

Probleme der langfristigen ober- und unterirdischen Abfalllagerung

Für den in diesem Beitrag durchgeführten qualitativen Vergleich von Problemen bei der ober- und unterirdischen (Zwischen-) Lagerung radioaktiver Abfälle gelten folgende Randbedingungen:

1. Der Vergleich bezieht sich auf die bundesdeutsche Situation.
2. „Langfristig“ meint Zeiträume, die über den derzeit geplanten Zeitpunkt zur Inbetriebnahme eines Endlagers (2030) deutlich hinausgehen, also > 50 Jahre.
3. Die Ausführungen beziehen sich auf radioaktive Abfälle aller Arten (hoch, mittel, schwach aktiv).
4. Behandlung und Verpackung der Abfälle sind, gespiegelt am derzeitigen bundesdeutschen Standard, im Hinblick auf die jeweilige Umgebung optimiert.

Es werden folgende Entsorgungsalternativen vergleichend betrachtet:

- **Endlagerung.** Die radioaktiven Abfälle sind nach kurzer Zeit unzugänglich.
- **Rückholbare Endlagerung.** Die radioaktiven Abfälle bleiben für bestimmte Zeit zugänglich bzw. besser zugänglich.
- **Langzeit(zwischen)lagerung.** Die radioaktiven Abfälle bleiben über lange Zeiträume zugänglich.

Die fünf im Vortrag von Detlef Appel vorgestellten Entsorgungsalternativen sind hier in Bezug auf die Abfälle auf die drei wesentlichen Alternativen komprimiert. Diese Alternativen spannen das gesamte für den Vergleich relevante Spektrum auf, da die beiden anderen Alternativen quasi mit enthalten sind. Die herangezogenen Bewertungskriterien sind die zu erwartende Strahlenbelastung für Personal und Bevölkerung, Störfälle, Einwirkungen von außen, Kritikalitätssicherheit sowie die Spaltstoffkontrolle. Ein Problem für den Vergleich ist, dass bei der Rückholbaren Endlagerung die Zugänglichkeit der Abfälle zeitlich und physisch nicht definiert ist. Die Zugänglichkeit bewegt sich zwischen den beiden Extremen des Spektrums.

Ausgangspunkt für die Betrachtungen sind die **bisherigen Erfahrungen mit der Zwischenlagerung** radioaktiver Abfälle.

Das in der Bundesrepublik Deutschland für bestrahlte Brennelemente und hoch aktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAW-Kokillen) etablierte Konzept der trockenen Zwischenlagerung in metallischen Behältern wird jeweils beginnend mit einem Behälter für Brennelemente in Deutschland seit 7 Jahren und in den USA seit 17 Jahren sowie für HAW-Kokillen in Deutschland seit 6 Jahren eingesetzt.

Sicherheitstechnisch relevant sind die Integrität von Behälter bzw.

Behälterkomponenten und Behälterinventar. Ursache von Veränderungen können für alle drei Objekte Wärmeentwicklung und Strahlung des Inventars sowie

Feuchtigkeitseinschlüsse und für Behälter bzw. Behälterkomponenten zusätzlich chemische Angriffe (z.B. Korrosion) von außen sein. In den USA wurde bisher einer der länger lagernden Behälter geöffnet. Die Brennelemente waren intakt. Ebenfalls in den USA hat während der Zwischenlagerung bisher eine Sekundärdeckeldichtung versagt. Die Erfahrung mit der oberirdischen trockenen Zwischenlagerung beschränkt sich auf eine relativ kurze Zeit und relativ wenige Behälter.

Für die Zwischenlagerung konditionierter gering Wärme entwickelnder Abfälle gibt es in Deutschland seit über 25 Jahre Erfahrungen. Allerdings werden nur relativ wenig Abfallgebinde seit 25 Jahren gelagert. Die Abfälle wurden nach dem jeweiligen Kenntnisstand konditioniert, in den ersten Jahren allerdings mit der Perspektive einer nur wenige Jahre andauernden Zwischenlagerung. Es traten mehrfach Probleme auf. Betroffen waren vor allem zementierte/betonierte Abfälle sowie mit Hochdruck verpresste Abfälle. Die spektakulärsten bekannt gewordenen Fälle waren die „Blähfässer“ 1987 und Gebinde in der schleswig-holsteinischen Landessammelstelle im Jahr 2000. In allen Fällen haben chemische Prozesse Gasbildung oder Korrosion im Gebindeinneren bzw. äußere Korrosion am Behälter verursacht. Es wurden jeweils Gegenmaßnahmen ergriffen, die nach heutigem Kenntnisstand geeignet scheinen, Vorfälle dieser Art in Zukunft zu verhindern.

In Bezug auf die Entsorgungsalternativen ergibt sich aus diesen Erfahrungen: Für überschaubare Zeiträume nach der Konditionierung von Abfällen können die entstandenen Abfallgebinde in Bezug auf bekannte Mechanismen in einen relativ sicheren Zustand gebracht werden. Werden die Abfälle bei einer langfristigen Lagerung nicht – wie bei der Endlagerung durch Versetzen mit Füllmaterial – zügig von der Biosphäre weitgehend isoliert, ist eine Überwachung des Zustandes der Behälter bzw. Abfallgebinde von außen und der Abluft des Lagerraumes nach Radionukliden erforderlich. Zumindest für bestrahlte Brennelemente, die in

Transport- und Lagerbehälter der bisherigen Art gelagert werden, ist auch die stichprobenweise Öffnung des Gebindes erforderlich. Für eine langfristige zugängliche Lagerung wäre darüber hinaus von einem Umpacken der Brennelemente in volumetrisch verschweißte Behälter auszugehen, da die bisherigen Behälter nur für eine Lagerzeit von 40 Jahren qualifiziert sind. Diese Qualifizierung könnte, wenn überhaupt nur auf einen sehr beschränkten Zeitraum ausgedehnt werden, da zum Beispiel die Funktionsfähigkeit der Dichtungen unter den gegebenen Einflüssen begrenzt ist. Die Folgerungen für die drei Entsorgungsalternativen bezüglich der Abfälle sind:

Endlagerung:

Die Abfälle werden endgültig verpackt und müssen nach ihrer Einlagerung weder überwacht, noch gehandhabt werden. (Passiv sicheres Endlager)

Rückholbare Endlagerung:

Bei teilweiser Verfüllung des Bergwerkes (z.B. Versetzung der Einlagerungskammern) ergibt sich bei Rückholung nach längerer Lagerzeit das Problem, dass der Zustand des Abfallgebindes nicht bekannt und auch nur schwierig prognostizierbar ist. Diese Lagervariante würde auch zu einer Beschränkung der Möglichkeiten für das Einlagerungskonzept bei Brennelementen und HAW-Kokillen führen. Sinnvollerweise würde keine Bohrlochlagerung in Frage kommen.

Bei vollständiger Offenhaltung des Endlagers gelten die Folgerungen für die Langzeit(zwischen)lagerung.

Langzeit(zwischen)lagerung

Die Abfälle sind für äußere Einflüsse zugänglich und Auswirkungen von in den Behältern ablaufenden Vorgängen werden nicht durch eine Barriere behindert. Es sind Überwachung, Instandhaltung und ggf. Reparatur erforderlich. Brennelemente und HAW-Kokillen müssen auf jeden Fall in Behälter ohne Komponenten mit Alterungserscheinungen (in Zehnerjahren) umgepackt werden. Für alle anderen Abfallarten ist die Notwendigkeit des periodischen Umpackens nicht unwahrscheinlich.

Aus dieser Sachlage ergibt sich folgender Vergleich für relevante Sicherheits- und Sicherheitsaspekte bei der Lagerung.

Die zu erwartende *Strahlenbelastung für Personal im Normalbetrieb* ist für die Endlagerung am geringsten, für die rückholbare Endlagerung mit teilweiser Verfüllung wegen der geringeren Abschirmung sowie der längeren integralen Aufenthaltszeiten unter Tage höher und für die rückholbare Endlagerung ohne Verfüllung sowie die Langzeit(zwischen)lagerung wegen der Arbeiten in der Nähe und an den Abfällen (Überwachung, Handhabungen) sowie dem Umgang mit Sekundärabfällen deutlich höher.

Die zu erwartende *Strahlenbelastung für die Bevölkerung im Normalbetrieb* ist für die Endlagerung am geringsten. Für die Alternativen sind Abgaben von aus den Abfällen stammenden Radionukliden mit Abluft und Abwasser über die langen Zeiträume unvermeidbar. Bei der rückholbaren Endlagerung sind zusätzlich mögliche Abgaben durch im Gestein vorhandene natürliche Radionuklide zu berücksichtigen.

Die Wahrscheinlichkeit für *Störfälle* mit kurzfristig in die Biosphäre erfolgenden Freisetzungen von Radionukliden ist für die Endlagerung wegen der mit Abstand kürzesten Betriebsdauer am geringsten. Die Abfälle direkt betreffende Störfälle sind bei der rückholbaren Endlagerung mit teilweiser Verfüllung eingeschränkt möglich. Für die rückholbare Endlagerung ohne Verfüllung sowie die Langzeit(zwischen)lagerung ist die Wahrscheinlichkeit für Störfälle wegen der Zugänglichkeit der Abfälle über lange Zeiträume und der erforderlichen Handhabung der Abfälle deutlich höher.

Gegen *Einwirkungen von außen* durch zivilisatorische Unfälle, terroristische Angriffe oder Naturkatastrophen sind die Abfälle bei der Endlagerung am besten geschützt. Ein relativ hoher Schutz besteht wegen der untertägigen Lagerung auch bei der rückholbaren Endlagerung (um so besser, je höher der Verfüllungsgrad). Bei der Langzeit(zwischen)lagerung von Brennelementen und HAW-Kokillen ist ein gewisser Schutz gegeben, bei den anderen Abfallkategorien ist er in der Regel relativ gering.

Die *Kritikalitätssicherheit* kann bei Langzeit(zwischen)lagerung sowie rückholbare Endlagerung ohne Verfüllung am besten gewährleistet werden, da durch die Zugänglichkeit der Abfälle eine ständige Kontrolle und ggf. ein frühes Eingreifen möglich ist. Bei der rückholbaren Endlagerung mit teilweiser Verfüllung ist die

Erkennungsmöglichkeit für die Bildung kritischer Massen vom Verfüllungsgrad abhängig. Bei der Endlagerung ist die Erkennbarkeit nicht gegeben.

Die *Sicherung/Spaltstoffkontrolle* ist bei der Endlagerung am besten zu gewährleisten, da der Zugang zu den Abfällen am schwersten ist. Das gilt abgeschwächt auch noch für die rückholbare Endlagerung mit teilweiser Verfüllung. Bei der Langzeit(zwischen)lagerung ist der Zugriff am leichtesten.

Fazit:

Auf die Abfälle und durch sie kurzfristig verursachte Auswirkungen bezogen, ist die Endlagerung bei heutigem Stand von Wissenschaft und Technik die relativ sicherste Entsorgungsalternative.