



DECKBLATT

EU 047.2	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	-	-	E	RB	0008	00

Titel der Unterlage: Endlagerung radioaktiver Abfälle - Übersicht über technische Konzepte im internationalen Bereich - GRS-A-1191	Seite:
	I.
	Stand:
	Febr. 1986

Ersteller:	Textnummer:
------------	-------------

Stempelfeld:

PSP-Element TP..9K/2:	zu Plan-Kapitel: 3						
	<table border="1"> <tr> <td>PL</td> <td>PL</td> </tr> <tr> <td>16.05.86</td> <td>16.05.86</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	PL	PL	16.05.86	16.05.86		
PL	PL						
16.05.86	16.05.86						

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

Revisionsblatt



EU 047.2	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	-	-	E	RB	0008	00

Titel der Unterlage: Endlagerung radioaktiver Abfälle - Übersicht über technische Konzepte im internationalen Bereich - GRS-A-1191	Seite: II.
	Stand: Febr. 1986

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.



Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH

ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE
- ÜBERSICHT ÜBER TECHNISCHE
KONZEPTE IM INTERNATIONALEN
BEREICH -

GRS-A- 1191 (Februar 1986)

Auftrags-Nr. 84 576



Anmerkung:

Der Bericht ist von der GRS im Auftrag des Bundesministers des Innern im Rahmen des Vorhabens SR 822 erstellt worden. Der Eigentümer behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des Auftraggebers zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Meinung und Auffassung des Auftragnehmers wieder und muß nicht mit der Meinung des auftraggebenden Bundesministers des Innern übereinstimmen.



INHALT

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. ÜBERSICHT ÜBER ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE	2
2.1 Praxis der Endlagerung	2
2.2 Endlagerkonzepte und -planungen	6
3. TECHNISCHE ENDLAGERKONZEPTE	7
3.1 Frankreich	7
3.1.1 Endlagerkonzept	7
3.1.2 Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle mit kurzen Halbwertszeiten	8
3.1.3 Endlager für Abfälle mit langen Halbwertszeiten	9
3.2 Großbritannien	10
3.2.1 Endlagerkonzept	10
3.2.2 Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle	12
3.2.3 Endlager für hochaktive Abfälle	14
3.3 Schweden	14
3.3.1 Endlagerkonzept	14
3.3.2 Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle	14
3.3.3 Endlager für hochaktive Abfälle	16
3.4 Schweiz	17
3.4.1 Endlagerkonzept	17
3.4.2 Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle	18
3.4.3 Endlager für hochaktive Abfälle	19
3.5 USA	20
3.5.1 Endlagerkonzept	20
3.5.2 Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle	21
3.5.3 Endlager für α -haltige Abfälle	24
3.5.4 Endlager für hochaktive Abfälle	24
LITERATUR	26
ANHANG	

1. EINLEITUNG

Radioaktive Abfälle entstehen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen in den Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs sowie bei der Verwendung radioaktiver Stoffe in Medizin, Wissenschaft und Technik. Für die sichere Beseitigung der radioaktiven Abfälle gilt die grundlegende Forderung, daß die Abfälle keine Gefährdung der Menschen und der Umwelt bewirken dürfen. Die Endlagerung radioaktiver Abfälle muß daher den Ausschluß der Abfälle aus der Biosphäre für jene Zeiträume gewährleisten, in denen die in den Abfällen enthaltenen Radionuklide ein relevantes Gefährdungspotential für Mensch und Umwelt darstellen.

Die technischen Konzepte zur Beseitigung radioaktiver Abfälle sind abhängig von der Art und Aktivität der in den Abfällen enthaltenen Radionuklide.

Die Einordnung der Abfälle in die entsprechende Abfallkategorie erfolgt nach Kriterien wie spezifischer Aktivität oder Oberflächendosisleistung; die Klassifizierung ist international nicht einheitlich.

Die Endlagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen kann als Stand der Technik bezeichnet werden. Angewandt werden dabei Verfahren, wobei verfestigte radioaktive Abfälle oberflächennah vergraben oder in der Tiefsee versenkt werden. Die Endlagerung entsprechend konditionierter Abfälle in Endlagerbergwerke in kontinentalen geologischen Formationen ist ein in verschiedenen Ländern erprobtes Verfahren. Flüssige radioaktive Abfälle werden durch Verpressung in geologische Speicherhorizonte oder durch Meeresableitung beseitigt.

Als bevorzugtes Konzept für die Endlagerung hochaktiver und α -haltiger radioaktiver Abfälle wird heute international die Einlagerung in kontinentale geologische Formationen angesehen. Das hierbei am weitesten fortgeschrittene technische Konzept besteht im Auffahren geeigneter Endlagerbergwerke. Dieses Konzept nutzt die Stabilität geologischer Formationen über geologische Zeiträume sowie die jahrhundertalten Erfahrungen im Auffahren und Betrieb von Bergwerken.

Der vorliegende Bericht soll einen Überblick über internationale Konzepte zur Endlagerung und Beseitigung radioaktiver Abfälle geben. Dabei liegt das Schwergewicht auf der technischen Auslegung existierender, im Bau oder in Planung befindlicher Endlager für radioaktive Abfälle. Geologische Fragestellungen, Sicherheitsanalysen zur Betriebs- und Nachbetriebsphase, Endlagerkriterien und Endlagerpolicy sind nicht Gegenstand dieses Berichtes, sie sind teilweise im Rahmen anderer Arbeiten des Auftrags SR 822 behandelt worden. Die Übersicht zur technischen Auslegung von Endlagern basiert auf derzeit verfügbaren Angaben, Unterlagen und Konzepten, eine Fortschreibung ist geplant.

Es wird zunächst eine generelle Übersicht über die derzeitige Praxis der Beseitigung radioaktiver Abfälle gegeben sowie die generellen Konzepte für die Endlagerung radioaktiver Abfälle dargestellt. In Frankreich, Großbritannien, Schweden, Schweiz und den USA existieren bereits Endlager bzw. sind in Bau oder konkreter Planung. Für diese Länder werden daher die technischen Konzepte zur Endlagerung radioaktiver Abfälle detaillierter dargestellt.

2. ÜBERSICHT ÜBER ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE

2.1 Praxis der Endlagerung

Bisher sind schwach- und mittelaktive Abfälle von verschiedenen Ländern durch Versenkung im Meer oder oberflächennahe Endlagerung beseitigt worden.

Versenkung radioaktiver Abfälle im Meer

Die Versenkung schwachradioaktiver Abfälle im Meer wurde von 1967 bis 1981 im Nordostatlantik durchgeführt. Am Versenkungsort in der Iberischen Tiefsee, der etwa 700 km von den Küsten Nordostspaniens und Südirlands entfernt liegt, beträgt die Meerestiefe etwa 4000 m. An der Versenkungsaktion beteiligten sich die Länder Großbritannien, Niederlande, Belgien und die Schweiz.

Tabelle 1 zeigt die in diesem Zeitraum versenkten Abfallmengen und die zugehörigen Aktivitäten.

Tab. 1:

Versenkung radioaktiver Abfälle im Nordostatlantik mit einer Gesamtmasse von 86000 t

	Mengen Bq	Spezifische Aktivität Bq/t	Aktivitäts- grenzwerte Bq/t
α -Aktivität	4.6×10^{16}		3.7×10^{10}
β/γ -Aktivität	16×10^{17}	2×10^{11}	3.7×10^{12}
Tritium-Aktivität	16×10^{17}	2×10^{11}	3.7×10^{18}

Entsprechend der Londoner Konvention sind Grenzwerte für die spezifische Aktivität und die Aktivität pro Versenkungsaktion festgelegt worden. Die tatsächlich versenkten Aktivitäten liegen zum Teil um Größenordnungen unter den zulässigen Grenzwerten /LUC 82/.

Die USA haben im Zeitraum von 1946 bis 1970 im Pazifik bei den Farallon-Islands insgesamt 86 000 Fässer (Abfall in 200 l-Fässern zementiert) mit schwachaktiven Abfällen (Gesamtaktivität 3.4×10^{14} Bq) versenkt, hierbei handelt es sich im wesentlichen um militärische Abfälle.

Oberflächennahe Endlagerung

Anlagen zur oberflächennahen Endlagerung schwach- und teilweise mittelradioaktiver Abfälle sind in einigen Ländern in Betrieb bzw. wurden bereits geschlossen. In den USA werden seit 1962 insgesamt sechs Lager für radioaktive Abfälle aus dem kommerziellen Bereich und fünf Lager für radioaktive Abfälle aus dem militärischen Bereich betrieben. Von den sechs kommerziellen Anlagen sind heute noch drei in Betrieb. Weitere oberflächennahe Endlager befinden sich in Frankreich (Centre de la Manche), Großbritannien (Drigg, Dounreay), Indien und der Sowjetunion. In Kanada wird diese Lagertechnik als rückholbare Lagerung praktiziert /RUM 83/. In Tabelle 2 sind für die oberflächennahen Endlager wesentliche Daten zusammengefaßt /MES 83/.

Tabelle 2: Allgemeine Daten oberflächennaher Endlager

LAND	ANLAGE	BETREIBER ¹⁾	INBETRIEB- NAHME	STATUS	GESAMTKAPA- ZITÄT (M ³)	BISHER EDGE- LAGERT (M ³)	EINLAGERUNGS- RATE (M ³ /A)
USA	Beatty	U.S.E.	1962	in Betrieb	700 000	93 000 (1962-81)	ca. 3 300 (1981)
USA	Maxey Flats	U.S.E.	1963	1978 geschl.	200 000	135 000 (1963-77)	—
USA	West Valley	NFS	1963	1975 geschl.	900 000	67 000 (1963-75)	—
USA	Richland	CN/U.S.E.	1965	in Betrieb	900 000	102 000 (1965-81)	40 000 (1981)
USA	Sheffield	CN/U.S.E.	1967	1978 geschl.	200 000	91 000 (1967-78)	—
USA	Barnwell	CNSI	1971	in Betrieb	2 500 000	363 000 (1971-81)	40 000 (1981)
F	Centre de la Manche	STMI i.A. der ANDRA	1969	in Betrieb	400 000	220 000 (bis 9/83)	20 000
GB	Drigg	ENFL	1971	in Betrieb	1 500 000	500 000 (bis 12/83)	50 000
GB	Dounreay	UKAEA	1972	in Betrieb	34 000		
IND	Trombay, Tarapur, Madras, Narora, Rajasthan		Anfang 60er Jahre (Trombay)	teilw. in Be- trieb, teilw. geplant		z.B. Tarapur: 5000 (1972-81)	z.B. Tarapur: 1000
CAN	Chalk River, Whiteshell, Bruce NPD, Gentilly, Point Lepreau	AECL AECL OH HQ NBEPIC	z.T. seit 1946 (CRNL) ²⁾	in Betrieb		z.B. CRNL: 76 000 LAW + MAW (bis 3/83)	z.B. CRNL: 3000 (LAW)

- 1) U.S.E. U.S. Ecology Inc. (früher: Nuclear Engineering Company)
 NFS Nuclear Fuel Services, Inc.
 CN California Nuclear, Inc.
 CNSI Chemical-Nuclear Systems, Inc.
 STMI Societe des Travaux en Milieu Ionisant
 ANDRA Agence National pour la Gestion des Dechets Radioactifs
 ENFL British Nuclear Fuel Limited
 AECL Atomic Energy of Canada Limited
 OH Ontario Hydro
 HQ Hydro Quebec
 NBEPIC New Brunswick Electric Power Commission

- 2) Abfälle wurden bisher rückholbar gelagert; Umwandlung in Endlager wird erwogen

Endlagerung in tiefen geologischen Formationen

In der DDR werden seit 1978 in einem Salzstock am Standort Morsleben schwach- und mittelaktive Abfälle endgelagert.

2.2 Endlagerkonzepte und Planungen

In Abhängigkeit von den verschiedenen Abfallkategorien und deren spezifischen Eigenschaften existieren verschiedene Möglichkeiten der Endlagerung radioaktiver Abfälle, von denen im folgenden die derzeit untersuchten bzw. praktizierten Techniken (siehe Kapitel 2.1) zusammengestellt sind:

- Endlagerung in kontinentalen geologischen Formationen,
 - Endlagerbergwerk,
 - Tiefbohrkonzept,
- Endlagerung in marinen geologischen Formationen (Meeresboden),
- Vergraben in oberflächennahen Schichten (shallow land burial),
- Versenkung im Meer,
- Verpressung in geologische Speicherhorizonte,
- Einleitung in das Meer.

Die Endlagerung in kontinentalen geologischen Formationen richtet sich nach den spezifischen Gegebenheiten des jeweiligen Landes (Geologie, Hydrologie, klimatische Verhältnisse, Besiedlungsdichte). Insbesondere im Hinblick auf die geologischen Verhältnisse eines Landes werden derzeit international folgende Gesteinsformationen untersucht:

- Salzgesteine,
- kristalline Gesteine (z.B. Granit, Granodiorit, Diorit, Basalt, Tuff),
- Sedimentgesteine.

Für schwach- und mittelaktive Abfälle sehen die Endlagerplanungen neben bereits praktizierten Verfahren wie oberflächennahe Endlagerung und Versenkung im Meer die Nutzung stillgelegter Bergwerke oder die Errichtung neuer Kavernen oder Bergwerke vor. Entsprechende Planungen werden in Finnland, Großbritannien, Schweden und der Schweiz durchgeführt.

Für die Endlagerung hochaktiver Abfälle bzw. abgebrannter Brennelemente bestehen in allen Ländern Konzepte für eine Einlagerung in tiefen geologischen Formationen. Für die Wahl einer geeigneten Endlagerformation ist von wesentlicher Bedeutung

- die Langzeitstabilität der geologischen Formationen insbesondere unter dem Einfluß der lokalen Wärmebeanspruchung durch den hochaktiven Abfall,
- die Sorptionseigenschaften des Wirtsgesteins und Deckgebirges im Hinblick auf das Migrationsverhalten der langlebigen Radionuklide,
- die hydrogeologischen Eigenschaften der geologischen Formationen hinsichtlich des Auslaugverhaltens des zur Einlagerung kommenden Abfallprodukts.

Entsprechend den geographischen und geologischen Gegebenheiten wird in den einzelnen Ländern der einen oder der anderen Gesteinsformation der Vorzug gegeben. Beispielsweise in den Niederlanden, der DDR und der Bundesrepublik Deutschland dem Salz, in Kanada, Schweden, Schweiz, Frankreich, Großbritannien und Japan dem Kristallgestein sowie in Belgien und Italien dem Ton. In den USA werden Salz-, Basalt-, Tuff- und Granitformationen untersucht /RIT 84/.

3. TECHNISCHE ENDLAGERKONZEPTE

3.1 Frankreich

3.1.1 Endlagerkonzept

Hinsichtlich der Endlagerung radioaktiver Abfälle unterscheidet man in Frankreich /RFS 82/ folgende Abfallklassen:

- Radioaktive Abfälle, die Radionuklide mit langen oder mittleren Halbwertszeiten enthalten (α -Strahler).
 - Abfälle, die α -Strahler enthalten, mit einer spezifischen Aktivität kleiner als 0.1 Ci/t.
 - Abfälle, die α -Strahler enthalten, mit einer spezifischen Aktivität zwischen 0.1 und 1 Ci/t.
 - Abfälle, die Radionuklide mit langen oder mittleren Halbwertszeiten enthalten, mit einer spezifischen Aktivität größer als 1 Ci/t.
- Radioaktive Abfälle, von denen angenommen werden kann, daß sie keine Radionuklide mit langen oder mittleren Halbwertszeiten enthalten.

Seit 1969 werden im Centre de la Manche schwach- und mittelaktive Abfälle mit kurzer Halbwertszeit oberflächennah endgelagert, zwei weitere oberflächennahe Endlager sollen errichtet werden /AUR 84/. Die ANDRA konzentriert ihre Arbeiten zur Standortuntersuchung auf die Departments Aube (für Abfälle aus dem Nordwesten Frankreichs) und die Departments Vienne und Indre (für Abfälle aus dem Südosten Frankreichs) /CEA 84/.

Radioaktive Abfälle mit langen Halbwertszeiten, seien es schwach- oder mittelaktive Alphaabfälle oder verglaste hochaktive Abfälle sollen nach einer mehr oder weniger langen Phase der provisorischen Lagerung in tiefliegenden geologischen Formationen endgelagert werden.

3.1.2 Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle mit kurzen Halbwertszeiten

Das Centre de Stockage de la Manche befindet sich in der Nähe der Wiederaufarbeitungsanlage bei Cape de la Hague. Die Abfälle werden nach zwei Techniken eingelagert: als im Boden angelegte sogenannte Monolithen und als darüberliegende Hügel (Tumulus), d.h. mit je einer Lehm- und Erdschicht überdeckte, an der Oberfläche aufgeschichtete, verpackte Abfälle.

Für die Monolith-Lagerung werden große rechteckige Gruben ausgehoben, deren Grund mit einer Betondecke versehen wird. Damit das sich während des Baus und der Einlagerungsarbeiten am Boden sammelnde Wasser abgeleitet werden kann, wird dieser mit einem System von Rand- und Zwischenrinnen versehen. Mittels Platten werden in der Grube dann mit einem Zwischenraum von 2 m kleine Abschnitte abgegrenzt, an deren Boden und Wänden eine Metallarmierung ausgelegt wird. In einen so vorbereiteten Grubenabschnitt werden diejenigen radioaktiven Abfälle verbracht, deren Verpackung allein noch nicht genügend Schutz gegen die von den Abfällen ausgehende Strahlung bietet. Jede Lage solcher Abfallgebände wird mit Beton ausgegossen, so daß nach mehreren Lagen jeder Abschnitt zu einem monolithischen Betonblock wird, der die verpackten Abfälle einschließt. Zwischen die Blöcke werden diejenigen Abfälle gestapelt, die in Blei- und Stahlcontainern ins Centre de la

Manche transportiert werden und deren Strahlung an der Containeroberfläche während ihrer Handhabung besondere Schutzvorkehrungen verlangt. Sobald der Zwischenraum zweier Blöcke mit solchen Containern gefüllt ist, wird auch er mit Beton ausgegossen. Die oberste abdeckende Betonschicht wird zur Verstärkung armiert.

Die tumulusförmigen Lager werden auf der betonierten Oberfläche der unterirdischen Monolithlager errichtet. Diese wird mit einer Asphalt-schicht überzogen, deren Rand von einer Rinne zum Sammeln des während des Ausbaus des Tumuli anfallenden Wassers umgeben wird. Die Rinne dient nach Abschluß dieser Anlegearbeiten der Kontrolle, ob ins fertige Lager Sickerwasser eindringt. Auf der Grundfläche des Tumulus werden Betonbehälter am Rande der Fläche entlang drei Reihen gestapelt, wobei maximal vier Gebinde (insgesamt 6 m Höhe) aufeinander-gestellt werden. Rechtwinklig dazu werden in bestimmten Abständen Zweierreihen solcher Behälter errichtet. Die Randreihe und die Quer-reihen bilden so das Stützgerippe eines Tumulus und zugleich grenzen sie rechteckige Abteilungen ab. In dieser werden - getrennt nach den verschiedenen Abfallkategorien - die Metallfässer gestapelt. Auf die-se Weise lassen sich auf 3000 m² Fläche etwa 10.000 m³ Betonbehälter und Metallfässer lagern. Nach Abschluß der Einlagerung werden die Lücken zwischen dem Lagergut mit Kies ausgefüllt, um die Stabilität des Hügels zu sichern. Abschließend wird der Hügel mit einer wasser-undurchlässigen Lehmschicht abgedeckt, auf die eine Erdschicht gelegt wird, die begrünt werden kann /MES 83/. Eine Gesamtansicht zeigt Bild 1.

Das Centre de Stockage de la Manche besitzt eine Gesamtkapazität von etwa 400.000 m³, bis 1983 waren bereits 200.000 m³ Abfälle eingelagert.

3.1.3 Endlager für Abfälle mit langen Halbwertszeiten

Im Gegensatz zu den Abfällen mit kurzen Halbwertszeiten, für deren Endlagerung es schon industriell ausgereifte Lösungen gibt, müssen die Abfälle mit langen Halbwertszeiten in provisorischen Einrichtungen gelagert werden, bis sie die Bedingungen für die künftigen Endla-

ger und die Konditionierungsverfahren erfüllen und deren gegenseitige Kompatibilität gewährleistet ist.

In Frankreich sollen dem Bau von Endlagern in tiefen geologischen Formationen für diese Abfälle die sukzessiven Phasen der Standortbestimmung vorangehen, die - ausgehend von der Liste der in Frage kommenden Areale, die im Rahmen einer auf Europa bezogenen Studie untersucht wurden - folgende Schritte umfassen sollen:

- eine Standortsuche, die darüber hinaus eine Optimierung anderer, zu berücksichtigender Faktoren gestattet (Möglichkeiten der Nutzung der Gelände und des Untergrundes auf kurz- und mittelfristige Sicht, sozio-ökonomische Aspekte, geographische Lage),
- Tiefbohrungen,
- die Einrichtung eines oder mehrerer unterirdischer Laboratorien.

Zu einem späteren Zeitpunkt werden für die verglasten Abfälle, die aufgrund ihrer außerordentlich hohen Radioaktivität und der Menge an Wärme, die sie abgeben, besondere technische Probleme stellen, Überprüfungen im Rahmen einer Pilotanlage erforderlich. Mittels einer solchen Anlage, die in der Versuchsphase noch von Grund auf umkonstituiert werden kann, könnte man alle einzusetzenden technischen Verfahren bestimmen. Nach einer ersten Versuchs- und Bewertungsphase könnte diese Anlage in ein Endlagerzentrum umgewandelt werden, wenn die damit gemachten Erfahrungen die gewählten Lösungswege rechtfertigen. Geeignete geologische Formationen, die in Frankreich erwogen werden, sind Granit, Salz und Ton.

3.2 Großbritannien

3.2.1 Endlagerkonzept

In Großbritannien unterscheidet man radioaktive Abfälle /CMN 82/ grundsätzlich in

- schwachaktive Abfälle von geringer Radiotoxizität, für die bereits Endlager vorhanden oder in Betrieb sind,
- mittelaktive Abfälle,
- wärmeentwickelnde Abfälle.

Tab. 3:

Übersicht über potentielle Endlager in Großbritannien /WED 83/

Bezeichnung	spezifische Aktivitätsgrenzen (Richtwert)		
	α	β/γ	
Land 1	Einlagerung in oberflächennahen Schichten (z.B. Drigg)	750 MBq/m ³	1,5 GBq/m ³
Land 2	Tiefe Gräben (20-30 m tief)	100 GBq/m ³	unbegrenzt
Land 3	Modifizierte Mine oder neu errichtete Hohlräume (ca. 100 m tief)	2 TBq/m ³	unbegrenzt
Land 4	Neu zu errichtende Endlagerstätte in ca. 300 m Tiefe (keine wärmeerzeugende Abfälle)	unbegrenzt	unbegrenzt
Land 5	Neu zu errichtende Endlagerstätte in ca. 300 m Tiefe (für wärmeerzeugende Abfälle)	unbegrenzt	unbegrenzt
See 1	Meeresversenkung (in Fässern)	40 GBq/t	4 TBq/t
See 2	Einlagerung in marinen geologischen Formationen	unbegrenzt	unbegrenzt

Schwachradioaktive Abfälle werden in den oberflächennahen Endlagern Drigg und Dounreay sowie durch Versenkung im Meer beseitigt. Im Rahmen neuerer Planungen werden schwachaktive Abfälle in mehrere Kategorien unterteilt.

Für mittelaktive Abfälle wird die Einlagerung in tiefen Gräben, Minen oder neu zu errichtenden Bergwerken bis ca. 300 m Tiefe erwogen. Wärmeentwickelnde Abfälle aus der Wiederaufarbeitung sollen verglast und in tiefen geologischen Formationen eingelagert werden. In Großbritannien werden dafür Granitformationen untersucht. Alternativ ist auch die Endlagerung in marinen geologischen Formationen vorgesehen.

Das Department of Environment (DOE) hat sieben potentielle technische Endlagervarianten vorgeschlagen, die auf ihre Realisierbarkeit untersucht werden sollen (siehe Tabelle 3). Die Varianten Land 1 und See 1 sind bereits für schwachradioaktive Abfälle realisiert. Für mittelaktive Abfälle sind die Varianten Land 2, Land 3 und Land 4 zu untersuchen. Für wärmeentwickelnde Abfälle sollen die Varianten Land 5 und See 2 untersucht werden.

3.2.2 Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle

In Drigg erfolgt die Einlagerung in Gräben von 700 m Länge, 15 m Breite und ca. 8 m Tiefe. Die Lehmschicht, die den Abfall gegen die darunterliegenden Schichten isoliert, darf beim Ausheben der Gräben nicht in ihrer ganzen Dicke durchdrungen werden. Die Gräben werden durch ein Drainagesystem entwässert. Der resultierende Wasserstrom wird in den River Irt geleitet. Die Abdeckung muß mindestens 1 m betragen (in der Praxis beträgt sie normalerweise 2 m). Sie besteht aus Erdreich und Granitstücken und wird durch Walzen kompaktiert. Die Neigung des Geländes und der darunterliegenden Bodenschicht gewährleistet, daß das Grundwasser zum Meer abfließt /CMN 79/.

Für zukünftige Planungen werden für die Endlagerung in oberflächennahen Schichten drei Abfallkategorien zugrundegelegt. Abfälle der Kategorie 1 können in Anlagen ähnlich der in Drigg eingelagert werden.

Die Abfälle der Kategorien 2 und 3 besitzen höhere β/γ -Aktivitäten und müssen daher abgeschirmt werden. Der α -Gehalt ist gering. Derartige Endlager sind nach dem Konzept Land 2 geplant /ROB 83/.

Danach sind die Einlagerungsgräben etwa 150 m lang, 20 m breit und 6 - 15 m tief. Der Boden des Grabens besteht aus Beton, der die Last eines 8 m hohen Abfallstapels tragen muß. Er ist nach einer Seite in Richtung eines Sumpfes geneigt, in den ein Probenahmerohr zur Überwachung eventueller Flüssigkeitsansammlungen hineinreicht. Die Grabenwände bestehen aus armiertem Beton. Die Einlagerung von Kategorie-2 Abfällen erfolgt bis zu einer Höhe von 8 m. Dann werden sie mit einer armierten und mit Bitumen beschichteten Betonplatte von 1 m Dicke abgedeckt. Diese wird mit einer 3 m dicken Schicht aus kompaktiertem Lehm und einer weiteren 1 m starken Betonplatte zum Schutz gegen unerwünschtes Eindringen überlagert. Den Abschluß bildet eine 5 m dicke wasserundurchlässige Schicht aus gewalztem Lehm. Im Unterschied zu Abfällen der Kategorie 2 werden Abfälle der Kategorie 3 fernbedient gehandhabt und in abgeschirmte Zellen eingelagert. Eine Übersichtszeichnung der hier beschriebenen Gräben zeigt Bild 2.

Als möglicher Standort für ein derartiges Endlager wird Elstow ca. 5 km südlich von Bedford erwogen /NIR 83a/.

Für die Endlagerung mittelaktiver Abfälle nach den Konzepten Land 3 und Land 4 wurden in Großbritannien mehr als 100 Minen untersucht. Daraus wurde die Anhydrit-Mine in Billingham für detailliertere Untersuchungen ausgewählt. Von 1928 bis 1971 wurde in der Mine Anhydrit abgebaut. Die untertägigen Hohlräume liegen in etwa 140 bis 280 m Tiefe. Die Bereiche, in denen der Anhydritabbau erfolgte, haben einen Wasserzufluß von etwa 13 l/min. In Bild 3 ist dargestellt, wie die Einlagerung radioaktiver Abfälle in die Anhydritmine erfolgen könnte /NIR 83b/.

Die Einlagerung soll in bereits existierenden untertägigen Kammern erfolgen (Querschnittsfläche ca. 6 x 5 m). Zusätzliche Kammern brauchen nicht aufgefahren werden. In den Kammern werden 2 Schichten von jeweils 2 nebeneinander positionierten Betoncontainern eingelagert. Die Kammern können mit Beton, Ton oder Gestein verfüllt werden. Das

derzeitig durchgeführte Standortuntersuchungsprogramm soll zusätzliche Erkenntnisse zur Eignungsfähigkeit der Billingham Anhydritmine als Endlager liefern.

3.2.3 Endlager für hochaktive Abfälle

Die Endlagerung hochaktiver Abfälle soll in tiefen Granitformationen erfolgen. Auf der Basis derzeitiger Kenntnisse zur Endlagerung ist man in Großbritannien der Meinung, daß die Endlagerung hochaktiver Abfälle grundsätzlich möglich ist. Die wärmeproduzierenden Abfälle sollen vor der Einlagerung über mehr als 50 Jahre oberirdisch zwischengelagert werden. Daher braucht ein derartiges Endlager aber erst im Jahre 2040 zur Verfügung stehen /OEC 82/.

Erste Erkundungsbohrungen im Granit sind in Nordschottland (Altnabreac) durchgeführt worden.

3.3 Schweden

3.3.1 Endlagerkonzept

In Schweden ist vorgesehen, radioaktive Abfälle in Granitformationen endzulagern. Für schwach- und mittelaktive Abfälle wird am Standort Forsmark das Endlager SFR errichtet. Für hochaktive Abfälle bzw. abgebrannte Brennelemente sind Konzeptstudien für die Einlagerung in tiefen Granitformationen erarbeitet worden (Endlager SFL). Bisher sind in Schweden noch keine radioaktiven Abfälle endgelagert worden.

3.3.2 Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle

Das Endlager SFR am Standort Forsmark befindet sich etwa 150 km nordöstlich von Stockholm an der Ostseeküste. Es liegt in der Nähe des Hafens von Forsmark auf einer vorgelagerten Insel in etwa 3 km Entfernung von den dort betriebenen Kernkraftwerken. Der übertägige Bereich des SFR wird aus dem Empfangsbereich für radioaktive Abfälle

und Betriebsgebäuden bestehen. Zwei jeweils 1 km lange Tunnel führen in den untertägigen Bereich der Gesteinskavernen. Das Endlager befindet sich in geologisch stabilen Granit- und Pegmatitformationen unter der Ostsee, die hier eine Wassertiefe von etwa 5 m besitzt. Der Mindestabstand von den Firsten der Gesteinskavernen bis zum Meeresboden beträgt 50 m.

Das Endlager besteht aus einem System von 2 Zugangstunneln, 8 Einlagerungskammern und 4 Einlagerungssilos. In Bild 4 ist der Aufbau des untertägigen Einlagerungsbereiches des Endlagers SFR schematisch dargestellt /LAR 85/.

Die beiden Tunnel sind 8,5 m breit und etwa 5,5 bis 7,5 m hoch; sie haben einen gegenseitigen Abstand von 15 m. Der Betriebstunnel soll für die Einlagerung von Abfallgebänden verwendet werden. Der Bautunnel dient während der Konstruktionsphase dem Abtransport von Gestein, in der Betriebsphase des SFR wird er als "stand by Tunnel" verwendet.

In die 4 Silobauwerke sollen im wesentlichen Ionenaustauscherharze, die sich in Metall- oder Betonbehältern befinden, eingelagert werden. Die Silos sind 50 m hoch und haben einen Durchmesser von 25 m. Der Siloabstand beträgt mindestens 50 m. Der Hohlraum zwischen dem Gestein und dem Silo wird mit Bentonit-Ton gefüllt. Nach Außerbetriebnahme des Silos dichtet der quellfähige Bentonit den gesamten Silobereich gegenüber dem umgebenden Gestein ab. Dieses Konzept soll den Grundwasserfluß durch das Silo verhindern.

Der Innenraum des Silos ist in quadratische Zellen aus Beton von 2,5 m Seitenlänge gegliedert, die vom Boden bis zur Decke des Silos verlaufen. Die Abfallgebände werden in den Zellen übereinander gestapelt und die verbleibenden Hohlräume mit Beton verfüllt. Die gesamte Einlagerung der Abfallgebände in die Silos erfolgt automatisch mit fernbedienten Einlagerungsmaschinen.

Neben den Silos besteht das Endlager SFR aus 8 Kammern unterschiedlicher Dimensionen. Je nach der Art der Abfallgebände sollen unterschiedliche Einlagerungstechniken angewandt werden. Dabei sollen Container in zwei Lagen gestapelt werden, während Fässer mittels eines

Krans in den Kammern deponiert werden. Verbleibende Hohlräume werden mit Zement verfüllt. Nach Außerbetriebnahme des Endlagers sollen die Zugänge mit Betondämmen versiegelt werden.

Das Endlager wird in zwei Phasen errichtet. Derzeit werden in der ersten Phase 4 Kammern und 1 Silo erstellt. Die Inbetriebnahme ist für 1988 geplant. Insgesamt ist vorgesehen, im SFR 80.000 m³ radioaktive Abfälle endzulagern.

3.3.3 Endlager für hochaktive Abfälle

Im Endlager SFL sollen hochaktive Abfälle bzw. konditionierte abgebrannte Brennelemente eingelagert werden. Im Rahmen des KBS-Projektes ist ein Endlagerkonzept erarbeitet worden, das vorsieht, ein Bergwerk in stabilen Granitformationen des schwedischen Grundgebirges zu errichten. Die Einlagerungstiefe soll etwa 500 m betragen, jedoch stellen auch Einlagerungstiefen von 1 000 m keine größeren technischen Probleme dar.

Bild 10 zeigt eine perspektivische Darstellung des geplanten Endlagers im schwedischen Grundgebirge. Das Endlager besteht aus den ober-tägigen Anlagenteilen (Empfangsgebäude, Konditionierungsanlage), den Schächten und den untertägigen Anlagenteilen (Transportstrecken, Lagerstrecken und Einlagerungsbohrlöchern).

Das KBS-Projekt /KBS 77/ sieht vor, verglaste hochaktive Abfälle in Edelstahlbehälter einzubringen, und diese durch einen 6 mm dicken Titanbehälter zu umschließen. Zur Strahlungsabschirmung soll der Raum zwischen den beiden Behältern mit Blei ausgefüllt werden (Dicke 10 cm).

Für abgebrannte Brennelemente ist vorgesehen, Kupferkanister mit einer Wandstärke von 10 cm als Behälter zu verwenden /KBS 83/. Verbleibende Hohlräume im Behälter sollen mit Blei vergossen werden. Als Alternative zu Kupferkanistern sind auch Behälter aus Korund vorgeschlagen worden.

Die Einlagerung der hochaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelemente erfolgt in den von den Lagerstrecken aus senkrecht gebohrten Bohrlöchern, wobei pro Bohrloch ein Endlagergebäude deponiert wird. Die Bohrlöcher mit hochaktiven Abfällen werden mit einem Gemisch aus Quarzsand und Bentonit verfüllt (Bild 11), bei abgebrannten Brennelementen sollen die Hohlräume mit Blöcken aus kompaktiertem Bentonit ausgefüllt werden (Bild 12). Nach Beendigung der Einlagerung sollen die Strecken und Schächte mit einem Gemisch aus Bentonit und Quarzsand verfüllt werden.

Der Abstand zwischen den Lagerstrecken - 25 m bei einem einsohligen Lager und 33 m bei einem zweisehigen Lager - sowie der Abstand zwischen den Bohrlöchern (6 m) ist so gewählt, daß die Temperatur im Endlager unter 100 °C bleibt.

Die Inbetriebnahme des Endlagers SFL ist für das Jahr 2020 geplant. Derzeit wird ein Erkundungsprogramm mit Tiefbohrungen durchgeführt, das etwa 10 verschiedene Standorte einschließt.

3.4 Schweiz

3.4.1 Endlagerkonzept

Schwachaktive Abfälle sind im Rahmen einer internationalen Versenkungsaktion (siehe Kapitel 2.1), an der die Schweiz teilnahm, beseitigt worden. Das Endlagerkonzept der Schweiz sieht jedoch vor, daß zukünftig alle radioaktiven Abfälle an Land beseitigt werden sollen. Im Rahmen des von der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA) durchgeführten Projektes Gewähr /NAG 85/ sind Projektstudien für verschiedene Endlagertypen erarbeitet worden. Demnach ist vorgesehen:

- Endlager für schwachaktive Stilllegungsabfälle (Typ A),
- Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Typ B),
- Endlager für hochaktive und bestimmte α -haltige Abfälle (Typ C).

Das Endlager Typ A, daß eventuell separat oder mit Typ B errichtet werden kann, wird von der NAGRA z.Zt. nicht weiter untersucht.

Das Endlager Typ B ist als ein bergmännisch erstelltes Kavernensystem mit Zugang durch horizontale Stollen in einer alpinen Formation angelegt /NAG 85/.

Das Endlager Typ C ist rund 1.200 m tief in einer stabilen Granit-scholle des Kristallinuntergrunds der Nordschweiz angelegt /NAG 85/.

3.4.2 Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle

Das vorgesehene Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle befindet sich in einem Kavernensystem einer alpinen Formation mit einer Gesteinsüberdeckung von 750 bis 1300 m; der Zugang erfolgt durch horizontale Stollen. In Bild 5 ist eine perspektivische Übersicht des geplanten Endlagers gegeben. Das Lager besteht aus den folgenden Anlagenteilen:

- Zufahrtsstollen,
- Empfangsanlage mit Empfangskaverne,
- Verbindungsstollen,
- Kavernen für die Endlagerung.

Die angelieferten Abfallgebände werden in der Empfangsanlage in normierte Endlagercontainer gestapelt und in diesen mit Zement vergossen. Über den Verbindungsstollen werden die Endlagercontainer per Stollenbahn in die Lagerkavernen transportiert. In den Lagerkavernen werden die Endlagercontainer abschnittsweise und fernbedient gestapelt. In Bild 6 ist die Einlagerung in einer Kaverne dargestellt. Die verbleibenden Hohlräume werden mit Beton verfüllt.

Insgesamt sollen 16 parallele Lagerkavernen im Abstand von 70 m aufgeföhren werden, die durch eine Längskaverne miteinander verbunden sind. Der Ausbruchsquerschnitt der Lagerkavernen beträgt 162 m^2 bis 183 m^2 , die Kavernenlänge 210 m bis 360 m.

Das Gesamt-Brutto-Volumen der radioaktiven Abfälle beträgt nach /NAG 85/ ca. 200.000 m^3 . Jährlich sollen etwa 7500 Abfallgebände angeliefert werden, das entspricht etwa 500 Endlager-Containern pro

Jahr. Die voraussichtliche Betriebsdauer des Endlagers beträgt etwa 60 Jahre. Die Bau- und Betriebsphase verlaufen getrennt, das gesamte Kavernensystem wird vor dem Beginn der Abfalleinlagerung erstellt.

3.4.3 Endlager für hochaktive Abfälle

Das geplante Endlager ist für die Beseitigung hochaktiver Abfälle und bestimmter α -haltiger Abfälle vorgesehen. Als Option wird das Lager auch für die Beseitigung nicht wiederaufgearbeiteter Brennelemente betrachtet.

Die Endlagerung erfolgt in rund 1200 m Tiefe in stabilen Granitformationen, die von Sedimentgesteinen überlagert sind. Das Endlager besteht aus folgenden Anlagenteilen:

- obertägiger Anlagenbereich,
- zwei Vertikalschächte,
- untertägiger Zentralbereich in 1200 m Tiefe,
- die Hauptstollen, die den Einlagenbereich für die hochaktiven Abfälle umfahren,
- die parallel angelegten Endlagerstollen für hochaktive Abfälle,
- die Endlagersilos für α -haltige Abfälle.

In Bild 7 ist eine schematische Darstellung des untertägigen Anlagenbereiches gegeben.

Die verglasten hochaktiven Abfälle, die sich in korrosionsfesten Stahlbehältern befinden, werden in den Endlagerstollen abgelegt. Die Stollen besitzen ein Kreisprofil von 3,7 m Durchmesser. Der Raum zwischen Abfallbehälter und Stollenwand wird mit Blöcken aus verdichtetem Bentonit verfüllt, der als technische Barriere dient. Geplant sind insgesamt etwa 20 Stollen mit einer Länge von jeweils 1500 m.

Die Endlagerung α -haltiger Abfälle erfolgt in Endlagersilos. Silo- und Stollenbereich sind räumlich voneinander getrennt, um eine unerwünschte gegenseitige Beeinflussung zu vermeiden. Die Silos sind für die Einlagerung zementierter und bituminierter Abfälle konzipiert.

(siehe Bild 8). Die schachtförmigen Silokavernen haben einen Durchmesser von 10 m und eine Tiefe von mehr als 50 m. Die Silos bestehen aus einer vom Gestein getrennten Betonstruktur, in die die Abfälle eingelagert und mit Beton fixiert werden. Der Hohlraum zwischen Gestein und Betonsilowand wird mit Bentonit-Granulat verfüllt. Insgesamt sollen 14 Silos errichtet werden.

3.5 USA

3.5.1 Endlagerkonzept

In den USA werden radioaktive Abfälle nach ihrer Herkunft aus dem militärischen und dem kommerziellen Bereich unterschieden sowie prinzipiell folgende Unterscheidung getroffen:

- schwachaktive Abfälle,
- TRU-Abfälle (transuranhaltige Abfälle),
- hochaktive Abfälle.

Schwachaktive Abfälle sind in den USA bisher durch oberflächennahe Endlagerung oder durch Tiefseeverenkung beseitigt worden. Derzeit werden fünf Endlager für schwachaktive Abfälle aus dem militärischen Bereich betrieben /NUR 81/. Für schwachaktive Abfälle aus dem kommerziellen Bereich werden derzeit die oberflächennahen Endlager in Beatty, Richland und Maxey Flats betrieben.

Schwachaktive Abfälle sollen auch zukünftig durch oberflächennahe Endlagerung beseitigt werden. Die Ausweisung neuer Standorte ist geplant.

Für TRU-haltige Abfälle aus dem militärischen Bereich ist die Endlagerung in tiefen Salzformationen vorgesehen. Das entsprechende Endlager - Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) - wird derzeit errichtet /WIP 81/.

In den USA ist vorgesehen, hochaktive Abfälle (bzw. abgebrannte Brennelemente) aus dem kommerziellen Bereich in tiefen geologischer Formation endzulagern.

Im Rahmen des Nuclear Waste Terminal Storage Programms werden in den USA derzeit für das erste Endlager für hochaktive Abfälle Untersuchungen in Salz-, Tuff- und Basaltformationen durchgeführt. Für ein zweites Endlager werden zusätzlich noch Granitformationen untersucht.

3.5.2 Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle

Seit 1962 werden in den USA sechs Endlager für schwachaktive Abfälle aus dem kommerziellen Bereich der Kernenergienutzung betrieben. Das erste Endlager in oberflächennahen Schichten ging 1962 in Beatty in Betrieb. Bis 1971 folgten die Anlagen in Maxey Flats, West-Valley, Richland, Sheffield und Barnwell. Zur Zeit werden noch die Anlagen in Beatty, Richland und Barnwell betrieben. Eine Übersicht über diese Anlagen erfolgte bereits in Kapitel 2.1. Im folgenden werden anlagentechnische Erläuterungen zu diesen Anlagen gegeben, die aus /MES 83/ übernommen wurden.

Maxey Flats

Die Einlagerung der Abfälle erfolgte in über 40 Gräben und zahlreichen sonstigen Hohlräumen. Die Gräben waren 46 bis 207 m lang, 3 bis 22 m breit und 2,7 bis 9 m tief. Sie besaßen eine leichte Neigung und einen Sumpf am tieferen Ende zum Zwecke der Entwässerung. Aus radiologischen Gründen wurde nach abgeschlossener Einlagerung eine Erdschicht von mindestens 1 m Dicke aufgeschüttet und anschließend bepflanzt. Abfälle mit hoher γ -Aktivität wurden in Bohrlöcher von 0,6 bis 1 m Durchmesser und 4,6 m Tiefe eingelagert, die mit Stahlrohr, Beton oder Ziegeln ausgekleidet und beidseitig mit Betonklappen verschlossen wurden /NUR 81/.

West Valley

Die Anlage besteht aus 14 verfüllten Einlagerungsgräben, von denen die meisten relativ lang und schmal sind (ca. 200 x 10 x 6 m). Einer der Gräben stellte eher eine Aneinanderreihung von Bohrlöchern dar

für Abfälle mit hoher äußerer Dosisleistung. Das Ausschachten und Einlagern der Abfälle erfolgte abschnittsweise und dem Abfallaufkommen angepaßt, so daß jeweils immer nur ein geringer Teil der Gebinde der Witterung ausgesetzt war. In zwei Becken wurde das aus offenen Gräben gepumpte Regenwasser gespeichert, in der benachbarten Wiederaufarbeitungsanlage dekontaminiert und dann in die Umgebung abgegeben. Die Gräben waren mit einem Entwässerungssystem ausgestattet. Das sich in einem Sumpf sammelnde Wasser wurde abgepumpt und nach ausreichender Verdünnung in einen benachbarten Fluß abgegeben. Bei der Einlagerung in die Gräben 7 bis 14 wurden aufgrund der bis dahin gemachten Erfahrungen einige Verbesserungen angebracht, z.B. größere Abstände (≥ 3 m) zwischen den Gräben, Neigung des Grabenbodens vom aktuellen Einlagerungsort weg und Verstärkung der Abdeckschicht auf 2,4 m /NUR 81/.

Sheffield

Die Einlagerungsgräben waren 61 bis 152 m lang, 12 bis 24 m breit, 6 bis 12 m tief und wurden jeweils abschnittsweise ausgehoben, gefüllt und wieder abgedeckt. Sie sind im wesentlichen parallel angeordnet mit einem Abstand von ca. 3 m. Die Oberkanten liegen oberhalb des maximal möglichen Hochwasserspiegels, die Böden oberhalb des Grundwasserniveaus. Die Böden sind geneigt und mit einem Drainagesystem ausgerüstet. Aus dem sich im Sumpf ansammelnden Wasser können Proben zur Analyse entnommen werden /NUR 81/.

Barnwell

Die Einlagerung erfolgte bisher auf zwei Arten: in schlitzartigen und breiteren Gräben. Die schmalen Gräben (76 bis 152 m lang, 1 m breit, 6 m tief) dienen der Aufnahme von Abfällen mit hoher Oberflächendosisleistung. Die breiteren Gräben messen 305 x 30 bzw. 152 x 15 m. Sie besitzen etwa 1 % Quer- und 0,3 % Längsneigung. In Abständen von 30 m sind Probenahmestellen vorhanden. Der Boden der Gräben ist mit 60 - 90 cm Sand bedeckt, um einen guten Abfluß des Wassers in das Drainagesystem zu gewährleisten. Das Einlagern von Abfällen in stehendes Wasser ist nicht gestattet. Es wird Wert auf standardisierte Behälter be-

legt. Nach Verfüllung eines Grabens wird dieser mit Sand, mindestens 0,6 m Lehm und mindestens 1 m Erdreich abgedeckt. Die Oberfläche wird abgeschrägt, um das Einsickern von Wasser zu erschweren /NUR 81/.

Richland

Die Einlagerung erfolgt in Gräben. Sie waren anfangs etwas kleiner (Länge 91 bis 22 m, Breite 18 bis 43 m, Tiefe 8 bis 9 m) als heute. Die Länge der derzeit in Betrieb befindlichen Gräben beträgt über 260 m, die Tiefe über 11 m. Seitlich werden Abstände von 3 m eingehalten. Das ausgehobene Material wird wieder zum Verfüllen verwendet. Die Mindestschichtdicke beträgt 0,9 m am Rand und 1,5 m in der Mitte. Zum Schluß wird die Oberfläche noch mit Erde und Kies (zum Schutz gegen Erosion) überdeckt. Abfälle mit höherer Dosisleistung wurden in der Vergangenheit in 9 m tiefe Bohrlöcher verbracht, die mit einem Stahlrohr ausgekleidet sind. In der 1979 erneuerten Betriebsgenehmigung wurden u.a. auch die Anforderungen an die Einlagerungstechnik ergänzt und aktualisiert. Danach muß jetzt der Abstand Abfalloberkante - ursprüngliches Geländeniveau mindestens 2,40 m betragen. Diese Auflage soll den Schutz gegen Erosion, eindringendes Wurzelwerk und Tiere erhöhen. Als weitere Schutzmaßnahme ist für die überlagernde Kiesschicht jetzt eine Mindestdicke von 15 cm vorgeschrieben /NUR 81/.

Beatty

Die Gräben werden abschnittsweise ausgehoben, gefüllt und überdeckt. Sie sind häufig lang und breit genug, um Transportfahrzeugen die direkte Zufahrt zu ermöglichen. Die Betriebsgenehmigung verlangt einen Abstand von 0,9 m zwischen Abfalloberkante und ursprünglichem Geländeniveau. Zusätzlich müssen die Gräben mit einem Hügel von mindestens 0,6 m Höhe überdeckt werden. Bisher hatten die Gräben Abmessungen von 91 bis 200 m Länge, 1,2 bis 27 m Breite und 1,8 bis 6 m Tiefe /NUR 81/.

3.5.3 Endlager für α -haltige Abfälle

Die Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) ist als Endlager für transuranhaltige Abfälle (TRU) aus dem militärischen Bereich sowie als F+E-Einrichtung für hochaktive Abfälle vorgesehen. Das Endlager WIPP wird derzeit im Südosten des Bundesstaates New Mexico errichtet. Der Einlagerungsbereich befindet sich in etwa 650 m Tiefe in geologisch stabilen, sedimentären Salzschiechten des Permischen Beckens (die Salzschiechten besitzen eine Mächtigkeit von etwa 1000 m).

Das Endlager WIPP besteht aus den übertägigen Anlagenteilen, zwei Schächten, dem untertägigen Einlagerungsbereich für TRU-Abfälle sowie den F+E-Einrichtungen für hochaktive Abfälle. Die TRU-Abfälle sollen in untertägigen Kammern eingelagert werden, der verbleibende Hohlraum soll mit Salz verfüllt werden. In Bild 9 ist eine Übersicht über den untertägigen Anlagenbereich von WIPP gegeben.

Die TRU-Abfälle werden zunächst rückholbar eingelagert. 1993 soll entschieden werden, ob auf die Rückholbarkeit der Abfälle verzichtet werden kann. Es ist geplant, bis zum Jahre 2000 insgesamt 160.000 m³ TRU-Abfälle einzulagern.

Die Bauarbeiten begannen 1981, die Inbetriebnahme von WIPP ist für 1989 vorgesehen.

3.5.4 Endlager für hochaktive Abfälle

Im Rahmen des Nuclear Waste Terminal Storage-Programms sollen für hochaktive Abfälle bzw. abgebrannte Brennelemente Endlagerstandorte erkundet und bewertet sowie Endlager geplant und errichtet werden. Von dem Department of Energy (DOE) wurden mehrere potentielle Standorte für ein erstes Endlager identifiziert, untersucht und bewertet. Die geologischen Formationen, die dabei berücksichtigt wurden, sind Salzschiechten und Salzstöcke, Basalt und Tuff.

Am 20. Dezember 1984 hat das DOE die Auswahl von drei möglichen Endlagerstandorten nach einem umfangreichen Standortbewertungsprogramm

bekanntgegeben. Bei den ausgewählten Standorten handelt es sich um Yucca Mountain (Tuff) in Nevada, Deaf Smith County (Salz) in Texas und Hanford (Basalt) in Washington. Die Standortwahl für das erste Endlager soll unter diesen drei Standorten bis 1987 getroffen werden.

Zur Bewertung der Eignungsfähigkeit sollen an allen drei Standorten untertägige Erkundungsarbeiten durchgeführt werden. Es ist geplant, mit dem Bau des ersten Endlagers 1992 zu beginnen, die Inbetriebnahme ist für 1998 vorgesehen /SME 82/.

Für das zweite Endlager für hochaktive Abfälle werden neben den o.g. geologischen Formationen auch Kristallingesteine (d.h. magmatische Gesteine wie Granit und Gabbro sowie metamorphe Gesteine wie Gneis und Amphibolit) untersucht. Bereiche, in denen diese Gesteine in geeigneten Mächtigkeiten auftreten, sind die Lake-Superior Region, die Appalachen und die Adirondacks. Im Jahre 1990 sollen drei mögliche Endlagerstandorte für das zweite Endlager benannt und auf ihre Eignungsfähigkeit untersucht werden.

LITERATUR

- /AUR 84/ Ansprache des für Energiefragen zuständigen Staatssekretärs, Jean Arnoux, anlässlich der Sitzung des Rates für Nukleare Sicherheit am 19. Juni 1984, Paris
- /CEA 84/ Rapport Annuel 1984
Comissariat a l'Energie Atomique, Paris
- /CMN 79/ A Review of CMND 884: "The Control of Radioactive Waste"
Department of the Environment, September 1979
- /CMN 82/ Radioactive Waste Management
Presented to Parliament by the Secretary of State for the Environment, the Secretary of State for Scotland and the Secretary of State for Wales, Cmnd 8607,
London, July 1982
- /KBS 77/ Handling of Spent Nuclear Fuel and Final Storage of Vitrified High Level Waste
Swedish Nuclear Fuel Supply Co./Division KBS
Stockholm, 1977
- /KBS 83/ Final Storage of Spent Nuclear Fuel - KBS-3
Swedish Nuclear Fuel Supply Co./Division KBS
Stockholm, 1983
- /LAR 85/ A. Larson et al.:
Aspects on the Licensing of a Final Repository für Radioactive Wastes
Proceedings of the International Seminar on Radioactive Waste Products
Jülich, 10. - 13. Juni 1985
- /LUC 82/ C. Luckner et al.:
Entsorgung radioaktiver Abfälle durch Meeresversenkung
Fachheft Entsorgung, Energiewirtschaftliche Tagesfragen,
Heft 2, Februar 1982

- /MES 83/ Mester, W.:
Endlagerung radioaktiver Abfälle in oberflächennahen
Schichten (Entwurf)
GRS, Köln, Juli 1983
- /NAG 85/ Nukleare Entsorgung Schweiz: Konzept und Übersicht über
das Projekt Gewähr 1985
Projektbericht NGB 85-01, Nagra, Januar 1985
- /NIR 83a/ The Disposal of Low-and Intermediate-Level
Radioactive Wastes: The Elstow Storage Depot
NIREX, October 1983
- /NIR 83b/ The Disposal of Low-and Intermediate-Level
Radioactive Wastes: The Billingham Anhydrite Mine
NIREX, October 1983
- /NUR 81/ Data Base for Radioactive Waste Management
NUREG/CR-1759 Vol. 1
November 1981
- /OEC 82/ Geological Disposal of Radioactive Waste
- Research in the OECD Area -
OECD, Paris, 1982
- /RFS 82/ Regle Fondamentale de Surete No III.2.a
Ministere de l'Industrie et de la Recherche
Paris, September 1982
- /RIT 84/ Rittig, D., und H. Uhlenbruck:
Endlagerung im internationalen Vergleich
8. GRS-Fachgespräch, Köln, 12. - 13. November 1984
- /ROB 83/ L.E.J. Roberts, et al.:
The Disposal of Low and Intermediate-Level Radioactive
Wastes in the UK
International Fuel Cycle Conference in Genf
AIF/Foratom, 31.5. - 3.6.1983

- /RUM 83/ T.E. Rummery et al.:
Radioactive Waste Management Policy and its Implemen-
tation in Canada
International Conference on Radioactive Waste Management
IAEA, Seattle, USA, 16. - 20. Mai 1983
- /SME 82/ Smedes, H.W., und W.A. Carbiener:
United States Wastes Isolation Programme
Nuclear Engineering International, November 1982
- /WED 83/ Wedd, G.M.:
UK Radioactive Waste Management Policy and Strategy
International Conference on Radioactive Waste Management
IAEA, Seattle, USA, 16. - 20. Mai 1983
- /WIP 81/ TRU-Waste Acceptance Criteria for the Waste Isolation
Pilot Plant
WIPP-DOE-069, September 1981

A N H A N G

Bilderverzeichnis

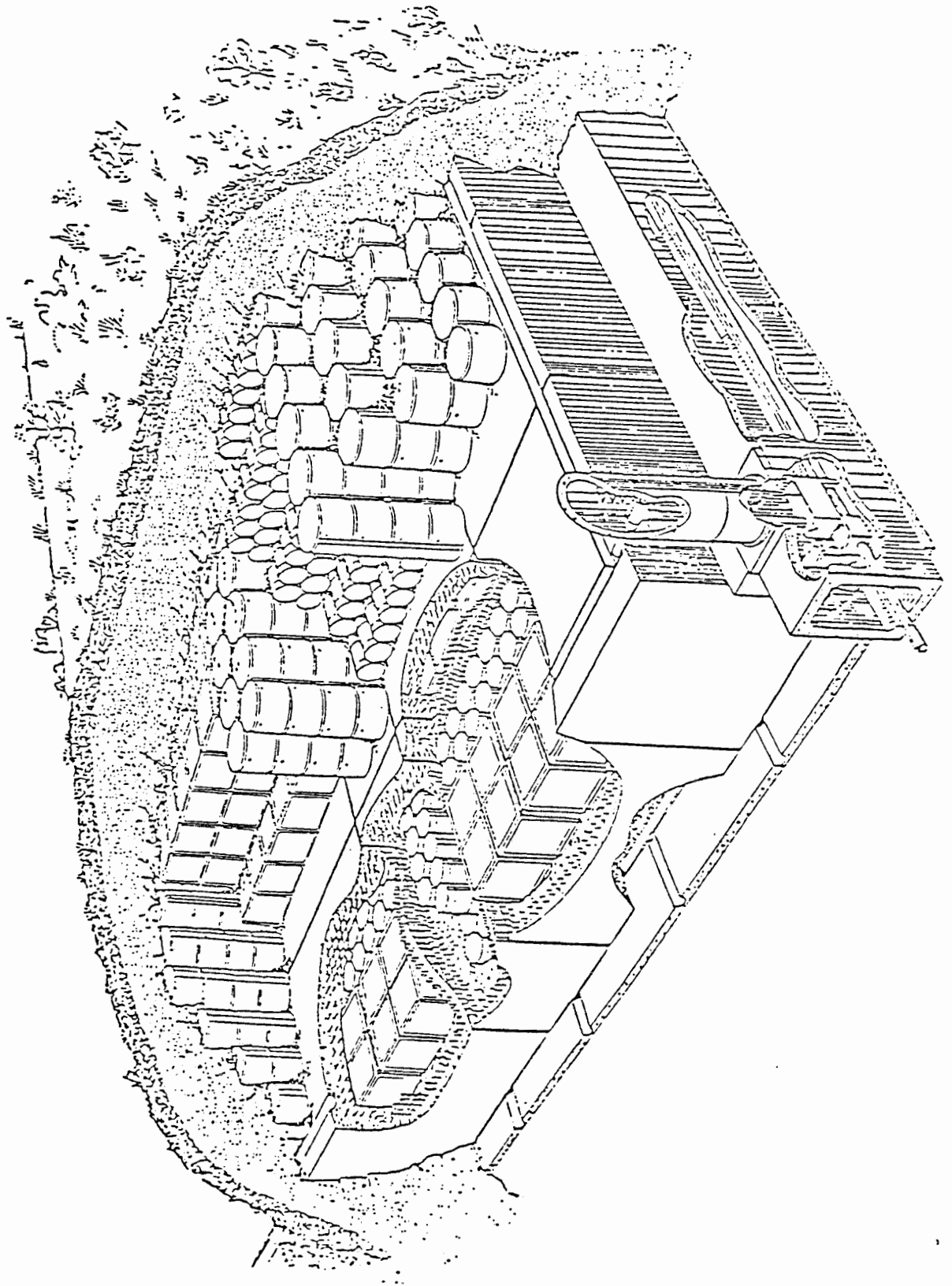


Bild 1: Frankreich, Einlagerungstechnik im Centre de la Manche /LAV 81/

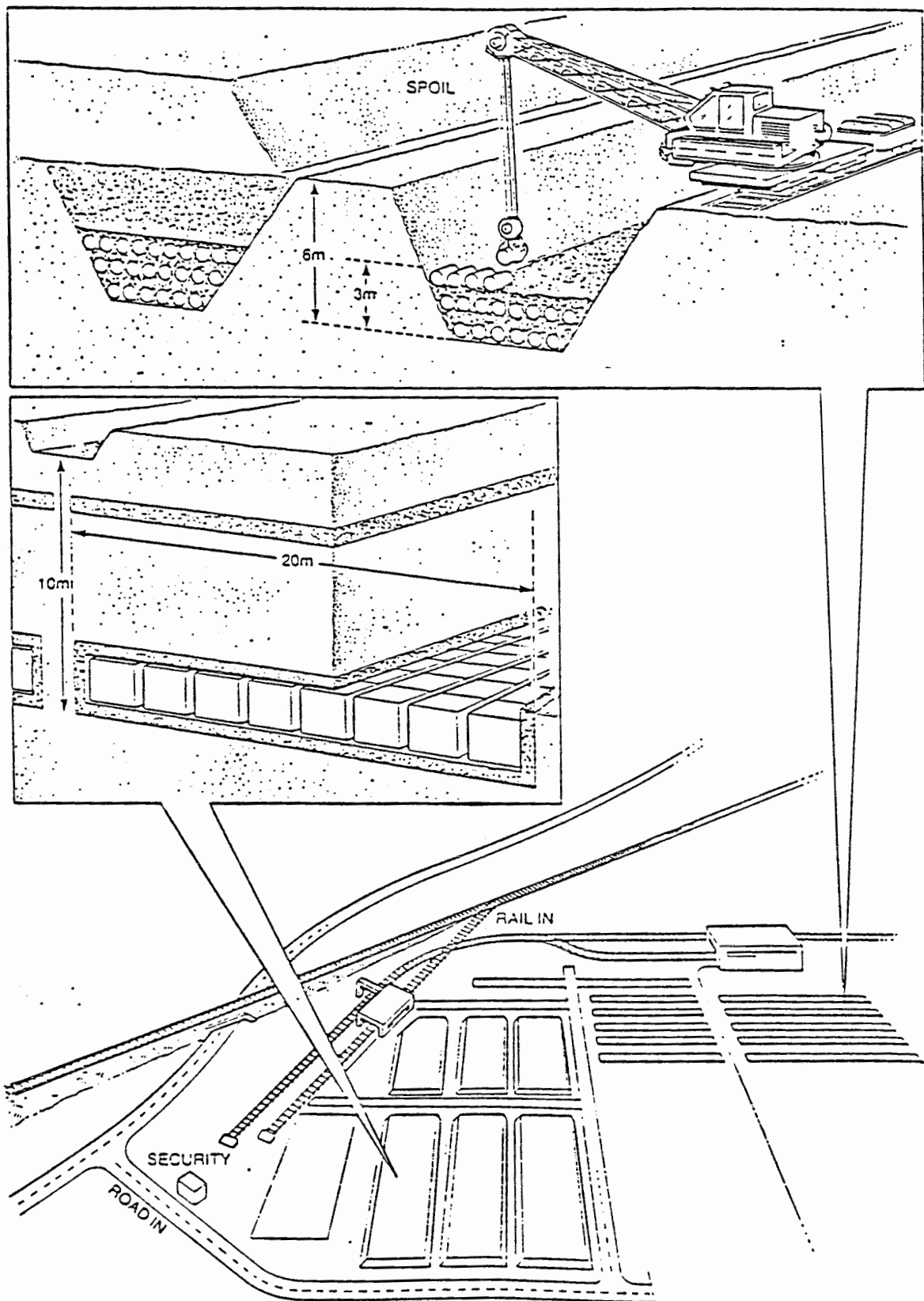


Bild 2: Großbritannien, Oberflächennahes Endlager in Elstow /NIR 83a/

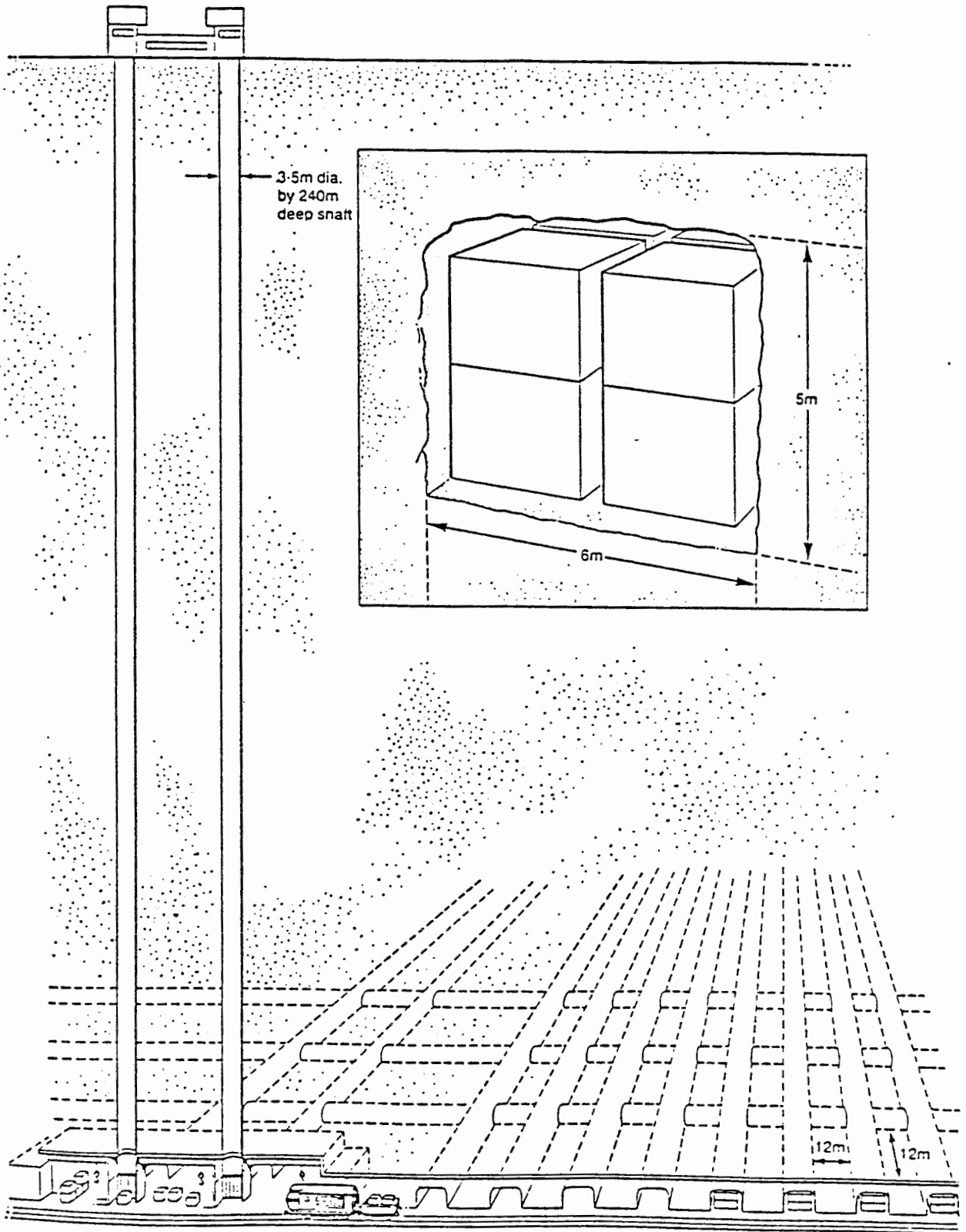


Bild 3: Großbritannien, Endlager in der Billingham Anhydrit Mine /NIR 83b/

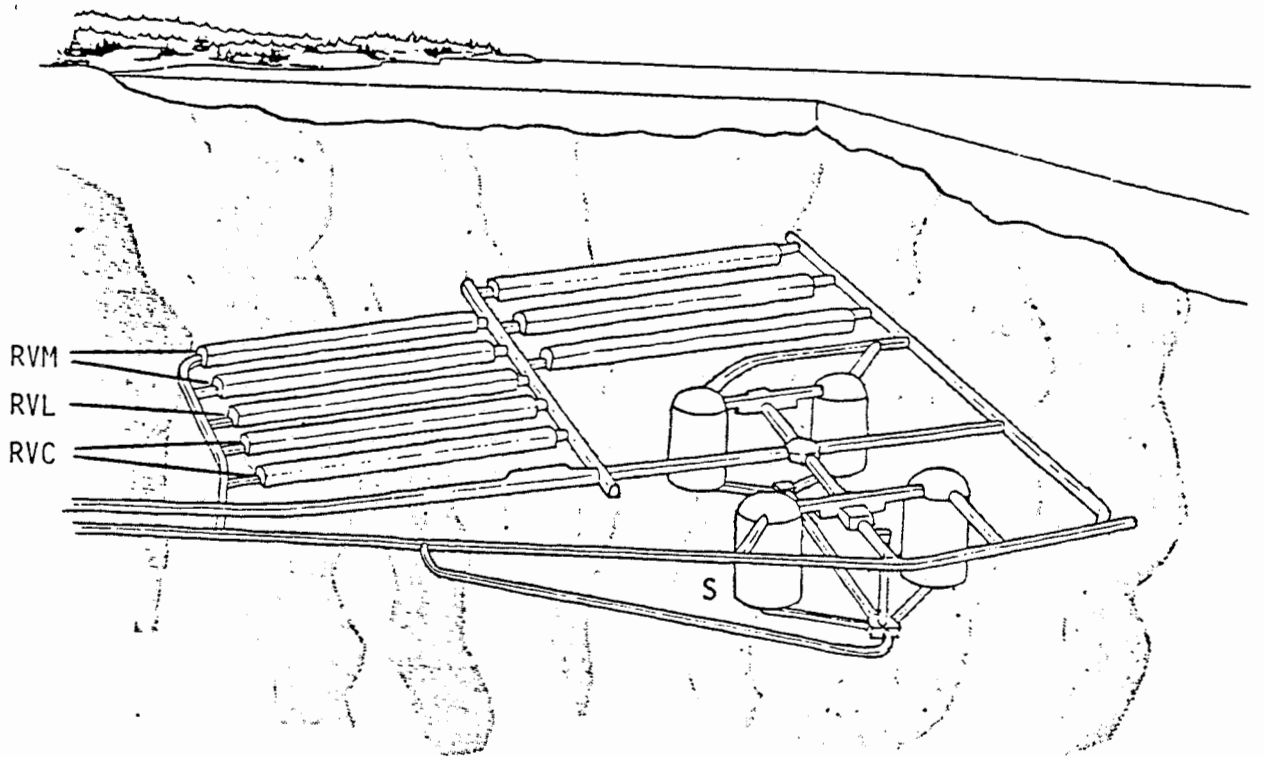


Bild 4: Schweden, Endlager SFR in Forsmark für schwach- und mittelaktive Abfälle /LAR 85/

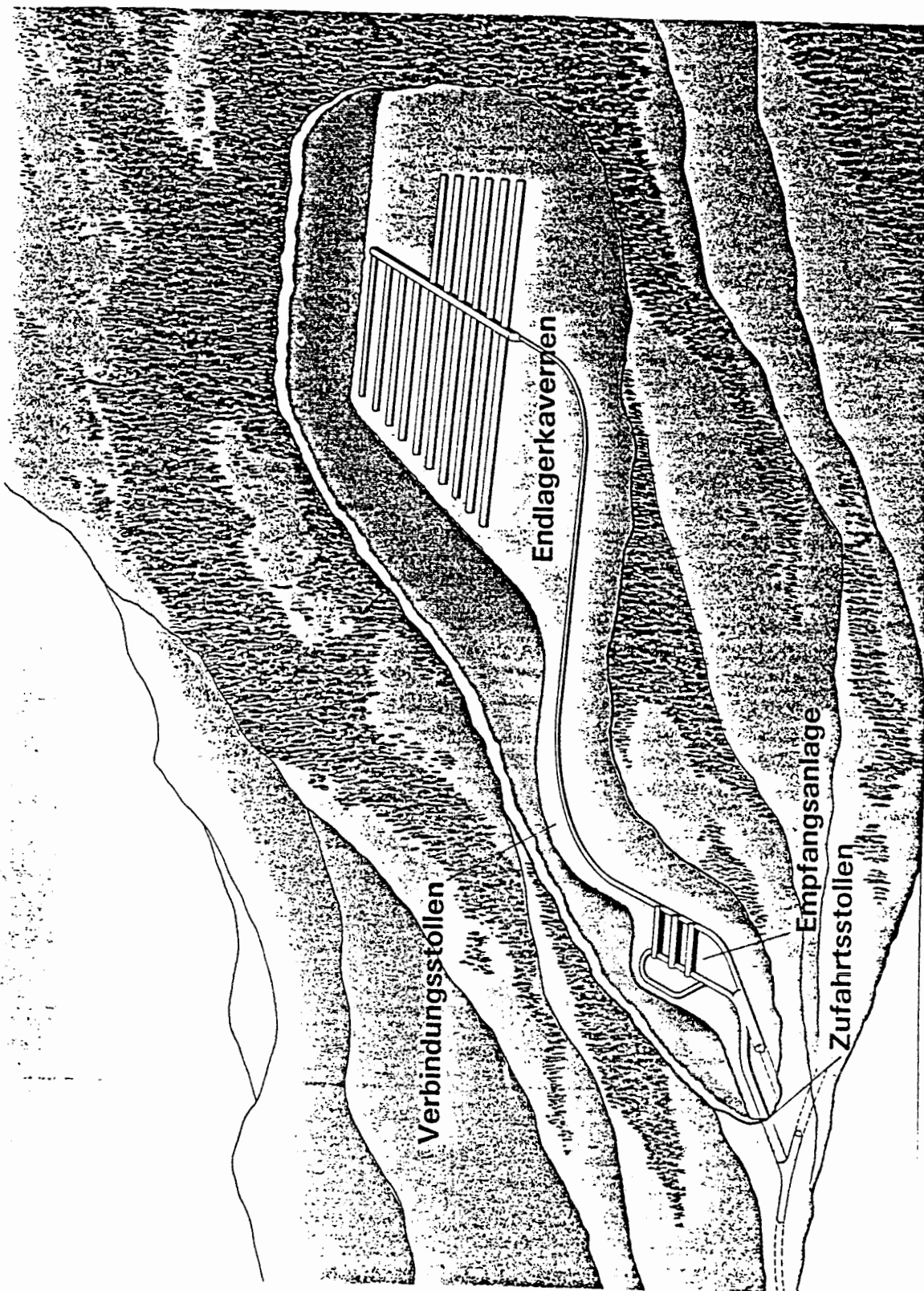


Bild 5: Schweiz, Endlager Typ B für schwach- und mittelaktive Abfälle /NAG 85/

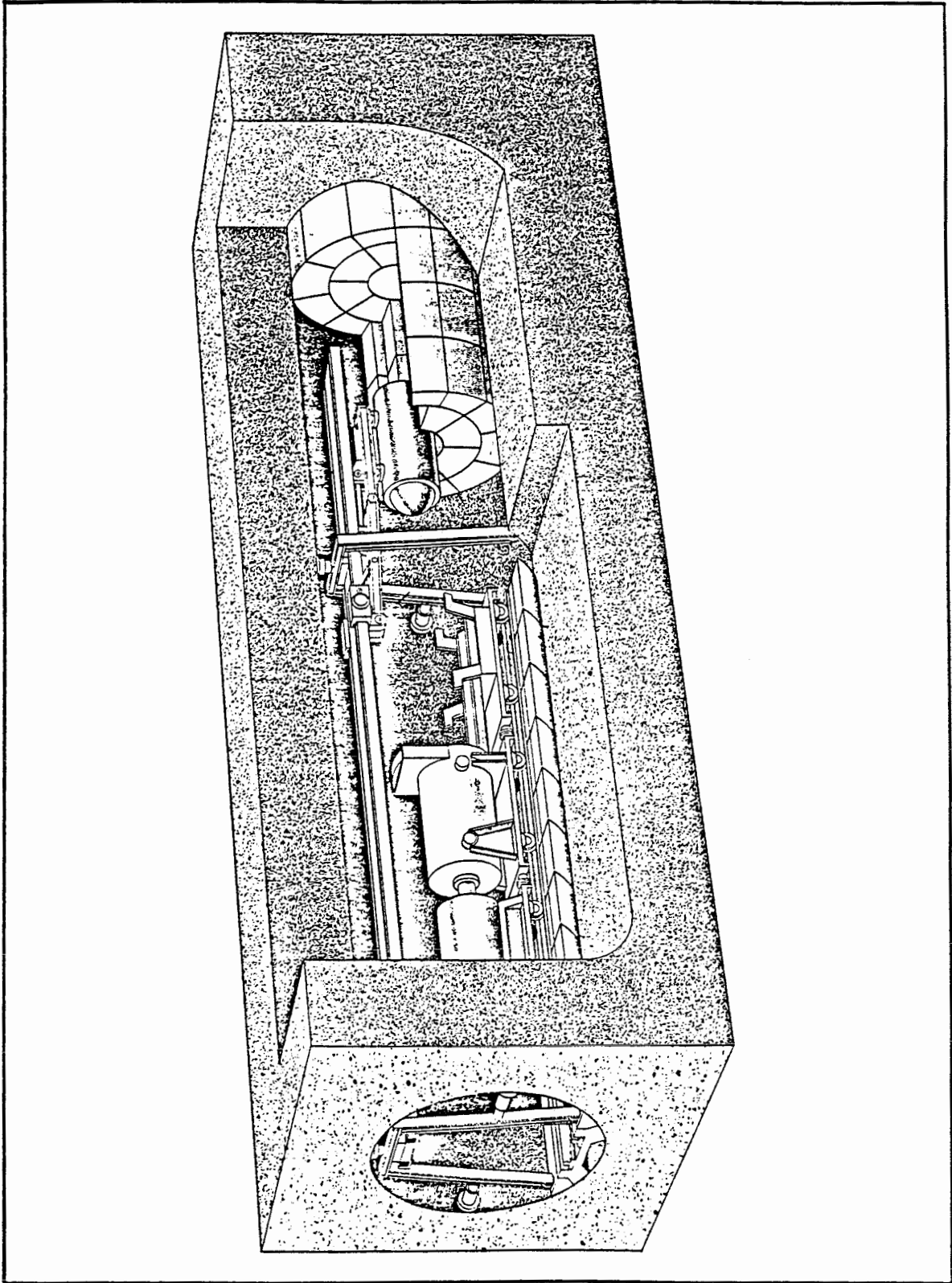
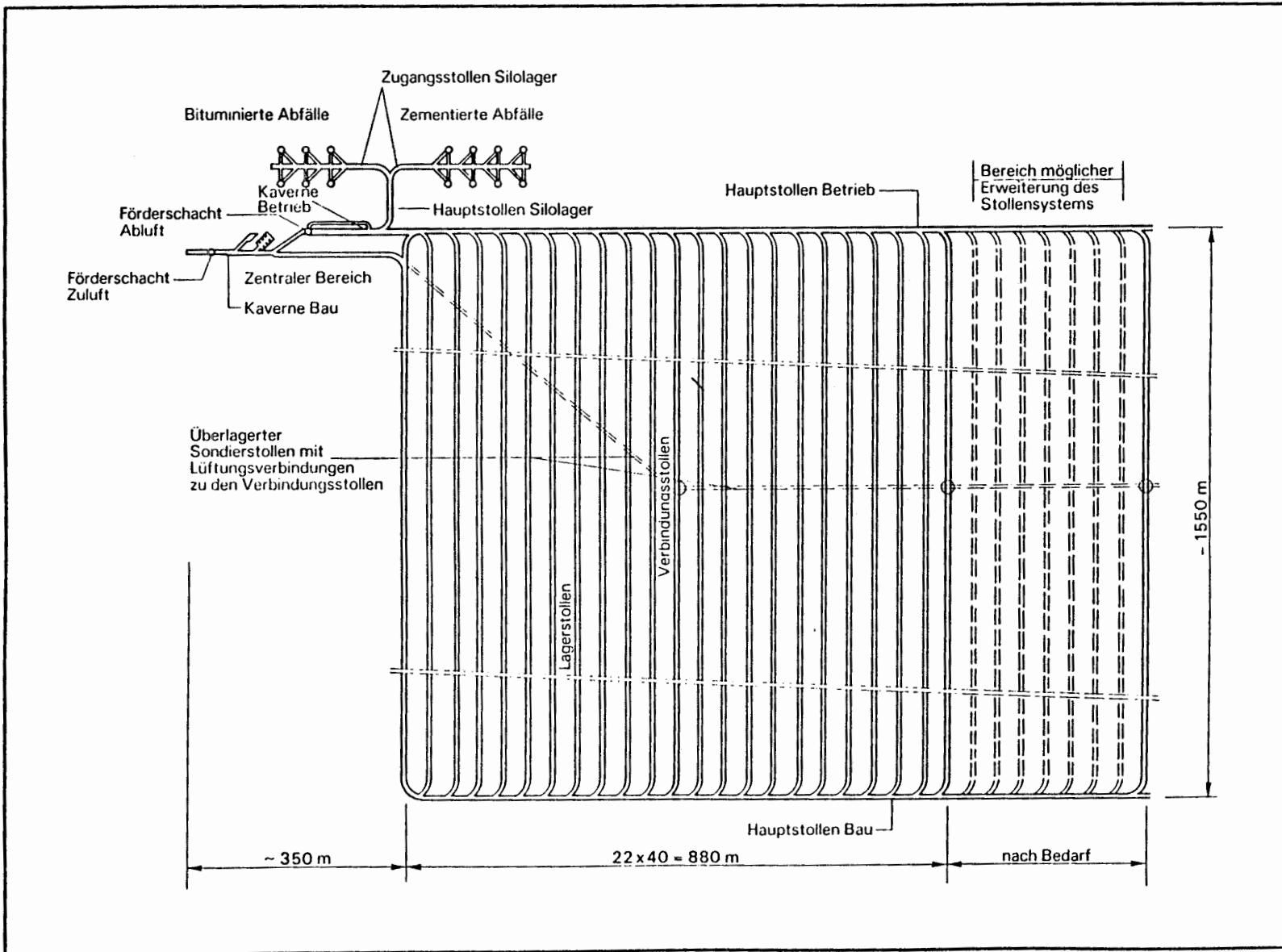


Bild 6: Schweiz, Einlagerung radioaktiver Abfälle in das Endlager Typ B /NAG 85/

Bild 7: Schweiz, Endlager Typ C für hochaktive Abfälle, Schematische Darstellung des Endlagerbereichs /NAG 85/



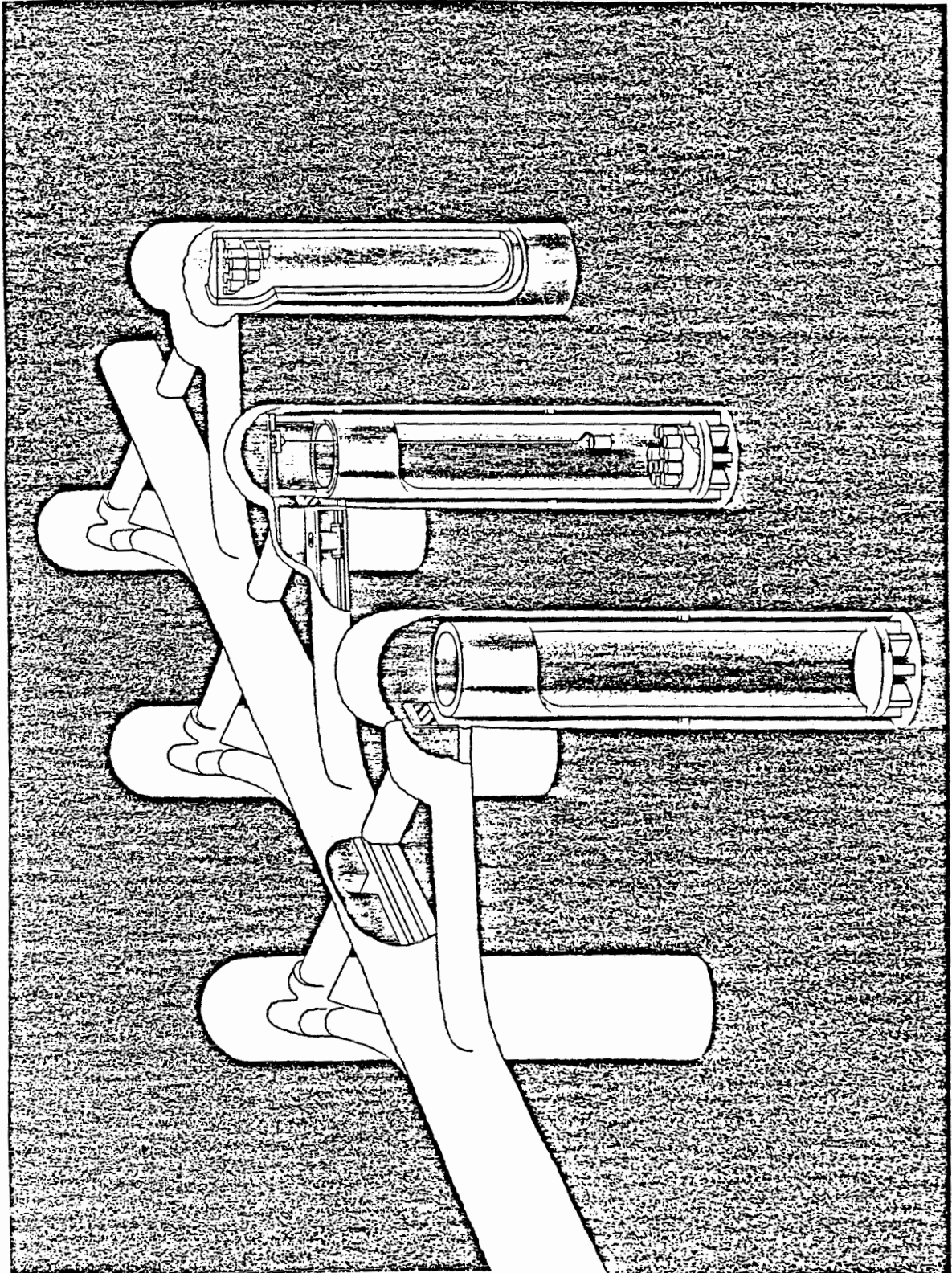


Bild 8: Schweiz, Endlager Typ C, Silos für α -haltige Abfälle /NAG 85/

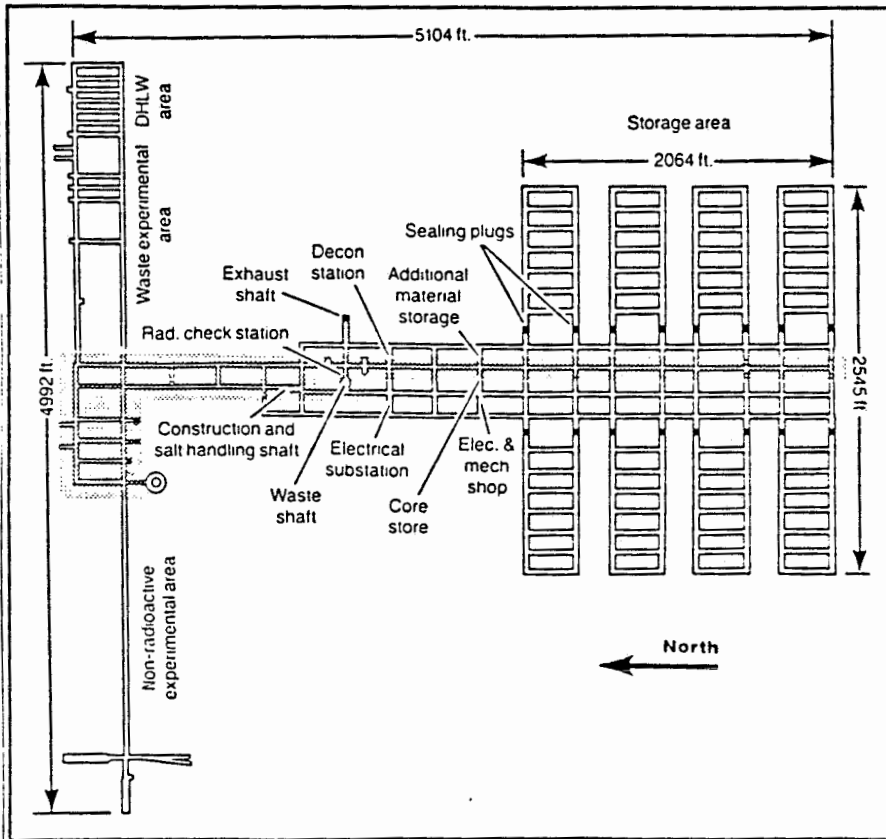


Bild 9: USA, Endlager WIPP für TRU-Abfälle, Schematische Darstellung des untertägigen Bereiches /WIP 81/

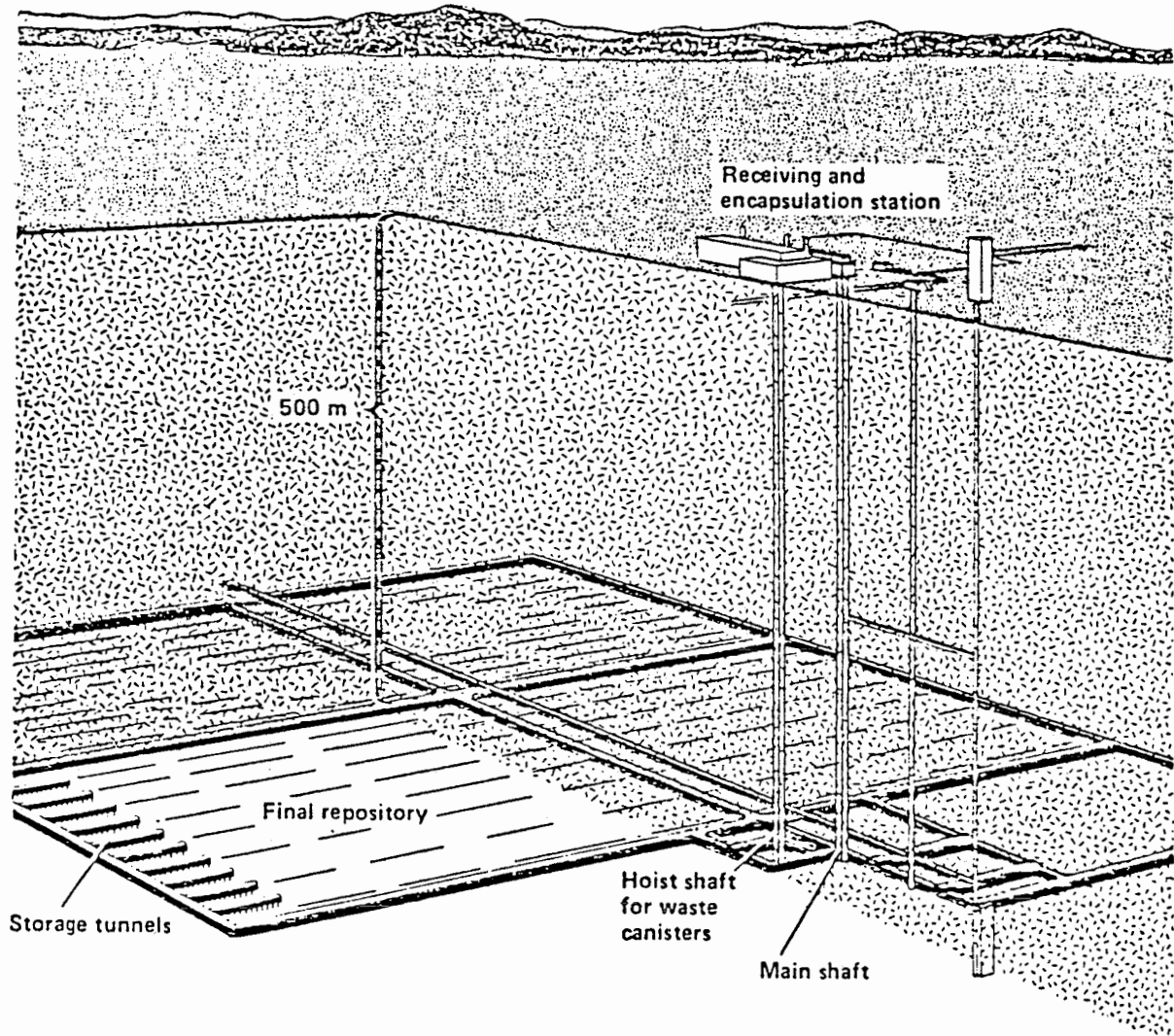


Bild 10:

Schweden, Endlager SFL für hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente /KBS 77/

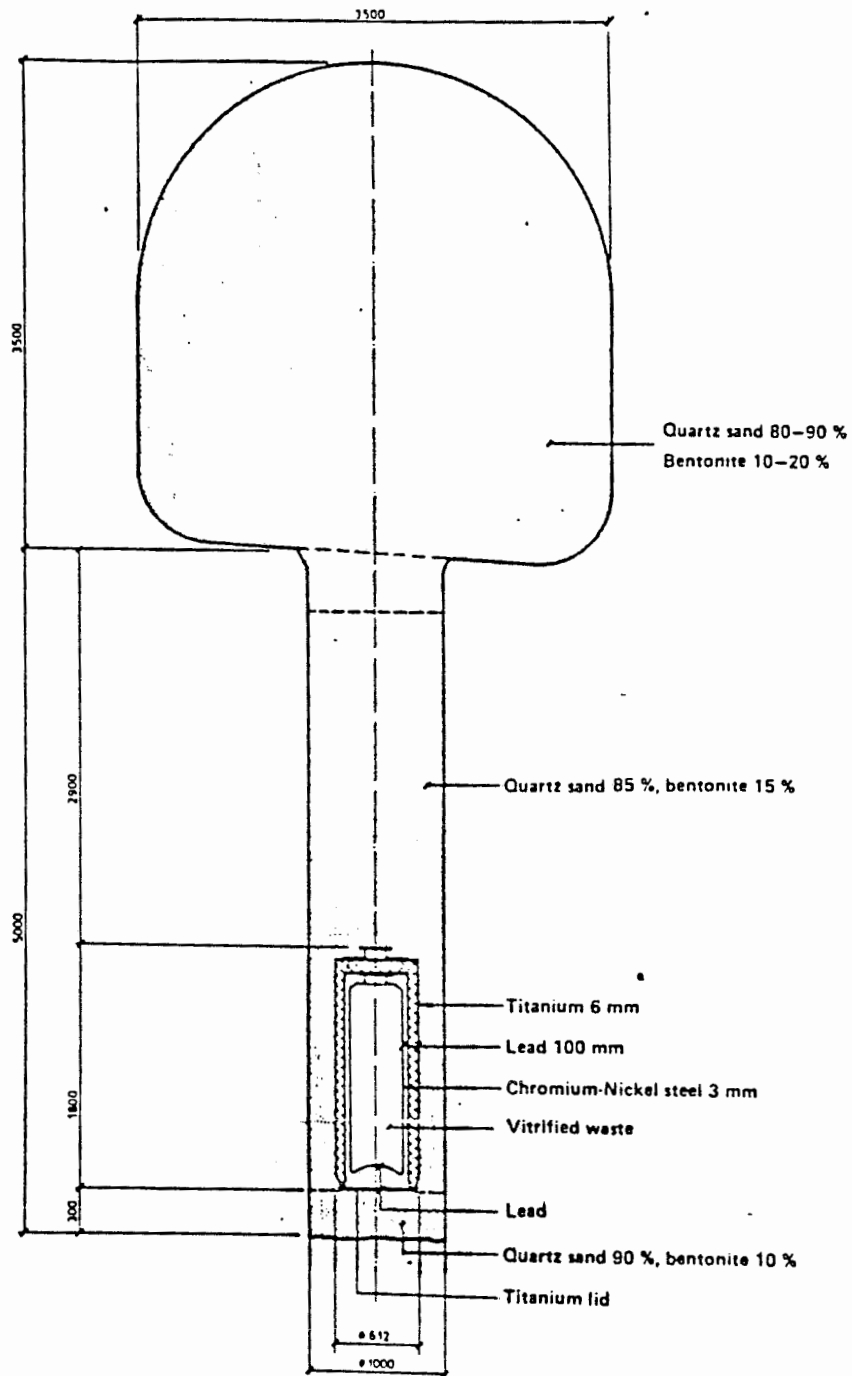


Bild 11:

Schweden, Endlager SFL, Deponierung von hochaktiven Abfällen in Bohrlöchern /KBS 77/

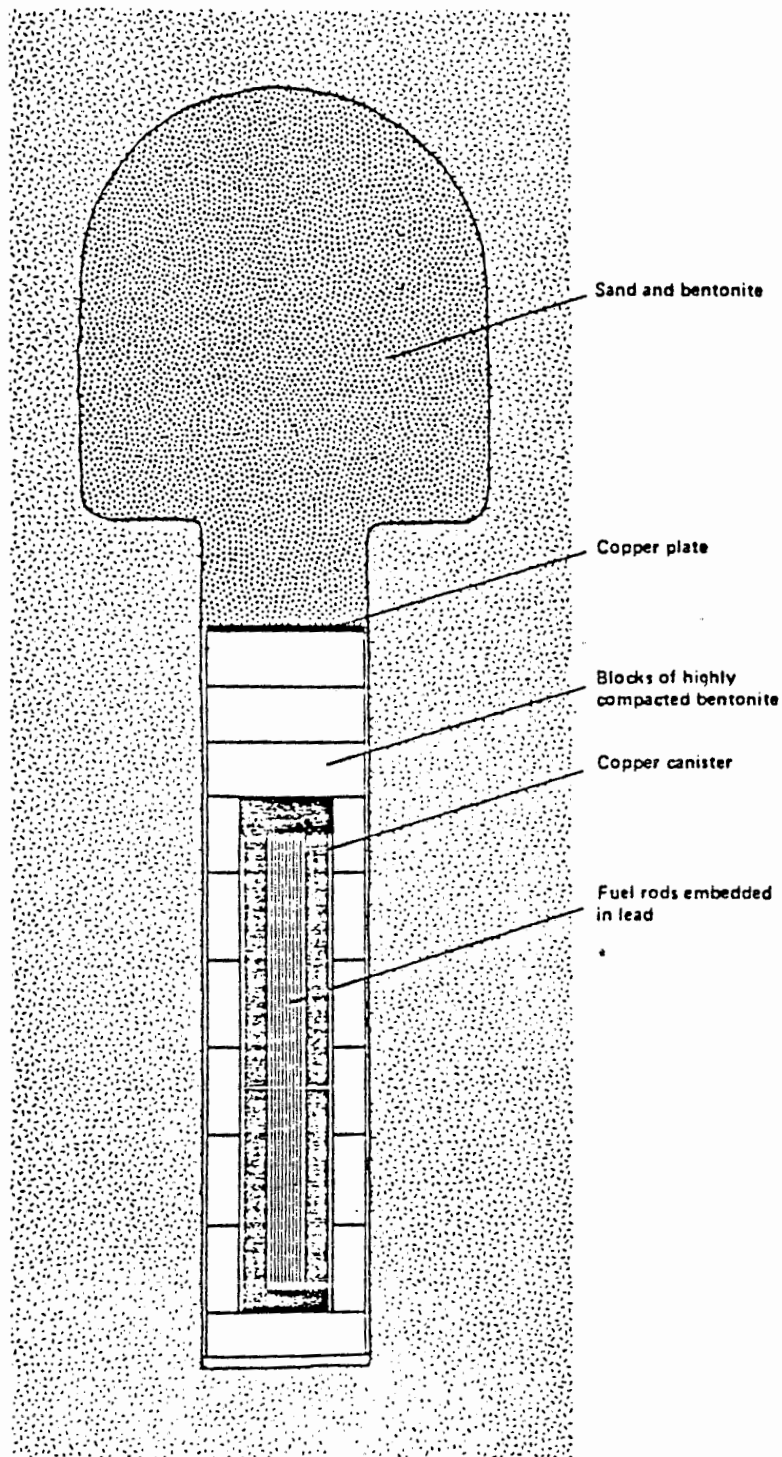


Bild 12:

Schweden, Endlager SFL, Deponierung von abgebrannten Brennelementen in Bohrlöchern /KBS 77/

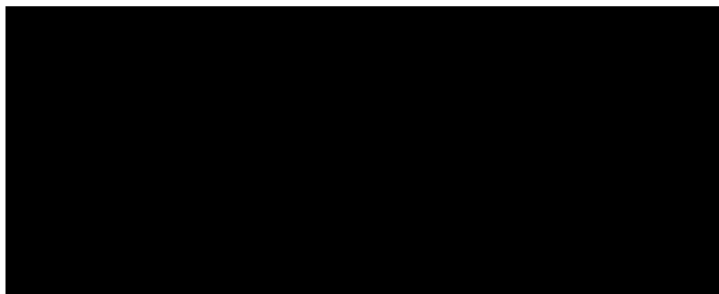
VERTEILER:

Bundesminister des Innern

Referat: RS II 5 (5 x)

GRS

Geschäftsführung
Bereichsleiter
Projektbetreuung
Abteilung 602
Autor



Gesamtauflage:

20 x