

V. Bräuer, G. Jentzsch

Abgrenzung von Gebieten mit offensichtlich ungünstigen geologischen Verhältnissen

1.1. Ausgangspunkt

Der Arbeitskreis kam überein, dass Gebiete in denen das Barriersystem eines in einer Tiefe von etwa 1000 m befindlichen Endlagers über Millionen von Jahren wesentlich beeinflusst werden kann oder dessen Entwicklung über diesen Zeitraum nicht prognostiziert werden kann, als besonders ungünstig ausgewiesen werden sollten.

Für die Charakterisierung dieser Gebiete wurden vier Kriterien abgeleitet:

1. Keine aktiven Störungszonen im Endlagerbereich
(Kriterium „Aktive Störungszonen“)
2. Keine seismische Aktivität größer als in Erdbebenzone 1 nach DIN 4149
(Kriterium „Seismische Aktivität“)
3. Keine quartäre oder zu erwartende vulkanische Aktivität in der Endlagerregion
(Kriterium „Vulkanische Aktivität“)
4. Keine Hebungen/Senkungen von mehreren Millimetern pro Jahr im prognostizierbaren Zeitraum (Kriterium „Großräumige Vertikalbewegungen“)

Bei der Herleitung und Anwendung dieser Kriterien sind besonders die Abhängigkeit vom jeweiligen Kenntnisstand und der Datenbasis sowie die Problematik bei der Grenzziehung der betroffenen Gebiete deutlich geworden. Auch zeigte sich, dass die mit den Kriterien verbundenen Szenarien in einem sehr engen Zusammenhang stehen und auch dabei eine Abgrenzung der dabei beteiligten geologischen Vorgänge nur schwer möglich ist.

1.2 Grenzziehung für auszuschliessende Gebiete

Für eine Ausweisung von Gebieten, die im Auswahlverfahren ausgeschlossen werden sollen, war es notwendig, für jedes der vier genannten Kriterien eine Überprüfung der Anwendbarkeit in bezug auf die Abgrenzung einzelner Gebiete durchzuführen. Dazu wurden die Kriterien im einzelnen betrachtet.

1.2.1 Kriterium „Aktive Störungszone“

- **Definition**

Der Begriff „Störung“ steht sowohl für den Prozess als auch für das Ergebnis des Prozesses. Eine Störung ist in der breitesten Definition ein tektonischer oder atektonischer Vorgang, der die primäre, d. h. bei der Bildung eines Gesteinsverbandes entstandene Lagerungsform verändert. Damit umfasst dieser Begriff sowohl die plastische als auch die mit Bruch verbundene Verformung. Wir beschränken uns hier auf die mit Bruch verbundene Verformung des Gesteinsverbandes, die einerseits zu *Verwerfungen* (mit Gesteinsversatz) und andererseits zu *Zerrüttungszonen* führen kann.

Verwerfungen mit deutlichem Versatz werden bei der herkömmlichen Geländekartierung oder mit der Seismik erkannt und dokumentiert. *Zerrüttungszonen* werden mit den traditionellen Kartierungsmethoden in der Regel nicht erkannt. Zu ihrer Lokalisierung sind spezielle Methoden erforderlich, wie z. B. die Fernerkundung, die u.a. Feuchtigkeits- und Vegetationsanomalien erkennt oder die Geoelektrik, die ebenfalls Feuchtigkeitsanomalien registriert. Zerrüttungszonen können aber als Ausdruck aktiver Bruchtektonik von großer Bedeutung sein, zumal hierbei die Frage der Entstehungszeit einer Störung zu beachten ist.

- **Genese einer Störung**

Die Genese der Störungen oder Störungszonen in Raum und Zeit ist im Detail nicht befriedigend aufgeklärt. Das geologische Faktenmaterial reicht in der Regel nur für eine sehr grobe Rekonstruktion der Bewegungsereignisse aus. Wir wissen kaum etwas über die Initialphasen der Störungen. Haben sie sich aus Zerrüttungszonen entwickelt und hat sich erst nach einer längeren Phase tektonischer Aktivität ein

meßbarer Gesteinsversatz herausgebildet? Diese Frage ist besonders für die Bewertung der tektonischen Aktivitäten während des Quartärs wichtig.

- **„Aktive Störungen“**

Als „aktive Störungen“ werden im allgemeinen Störungen mit Bewegungen im neotektonischen Zeitabschnitt bezeichnet. Dieser Zeitabschnitt beginnt mit der Basis des Rupel (Unteroligozän). Die marine Referenzfläche des Rupel hat ein absolutes Alter von 34 Mio. Jahren und ist z. B. in Norddeutschland über ausgedehnte Flächen nachweisbar.

Die quartären (pleistozänen) bruchtektonischen Bewegungen sind dagegen schwerer fassbar, da die Basis des Pleistozäns kein sauberes Höhenniveau darstellt, an dem sich Bewegungen ablesen lassen. In Störungszonen mit gut datierbaren jungen Sedimenten, wie z. B. dem hochmobilen Niederrhein-Graben, ist die zeitliche Einordnung der Bewegungsphasen günstiger. Einige Störungen davon sind bis in die Gegenwart aktiv.

- **Fazit**

Als neotektonisch "aktive" Störungen mit Sicherheitsrelevanz für ein Endlager sind alle Dislokationen anzusehen,

- die im Zeitraum Rupel bis rezent bewegt wurden, abgestuft nach dem Zeitpunkt ihrer nachweislichen Letztbewegung,
- die mit seismischen Ereignissen im Zusammenhang stehen und
- an denen nachweislich Fluid- und/oder Gastransport stattfindet.

Als Indikationen gelten neben erkennbaren Versatzbeträgen auch Mächtigkeitsunterschiede in gleichen Formationen bei synsedimentären Bewegungen. Neben echten Verwerfungen sind auch nachweisliche Zerrüttungszonen in die Sicherheitsbetrachtungen einzubeziehen.

Die mutmaßlichen Breiten von Störungszonen sind individuell abzuschätzen. Neben Parallelstörungen untergeordneten Ranges sind auch begleitende Zerrüttungszonen für die Festlegung einer „Sicherheitszone“ einzubeziehen. Da eine

exakte Zonenbreite in der Regel nicht festlegbar ist, sollte für eine Ausweisung von Gebieten mit besonders ungünstigen Verhältnissen ein "Sicherheitsaufschlag" von einigen Kilometern beidseits der erkannten Zone festgelegt werden.

1.2.2 Kriterium „Seismische Aktivität“

- **Grundlage**

Basis für eine Abgrenzung von erdbebengefährdeten Gebieten in Deutschland bildet die „Karte der Erdbebenzonen Deutschlands (DIN 4149)“. Dabei wurden Zonen entsprechend der in einem Zeitraum von ca. 500 Jahren maximal zu erwartenden Intensitäten abgegrenzt. Als Grundlage dafür dienten der historische deutsche Erdbebenkatalog, der alle Erdbeben in Deutschland seit dem Jahr 800 aufführt, die Karte der seismotektonischen Einheiten Deutschlands und die Verteilung der beobachteten Schadenbeben in Deutschland. Mit eingeflossen in die Zonenkarte sind auch Annahmen über maximal mögliche Beben in den entsprechenden Gebieten.

- **Grenzziehung**

Bei der Abgrenzung des für die Anlage eines Endlagers offensichtlich ungünstigen Gebietes musste berücksichtigt werden, dass sich die Zonierung auf Schäden an Oberflächenbauwerken bezieht. Die Auswirkungen von Erdbeben auf Untertagebauwerke werden dagegen im allgemeinen als weniger gravierend eingeschätzt. Der Arbeitskreis kam vor diesem Hintergrund überein, dass eine Grenzziehung für ungünstige Gebiete erst ab Erdbebenzone 2 der DIN 4149 sinnvoll ist. Dies entspricht einer maximal beobachteten Erdbebenintensität ab 7.0 an der Oberfläche. Ab dieser Intensität treten merkliche Schäden an Gebäuden auf. Beben mit kleineren Intensitäten haben abhängig vom Gebäude keine nennenswerte bzw. nur geringe Schadenswirkung.

Da sich die seismische Gefährdung entsprechend der seismotektonischen Gebietseinteilung ergibt, ist eine exakte und im Gelände anwendbare Grenzziehung, nur schwer möglich. Die Beurteilung von Randgebieten erfordert daher in jedem Fall eine Einzelprüfung.

- **Fazit**

Für den Arbeitskreis gelten Gebiete ab der Erdbebenzone 2 der DIN 4149 als ungünstig für die Auswahl eines Endlagerstandortes. Diese Gebiete sollten daher bei der Standortsuche ausgeschlossen werden.

Probleme ergeben sich bei der exakten und anwendbaren Abgrenzung der ungünstigen Gebiete. Randgebiete sollten einer Einzelprüfung unterzogen werden.

Die seismische Aktivität eines Gebietes ist eng verknüpft mit dem Auftreten aktiver Störungen (vgl. Kap. 1.2.1). Bei allen Angaben über die seismische Gefährdung eines Gebietes muss klar sein, dass eine Prognose, basierend allein auf den Erdbebenbeobachtungen ab dem Jahre 800, über einen Zeitraum von einer Million Jahre nicht möglich ist.

1.2.3 Kriterium „Vulkanische Aktivität“

- **Grundlage**

Grundlage für die Einschätzung der vulkanischen Gefährdung in Deutschland bildete eine Expertenumfrage. Beantwortet werden sollten folgende Fragen:

1. Bisher wurden die Eifel und das Vogtland/Egergraben als Gebiete mit quartären Vulkanismus benannt. Können in diesen Gebieten bei einem Prognosezeitraum von 1 Mio. Jahren vulkanische Aktivitäten auftreten, muß die Aussage eingeschränkt werden oder müssen weitere Gebiete betrachtet werden?
2. Mit welcher Wahrscheinlichkeit muss mit Wiederaufleben des Vulkanismus im Zeitraum von 1 Mio. Jahren gerechnet werden?
3. Wo kann man das Zentrum eines möglichen Ausbruchs annehmen, wie groß kann der Radius der direkten Auswirkungen sein?
4. Welche weiteren Auswirkungen wären möglich?
5. Wie groß könnte die betroffene Fläche sein?
6. Wie wird die vulkanische Gefährdung in anderen Ländern behandelt?

- **Ergebnisse**

Alle Experten schätzen, dass außer den Gebieten Eifel und Vogtland/Egergraben in Deutschland keine weiteren Gebiete mit einer vulkanischen Gefährdung benannt werden müssen.

Ein Wiederaufleben des Vulkanismus in der Eifel im Prognosezeitraum von 1 Mio. Jahren ist mit 100% wahrscheinlich. Wenn der Laacher-See-Eruptionszyklus ähnlich ablaufen wird wie vor etwa 200.000 Jahren der Wehrer Vulkan oder vor ca. 400.000 Jahren der Rieder Vulkan (Westeifel), muß in der allernächsten geologischen Zukunft eine Reaktivierung des Vulkanismus angenommen werden.

Der Vulkanismus in der Osteifel ist seit 450.000 Jahren nachweisbar. Theoretisch kann etwa alle 5.000 Jahre eine Eruption angenommen werden. Anzeichen einer bevorstehenden Eruption in der Osteifel würden sich ca. in einem Zeitraum von 1 bis 2 Jahren zuvor ankündigen.

Das Vogtland und die angrenzende Region Nordwestböhmens zeigt Besonderheiten innerhalb des Verbandes der Böhmisches Masse. Dabei wird neben den periodisch wiederkehrenden Schwarmbeben die Kombination mit seismischer Aktivität und dem flächenhaften Austritt von CO₂ an der Oberfläche mit hoher Gasflussrate beobachtet. Für die nächsten 400.000 Jahre besteht nach dem vorliegenden Kenntnisstand eine Wahrscheinlichkeit von etwa 50% für das Wiederaufleben des Vulkanismus im westlichen Teil des Eger Rifts.

- **Ausbruchszentren und Grenzziehung**

Eine erneute Eruption des vor ca. 13.000 Jahren entstandenen Laacher-See-Vulkans ist nicht unwahrscheinlich. Weitere Eruptionszentren sind bei Rieden und Wehr anzunehmen. Dabei ist eine tendenzielle Wanderung der aktiven Zentren in der Osteifel weiter nach Osten und in der Westeifel von Nordwesten nach Südosten zu konstatieren. Die nähere Umgebung, bis ca. 5 km von einem Eruptionszentrum entfernt, ist durch hochexplosive Magma-Wasser-Eruptionen und dabei entstehende Druckwellen gefährdet. Lavaströme und Lahare können Täler über viele Kilometer (in der Eifel bis ca. 10 km) auffüllen.

Im Vogtland und der angrenzenden Region Nordwestböhmens und des Fichtelgebirges sind folgende Ausbruchszentren anzunehmen: Die als Entgasungszentren auskartierten Bereiche des Eger-Beckens (Bad Brambach/Schönberg, Vogtland und die Region von Selb, Fichtelgebirge). Dazu kommen zwei Bereiche der ENE-WSW streichenden Teilstörungen des Eger-Grabens, die Gebiete um Mytina/CZ, Neualbenreuth/D und um Wiesenau/D. Im weiteren ist der Bereich der NW-SE bis NNW-SSE streichenden Störungen innerhalb des Naab-Pritzwalk Lineaments (südl. Vogtland) gefährdet. Als Auswirkungen werden angenommen: Hebungen (mögliche Beeinflussung von Talsperren im Cheb-Becken), vulkanische Beben, Waldbrände (durch Eruption), Bildung von Maaren (explosiv). Von Hebungsvorgängen wären an Fläche ca. 500 km² bis 1.500 km² betroffen, Waldbrände könnten eine Fläche von ca. 50 km² bis 200 km² einnehmen, Maare könnten sich in einer Region von ca. 50 km² bis 200 km² entwickeln.

- **Fazit**

In den USA werden in den NRC-Richtlinien (10 DFR 60; NRC 2000) unter den ungünstigen Bedingungen vulkanische Aktivitäten genannt, die u. U. das Grundwassersystem so nachhaltig verändern können, dass es sich nachteilig auf die Barriere-Wirkung der geologischen Umgebung des Endlagers auswirkt. Eine Berücksichtigung von zukünftiger vulkanischer Aktivität bei der Endlagerstandortauswahl in Deutschland sollte ebenfalls vorgenommen werden.

Es wird daher vorgeschlagen, bei Vorkommen vulkanischer Tätigkeit in der Eifel, im Vogtland und in NW-Böhmen einen Sicherheitsradius von 10 km um potentiell gefährdete Gebiete zu schlagen.

1.2.4 Kriterium „Großräumige Vertikalbewegungen“

- **Grundlage**

Basis für eine Abgrenzung von Gebieten mit besonderen Vertikalbewegungen in Deutschland bilden die Karten des Bundesamtes für Geodäsie und Kartografie (BGK) bzw. Karten der geologischen Landesämter sowie wissenschaftliche Veröffentlichungen zu speziellen Gebieten (z.B. Rheinisches Schild, Küstenländer).

Vertikalbewegungen sind ein Ausdruck geodynamischer Aktivität und damit potenzieller Gefährdung für das Endlager. Im kleinräumigen Bereich können sie auch im Zusammenhang mit Grundwasser-Absenkungen bzw. untertägigen Flutungen auftreten. Derartige Veränderungen des Grundwasserstandes treten zumeist durch bergbauliche Aktivitäten auf.

- **Grenzziehung**

Bei der Abgrenzung des für die Anlage eines Endlagers offensichtlich ungünstigen Gebietes mit erhöhten Vertikalbewegungen müssen natürliche und anthropogene, also durch menschliche Aktivitäten hervorgerufene Bewegungen, unterschieden werden. Natürliche Vertikalbewegungen sind meist großräumiger.

Tektonische Hebungen von 1 mm pro Jahr würden – bei Annahme der Konstanz und bei gleichzeitiger Erosion – ein in 1000 m Tiefe errichtetes Endlager freilegen. Demzufolge sollten Gegenden, die derartige und größere Vertikalbewegungen zeigen, gemieden werden.

Eine exakte und im Gelände anwendbare Grenzziehung ist nur schwer möglich. Die Beurteilung von Randgebieten erfordert daher in jedem Fall eine Einzelprüfung.

- **Fazit**

Für den Arbeitskreis gelten Gebiete mit Vertikalbewegungen in der Größenordnung von 1 Millimeter und mehr als ungünstig für die Auswahl eines Endlagerstandortes. Diese Gebiete sollten daher bei der Standortsuche ausgeschlossen werden.

Probleme ergeben sich bei der exakten und anwendbaren Abgrenzung der ungünstigen Gebiete, speziell im Zusammenhang mit anthropogenen Bewegungen. Randgebiete sollten einer Einzelprüfung unterzogen werden.

Vertikalbewegungen eines Gebietes sind eng verknüpft mit dem Auftreten geodynamischer Aktivitäten und sollten im Zusammenhang mit den Erdbeben und der Verteilung von Störungszonen interpretiert werden.