

In der Bundesrepublik Deutschland besteht Konsens, alle radioaktiven Abfälle in tiefen geologischen Formationen endzulagern. Dies ist an einem Standort (Ein-Endlager-Konzept) oder an mehreren Standorten (Mehr-Endlager-Konzept) möglich. Welches Konzept bevorzugt wird, hat sich in der Vergangenheit wiederholt geändert. Seit 1998 ist das Ein-Endlager-Konzept im Rahmen der angestrebten Beendigung der Atomenergienutzung entsorgungspolitisches Ziel der *Bundesregierung*.

Aus ethischer Sicht kommt bei der Endlagerung der Langzeitsicherheit höchste Priorität zu. Daher müssen die in diesem Sinne bestmögliche Endlagerungsoption und der dafür – nach den Regeln des Verfahrens – bestmögliche Endlagerstandort identifiziert werden. Dies sind wesentliche Voraussetzungen für eine gegenüber heutigen und künftigen Generationen gerechte Lösung des Entsorgungsproblems. Bei Umsetzung im Rahmen eines fairen Entscheidungsprozesses ist das Ein-Endlager-Konzept gleichsam die Konsequenz dieser ethischen Prinzipien.

Dem Ein-Endlager-Konzept stehen nach derzeitiger Kenntnis keine sicherheitsrelevanten Gründe entgegen. Das gilt insbesondere im Hinblick auf mögliche Auswirkungen der Wärme- und Gasentwicklung bestimmter Abfallarten auf die Funktionstüchtigkeit der geologischen Barrieren sowie mögliche chemische Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Abfällen. Ihnen ist durch ausreichenden Abstand zwischen solchen Abfällen im Endlager zu begegnen.

Entsorgungskonzeptionell können mit dem Ein-Endlager-Konzept die Endlagerkapazität und der Zeitraum für die Einlagerung der Abfälle aus der Atomenergienutzung optimiert werden. Bei zügiger Durchführung des Standortauswahlverfahrens stünde das Endlager zeitgerecht für die Einlagerung bestrahlter Brennelemente und hochradioaktiver Abfälle sowie der in Zukunft anfallenden mittel- und schwachradioaktiven Abfälle zur Verfügung.

Anschriften der Verfasser:

*Dr. Detlef Appel*

*PanGeo - Geowissenschaftliches Büro*  
Ibykusweg 23  
30629 Hannover

*Dipl.-Geol. Jürgen Kreusch*

*Dipl.-Phys. Wolfgang Neumann*  
*Gruppe Ökologie e.V.*

Kleine Düwelstr. 21  
30171 Hannover

# Aspekte der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Rahmen des Ein-Endlager-Konzeptes

D. Appel, J. Kreusch und W. Neumann, Hannover

## I Einleitung

Seitdem die *Bundesregierung* erklärt hat, dass für die Endlagerung der in der Bundesrepublik Deutschland anfallenden radioaktiven Abfälle ein Endlager ausreichend und dafür eine neue Standortsuche durchzuführen sei, wird eine heftige Diskussion über Vor- und Nachteile dieses so genannten Ein-Endlager-Konzeptes geführt. In dieser Diskussion, insbesondere beim Vergleich des Ein-Endlager-Konzeptes mit der Endlagerung verschiedener Abfallarten in verschiedenen Endlagern (Mehr-Endlager-Konzept), werden nicht selten konzeptionelle Argumente mit Argumenten vermischt, die sich aus bestimmten Erwartungen, z. B. zum künftigen Umgang mit den Standorten Gorleben und Konrad, speisen. Individuelle oder gruppenspezifische Interessen sind zwar bei der Entscheidungsfindung abwägend zu berücksichtigen, die Entscheidung über das umzusetzende Endlagerkonzept muss aber in erster Linie auf übergeordneten sicherheitsbezogenen und entsorgungskonzeptionellen Überlegungen beruhen.

Eine entsprechende systematische und umfassende öffentliche Auseinandersetzung mit den Vor- und Nachteilen beider Konzepte als Grundlage dieser Entscheidung steht aus. Die nachfolgende Diskussion einiger ausgewählter Aspekte von Ein-Endlager- und Mehr-Endlager-Konzept kann diese Lücke nicht schließen, soll aber den Blick auf einige sicherheitsbezogene und entsorgungskonzeptionelle Kernfragen der Konzept-Entscheidung lenken. Sie ist dementsprechend auf die ethischen Grundlagen der Endlagerung und ihre sicherheitsbezogenen Konsequenzen für das Endlager-Konzept sowie entsorgungsstrategische Aspekte konzentriert.

Den nachfolgenden Ausführungen liegen folgende Vorstellungen zum Ein-Endlager- und zum Mehr-Endlager-Konzept zugrunde:

Beim Mehr-Endlagerkonzept werden sich die Endlager an geographisch verschie-

denen Standorten in wahrscheinlich unterschiedlichen Wirtsgesteinen befinden. Jedes Endlager benötigt mindestens zwei Schächte. Das wichtigste konzeptionelle Merkmal eines Mehr-Endlager-Konzeptes ist die Art der Aufteilung der radioaktiven Abfallarten auf die Endlager.

Das Endlager gemäß Ein-Endlager-Konzept wird in nur einem Gesteinskörper (bzw. mehreren Gesteinskörpern mit ähnlichen Barriereigenschaften) errichtet. Voraussichtlich werden radioaktive Abfälle mit unterschiedlichen chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften getrennt voneinander eingelagert werden. Die genaue Ausgestaltung des Endlagers, z. B. hinsichtlich der räumlichen Anordnung und Trennung der Einlagerungsbereiche und der Anzahl und Lage der Schächte, setzt detaillierte Standortkenntnis voraus.

## II Konzeptentwicklung im Rückblick

In der Bundesrepublik Deutschland fallen durch die Nutzung der Atomenergie zur Stromproduktion sowie in Forschung, Medizin und Industrie radioaktive Abfälle an. Es besteht Konsens, alle Abfälle durch Endlagerung in tiefen geologischen Formationen zu entsorgen. Das Endlagerkonzept muss darauf gerichtet sein, die gesamte Menge des Abfalls unterzubringen und die Radionuklide über einen langen Zeitraum so sicher wie möglich von der Biosphäre zu isolieren.

Die ersten Überlegungen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland in den 1960er und 1970er Jahren sahen vor, alle Arten radioaktiver Abfälle in nur einem Endlager zu entsorgen, und zwar in einem Salzstock. Das Endlager sollte Teil eines so genannten Nuklearen Entsorgungszentrums sein [1]. Dieses integrierte Entsorgungskonzept sollte am Standort *Gorleben* realisiert werden. Es hatte noch in der

Vereinbarung der Regierungschefs von Bund und Ländern zur Entsorgung der Kernkraftwerke im Jahr 1979 Bestand [2].

Ab 1976 wurde parallel zu dem zur Benennung des Standortes *Gorleben* führenden Entscheidungsprozess das aus Rentabilitätsgründen von der Schließung bedrohte Eisenerzbergwerk *Konrad* in Salzgitter auf Initiative des Bergwerksbetreibers (ohne Standortauswahlverfahren) auf seine Eignung für die Endlagerung unwesentlich Wärme entwickelnder (schwach- und mittelradioaktiver) Abfälle geprüft. Nach positivem Ergebnis wurde die Schachanlage *Konrad* Bestandteil des bundesdeutschen Entsorgungskonzeptes und das Planfeststellungsverfahren dafür eingeleitet. Dadurch wurde aus dem Ein-Endlager-Konzept ein Zwei-Endlager-Konzept.

Mit dem Beitritt der Deutschen Demokratischen Republik zur Bundesrepublik Deutschland stand ab 1990 zeitweilig das *Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)* zur Verfügung. Dort sind radioaktive Abfälle mit geringen Gehalten an Alpha-Strahlern endgelagert worden. Es sollte bis zur Inbetriebnahme von *Konrad* betrieben werden. 1998 wurde die Abfalleinlagerung jedoch auf Grund von Standsicherheitsproblemen beendet.

Nicht zuletzt als Folge der öffentlichen Auseinandersetzungen um die Standorte *Gorleben* und *Konrad* wurde in der ersten Hälfte der 1990er Jahre von verschiedenen Akteuren die Rückkehr zum Ein-Endlager-Konzept vorgeschlagen bzw. erwogen. Hierzu gehörten die *Niedersächsische Landesregierung* [3], die Energieversorgungsunternehmen [4] und - im Rahmen von so genannten Konsensverhandlungen – die damalige *Bundesregierung* [5]. Als Gründe wurden beispielsweise die begrenzte Dauer der Atomenergienutzung, die rückläufige Menge der endzulagernden radioaktiven Abfälle und Kosteneinsparungen genannt. Seit 1998 ist es erklärtes Ziel der *Bundesregierung*, alle Arten radioaktiver Abfälle in einem Endlager unterzubringen, das etwa im Jahr 2030 betriebsbereit sein soll [6]. Wegen Zweifeln an der Eignung *Gorlebens* muss dafür ein neuer Endlagerstandort ausgewählt werden. Das geplante Endlager *Konrad* wird dadurch überflüssig.

### III Ziele und Anforderungen bei der Endlagerung

#### Sicherheit zuerst

Alle bis heute diskutierten bzw. verfolgten Optionen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle dienen dem ethisch gebotenen Schutz von Mensch und Umwelt vor den Auswirkungen der radioaktiven Strahlung. In den meisten Ländern mit Atomenergienutzung wurde von Anfang an die Endlagerung zumindest der hochradioaktiven Abfälle in der

kontinentalen Erdkruste favorisiert, um sie auf Dauer zuverlässig von der Biosphäre zu isolieren. In der Bundesrepublik Deutschland wird darüber hinaus seit Beginn der Diskussion über die Endlagerung radioaktiver Abfälle in den 1960er Jahren die Variante verfolgt, alle radioaktiven Abfälle in tiefen geologischen Formationen endzulagern.

Über diese Strategie besteht angesichts der dichten Besiedlung und der intensiven Flächen- und Gewässernutzung in der Bundesrepublik Deutschland ein breiter Konsens. Sie wird von vielen Menschen im Vergleich mit allen bis heute diskutierten und in absehbarer Zeit auch umsetzbaren Entsorgungsbzw. Endlagerungsoptionen als die sicherste angesehen. Dabei sind gewisse Nachteile der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen unbestritten. Sie hängen mit der Unzugänglichkeit eines verschlossenen Endlagers und Problemen beim Nachweis der langzeitigen Funktionstüchtigkeit der geologischen Barrieren eines Endlagersystems zusammen. Die Vorteile sind aber größer und die Bewertungsunsicherheiten geringer als bei anderen Entsorgungsoptionen [7].

In dieser sicherheitsbezogenen Einschätzung der Endlagerung aller Arten radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen kommt die große Bedeutung zum Ausdruck, die der Sicherheit in Deutschland gegenüber anderen Beurteilungsaspekten beigemessen wurde und wird: Das Prinzip „Sicherheit zuerst“ ist ein Grundgedanke des Entsorgungskonzeptes der *Bundesregierung* [8]. Danach ist bei der Entsorgung das bestmögliche Sicherheitsniveau anzustreben. „Bestmöglich“ bezeichnet dabei diejenige Entsorgungsoption, die sich unter Vorrang der Sicherheit im Rahmen eines sorgfältigen Abwägungsprozesses als beste erweist.

Die Umsetzung dieses Primats der Sicherheit setzt die klare Definition des mit einer Entsorgungsoption angestrebten Sicherheitsniveaus und seine strikte Verfolgung durch alle Phasen des Entscheidungsprozesses bis hin zu einem betriebsbereiten Endlager voraus. In diesem Sinne wird derzeit vom *Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)* eine Sicherheitsphilosophie für die Endlagerung entwickelt [9], die das ethische Dach für das technisch-wissenschaftliche Vorgehen bei der Endlagerung bilden soll.

#### Gerechte Lösung für heutige und künftige Generationen!

An die Umsetzung von Entsorgungsplänen knüpfen sich im Hinblick auf das erforderliche Sicherheitsniveau sowie die mit der Umsetzung der Entsorgungsoption verbundenen möglichen Vor- und Nachteile auch individuelle und gruppenbezogene Erwartungen und Anforderungen. Sie haben ihre Ursache in unterschiedlichen Wertvorstellungen und Interessen und müssen im Rahmen eines abwägenden Entscheidungsprozesses berücksichtig

werden, dürfen aber die Entscheidung nicht dominieren. Dem übergeordneten Sicherheitsbedürfnis der Gesellschaft und den berechtigten Forderungen Einzelner oder von Gruppen, insbesondere nach Vermeidung unbilliger Belastungen, kann nur im Rahmen einer gerechten bzw. als gerecht empfundenen Lösung Rechnung getragen werden.

Diese Forderung ergibt sich aus der Einsicht, dass Menschen, die mit Errichtung, Betrieb und langzeitiger Existenz eines Endlagers verbundenen realen oder möglichen Belastungen im Sinne eines Dienstes für die Gesellschaft nur unter bestimmten Bedingungen zugemutet werden darf. Insbesondere darf der Entfaltungsspielraum von Menschen, die von der Produktion der Abfälle keinen Nutzen haben, durch die Existenz der Abfälle, die Notwendigkeit ihrer Entsorgung bzw. den von den Abfällen ausgehenden Auswirkungen überhaupt nicht, nur in unvermeidlichem oder (soweit nicht vermeidbar) nur in nicht unbilligem Maße beeinträchtigt werden. Das setzt einerseits die konsequente Befolgung des Verursacherprinzips voraus, andererseits muss die letztlich getroffene Entscheidung zwangsläufiges Ergebnis der Befolgung des Prinzips „Sicherheit zuerst“ sein und somit hinsichtlich der Sicherheit die „bestmögliche“ Option darstellen. Bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle schlägt sich dieses Prinzip insbesondere in der Suche nach dem hinsichtlich der Langzeitsicherheit „bestmöglichen“ Endlagerstandort nieder [10]. Die Suche nach dem - gemäß den Verfahrensregeln - bestmöglichen Standort hat also ihre Wurzeln im Gerechtigkeitsgebot.

Für künftige Generationen kann es keine gerechte Lösung geben; denn sie sind dem Risiko einer durch sie nicht zu verantwortenden Strahlenbelastung ausgesetzt. Zumindest muss daher im Sinne des Verursacherprinzips verhindert werden, dass künftige Generationen in unbilliger Weise mit den radioaktiven Abfällen und deren Entsorgung belastet werden. In diese Richtung zielt die *Bundesregierung* mit ihrer Absicht, etwa im Jahr 2030 in Deutschland ein betriebsberechtigtes Endlager zu haben [6].

#### Qualität des Entscheidungsprozesses

Nach dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik ist die Umsetzung einer gerechten Entsorgungslösung an die Einhaltung konkreter Anforderungen nicht nur an die gewählte Entsorgungsoption, sondern auch an die Qualität des zugrunde liegenden Entscheidungsprozesses gebunden [10 - 13]. Diese Anforderungen ergeben sich nicht zuletzt aus den international vorliegenden Erfahrungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle und werden in einer Reihe von Ländern bereits umgesetzt. Hohen Stellenwert hat insbesondere die Fairness des Verfahrens. Sie ergibt sich u. a. aus der Einhaltung folgender Anforderungen:

– Die betroffenen Menschen und andere relevante Gruppen der Gesellschaft müssen an der Entscheidung für die Entsorgungsoption beteiligt werden. Ihre Bedürfnisse und spezifischen Interessen müssen in angemessener Weise in die Entscheidung einfließen.

– Der Entscheidungsprozess, z. B. das Auswahlverfahren für einen Endlagerstandort, muss transparent, ergebnisoffen und verlässlich sein, auf Basis klarer Regeln durchgeführt werden und Korrekturen erlauben.

In Deutschland stößt die Umsetzung dieser Anforderungen bei einigen Interessengruppen auf Vorbehalte, obwohl ihre Einhaltung zur Legitimierung des Entscheidungsprozesses und seines Ergebnisses und damit letztlich zur konfliktärmeren Bereitstellung eines Endlagers beitragen könnte. Mit dem Vorschlag des *Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd)* für die Standortauswahl [10] liegt zudem ein an diesen Anforderungen ausgerichtetes Verfahren vor. Zusammenfassend erweist sich damit das Ein-Endlager-Konzept aus ethischer Sicht sogar als „natürliche“ Konsequenz des Primats der Sicherheit, der Forderung nach einer gerechten Entsorgungslösung einschließlich Suche nach dem relativ besten Endlagerstandort in einem fairen Verfahren.

### Missachtung des Verursacherprinzips bei Verfolgung des Ein-Endlager-Konzeptes?

Im Zusammenhang mit der vom *Bundesumweltministerium (BMU)* angekündigten Suche nach einem neuen Endlagerstandort wird die Meinung vertreten, dass die Umsetzung des Standortauswahlverfahrens und die Errichtung des Endlagers länger dauern werden als von der *Bundesregierung* veranschlagt. Damit würde die Entsorgung der Abfälle in ungerechtfertigter Weise nachfolgenden Generationen aufgebürdet. Um dies zu vermeiden, wäre auf die beiden Standorte *Gorleben* und *Konrad* zurückzugreifen [14].

Ein solches Vorgehen stünde in klarem Widerspruch zu den ethischen Prinzipien der Endlagerung; denn die Festlegung der Standorte *Gorleben* und *Konrad* hat zweifelsfrei nicht den Anforderungen an ein gerechtes Verfahren entsprochen. Das gilt nicht nur im Rückblick, sondern auch unter den zum Zeitpunkt der jeweiligen Standortbenennungen üblichen Verfahrensanforderungen: Die unzureichende Verfahrenstransparenz und die fehlende Nachvollziehbarkeit der resultierenden Entscheidungen sind von Anfang an bemängelt worden. Der Anforderung „Sicherheit zuerst“ können die Standorte mangels darauf ausgerichteten Auswahlverfahrens ohnehin nur zufällig entsprechen.

Andererseits hat es bei der Verabschiedung und Umsetzung des vom *AkEnd* entwickelten Auswahlverfahrens tatsächlich Verzögerungen gegeben. Es ist aber nicht angebracht, die Verabschiedung und Umsetzung

eines auf Sicherheit und Gerechtigkeit gerichteten und daher notwendigerweise zeit-aufwendigen Auswahlverfahrens zur Verschiebung der Problemlösung auf spätere Generationen zu erklären - zumal die Ursachen dieser Verzögerungen auch in der Weigerung einiger Akteure liegen, an der Beratung des *AkEnd*-Vorschlags teilzunehmen. Die sorgfältige und zielgerichtete Auswahl und Prüfung eines Endlagerstandortes entsprechend den dafür gültigen Anforderungen dient vielmehr nicht nur der Sicherheit und der Akzeptanz, sondern ist auch ein Beitrag zur Gerechtigkeit gegenüber künftigen Generationen.

### IV Welche Abfallarten in welche(s) Endlager?

Die Aufteilung verschiedener Abfallarten auf mehrere Endlager wäre insbesondere dann geboten, wenn damit gegenüber ihrer (getrennten) Lagerung in nur einem Endlager überzeugende sicherheitsmäßige Vorteile oder – bei übereinstimmendem Sicherheitsniveau – andere überzeugende Vorteile verbunden wären. Die Art und Weise der Abfallaufteilung stellt also ein wichtiges Merkmal von Mehr-Endlager-Konzepten dar und ist für die Diskussion Ein- oder Mehr-Endlager-Konzept von unmittelbarer Bedeutung.

In der Bundesrepublik Deutschland werden die radioaktiven Abfälle seit der Einbeziehung der Schachanlage *Konrad* in das nationale Entsorgungskonzept in Wärme entwickelnde und vernachlässigbar Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle unterteilt. Letztere sind für das geplante Endlager *Konrad* bestimmt. International ist demgegenüber die Aufteilung verschiedener Abfallarten nach den inventarabhängigen Gefährdungszeiträumen üblich, indem zwischen schwach- und mittelaktiven Abfällen mit überwiegend kurzlebigen Radionukliden (Halbwertszeit <30 Jahre) und Abfällen mit langlebigen Radionukliden unterschieden wird. Die zweite Gruppe setzt sich insbesondere aus langlebigen mittelradioaktiven Abfällen sowie den hochradioaktiven Abfällen und bestrahlten Brennelementen zusammen.

Die Aufteilung der radioaktiven Abfälle nach der Halbwertszeit ist unmittelbar einleuchtend; denn mit diesem Ansatz ist eine Reduzierung der funktionalen bzw. zeitlichen Anforderungen an die geologische Barriere eines der benötigten Endlager verbunden. Dadurch können das Abfallvolumen, für das eine „anspruchsvolle“ Lösung gesucht werden muss, reduziert und die Suche nach einem geeigneten Standort erheblich erleichtert werden. Dies erleichtert möglicherweise auch den Nachweis der Langzeitsicherheit. Die grundsätzlichen sicherheitsmäßigen Vorteile des übergeordneten deutschen Sicherheitsprinzips, alle Arten radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen endzulagern, werden mit dieser Art der Abfallauftei-

lung nicht aufgehoben. Dieses Prinzip ist problemlos mit der Aufteilung der Abfälle nach der Halbwertszeit der enthaltenen Radionuklide kombinierbar und auch im Rahmen des Ein-Endlager-Konzeptes umsetzbar. Die Realisierbarkeit der Einlagerung aller radioaktiven Abfälle in einem Bergwerk ist nicht zuletzt durch Untersuchungen zum Konzept Endlager *Gorleben* belegt [15].

Gegenüber dem international üblichen Vorgehen stellt die in der Bundesrepublik Deutschland praktizierte Art der Abfallaufteilung nach der Wärmeentwicklung einen Sonderweg dar. Dieser Weg wurde nicht auf Grund sicherheitstechnischer Überlegungen eingeschlagen, sondern ergab sich aus der letztlich ökonomisch bzw. beschäftigungspolitisch motivierten Einbeziehung der Schachanlage *Konrad* in das Entsorgungskonzept (s. II.). Er hat weder hinsichtlich des erforderlichen Isolationszeitraums für die Abfälle noch hinsichtlich der materiellen Anforderungen an die geologischen Barrieren eines Endlagers oder hinsichtlich der Probleme beim Langzeitsicherheitsnachweis Vorteile gebracht. Die Ergebnisse von Sicherheitsanalysen für das geplante Endlager *Konrad* zeigen vielmehr, dass unter den dafür getroffenen Annahmen noch nach Zeiträumen, die auch für hochradioaktive Abfälle charakteristisch sind, beurteilungsrelevante Radionuklidkonzentrationen in der Biosphäre auftreten. Sie haben die Planfeststellungsbehörde für die Schachanlage *Konrad* immerhin veranlasst, die Einlagerungsmenge einiger in diesem Sinne kritischer Radionuklide gegenüber den beantragten Werten zu verringern.

### V Mehr-Endlager-Konzept zur Vermeidung kritischer Abfallauswirkungen?

Unabhängig von der unter IV. diskutierten Art der Aufteilung der radioaktiven Abfälle auf mehrere Endlager, wäre die Umsetzung eines Mehr-Endlager-Konzeptes dann geboten, wenn sich aus bestimmten Abfalleigenschaften oder abfallverursachten Prozessen unterschiedliche, an einem Endlagerstandort nicht zugleich erfüllbare sicherheitsrelevante Anforderungen an das Wirtsgestein ergeben würden. Sie betreffen die Nachbetriebsphase bzw. die Langzeitsicherheit des Endlagers. In der aktuellen Konzept-Diskussion wird insbesondere auf mögliche Probleme auf Grund der Wärmeentwicklung und Gasbildung aus Abfällen sowie möglicher kritischer Reaktionen zwischen Inhaltsstoffen verschiedener Abfallarten verwiesen.

### Wärmeentwicklung

Durch die Wärmeentwicklung endgelagerter Abfälle darf das Isolationsvermögen der geologischen Barrieren eines Endlagersystems – etwa durch thermisch induzierte

Spannungen oder andere Veränderungen der Barriereigenschaften (z. B. die mechanischen Eigenschaften von Tonstein) - nicht beeinträchtigt werden. Das gilt entsprechend auch im Hinblick auf mögliche indirekte Folgen der Wärmeentwicklung, insbesondere durch den Wärmeeintrag gesteigerte Gasentwicklung anderer Abfälle. Außerdem müssen nachteilige wärmeinduzierte Auswirkungen auf die nicht Wärme produzierenden Abfälle ausgeschlossen werden.

Hinsichtlich der direkten Auswirkungen der Wärmentwicklung auf das Wirtsgestein bzw. generell die geologischen Barrieren ergeben sich die weitest reichenden Konsequenzen aus den hochradioaktiven Abfällen und den abgebrannten Brennelementen. Die aus deren Wärmeentwicklung resultierenden Anforderungen an die geologischen Barrieren werden nicht von allen grundsätzlich für die Endlagerung in Frage kommenden bzw. ins Auge gefassten Gesteinstypen bzw. Gesteinskörpern in derselben Weise erfüllt, sodass in unterschiedlichem Ausmaß Maßnahmen zur Reduzierung der wärmeinduzierten Belastung des Gebirges erforderlich sind. Sie können etwa in der Verlängerung der Abklingzeit Wärme produzierender Abfälle oder in der Vergrößerung des Abstands zwischen den wärmeproduzierenden Abfallgebänden bestehen. Indirekte Auswirkungen der Wärmeentwicklung können durch ausreichenden Abstand zwischen den wärmeproduzierenden Abfällen und beeinflussbaren anderen Abfällen begegnet werden.

Die mit solchen Maßnahmen verbundenen Konsequenzen sind bei der Ausgestaltung des Endlagerkonzeptes für den letztlich ausgewählten Standort abwägend zu berücksichtigen. Aus der unterschiedlichen Wärmeentwicklung von Abfällen ergibt sich aber nicht die Notwendigkeit für die Endlagerung in unterschiedlichen Gesteinstypen. Auch sind keine nachteiligen Konsequenzen für die Langzeitsicherheit eines Endlagers bei Umsetzung des Ein-Endlager-Konzeptes zu erwarten. Die Wärmeentwicklung von Abfällen ist daher für die Entscheidung „Ein-Endlager-Konzept oder Mehr-Endlager-Konzept?“ unbedeutend. Das gilt umso mehr, als die unter Berücksichtigung der Wärmeentwicklung ausgewählten Gesteinstypen oder Gesteinskörper auch für die Endlagerung aller anderen Abfallarten in Frage kommen.

## Gasentwicklung

Sicherheitsbetrachtungen zu den möglichen Auswirkungen der Gasentwicklung aus endgelagerten Abfällen zeigen, dass es nach Verschluss eines Endlagers in Formationen mit geringer Durchlässigkeit gegenüber Gasen und Wasser zum Aufbau hoher Gasdrücke und als Folge davon zur Entstehung von Rissen und Funktionsbeeinträchtigung der geologischen Barriere kommen kann. Derzeit werden zwar Prozesse diskutiert und unter-

sucht [16, 17], die möglicherweise auch bei gering durchlässigen Gesteinskörpern zur Vermeidung bzw. Reduzierung hoher Gasdrücke im Endlager führen, doch sind beim gegenwärtigen Kenntnisstand die Bildung von Rissen im Wirtsgestein und die Beeinträchtigung seiner hydraulischen Barrierewirksamkeit nicht grundsätzlich auszuschließen. Hinzu kommt die mögliche Beeinflussung des chemischen Milieus, woraus sich Veränderungen der Transporteigenschaften von Radionukliden ergeben können, auf die hier aber nicht eingegangen wird (s. dazu [16]).

Im Wesentlichen entstehen Gase durch Korrosion von Metallbehältern bzw. metallischen und metallhaltigen Abfällen, durch Radiolyse und durch den bakteriellen Abbau organischer Substanz in Abfällen. Andere Prozesse sind demgegenüber von nachgeordneter Bedeutung. Der Aufbau erhöhter Gasdrücke in einem Endlager und die möglichen Konsequenzen werden außer von der Durchlässigkeit des Wirtsgesteins von Ausmaß und Geschwindigkeit der Gasbildungsprozesse bestimmt.

Voraussetzung für Gasbildung ist das Vorhandensein von Wasser. Der Wassergehalt mancher schwach- und mittelradioaktiver Abfälle reicht rein rechnerisch aus, um ihre organischen Bestandteile unter Gasbildung vollständig bakteriell zu zersetzen (zumaß dabei Wasser entstehen kann). Reicht das in den Abfällen vorhandene Wasser dazu nicht aus, hängen Ausmaß und Geschwindigkeit der Gasentwicklung davon ab, ob Wasser aus Versatzmaterial und/oder Wirtsgestein in ausreichender Menge an die Abfälle gelangen kann.

Sind negative Konsequenzen der Gasbildung bei gezielten Sicherheitsbetrachtungen für ein bestimmtes Endlager nicht auszuschließen, müssen Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Sie müssen auf die Reduzierung des Gasbildungspotentials der Abfälle und/oder die Bereitstellung ausreichend großer künstlicher oder – bei entsprechenden Standortverhältnissen – natürlicher Gasspeicherräume zur Vermeidung hoher Gasdrücke gerichtet sein. Wünschenswert sind solche Speicherräume allerdings nicht, da sie grundsätzlich eine nur schwierig bewertbare Reduzierung der geologischen Barriere bedeuten und/oder der Nachweis ihrer dauerhaften Wirksamkeit oder sogar der Langzeitsicherheit des Endlagers möglicherweise schwierig zu führen ist.

Aus der möglichen Beeinträchtigung der Barrierefunktion gering durchlässiger Wirtsgesteinskörper durch Gasdruckaufbau werden verschiedentlich Vorteile des Mehr-Endlager-Konzeptes gegenüber dem Ein-Endlager-Konzept abgeleitet, weil der Problematik kritischer Gasdrücke im Endlager durch Umsetzung eines Mehr-Endlager-Konzeptes begegnet werden könne. Das trifft nicht zu:

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen soll den Transport von Radionukliden mit dem

Grundwasser aus dem Endlager in die Biosphäre verhindern oder doch nachhaltig behindern. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist die geringe Wasserdurchlässigkeit derjenigen geologischen Gesteinskörper, insbesondere des Wirtsgesteinskörpers, die die langzeitige Isolation der Abfälle gewährleisten sollen. Zwischen dieser für Endlager grundsätzlich geforderten guten hydraulischen Barrierewirksamkeit der für die Schadstoffisolation verantwortlichen Gesteinskörper und der Vermeidung zu hoher Gasdrücke besteht ein Zielkonflikt; denn im Sinne der Gasproblematik günstige Gesteinskörper (mit erhöhter Durchlässigkeit) weisen im Hinblick auf die für die langzeitige Isolation der Abfälle besonders wichtige hydraulische Barrierewirkung zwangsläufig ungünstige Merkmale auf.

Dieser Konflikt lässt sich allein durch Umsetzung des Mehr-Endlager-Konzeptes nicht lösen; denn die Abfälle müssen unabhängig von ihrem Gasbildungspotential zuverlässig von der Biosphäre isoliert werden. Lösungsansätze zur Überwindung der Gasproblematik, wie die Reduzierung des Gasbildungspotentials bzw. die Bereitstellung von Gasspeicherräumen, haben für das Ein-Endlager-Konzept und das Mehr-Endlager-Konzept Gültigkeit.

## Chemische Wechselwirkungen

Die Inhaltsstoffe verschiedener Arten radioaktiver Abfälle haben teilweise unterschiedliche chemische Eigenschaften und können möglicherweise miteinander reagieren, wenn sie in Kontakt geraten. Durch solche Reaktionen kann es zu ungünstigen Veränderungen der Transporteigenschaften von Schadstoffen oder sogar zur Beeinträchtigung der Funktion der (geo)technischen und geologischen Barrieren kommen. Durch Wärmeentwicklung aus Wärme entwickelnden Abfällen können solche Reaktionen noch verstärkt werden.

Reaktionen zwischen Stoffen aus verschiedenen Endlagerteilen setzen die Migration aus einem Endlagerteil in einen anderen im Grundwasser voraus. Ausmaß und Geschwindigkeit der Migration werden grundsätzlich durch dieselben Eigenschaften der geologischen Barrieren bestimmt, die auch für ihre Barriereirksamkeit maßgeblich sind. Zur Vermeidung unerwünschter Wechselwirkungen zwischen Stoffen aus verschiedenen Endlagerteilen müssen daher die Gesteinskörper zwischen in diesem Sinne kritischen Endlagerteilen auf Dauer mindestens dieselben günstigen Barriereigenschaften aufweisen, die vom *AkEnd* zur Verhinderung des Radionuklidtransports aus dem Endlagersystem in dessen Umgebung gefordert werden [10].

Für die räumliche Anordnung von Endlagerteilen mit bestimmten Abfallarten und die Dimensionierung der Abstände zwischen ihnen sind vor allem die barriereirksamen Eigenschaften der beteiligten Gesteinskörper,

ihre Form und Ausdehnung von Bedeutung. Auch mögliche Einflüsse der Wärmeentwicklung und möglicherweise der Gasbildung in einzelnen Abfallarten sind zu beachten. Diese allgemeinen Vorgaben sind spätestens im Zuge der standortbezogenen Endlagerplanung zu konkretisieren und umzusetzen.

In übertragenem Sinne gelten die genannten Anforderungen auch für die zwischen den zu trennenden Endlagerbereichen befindlichen (geo)technischen Barrieren bzw. für geotechnische Bauwerke zur Wiederherstellung der Barrierefunktion des durch den Endlagerbergbau beeinflussten Gebirges. Hierzu gehören z. B. Dammbauwerke in Strecken und Schachtverschlüsse. Soweit für solche Bauwerke der Beleg der dauerhaft zuverlässigen Barrierewirkung nicht erbracht werden kann, müssen Einlagerungsbereiche mit „reaktiven“ Abfällen gezielt so angeordnet werden, dass sich zwischen ihnen ausschließlich ungestörte Gebirgsbereiche mit den erforderlichen Eigenschaften und mindestens der erforderlichen Ausdehnung befinden.

Die zuverlässige hydraulische Trennung verschiedener Abfallarten durch Einhaltung von Sicherheitsabständen setzt günstige hydraulische Barriereigenschaften der beteiligten Gesteinskörper voraus und führt je nach betrachtetem Gesteinstyp der geologischen Barriere zu unterschiedlichem Flächen- bzw. Volumenbedarf für das Endlagersystem. Es gibt derzeit keine Hinweise, dass Gesteinskörper mit den gesuchten hydraulischen Eigenschaften und mit den benötigten Flächen bzw. Volumina in Deutschland nicht vorhanden sind. Im Übrigen ist in den Entsorgungsprogrammen einiger Länder durchaus die Endlagerung verschiedener Abfallarten an einem Standort vorgesehen. Zum Beispiel soll am Standort *Olkiluoto* in Finnland, an dem bereits ein Endlager für Betriebsabfälle des örtlichen Kernkraftwerkes betrieben wird, das finnische Endlager für bestrahlte Brennelemente errichtet werden.

### VI Entsorgungskonzeptionelle Aspekte

#### Endlagerung versus Zwischenlagerung?

Als Grund für die Notwendigkeit der Aufteilung der radioaktiven Abfälle auf mehrere Endlager wird unter Verweis auf das geplante Endlager *Konrad* die zeitlich unterschiedliche Verfügbarkeit von Endlagern für verschiedene Abfallarten genannt. Insbesondere für gering Wärme entwickelnde Abfälle sei durch rasche Endlagerung eine Verkürzung der übertägigen Zwischenlagerzeit und damit ein Sicherheitsgewinn zu erreichen. Tatsächlich ist die Zwischenlagerung bezüglich Strahlenbelastungen im Normalbetrieb und bei Störfällen sowie möglichen Terrorangriffen mit höheren Risiken verbunden

als eine über den gleichen Zeitraum betrachtete Lagerung in einem verschlossenen Endlager (für ein nicht verschlossenes Endlager gilt dies allerdings nur eingeschränkt). Aus diesem unstrittigen Sachverhalt darf aber keinesfalls unmittelbar auf radiologische Vorteile rascher Endlagerung radioaktiver Abfälle geschlossen werden.

Die Abfälle mit dem höchsten Gefahrenpotential – bestrahlte Brennelemente und hochaktive Abfälle – müssen unabhängig vom Endlagerkonzept über längere Zeiträume übertägig zwischengelagert werden. Auch für einen Teil der gering Wärme entwickelnden Abfälle trifft dies (u. a. aus logistischen Gründen) zu. Das Argument der Risikominimierung durch umgehende Endlagerung ist also nur bedingt zutreffend, und zwar überwiegend für Abfälle mit relativ geringem Gefährdungspotential. Es muss zudem gegen die Notwendigkeit einer sorgfältigen Standortauswahl und eines sorgfältigen Eignungsnachweises nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik abgewogen werden. Die negativen Erfahrungen mit dem Weiterbetrieb des *ERAM* nach Beitritt der DDR zur Bundesrepublik sind mahndendes Beispiel dafür, dass allein die Verfügbarkeit eines Endlagers nicht zur Reduzierung der Anforderungen an Standortauswahl und Eignungsnachweis führen darf.

#### Abfallmenge und Endlagerkapazität

Wegen der vereinbarten Beendigung der Atomenergienutzung zur Elektrizitätserzeugung sind die Mengen derjenigen Abfälle, die den mit Abstand größten Anteil am Gesamtaufkommen für die Endlagerung haben, begrenzt. Derzeit wird von insgesamt ca. 304 000 m<sup>3</sup> endzulagernder radioaktiver Abfälle ausgegangen [18].

In der Vergangenheit lagen den Planungen für die Projekte *Gorleben* und *Konrad* Mengen von 1 Mill. m<sup>3</sup> radioaktiver Abfälle aller Art bzw. 650 000 m<sup>3</sup> gering Wärme entwickelnder Abfälle zugrunde. Diese Kapazitäten wurden in den Planungen der *Bundesregierung* Mitte der 1990er Jahre für *Gorleben* auf 500 000 m<sup>3</sup> verringert und für *Konrad* durch den Planfeststellungsbeschluss auf 303 000 m<sup>3</sup> beschränkt. Trotz dieser verringerten Endlagerkapazitäten deutet sich bei Weiterverfolgung des bisherigen Endlagerkonzeptes eine deutliche Überkapazität an. Aus diesem Grund drängt sich das Ein-Endlager-Konzept geradezu auf. Es gibt derzeit keine Hinweise darauf, dass die zu entsorgenden Abfallmengen in der Bundesrepublik Deutschland nicht in nur einem Endlager entsorgt werden könnten.

#### Anfall der Abfälle und Zeitpunkt der Endlagerung

Die für die direkte Endlagerung vorgesehenen bestrahlten Brennelemente machen

den mit Abstand größten Anteil am Gesamtaufkommen der ca. 24 000 m<sup>3</sup> Wärme entwickelnder Abfälle aus [18]. Zurzeit werden weniger als 25 % dieser Brennelemente in unkonditioniertem Zustand zwischengelagert. Von der zweiten stark Wärme entwickelnden Abfallart, den HAW-Glaskokillen, wird gegenwärtig knapp die Hälfte in Deutschland zwischengelagert. Sie stellen aber nur einen geringen Volumenanteil am Gesamtaufkommen der Wärme entwickelnden Abfälle. Beide Abfallarten fallen nach 2030 nicht mehr an.

Die gegenwärtigen Endlagerungs- bzw. Einlagerungskonzepte gehen von einem bestimmten (wirtsgesteinsabhängigen) Temperaturniveau am Übergang zwischen Wärme entwickelnden Abfällen und Gestein aus. Für das Wirtsgestein Salz wird es allgemein als sinnvoll angesehen, diese Abfälle über einen Zeitraum von 30–40 Jahren oberirdisch zwischenzulagern. Bei anderen Wirtsgesteinen ist dieser Zeitraum länger. Die übrigen Arten Wärme entwickelnder Abfälle stünden eher zur Endlagerung zur Verfügung, machen aber nur knapp ein Fünftel des Gesamtaufkommens der Wärme entwickelnden Abfälle aus. Für einen sinnvollen Endlagerbetrieb stehen daher erst nach dem Jahr 2030 genügend Wärme entwickelnde Abfälle zur Verfügung.

Für gering Wärme entwickelnde Abfälle gibt es keine aus technischen oder naturwissenschaftlichen Sachverhalten ableitbare Vorgaben für den Zeitpunkt ihrer Endlagerung. Gegenwärtig liegt etwa ein Drittel der prognostizierten Gesamtmenge dieser Abfälle von 280 000 m<sup>3</sup> vor [18]. Die Gesamtmenge und der zeitliche Verlauf des Anfalls werden wesentlich durch die Abfälle aus der Stilllegung von Atomanlagen bestimmt, die mehr als 50 % der gering Wärme entwickelnden Abfälle ausmachen. Aus den vorgesehenen Restlaufzeiten der Kernkraftwerke ergibt sich, dass mehr als die Hälfte dieser Abfälle erst nach 2015 und bis ca. 2040 anfallen wird. Die Einlagerung der Abfälle ins Endlager sollte kontinuierlich und zügig erfolgen. Es ist sicherheitstechnisch und kostenmäßig von Vorteil, die Betriebszeit des Endlagers kurz zu halten. Ein zu früher Einlagerungsbeginn für gering Wärme entwickelnde Abfälle könnte wegen verzögertem Abfallanfall nach einer gewissen Endlagerbetriebszeit zu einer ineffizienten Drosselung des Einlagerungsbetriebes führen.

Die Einlagerung aller Arten radioaktiver Abfälle, die bis 2050 anfallen, kann bei gegenwärtiger Einlagerungstechnik im Vollbetrieb eines Endlagers in weniger als 25 Jahren erfolgen [19]. Die für die Endlagerung erforderliche integrale Endlager-Betriebsdauer und die Offenhaltungszeit von Hohlräumen kann daher bei nur einem Endlager zeitlich stärker begrenzt werden. Deshalb stellt das Ein-Endlager-Konzept unter Berücksichtigung der zeitlichen Verfügbarkeit des Endlagers und von endlagerfähigen Abfällen

die passende Lösung dar. Damit sind auch positive Auswirkungen auf die durch die Endlagerung der Abfallgebinde verursachten Strahlenbelastungen, Störfallrisiken und Betriebskosten verbunden.

### Konditionierung der Abfälle

Bei Umsetzung des Ein-Endlager-Konzeptes sind gegenüber dem Status quo, abgesehen von der nach Stand von Wissenschaft und Technik ohnehin erforderlichen Weiterentwicklung, keine neuen Konditionierungskonzepte erforderlich. Sowohl bei einem Ein-Endlager-Konzept als auch zur Erfüllung der atomgesetzlich vorgeschriebenen Vorsorge bei Weiterverfolgung des alten Konzeptes ist zur Vermeidung eventuell erforderlicher Umkonditionierung ein zweistufiges Vorgehen sinnvoll:

1. Erzeugung eines in Bezug auf radioaktive Freisetzungen durch Normalbetrieb und Störfall möglichst inerten Zwischenprodukts in korrosionsbeständiger Verpackung unter Berücksichtigung der vom *Bundesamt für Strahlenschutz* vorgeschlagenen standortunabhängigen Endlagerungsbedingungen [20]. Für einen Teil der Abfälle wird dies bereits das endgültige Abfallgebinde sein.
2. Nach Festlegung des Endlagerstandortes und der endgültigen Endlagerungsbedingungen bzw. spätestens vor der Ablieferung an das Endlager – soweit erforderlich – die endgültige Verpackung des radioaktiven Abfalls.

Dieses Vorgehen ist unabhängig vom Endlagerkonzept geboten, da der bestehende Planfeststellungsbeschluss für das geplante Endlager *Konrad* derzeit keine Bestandssicherheit besitzt. Entsprechenden Ausgang der laufenden Gerichtsverfahren vorausgesetzt, könnte das Endlager nach den gegenwärtigen zeitlichen Vorstellungen ohnehin erst 2013 in Betrieb gehen. Bereits konditionierte Abfallgebinde müssen aus diesem Grund – ebenfalls unabhängig vom Endlagerkonzept – auf ihren sicherheitstechnischen Zustand geprüft werden, da sie zum Teil nur für eine relativ kurze Zwischenlagerzeit ausgelegt worden sind.

Beim Ein-Endlager-Konzept entstände im Vergleich zu einem Mehr-Endlager-Konzept mit dem geplanten Endlager *Konrad* lediglich dann zusätzlicher Konditionierungsbedarf, wenn *Konrad* tatsächlich in etwa acht Jahren in Betrieb gehen würde. Der zusätzliche Bedarf bestünde in Korrosionsschutzmaßnahmen für einen Teil der Abfälle, die nach 2013 konditioniert werden, und in der möglicherweise erforderlichen Neuverpackung eines Teils der bereits heute „*konradgängig*“ konditioniert vorliegenden Abfallgebinde. Da dieser zusätzliche Aufwand relativ beschränkt ist, lässt sich daraus kein ernsthaftes Argument gegen das Ein-Endlager-Konzept ableiten. Spätere Inbetriebnahme von *Konrad* hätte auch beim

Mehr-Endlager-Konzept zusätzliche Konditionierungsmaßnahmen zur Folge.

### Zwischenlagerkapazitäten

Nach den Vorstellungen der *Bundesregierung* soll das Endlager im Rahmen des Ein-Endlager-Konzeptes etwa im Jahr 2030 betriebsbereit sein. Bis dahin müssen die Abfälle zwischengelagert werden. Für alle Arten radioaktiver Abfälle existieren Zwischenlagerkonzepte, die seit vielen Jahren praktisch umgesetzt sind (siehe auch [21] und [22]). Diese Konzepte erlauben vor allem bei neu zu errichtenden Zwischenlagern die Erfüllung zusätzlicher Sicherheitsanforderungen, beispielsweise gegenüber terroristischen Anschlägen. Entsprechende Möglichkeiten werden allerdings bisher nicht ausgeschöpft.

Die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente erfordert unabhängig vom Endlagerkonzept den Zubau von Lagerkapazitäten. Dieser Zubau wird gegenwärtig an den Standorten der Kernkraftwerke durchgeführt. Für alle anderen Wärme entwickelnden Abfälle sind die bereits vorhandenen Kapazitäten ausreichend [23].

Im Hinblick auf das anfallende Gesamtvolumen gering Wärme entwickelnder Abfälle ist theoretisch auch für diese Abfälle bereits heute ausreichend Zwischenlagerkapazität in der Bundesrepublik Deutschland vorhanden. Allerdings ist es (u. a. zur Vermeidung einer Vielzahl von Transporten und der damit verbundenen Risiken und Umweltbeeinträchtigungen) sinnvoller, an Standorten, an denen große Mengen radioaktiver Abfälle anfallen werden, neue bzw. zusätzliche Zwischenlagerkapazitäten zu schaffen. Dies betrifft vor allem stillzulegende Atomanlagen. An den Standorten bereits in Stilllegung befindlicher Reaktoren (*Würgassen, Rheinsberg, Lubmin, Mühlheim-Kärlich, Stade*) sind für alle radioaktiven Abfälle ausreichend Zwischenlagerkapazitäten vorhanden bzw. beantragt. Für die zukünftig stillzulegenden Reaktoren ist zudem unabhängig vom Zeitpunkt der Möglichkeit zur Endlagerung die Schaffung von Zwischenlagerkapazitäten erforderlich:

– Die annähernd gleichzeitige Stilllegung mit anschließendem Abriss von Kernkraftwerken führt zum gleichzeitigen Anfall großer Abfallmengen. Daraus können sich Engpässe bei der Abfallbehandlung, beim Transport zum Endlager und bei der Einlagerung ergeben.

– Angesichts der nicht gesicherten Inbetriebnahme des geplanten Endlagers *Konrad* (Ausgang des Gerichtsverfahrens) muss heute Vorsorge für den Fall getroffen werden, dass es nicht bzw. nicht zeitgerecht verfügbar ist.

Bei der Umsetzung eines Ein-Endlager-Konzeptes müssten die an den Standorten erforderlichen Zwischenlagerkapazitäten allerdings größer sein als mit *Konrad*. Die Planung der Kapazität dieser Zwi-

schenslager darf sich jedoch aus Gründen der Entsorgungssicherheit nicht nur an einer kurzfristigen Pufferfunktion orientieren, sondern muss die Aufnahme von Abfällen über mehrere Jahre gewährleisten.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass bei Umsetzung des Ein-Endlager-Konzeptes im begrenztem Rahmen zusätzliche Zwischenlagerkapazität für gering Wärme entwickelnde Abfälle an bestimmten Standorten erforderlich werden. Diese Erhöhung der Zwischenlagerkapazitäten stellt jedoch keinen Grund dar, das Ein-Endlager-Konzept zu verwerfen.

### Konzeptbedingte Strahlenbelastungen

Nach § 6 Strahlenschutzverordnung sind unnötige Strahlenbelastungen durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen zu vermeiden und unvermeidliche Strahlenbelastungen so gering wie möglich zu halten. Dies gilt sinngemäß auch für die Endlagerung radioaktiver Abfälle.

In der aktuellen Diskussion über Endlagerkonzepte werden allerdings nicht die mit der Umsetzung des Ein-Endlager-Konzeptes bzw. des Mehr-Endlager-Konzeptes verbundenen Strahlenbelastungen verglichen, sondern die aus dem Ein-Endlager-Konzept bzw. der Inbetriebnahme des geplanten Endlagers *Konrad* resultierenden Strahlenbelastungen. Dabei wird unterstellt, dass bei Umsetzung des Ein-Endlager-Konzeptes zusätzliche Strahlenbelastungen durch Konditionierung und Zwischenlagerung gering Wärme entwickelnder Abfälle entstehen werden.

Wegen der zweistufigen Konditionierung – zuerst für die Zwischenlagerung, später die endgültige Verpackung für die Endlagerung (s. o.: Konditionierung der Abfälle) – und der für einen Teil der Abfälle länger dauernden übertägigen Zwischenlagerung treten tatsächlich zusätzliche Strahlenbelastungen auf. Allerdings werden diese Belastungen zu einem nicht geringen Teil auch unabhängig vom Ein-Endlager-Konzept auftreten, da entsprechende Konditionierungsmaßnahmen auch bis zu einer Inbetriebnahme des geplanten Endlagers *Konrad* erforderlich sein werden. Darüber hinaus sind auch die Folgen seiner möglichen Nichtinbetriebnahme zu berücksichtigen. Es wäre dann eine Umkonditionierung der „*konradgängigen*“ Abfälle erforderlich, die höhere Strahlenbelastungen verursachen könnte.

Die Strahlenbelastungen von Bevölkerung und Endlagerpersonal werden nicht nur durch Strahlung und Radionuklidfreisetzungen aus den Abfallgebinden verursacht, sondern auch durch den gesteins- und standortabhängigen natürlichen Radionuklidgehalt der geologischen Formation eines Endlagers; denn solange ein Endlager offen gehalten wird, werden natürliche Radionuklide freigesetzt. Beispielsweise würden durch den Betrieb des ehemaligen Eisenerzbergwerks *Konrad* in seiner Umgebung

Strahlenbelastungen in der Größenordnung der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung verursacht. Diese erhebliche Strahlenbelastung ist gegen die bei Konditionierung und Zwischenlagerung zusätzlich auftretende geringere Strahlenbelastung abzuwägen. Im Übrigen würde die „natürliche“ Strahlenbelastung von Bevölkerung und Endlagerpersonal durch das Ein-Endlager-Konzept auf nur einen Standort beschränkt.

Bei Genehmigung und Betrieb kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland bekommt die „Optimierung“ in Richtung auf Ausschöpfung von Genehmigungswerten bzw. Abbau von Konservativitäten zunehmend Gewicht. Die für Abfallgebundene zulässigen Aktivitätsinventare wurden bei den bisherigen Endlagerungsbedingungen durch Rückrechnung aus den nach Strahlenschutzverordnung zulässigen Grenzwerten unter Berücksichtigung der örtlichen Freisetzung- und Ausbreitungsbedingungen für Radionuklide abgeleitet. Im Rahmen von Forschungsprogrammen werden heute Konditionierungsmaßnahmen entwickelt, die eine weitgehende Ausschöpfung der zulässigen Aktivitätsinventare der Abfallgebundene erlauben sollen. Für die Zukunft ist daher, unabhängig von der Abfallart und unter Einhaltung der Vorschriften, für jedes Endlager von der weitgehenden Ausschöpfung der Grenz- bzw. Planungswerte für die Strahlenbelastung von Mitgliedern der Bevölkerung auszugehen. Beim Ein-Endlager-Konzept sind die durch weitgehende Ausschöpfung von Grenzwerten bzw. Planungswerten verursachten Strahlenbelastungen, auf die anwohnende Bevölkerung an einem Standort beschränkt.

## Konzeptbedingte Kosten

Ein in der Diskussion um das Ein-Endlager-Konzept oft im Vordergrund stehendes Argument sind die Kosten. Es liegt auf der Hand, dass dies in besonderem Maße mit spezifischen Interessen einzelner Akteure oder Akteursgruppen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle verbunden ist. Angesichts der gesellschaftlichen Bedeutung, die der Endlagerung radioaktiver Abfälle aus der Atomenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland zukommt, ist dieses Argument für sich allein nicht entscheidungsrelevant. Bei der Wahl des Endlagerkonzeptes müssen vielmehr in erster Linie Sicherheitsaspekte und dann entsorgungskonzeptionelle Aspekte zugrunde gelegt werden. Davon abgesehen sind die Kosten für das eine oder andere Konzept weder einfach zu ermitteln, noch simpel zu vergleichen. Es existieren – nicht zuletzt methodische – Schwierigkeiten bei der Ermittlung und Bewertung der Kosten von Endlagersystemen [24]. Die Kosten können daher nur ein nachgeordnetes Abwägungskriterium sein.

## VII Fazit

Im Rahmen des in der Bundesrepublik bestehenden sicherheitstechnischen Konsenses, alle radioaktiven Abfälle in tiefen geologischen Formationen endzulagern, ist das Ein-Endlager-Konzept – gekoppelt mit einem zielgerichteten und transparenten Auswahlverfahren für den Endlagerstandort – die natürliche Konsequenz der Umsetzung wichtiger ethischer Prinzipien der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Hierzu gehören insbesondere das Primat der Sicherheit, die Forderung nach einer gerechten Entsorgungslösung und die Notwendigkeit zur Suche nach dem entsprechend der Regeln des zugrunde liegenden Auswahlverfahrens – „bestmöglichen“ Endlagerstandort.

Eine in diesem Sinne umfassende vergleichende Auseinandersetzung mit den Vor- und Nachteilen des Ein-Endlager-Konzeptes und des Mehr-Endlager-Konzeptes steht noch aus. Die Diskussion einiger wichtiger sicherheitsbezogener und entsorgungskonzeptioneller Einzelaspekte belegt allerdings die Vorteile des Ein-Endlager-Konzeptes bzw. liefert keine belastbaren Argumente dagegen. Bestehende sicherheitstechnische Probleme, die mit der Wärmeentwicklung und Gasentwicklung aus Abfällen oder chemischen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Abfällen verbunden sein können, sind konzeptunabhängig bzw. durch geeignete Maßnahmen zu bewältigen. Entsorgungskonzeptionell überwiegen die Vorteile des Ein-Endlager-Konzeptes.

## VIII Literatur

- [1] Entsorgungsbericht der *Bundesregierung* vom 30.11.1977, BT-Drs. 8/1281
- [2] Beschluss der Regierungschefs von Bund und Ländern zur Entsorgung der Kernkraftwerke vom 28.09.1979, BT-Drs. 11/1632
- [3] Schreiben des Niedersächsischen Ministerpräsidenten *Gerhard Schröder* an die Bundesumweltministerin *Angela Merkel* vom 14.05.1996, inkl. Anlage datiert 22.03.1996
- [4] *Gesellschaft für Nuklear-Service mbH*: Strategische Überlegungen zur Zwischen- und Endlagerung; Bericht-Nr. GNS TE B 06/93, Essen 1993
- [5] *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*: Position zur weiteren Entwicklung der friedlichen Nutzung der Kernenergie; Bonn, 28. März 1995 und Überlegungen zur Fortschreibung des Entsorgungskonzeptes; Bonn, 24. November 1995
- [6] Aufbruch und Erneuerung – Deutschland Weg in 21. Jahrhundert; Koalitionsvereinbarung zwischen der *Sozialdemokratischen Partei Deutschlands* und *Bündnis 90/DIE GRÜNEN*, Bonn, 20. Oktober 1998
- [7] *Gruppe Ökologie e.V.*: Vergleichende Bewertung von Entsorgungsoptionen für radioaktive Abfälle; Bericht i. A. des *Forschungszentrums Karlsruhe*, Projektträger des *BMBF* u. *BMWi* für Wassertechnologie u. Entsorgung, Förderkennzeichen 02 E 9350, Hannover, Mai 2001

- [8] *A. Nies*: The plan for the implementation of the *AkEnd* recommendations - Presentation to the International Conference on Radioactive Waste Disposal (DisTec 2004); Berlin, April 26-28, 2004
- [9] *Bundesamt für Strahlenschutz*: Jahresbericht 2003
- [10] *Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte*: Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. Empfehlungen des *AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte*; Dezember 2002
- [11] Community Waste Management Network: Nuclear waste management from a local perspective. Reflections for a Better Governance - Final Report; 2003
- [12] *OECD Nuclear Energy Agency*: Stepwise Approach to Decision Making for Long-term Radioactive Waste Management. Experiences, Issues and Guiding Principles; *NEA* No. 4429, 2004
- [13] *OECD Nuclear Energy Agency*: Learning and Adapting to Societal Requirements for Radioactive Waste Management. Key Findings and Experience of the Forum on Stakeholder Confidence; *NEA* No. 5296, 2004
- [14] *B. Thomauske*: Wege zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland – Wird die Verantwortung auf zukünftige Generationen verschoben?; *atw* 49. Jg. (2004) Heft 4 – April, S. 235-247
- [15] *Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern mbH*: Aktualisierung des Konzeptes „Endlager Gorleben“ – Abschlussbericht; Peine, 13.03.1998
- [16] *Reaktor-Sicherheitskommission*: *RSK* – Stellungnahme Gase im Endlager vom 27.01.2005 (379. Sitzung)
- [17] *T. Popp & W. Minkley*: Untersuchungen zur Barrierenintegrität im Hinblick auf das Ein-Endlager-Konzept – Verheilung in Salz- und Tonsteinen; Vortrag beim Workshop von *FZK* und *DBE Technology GmbH* am 19./20. Januar 2005 in Peine: „Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein“
- [18] *Bundesamt für Strahlenschutz*: Anfall radioaktiver Abfälle in Deutschland, Abfallerhebung für das Jahr 2000; Bearbeiter: *Peter Brennecke* und *Karin Kugel*, *BfS-SE-02/04*, Salzgitter, April 2004
- [19] *Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern mbH*: Standortunabhängige Einlagerungsplanung auf der Basis der Schachtförderkapazität einer 85 t-Schachtförderanlage; Peine, September 2001
- [20] *Bundesamt für Strahlenschutz*: Standortunabhängige Endlagerungsbedingungen – Radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung; Salzgitter, in Bearbeitung
- [21] *Reaktor-Sicherheitskommission*: Empfehlung der *RSK*. Sicherheitstechnische Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente in Behältern; Fassung vom 05.04.2001
- [22] *Reaktor-Sicherheitskommission*: Empfehlung der *RSK*. Sicherheitsanforderungen an die längerfristige Zwischenlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle; Fassung vom 05.12.2003
- [23] *H. Bröskamp, K.-J. Brammer und R. Graf*: Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland – Abfallaufkommen und Endlagerverfügbarkeit aus EVU-Sicht; *atw* 49. Jg. (2004) Heft 4 – April, S. 248-256
- [24] *P. Drasdo*: Endlagerung radioaktiver Abfälle. Ein europäischer Organisations- und Kostenvergleich; Schriften des Energiewirtschaftlichen Instituts, Band 54, *Universität Köln*, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2000 und Kosten der Endlagerung radioaktiver Abfälle; Schriften des Energiewirtschaftlichen Instituts, Band 58, *Universität Köln*, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2001 □