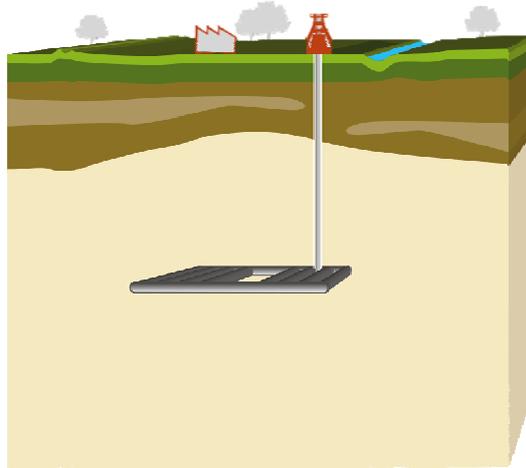


Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland

Anhang Überwachung

Maßnahmen der Überwachung bei einem Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle



30.09.2008

Bearbeiter:
Küppers, C.

**Braunschweig / Darmstadt
September 2008**

**Anhang zu GRS-247
ISBN 978-3-939355-22-9**

Das diesem Bericht zugrunde liegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter den Kennzeichen 02E9783 und 02E9793 durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Überwachung während des Endlagerbetriebs	4
2.1	Erfassung und Überwachung der geologischen Situation im untertägigen Teil des Endlagers	4
2.2	Produktkontrolle der Abfallbinde bei deren Anlieferung oder durch Maßnahmen im Vorfeld.....	5
2.3	Radiologische Überwachung innerhalb der obertägigen Gebäude und im Endlagerungsbereich	6
2.4	Überwachung im Hinblick auf Gasfreisetzungen, Temperaturfelder, Luftfeuchte etc. im untertägigen Bereich des Endlagers.....	8
2.5	Überwachung von Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Umgebung	8
2.6	Radiologische Umgebungsüberwachung.....	10
2.7	Überwachung der Umgebung auf besondere Einflüsse des Endlagerbauwerks	12
3	Überwachung während des Verfüllens und des Verschlusses	13
4	Nachbetriebliche Überwachung des Endlagers	14
4.1	Technische Maßnahmen bei der nachbetrieblichen Überwachung	14
4.2	Dokumentation nach Betriebsschluss	16
5	Zusammenfassung	17
6	Literatur	18
7	Weiterführende Literatur	20

1 Einleitung

Zum sicheren Betrieb, zur Erfüllung aller Anforderungen bei Verfüllen und Verschluss sowie zur Gewährleistung der Sicherheit in der Nachbetriebsphase sind an einem Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle Überwachungsmaßnahmen von großer Bedeutung. Diese werden nachfolgend dargestellt, wobei die Überwachung von für Kernwaffen verwendbaren Materialien im Hinblick auf die Proliferation (Safeguards) in der Betriebs- und Nachbetriebsphase hier ausgeklammert wird.

Die Überwachung in der Betriebsphase (Kapitel 2) umfasst

- die Überwachung der vorgefundenen geologischen Situation,
- die Produktkontrolle der Abfallgebinde,
- die radiologische Überwachung innerhalb der Gebäude und im Einlagerungsbereich,
- die Überwachung im Hinblick auf Gasfreisetzungen, Temperaturfelder, Luftfeuchte etc.,
- Maßnahmen zur Überwachung von Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Umgebung,
- die radiologische Umgebungsüberwachung, sowie
- die Überwachung der Umgebung des Endlagers auf bestimmte Veränderungen.

Der besondere Aspekt der Überwachung während des Verfüllens und des Verschlusses besteht in der Qualitätskontrolle der beim Verschluss von Einlagerungsbereichen verwendeten Stoffe und der Kontrolle des erreichten Verschlusses (siehe Kapitel 3).

Die in Kapitel 4 behandelte Überwachung in der Nachbetriebsphase dient der Beweissicherung und Dokumentation. Die Gewährleistung der Sicherheit des Endlagers darf dagegen nicht von dessen langfristigen Überwachung abhängig sein.

In Kapitel 5 werden zusammenfassende Schlussfolgerungen gezogen.

2 Überwachung während des Endlagerbetriebs

Die Maßnahmen zur Überwachung während des Endlagerbetriebs dienen zur Erfassung und Überwachung der geologischen Situation, einerseits durch den Vergleich mit Erwartungen aus der Erkundung, andererseits durch die Feststellung von eventuellen Veränderungen, z. B. der Gesteinskonvergenz. Ebenfalls erforderlich ist die Produktkontrolle der angelieferten Abfallbinde, um die Übereinstimmung mit den Annahmebedingungen zu gewährleisten. Außerdem ist die Überwachung von radiologischen Parametern wie von chemischen und physikalischen Größen erforderlich.

2.1 Erfassung und Überwachung der geologischen Situation im untertägigen Teil des Endlagers

Im Rahmen der Qualifizierung und Erkundung eines Standorts für ein Endlager werden umfangreiche Felduntersuchungen durchgeführt, um Aufschluss über Eigenschaften und Verhalten der Endlagerformation zu erhalten. Die Ergebnisse der Untersuchungen fließen in den Langzeitsicherheitsnachweis ein und sind damit von zentraler Bedeutung. Solche Untersuchungen sind aus Sicherheitsgründen grundsätzlich auch im konventionellen Bergbau etabliert.

Die festgestellten geologischen, geophysikalischen, hydrogeologischen und geochemischen Eigenschaften sind zu dokumentieren, ebenso die entsprechenden Eigenschaften, die dem Langzeitsicherheitsnachweis zugrunde liegen.

Während des Betriebs des Endlagers können weitere Erkenntnisse gewonnen werden, wenn weitere Hohlräume für die Aufnahme von Abfällen geschaffen werden, oder weitere Sondierungen vorgenommen werden. Im Rahmen der Überwachung des Endlagerbetriebs sind diese Erkenntnisse daraufhin zu überprüfen, ob sie mit den bisherigen in Einklang stehen oder den Erwartungen entsprechen. Ansonsten sind entsprechende Korrekturen vorzunehmen. Wichtige zu erfassende Größen sind beispielsweise die Verteilung des Grundwasserdrucks und hydraulische Gradienten sowie geochemische Eigenschaften des Grundwassers, wie Redox-Potenzial und Gehalt an Spuren- und sonstigen Elementen.

Während des Endlagerbetriebs ist es ebenfalls erforderlich, zu überwachen, ob sich relevante Eigenschaften verändern oder das Verhalten der Endlagerformation nicht der Prognose entspricht (siehe z. B. /IAE 01/). Dies betrifft vor allem die Gesteinskonver-

genz sowie Wechselwirkungen zwischen Abfallgebinden und den Gesteinseigenschaften in deren Nahbereich. Auch solche Maßnahmen der fortlaufenden Überwachung der geologischen Situation sind im konventionellen Bergbau etabliert, so dass sie für die Überwachung des Endlagerbetriebs lediglich auf dessen spezifische Anforderungen anzupassen sind.

2.2 Produktkontrolle der Abfallgebinde bei deren Anlieferung oder durch Maßnahmen im Vorfeld

Beim Betrieb des Endlagers müssen die Anforderungen zum Strahlenschutz des Personals und zur Gewährleistung der Störfallvorsorge eingehalten werden. Im Hinblick auf die Nachbetriebsphase sind bestimmte Eigenschaften der Abfallgebinde und der in ihnen eingebundenen radioaktiven Stoffe erforderlich, um nicht vorhergesehene Auswirkungen zu vermeiden. Aus diesen Anforderungen ergeben sich insgesamt notwendige Eigenschaften der endgelagerten Gebinde und damit Annahmebedingungen des Endlagers, die im Planfeststellungsbescheid festzuschreiben sind.

Da die Einhaltung der Annahmebedingungen wichtiger Bestandteil der Gewährleistung der Sicherheit im Betrieb, beim Verschluss und in der Nachbetriebsphase des Endlagers ist, sind entsprechende Maßnahmen zur Überwachung der Einhaltung der Annahmebedingungen durchzuführen. Die Einhaltung der Annahmebedingungen wird im Rahmen der Produktkontrolle der Abfallgebinde überprüft. Nicht alle notwendigen Prüfungen können dabei im Endlager selbst vorgenommen werden, da dort nur die bereits konditionierten Abfälle in Gebinden vorliegen. Durch ein System der Überwachung, das auch andere Stationen der radioaktiven Abfälle (Abfallproduzent, Konditionierer, jeweils zuständige Behörden etc.) einbezieht, muss die Effektivität der Überwachung in Form der Produktkontrolle daher gesteigert werden. Dabei können stichprobenartig auch Materialproben genommen und mit den dokumentierten Angaben oder Zielwerten verglichen werden. Die Abfalldokumentation muss bereits bei Anlieferung am Endlager belegen, dass alle Annahmebedingungen eingehalten sind, da diese in ihrer Gesamtheit am Endlager nur noch stichprobenartig überprüft werden können.

Die Produktkontrolle umfasst daher:

- Organisatorische und administrative Regelungen zwischen Betreiberin des Endlagers, Ablieferungspflichtigen, Sachverständigen und Behörden,

Anhang Überwachung

- Prüfungen der Konditionierungsverfahren (Verfahrensqualifikation und Inspektionen, Probenahmen) im Rahmen der behördlichen Aufsicht,
- Bauartprüfung von verwendeten Behältern und Verpackungen und Kontrollmaßnahmen bei der Fertigung dieser Behälter und Verpackungen,
- Prüfungen der Dokumentation der Abfallgebinde, sowie
- stichprobenartige Prüfungen an den Abfallgebinden selbst (beim Ablieferungspflichtigen oder bei Anlieferung am Endlagerstandort).

Die stichprobenartigen Prüfungen an Abfallgebinden können zerstörungsfrei oder zerstörend sein, wobei ein je nach Prüfzweck und –methode unterschiedlicher Stichprobenumfang gewählt werden kann. Zerstörungsfreie Prüfungen sind beispielsweise möglich durch

- Inaugenscheinnahme (Prüfung im Hinblick auf Korrosionsschäden etc.),
- Messung der Oberflächenkontamination (Wischprobe) zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten sowie der Übereinstimmung mit der Dokumentation des Gebindes,
- Messung der Dosisleistung (im Hinblick auf Gesamtdosisleistung sowie im Hinblick auf Einzelnuklide und Verhältnis von Gamma- und Neutronenstrahlung), ebenfalls zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten sowie der Übereinstimmung mit der Dokumentation des Gebindes,
- Wägung zur Überprüfung der Übereinstimmung mit der Dokumentation.

Bei zerstörenden Prüfungen können Proben von Behältern oder Bohrkerne aus der Abfallmatrix entnommen werden, um diese im Hinblick auf ihre relevanten Eigenschaften (Stabilität und chemische Zusammensetzung der Matrix, Inventar an radioaktiven Stoffen etc.) zu untersuchen.

2.3 Radiologische Überwachung innerhalb der obertätigen Gebäude und im Endlagerungsbereich

Die Strahlenschutzverordnung /SSV 01/ und dazu gehöriges Regelwerk sind einschlägig für die Anforderungen beim Betrieb bis zum Verschluss des Endlagers. Aufgrund des Umgangs mit Abfallgebinden, von denen deutliche Direktstrahlung ausgeht und die

Anhang Überwachung

ein großes Inventar radioaktiver Stoffe enthalten, ist eine Vielzahl der Vorschriften der Strahlenschutzverordnung zu beachten. Zuständig für den Strahlenschutz ist in der Regel der Strahlenschutzverantwortliche und die von ihm benannten Strahlenschutzbeauftragten. Zu deren Unterstützung ist eine eigene Strahlenschutzabteilung erforderlich, die über entsprechendes Personal sowie Schutz- und Messeinrichtungen verfügt.

Maßnahmen der radiologischen Überwachung innerhalb der Gebäude des Endlagers und im Endlagerungsbereich dienen dem Strahlenschutz des Personals, der Beweissicherung sowie der Detektierung eventuell bei schweren Störfällen freigesetzter radioaktiver Stoffe aus Abfallgebinden. Die entsprechenden Maßnahmen sind

- Kontaminationsüberwachung, vorrangig an Arbeitsplätzen und Verkehrsflächen, um eventuell freigesetzte radioaktive Stoffe frühzeitig zu erkennen und deren Verschleppung zu vermeiden.
- Überwachung von Ortsdosis und Ortsdosisleistung durch fest installierte und/oder mobile Geräte, um die mögliche Dosis beim Aufenthalt von Personen in diesen Bereichen einschätzen zu können. Messwerte können angezeigt sowie übertragen werden und bei erhöhter Ortsdosisleistung kann eine Alarmierung erfolgen.
- Überwachung von Raumluft und Wetter durch Führung von Luftströmen über einen Sammelfilter, dessen Aktivitätsbeladung kontinuierlich überwacht und nuklidspezifisch im Labor ausgewertet werden kann. Eventuelle Freisetzungen radioaktiver Stoffe können auf diese Weise erkannt werden.
- Kontaminationskontrolle an den Personen, die den Kontrollbereich verlassen durch festinstallierte Schleusen oder Hand-Fuß-Monitore, ergänzt um mobile Geräte. Auch auf diese Weise können eventuell freigesetzte radioaktive Stoffe erkannt und ihre Verschleppung vermieden werden.
- Ermittlung der beruflichen Strahlenexposition der im Kontrollbereich beschäftigten beruflich strahlenexponierten Personen durch Dosimeter zur Messung der äußeren Exposition und erforderlichenfalls durch Ausscheidungsanalyse. Auf diese Weise wird die Einhaltung der Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung überwacht.

Alle genannten Maßnahmen zur Strahlenschutzüberwachung sind verfügbar und werden in kerntechnischen Anlagen routinemäßig genutzt. Grundsätzlich neue Anforderungen an solche Maßnahmen ergeben sich für ein Endlager nicht.

2.4 Überwachung im Hinblick auf Gasfreisetzungen, Temperaturfelder, Luftfeuchte etc. im untertägigen Bereich des Endlagers

Während des Endlagerbetriebs sind zur Gewährleistung sicherheitstechnisch relevanter Bedingungen, aus Gründen der Einhaltung von Schutzvorschriften an Arbeitsplätzen sowie zum Schutz der Abfallgebinde bestimmte Maßnahmen zur Überwachung erforderlich, die über die Überwachung radiologischer Größen hinaus gehen.

In einem Endlager können durch eine Reihe von Prozessen verschiedene Gase produziert werden. Beispielsweise kann durch anaerobe Korrosion sowie durch Radiolyse Wasserstoff (H_2) gebildet werden. Durch die Einlagerung organischer Stoffe können beispielsweise durch mikrobielle Prozesse und Radiolyse Methan (CH_4), Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO_2) oder Schwefelwasserstoff (H_2S) entstehen. Die Überwachung der Gasbildung ist zum einen hinsichtlich der Einhaltung prognostizierter Werte für die Langzeitsicherheitsanalyse erforderlich. H_2 ist darüber hinaus bei zu hoher Konzentration explosiv und CO bei zu hoher Konzentration giftig. Die Überwachung der genannten Gase ist kontinuierlich im Hinblick auf Konzentrationen möglich, bei denen keine Gefährdung von Beschäftigten mehr gegeben ist (siehe z. B. entsprechende Überwachungseinrichtungen im Endlager ERAM).

Die Überwachung von Temperaturfeldern ist zum einen relevant, um die Übereinstimmung mit Prognosewerten zu überprüfen, zum anderen dürfen bestimmte Temperaturen an Arbeitsplätzen nicht überschritten werden. Grenzwerte für Arbeitsplätze gelten ebenfalls im Hinblick auf Lärm und Staub, so dass auch diese Größen – wie im konventionellen Bergbau – überwacht werden müssen. Die Überwachung der Luftfeuchte ist vor allem wichtig, um der vorzeitigen Korrosion von Behältern vorzubeugen. Aus sicherheitstechnischer Sicht ist vor allem die Überwachung der Konzentration explosiver Gase erforderlich.

2.5 Überwachung von Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Umgebung

Da für die Betriebsphase eines Endlagers die Strahlenexposition durch Ableitungen mit der Fortluft für eine Person der Bevölkerung durch § 47 der Strahlenschutzverordnung auf 0,3 mSv im Kalenderjahr in der Umgebung begrenzt ist, sind im Planfeststellungsverfahren maximal zulässige Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Umgebung festzulegen. Für diese maximalen Ableitungswerte ist nachzuweisen, dass selbst bei ihrer langjährigen Ausschöpfung die Dosisgrenzwerte eingehalten sind. Die Dosis ist dabei

Anhang Überwachung

anhand der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift /AVV 90/ (neuer Entwurf /AVV 05/) aus den Ableitungen zu berechnen. Die Überwachung im Hinblick auf den Schutz der Bevölkerung setzt dann nicht bei der Überwachung der Dosis einer Person der Bevölkerung an (was technisch kaum realisierbar wäre), sondern kann auf die Überwachung der Ableitungen aus dem Endlager beschränkt werden.

Zum Nachweis, dass diese maximal zulässige Ableitungen eingehalten werden, ist eine Bilanzierung der insgesamt abgegebenen Aktivität erforderlich. Dazu können Messungen im Gesamtabwetter herangezogen werden, indem über einen Bypass ein Teilstrom der abgeleiteten Luft beprobt wird.

Aus den Abfallgebinden freigesetzte Radionuklide sind im bestimmungsgemäßen Betrieb nicht zu erwarten, so dass die Überwachung im Regelfall der Beweissicherung dient. Zusätzlich würden nach schweren Störfällen durch Undichtigkeiten an Abfallgebinden eventuell hervorgerufene Raumluftkontaminationen zeitnah erkannt werden, so dass Schutz- und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden könnten. Eine geeignete Überwachung kann die folgenden Bestandteile umfassen:

- Kontinuierliche Sammlung von Schwebstoffen und Radon-Folgeprodukten auf Schwebstofffiltern.

Mit einem Schrittbänderfiltergerät können Filter über definierte Zeiträume mit der zu beprobenden Luft beaufschlagt werden. Über die Messung der von gerade beaufschlagten und in bestimmten Zeiträumen zuvor beaufschlagten Filtern ausgehenden Strahlung lassen sich kurzlebige Radon-Folgeprodukten und langlebige Radionuklide im Rahmen einer kontinuierlichen Überwachung voneinander unterscheiden. Eine nuklidspezifische Laborauswertung der Filter in längeren Zeitabständen (z. B. monatlich) erlaubt die Bilanzierung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe.

- Sammlung von Iod-129 auf einem separaten Iodfilter.

Iod-129, ein im Hinblick auf radiologische Relevanz und Freisetzbarkeit relevantes Radionuklid, würde in elementarer Form auf einem Schwebstofffilter aber nicht abgeschieden. Die Abscheidung ist auf einem Aktivkohlefilter möglich, der in längeren Zeitabständen (z. B. vierteljährlich) im Labor auf Iod-129 hin analysiert werden kann. Iod-129 ist aufgrund seiner Strahlungseigenschaften nur schwer direkt zu messen, wohl aber nach Aktivierung des Iods mit Neutronen.

- Sammlung von Tritium und Kohlenstoff-14.

Tritium und Kohlenstoff-14 sind leicht flüchtige Radionuklide, die als Gase nicht auf Schwebstofffiltern abgeschieden werden können. Sie können aber beispielsweise mittels Molekularsieben gesammelt und ihre Aktivität durch Laborauswertung in längeren Zeitabständen (z. B. vierteljährlich) ermittelt werden.

Die genannten Messverfahren sind Stand der Technik und werden in kerntechnischen Anlagen eingesetzt.

Radioaktive Abwässer könnten in einem Endlager anfallen, wenn oberflächliche Reinigungen von Kontaminationen (z. B. von Behälteroberflächen oder nach schwereren Störfällen) mit nassen Verfahren erforderlich würden. Die anfallenden Mengen an radioaktiver Flüssigkeit wären in der Regel gering. Radioaktive Abwässer aus Kontrollbereichen sind grundsätzlich zu sammeln, so wie dies Stand der Technik bei kerntechnischen Anlagen ist. Einleitungen in einen Vorfluter erfolgen dann nur, wenn eine Probeaufnahme ergeben hat, dass dies im Rahmen der Betriebsgenehmigung zulässig ist. Ansonsten ist eine Abgabe an einen Dritten zur weiteren Behandlung möglich.

2.6 Radiologische Umgebungsüberwachung

Messungen im Rahmen der radiologischen Umgebungsüberwachung dienen der Ergänzung der Überwachung der radioaktiven Stoffe in Abluft, Abwetter und Abwasser (falls solches abgeleitet wird) und sind bei kerntechnischen Anlagen üblich. Ein Nachweis der Einhaltung von Emissionsgrenzwerten ist durch die Umgebungsüberwachung in der Regel nicht möglich, wohl aber der zusätzliche Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte für Personen der Bevölkerung.

Maßnahmen zur Beweissicherung in Form von Messungen radioaktiver Stoffe in der Umgebung sollten mindestens zwei Jahre vor Inbetriebnahme des Endlagers beginnen, um den unbeeinflussten Zustand zu dokumentieren. In Deutschland gibt es zur Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung /REI 07/ Messungen durch den Betreiber sowie Messungen durch eine unabhängige Messstelle und zusätzlich durch die Behörde. Relevante Bestandteile einer geeigneten Umgebungsüberwachung eines Endlagers sind:

Anhang Überwachung

- Erhebung meteorologischer Daten.

Mit Hilfe der meteorologischen Daten können die Ausbreitungsbedingungen und Niederschlagsverhältnisse ermittelt werden. Diese Daten werden benötigt, um die Strahlenexposition in der Umgebung durch Ableitungen auf dem Luftpfad zu bestimmen.

- Messung der Ortsdosisleistung.

Die Messung der Ortsdosisleistung (und/oder Ortsdosis über ein Jahr) erfolgt bei kerntechnischen Anlagen an der Grenze zum öffentlich zugänglichen Bereich. Bei einem Endlager können sich erhöhte Ortsdosisleistungen in der Nähe von oberirdischen Aufbewahrungsorten für Abfallgebinde ergeben.

- Messung der Radioaktivität in der bodennahen Luft.

Die Überwachung der Luftaktivität erfolgt in der Regel durch kontinuierliche Probenahme (Abscheidung auf Filtern) an mehreren Orten in der Umgebung einschließlich eines Referenzortes. Die Nuklidbestimmung erfolgt durch Laborauswertung der Filter, z. B. in monatlichen Abständen.

- Probenahme von Boden, Bewuchs und Milch.

Bodenproben und Proben von Bewuchs (Gras, Getreide und andere angebaute Lebensmittel) sowie Milch werden in der Umgebung und an einem Referenzort genommen. Üblich ist eine gammaspektrometrische Auswertung sowie die Messung von Einzelnukliden, die gammaspektrometrisch nicht erfasst werden können, im Labor.

- Probenahme von Wasser und Sediment aus dem Vorfluter.

Falls radioaktive Stoffe mit dem Abwasser aus dem Betrieb des Endlagers in einen Vorfluter eingeleitet werden dürfen, sollten Proben von Wasser und Sediment genommen werden. Die Probenahmeorte sollten sich sowohl vor als auch nach der Einleitungsstelle des Endlagers befinden.

Insgesamt umfassen die Messungen und Probenahmen verschiedene Medien, so dass ebenfalls eine Überwachung der Ausbreitung und des Transfers in der Nahrungskette gewährleistet ist.

Die genannten Verfahren sind Stand der Technik bei der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen. Die letzten drei genannten Verfahren dienen der Überwachung, ob künstliche radioaktive Stoffe aus dem Endlager freigesetzt wurden, und haben somit im Regelfall nur beweissichernden Charakter, da real mit keinen Ableitungen künstlicher radioaktiver Stoffe durch den Betrieb des Endlagers zu rechnen ist.

2.7 Überwachung der Umgebung auf besondere Einflüsse des Endlagerbauwerks

Wie im konventionellen Bergbau auch, ist die nähere Umgebung eines Endlagers in der Betriebsphase auf Vorgänge hin zu überwachen, die durch das Endlagerbauwerk hervorgerufen werden könnten. Im Bundesberggesetz /BBG 80/ befasst sich beispielsweise § 125 mit Messungen zur Beobachtung der Oberfläche zur Beobachtungen eingetretener Einwirkungen des Bergbaus. Viele Überwachungsmaßnahmen dienen dabei der Beweissicherung. Die Akzeptanz in der Öffentlichkeit kann durch die Überwachung positiv beeinflusst werden.

Mögliche Auswirkungen des Endlagerbauwerks könnten z. B. Setzungen aufgrund der aufgefahrenen Hohlräume und Änderungen der Grundwasserfließverhältnisse sein. Durch die Überwachung kann ggf. der Nachweis geführt werden, dass solche Auswirkungen nicht eingetreten sind.

3 Überwachung während des Verfüllens und des Verschlusses

Durch das Verfüllen und den Verschluss von Einlagerungsbereichen wird eine wichtige Barriere gegen Freisetzungen aus dem Endlager geschaffen, so dass an deren Ausführung hohe Anforderungen zu stellen sind. Es ist daher eine Qualitätskontrolle beim Verfüllen und beim Verschluss von Einlagerungsbereichen verwendeten Stoffe und eine Kontrolle des erreichten Verschlusses erforderlich.

Die für das Verfüllen von Einlagerungsbereichen verwendeten Stoffe müssen sehr genau spezifiziert werden. Die Spezifikation umfasst insbesondere rheologische Eigenschaften (Ausbreitmaß), chemische Eigenschaften (Löslichkeit), thermodynamische Eigenschaften (Hydratationswärme, spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, linearer Wärmeausdehnungskoeffizient, Raumausdehnungszahl), mechanische Eigenschaften (Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Spaltzugfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Scherfestigkeit, Elastizitätsmodul) sowie sonstige Eigenschaften (Dichte, Porosität, Permeabilität).

Für die spezifizierten Eigenschaften ist es zweckmäßig, zulässige Grenzen festzulegen. Die Einhaltung dieser Grenzen ist dann durch entsprechende Kontrollen an den tatsächlich verwendeten Materialien laufend zu überwachen.

Für den Verschluss ist eine Abnahme erforderlich, durch die geprüft und abschließend bestätigt wird, dass der erreichte Verschluss mit den Zielvorgaben in Übereinstimmung steht.

Die weiteren unter Kapitel 2 beschriebenen Überwachungsmaßnahmen im Betrieb des Endlagers bestehen während dem Verfüllen und des Verschlusses weiter, sofern sie sich nicht grundsätzlich erübrigt haben.

4 Nachbetriebliche Überwachung des Endlagers

Wesentlicher Grundsatz bei einem Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle ist, dass die Schutzfunktion des Endlagers nach dem Verschluss ohne spätere Wartungs- oder Reparaturmaßnahmen aufrecht erhalten werden muss. Dennoch ist auch eine nachbetriebliche Überwachung wichtig, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Die nachbetriebliche Überwachung besteht zum einen in technischen Maßnahmen, auf die in Kapitel 4.1 eingegangen wird. Die Überwachung über lange Zeiträume erfordert darüber hinaus eine geeignete Dokumentation, die zukünftigen Generationen Informationen über den Aufbau und die Risiken des Endlagers bietet (Kapitel 4.2).

4.1 Technische Maßnahmen bei der nachbetrieblichen Überwachung

Technische Maßnahmen zur Überwachung von Deponien im Rahmen der Nachsorge sind im konventionellen Bereich Stand der Technik. Entsprechende Anforderungen legt die Deponieverordnung /DVO 02/ in § 13 fest. Der Betreiber hat demnach in der Nachsorgephase alle Maßnahmen durchzuführen, die in einer behördlichen Entscheidung festgelegt worden sind, sowie sonstige Maßnahmen, die zur Abwehr von Gefahren und zur Verhinderung von Beeinträchtigungen des Wohles der Allgemeinheit erforderlich sind. Die Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen können behördlich dann aufgehoben werden, wenn die zuständige Behörden nach Prüfung aller vorliegenden Ergebnisse der Kontrollen unter Berücksichtigung von in der Deponieverordnung festgelegten Prüfkriterien zu dem Schluss kommt, dass aus der Deponie zukünftig keine Beeinträchtigungen des Wohles der Allgemeinheit zu erwarten sind.

Die nachbetriebliche Überwachung beim Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle erfolgt, nachdem das Endlager stillgelegt und verschlossen ist. Die nachbetriebliche Überwachung dient in erster Linie der Beweissicherung. Mit der nachbetrieblichen Überwachung ist der Nachweis zu führen, dass sich keine Abweichungen von der Prognose ergeben. Sollten sich solche Abweichungen zeigen, so lägen deutliche Planungsfehler vor. Es könnte dann noch versucht werden, negative Folgen auf ein Mindestmaß zu begrenzen.

Die Maßnahmen der nachbetrieblichen Überwachung dürfen keine Bestandteile umfassen, die einen fortwährenden Eingriff im Endlagerbereich bedeuten würden. Durch

Anhang Überwachung

solche Eingriffe (z. B. zum Zweck der Übertragung von Messwerten aus dem Einlagebereich) würden Wegsamkeiten aus dem Endlagerbereich nach außen schaffen, die einen Transport von radioaktiven Stoffen aus dem Endlager in die Biosphäre fördern können.

Es kann nur eine nachbetriebliche Überwachung unterstellt werden, die einen Zeitraum von einigen Jahrzehnten bis höchstens einigen Jahrhunderten abdeckt /NIR 04/, da für längere Zeiträume vom Verlust der Kenntnis vom Endlager ausgegangen wird. Ein günstiger Nebeneffekt der nachbetrieblichen Überwachung ist dabei, dass die Kenntnis von der Existenz des Endlagers nicht verloren geht, solange Überwachungsmaßnahmen weitergeführt werden.

Die – von den Safeguards unabhängige – nachbetriebliche Überwachung muss zum Einen darauf beruhen, Veränderungen an der Erdoberfläche zu beobachten, die mit dem Endlager in Zusammenhang stehen können. Hierbei kann es sich insbesondere um Setzungen handeln. Auch an der Erdoberfläche wahrnehmbare Erschütterungen wären zu überwachen und gegebenenfalls auf ihre Ursache hin zu analysieren. Zum Anderen kann unter Beweissicherungsaspekten Grundwasser überwacht werden, sowohl im Hinblick auf radioaktive Stoffe als auf sonstige Schadstoffe, die im Endlager enthalten sind, und Veränderungen der Eigenschaften (chemische Zusammensetzung, Salinität etc.).

Da die Überwachungsmaßnahmen der Beweissicherung dienen und sich Veränderungen von überwachten Medien etc. über längere Zeiträume erstrecken würden, ist nach Erhebung der ursprünglichen Zustands (abgesehen von Erschütterungen) keine kontinuierliche Überwachung erforderlich, sondern es sind beispielsweise jährliche Messungen und Probenahmen ausreichend. Erschütterungen müssen dagegen kontinuierlich überwacht werden, was aber durch kontinuierlich aufzeichnende Geräte ohne großen Aufwand realisierbar ist.

Die durchgeführten Überwachungsmaßnahmen müssen dem Stand von Wissenschaft und Technik nachgezogen werden. Sie werden also nicht zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Endlagers oder bei Abschluss des Verschlusses abschließend festgeschrieben.

4.2 Dokumentation nach Betriebsschluss

Nach Betriebsschluss sind Maßnahmen erforderlich, die zum Erhalt der Kenntnis über das Endlager über einen möglichst langen Zeitraum beitragen. Es muss aber für Sicherheitsbetrachtungen davon ausgegangen werden, dass nach 500 Jahren die Kenntnis vom Endlager verloren gegangen ist.

Der Zeitraum, über den die Kenntnis vom Endlager erhalten bleibt, wird durch alle technischen Maßnahmen der Überwachung positiv beeinflusst. Bei den in Kapitel 4.1 dargestellten Überwachungsmaßnahmen kann in der Regel nicht erwartet werden, dass sich messbare Einflüsse des Endlagers zeigen. Alleine die Durchführung der Überwachung führt aber zum Erhalt der Kenntnis vom Endlager.

Neben der Kenntnis vom Vorhandensein des Endlagers ist es wichtig, auch die Kenntnis über dessen genaue Ausdehnung, des Aufbaus und seine Inventare zu erhalten. Hierzu ist eine Dokumentation erforderlich, die der Pflege bedarf, um sie über lange Zeiträume in lesbarer Form verfügbar zu halten.

Als zu erhaltende Dokumentation eignet sich die abschließende Fassung des Safety Case, die unter anderem alle Details zu den eingelagerten Abfällen, alle während des Betriebs hinzu gekommenen Kenntnisse sowie die Details aus der Errichtung und Qualitätssicherung der Verschlussbauwerke enthält. Eine Sicherheitsfunktion kommt der archivierten abschließenden Fassung des Safety Case nur insofern zu, als damit die Wahrscheinlichkeit eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens vor allem in den ersten Jahrhunderten nach Verschluss reduziert werden kann. Es ist sinnvoll, für die Archivierung des Safety Case eine geeignete und verlässliche Form zu definieren, die sowohl die Erhaltung der Information wie ihre gute Zugänglichkeit berücksichtigt.

Die Dokumentation des Safety Case erlaubt eine Gesamteinschätzung der Sicherheitsaspekte eines Endlagers. Die Aussagen sollen insgesamt verständlich und nach Möglichkeit auch nachvollziehbar sein. Aus der Breite des Adressatenkreises des Safety Case resultieren unterschiedliche Detaillierungsgrade, unterschiedliche fachliche Niveaus einschließlich der Verwendung verschiedener Fachsprachen sowie unterschiedliche, den Vorkenntnissen der Adressaten angepasste Erläuterungen. Auch aus diesem Grund eignet sich der Safety Case als Dokumentation für zukünftige Generationen, deren Vorkenntnisse und Fachsprache aus heutiger Sicht nur schwer eingeschätzt werden können.

5 Zusammenfassung

Zum sicheren Betrieb, zur Erfüllung aller Anforderungen bei Verfüllen und Verschluss sowie zur Gewährleistung der Sicherheit in der Nachbetriebsphase sind an einem Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle Überwachungsmaßnahmen erforderlich.

Während der Betriebsphase dient die Überwachung der vorgefundenen geologischen Situation der laufenden Kontrolle, ob die tatsächlichen geologischen Verhältnisse den erwarteten entsprechen. Desweiteren erfolgt eine Kontrolle der Annahmefähigkeit der Abfallgebinde. Radiologische Überwachungsmaßnahmen im Endlager sowie in dessen Umgebung entsprechen den bei kerntechnischen Anlagen üblichen Verfahren, haben bei einem Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle aber eher beweissichernden Charakter. Neben radiologischen Parametern sind auch Gasfreisetzungen, Temperaturen und Luftfeuchte zu überwachen, um Gefährdungen von Beschäftigten sowie zu ungünstige Korrosionsbedingungen auszuschließen. Wie im konventionellen Bergbau auch, erfolgt eine Überwachung der Umgebung im Hinblick auf besondere Einflüsse des Endlagerbauwerks an der Oberfläche.

Während des Verfüllens und des Verschlusses des Endlagers kommt die Überwachung der Spezifikation der eingesetzten Materialien hinzu.

Die nachbetriebliche Überwachung des Endlagers dient in erster Linie der Beweissicherung, hat aber auch die positive Wirkung, zum Kenntniserhalt über das Endlager beizutragen. Die technische Überwachung beruht vor allem auf einer weiteren Beobachtung der Erdoberfläche. Die Kenntnis über die genaue Ausdehnung, den Aufbau und die Inventare des Endlagers soll über einen möglichst langen Zeitraum durch eine geeignete Dokumentation erhalten bleiben. Als zu erhaltende Dokumentation eignet sich die abschließende Fassung des Safety Case.

6 Literatur

Hinweis: Dieses Literaturverzeichnis enthält alle in diesem Anhang zitierte Literatur.

- /AVV 90/ Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen, 21.2.1990, Bundesanzeiger Nr. 64 a
- /AVV 05/ Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen. – Entwurf, Stand 13.05.2005
- /BBG 80/ Bundesberggesetz (BBergG), vom 13. August 1980 (BGBl. I. S. 1310), zuletzt geändert durch Art. 11 des Gesetzes vom 9. Dezember 2006 (GMBI. I S. 2833)
- /DVO 02/ Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 24. Juli 2002 (BGBl. I S. 2807), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 13. Dezember 2006 (BGBl. I, Nr. 59, S. 2860)
- /IAE 01/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Monitoring of geological repositories for high level radioactive waste. – IAEA-TECDOC-1208; Wien, April 2001
- /NIR 04/ UK Nirex Ltd. (Project Coordinator): Thematic Network on the Role of Monitoring in a Phased Approach to Geological Disposal of Radioactive Waste. - European Commission, Final Report, Contract No. FIKW-CT-2001-20130; August 2004
- /REI 05/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) vom 7. Dezember 2005. - GMBI. 2006, Nr. 14-17

Anhang Überwachung

/SSV 01/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierenden Strahlen (StrlSchV - Strahlenschutzverordnung), vom 20. Juli 2001, BGBl. I Nr. 38 vom 26.07.2001, zuletzt geändert durch Artikel 3 § 15 des Gesetzes vom 13. Dezember 2007 (BGBl. I, Nr. 65, S. 2930)

7 Weiterführende Literatur

Hinweis: Dieses Verzeichnis enthält als Ergänzung wichtige weiterführende Literatur zum Thema dieses Anhangs, die in diesem Anhang nicht explizit zitiert wurde. Zitierte Literatur findet sich im Literaturverzeichnis.

Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra): Projekt Opalinuston – Konzept für die Anlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers – Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle. – Wettingen, Dezember 2002 (Kapitel 7 „Kontrolle und Überwachung, Physischer Schutz von Kernmaterialien (Safeguards)“)