprobung schon lange im Untergrund gewesen ist, dann ist es alt. Das Alter kann man mithilfe von Kohlenstoff- und Wasserstoffisotopen bestimmen.

Abbildung 5: Das Alter des Grundwassers ist die Zeit, die zwischen der Versickerung des Wassers und der Beprobung vergangen ist.

Was ist der nächste Schritt?

Die Gebiete, auf die keines der Ausschlusskriterien zutrifft, bleiben im Verfahren um die Suche nach einem Endlagerstandort mit der bestmöglichen Sicherheit und werden auf die Mindestanforderungen überprüft.

Wiebe Förster