

**Kommission**  
**Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe**  
**K-Drs. /AG3-102**

6.7 Anforderungen an Behälter - ENTWURF 12.02.2016 (~~Überarbeitung NMU;~~  
~~Stand 26.19.02.2016)~~

**Kommentiert [1]:**  
Kapitelbeschreibung identisch mit 6.7.1

Die Kommission hat sich in ihrer Arbeitsgruppe 3 mit den Anforderungen an die Behälter ~~zur dauerhaften Lagerung~~ ~~er zur Endlagerung~~ hoch radioaktiver Abfälle im Rahmen der 14. Arbeitsgruppensitzung am 24.11.2015 befasst und sich in diesem Zusammenhang durch Vorträge von zwei Experten über den aktuellen Sachstand informiert<sup>1</sup>. ~~Der B-Im-Endlagersystem stellt der Abfallbehälter stellt~~ eine wesentliche technologische Barriere dar, die in den Phasen der ~~La~~Endlagerung unterschiedliche Bedeutung hat. In der Phase der Einlagerung kommt dem Behälter die maßgebliche Schutzfunktion zu. Im verschlossenen Einlagerungsbereich muss die Schutzfunktion des Behälters erhalten bleiben, um über einige Dekaden die Rückholbarkeit zu ermöglichen. In der Nachbetriebsphase muss die Behälterintegrität mindestens über einige hundert Jahre bestehen ~~bleiben, um für den Fall einer notwendigen Fehlerkorrekturmassnahme eiben, um als Notfalloption~~ eine Bergung durchführen zu können. In wie weit über diesen ~~Zeitraum hinaus eine Schutz-, Abschirm- oder Bergungsfunktion und eine Gewährleistung der Unterkritikalität erforderlich~~ Zeitraum hinaus ~~Kredit von der Barrierefunktion des Behälters genommen wird, ist, hängt von dem Lagermedium, dem Lagerkonzept, den chemischen, physikalischen und radiologischen Rahmenbedingungen ab, von dem jeweiligen Endlagerkonzept abhängig. Der im Endlagerkonzept angelegte Zeitrahmen für über den Erhalt der Barrierefunktion des Behälters bestimmt maßgeblich die Anforderungen, die an das Langzeitverhalten des Behälters zu stellen sind.~~

6.7.1 Anforderungen an Behälter

Regulatorische Anforderungen an Abfallbehälter für die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle finden sich in Deutschland in generischer Form in den Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010<sup>2</sup>. ~~Die Sicherheitsanforderungen enthalten bislang aber keine. Bisher wurde kein Bedarf für eine detaillierte Definition der Anforderungsentwicklung gesehen. Diese Aufgabe sollte gemäß früherem Verständnis im Zusammenhang kann erst mit der Entwicklung und Definition eines Las-Endlagerkonzeptes und der Erstellung einer vorläufigen Sicherheitsuntersuchung einer Sicherheitsanalyse für den jeweiligen Standort abgeschlossen werden, da Teile der Behälteranforderungen abhängig vom Konzept Endlagerstandort zu spezifizieren sind. Unabhängig vom Standort lassen sich aber die grundsätzlichen Anforderungen an einen Abfallbehälter herleiten, mit denen die Einhaltung der Schutzziele mit den Begriffen "Einschluss der radioaktiven Stoffe", "Vermeidung unnötiger Strahlenexpositionen-Abschirmung", "Begrenzung und Kontrolle der Strahlenexposition des Betriebspersonals und der Bevölkerung", "Abfuhr der Zerfallswärme" und "Einhaltung der Unter~~ ~~Wärmeabfuhr und Kritikalitätssicherheit"~~ ~~umreißensichergestellt werden kann:~~

Die ~~Anforderung Behälterfunktion~~ „Einschluss“ muss die langfristige Dichtheit des Behälters gewährleisten und insbesondere den Austritt radioaktiver Gase sowie einen direkten Kontakt der Abfälle mit ihrer Umgebung sicher verhindern. Durch die Abschirmungsfunktion des Behälters wird die von den radioaktiven Abfällen ausgehende Strahlung reduziert ~~oder verhindert.~~ Die Behälterauslegung zur Wärmeabfuhr sorgt dafür, dass die Zerfallswärme in ausreichendem Maß und möglichst gleichmäßig verteilt an die Umgebung abgeführt wird. Kritikalitätssicherheit steht dafür, dass durch Konstruktion und Beladung des Behälters ~~dieser~~ enthaltenen Kernbrennstoffe sicher im unterkritischen Zustand gehalten ~~werden~~ werden.

<sup>1</sup> Vgl. Wortprotokoll der 14. Sitzung öffentlicher Teil Arbeitsgruppe 3

<sup>2</sup> Vgl. BMU (2010): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle

Diese grundsätzlichen Anforderungen gelten sowohl im Normalbetrieb als auch unter auslegungsrelevanten Störfällen wie beispielsweise Brand, Behälterabsturz, radiolytische Reaktionen, unerwarteten Druck- oder Temperaturbedingungen oder Kollision. Weitere Anforderungen resultieren aus den betrieblichen Vorgängen im LagerEndlager. Hierzu gehören Handhabbarkeit und Transportierbarkeit bei der Einlagerung, Reparatur, Rückholung oder Bergung, ~~im Endlager~~ sowie die Minimierung der Strahlenexposition für das Personal. Bestimmend für die Handhabbarkeit eines Behälters sind seine Größe, Gewicht, Strahlung, Temperatur und Auslegung.

Diese grundsätzlichen Anforderungen sind unabhängig vom S-Endlager Standort einzuhalten. In angepasster Form gelten sie bereits für die vorgeschaltete Zwischenlagerphase. Die konkrete Behälterauslegung ~~für das Endlager~~ ist aber standortspezifisch insbesondere in Abhängigkeit vom Wirtsgestein zu definieren. Dazu gehört besonders die Wärmeabfuhr und die Handhabung des Behälters untertage. Da die Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Wirtsgesteine unterschiedlich hoch ist, muss dem absoluten Wärmeeintrag und dem Wärmeübergang bei der Wärmeübergang von Behälter zu Verfüllmaterial und Wirtsgestein bei der Behälterauslegung Rechnung getragen werden. Die Hohlraumstabilität eines Wirtsgesteins beeinflusst die spätere Ausgestaltung des Einlagerungsbergwerks und der möglichen Handhabungstechniken untertage. Diese beschränken ggf. Behälterabmessungen und Massen des Behälters und sind bei der Auslegung zu berücksichtigen. Auch der Gebirgsdruck ist standortspezifisch und im Zusammenhang mit der Hohlraumverfüllung hinsichtlich des Erhalts der Behälterintegrität zu bewerten. Des Weiteren werden spezifische Auslegungsstörfälle zu betrachten sein.

#### 6.7.2 Anforderungen der Rückholbarkeit und der Bergbarkeit

Rückholbarkeit und Bergbarkeit erfordern eine deutlich verlängerte Langzeitstabilität der Behälter. Die genannten Behälteranforderungen müssen über den hierfür geforderten Zeitraum ganz oder teilweise erhalten bleiben.

Die BMU-Sicherheitsanforderungen von 2010 fordern als Rückholoption, dass ~~dieser~~ Behälter in der Betriebsphase des Endlagers bis zum Verschluss der Schächte oder Rampen rückholbar ~~sind~~<sup>3</sup>. Diese Phase ist mit einem Auslegungszeitraum von längstens 100 Jahren abgedeckt<sup>3</sup>. Für einen Zeitraum von 500 Jahren ~~müssen~~ ~~die~~ Behälter ~~derzeit~~ unter der Annahme "wahrscheinlicher" Entwicklungen bergbar sein. „Dabei ist die Vermeidung von Freisetzen radioaktiver Aerosole zu beachten.“<sup>4</sup>

Im Falle einer Rückholung kann angenommen werden, dass auf die Technologie der Einlagerung zurückgegriffen werden kann. Diese ist noch bekannt und am Einlagerungsstandort verfügbar. ~~Die~~ Behälter ~~entsprechen~~ idealerweise in ~~ihrer~~ ~~seiner~~ Qualität dem Zeitpunkt der Einlagerung. Im Hinblick auf die Behälteranforderungen bedeutet dies, dass der Behälter den Belastungen durch radioaktive Strahlung, Gebirgsdruck, Temperaturverhältnisse im und am Behälter, Korrosion und den abgelaufenen Handhabungsvorgängen über 100 Jahre standhalten muss. Die Beanspruchungen sind vom Wirtsgestein abhängig und müssen möglichst genau prognostiziert werden. Daraus resultieren Anforderungen, die die mechanische Stabilität des Behälters und seine Korrosionsfestigkeit betreffen. Abhängig vom Wirtsgestein und den erwartbaren Endlagerbedingungen sind ein geeignetes Behältermaterial und Anforderungen an Wandstärken das Behälterdesign festzulegen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Anforderung einer größeren Stabilität (Wanddicke) der Behälter nachteilig in Bezug auf andere Anforderungen des Lagersystems (Gasbildung durch Stahlkorrosion, Endlagersystems (Vermeidung großer Stahlmassen) sein kann.

<sup>3</sup> Vgl. K-Drs. / AG3-47, Seite 3

<sup>4</sup> BMU (2010), Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle

~~Die Mit Sicherheitsnachweisen muss die~~ Machbarkeit der Rückholung muss belegt und durch ein Rückholkonzept untersetzt werden. Das Rückholungskonzept muss eventuell auch Ertüchtigungsmaßnahmen oder Reparaturkonzepte für die Behälter vorsehen.

Eine Bergung der Abfallbehälter wird bislang grundsätzlich als Notfalloption betrachtet. Bei einer Bergung ist davon auszugehen, dass die Einlagerungstechnologie nicht mehr vorhanden, ggf. auch nicht mehr bekannt ist. Diese Definition sollte hinterfragt werden. Bergung ist eine Form der Fehlerkorrektur, die der Notwendigkeit eines möglichst dichten Verschlusses Rechnung trägt. Daher muss das Know How, die Bergungstechnik und das Wissen über die Abfälle verfügbar gehalten werden. Ferner ist der Auslegung im Hinblick auf die Bergbarkeit zugrunde zu legen, dass dieer Behälter zum Zeitpunkt einer Bergung über 500 Jahre radioaktiver Strahlung, der aus der Wärmeleistung des Inventars resultierenden Temperatur und dem Gebirgsdruck ausgesetzt waren. Chemische Wechselwirkungen mit dem Behältermaterial resultieren aus Mineralien der Versatzstoffe und des Wirtsgesteins, ggf. unter Wasserangebot. Hinsichtlich Korrosion sind die ungünstigsten Verhältnisse zu berücksichtigen. Um eine Bergung zu ermöglichen, müssen die wesentlichen Sicherheitsfunktionen des Behälters für den Zeitraum der Bergbarkeit (500 Jahre plus x) erhalten bleiben. Das sind der ~~dichte~~ Einschluss des radioaktiven Inventars (Aufrechterhaltung der Behälterintegrität) und die Sicherstellung der Unterkritikalität. Der Behälter muss so ausgelegt sein, dass Korrosionsschäden unter erwartbaren Bedingungen möglichst gering bleiben. Als weitere Anforderung ist die Aerosoldichtigkeit in den BMU-Sicherheitsanforderungen genannt.

Mit der Verlängerung des Betrachtungszeitraums im Hinblick auf die Bergbarkeit geht ein Mehr an erforderlichen Sicherheitsmargen einher. Zu den Anforderungen an Behältermaterial und Wandstärken kommen insbesondere Anforderungen an den Behälterdeckel und seine Dichtungswirkung. Es ist zu definieren, welche Dichtheit des Behälters und seiner Komponenten für die Bergbarkeit ausreichend ist. In einem Bergungskonzept muss die Machbarkeit dargestellt werden.

Rückholbarkeit und Bergbarkeit des Abfallbehälters sind jeweils nachzuweisen. Dies stellt aufgrund der Zeiträume, die zu prognostizieren sind, eine Herausforderung dar. Aus den unterschiedlichen Wirtsgesteinen werden zudem unterschiedliche Anforderungen resultieren, so dass ggf. für jedes Wirtsgestein ein eigenes Behälterkonzept erforderlich sein kann.

Die Kommission empfiehlt, hierfür ausreichend Zeit einzuplanen.

### 6.7.3 Stand der Technik

Erfahrungen mit Behälterentwicklungen für Transport und oberirdische Lagerung sind in Deutschland umfangreich vorhanden. Für die Zwischenlagerung wärmeentwickelnder Abfälle werden aktuell eine Bandbreite unterschiedlicher Behälter genutzt. Transport- und Lagerbehälter der Typenfamilien Castor® und TN® finden standardmäßig Verwendung für Transport und Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente und hoch radioaktiver Abfälle aus deren Wiederaufarbeitung. Außerdem wurden in der Vergangenheit in Deutschland Behälterkonzepte vom Typ Pollux® sowie als Alternative hierzu das Konzept der Brennstabkockille (BSK3) für die Endlagerung entwickelt. Die Behälterkonzepte orientierten sich an den zum Entwicklungszeitpunkt vorgegebenen Referenzkonzepten. pten für eine Endlagerung im jüngeren Steinsalz-Bedingungen.

~~Aus dieser Situation ergeben sich für die Weiterentwicklung die Varianten einer Ertüchtigung der Castor® Behältertypen oder einer Weiterentwicklung des Pollux®, bzw. des BSK3 Behälterkonzepts, oder aber eine Entwicklung von wirtsgesteinsspezifischen Behälterkonzepten.~~

~~Vorteile einer Ertüchtigung der bereits genutzten Castor® Behälter wären, dass Kenntnisse zum Alterungsverhalten der Behälter aus der Zwischenlagerphase vorhanden sind oder sein~~

werden (Inspektionen, wiederkehrende Prüfungen) und weitere Handhabungs- oder Konditionierungsschritte sowie die getrennte Entsorgung der benutzten Behälter entfallen könnten. Zudem haben sich die Behälter hinsichtlich ihrer Abschirm- und Einschlusswirkung bewährt. Ein Nachteil könnte die zum Zeitpunkt der Endlagerung erreichte Voralterung sein. Zudem sind viele unterschiedliche Castor®-Behälter im Einsatz, was entsprechend viele Handhabungskonzepte zur Folge hätte. Größen und Massen der Castor-Behälter (bis zu 145 Tonnen) stellen eine Herausforderung der bergtechnischen Handhabung dar. ~~Die großen Behälter haben im beladenen Zustand zudem eine hohe Wärmeleistung. Die im Rahmen einer Anhörung hierzu vorgetragenen Expertenmeinungen<sup>5</sup> lassen die grundsätzliche Machbarkeit einer Ertüchtigung der Castor®-Typen, zumindest hinsichtlich der Einlagerungsphase und der Phase der Rückholbarkeit, annehmen.~~

Sowohl das Referenzkonzept Pollux® als auch das Alternativkonzept BSK3 wurden für eine Endlagerung im Steinsalz entwickelt. Für andere Wirtsgesteine wären Anpassungen oder vollkommen neue Bauarten für Endlagerbehälter zu entwickeln. ~~Die vorhandenen Beide-Referenzkonzepte entsprechen~~ derzeit nicht mehr dem ~~neuesten~~ Stand von Wissenschaft und Technik und müssten intensiv überarbeitet werden, insbesondere ~~weil die damaligen~~ vor dem Hintergrund aktueller oder zusätzlicher Sicherheitsanforderungen, nicht mehr den heutigen entsprechen. Eine Anpassung an aktuelle Anforderungen ~~wurde~~ ist im Expertenkreis im Rahmen der Anhörung ebenfalls für prinzipiell machbar, aber nicht unbedingt für sinnvoll gehalten.

Eine Neuentwicklung von Abfallbehältern böte den Vorteil, das oder die Behälterkonzept(e) den aktuellen Sicherheitsanforderungen exakt anpassen zu können. Insbesondere die Anforderungen zu Rückholbarkeit und Bergbarkeit wären in ein entsprechendes Behälterdesign umzusetzen. Nachteil ist, dass die Konzeptentwicklung Zeit benötigt und daher frühzeitig angestoßen werden muss. Aufgrund der wirtsgesteinsspezifischen Anforderungen wird zudem zunächst die Entwicklung von mindestens drei Abfallbehälterkonzepten, eines für jedes Wirtsgestein, ggf. modifiziert um horizontale oder vertikale Lagerung, erforderlich sein. Die Verwendung eines neuen Behälters erfordert außerdem eine entsprechende Konditionierungs-/ Umladeeinrichtung. Zusätzliche Sekundärabfälle sowie die benutzten Castor®-Behälter wären zu entsorgen.

Neben den Erfahrungen in Deutschland kann für die Behälterentwicklung in verschiedenen Wirtsgesteinen auf internationale Kenntnisse (z.B. auf skandinavische, französische oder Schweizer Behälterkonzepte) zurückgegriffen werden.

Voraussetzung für eine Behälterentwicklung ist das Vorliegen von Anforderungen. Hierzu sollte für jedes Wirtsgestein das Spektrum an Behälter-Anforderungen ausgelotet werden. Mit zunehmenden Kenntnissen, auch hinsichtlich der Machbarkeit, können Anforderungen spezifiziert und das Behälterkonzept angepasst und optimiert werden.

#### 6.7.4 Terminierung und Umsetzung der Behälterentwicklung/~~ertüchtigung~~

Die Entwicklung geeigneter Behälterkonzepte erfordert Zeit. In K-Drs. /AG3-51 werden mindestens fünf bis sieben Jahre veranschlagt. Mit einer Erprobungsphase sowie dem erforderlichen Eignungsnachweis wird sich der Zeitraum bis zur Zulassung der Behälter als Endlagerbehälter deutlich verlängern. So kann ein Zeitbedarf von einigen Dekaden entstehen. Die Kommission sieht die Notwendigkeit, im Rahmen des Standortauswahlverfahrens frühzeitig wirtsgesteinsspezifische Endlagerkonzepte verfügbar zu haben. Hierzu gehören auch entsprechende Behälterkonzepte, die entsprechend dem Verlauf des Standortauswahlverfahrens iterativ weiter zu entwickeln sind. Die Kommission empfiehlt daher, diesen Prozess baldmöglichst anzustoßen. Dabei ist klar darzulegen, welcher Akteur welche Rolle übernehmen wird.

<sup>5</sup> Vgl. K-Drs. /AG3-49 und K-Drs. /AG3-51

Voraussetzung für die Entwicklung von Behälterkonzepten ist die Kenntnis der aktuellen Sicherheitsanforderungen und der dafür notwendigen Auslegung, die wiederum aus den vorgesehenen Lagerkonzepten resultieren. Es ist Aufgabe des Vorhabenträgers, wirtsgesteinsspezifische Lagerkonzepte vorzulegen und mit der Regulierungsbehörde abzustimmen. Die daraus resultierenden Auslegungen der Regulierungsbehörde, Anforderungen an den Behälter sind dann so weit zu konkretisieren, dass deren Entwicklung und Konstruktion erfolgen können. Im nächsten Schritt muss die Entwicklung der Behälter angestoßen werden. Parallel sollte auch geprüft werden, inwieweit Erfahrungen mit vorhandenen Transport- und Lagerbehältern aus der Zwischenlagerung und Erfahrungen aus internationalen Entwicklungen genutzt werden können, so weit ertüchtigt werden können, dass sie den Anforderungen der Endlagerung genügen.

Da sowohl die zukünftige Standorterkundung als auch die Behälterentwicklung zu weiterführenden Erkenntnissen führen werden, sollte das Verfahren als iterativer Prozess angelegt werden, der eine Weiterentwicklung entsprechend des sich entwickelnden Kenntnisstandes von Wissenschaft und Technik auch nach einer erfolgten Standortentscheidung ermöglicht. Es ist nicht auszuschließen, dass die Entscheidung für ein Wirtsgestein vorläufig erst mit der finalen Standortentscheidung fallen wird. Erst mit dieser Entscheidung kann die Behälterentwicklung zum Abschluss gebracht werden. Für die Entscheidung muss aber im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchung ein bewertbares Behälterkonzept vorhanden sein. Auch deshalb bietet sich ein iterativer Prozess an, in dem zunächst wirtsgesteinsspezifische Anforderungen an Behälter für alle drei Gesteinsarten ggf. in drei Konzepten mitgeführt werden.

#### Verwendete Literatur

Völzke, Holger. Stellungnahme zur Rückholung und Bergung von Behältern. K-Drs. /AG3-47

Völzke, Holger. Technische Anforderungen an Endlagerbehälter hinsichtlich ihrer Rückholbarkeit und Bergbarkeit. K-Drs. /AG3-49

Schneider-Eickhoff, Ralf. Rückholbarkeit / Bergbarkeit von Endlagerbehältern - Anforderungen an das Behälterdesign. K-Drs. /AG3-51

Wortprotokoll der 14. Sitzung öffentlicher Teil Arbeitsgruppe 3 - Gesellschaftliche und technisch-wissenschaftliche Entscheidungskriterien sowie Kriterien für Fehlerkorrekturen; Berlin, den 24. November 2015

Audio-Datei der 17. Sitzung öffentlicher Teil Arbeitsgruppe 3 - Gesellschaftliche und technisch-wissenschaftliche Entscheidungskriterien sowie Kriterien für Fehlerkorrekturen; Berlin, den 02. Februar 2016

BMU (2010): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle, Stand 30. September 2010