

Endlagerkonzepte und entscheidungserhebliche Fragen zu einer Endlagerung im Kristallingestein

Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla
Entwurf 2 vom 27.04.2016

Vorbemerkung zum Entwurf 2:

Der Entwurf 2 baut auf dem Entwurf 1 (K.-Drs. AG3-128) auf. Der Entwurf 1 wurde um den Abschnitt „*Welche Endlagerkonzepte empfiehlt die Endlagerkommission?*“ erweitert. Nach den derzeit geltenden Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010 ist bei einem Endlager ein Endlagerkonzept zugrunde zu legen, bei dem ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich, bestehend aus einer mächtigen geologischen Barriere, die durch geotechnische Barrieren ergänzt wird, für die Rückhaltung der Radionuklide auszuweisen. Bei einem Endlager im Kristallingestein ist dies jedoch nicht möglich. Im Kristallingestein muss das „*Behälterkonzept*“ zugrunde gelegt werden, das bisher in Deutschland nicht als mögliches Endlagerkonzept in nähere Erwägung gezogen wurde. Was empfiehlt die Endlagerkommission dazu? Der Abschnitt stellt wesentliche Gesichtspunkte für die Diskussion in der AG3 zusammen.

Vorbemerkung zum Entwurf 1:

Der Abschnitt 5.5.? wurde auf Bitte der AG3-Vorsitzenden für den Endbericht als Beitrag zum Endbericht verfasst.

5.5.? Endlagerkonzepte

Jede Entsorgungsoption/ jeder Entsorgungspfad basiert darauf, dass dabei eine oder mehrere Barrieren vorhanden sind, die einen Einschluss der radioaktiven Abfälle gewährleisten und eine unzulässige Freisetzung von Radionukliden innerhalb eines Zeitraumes von bis zu einer Million Jahren verhindern. Dazu wird immer das gesamte Endlagersystem betrachtet.

Für eine Endlagerung in tiefen geologischen Formationen besteht das Endlagersystem aus dem Endlagerbergwerk, dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich und aus den diesen Gebirgsbereich umgebenden oder überlagernden geologischen Schichten bis zur Erdoberfläche, soweit sie sicherheitstechnisch bedeutsam und damit im Sicherheitsnachweis zu berücksichtigen sind. Für jedes in Frage kommende Wirtsgestein wurden entsprechende Endlagerkonzepte entwickelt. 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 folgende grundsätzlich unterschiedlichen Sicherheitsansätze möglich:

1) „Konzept des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches“ (ewG-Konzept)

Es 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. Das Wirtsgestein (=geologische Barriere) stellt hierbei die Hauptbarriere dar. Als zusätzliche Barrieren sind die geotechnischen Barrieren

(Schacht- und Streckenverschlüsse) planmäßig vorgesehen. Der Behälter (= technische Barriere) hat beim ewG-Konzept nur eine zeitlich begrenzte Funktion.

2) „Behälterkonzept“

Wenn das Wirtsgestein keine ausreichende Barriere darstellt (z.B. bei einem klüftigen Kristallingestein), dann müssen andere Barrieren (technische Barrieren) die Sicherheitsfunktion, d.h. den langfristigen Schutz der eingelagerten radioaktiven Abfälle vor einem Kontakt mit z.B. Grundwasser übernehmen und einen Radionuklidaustrag verhindern. Im „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 zusätzlich um den Abfallbehälter eine Schutzschicht (Buffer), bestehend aus einer mehrere Dezimeter dicken Bentonitschicht, angeordnet. Dieses Material quillt bei Flüssigkeitszutritt und dichtet den Nahbereich des Behälters ab.

Zu 1) ewG-Konzept

Das ewG-Konzept wurde in Deutschland vom AK-End entwickelt und anschließend im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten seine Anwendbarkeit für Endlager in den Wirtsgesteinen Salz und Tonstein nachgewiesen. Bei geeigneter Standortauswahl im Salz und im Tonstein ist es möglich, einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich so auszuweisen, dass dessen Integrität über eine Million Jahre gewährleistet ist. Eine geeignete Endlagerplanung wird hierbei vorausgesetzt. Beim ewG-Konzept haben die Behälter die Aufgabe, während des Endlagerbetriebes (wenige Jahrzehnte) das Personal sicher vor radioaktiver Strahlung zu schützen. Dieselbe Sicherheitsfunktion wird von den Behältern während eines festgelegten Zeitraumes für eine (eventuelle notwendige) Rückholung in der Betriebsphase gefordert. Eine Rückholung der hochradioaktiven Abfälle ist nur bei intaktem Behälter möglich. Ab dem Zeitpunkt, ab dem eine Rückholung nicht mehr als möglich angesehen wird (z.B. 500 Jahre), muss der Behälter keine Barrierefunktion mehr übernehmen. Dies stellt einen wesentlichen Unterschied zum nachfolgend beschriebenen „Behälterkonzept“ dar.

Die Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010 basieren auf dem ewG-Konzept.

Zu 2) „Behälterkonzept“

Beim „Behälterkonzept“ übernimmt der Behälter über die gesamte betrachtete Zeitdauer von bis zu einer Million Jahre die wesentliche Barrierefunktion. Deshalb wird der Behälter zusätzlich von einer wenige Dezimeter dicken Bentonitschicht ummantelt. Bentonit ist ein stark quellfähiger Ton, der bei Zutritt von Wasser quillt und dadurch abdichtet. Nach dem Quellen ist die Durchlässigkeit des Bentonits gering (ca. $k = 10^{-11}$ m/s bis 10^{-12} m/s). Voraussetzung dabei ist, dass der Bentonit mit einer ausreichenden Dichte um die Abfallbehälter herum verdichtet wird. Beim „Behälterkonzept“ übernimmt das umgebende Wirtsgestein die Aufgabe, die mechanische Stabilität der Einlagerungshohlräume sicher zu stellen. Das Wirtsgestein übernimmt nicht die Aufgabe, einen Wassereintrag zu verhindern oder einen Radionuklidaustrag zu verhindern. Trotzdem wird man auch bei einem Endlagerkonzept, dem das Behälterkonzept zugrunde liegt, eine Wirtsgesteinsformation auswählen, die ein relativ hohes Isolationsvermögen hat. Das „Behälterkonzept“ wird beispielsweise bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in Kristallingestein (z.B. in Schweden) zugrunde gelegt.

(siehe Abschnitt ???). Als Behälter werden ca. 5 cm dicke Kupferbehälter verwendet, die zugeschweißt werden sollen.

Für jedes der beiden genannten Sicherheitskonzepte müssen entsprechende Sicherheitsnachweise geführt werden.

Gesichtspunkte zur Diskussion zum Thema:

Welche Endlagerkonzepte empfiehlt die Endlagerkommission?

In obigem Abschnitt 5.5. werden die beiden Endlagerkonzepte neutral beschrieben. **Die Endlagerkommission muss sich aber noch dazu festlegen, welches Konzept bzw. welche Konzepte sie eigentlich empfiehlt.**

Bei einem Endlager in im Salz oder im Tonstein muss und kann ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich ausgewiesen werden, der aus einem mehrere Zehnermeter mächtigen, nur sehr gering durchlässigen Wirtsgestein besteht (Mindestanforderung Durchlässigkeitsbeiwert kleiner 10^{-10} m/s). Die geologische Barriere wird durch die geotechnischen Barrieren ergänzt. Die technische Barriere (der Behälter) spielt nur eine Rolle für den Zeitraum der Einlagerung und einen Folgezeitraum, in dem eine Rückholung oder Bergung der Behälter möglich sein soll (ca. 50 Jahre für die Einlagerung und ca. 500 Jahre, in denen eine Bergung möglich sein soll; in Summe ca. 550 Jahre) .

Auf einem solchen ewG-Konzept basieren auch die Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010. Dass ein solches ewG-Konzept von der Endlagerkommission mitgetragen wird, war bisher immer stillschweigende Voraussetzung.

Wird jedoch in einem Kristallingestein ein Endlager ausgewählt, kann ein in den Sicherheitsanforderungen des BMU gefordertes ewG-Konzept nicht zugrunde gelegt werden, da Kristallingestein klüftig ist und damit kein Wirtsgesteinsbereich, der mehrere Zehnermeter mächtig ist und einen Durchlässigkeitsbeiwert kleiner 10^{-10} m/s hat, ausgewiesen werden kann. Die Mindestanforderung „Der ewG muss mindestens 100 m mächtig sein.“ kann im Kristallin nicht eingehalten werden. Damit muss auf das „Behälterkonzept“ umgeschwenkt werden.

Aber wie steht es mit dem Behälterkonzept (das z.B. in Schweden angewendet wird)? Das Behälterkonzept wurde bisher in Deutschland noch nicht verfolgt – aus guten Gründen und weil man über Gebirgsformationen Salz und Tonstein verfügt, in denen die Umsetzung des ewG-Konzeptes möglich ist (im Gegensatz zu Schweden, die über keine ausreichenden Salzformationen und Tonsteinformationen verfügen). In Frankreich und in der Schweiz wurde eine Endlagerung im Kristallingestein aus unterschiedlichen Gründen aufgegeben. Endlagerkonzepte, Sicherheitskonzepte und Nachweiskonzepte sind bisher in Deutschland für Kristallingestein im Vergleich zu Salz und Tongestein am wenigsten entwickelt und in der Forschung betrachtet worden. Bisher ist es in der Endlagercommunity an sich Konsens, dass die BMU-Sicherheitsanforderung

- Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorhandenes Porenwasser darf nicht am hydrogeologischen Kreislauf im Sinne des Wasserrechts außerhalb des

einschlusswirksamen Gebirgsbereichs teilnehmen. Dies gilt als erfüllt, wenn die Ausbreitung von Schadstoffen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich durch advective Transportprozesse allenfalls vergleichbar zur Ausbreitung durch diffusive Transportprozesse erfolgt.“ (BMU-Sicherheitsanforderungen Seite 14)

die für alle Wirtsgesteine gilt, im Kristallingestein nicht erfüllt werden kann.

Beim „Behälterkonzept“ muss die Integrität und Dichtheit des Behälters über den gesamten Nachweiszeitraum (1 Mio. Jahre) gewährleistet sein. Dies ist auch eine Forderung in den Empfehlungen der Entsorgungskommission (ESK) „Anforderungen an Endlagergebäude zur Endlagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle“ vom 17.03.2016 für eine Endlagerung im Kristallingestein.

Wenn die Endlagerkommission eine Standortauswahl auch im Kristallin empfiehlt, ist es damit zwingende Voraussetzung, dass zuerst ein positives Votum zum Behälterkonzept abgegeben wird. Dies will gut überlegt sein. Denn es gibt keinen Behälter weltweit für einen Nachweiszeitraum von einer Million Jahren. Es gibt kein Qualitätskontrollkonzept, wenn mehrere tausend Behälter so verschweißt werden müssen, dass die Fehlerquote bei null liegt. Die Endlagerkommission kann nicht auf politisches Bestreben einiger Bundesländer Kristallin als zu erkundendes Wirtsgestein vorsehen, wenn sie zum dazu notwendigen Endlagerkonzept nichts aussagt. Das gehört zu den **entscheidungserheblichen Grundlagen**, die nach § 4 StandAG durch die Endlagerkommission zu beurteilen sind.

In der Diskussion müssen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Empfiehlt die Endlagerkommission auch die Einführung des Behälterkonzeptes in Deutschland?
2. Auf welcher wissenschaftlichen Grundlage würde ein solcher Paradigmenwechsel zum Behälterkonzept stehen?
3. Gibt es einen Behälter für einen Nachweiszeitraum von 1 Mio Jahren? Wenn nein, lässt er sich zeitnah (ca. in den nächsten 3 Jahrzehnten) entwickeln?
4. Wie ist die Korrosion der Behälter (Kupferkorrosion, Spannungskorrosion, usw.) und der Einfluss von Mikroben zu beurteilen?

Diese Fragen müssen aber positiv beantwortet werden können, **bevor** eine Standortauswahl auch im Kristallin vorgesehen wird.