

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
K-Drs. /AG3-98

6.7 Anforderungen an Behälter - **ENTWURF 12.02.2016 / Anm. Dr. h. c. Fischer**

Die Kommission hat sich in ihrer Arbeitsgruppe 3 mit den Anforderungen an die Behälter 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 informiert¹. Im Endlagersystem stellt der Abfallbehälter eine wesentliche technologische Barriere dar, die in den Phasen der 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 über einige hundert Jahre bestehen bleiben, um als Notfalloption eine Bergung durchführen zu können. In wie weit über diesen Zeitraum hinaus Kredit von der Barrierefunktion des Behälters genommen wird, ist von dem jeweiligen Endlagerkonzept und dem Wirtsgestein abhängig. Der im Endlagerkonzept angelegte Zeitrahmen 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 2010². Bisher wurde kein Bedarf für eine detaillierte Anforderungsentwicklung gesehen. Diese Aufgabe sollte gemäß früherem Verständnis im Zusammenhang mit der Entwicklung eines Endlagerkonzeptes und der Erstellung einer Sicherheitsanalyse für den Standort erfolgen, da Teile der Behälteranforderungen abhängig vom Endlagerstandort zu spezifizieren sind. Unabhängig vom Standort lassen sich aber die grundsätzlichen Anforderungen an einen Abfallbehälter mit den Begriffen "Einschluss", "Abschirmung", "Wärmeabfuhr und Kritikalitätssicherheit" umreißen:

Die Behälterfunktion Einschluss muss einen direkten Kontakt der Abfälle mit ihrer Umgebung sicher verhindern. Durch die Abschirmungsfunktion des Behälters wird die von den Abfällen ausgehende Strahlung zu einem großen Teil in der Behälterwand absorbiert, reduziert oder verhindert. Die Behälterauslegung zur Das Wärmeabfuhr vermögen des Behälters sorgt dafür, dass die Zerfallswärme in ausreichendem Maß an die Umgebung abgeführt wird. Kritikalitätssicherheit steht dafür, dass durch Konstruktion und Beladung des Behälters der enthaltene Kernbrennstoffe sicher im unterkritischen Zustand gehalten wird.

Diese Anforderungen gelten sowohl im Normalbetrieb als auch unter auslegungsrelevanten Störfällen wie beispielsweise Brand, Behälterabsturz oder Kollision. Weitere Anforderungen resultieren aus den betrieblichen Vorgängen im Endlager. Hierzu gehören Handhabbarkeit und Transportierbarkeit im Endlager sowie die Minimierung der Strahlenexposition für das Personal. Bestimmend für die Handhabbarkeit eines Behälters sind seine Größe, Gewicht und Auslegung.

Diese Anforderungen sind unabhängig vom Endlagerstandort einzuhalten, wobei jedes Wirtsgestein andere quantitative Anforderungen stellt. In angepasster Form gelten sie bereits für die vorgeschaltete Zwischenlagerphase. Die konkrete Behälterauslegung für das Endlager ist aber standortspezifisch insbesondere in Abhängigkeit vom Wirtsgestein und dem Endlagerkonzept zu definieren. Dazu gehört besonders die Wärmeabfuhr und die Handhabung des Behälters unter Tage. Da die Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Wirtsgesteine unterschiedlich hoch ist, muss

¹ Vgl. Wortprotokoll der 14. Sitzung öffentlicher Teil Arbeitsgruppe 3

² Vgl. BMU (2010): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle

Kommentiert [FIS1]: Was soll sich hinter Auslegung verstehen? Die Kompatibilität zum Handhabungsequipment?

1 dem absoluten Wärmeeintrag und dem Wärmeübergang von Behälter zu Verfüllmaterial und
2 Wirtsgestein bei der Behälterauslegung Rechnung getragen werden. Die Hohlraumstabilität ei-
3 nes Wirtsgesteins beeinflusst die spätere Ausgestaltung des Einlagerungsbergwerks und der
4 möglichen Handhabungstechniken untertage. Diese beschränken ggf. Behälterabmessungen
5 und Massen des Behälters und sind bei der Auslegung zu berücksichtigen. Auch der Gebirgs-
6 druck ist standortspezifisch und im Zusammenhang mit der Hohlraumverfüllung hinsichtlich
7 des Erhalts der Behälterintegrität zu bewerten. Des Weiteren werden spezifische Auslegungs-
8 störfälle zu betrachten sein.

10 6.7.2 Anforderungen der Rückholbarkeit und der Bergbarkeit

12 Rückholbarkeit und Bergbarkeit erfordern eine deutlich verlängerte Langzeitstabilität der Be-
13 hälter gegenüber einer Endlagerung ohne diese Anforderungen. Die genannten Behälteranfor-
14 derungen müssen über den hierfür geforderten Zeitraum ganz oder teilweise erhalten bleiben.
15 Die BMU-Sicherheitsanforderungen von 2010 fordern als Rückholoption, dass der Behälter in
16 der Betriebsphase des Endlagers bis zum Verschluss der Schächte oder Rampen rückholbar ist.
17 Diese Phase ist mit einem Auslegungszeitraum von längstens 100 Jahren abgedeckt³. Für einen

³ Vgl. K-Drs. / AG3-47, Seite 3

Zeitraum von 500 Jahren muss der Behälter unter der Annahme wahrscheinlicher Entwicklungen bergbar sein. „Dabei ist die Vermeidung von Freisetzungen radioaktiver Aerosole zu be-
 logie der Einlagerung zurückgegriffen werden kann. Diese ist hoch bekannt und am Einlage-
 bar. Der Behälter entspricht idealerweise in seiner Qualität dem Zeitpunkt der Einlagerung. Im
 gen durch radioaktive Strahlung, Gebirgsdruck, Temperaturverhältnisse im und am Behälter,
 Korrosion und den abgelaufenen Handhabungsvorgängen über max. 100 Jahre standhalten
 muss. Die standortspezifischen Beanspruchungen sind vom Wirtsgestein und dem Endlager-
 konzept abhängig und müssen möglichst genau prognostiziert werden. Daraus resultieren An-
 bedingungen, die die mechanische Stabilität des Behälters und seine Korrosionsfestigkeit be-
 treffen. Abhängig vom Wirtsgestein und den zu erwartenden Endlagerbedingungen sind
 geeignetes Behältermaterial und Anforderungen an Wandstärken mechanische Behälterbelas-
 gen.
 Mit Sicherheitsnachweisen muss die Die Machbarkeit der Rückholung belegt und durchmuss
 durch ein Rückholkonzept unteretzt und mit einem Sicherheitsnachweis belegt werden. Das
 Rückholungskonzept muss eventuell auch Ertüchtigungsmaßnahmen oder Reparaturkonzepte
 für die Behälter vorsehen.
 Eine Bergung der Abfallbehälter wird grundsätzlich als Notfalloption betrachtet. Bei einer Ber-
 gung ist davon auszugehen, dass die Einlagerungstechnologie nicht mehr vorhanden, ggf. auch
 ist der Auslegung der Konstruktion des Behälters im Hinblick auf die Bergbarkeit zugrunde zu
 Behälter zum Zeitpunkt einer Bergung über 500 Jahre radioaktiver Strahlung, der Wärmelei-
 stung des Inventars und dem Gebirgsdruck ausgesetzt war. Chemische Wechselwirkungen mit
 dem Behältermaterial resultieren aus Mineralien der Versatzstoffe und des Wirtsgesteins, ggf.
 unter Wasserangebot. Hinsichtlich Korrosion sind ist die im Langzeitsicherheitsnachweis be-
 bene normale Systementwicklung ungünstigsten Verhältnisse zu berücksichtigen. Um eine Ber-
 sen die wesentlichen Sicherheitsfunktionen des Behälters für den Zeitraum der Bergbarkeit
 (500 Jahre) erhalten bleiben. Das sind der dichte Einschluss des radioaktiven Inventars und die
 Sicherstellung der Unterkritikalität. Der Behälter muss so ausgelegt sein, dass die Auswirkun-
 gen von Korrosionsschäden unter erwartbaren Bedingungen möglichst gering bleiben. Als wei-
 tere Anforderung ist die eine hinreichende Aerosoldichtigkeit in den BMU-Sicherheitsanforde-
 ren 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 die Behälterstabilität kommen insbesondere Anforderungen an den das
 und seine Dichtungswirkung. Es ist zu definieren, welche Dichtheit des Behälters und seiner
 Komponenten für die Bergbarkeit ausreichend ist. In einem Bergungskonzept muss die Mach-
 behälters sind jeweils nachzuweisen. Dies stellt aufgrund der Zeiträume, die zu prognostizieren
 sind, eine Herausforderung dar. Aus den unterschiedlichen Wirtsgesteinen werden zudem un-
 terschiedliche Anforderungen resultieren, so dass ggf. für jedes Wirtsgestein ein eigenes Be-
 hälterkonzept erforderlich sein kann.
 Die Kommission empfiehlt, hierfür ausreichend Zeit einzuplanen.

6.7.3 Stand der Technik

Erfahrungen mit Behälterentwicklungen sind in Deutschland umfangreich vorhanden. Für die
 Zwischenlagerung wärmeentwickelnder Abfälle werden aktuell eine Bandbreite unterschiedli-
 cher Behälter genutzt. Transport- und Lagerbehälter der Typfamilie Castor® finden standard-
 mäßig Verwendung für Transport und Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle. Außerdem
 wurden in der Vergangenheit in Deutschland Behälterkonzepte vom Typ Pollux® sowie als
 Alternative hierzu das Konzept der Brennstabkockille (BSK3) entwickelt. Die Behälterkonzepte
 orientieren sich an den zum Entwicklungszeitpunkt vorgegebenen Bedingungen.

Kommentiert [FIS3]: Die Einlagerung wird während der ge-
 samten Betriebsphase (=Zeitraum der Rückholbarkeit) durch-
 geführt und das Equipment ist daher bis zum Verschluss ver-
 fügbar.

Kommentiert [FIS4]: Der Behälter muss die Anforderungen
 an die Rückholung erfüllen, jedoch wird er definitiv nicht die
 gleiche Qualität haben wie zum Zeitpunkt der Einlagerung. (Ein
 gewisser Qualitätsverlust ist durch die Alterung unvermeidbar
 und daher in die Auslegung einzubeziehen.)

Kommentiert [FIS6]: Siehe BMU-Sicherheitsanforderungen
 Kapitel 8.6

1 Aus dieser Situation ergeben sich für die Weiterentwicklung die Varianten einer Ertüchtigung
2 der Castor®-Behältertypen oder einer Weiterentwicklung des Pollux®, bzw. des BSK3-Be-
3 hälterkonzeptes, oder aber eine Entwicklung von wirtsgesteinsspezifischen Behälterkonzepten.

4
5 Vorteile einer Ertüchtigung der bereits genutzten Castor®-Behälter wären, dass Kenntnisse
6 zum Alterungsverhalten der Behälter aus der Zwischenlagerphase vorhanden sind oder sein
7 werden (Inspektionen, wiederkehrende Prüfungen) und weitere Handhabungs- oder Konditio-
8 nierungsschritte sowie die getrennte Entsorgung der benutzten Behälter entfallen könnten. Zu-
9 dem haben sich die Behälter hinsichtlich ihrer Abschirm- und Einschlusswirkung bewährt. Ein
10 Nachteil könnte die zum Zeitpunkt der Endlagerung erreichte Voralterung sein. Zudem sind
11 viele unterschiedliche Castor®-Behälter im Einsatz, was entsprechend viele Handhabungskon-
12 zepte zur Folge hätte. Größen und Massen der Castor®-Behälter (bis zu 145 Tonnen) stellen eine
13 Herausforderung der bergmännischen Handhabung dar. Die großen Behälter haben im belade-
14 nen Zustand zudem eine hohe Wärmeleistung. Die im Rahmen einer Anhörung hierzu vorge-
15 tragenen Expertenmeinungen⁵ lassen die grundsätzliche Machbarkeit einer Ertüchtigung der
16 Castor®-Typen, zumindest hinsichtlich der Einlagerungsphase und der Phase der Rückholbar-
17 keit, annehmen.

18 Sowohl das Referenzkonzept Pollux® als auch das Alternativkonzept BSK3 wurden für eine
19 Endlagerung im Steinsalz entwickelt. Für andere Wirtsgesteine wären Anpassungen zu entwi-
20 ckeln. Beide Konzepte sind derzeit nicht auf dem neuesten Stand von Wissenschaft und Tech-
21 nik und müssten intensiv überarbeitet werden, insbesondere weil die damaligen Anforderungen
22 nicht mehr den heutigen entsprechen. Eine Anpassung an aktuelle Anforderungen wird im Ex-
23 pertenkreis ebenfalls für prinzipiell machbar, aber nicht unbedingt für sinnvoll für alle Kon-
24 zepte gehalten.

25 Eine Neuentwicklung von Abfallbehältern böte den Vorteil, das oder die Behälterkonzept(e)
26 den Anforderungen exakt anpassen zu können. Insbesondere die Anforderungen zu Rückhol-
27 barkeit und Bergbarkeit wären in ein entsprechendes Behälterdesign umzusetzen. Nachteil ist,
28 dass die Konzeptentwicklung Zeit benötigt und daher frühzeitig angestoßen werden muss. Auf-
29 grund der wirtsgesteinsspezifischen Anforderungen wird zudem zunächst die Entwicklung von
30 mindestens drei Abfallbehälterkonzepten, eines für jedes Wirtsgestein, ggf. modifiziert um ho-
31 rizontale oder vertikale für Strecken- und Bohrloch-Lagerung, erforderlich sein. Die Verwen-
32 dung eines neuen Behälters erfordert außerdem eine entsprechende Konditionierungs-/ Umla-
33 deeinrichtung. Zusätzliche Sekundärabfälle sowie die benutzten Castor®-Behälter wären zu
34 entsorgen.

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

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

42 6.7.4 Terminierung und Umsetzung der Behälterentwicklung/-ertüchtigung

43
44 Die Entwicklung geeigneter Behälterkonzepte erfordert Zeit. In K-Drs. /AG3-51 werden min-
45 destens fünf bis sieben Jahre veranschlagt. Mit einer Erprobungsphase sowie dem erforderli-
46 chen Eignungsnachweis wird sich der Zeitraum bis zur Behälterzulassung deutlich verlängern.
47 So kann ein Zeitbedarf von einigen Dekaden entstehen.

Kommentiert [FIS8]: Diese Angabe bezöge sich auf einen mit Magnetit verfüllten CASTOR-Behälter, ein „normaler“ CASTOR-Behälter wiegt max. ca. 120 t. Da dies aber im Rahmen dieses Textes aufgrund des zur Beschreibung notwendigen Umfangs nicht ausgeführt werden kann, sollte auf die Angabe verzichtet werden.

Kommentiert [FIS9]: Entscheidend ist nicht die Orientierung, sondern die Dimensionierung der Einlagerungsbereiche und der Behälter (Strecken oder Bohrlöcher).

⁵ Vgl. K-Drs. /AG3-49 und K-Drs. /AG3-51

1 Die Kommission sieht die Notwendigkeit, im Rahmen des Standortauswahlverfahrens frühzei-
2 tig wirtsgesteinsspezifische Endlagerkonzepte verfügbar zu haben. Hierzu gehören auch ent-
3 sprechende Behälterkonzepte, die entsprechend dem Verlauf des Standortauswahlverfahrens
4 iterativ weiter zu entwickeln sind. Die Kommission empfiehlt daher, diesen Prozess baldmög-
5 lichst anzustoßen. Dabei ist klar darzulegen, welcher Akteur welche Rolle übernehmen wird.
6 Voraussetzung für die Entwicklung von Behälterkonzepten ist das Vorhandensein von Anfor-
7 derungen. Es ist Aufgabe der Regulierungsbehörde, Anforderungen an den Behälter so weit zu
8 konkretisieren, dass deren Entwicklung erfolgen kann. Im nächsten Schritt muss die Entwick-
9 lung der Behälter angestoßen werden. Parallel sollte auch geprüft werden, inwieweit vorhan-
10 dene Castor® Behälter aus der Zwischenlagerung so weit ertüchtigt werden können, dass sie
11 den Anforderungen der Endlagerung genügen. Da sowohl die zukünftige Standorterkundung
12 als auch die Behälterentwicklung zu weiterführenden Erkenntnissen führen werden, sollte das
13 Verfahren als iterativer Prozess angelegt werden, der eine Weiterentwicklung entsprechend des
14 sich entwickelnden Kenntnisstandes auch nach einer erfolgten Standortentscheidung ermög-
15 licht.
16 Es ist zu berücksichtigen, dass die Entscheidung für ein Wirtsgestein letztlich erst mit der fina-
17 len Standortentscheidung fallen wird. Erst mit dieser Entscheidung kann die Behälterentwick-
18 lung zum Abschluss gebracht werden. Für die Entscheidung muss aber im Rahmen der Sicher-
19 heitsanalysen ein bewertbares Behälterkonzept vorhanden sein. Auch deshalb bietet sich ein
20 iterativer Prozess an, in dem zunächst wirtsgesteinsspezifische Anforderungen an Behälter für
21 alle drei Gesteinsarten ggf. in drei Konzepten mitgeführt werden.

22
23

- 1 Verwendete Literatur
- 2 Völzke, Holger. Stellungnahme zur Rückholung und Bergung von Behältern. K-Drs. /AG3-47
- 3 Völzke, Holger. Technische Anforderungen an Endlagerbehälter hinsichtlich ihrer Rückhol-
- 4 barkeit und Bergbarkeit. K-Drs. /AG3-49
- 5 Schneider-Eickhoff, Ralf. Rückholbarkeit / Bergbarkeit von Endlagerbehältern - Anforderun-
- 6 gen an das Behälterdesign. K-Drs. /AG3-51
- 7 Wortprotokoll der 14. Sitzung öffentlicher Teil Arbeitsgruppe 3 - Gesellschaftliche und tech-
- 8 nisch-wissenschaftliche Entscheidungskriterien sowie Kriterien für Fehlerkorrekturen; Berlin,
- 9 den 24. November 2015
- 10 Audio-Datei der 17. Sitzung öffentlicher Teil Arbeitsgruppe 3 - Gesellschaftliche und tech-
- 11 nisch-wissenschaftliche Entscheidungskriterien sowie Kriterien für Fehlerkorrekturen; Berlin,
- 12 den 02. Februar 2016
- 13 BMU (2010): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver
- 14 Abfälle, Stand 30. September 2010