

KFK-357

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

Mai 1965

Gesellschaft für Kernforschung m. b. H.
Zentralschere

KFK 357

- 7. Okt 1965

Studiengruppe für Tieflagerung radioaktiver Abfälle

Jahresbericht 1964

H. Krause, H. Ramdohr



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Mai 1965

KFK 357

Jahresbericht 1964

der

Studiengruppe für Tieflagerung radioaktiver Abfälle

H. Krause

H. Ramdohr

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M.B.H., KARLSRUHE

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

		Seite
1.	AUFGABENSTELLUNG	1
2.	GRUNDLAGEN DER AUFSTELLUNG EINER END- LAGERKONZEPTION	2
2.1	<u>Literaturarbeiten</u>	2
2.2	<u>Grundkonzeption</u>	3
2.2.1	Möglichkeiten zur Endlagerung radio- aktiver Abfälle	3
2.2.2	Salzformationen	3
2.2.3	Arten der Endlagerung im Salz	4
2.2.3.1	Salzkaverne	4
2.2.3.2	Bergwerk	7
2.2.3.3	Schlußfolgerungen	8
3.	FRAKTISCHE ARBEITEN AUF DEM GEBIET DER LAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE IM SALZ	10
3.1	<u>Schätzung der Abfallmengen</u>	10
3.2	<u>Schätzung der Transportkosten</u>	11
3.3	<u>Salzkaverne</u>	12

		Seite
3.3.1	Standortwahl	12
3.3.1.1	Ableitung der Sole	13
3.3.1.2	Geographische Verhältnisse	13
3.3.1.3	Geologische Verhältnisse	14
3.3.1.4	Zusammenfassung	14
3.3.2	Wirtschaftliche und technische Untersuchungen	17
3.3.3	Forschungsantrag an Euratom	19
3.4	<u>Salzbergwerk Asse</u>	19
3.4.1	Vorarbeiten für den Erwerb	19
3.4.2	Versuchsprogramm für die Asse	20
3.4.3	Planungsarbeiten für die Lagerung hochaktiver Abfälle und bestrahlter Kernbrennstoffe	22
4.	VERSENKUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE IN DAS MEER	24
5.	SONSTIGE ARBEITEN	24
5.1	<u>Aufbau einer Schrifttumssammlung</u>	24
5.2	<u>Studienreise durch die USA</u>	24
5.3	<u>Zusammenarbeit mit anderen Stellen</u>	25
5.4	<u>Veröffentlichungen</u>	25

1. Aufgabenstellung

Der Bundesminister für wissenschaftliche Forschung beauftragte am 29. 8. 1963 die Gesellschaft für Kernforschung mbH Karlsruhe mit der Aufstellung einer Studiengruppe zur Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur endgültigen Unterbringung der in der Bundesrepublik Deutschland anfallenden radioaktiven Abfälle. Es sollten

- a) "in Zusammenarbeit mit anderen wissenschaftlichen Instituten sichere und wirtschaftliche Methoden zur säkularen Beseitigung radioaktiver Abfälle entwickelt" und
- b) "eine Anlage zur Endsammlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle errichtet und betrieben werden. Insbesondere sollte unverzüglich mit der Projektierung einer Salzkaverne begonnen werden."

Im Rahmen dieser Arbeiten haben zahlreiche Mitarbeiter des Kernforschungszentrums Karlsruhe Einzelaufgaben in der Studiengruppe übernommen. Über die in der Zeit von Oktober 1963 bis zum 31. 12. 1964 durchgeführten Arbeiten wird nachstehend berichtet.

Seit Beginn des Jahres 1965 wird ein Teil der Arbeiten von der Gesellschaft für Strahlenforschung mbH München weitergeführt. Die Arbeiten in Karlsruhe umfassen jetzt im wesentlichen die atomtechnische Seite der Endlagerung.

2. GRUNDLAGEN DER AUFSTELLUNG EINER ENDLAGER-KONZEPTION

2.1 Literaturarbeiten

Um den derzeitigen Stand von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle kennenzulernen, wurde das einschlägige Schrifttum durchgesehen. Dabei bestätigte sich die bereits in großen Zügen bekannte Tatsache, daß das Einbringen in den tiefen geologischen Untergrund, insbesondere die Lagerung in Salzformationen, das sicherste unter den Verfahren zur Endlagerung radioaktiver Abfälle darstellt.

Da Salz bei Vorhandensein eines ausreichenden Gebirgsdrucks plastisch ist, schließen sich etwa entstehende Risse und Spalten von selbst wieder. Infolgedessen ist Salz vollkommen dicht und für Flüssigkeiten und Gase undurchlässig. Außerdem besitzt es eine gute Wärmeleitfähigkeit, so daß die bei der Lagerung hochaktiver Abfälle abgegebene Zerfallswärme ausreichend abgeleitet wird.

Die Literaturarbeiten zeigten weiterhin, daß bisher nur in den Vereinigten Staaten in größerem Umfang an der Frage der Salzlagerung gearbeitet wird. Das alte Konzept der direkten Lagerung hochaktiver Flüssigkeiten in Salzkavernen wurde dort aufgrund verschiedener Untersuchungen und Überlegungen aufgegeben. Das neue Konzept zielt darauf ab, die hochaktiven Abfälle nach Überführung in gesinterte oder glasartige Produkte in einem Salzbergwerk zu lagern. Die Lagerung schwachaktiver Abfälle im Salz ist nicht vorgesehen.

2.2 Grundkonzeption

Aufgrund des Studiums des Schrifttums und der Gutachten der Bundesanstalt für Bodenforschung, nach Verhandlungen mit einschlägigen Firmen sowie nach eigenen Überlegungen ergab sich für die Studiengruppe am Anfang ihrer Tätigkeit folgendes Bild in Bezug auf die Endlagerung radioaktiver Abfälle:

2.2.1 Möglichkeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle

Unter den Gegebenheiten in der Bundesrepublik ist die Lagerung der radioaktiven Abfälle in Salzformationen das aussichtsreichste Verfahren. Daneben hat auch die Versenkung in das Meer gewisse Bedeutung. Das Vergraben radioaktiver Abfälle im Boden kann nur bei sehr niedrigen Aktivitäten und in geringem Umfang praktiziert werden.

Eine weitere Möglichkeit ist das Einbringen radioaktiver Wässer in poröse Schichten des tiefen Untergrundes (Aquiferspeicherung). Wegen der günstigen Voraussetzungen für die Lagerung in Salzformationen besteht jedoch für dieses Verfahren vorerst noch kein großes Interesse. Schließlich können Abfälle auch in massige Festgesteine wie Kalk oder Granit eingelagert werden. Die Vorbedingungen für ein solches Unterbringungsverfahren sind noch zu prüfen.

2.2.2 Salzformationen

Als Salzformationen stehen schichtförmige Ablagerungen und Salzdome zur Verfügung. Da Schichtsalze in vielen Fällen nur geringe Mächtigkeit aufweisen, besteht die Gefahr, daß unter ungünstigen Bedingungen Wasser in die Grubenräume einbricht. Dabei können Kontakte zu den umgebenden wasser-

führenden Schichten hergestellt werden, durch die die radioaktiven Stoffe entweichen können. Die Ausdehnung der Salzstöcke ist dagegen in allen drei Dimensionen so groß, daß selbst nach Anlage riesiger künstlicher Hohlräume zwischen diesen und dem umgebenden Gebirge noch Salzmassen großer Dicke stehen bleiben können. Wenn der unwahrscheinliche Fall eines Wassereinbruchs eintreten sollte, wird nur solange Salz aufgelöst, bis die Lauge gesättigt ist. Die Salzpfeiler werden jedoch wegen ihrer großen Mächtigkeit nicht zusammenbrechen, so daß ein Entweichen der Lauge nicht möglich ist. Aufgrund dieser Überlegungen wurden für die Endlagerung radioaktiver Abfälle Salzdome gewählt.

2.2.3 Arten der Endlagerung im Salz

Bei der Einlagerung in Salz sind drei Varianten möglich, nämlich die Lagerung a) in einer Kaverne, b) in einem alten Bergwerk und c) in einem neuen Bergwerk.

2.2.3.1 Salzkaverne

2.2.3.1.1 Herstellung einer Salzkaverne

Eine Salzkaverne wird durch Aussolung hergestellt und kann einige hunderttausend Kilometer groß sein. Zunächst wird von übertage ein Bohrloch bis zum Salzgestein und dann noch etwa 300 - 400 m in dieses hinein vorgetrieben. Anschließend wird das Bohrloch verrohrt und zementiert. Sein Durchmesser kann bis zu 30 Zoll betragen. Dann werden zwei weitere Rohrtouren konzentrisch eingebracht. Durch das eine Rohr wird Wasser eingeleitet, welches Salz auflöst und als konzentrierte Sole über das andere wieder abgepumpt wird. Durch geeignete Wahl von Süßwassereintritt und Soleaustritt kann die Form der Kaverne bestimmt werden. Es ist möglich, Hohlräume von

der Form einer Zigarre, einer Birne oder einer Kugel herzustellen. In den Ringraum zwischen der Bohrlochwandung und der ersten Rohrtour werden leichte Kohlenwasserstoffe (Benzin o.ä.) eingebracht, die als Schutzkappe auf der Salzsole schwimmen und ein Auslaugen der Kaverne nach oben verhindern. Nach dem Ende der Solung werden die verbleibende Salzlauge und die Kohlenwasserstoffe abgepumpt und dann die beiden Rohrtouren entfernt.

2.2.3.1.2 Beschickung der Kaverne

Die Salzkaverne wird über das Hauptbohrloch mit Abfällen beschickt. Da die Kosten für das Bohrloch sehr stark mit dessen Durchmesser ansteigen, war zunächst daran gedacht worden, die Abfälle nach Aufbereitung zu einem pumpfähigen Brei, zu einem trockenen Pulver oder zu kleinstückigem Material direkt über ein möglichst enges Bohrloch einzubringen.

Die nähere Betrachtung zeigte jedoch, daß im Falle des Einbringens einer breiartigen, pumpfähigen Masse die Gefahr besteht, daß während der Betriebspausen in den Rohren Kristallisationen auftreten, die diese im Laufe der Zeit zusetzen. Ein Freimachen wäre schwierig und mit großen Kosten verbunden. Außerdem müßten alle Abfälle zu einer breiartigen Masse verarbeitet werden. Eine solche Aufbereitung dürfte nicht einfach sein und erfordert zusätzlichen Aufwand. Bei der Einführung von pulverförmigem Material ist die Möglichkeit des Zusetzens der Rohre durch Brückenbildung zu befürchten. Auch hier würde die vorherige Verarbeitung der Abfälle einen großen Aufwand bedingen. Bei direktem Einwerfen von stückigem Material muß damit gerechnet werden, daß die Verrohrung durch das herunterfallende Material sehr rasch verschleißt.

Aus den genannten Gründen wurde beschlossen, die Abfälle mit einer Art Transportbombe bis an das Ende des Bohrloches zu bringen, dort den Boden des Behälters auszuklinken und die Abfälle fallenzulassen. Die Bombe wird an ihrem Aufhängeseil wieder zurückgeholt und kann erneut mit Abfällen beladen werden. Dieses Verfahren bedingt zwar große Bohrlochdurchmesser, doch verspricht es große Betriebssicherheit. Außerdem spielt der Aggregatzustand der Abfälle keine Rolle. Sie brauchen lediglich in billigen Einweg-Behältern verpackt zu sein.

2.2.3.1.3 Vor- und Nachteile der Kavernenlagerung

Die Lagerung radioaktiver Abfälle in einer Salzkaverne hat folgende Vorteile:

- die Herstellung einer Kaverne ist verhältnismäßig billig;
- die Abfälle brauchen nur ein einziges Mal manipuliert werden und zwar bei der Einführung in die Transportbombe; die Strahlenbelastung der Arbeiter, der Aufwand für Manipulationseinrichtungen und Strahlenabschirmung sowie die Gefahr von Unfällen sind gering;
- die Betriebs- und Unterhaltungskosten sind niedrig; nach Füllung kann die Kaverne mit Betonpfropfen verschlossen werden und bedarf dann keiner weiteren Wartung;
- wegen der großen Zahl von Salzstöcken in Norddeutschland (ca. 200) sollte es kurzfristig möglich sein, einen geeigneten Standort zu finden.

Diesen Vorteilen stehen folgende Nachteile gegenüber:

- aus einer Kaverne können die Abfälle nie wieder zurückgeholt werden. Eine Rückholung könnte bei manchen Abfällen jedoch zu gegebener Zeit von Interesse sein;

- die Abfälle können nicht definiert gelagert werden, sondern fallen einfach aufeinander; eine Lagerung von hochaktiven Abfällen oder gar von bestrahlten Kernbrennstoffen ist somit nicht ohne weiteres möglich;
- eine Salzkaverne sollte möglichst in der Nähe eines großen Flusses oder des Meeres angelegt werden, da sonst die Ableitung der Sole Schwierigkeiten bereitet. Dadurch ist die Standortwahl eingeschränkt.

2.2.3.2 Bergwerk

Die Verwendung eines Salzbergwerkes zur Lagerung radioaktiver Abfälle hat folgende Vorteile:

- die Abfälle können in räumlich definierter Anordnung gelagert und dabei die Erfordernisse hinsichtlich Wärmeableitung, Kritikalität etc. genau erfüllt werden;
- aus einem Bergwerk kann das eingelagerte Material jederzeit zurückgeholt werden;
- es ist möglich, die Abfälle laufend direkt zu überwachen;
- in einem Bergwerk können neben der praktischen Einlagerung auch Versuche der verschiedensten Art auf dem Gebiet der Lagerung in Salzformationen ausgeführt werden;

Als Nachteile eines Salzbergwerkes sind zu nennen:

- die Abfälle müssen mehrmals umgeladen und manipuliert werden, ehe sie an ihrem endgültigen Lagerort sind, was eine erhöhte Strahlenbelastung für die Arbeiter bzw. einen zusätzlichen Aufwand für Abschirm- und Manipulationseinrichtungen bedingt;

- die zahlreichen Manipulationen erfordern einen größeren Personalaufwand als der Kavernenbetrieb;
- die Unterhaltung von Schacht, Fördereinrichtung, Lüftung etc. verursachen laufend Betriebskosten.

Ein neu angelegtes Bergwerk hat den Vorteil, daß es an einer ausgewählten Stelle errichtet und so ausgelegt werden kann, daß die Sicherheit im höchsten Maße gewährleistet ist. Außerdem kann man die Anforderungen, die sich aus dem späteren Verwendungszweck ergeben, gleich beim Bau voll berücksichtigen. Diesen Vorteilen steht der sehr hohe Preis für eine neue Anlage gegenüber. Umgekehrt ist ein altes Bergwerk in der Regel billig zu haben, doch entspricht die Auslegung nicht ganz den Erfordernissen für die Einlagerung radioaktiver Abfälle. Auch kann der Zustand des alten Bergwerkes mitunter unbefriedigend sein.

2.2.3.3. Schlußfolgerungen

Die Abwägung aller Vor- und Nachteile von neuem Bergwerk, altem Bergwerk und Salzkaverne führte zu folgenden Schlüssen:

- a) Die Anlage eines neuen Bergwerkes erschien für die erste Zeit wegen des hohen Preises, der fehlenden praktischen Erfahrungen sowie der geringen Abfallmengen nicht empfehlenswert.
- b) Durch ein Gutachten der Bundesanstalt für Bodenforschung war bekannt, daß das Salzbergwerk Asse II aus Rentabilitätsgründen kurz vor der Stilllegung stand und zum Verkauf angeboten wurde. Der Erwerb der Asse war eine in den nächsten Jahren nicht wiederkehrende Gelegenheit, da geeignete aufgelassene Salzbergwerke nur sehr selten zu haben sind. Hierdurch bietet sich die Möglichkeit, zahl-

reiche Versuche auf dem Gebiet der Salzlagerung auszuführen und daneben sehr große Mengen schwächer aktiver Abfälle zu geringen Kosten unterzubringen. Weiterhin können dort versuchsweise hochaktive Abfälle und bestrahlte Kernbrennstoffe eingelagert werden. Der Betrieb der Asse gibt insgesamt Gelegenheit, frühzeitig Erfahrungen für die Auslegung eines später anzulegenden neuen Bergwerkes zu sammeln.

- c) Die Lagerung radioaktiver Abfälle in Salzkavernen hat berechtigte Aussicht, zu einem wirtschaftlichen und sicheren Verfahren auf dem Endlagersektor zu werden. Wegen der großen Zahl möglicher Standorte kann eine Prototypanlage kurzfristig errichtet werden. Auch Euratom hat sein Interesse an diesem Projekt bekundet.
- d) Nachdem nicht eindeutig klar war, ob der Errichtung der Kaverne oder dem Erwerb der Asse der Vorzug gegeben werden sollte, wurde beschlossen, beide Projekte gleichzeitig zu verfolgen. Hierfür sprachen folgende Tatsachen:
- Jede der beiden Methoden hat ihre Vorzüge; so scheint die Kavernenlagerung für schwach- bis mittelaktive, die Bergwerkslagerung für hochaktive Abfälle das günstigere Verfahren zu sein.
 - Der Ausgang der Kaufverhandlungen über die Asse und die Frage der endgültigen Eignung dieses Bergwerkes zur Lagerung radioaktiver Abfälle waren zunächst ungewiß.
 - Die vorgesehene Salzkaverne ist die erste dieser Art, so daß Schwierigkeiten und Verzögerungen beim Bau und Betrieb durchaus möglich sind.
 - Bei Betriebsstörungen in einer der beiden Anlagen kann mit den, die Hauptmenge ausmachenden, schwach- bis mittelaktiven Abfällen jeweils auf die andere Anlage ausgewichen werden.

- Das gleichzeitige Betreiben beider Projekte ermöglicht es, in der Bundesrepublik rechtzeitig Erfahrungen auf dem gesamten Gebiet der Lagerung radioaktiver Abfälle im Salz zu sammeln, um den rasch steigenden Anforderungen der Kerntechnik für die endgültige Beseitigung ihrer Abfälle jederzeit gewachsen zu sein.

3. PRAKTISCHE ARBEITEN AUF DEM GEBIET DER LAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE IM SALZ

Nachdem aufgrund der oben dargestellten Studien eine Konzeption für das künftige Vorgehen auf dem Gebiet der Salzlagerung festgelegt worden war, wurden die praktischen Arbeiten begonnen.

3.1 Schätzung der Abfallmengen

Die Konzeption für die Endlagerung radioaktiver Abfälle hängt wesentlich von den Abfallmengen ab. Es war daher eine der ersten Aufgaben, den künftigen Anfall zu schätzen. Hierbei wurde zunächst nur der Zeitraum bis 1970 berücksichtigt. Ausgehend von dem bis jetzt bekannten Kernenergieprogramm ergaben die Schätzungen, daß um 1970 jährlich folgende Mengen an schwach- und mittelaktiven Abfällen zu erwarten sind

a) Kernforschungszentren	1000 - 3000 m ³
b) <u>Wiederaufbereitung bestrahlter Kernbrennstoffe</u>	ca. 2000 m ³
c) Kraftwerksreaktoren	einige 100 m ³
d) Isotopenanwendung in Forschung, Medizin u. Technik	einige 100 m ³

Der Gesamtanfall dürfte gegen Ende dieses Jahrzehnts etwa 4000 - 5000 m³/a betragen.

Hochaktive Abfälle aus dem Reprocessing sind vor 1970 im Endlager nicht zu erwarten, da sie zunächst 3 - 4 Jahre am Standort als Flüssigkeiten gelagert werden. Die Schätzungen für die schwach- und mittelaktiven Abfälle aus dem Reprocessing gingen nicht von der voraussichtlich installierten Reaktorleistung von 1000 MWe, sondern von der Kapazität der geplanten Wiederaufbereitungsanlage für bestrahlte Kernbrennstoffe (45 Jahrestonnen) aus. Im anderen Fall wären die Zahlen etwa doppelt so hoch. Als Wiederaufbereitungsverfahren wurde der Purexprozess in der vorgesehenen Auslegung, als Abwasserdekontaminationsverfahren die Verdampfung mit anschließender Bitumenfixierung der Konzentrate angenommen. Eine detaillierte Übersicht über den künftigen Anfall an radioaktiven Abfällen ist in Vorbereitung.

3.2 Schätzung der Transportkosten

Zur Prüfung der Frage, inwieweit die Transportkosten die Wahl des Endlagerstandortes beeinflussen, wurden entsprechende Untersuchungen angestellt. Dabei wurden die Hauptanfallstellen (Karlsruhe, Jülich, München) und einige potentielle Endlagerorte in Betracht gezogen. Die Berechnungen bezogen sich zunächst auf schwachaktive feste Abfälle, verpackt in 200 l-Fässern, und ergaben das folgende Kostenbild:

<u>Strecke</u>	<u>Entfernung</u> (km)	<u>Transportkosten</u> <u>DM/Faß</u>	
		mit Abschreibung	ohne Abschreibung
Von Karlsruhe nach Asse	477	22,60	13,60
Geesthacht	649	26,70	17,20
Heide	803	30,30	19,85

Die Aufstellung zeigt, daß die Transportkosten nicht linear mit der Entfernung des Anfallortes vom Endlager ansteigen. Es kann bereits jetzt abgeschätzt werden, daß beispielsweise die Tiefe der Bohrung, die Ableitung der Sole oder der Straßenanschluß einen größeren Einfluß auf die Gesamtkosten haben werden als die Transportmehrkosten infolge größerer Entfernung der Kaverne von den Anfallstellen. Der endgültige Kostenvergleich kann aber erst vorgenommen werden, wenn nähere Einzelheiten über den Standort bekannt sind.

3.3 Salzkaverne

3.3.1 Standortwahl

Bei der Standortwahl kerntechnischer Anlagen sind generell eine ganze Reihe von wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Aspekten zu berücksichtigen. Zu diesen kommen im Falle der Anlage einer Kaverne zur Endlagerung radioaktiver Abfälle noch einige weitere, z.B. die Eignung des Salzes und die Ableitung der Sole. Deshalb wurde als erster Schritt zur Standortwahl eine Liste der zu beachtenden Standortkriterien aufgestellt. Unter Zugrundelegung der wesentlichsten dieser Gesichtspunkte wurden zunächst aus den etwa 200 Salzstöcken des norddeutschen Raumes die von Bunde, Lemgum, Lesum, Krummendeich, Heide, Harsefeld, Geesthacht sowie Leutesheim in Süddeutschland als möglicherweise geeignet ausgewählt und der nachfolgend beschriebenen, eingehenderen Untersuchung unterzogen. Dabei konnte sich die Studiengruppe in großem Umfang auf ihr von der Bundesanstalt für Bodenforschung zur Verfügung gestelltes Material stützen.

3.3.1.1 Ableitung der Sole

Bei der Solung einer Kaverne fallen große Mengen von Salzlauge an. Diese darf nur langsam in den Vorfluter abgegeben werden, damit dessen NaCl-Gehalt nicht über ein vertretbares Maß erhöht wird. Selbst Flüsse mit großer Wasserführung erlauben nur eine beschränkte Einleitung. Unproblematischer ist die Soleableitung in die Unterläufe von Flüssen wie Elbe, Weser und Ems, da diese bereits vom Meer her etwas versalzen sind. Die direkte Einleitung der Sole in das Meer unterliegt keiner Begrenzung. Demzufolge ergab sich schon eine erste Einschränkung der möglichen Standorte für eine Kaverne auf ein schmales Band entlang der norddeutschen Küste.

3.3.1.2 Geographische Verhältnisse

Eine Betrachtung der geographischen Verhältnisse zeigte, daß ein erheblicher Teil der küstennahen Salzstöcke in Gebieten liegt, die sich nur knapp über Normal Null erheben und deshalb hochwassergefährdet sind. Die Anlage einer Kaverne in einem solchen Gebiet ist völlig ausgeschlossen. Eher möglich wäre die Anlage eines Bergwerkes, da mit dem beim Abteufen des Schachtes anfallenden Aushub eine kleine inselartige Erhöhung im Hochwassergebiet geschaffen werden könnte. Wegen Hochwassergefährdung müssen deshalb die Salzstöcke von Jemgum, Krummendeich, Lesum (ein Teil), Heide (ein Teil) und Leutesheim (Rheinniederung) ausgeschieden werden. Damit verbleiben aus geographischer Sicht nur noch die Vorkommen von Bunde, Harsefeld, Geesthacht, Lesum (hochgelegenes Gebiet der Geest) und Heide (hochgelegenes Gebiet der Geest) als mögliche Standorte.

Unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten liegt Lesum wegen seines direkten Autobahnanschlusses besonders günstig. Ungünstig liegt Heide, da es von den im Süden liegenden Hauptanfallstellen am weitesten entfernt ist.

3.3.1.3 Geologische Verhältnisse

Unter den geologischen Kriterien sind vor allem die Tiefenlage des Salzes unter der Erdoberfläche und seine Beschaffenheit zu beachten. Wenngleich eine Tiefe von mindestens 200 m aus Sicherheitsgründen wünschenswert ist, so bedingen doch zu große Tiefen erhebliche Bohrkosten. Hinsichtlich der Teufenlage sind die Vorkommen von Bunde, Lesum und Harsefeld besonders geeignet; die Salzlagerstätten von Krummendeich und Leutesheim liegen sehr tief. Das Salzflöz von Heide sinkt in Nord-Süd-Richtung ab. Der Nordabschnitt weist zwar in bezug auf die Teufenlage die besseren Voraussetzungen auf, verfügt jedoch nicht über die guten Ableitungsmöglichkeiten für die Sole bei dem im Süden des Gebietes gelegenen Meldorf-Hafen.

Die Beschaffenheit des Salzes in den Vorkommen von Krummendeich und Heide ist für eine Solung wegen der zahlreichen Toneinlagerungen nicht günstig. Die Reinheit des Salzes von Leutesheim müßte durch Probebohrungen erst untersucht werden. Gegen Leutesheim spricht auch seine Lage im Rheintalgraben (Erdbebengefahr). Aus geologischer Sicht sind somit nur die Vorkommen von Harsefeld, Bunde und Lesum gut für die Anlage einer Kaverne geeignet.

3.3.1.4 Zusammenfassung

In der Tabelle 1 sind die vorstehend erläuterten positiven und negativen Wertungen der verschiedenen Vorkommen zusammengefaßt. Danach steht das Vorkommen von Harsefeld in seiner Eignung als

Standort für eine Kavernenanlage an erster Stelle. Eine Einschränkung erfährt dieses vorteilhafte Bild nur durch die Tatsache, daß die Soleableitung in die untere Elbe über eine Entfernung von 15 km erfolgen muß.

In der Wertung folgt das Vorkommen von Lesum, das ebenso günstige Verhältnisse aufweist, wenn es gelingt, die Kaverne auf der hochgelegenen Geest zu erstellen. Zufriedenstellende Voraussetzungen sind auch bei dem Vorkommen von Bunde gegeben. Die Beschaffenheit des Salzes ist zwar noch nicht genau bekannt, ist aber nach den Angaben der Bundesanstalt für Bodenforschung für die Aussolung einer Kaverne ausreichend.

Die Salzstöcke von Heide und Geesthacht können als bedingt geeignet bezeichnet werden. Hier müßte noch durch Probebohrungen auf der Geest geklärt werden, ob das Salz solfähig und in welcher Tiefe die Anlage einer Kaverne möglich ist.

Die Vorkommen von Jemgum, Krummendeich und Leutesheim müssen als ungeeignet bezeichnet werden und sollen aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

Im Anschluß an diese theoretische Vorauswahl muß das Gebiet über den Salzstöcken von Bunde, Lesum und Harsefeld besichtigt werden. Anhand einer Liegenschaftskarte ist zu prüfen, an welcher Stelle bundeseigenes Gelände vorhanden ist. Diese Tatsache soll recht früh in den Untersuchungen berücksichtigt werden, da der Erwerb von Grundflächen aus privater Hand schwierig sein und Verzögerungen in der Abwicklung bringen kann. Anschließend müssen noch Detailuntersuchungen über folgende Fragen durchgeführt werden:

- a) eine hydrologische Studie
- b) eine meteorologische Untersuchung
- c) ein verkehrstechnischer Detailplan
- d) ein Kostenvergleich für die Soleableitung an den einzelnen Standorten.

Schließlich sind auch noch Fragen der Raumplanung, der Möglichkeit einer eventuellen Erweiterung bzw. der Errichtung anderer kerntechnischer Anlagen (insbesondere solcher, die große Mengen radioaktive Abfälle produzieren) zu berücksichtigen. Aufgrund dieser Arbeiten kann der geeignetste Standort ausgewählt werden. Im Anschluß daran werden dort die Erkundungsbohrungen niedergebracht. Bei zufriedenstellendem Ausgang ist mit den Probebohrungen die Standortwahl beendet und die Kaverne kann angelegt werden.

Tabelle 1: Eigenschaften von Salzstöcken und Wertung der Eignung als Endlagerstandort.

- a) Tiefenlage der untersuchten Salzvorkommen unter Gelände und Reinheit des anstehenden Salzes

Vorkommen	Tiefenlage (Meter unter Gelände)	mögliche Tiefen- lage einer Ka- vernenanlage	Beschaffenheit des Salzes
Bunde-Jemgum			
a) Bunde	216	400 - 500	(noch nicht er- (schlossen))
b) Jemgum	500 - 600	800 - 900	
Lesum	200 - 250	450 - 550	geringfügig ver- unreinigt
Krummendeich	1000	1200 - 1300	stark verunreinigt
Harsefeld	400	600 - 700	rein
Heide	500 - 1000	700 - 1500	Toneinlagerungen
Geesthacht	650	850 - 950	Salzkörper gestört
Leutesheim	ca.850	1050 - 1150	(noch nicht er- (schlossen, mög- (lich verunrein.))

b) Zusammenstellung positiver und negativer Punkte
zur Standortwahl

Vorkommen	Topographie	Geologie	
		Tiefenlage	Beschaffenheit des Salzes
Bunde-Jemgum			
a) Bunde	+	+	?
b) Jemgum	-	+	?
Lesum	±	+	+
Krummendeich	-	-	-
Harsefeld	+	+	+
Heide	±	±	-
Geesthacht	+	+	-
Leutesheim	-	-	?

3.3.2 Wirtschaftliche und technische Untersuchungen

In mehreren Besprechungen mit einschlägigen Industriefirmen wurde die mögliche Auslegung der Kaverne und die kostenmäßige Auswirkung der verschiedenen Parameter untersucht. Nachfolgend sind die wichtigsten Ergebnisse dieser Besprechungen zusammengefaßt.

Zur Aussolung von 1 m^3 Salz werden rund $6 - 10 \text{ m}^3$ Wasser benötigt. Sofern die Ableitung keine Schwierigkeiten bereitet, können pro Stunde rund 4 m^3 Hohlraum hergestellt werden. Die Solung einer Kaverne von 10.000 m^3 Hohlraumvolumen würde somit rund 3 Monate dauern.

Der gesamte Zeitbedarf setzt sich wie folgt zusammen:

Vorbereitung zur Bohrung	2 Monate
Bohrung	2 Monate
Vorbereitung zur Solung	2 Monate
Solung	3 Monate
Auspumpen und Fertigmachen zum Füllen	<u>3 Monate</u>

12 - 15 Monate

Die Kosten für eine Bohrung in 1000 m Tiefe hängen wie folgt vom Bohrlochdurchmesser ab:

Ø 220 mm	500.000 DM
Ø 315 mm	600.000 DM
Ø 450 mm	700.000 DM
Ø 580 mm	1000.000 DM
Ø 620 mm	1200.000 DM

Es ist zu beachten, daß die Kosten nicht linear mit der Tiefe zunehmen, sondern bei Einsatz schwereren Bohrgerätes, das bei tiefen Bohrungen bzw. bei großen Bohrlochdurchmessern benötigt wird, sprunghaft ansteigen. Die Solung einer Kaverne von 19.000 m³ kostete in einem belegten Fall 840.000 DM. Für 10.000 Kubikmeter sind somit rund 500.000 DM zu veranschlagen.

In Zusammenarbeit mit einer einschlägigen Fachfirma wurde auch das Grundprinzip der Einbringvorrichtung für die radioaktiven Abfälle festgelegt. Diese Firma erhielt anschließend den Auftrag Pläne und Ausschreibungsunterlagen für eine Fördereinrichtung auszuarbeiten. Diese Arbeiten sind fast abgeschlossen.

3.3.3 Forschungsantrag an Euratom

Auf Empfehlung des BMwF stellte die Gesellschaft für Kernforschung bei der Europäischen Atomgemeinschaft einen Forschungsantrag für die Errichtung und den Probetrieb einer als Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle geeigneten Prototyp-Salzkaverne. Ein Teil der Arbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe ist im Laufe des Jahres 1964 auf die Gesellschaft für Strahlenforschung mbH München übergegangen, die auch der Vertragspartner von EURATOM wurde. Die Studiengruppe für Tieflagerung hat bereits mit den ersten Arbeiten, die im Rahmen dieses Vertrages von der Gesellschaft für Kernforschung mbH Karlsruhe übernommen wurden, begonnen.

3.4 Salzbergwerk Asse

3.4.1 Vorarbeiten für den Erwerb

Als eine ihrer ersten Arbeiten bemühte sich die Studiengruppe um die Klärung der Frage, ob das Salzbergwerk Asse aus Sicherheitsgründen für die Einlagerung radioaktiver Abfälle geeignet und ob es zu einem vertretbaren Preis zu erwerben sei. Aufgrund von Besprechungen mit dem Eigentümer, dem Oberbergamt in Clausthal, dem Bergamt in Wolfenbüttel, der Bundesanstalt für Bodenforschung, durch Studien von Gutachten (vor allem über den Zustand des Schachtes) und durch Besichtigungen an Ort und Stelle bildete sich die Überzeugung, daß der Erwerb des Bergwerkes nützlich und vertretbar sei. Die Untersuchungen zeigten, daß für das Salzbergwerk Asse keine akute Gefahr des Zugehens oder Versäufens besteht, wenngleich der Zustand des Schachtes laufend Überwachungs- und Instandsetzungsarbeiten erfordert und die Standzeit des Bergwerkes

nicht mit Sicherheit angegeben werden kann. Diesen Risiken stand der sehr niedrige Kaufpreis von 700.000 DM gegenüber. Selbst bei einer angenommenen Standzeit von nur 5 Jahren (Amortisation 20%) ergab sich unter Zugrundelegung von 230.000 DM jährlicher Betriebskosten das nachfolgend aufgeführte günstige Kostenbild:

erstes Jahr	(Einlagerung von	250 m ³)	1.480 DM/m ³
zweites "	(" " 500 m ³)	740 DM/m ³
drittes "	(" " 750 m ³)	495 DM/m ³
viertes "	(" " 1000 m ³)	370 DM/m ³
fünftes "	(" " 2000 m ³)	185 DM/m ³

Bei längerer Standzeit des Bergwerkes und höheren Abfallmengen nehmen die Einlagerungskosten für den Kubikmeter entsprechend weiter ab.

Die Studiengruppe hat deshalb Kaufverhandlungen mit der Burbach-Kaliwerke AG angebahnt, die später auf Anweisung des BMwF von der Gesellschaft für Strahlenforschung fortgesetzt wurden und inzwischen zum Erwerb des Bergwerkes durch die GSF geführt haben.

3.4.2 Versuchsprogramm für die Asse

Durch den Kauf des Salzbergwerkes Asse war neben der Möglichkeit zur Einlagerung radioaktiver Abfälle auch die Voraussetzung zur Durchführung umfangreicher Versuche auf dem Gebiet der Lagerung radioaktiver Abfälle in Salzformationen gegeben. Die Studiengruppe entwickelte hierfür folgendes Versuchsprogramm:

- a) Geophysikalische Untersuchungen der Eigenschaften des Gesteins der Asse, die für die Standfestigkeit und die Eignung zur Lagerung wichtig sind, u.a.:
- Anlegen eines Meßpunktnetzes und genaue Vermessung untertage in Zeitabständen von drei Monaten zur Erfassung von Gebirgsbewegungen;
 - Bestimmung der Druckfestigkeit des Salzgesteins und Untersuchung der Standfestigkeit der Salzpfeiler;
 - Beobachtung des Verhaltens von Salzgestein unter Einwirkung von Wärme und Gebirgsdruck;
 - Beobachtung der Druckfestigkeitsänderung des Salzgesteins bei Bestrahlung;
 - Permeabilitätsmessungen im Laboratorium.
- b) Untersuchungen zur Lagerungstechnik schwach- und mittelaktiver Abfälle, u.a.:
- Versuche zur Abdichtung künstlicher Hohlräume im Salzgestein;
 - Untersuchungen zur Belüftungstechnik;
 - Tracerversuche über die Verteilung von Radionukliden in Abbauen, die mit gesättigter Salzlauge gefüllt sind;
 - Faul- und Korrosionsversuche an Abfällen in Gegenwart von Steinsalz;
 - Korrosionsversuche an Strukturmaterialien.
- c) Fragen der Umfüll- und Einbringtechnik für hochaktive Abfälle und ausgebrannte Kernbrennstoffe, u.a.:
- Bau einer Umfüllzelle übertage;
 - Entwicklung von Transportfahrzeugen und Umfülleinrichtungen untertage;
 - Auslegung von Lagern für hochaktive Abfälle.

Die unter a und c genannten Arbeiten wurden bereits begonnen.

3.4.3 Planungsarbeiten für die Lagerung hochaktiver Abfälle und bestrahlter Kernbrennstoffe

Bezüglich der unter 3.4.2.c aufgeführten Einlagerung hochaktiver Abfälle und bestrahlter Kernbrennstoffe wurden bereits eingehende Überlegungen angestellt und dabei bisher folgende Vorstellungen entwickelt:

Die hochaktiven Abfälle werden in bleiabgeschirmten Behältern zur Asse transportiert. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit sollten die Behälter möglichst groß sein und werden bestimmt ein Gewicht von über 10 t haben. Da aber die Fördereinrichtung in der Asse (Köpeförderung) nur Gewichte bis zu 10 t aufnehmen kann, müssen die Abfälle in einen kleinen, leichteren Behälter umgepackt werden. Hierzu ist übertage eine heiße Zelle erforderlich. Sie soll, da in der Asse hochaktive Abfälle sicherlich nur vorübergehend gelagert werden, leicht demontierbar ausgeführt werden. Die Auslegung der Zelle kann erst erfolgen, wenn feststeht, ob

- a) auch Brennelemente in der Asse gelagert werden sollen,
- b) die Zelle für alle in Deutschland bisher bekannten Brennelemente oder nur für die bisher zur Lagerung angemeldeten Typen AVR und AKB ausgelegt werden soll.

Die Lagerung von Brennelementen erfordert eine Sonderausstattung der heißen Zelle für Dichtigkeitsprüfungen der Brennelemente und für ihr Einschweißen in Metallhülsen. Bei einer Auslegung für sämtliche Brennelemente müßte die Zelle außerdem sehr groß und mit Schneidwerkzeugen ausgerüstet sein. Eine entsprechende Entscheidung ist vom BMwF zu treffen.

Der leichte Bleibehälter wird, nachdem er in der heißen Zelle mit Abfällen gefüllt wurde, in den Förderkorb gebracht und mit diesem nach untertage transportiert. Die Fördereinrichtung muß hierfür noch umgebaut werden. An der gewünschten Sohle wird der Bleitransportbehälter von einem Transportfahrzeug übernommen und an den Lagerort gebracht. Ein geeignetes Fahrzeug muß noch gefunden oder ggf. gebaut werden. Es müßte auf alle Fälle sehr niedrig, wendig und unempfindlich gegen die Unebenheiten des Bodens sein.

An den Lagerorten werden die hochaktiven Abfälle aus der Bleiflasche geholt und dann in die Lagerpositionen eingebracht. Bezüglich dieser Operationen wurden bisher mehrere Möglichkeiten untersucht, u.a. eine Belademaschine (auf Schienen), ein fernbedientes Manipulatorfahrzeug, eine fahrbare heiße Zelle, die von Zeit zu Zeit umgesetzt wird. Die günstigste Lösung scheint jedoch bisher ein bemanntes, abgeschirmtes Manipulatorfahrzeug mit einem Raupenfahrwerk zu sein. Mit diesem kann eine Vielzahl von Arbeiten ausgeführt werden (Be- und Entladen von Bleiflaschen und Lagerpositionen; Aufheben heruntergefallener aktiver Teile; Einsatz für andere Arbeiten, z.B. Aufräumarbeiten nach Unfällen). Das Manipulatorfahrzeug muß zum Ein- und Ausbringen zerlegt werden können.

Eine Untersuchung über die bisher auf der Welt vorhandenen Manipulatorfahrzeuge und Ermittlungen über die Verwendungsmöglichkeit serienmäßiger Bauteile sind im Gange. Es wurden bereits erste Entwürfe angefertigt. Zu gegebener Zeit sollen Planungsaufträge an geeignete Firmen vergeben werden.

4. VERSENKUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE IN DAS MEER

Neben den bisher beschriebenen Arbeiten zur Lagerung radioaktiver Abfälle in Salzformationen hat sich die Studiengruppe auch an den Vorarbeiten für eine Probeversenkung in das Meer beteiligt. In Besprechungen mit dem BMwF und dem Deutschen Hydrographischen Institut wurde ein entsprechender Programmvorschlag ausgearbeitet und vom BMwF der OEEC vorgelegt. Von der Studiengruppe wurde in diesem Zusammenhang geprüft, welche der in Deutschland lagernden Abfälle für eine Probeversenkung geeignet wären. Weiterhin wurden in Besprechungen mit Reedereien die ungefähren Kosten eines solchen Vorhabens ermittelt (da nach der Seeverkehrsordnung Frachtschiffe beim Halten auf offener See keine Ladung aus inneren Räumen oder Lucken löschen dürfen, können radioaktive Abfälle nur als Decksladung mitgeführt werden).

5. SONSTIGE ARBEITEN

5.1 Aufbau einer Schrifttumssammlung

Alle bisherigen Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle wurden auf Karteikarten erfaßt. Es laufen jetzt Bestellungen für die wichtigsten Arbeiten zum Aufbau einer umfassenden Schrifttumssammlung.

5.2 Studienreise durch die USA

Zwei Mitarbeiter der Studiengruppe nahmen an einer vom BMwF veranstalteten Reise durch die USA zum Studium der dortigen Pläne und Einrichtungen auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle teil. Dabei konnte ein Überblick über den neuesten Stand auf diesem Gebiet gewonnen und die Richtigkeit

der eigenen Konzeption bestätigt werden. Es wurde ein reger Meinungsaustausch mit den amerikanischen Fachkollegen angebahnt.

5.3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

In geologischen Fragen hat die Studiengruppe eng mit der Bundesanstalt für Bodenforschung zusammengearbeitet, die bereits vor der Aufstellung der Studiengruppe Möglichkeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in Formationen des tiefen Untergrundes untersucht und in mehreren Gutachten zu diesen Fragen Stellung genommen hat. In Fragen der Salzmechanik wurde eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Mineralogie, Petrographie und Lagerstättenkunde der Bergakademie Clausthal unter der Leitung von Prof. Borchert angebahnt. Dieses Institut hat auch bereits mit gebirgsmechanischen Untersuchungen an Salzgesteinsproben aus der Asse begonnen. Weiterhin führte eine Arbeitsgruppe am Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der Technischen Hochschule Aachen theoretische Studien über thermische Probleme bei der Lagerung hochaktiver Abfälle durch. In Fragen der Versenkung radioaktiver Abfälle in das Meer arbeitete die Studiengruppe eng mit dem Deutschen Hydrographischen Institut in Hamburg zusammen.

5.4 Veröffentlichungen

Im vergangenen Jahr wurden vor den Mitgliedern des Arbeitskreises III/IV-1 der Deutschen Atomkommission drei Referate gehalten und die folgenden 2 Berichte veröffentlicht:

H. Ramdohr: Schrifttumsübersicht über Endlagerung
radioaktiver Abfallstoffe in Salzformationen
GfK 205, März 1964

H. Krause: Abfälle in Salzformationen
Das deutsche Programm zur Lagerung
radioaktiver Abfälle in Salzformationen
Euratom - Bulletin (in Druck)