

Vorschlag für ein Kapitel zur Stellung von ewG bzw. Behälterkonzept im Standortauswahlverfahren.

Ergänzungen durch Kudla am 15.05.2016

Vorbemerkung: Das Kapitel ist als Unterkapitel zu Kap. 5.5. des Kommissionsberichts ("Priorität: Endlagerbergwerk mit Reversibilität/Rückholbarkeit/Bergbarkeit") gedacht, ggf. nach dem Kapitel 5.5.1 (Grundlagen und Prämissen).

5.5.2 Zentrale Einschlussfunktion für radioaktive Abfälle - geologische und/oder technische Barrieren?

Die Langzeitsicherheit jedes Endlagers basiert darauf, dass eine oder mehrere Barrieren dauerhaft vorhanden sind, die einen Einschluss der radioaktiven Abfälle gewährleisten und eine unzulässige Freisetzung von Radionukliden in die Biosphäre innerhalb des Nachweiszeitraumes von einer Million Jahren verhindern.

Dazu wird immer das gesamte Endlagersystem betrachtet. Für eine Endlagerung in tiefen geologischen Formationen besteht das Endlagersystem aus den eingelagerten Abfallbehältern (technische Barriere), dem sie umgebenden Endlagerbergwerk mit seinen geotechnischen Barrieren (Versatz, Streckenverschlüsse und Schachtverschlüsse), dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich und den diesen Gebirgsbereich umgebenden oder überlagernden geologischen Schichten bis zur Erdoberfläche, soweit sie sicherheitstechnisch bedeutsam und damit im Sicherheitsnachweis zu berücksichtigen sind.

Prinzipiell kommen in Deutschland die Wirtsgesteine Salz, Tonstein und Kristallingestein für eine Endlagerung in Frage. Für Salz und Tonstein sind in Deutschland bereits entsprechende Endlagerkonzepte entwickelt worden. Für eine Einlagerung in Kristallingestein ist dies bisher nicht der Fall; jedoch ist in Schweden dazu ein entsprechendes Konzept entwickelt worden.

In einem Endlagerkonzept wird beschrieben, mit welchen technischen und sicherheitstechnischen Maßnahmen das Ziel des langfristig sicheren Einschlusses der radioaktiven Abfälle erreicht werden soll. Für eine Endlagerung in tiefen geologischen Formationen sind dabei zwei grundsätzlich unterschiedliche Sicherheitsansätze zum Nachweis des langzeitsicheren Einschlusses möglich, je nachdem, ob die maßgebliche Einschlussfunktion

- a) einer geologischen Barriere (dem sogenannten einschlusswirksamen Gebirgsbereich) oder
 - b) einer technischen Barriere (basierend auf langzeitstabilen Behältern und ihrer Ummantelung)
- zugeordnet wird.

5.5.2.1 Konzept des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG-Konzept)

Für den Nachweis, dass eine geologische Barriere den langzeitsicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle gewährleisten kann, wird ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich (ewG) innerhalb des Wirtsgesteins um die radioaktiven Abfälle in einem Bergwerk ausgewiesen. Der einschlusswirksame Gebirgsbereich ist der Teil des Endlagersystems, der im Zusammenwirken mit den geotechnischen Verschlüssen (z.B. Schachtverschlüsse, Streckenverschlüsse, Versatzmaterial) den Einschluss der Abfälle sicherstellt. Der ewG stellt hierbei die Hauptbarriere (= geologische Barriere) dar. Als zusätzliche Barrieren sind die geotechnischen Barrieren (Schacht- und Streckenverschlüsse, Versatzmaterial) planmäßig vorgesehen. Der Behälter hat beim ewG-Konzept nur eine zeitlich begrenzte Funktion als technische Barriere, auf der insbesondere der Nachweis der Langzeitsicherheit nicht beruhen soll. Ein derartiges Konzept ist prinzipiell vorstellbar für gut geeignete Steinsalz- und Tonsteinformationen, und eventuell auch Kristallinformationen mit entsprechend geringer Gebirgsdurchlässigkeit.

In Kristallinformationen sind je nach örtlicher Situation auch Endlagerkonzepte denkbar, bei denen an einem Standort mehrere räumlich voneinander unterscheidbare einschlusswirksame Gebirgsbereiche ausgewiesen werden.

Das ewG-Konzept wurde in Deutschland vom AkEnd¹ entwickelt und seine Anwendbarkeit im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten für Endlager in den Wirtsgesteinen Salz und Tonstein

Gelöscht: r

Gelöscht: ung

Gelöscht: technischen und

Gelöscht: Für jedes

Gelöscht: in Frage kommende Wirtsgestein wurden hier oder international

Gelöscht:

Gelöscht: m

Gelöscht: seiner

Gelöscht:

Gelöscht: ,

Gelöscht: -

Gelöscht: Es

¹ Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte, dort Kap. 4.1.1.

(jedoch nicht im Kristallingestein) nachgewiesen. Die Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010² basieren auf dem ewG-Konzept.

Bei geeigneter Standortauswahl entsprechend den in Abschnitt ??? angegebenen geowissenschaftlichen Kriterien ist es nach Auffassung der Kommission möglich, einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich so auszuweisen, dass ein Nachweis seiner Integrität über eine Million Jahre geführt werden kann.

Bei ausreichend geringer Durchlässigkeit gelingt dabei der Nachweis eines „vollständigen Einschlusses“, bei dem bei Erhalt der Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs im Nachweiszeitraum keine Radionuklide den ewG verlassen können. Die Nachweisstrategie des „vollständigen Einschlusses“ wird bis dato für geeignete Standorte im Salzgestein verfolgt.

Alternativ kann im Nachweisverfahren gezeigt werden, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich aufgrund seiner rückhaltenden Eigenschaften während des Nachweiszeitraums Radionuklide mindestens in dem Maße binden kann, dass nur geringfügige Freisetzungen in die Biosphäre zu erwarten sind, die wiederum nicht zu einer Überschreitung von Grenzwerten für die effektive radioaktive Dosis führen können („sicherer Einschluss“). Die Nachweisstrategie des „sicheren Einschlusses“ wird für geeignete Standorte im Tonstein verfolgt.

Für Kristallingestein wären in Deutschland zwei Möglichkeiten prinzipiell denkbar:

1) Es wird an einem geeigneten Standort im Kristallin einer oder mehrere entsprechend große Homogenbereiche mit geringer Gebirgsdurchlässigkeit ausgewiesen und ein „sicherer Einschluss“ der Abfälle ist insgesamt nachweisbar.

2) Es wird ein Endlagerstandort im Kristallin mit einer darüber flächig verbreiteten mächtigen Salzschieht gewählt. Am Gesamtsystem³ wird ein Nachweis des vollständigen oder „sicheren Einschlusses“ geführt. In einem solchen Fall stellt allerdings die Salzschieht die eigentliche Barriere dar.

Im Fall 1) sind auch Endlagerkonzepte denkbar, in denen ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich nicht für das Endlager in seiner Gesamtheit, sondern für kleinere Homogenbereiche des Endlagers definiert wird.

Insgesamt bewertet die Kommission die möglichen Endlagerkonzepte in Deutschland wie folgt:

1) Bei geeigneter Standortauswahl im Salz und im Tonstein ist es nach Auffassung der Kommission möglich, einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich so auszuweisen, dass ein Nachweis der Langzeitsicherheit des Endlagersystems über eine Million Jahre geführt werden kann.

2) Bei den Kristallinvorkommen in Deutschland kann die Kommission derzeit nicht bewerten, wie erfolgversprechend die Suche nach einem geeigneten Kristallinstandort zur Umsetzung eines ewG-Konzeptes in Deutschland ist, da einerseits zu Kristallinvorkommen der geologische Kenntnisstand geringer ist als für Salz und Tonstein, und da der vorhandene Kenntnisstand nicht unbedingt die Erwartung stützt, dass ein geeigneter Kristallinstandort, an dem das ewG-Konzept umgesetzt werden kann, noch gefunden wird⁵.

Beim ewG-Konzept haben die Behälter die Aufgabe, während des Endlagerbetriebes (wenige Jahrzehnte) die Rückhaltung von Radionukliden solange zu gewährleisten bis geotechnische und geologische Barrieren nach Verschluss des Endlagers wirksam werden. Zudem müssen die Abfallbehälter eine sichere Handhabung unter Strahlenschutzbedingungen ermöglichen. Dieselben Sicherheitsfunktionen werden von den Behältern während eines festgelegten Zeitraumes für eine (eventuelle notwendige) Rückholung in der Betriebsphase (s.a. Kapitel 5.5.2) gefordert. Nach Verschluss des Endlagers sollen die Abfälle bis zu 500 Jahre bergbar sein, woraus sich Anforderungen an die mechanische Stabilität des Behälters und seine Korrosionsbeständigkeit ergeben (s.a. Kapitel

² Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010). Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle.

³ Konfigurationstyp Bb nach AkEnd. Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte, S. 131ff.

⁵ BGR-Studie von 2007 (noch ergänzen)

Gelöscht: auch

Gelöscht: er Dichtigkeit

Gelöscht: se

Gelöscht: wird

Gelöscht: se

Gelöscht: e

Gelöscht: oder

Gelöscht: Konfigurationen in Kombination von Kristallin mit einem überlagernden ewG (z.B. einer Salzschieht)⁴ auszuweisen, an denen

Gelöscht: werden könnte

Gelöscht: Dabei

Gelöscht: K

Gelöscht: Einheiten

Gelöscht: auch

Gelöscht: Aufgrund des ungenügenden Kenntnisstands

Gelöscht: zu

Gelöscht: zur Wirksamkeiten von anderen

Gelöscht: n

Gelöscht: der

Gelöscht: n

Gelöscht: zu gewährleisten

Gelöscht: sowie

Gelöscht: der Abfallbehälter

Gelöscht: zu

6.7.4). Ab dem Zeitpunkt, nach dem die Bergbarkeit keine Anforderung mehr ist, muss der Behälter im ewG-Konzept keine Barrierefunktion mehr übernehmen, da die Langzeitsicherheit des Endlagersystems durch die Integrität des ewG nachgewiesen wird, und im Sicherheits- und Nachweiskonzept von langzeitigen Eigenschaften der Behälter kein Kredit genommen werden soll. Dies stellt einen wesentlichen Unterschied zum nachfolgend beschriebenen sogenannten "Behälterkonzept" dar.

5.5.?.2 Konzept der langzeitsicheren technischen Barrieren (Behälterkonzept)

Wenn das Wirtsgestein keine ausreichende Barriere darstellt (z.B. bei einem klüftigen Kristallingestein), dann müssen technische Barrieren den Einschluss der Abfälle sicherstellen. Im sogenannten Behälterkonzept ist diese Barriere in erster Linie ein Abfallbehälter, der langfristig entsprechend dicht sein muss. Damit er diese Funktion auch über den Nachweiszeitraum von bis zu einer Million Jahre übernehmen kann, wird er zusätzlich eine Schutzschicht (der sogenannte "Buffer"), bestehend aus einer mehrere Dezimeter dicken, quellfähigen Bentonitschicht, um den Abfallbehälter eingebaut. Das Behälterkonzept wird heute bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in Kristallingestein (z.B. in Schweden) zugrunde gelegt (siehe Kapitel 4.3.3 und Kapitel 6.7). Dabei übernimmt der Behälter über den gesamten Nachweiszeitraum von einer Million Jahre die wesentliche Barrierefunktion. Für Schweden sei noch angemerkt, dass auf Grund der geologischen Verhältnisse in Schweden keine anderen Wirtsgesteine als Kristallin für eine Endlagerung zur Verfügung stehen. In Frankreich und der Schweiz ist man von einer Endlagerung im Kristallingestein, bei der das Behälterkonzept zugrunde gelegt wird, wieder abgekommen. Anforderungen an die Rückholbarkeit während des Betriebs und eine sich anschließende Phase der Bergbarkeit nach Verschluss des Endlagers sind gleichermaßen zu berücksichtigen. Der Behälter ist also im Unterschied zum ewG-Konzept nicht nur für die Betriebsphase des Endlagers und einen nachfolgenden Bergbarkeitszeitraum sicherheitsrelevant, sondern für den gesamten Nachweiszeitraum.

Als Behälter sind in derartigen Endlagerkonzepten derzeit Kombinationen aus mechanisch stabilen Innenbehältern aus Sphäroguss und korrosionsbeständigen Außenbehältern aus dickwandigem Kupfer vorgesehen. Zusätzlich wird der Behälter im Einlagerungshohlraum mit einer Bentonitschicht, dem "Buffer", ummantelt. Bentonit ist ein stark quellfähiger Ton, der bei Zutritt von Feuchtigkeit quillt und dadurch den eingeschlossenen Behälter gegenüber Wasser (bzw. Salzlösungszutritt) aus seiner unmittelbaren Umgebung abschottet. Nach dem Quellen ist die Durchlässigkeit des Buffers sehr gering (ca. $k = 10^{-11}$ m/s bis 10^{-12} m/s), eine potenzielle Migration von Stoffen (e.g. Radionukliden) durch den Buffer ist auf Diffusionsvorgänge beschränkt. Voraussetzung ist allerdings, dass das als Buffer eingesetzte Bentonitprodukt⁶ sorgfältig und mit einer ausreichenden Dichte um die Abfallbehälter herum eingebaut wird, und dass unmittelbar im Bereich des Buffers keine oder nur geringfügige Erosionsvorgänge zu erwarten sind.

Das umgebende Wirtsgestein hat beim Behälterkonzept die Aufgabe, die mechanische Stabilität der Einlagerungshohlräume während der des Endlagerbetriebs sicher zu stellen. Die Tiefenlage des Endlagerbergwerks bewirkt dabei in erster Linie den Schutz der eingelagerten Abfälle gegenüber exogenen Einflüssen (Eiszeiten, Erosion). Das Wirtsgestein übernimmt nicht, oder nicht maßgeblich, die Aufgabe, während des Nachweiszeitraums einen Kontakt mit Wasser oder einen Radionuklidaustrag zu verhindern. Die Verhinderung des Wasserzutritts und Radionuklidaustrags werden für den Langzeitsicherheitsnachweis hauptsächlich von Behälter und Buffer wahrgenommen.

Trotzdem wird man auch bei einem Endlagerkonzept, dem das Behälterkonzept zugrunde liegt, eine Wirtsgesteinsinformation auswählen, die ein relativ hohes Isolationsvermögen gegenüber Einflüssen aus der Biosphäre hat. Derartige Kombinationswirkungen lassen sich für einen Nachweis der Langzeitsicherheit des Endlagersystems nutzen. Der Nachweis des sicheren Einschlusses beruht dann auf einer integrierten Betrachtung des Zusammenspiels von technischen und geotechnischen Barrieren und Wirtsgesteinseigenschaften. Dabei wird z.B. im schwedischen Sicherheitsnachweis darauf abgezielt, dass ein geringer Prozentsatz an Behälterversagen während des Nachweiszeitraums nicht ausgeschlossen werden kann, dass dieser aber nur zu einer geringfügigen Freisetzung von Radionukliden in die Biosphäre unterhalb von Grenzwerten führen darf. Das schwedische Konzept müsste hier auf eine Übertragbarkeit auf deutsche Verhältnisse noch geprüft werden.

⁶ Es werden international verschiedene Mischungen und Produktformen entwickelt.

Gelöscht: mit

Gelöscht: r

Gelöscht: m

Gelöscht: n

Gelöscht: angeordnet

Gelöscht: bereits

Kommentiert [WK3]: Wenn man im Satz davor Schweden als positives Beispiel nennt, muss man der Vollständigkeit auch die Länder nennen, in denen man davon wieder abgekommen ist, sonst ist die Darstellung zu einseitig.

Gelöscht: Einwirkungen

Gelöscht: verweist

Gelöscht: auf

Gelöscht: Diese Funktionen

Kommentiert [WK4]: Was ist damit gemeint? Bei k-Werten von 10^{-8} m/s für klüftiges Kristallingebirge spielt das Gebirge keine Rolle mehr bei diesem Nachweiszeitraum

5.5.?.3 Stellung von ewG-Konzept und Behälterkonzept im Standortauswahlverfahren

Nach Auffassung der Kommission hat das Konzept des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs den Vorteil, dass es hinsichtlich der nachzuweisenden Langzeitsicherheit auf geologischen Eigenschaften des Endlagersystems basiert, die an geeigneten Standorten als vergleichsweise solide prognostizierbar angesehen werden können. Technische und geotechnische Barrieren können die Robustheit des Endlagersystems erhöhen, die geforderte Langzeitsicherheit ist im Nachweisverfahren hiervon aber nicht abhängig. Demgegenüber ist das Vertrauen auf eine i. W. technisch durch den Behälter begründete Langzeitsicherheit bei einem Nachweiszeitraum von einer Million Jahren zunächst geringer als das gegenüber einer geowissenschaftlich begründeten Prognose. Nicht umsonst ist der Nachweiszeitraum von einer Million Jahren ursprünglich aus dem ewG-Konzept und einer auf geologischen Barriere(n) basierenden Nachweisführung abgeleitet worden.

Für die Kommission ist also das ewG-Konzept hinsichtlich seiner Nachweissicherheit das robustere. Dabei erscheinen Endlagerkonzepte, deren Langzeitsicherheit auf der Ausweisung eines (oder mehrerer) einschlusswirksamer Gebirgsbereiche basiert, in Deutschland grundsätzlich in allen drei diskutierten Wirtsgesteinstypen realisierbar, vorausgesetzt es werden geeignete Standorte gefunden. Das Informationsdefizit hinsichtlich der deutschen Kristallinvorkommen gegenüber den vorhandenen Vorkenntnissen zu Salz- und Tonsteininformationen macht sich hierbei nachteilig bemerkbar. Hier bedarf es in einer frühen Phase des Standortauswahlverfahrens der Abhilfe: Es ist nicht akzeptabel einen Wirtsgesteinstyp rein aufgrund von Defiziten im Kenntnisstand frühzeitig aus dem Auswahlverfahren auszuschließen (s.a. Kapitel 6.5.7).

Die Kommission schließt, mit Blick auf die in anderen europäischen Staaten, insbesondere in Skandinavien, verfolgten Endlagerprojekte auf Basis des Behälterkonzepts nicht aus, dass ein solches Konzept auch in Deutschland realisiert werden kann. Dies würde aber einen Perspektivwechsel in der Nachweisphilosophie hinsichtlich der Langzeitsicherheit voraussetzen. Des Weiteren muss vorausgesetzt werden, dass ein Behälter für einen Nachweiszeitraum von 1 Mio Jahren, der den deutschen Sicherheitsanforderungen genügt, entwickelt werden kann. Dabei ist zu zeigen, dass ein auf Behältertechnologie, Buffer und geotechnischen Barrieren basierender Langzeitsicherheitsnachweis zu einer mindestens gleichwertigen Sicherheitsaussage führt wie bei einem ewG-Konzept in Salz oder Tonstein. Entsprechende Untersuchungen zum Behälterkonzept und einem darauf angepassten Sicherheits- und Nachweisconcept wären für deutsche Standorte noch durchzuführen, könnten dabei aber auf den Entwicklungen in Skandinavien aufsetzen.

Denkbar sind in diesem Zusammenhang auch kombinierte Konzepte, die vorhandene einschlusswirksame Eigenschaften des Wirtsgesteins mit technischen Barrieren kombinieren und in dieser Kombination eine weitere Nachweismöglichkeit für den langzeitsicheren Einschluss eröffnen. Bei einer Betonung der Funktion der technischen Barrieren für die Langzeitsicherheit wären auch nicht nur Eignungsprognosen für Kristallinstandorte betroffen: Behälterkonzepte lassen sich grundsätzlich in unterschiedlichen Wirtsgesteinstypen realisieren, also auch in Salz- oder Tonsteininformationen. Sie sind nicht auf den Wirtsgesteinstyp Kristallin beschränkt.

Wird in Deutschland das Behälterkonzept neben dem ewG-Konzept ebenfalls zugelassen, müssten auch die Sicherheitsanforderungen des BMU angepasst werden.

Gelöscht: dem in Rede stehenden

Gelöscht: G

Gelöscht: e

Kommentiert [WK5]: Was heißt das konkret? Wird jetzt in Phase 1 in den Kristallinvorkommen erkundet? Wie soll das Informationsdefizit beseitigt werden? Wenn das Informationsdefizit nicht beseitigt werden kann, dann muss die Endlagerkommission einen Vorschlag unterbreiten, wie damit umgegangen wird. Wenn kein Vorschlag durch die Endlagerkommission erfolgt und gleichzeitig in der Phase 1 nicht erkundet werden soll, führt dieser Satz in eine Sackgasse.

Kommentiert [WK6]: Es gibt nur Schweden und Finnland. Welche noch? Zudem sollte auch genannt werden, welche Staaten vom Behälterkonzept im Kristallin wieder abgekommen sind, sonst ist das zu einseitig.

Gelöscht: zu

Gelöscht: en wäre, d

Gelöscht: Aufrecht zu erhalten wäre dabei er Anspruch

Gelöscht: insbesondere