

**Geschäftsstelle**

Kommission  
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe  
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Arbeitsgruppe 3  
Entscheidungskriterien sowie Kriterien  
für Fehlerkorrekturen

---

**Kommentar zur K-Drs./AG 3-93 „Kapitel 6.7 Anforderungen an Behälter,  
Entwurf 12. Februar 2016“**

Verfasser: Prof. Dr. Holger Völzke, Bundesanstalt für Materialforschung und  
–prüfung (BAM)

Datum: 16. März 2016

---

<p><b>Kommission</b> <b>Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe</b> <b>K-Drs. /AG3-107</b></p>
--

## 6.7 Anforderungen an Behälter - ENTWURF 12.02.2016

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 informiert<sup>1</sup>. 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 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 2010<sup>2</sup>. 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 **reduziert** ~~oder verhindert~~. Die Behälterauslegung zur Wärmeabfuhr sorgt dafür, dass die Zerfallswärme in ausreichendem Maß an die Umgebung abgeführt wird. Kritikalitätssicherheit steht dafür, dass durch Konstruktion und Beladung des Behälters **der** enthaltenen 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. 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 von Behälter zu Verfüllmaterial und Wirtsgestein bei der Behälterauslegung Rechnung getragen werden. Die Hohlraum-

<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

1 stabilität eines Wirtsgesteins beeinflusst die spätere Ausgestaltung des Einlagerungsberg-  
2 werks und der möglichen Handhabungstechniken untertage. Diese beschränken ggf. Behälter-  
3 abmessungen und Massen des Behälters und sind bei der Auslegung zu berücksichtigen. Auch  
4 der Gebirgsdruck ist standortspezifisch und im Zusammenhang mit der Hohlraumverfüllung  
5 hinsichtlich des Erhalts der Behälterintegrität zu bewerten. Des Weiteren werden spezifische  
6 Auslegungsstörfälle zu betrachten sein.

## 7 8 6.7.2 Anforderungen der Rückholbarkeit und der Bergbarkeit

9  
10 Rückholbarkeit und Bergbarkeit erfordern eine deutlich verlängerte Langzeitstabilität der Be-  
11 hälter. Die genannten **Behälteranforderungen** müssen über den hierfür geforderten Zeitraum  
12 ganz oder teilweise **erhalten bleiben**.

13 Die BMU-Sicherheitsanforderungen von 2010 fordern als Rückholoption, dass der Behälter in  
14 der Betriebsphase des Endlagers bis zum Verschluss der Schächte oder Rampen rückholbar  
15 ist. Diese Phase ist mit einem Auslegungszeitraum von längstens 100 Jahren abgedeckt<sup>3</sup>. Für  
16 einen Zeitraum von 500 Jahren muss der Behälter unter der Annahme wahrscheinlicher Ent-  
17 wicklungen bergbar sein. „Dabei ist die Vermeidung von Freisetzungen radioaktiver Aerosole  
18 zu beachten.“<sup>4</sup>

19 Im Falle einer Rückholung kann angenommen werden, dass auf die Technologie der Einlage-  
20 rung zurückgegriffen werden kann. Diese ist noch bekannt und am Einlagerungsstandort ver-  
21 fügbar. ~~Der Behälter entspricht idealerweise in seiner Qualität dem Zeitpunkt der Einlage-~~  
22 ~~rung.~~ Im Hinblick auf **die Behälteranforderungen bedeutet dies, dass** der Behälter den Belas-  
23 tungen durch radioaktive Strahlung, Gebirgsdruck, Temperaturverhältnisse im und am Behäl-  
24 ter, Korrosion und den abgelaufenen Handhabungsvorgängen über 100 Jahre standhalten  
25 ~~muss~~. Die Beanspruchungen sind vom Wirtsgestein abhängig und müssen möglichst genau  
26 prognostiziert werden. Daraus resultieren Anforderungen, die die mechanische Stabilität des  
27 Behälters und seine **Korrosionsfestigkeit** betreffen. Abhängig vom Wirtsgestein und den er-  
28 wartbaren Endlagerbedingungen sind **ein geeignetes Behältermaterial und Anforderungen an**  
29 **Wandstärken festzulegen**.

30 Mit Sicherheitsnachweisen muss die Machbarkeit der Rückholung belegt und durch ein  
31 Rückholkonzept untersetzt werden. Das **Rückholungskonzept** muss eventuell auch Ertüchti-  
32 gungsmaßnahmen oder Reparaturkonzepte für die Behälter vorsehen.

33 Eine Bergung der Abfallbehälter wird grundsätzlich als Notfalloption betrachtet. Bei einer  
34 Bergung ist davon auszugehen, dass die Einlagerungstechnologie nicht mehr vorhanden, ggf.  
35 auch nicht mehr bekannt ist. Ferner ist der Auslegung im Hinblick auf die Bergbarkeit zu-  
36 grunde zu legen, dass der Behälter zum Zeitpunkt einer Bergung über 500 Jahre radioaktiver  
37 Strahlung, der Wärmeleistung des Inventars und dem Gebirgsdruck ausgesetzt war. Chemi-  
38 sche Wechselwirkungen mit dem Behältermaterial resultieren aus Mineralien der Versatzstof-  
39 fe und des Wirtsgesteins, ggf. unter **Wasserangebot**. Hinsichtlich Korrosion sind die ungüns-  
40 tigsten Verhältnisse zu berücksichtigen. Um eine Bergung zu ermöglichen, müssen die we-  
41 sentlichen **Sicherheitsfunktionen** des Behälters für den Zeitraum der Bergbarkeit (500 Jahre)  
42 erhalten bleiben. Das sind der dichte Einschluss des radioaktiven Inventars und die Sicherstel-  
43 lung der Unterkritikalität. Der Behälter muss so ausgelegt sein, dass Korrosionsschäden unter  
44 erwartbaren Bedingungen möglichst gering bleiben. Als weitere Anforderung ist die Aerosol-  
45 dichtigkeit in den BMU-Sicherheitsanforderungen genannt.

46 Mit der Verlängerung des Betrachtungszeitraums im Hinblick auf die Bergbarkeit geht ein  
47 Mehr an erforderlichen Sicherheitsmargen einher. Zu den Anforderungen an Behältermaterial  
48 und Wandstärken kommen insbesondere Anforderungen an den **Behälterdeckel** und seine  
49 **Dichtungswirkung**. Es ist zu definieren, welche Dichtheit des Behälters und seiner Kompo-

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

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

1 nenten für die Bergbarkeit ausreichend ist. In einem Bergungskonzept muss die Machbarkeit  
2 dargestellt werden.

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

7 Die Kommission empfiehlt, hierfür ausreichend Zeit einzuplanen.

### 8 9 6.7.3 Stand der Technik

10  
11 Erfahrungen mit Behälterentwicklungen sind in Deutschland umfangreich vorhanden. Für die  
12 Zwischenlagerung wärmeentwickelnder Abfälle werden aktuell eine Bandbreite unterschied-  
13 licher Behälter genutzt. **Transport-** und Lagerbehälter der Typfamilie Castor® ~~finden stan-~~  
14 ~~dardmäßig~~ Verwendung für Transport und Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle. Au-  
15 ßerdem wurden in der Vergangenheit in Deutschland **Behälterkonzepte** vom Typ Pollux®  
16 sowie als Alternative hierzu das Konzept der Brennstabkockille (BSK3) entwickelt. **Die** Behäl-  
17 terkonzepte orientieren sich an den zum Entwicklungszeitpunkt vorgegebenen Bedingungen.  
18 Aus dieser Situation ergeben sich für die Weiterentwicklung die Varianten einer Ertüchtigung  
19 der **Castor®-Behältertypen** oder einer Weiterentwicklung des Pollux®-, bzw. des BSK3-  
20 Behälterkonzepts, oder aber **eine Entwicklung** von wirtsgesteinsspezifischen Behälterkonzep-  
21 ten.

22  
23 Vorteile einer Ertüchtigung der bereits genutzten **Castor®-Behälter** wären, dass Kenntnisse  
24 zum Alterungsverhalten der Behälter aus der Zwischenlagerphase vorhanden sind oder sein  
25 werden (Inspektionen, wiederkehrende Prüfungen) und weitere Handhabungs- oder Konditio-  
26 nierungsschritte sowie die getrennte Entsorgung der benutzten Behälter entfallen könnten.  
27 Zudem haben sich die Behälter hinsichtlich ihrer Abschirm- und Einschlusswirkung bewährt.  
28 Ein Nachteil könnte die zum Zeitpunkt der Endlagerung erreichte Voralterung sein. Zudem  
29 sind viele unterschiedliche **Castor®-Behälter** im Einsatz, was entsprechend viele Handha-  
30 bungskonzepte zur Folge hätte. Größen und Massen der ~~Castor~~-Behälter (bis zu 145 Tonnen)  
31 stellen eine Herausforderung der bergmännischen Handhabung dar. Die großen Behälter ha-  
32 ben im beladenen Zustand zudem **eine** hohe Wärmeleistung. Die im Rahmen einer Anhörung  
33 hierzu vorgetragenen Expertenmeinungen<sup>5</sup> lassen die grundsätzliche Machbarkeit einer Er-  
34 tüchtigung der **Castor®-Typen**, zumindest hinsichtlich der Einlagerungsphase und der Phase  
35 der Rückholbarkeit, annehmen.

36 Sowohl das Referenzkonzept Pollux® als auch das Alternativkonzept BSK3 wurden für eine  
37 Endlagerung im Steinsalz entwickelt. Für andere Wirtsgesteine wären Anpassungen zu entwi-  
38 ckeln. Beide Konzepte sind derzeit nicht auf dem neuesten Stand von Wissenschaft und  
39 Technik und müssten intensiv überarbeitet werden, insbesondere weil die damaligen Anforde-  
40 rungen nicht mehr den heutigen entsprechen. Eine Anpassung an aktuelle Anforderungen  
41 wird im Expertenkreis ebenfalls für prinzipiell machbar, aber nicht unbedingt für sinnvoll  
42 gehalten.

43 Eine Neuentwicklung von **Abfallbehältern** böte den Vorteil, das oder die Behälterkonzept(e)  
44 den Anforderungen exakt anpassen zu können. Insbesondere die Anforderungen zu Rückhol-  
45 barkeit und Bergbarkeit wären in ein entsprechendes Behälterdesign umzusetzen. **Nachteil ist,**  
46 **dass die Konzeptentwicklung Zeit benötigt und daher frühzeitig angestoßen werden muss.**  
47 **Aufgrund der wirtsgesteinsspezifischen Anforderungen wird zudem zunächst die Entwicklung**  
48 **von mindestens drei Abfallbehälterkonzepten, eines für jedes Wirtsgestein, ggf. modifiziert**  
49 **um horizontale oder vertikale Lagerung, erforderlich sein.** Die Verwendung eines neuen Be-

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

1 hälters erfordert außerdem eine entsprechende Konditionierungs-/ Umladeeinrichtung. Zu-  
2 sätzliche Sekundärabfälle sowie die benutzten **Castor®-Behälter** wären zu entsorgen.  
3 Neben den Erfahrungen in Deutschland kann für die Behälterentwicklung in verschiedenen  
4 Wirtsgesteinen auf internationale **Kenntnisse** (z.B. auf skandinavische, französische oder  
5 Schweizer Behälterkonzepte) zurückgegriffen werden.  
6 Voraussetzung für **eine Behälterentwicklung ist das Vorliegen von Anforderungen**. Hierzu  
7 sollte für jedes Wirtsgestein das Spektrum an Behälter-Anforderungen ausgelotet werden. Mit  
8 zunehmenden Kenntnissen, auch hinsichtlich der Machbarkeit, können Anforderungen **spezi-**  
9 **fiziert** und das Behälterkonzept angepasst und optimiert werden.

#### 10 6.7.4 Terminierung und Umsetzung der Behälterentwicklung/-ertüchtigung

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

15 Die Kommission sieht die Notwendigkeit, im Rahmen des Standortauswahlverfahrens früh-  
16 zeitig wirtsgesteinsspezifische Endlagerkonzepte verfügbar zu haben. Hierzu gehören auch  
17 entsprechende Behälterkonzepte, die entsprechend dem Verlauf des Standortauswahlverfah-  
18 rens iterativ weiter zu entwickeln sind. Die Kommission empfiehlt daher, diesen Prozess  
19 baldmöglichst anzustoßen. Dabei ist klar darzulegen, welcher Akteur welche Rolle überneh-  
20 men wird.

21 Voraussetzung für die Entwicklung von Behälterkonzepten ist das Vorhandensein **von** Anfor-  
22 derungen. Es ist Aufgabe der Regulierungsbehörde, Anforderungen an den Behälter so weit  
23 zu **konkretisieren**, dass deren Entwicklung erfolgen kann. Im nächsten Schritt muss die Ent-  
24 wicklung der Behälter **angestoßen** werden. Parallel sollte auch geprüft werden, inwieweit vor-  
25 handene **Castor® Behälter** aus der Zwischenlagerung so weit ertüchtigt werden können, dass  
26 sie **den** Anforderungen der Endlagerung genügen. Da sowohl die zukünftige Standorterkun-  
27 dung als auch die Behälterentwicklung zu weiterführenden Erkenntnissen führen werden, soll-  
28 te das Verfahren als iterativer Prozess angelegt werden, der eine **Weiterentwicklung** entspre-  
29 chend des sich entwickelnden Kenntnisstandes auch nach einer erfolgten Standortentschei-  
30 dung ermöglicht.

31 Es ist zu berücksichtigen, dass die Entscheidung für ein Wirtsgestein letztlich erst mit der  
32 finalen Standortentscheidung fallen wird. Erst mit dieser Entscheidung kann die Behälterent-  
33 wicklung zum Abschluss gebracht werden. Für die Entscheidung muss aber im Rahmen der  
34 Sicherheitsanalysen ein bewertbares Behälterkonzept vorhanden sein. Auch deshalb bietet  
35 sich ein iterativer Prozess an, in dem zunächst wirtsgesteinsspezifische Anforderungen an  
36 Behälter für alle drei Gesteinsarten ggf. in drei Konzepten mitgeführt werden.

- 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