

## **Langzeitaspekte der BE- Zwischenlagerung**

Vortrag von Beate Kallenbach-Herbert  
im Rahmen des

Hannover, 8. Mai 2003

"3. Symposium Beförderung und Lagerung  
radioaktiver Stoffe"

der TÜV Nord Akademie  
am 8. Mai 2003 in Hannover

Dipl.-Ing. Michael Sailer  
Dipl.-Ing. (BA) Beate Kallenbach-Herbert

**Öko-Institut e.V.**  
Geschäftsstelle Freiburg  
Postfach 6226  
D-79038 Freiburg  
Tel.: 0761-4 52 95-0

## **Langzeitaspekte der BE-Zwischenlagerung**

Dipl.-Ing. Michael Sailer und Dipl.-Ing. (BA) Beate Kallenbach-Herbert

Öko-Institut e.V., Elisabethenstr. 55-57, D-64283 Darmstadt

### **Zusammenfassung**

Die längerfristige Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in Behältern setzt voraus, dass die sicherheitstechnisch relevanten Komponenten während der gesamten Betriebszeit verfügbar und funktionsfähig sind bzw. durch entsprechende Ertüchtigungsmaßnahmen in den anforderungsgerechten Zustand versetzt werden können. Praktische Erfahrungen über lange Betriebszeiten liegen derzeit auch im internationalen Raum nur in geringem Umfang vor und sind beschränkt auf Brennelemente mit vergleichsweise geringem Abbrand.

Um sicherzustellen, dass keine sicherheitsrelevanten Abweichungen vom spezifizierten Zustand auftreten, sollte für alle Brennelement-Zwischenlager ein entsprechendes Langzeit-Überwachungsprogramm etabliert werden, das regelmäßige Überwachungsmaßnahmen sowie eine Berichtslegung im Abstand von 10 Jahren über alle Erkenntnisse und Ergebnisse vorsieht. Da Prüfungen des Behälterinnenraums, der Gasatmosphäre sowie des Hüllrohrverhaltens mit höherem Aufwand verbunden sind, sollten diese Untersuchungen, ergänzt durch ein Überwachungsprogramm zur Prüfung der Entwicklung der Leckgerätee, in einem anlagenübergreifenden Begleitprogramm durchgeführt werden, dessen Ergebnisse in die anlagenspezifischen Auswertungen einfließen.

Da die ersten deutschen Zwischenlager bereits in absehbarer Zeit die zehnjährige Betriebszeit erreichen werden, liegt dort ein kurzfristiger Handlungsbedarf vor, auch wenn aus heutiger Sicht nicht zu erwarten ist, dass nach der ersten Betriebsdekade sicherheitsrelevante Langzeiteffekte zu verzeichnen sein werden.

### **1 Einleitung**

In Deutschland sowie im europäischen Ausland und den USA werden Zeiträume der trockenen Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente von mehreren Jahrzehnten angestrebt. Entsprechend sind im Hinblick auf die sicherheitstechnisch relevanten Komponenten sowie auf das Gebäude verschiedene Aspekte des Langzeitverhaltens zu berücksichtigen. Im nationalen und internationalen Raum liegen derzeit noch keine praktischen Erfahrungen über das Lang-

zeitverhalten während der in Deutschland angestrebten Betriebszeiträume von 40 Jahren vor. In den Sicherheitstechnischen Leitlinien der RSK für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente [1] wird zum Zwecke der Langzeit- und Alterungsüberwachung ein im Abstand von 10 Jahren zu wiederholendes Überwachungsprogramm gefordert.

Nachfolgend werden einige wichtige Aspekte zusammengestellt, die bei der Überwachung der Langzeitsicherheit relevant sind. Die Ausführungen sind folgendermaßen gegliedert:

- Internationaler Stand der trockenen Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente
- Anforderungen an die Langzeitüberwachung
- Maßnahmen eines anlagenspezifischen Überwachungskonzepts zum Langzeitverhalten
- Maßnahmen eines anlagenübergreifenden Begleitprogramms
- Schlussfolgerungen

## 2 Internationaler Stand der trockenen Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente

### Vorhandene Zwischenlager

Im internationalen Raum gewinnt die trockene Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in Behältern zunehmend an Bedeutung. Innerhalb von Europa werden derzeit in Belgien (Doel), der Schweiz (ZZL Würenlingen) und in Tschechien (Dukovany) Zwischenlager betrieben, die in der Technologie (Lagerung massiver Behälter in Gebäuden) den in Deutschland existierenden oder beantragten Brennelement-Zwischenlagern entsprechen. Außerdem sind



Abb. 1: Zwischenlager in Doel, Quelle: Electrabel

Anlagen in Italien (Caorso) und Spanien (Trillo) in Planung. In Litauen erfolgt die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in Behältern unter freiem Himmel. Aus dem außereuropäischen Ausland liegen Erfahrungen mit der trockenen Zwischenlagerung insbesondere aus den USA vor, allerdings erfolgt dort die Aufstellung der Behälter ebenfalls unter freiem Himmel.

### **Betriebserfahrung**

Die Betriebszeiten der bestehenden europäischen Zwischenlager liegen in der Größenordnung bis ca. 10 Jahre. Deutlich längere Praxiserfahrungen liegen nur aus dem Zwischenlager in Surry (USA) vor, das 1986 genehmigt wurde, sowie aus Untersuchungen an einem seit 1985 zu Forschungszwecken gelagerten Behälter, der nach ca. 15 Jahren im Idaho National Environmental and Engineering Laboratory (INEEL), USA, geöffnet und untersucht wurde.

Im Wesentlichen kamen bisher Uranoxid-Brennelemente mit vergleichsweise geringem Abbrand zur Einlagerung. Hinsichtlich der Lagerung höher abgebrannter Brennelemente und MOX-Brennelemente sowie defekter Brennelemente liegen noch keine praktischen Erfahrungen aus dem längeren Anlagenbetrieb vor.

### **Genehmigungssituation**

Der geringen praktischen Erfahrung mit der längerfristigen trockenen Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente wird international in den Genehmigungen für entsprechende Anlagen

- durch zeitliche Befristung der Genehmigung auf 10 Jahre (Tschechien) bzw. 20 Jahre (USA, voraussichtlich Italien) und/oder
- durch die Möglichkeit nachträglicher Auflagen in Verbindung mit regelmäßig durchzuführenden Sicherheitsüberprüfungen

Rechnung getragen, um auch in bestehende Genehmigungen neue Erkenntnisse implementieren zu können.

## **Zukünftige Entwicklungen**

Einzelne Aspekte, die erst mittelfristig für den Betrieb der Zwischenlager relevant sind, sind vielfach noch nicht in den entsprechenden Genehmigungen geregelt. Dies betrifft beispielsweise

- die Entwicklung eines Reparaturkonzepts ohne Verwendung eines benachbarten Kernkraftwerks, wenn dieses vor Ende der Betriebsdauer des Zwischenlagers abgeschaltet wird,
- die Einlagerung höher abgebrannter und MOX-Brennelemente und
- Kriterien für die Entladbarkeit der Brennelemente nach Beendigung der Zwischenlagerung.

Diese Aspekte gewinnen jedoch mit fortschreitender Betriebsdauer an Bedeutung. Bei der Entwicklung von Konzepten können Erkenntnisse aus Inspektionen von Behältern und Brennelementen nach längerer Lagerung wichtige Erkenntnisse liefern.

## **3 Anforderungen an die Langzeitüberwachung**

Anforderungen an die Langzeitüberwachung werden in den RSK-Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung [1] definiert. Als eine der wesentlichen Maßnahmen ist dabei die Entwicklung eines Überwachungskonzepts zu nennen, das

- die Berichtspflicht des Betreibers über den Zustand des Gebäudes und der für die Zwischenlagerung erforderlichen Komponenten in einem Abstand von 10 Jahren,
- die Überprüfung des Zustand des Lagergebäudes und der Komponenten durch Begehung und geeignete Messungen,
- wiederkehrende Setzungsmessungen am Lagergebäude,
- stichprobenartige Inspektionen an den Lagerbehältern sowie
- die Auswertung der Befunde aus wiederkehrenden Prüfungen

umfasst.

In den Stellungnahmen der RSK zu den Genehmigungsentwürfen für die Zwischenlager Lingen [2], Grafenrheinfeld [3] und Neckarwestheim [4] wird ebenfalls auf die Relevanz eines Gesamtkonzepts für die Langzeitüberwachung unter Einbeziehung einer 10-jährlichen Berichtspflicht hingewiesen.

## **4 Maßnahmen eines anlagenspezifischen Überwachungskonzepts zum Langzeitverhalten**

Da praktische Betriebserfahrungen über die angestrebten Betriebszeiträume derzeit noch nicht vorliegen, sollten im Rahmen der Langzeitüberwachung einerseits solche Prozesse berücksichtigt werden, bei denen Veränderungen und damit die Notwendigkeit ergänzender Maßnahmen derzeit nicht auszuschließen sind. Andererseits sollten für Komponenten, die für die gesamte Betriebszeit ausgelegt sind, auch solche Prozesse in ein Überwachungsprogramm eingebunden werden, bei denen nach derzeitigem Kenntnisstand keine langzeitbedingten Effekte erwartet werden, um diese Annahmen durch praktische Betriebserfahrungen abzusichern.

Als relevante Komponenten, deren Austausch während der Betriebszeit nicht vorgesehen ist, sind

- die Lagerbehälter
- das Dichtheitsüberwachungssystem sowie
- das Zwischenlagergebäude

im Überwachungsprogramm zu berücksichtigen.

### **4.1 Überwachung des Langzeitverhaltens der Lagerbehälter**

Der Behälter muss während der gesamten Einlagerungsdauer die folgenden Anforderungen erfüllen:

- sicherer Einschluss der abgebrannten Brennelemente sowie Abschirmung der Strahlung,
- Handhabbarkeit insbesondere zu Wartungs- und Reparaturzwecken sowie
- Transportfähigkeit.

## **Sicherer Einschluss und Abschirmung**

Der sichere Einschluss erfordert die langfristige Dichtheit und Integrität der Behälter. Es ist daher regelmäßig zu verifizieren, dass für Behälterkörper, Behälterdeckel und metallische Dichtungen die spezifizierten Eigenschaften unter den zu berücksichtigenden Beanspruchungen erhalten bleiben. Im Hinblick auf den sicheren Einschluss der Radioaktivität und die spätere Entladbarkeit der Brennelemente ist außerdem zu verifizieren, dass langfristig eine systematische Beeinträchtigung der Hüllrohrintegrität ausgeschlossen werden kann.

Da entsprechende Untersuchungen am geöffneten Behälter durchzuführen sind und daher mit erhöhtem Aufwand verbunden sind, wird unten ein anlagenübergreifendes Begleitprogramm vorgeschlagen, das entsprechende Effekte berücksichtigt und dessen Ergebnisse in die anlagenspezifischen Überwachungsprogramme einfließen sollten.

Auch der Nachweis, dass die Abschirmeigenschaften des Neutronenmoderators erhalten bleiben und die Abschirmung nicht z.B. durch Schrumpfung oder Versprödung des Materials beeinträchtigt werden, sollte anlagenübergreifend in einem Begleitprogramm an repräsentativen Behältern erfolgen.

## **Handhabbarkeit des Behälters**

Zur Handhabung der Behälter ist die Eignung der Tragzapfen sowie der Verschraubungen zu gewährleisten. Entsprechend sind in das Langzeitüberwachungsprogramm folgende Maßnahmen zu integrieren:

- visuelle Kontrollen,
- Auswertung von Erfahrungen bei Prüfungen bzw. beim Wechsel von Tragzapfen, (im Rahmen des von der RSK geforderten Erfahrungsaustauschs zwischen den Lagerbetreibern),
- Prüfung von Materialeigenschaften von Tragzapfen und Schrauben von repräsentativen Behältern mindestens alle 10 Jahre, wobei bei der Festlegung von Umfang und Häufigkeit Erfahrungen aus dem Umgang mit Lagerbehältern auch aus anderen Anlagen einfließen sollten.

## **Transportfähigkeit**

Die RSK geht in ihren Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente davon aus, dass die Einhaltung der verkehrsrechtlichen Anforderungen nicht während der gesamten Einlagerungsdauer nachzuweisen ist. Im Rahmen der Langzeitüberwachung ist jedoch zu verifizieren, dass die Transportfähigkeit für den Fall des Abtransport des Behälters hergestellt werden kann. Der Behälter muss daher beispielsweise hinsichtlich

- der Materialeigenschaften des Behälterkörpers,
- der Fixierung des radioaktiven Inventars sowie
- der Trag- und Auflageelemente

die erforderlichen Qualitätsmerkmale aufweisen.

Ggf. bestehende Abweichungen zu den verkehrsrechtlichen Anforderungen sind zu identifizieren und in einer kontinuierlich geführten Dokumentation für jeden Behälter zu beschreiben. Es ist darin auch zu beschreiben, mit welchen Maßnahmen die Einhaltung der jeweils aktuellen verkehrsrechtlichen Anforderungen wieder hergestellt werden kann.

Diese Dokumentation ist auch für den 10-jährlichen Bericht auszuwerten. Hinsichtlich der Fixierung des radioaktiven Inventars sind die Ergebnisse aus dem anlagenübergreifenden Begleitprogramm zu berücksichtigen, das entsprechend den nachfolgenden Ausführungen (siehe unten) Untersuchungen der Hüllrohre sowie des Behälterinnenraums und des Tragkorbes an repräsentativen Behältern umfassen sollte.

## **4.2 Überwachung des Dichtheitsüberwachungssystems**

Für das System der Dichtheitsüberwachung sind die Teilsysteme

- Druckschalter mit behälterseitigen Anschlusskomponenten,
- Signalleitungen,
- Signalverarbeitung sowie
- Stromversorgung

zu berücksichtigen. Während die letzten drei Teilsysteme vielfach auch in anderen Anlagen zur Anwendung kommen, aus denen Erkenntnisse bezüglich der erforderlichen Überwachungsmaßnahmen und bezüglich des Langzeitverhaltens abgeleitet werden können, ist der Druckschalter eine spezifische Komponente der trockenen Zwischenlagerung, über deren Verhalten während der angestrebten Betriebszeiten noch keine praktischen Erfahrungen vorliegen. Es ist daher im Rahmen des Überwachungsprogramms zu verifizieren, dass keine Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit, beispielsweise durch unvorhergesehene Veränderungen der feinmechanischen Bauteile (z.B. Kontaktstifte, Membran), auftreten.

Die Druckschalter sind das zentrale Element zur Überwachung der Behälter, Die Aussage über die Dichtheit der Behälter hängt wesentlich von der Einhaltung ihrer spezifizierten Funktion ab. Deshalb halten wir es für erforderlich, im Rahmen der 10-jährlichen Überprüfungen in jedem Lager etwa zwei Druckschalter zu demontieren, zu öffnen und auf Veränderungen und Funktionsfähigkeit der einzelnen Bauteile zu überprüfen.

Ergänzend sollte im Rahmen des anlagenübergreifenden Begleitprogramms (siehe unten) eine kontinuierliche Überprüfung der Druckentwicklung über die Zeit im Sperrraum repräsentativer Behälter mittels eines Drucküberwachungssystems erfolgen, um die Entwicklung der Leckagerate zu ermitteln.

### **4.3 Überwachung des Lagergebäudes**

#### **Bauwerk und Untergrund**

Für das Bauwerk ist hinsichtlich der Langzeitsicherheit insbesondere nachzuweisen, dass

- die Standsicherheit,
- die Abschirmung sowie
- die Wärmeabfuhr

gewährleistet sind.

Entsprechend ist zu verifizieren, dass die mechanischen und thermischen Beanspruchungen sowie Korrosion und Alterungseffekte nicht zu Beeinträchtigungen der Materialeigenschaften von Baustoff und Bewehrung der Fundamente, der Bodenplatte, der Wände und der Decke, sowie zu unzulässigen Beanspruchungen der Oberfläche der Bodenplatte führen.

Die erforderlichen Nachweise sollten mittels visueller Kontrollen und durch Setzungsmessungen erfolgen.

Ferner wurde im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung für Standort-Zwischenlager festgestellt, dass eine Erwärmung des Grundwassers unter dem Gebäude sowie im Grundwasserabstrom nicht ausgeschlossen werden kann. Im Gegensatz zu den Zwischenlagern in Dukovany (Tschechien) sowie im belgischen Doel, wo alle Behälter bzw. Behälter mit höherer Wärmeleistung auf Sockeln gelagert werden, um die Luftzirkulation zwischen Behälter und Hallenboden zu ermöglichen, sind für Anlagen in Deutschland derzeit keine Maßnahmen zur Verringerung des Wärmeeintrags vom Behälter in die Bodenplatte und den Untergrund vorgesehen. Im Hinblick auf die Vermeidung unzulässiger Erwärmung des Grundwassers im Bereich der Anlage sollte daher eine Überwachung der Grundwassertemperatur sowie ggf. weiterer Parameter im Grundwasserabstrom sowie als Referenzwert im Anstrom durchgeführt werden.

### **Transporteinrichtungen**

Die Transporteinrichtungen umfassen die Krananlage und die erforderlichen Anschlagmittel. Bei sinngemäßer Anwendung der KTA 3903 „Prüfung und Betrieb von Hebezeugen in Kernkraftwerken“ sind Art und Umfang der Wiederkehrenden Prüfung definiert. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sollten in den 10-jährlich zu erstellenden Bericht im Rahmen des Langzeitüberwachungsprogramms aufgenommen werden.

## **5 Maßnahmen eines anlagenübergreifenden Begleitprogramms**

Neben den Überwachungsmaßnahmen, die in jeder Anlage der trockenen Zwischenlagerung durchgeführt werden sollten, erscheint es aufgrund der noch begrenzten praktischen Erfahrungen mit der längerfristigen Zwischenlagerung sinnvoll, im Rahmen eines abgestimmten Begleitprogramms ergänzende Überprüfungen durchzuführen. Dieses Begleitprogramm sollte übergreifend für alle deutschen Zwischenlager in der Form durchgeführt werden, dass einzelne ausgewählte Behälter, die repräsentativ für eine große Zahl der in den verschiedenen Zwischenlagern befindlichen Behälter sind, die unten beschriebenen detaillierten Untersuchungen durchlaufen.

Die Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen sind von den Betreibern der einzelnen Anlagen in die Auswertung der eigenen Überwachungsmaßnahmen einzubeziehen. Wichtige Effekte, die im anlagenübergreifenden Begleitprogramm berücksichtigt werden sollten, sind nachfolgend dargestellt.

### **5.1 Veränderungen der Gasatmosphäre im Behälter**

Die Gasatmosphäre im Behälter beeinflusst wesentlich das Verhalten der Hüllrohre und Dichtungskomponenten. Veränderungen der Inertgasatmosphäre im Behälterinnenraum können im Bereich der Hüllrohre und der Dichtungskomponenten Korrosion verursachen oder begünstigen. Relevante Prozesse sind z.B.:

- Entstehung reaktiver Säuren durch radiolytische Prozesse durch Einschluss von Luftbestandteilen und Restfeuchtigkeit,
- Freisetzung reaktiver Spaltprodukte wie Brom und Iod aus Hüllrohrdefekten,
- Gasentwicklung durch Korrosionsprozesse aufgrund eingeschlossener Rückstände von Reinigungsmitteln oder Bor im Behälterinnenraum.

Die Gasatmosphäre kann sich aufgrund der genannten Prozesse während der Einlagerungsdauer eines Behälters verändern. Um nicht vorhersehbare Auswirkungen auf die Hüllrohre oder die Dichtungskomponenten zu vermeiden, sollte

die Gasatmosphäre von repräsentativen Behältern in regelmäßigen Abständen überwacht werden.

Außerdem ermöglicht die Überprüfung des Auftretens der Spaltprodukte Krypton und Xenon in der Behälteratmosphäre Rückschlüsse auf die Integrität der Hüllrohre.

## **5.2 Veränderungen von Behälterkomponenten und Brennelementen**

Durch Öffnen einzelner repräsentativer Behälter können Anhaltspunkte, die sich aus der Untersuchung der Gasatmosphäre ergeben, durch gezielte visuelle Inspektion und Untersuchungen ergänzt werden. Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 4 sollten Untersuchungen im Hinblick auf

- den sicheren Einschluss der radioaktiven Stoffe sowie
- die Beständigkeit der Neutronenabschirmung

im Rahmen des anlagenübergreifenden Begleitprogramms durchgeführt werden. Dabei sind die folgenden Effekte zu berücksichtigen:

### *Veränderungen der Brennelemente*

Bezüglich der Brennelemente sind einerseits Veränderungen der Kopf- und Fußteile der Brennelemente, der Fixierungen der Brennstäbe sowie der Brennstäbe selber z.B. durch Verformungen zu berücksichtigen, die insbesondere im Hinblick auf die Handhabung und spätere Entladbarkeit der Brennelemente relevant sind. Andererseits sind Beeinträchtigungen der Hüllrohroberflächen, die die Integrität der Brennstäbe beeinflussen können, zu überprüfen. Diese können beispielweise durch Korrosion oder Dehnung des Materials hervorgerufen werden. Die Prüfung erfordert insbesondere visuelle Kontrollen der aus den zu untersuchenden Behältern entladenen Brennelemente, die im 10-jährlichen Abstand erfolgen sollten. Ggf. ist bei verstärkter Einlagerung von MOX-Brennelementen und Brennelementen mit hohem Abbrand die Häufigkeit der Untersuchungen neu festzulegen.

### *Beeinträchtigungen des Dichtungssystems*

Aufgrund der oben beschriebenen Einflüsse der Gasatmosphäre im Behälter sowie aufgrund äußerer Einflüsse und thermischer Belastungen resultieren besondere Beanspruchungen der für die Abdichtung der Behälter erforderlichen Komponenten. Um mögliche Effekte, die zu einer späteren Beeinträchtigung der Behälterabdichtung führen können, frühzeitig zu erkennen, sollte das Dichtungssystem unter Berücksichtigung von Behälterdeckel, Dichtungsnut im Behälterkörper sowie metallischen Dichtungen im Rahmen der Untersuchung eines geöffneten Behälters inspiziert werden. Dabei ist insbesondere zu prüfen, ob Veränderungen

- aufgrund von Korrosion der Dichtungsnuten oder der Dichtungen oder
- aufgrund von Versprödung oder anderen Materialveränderungen der Dichtungen

vorliegen.

### *Korrosion des Behälterinnenraums und des Brennelement-Tragkorbes*

In Abhängigkeit von der Gasatmosphäre im Behälterinnenraum sind auch Korrosionserscheinungen im Behälterinnenraum sowie am Brennelement-Tragkorb nicht auszuschließen. Um langfristig, auch im Hinblick auf den Transport der Behälter nach Abschluss der trockenen Zwischenlagerung die sichere Fixierung der Brennelemente sicherzustellen, sollten im Rahmen des anlagenübergreifenden Begleitprogramms auch diese Komponenten visuell inspiziert werden.

### *Veränderungen der Neutronenabschirmung*

Durch Untersuchungen der Neutronenabschirmung ist sicherzustellen, dass diese auch langfristig nicht durch Materialversprödung, Schrumpfung oder Veränderung der Materialeigenschaften beeinträchtigt wird.

Die Untersuchung der genannten Effekte erfordert das Öffnen einzelner Behälter, die hinsichtlich der eingelagerten Brennelemente (Abbrand, Brennstoff, Anreicherung, Abklingzeit), des Behältertyps und der Umgebungsbedingungen für die in den verschiedenen deutschen Zwischenlagern eingelagerten Behälter

repräsentativ sind. Das Untersuchungsprogramm ermöglicht es, zu verifizieren, dass auch langfristig der sichere Einschluss der radioaktiven Stoffe und die Abschirmung der Neutronenstrahlung gewährleistet ist. Außerdem sind auf der Grundlage der Ergebnisse Rückschlüsse bezüglich der Transportfähigkeit der Behälter sowie der späteren Entladbarkeit der Brennelemente möglich.

### **5.3 Überwachung der Dichtheit**

Die Überwachung des sicheren Einschlusses der radioaktiven Stoffe erfolgt derzeit für deutsche Zwischenlager mittels Differenzdruckschalter im Deckelbereich der Behälter. Diesem Element kommt daher eine besondere Bedeutung im Sicherheitskonzept der Anlagen zu. Daher ist es sinnvoll, im Rahmen des Begleitprogramms die Funktionsfähigkeit und langfristige Eignung des gewählten Systems mittels eines diversitären Systems zu kontrollieren.

Es sollten daher ausgewählte Behälter neben dem Differenzdruckschalter mit einem Druckaufnehmersystem ausgestattet werden, das kontinuierlich die Entwicklung des Drucks im Sperrraum zwischen Primär- und Sekundärdeckel aufnimmt und dokumentiert. Die Ergebnisse sollten ausgewertet werden, um aus der langfristigen Beobachtung Aussagen über Druckänderungen im Raum zwischen Primär- und Sekundärdeckel zu gewinnen.

Es sollte auch überprüft werden, ob die spezifizierte Leckagerate des Behälters während der Einlagerungsdauer konstant bleibt oder sich verschlechtert.

## **6 Schlussfolgerungen**

Die längerfristige Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in Behältern wird aufgrund der bisherigen Analysen als sichere Möglichkeit zur Zwischenlagerung angesehen. Sie sollte aber durch ein geeignetes Überwachungsprogramm begleitet werden, auch wenn hinsichtlich verschiedener Effekte wie z.B. der Beeinträchtigung der Behälterkörper oder des Lagergebäudes derzeit keine Auswirkungen erwartet werden, die den sicheren Betrieb der Anlagen beeinträchtigen. Das Überwachungsprogramm dient dazu, die erwarteten guten Eigenschaften zu verifizieren. Falls sich längerfristig Effekte entwickeln, die die

Sicherheitseigenschaften beeinträchtigen, können diese durch das Überwachungsprogramm voraussichtlich rechtzeitig erkannt werden.

Neben den Überwachungsprogrammen in den einzelnen Zwischenlagern sind auch aufwendigere Untersuchungen der Behälter erforderlich, die nur am geöffneten Behälter durchgeführt werden können, sowie ergänzende Untersuchungen zum Dichtheitsüberwachungssystem. Diese Untersuchungen sollten in einem anlagenübergreifenden Begleitprogramm durchgeführt werden.

Dabei sollten bewusst auch solche Untersuchungen an sicherheitstechnisch relevanten Komponenten in die Überwachungsprogramme und die regelmäßigen Berichte integriert werden, für die derzeit keine negativen Effekte erwartet werden, um die bestehenden Annahmen über das langfristige Verhalten der Komponenten zu verifizieren.

Da die in Deutschland bestehenden zentralen Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente bereits in absehbarer Zeit die ersten 10 Betriebsjahre abgeschlossen haben werden, wäre für diese schon bald die erste 10-jährliche Überprüfung notwendig. Die erforderlichen Langzeit-Überwachungsprogramme sollten daher in diesen Anlagen möglichst kurzfristig etabliert werden.

Den in Deutschland durch den Betrieb zahlreicher Anlagen zu erwartenden umfangreichen Erkenntnissen über die trockene Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente sollte auch im Hinblick auf die internationale Diskussion langzeitrelevanter Fragestellungen der trockenen Zwischenlagerung eine angemessene Relevanz beigemessen werden.

## Literatur

- [1] Reaktor-Sicherheitskommission: Sicherheitstechnische Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in Behältern, Mai 2001
- [2] Reaktor-Sicherheitskommission: Umsetzung der Grundsätze der Empfehlung der RSK „Sicherheitstechnische Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in Behältern“ im BfS-Genehmigungsentwurf für das Standortzwischenlager Lingen, 05.09.2002
- [3] Reaktor-Sicherheitskommission: Umsetzung der Grundsätze der Empfehlung der RSK „Sicherheitstechnische Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in Behältern“ im BfS-Genehmigungsentwurf für das Standortzwischenlager Grafenrheinfeld (ZL-KKG), 07.11.2002
- [4] Reaktor-Sicherheitskommission: Umsetzung der Grundsätze der Empfehlung der RSK „Sicherheitstechnische Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in Behältern“ im BfS-Genehmigungsentwurf für das Standort-Zwischenlager in Gemrigheim der Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar GmbH (ZL-GKN), in Veröffentlichung