

# **Die Zeit ist reif für nachhaltige Sicherheit = Il est temps de penser à une sécurité durable = È tempo di pensare alla sicurezza durevole**

Autor(en): **Reinmann, Eduard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Zivilschutz = Protection civile = Protezione civile**

Band (Jahr): **47 (2000)**

Heft 7-8

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-369291>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

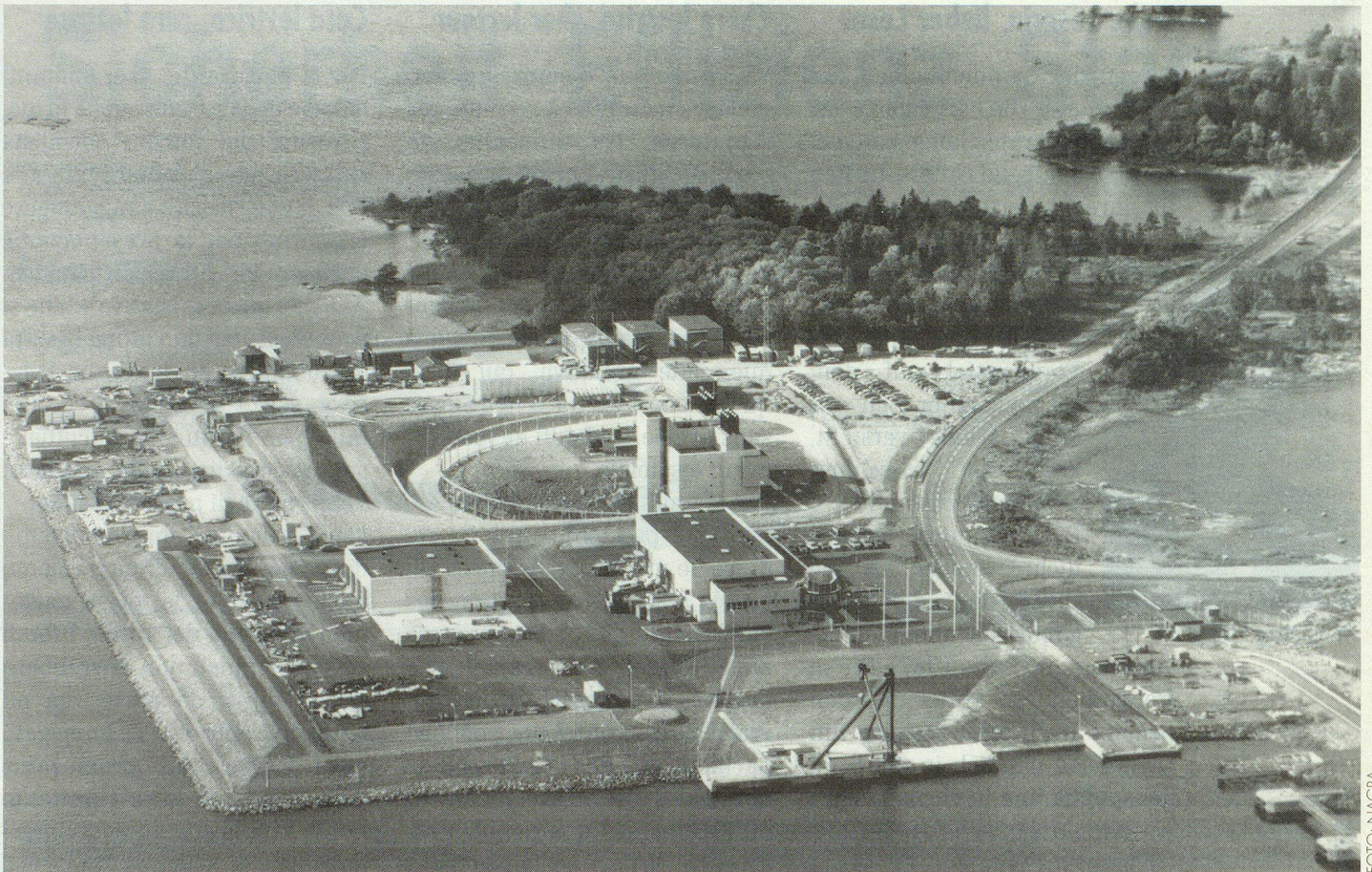


FOTO: NAGRA

Die Oberflächenanlagen des schwedischen geologischen Lagers für schwach- und mittelaktive Abfälle bei Forsmark in Schweden.

**Geologische Lagerung radioaktiver Abfälle**

# Die Zeit ist reif für nachhaltige Sicherheit

**Alle wollen eine dauerhaft sichere Entsorgung der radioaktiven Abfälle aus Kernkraftwerken, Industrie, Medizin und Forschung. Während im Ausland schon seit Jahren Anlagen für deren Lagerung in Betrieb sind, wird in unserem Land immer noch um Standorte und Konzepte gerungen. Die Schweiz ist zwar führend in der Forschung über die nukleare Entsorgung, aber mit der Umsetzung ist sie in wichtigen Teilbereichen in Verzug.**

EDUARD REINMANN

Die dauernde und sichere Entsorgung und Endlagerung radioaktiver Abfälle ist gemäss Atomgesetz eine der Voraussetzungen für die weitere Nutzung der Kernkraft. Zuständig für den Nachweis der sicheren Entsorgung ist die Nationale Genossenschaft für Lagerung radioaktiver Abfälle

(Nagra). 1985 reichte die Nagra den Bundesbehörden das Projekt «Gewähr» ein. Nach eingehender Prüfung dieses Berichtes durch die Sicherheitsbehörden, insbesondere durch die Hauptabteilung für die Sicherheit von Kernanlagen (HSK), beschloss der Bundesrat im Juni 1988, dass der Sicherheitsnachweis für alle Abfallkategorien erbracht worden sei. Gleichzeitig erliess er Auflagen zum weiteren Vorgehen.

**Zwei Lagertypen**

Die Schweiz sieht zur Entsorgung ihrer radioaktiven Abfälle zwei Lagertypen vor: ein Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle sowie eines für hochaktive und langlebige mittelaktive Abfälle. Eine von mehreren Sicherheitsbarrieren ist die Geologie. Ein geologisches Lager ist so anzulegen, dass es jederzeit innert einiger Jahre verschlossen werden kann und dass

nach dem Verschluss keine Sicherheits- und Überwachungsmassnahmen mehr erforderlich sind. Man will damit spätere Generationen davor bewahren, sich mit Altlasten befassen zu müssen. Zum Vergleich: Man kennt für schwachaktive Abfälle auch das System der oberirdischen Endlagerung in einer Betonwanne mit Drainageanlagen und einer Erdüberdeckung von wenigen Metern. Ein solches Endlagerareal muss jedoch während 300 Jahren überwacht werden. Ganz abgesehen von den mit dem Überwachungsauftrag verbundenen Unsicherheitsfaktoren, kommt dieses System für die Schweiz allein schon wegen ihrer hohen Bevölkerungsdichte nicht in Betracht.

**Schwach- und mittelaktive Abfälle**

Bei der Erarbeitung von Lagerkonzepten hat die Entsorgung von schwach- und mittelaktiven Abfällen Priorität. Es handelt

sich dabei vor allem um Betriebs- und Stilllegungsabfälle sowie um Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung. Die Abfälle dieser Kategorie machen volumenmässig rund 99 Prozent aller Abfälle aus, von der emittierten Strahlendosis her jedoch nur 1 Prozent. Noch etwas präziser: Schwach- und mittelaktive Abfälle sind zum Beispiel radioaktiv kontaminierte Filter der Wasser- und Luftkreisläufe in Kernkraftwerken, Reinigungsmaterial oder Werkzeuge. Die Hauptlast kommt jedoch vom Abbruch der Reaktoren nach deren Stilllegung. Geplant ist ein Lager tief im Berg in einem geeigneten Wirtgestein. Favorisiert wird der Wellenberg im Kanton Nidwalden (siehe Bericht auf den Folgeseiten). Mit einem System von technischen und geologischen Einschlussmassnahmen werden mehrfache Sicherheitsbarrieren gebildet. Das System der Sicherheitsbarrieren sieht wie folgt aus: Die Abfälle werden in Fässern mit Zement zu einem auslaugfesten Block vergossen und damit eingeschlossen und fixiert. Vor der Einlagerung in ein geologisches Lager werden die Fässer in einen Betoncontainer gesetzt und mit Fließzement verfüllt. Damit erreicht man eine weitere Isolation der Abfälle und verhindert den Wasserzutritt. Nach der Einlagerung in die Lagerkavernen tief drinnen im Berg werden die Kavernen für eine gewisse Zeit offen gelassen. So kann das Abfallgut kontrolliert und gegebenenfalls leicht ausgelagert werden. Kommende Generationen haben dann die Grundlagen, um den Entscheid zu fällen, aus einem geologischen Lager ein Endlager zu machen. Wenn dieser Entscheid fällt, werden die Containerzwischenräume mit einem Spezialmörtel verfüllt, der die Isolation vervollständigt.

Die geologische Umgebung der Lagerkavernen spielt eine wichtige Rolle im Sicherheitskonzept. Der Mergel des Wellenbergs ist wenig wasserdurchlässig, stabil und weist günstige hydrochemische Eigenschaften auf. Seine Standfestigkeit schützt die technischen Barrieren vor mechanischer Beanspruchung. Durch die mächtigen Gesteinsschichten wird der Wasserzutritt zum Endlager stark beschränkt. Man rechnet, dass ein solches Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle in der Lage sein muss, 100 000 Kubikmeter Abfälle aufzunehmen.

### Wenig, aber hochaktiv

Die verbrauchten Brennelemente aus Kernkraftwerken enthalten noch verwertbares Uran und Plutonium, das wieder in Brennelementen eingesetzt werden kann. In den Wiederaufbereitungsanlagen werden diese beiden Elemente abgetrennt. Die

übrigen radioaktiven Abfälle aus den Brennelementen müssen als hochaktive und langlebige mittelaktive Abfälle entsorgt werden. Wird auf die Wiederaufarbeitung der verbrauchten Brennelemente verzichtet, so müssen diese als hochaktiver Abfall entsorgt werden. Hochaktive Abfälle fallen in relativ kleinen Mengen an. Ihr Volumen wird bei der Annahme von 40 Jahren Betriebsdauer und der totalen Wiederaufbereitung bei den Schweizer Kernkraftwerken etwa 500 Kubikmeter betragen. Hinzu kommen etwa 2000 Kubikmeter langlebige mittelaktive Abfälle. Wegen der Langlebigkeit der Abfälle werden hohe Anforderungen an den Lagerstandort gestellt. Geologische Stabilität, minimale Wasserdurchlässigkeit und gute Wärmeleitfähigkeit sind einige Grundvoraussetzungen.

Hinzu kommen – wie bei den schwach- und mittelaktiven Abfällen – die Sicherheitsbarrieren. Hochaktive Abfälle werden bei der Wiederaufbereitung in Glas eingeschmolzen und kommen alsdann in dickwandige Stahlbehälter. Allein die Stahlbehälter gewährleisten eine Sicherheitsreserve von mindestens 1000 Jahren. Von sehr hoher Resistenz ist auch das die Abfälle umgebende Glas. Hinzu kommt eine dem Lagergestein und der Lebensdauer der Abfälle angepasste Verfüllung der Lagerstollen aus Tonmaterial.

Für die Entsorgung hochaktiver und langlebiger mittelaktiver Abfälle wird ein Standort in der Nordschweiz gesucht. Auf einer Fläche von 1200 Quadratkilometern wurden seit 1982 im Rahmen umfangreicher Forschungsprogramme mit Tiefenbohrungen, seismischen Messungen und hydrogeologischen Untersuchungen wissenschaftliche Daten über das kristalline Grundgebirge und die überliegenden Sedimentschichten erhoben. Die Programme sind in einer ersten Phase abgeschlossen. Heute stehen Granit und Gneis im Nordaargau (Mettauertal) und Opalinuston im Zürcher Weinland im Vordergrund.

Mit der Entsorgung hochaktiver Abfälle eilt es nicht. Weil diese noch lange Zeit Wärme produzieren, müssen sie zuerst in einem zentralen Zwischenlager in Würenlingen (ZWILAG) während rund 40 Jahren auskühlen. Zeithorizont für das geologische Lager ist somit ungefähr das Jahr 2040. ▀

*Quellen: Nagra, Bundesamt für Energie, Schweizerische Vereinigung für Atomenergie, Forum Vera, Energieforum Schweiz, Literatur, Archiv.*

## Ein Rappen für sichere Entsorgung



In der Schweiz sind die Produzenten der radioaktiven Abfälle für deren Entsorgung verantwortlich. Aus diesem Grund haben die Kernkraftwerk-Gesellschaften und das Departement des Innern (EDI), das zuständig ist für die Entsorgung der Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung, 1972 die Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle) gegründet. Genossenschafter der Nagra sind:

- Schweizerische Eidgenossenschaft
  - BKW FMB Energie AG, Bern (KKW Mühleberg)
  - KKW Gösgen-Däniken AG, Däniken
  - KKW Leibstadt AG, Leibstadt
  - Nordostschweizerische Kraftwerke, Baden (KKW Beznau I und II)
  - Energie de l'Ouest-Suisse, Lausanne
- Finanziert wird die Nagra durch die sechs Genossenschafter. Die laufenden und künftigen Entsorgungskosten sind im heutigen Strompreis enthalten. Es gilt das Verursacherprinzip. Die Zwischen- und Endlagerung belastet den Stromkonsumenten mit rund 1 Rappen pro Kilowattstunde Kernenergie.

### Die Ziele der Nagra

In den bald 30 Jahren ihres Bestehens hat die Nagra ein fundiertes Wissen erarbeitet, das internationale Anerkennung findet. Rund 65 Personen befassen sich mit den Arbeiten für die sichere Entsorgung. Nebst dem arbeiten, je nach Projekt, noch 100 bis 200 Personen im Auftragsverhältnis, so zum Beispiel das Paul Scherrer Institut, verschiedene Universitäten und ausländische Institutionen. Die Aufgaben und Ziele:

- Planung unterirdischer Anlagen für die Entsorgung aller in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle.
- Durchführung geologischer Abklärungen in möglichen Standortgebieten.
- Erbringen der Sicherheitsnachweise solcher Anlagen.
- Laufende Aufarbeitung des Know-how für den sicheren Umgang mit radioaktiven Materialien.
- Enge Zusammenarbeit mit ausländischen Institutionen mittels Informationsaustausch und Beratungsdiensten für Dritte, der Organisation gemeinsamer Tagungen und der Durchführung gemeinsamer Projekte. ▀

## Ein Zwischenlager in Würenlingen

Radioaktive Abfälle müssen zwischengelagert werden, bis ein Lager bereit ist beziehungsweise bis die Abfälle für die Einlagerung bereit sind. Verantwortlich dafür ist die 1990 gegründete ZWILAG Zwischenlager Würenlingen AG. Nach einem rund sechsjährigen Bewilligungsverfahren konnte 1996 auf dem Areal des Paul Scherrer Instituts (PSI) in Würenlingen mit dem Bau eines zentralen Zwischenlagers begonnen werden. Seit April 2000 sind die Anlagen der ersten Bauetappe in Betrieb. In einer zweiten Bauphase wird noch eine weitere Lagerhalle für schwach- und mittelaktive Abfälle gebaut. Alle Bewilligungen des Bundesrates liegen vor.

### Lagerung auf Zeit

Bei der Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen handelt es sich um eine seit Jahrzehnten erprobte Technik. Beim Bau von Kernkraftwerken wurden sowohl Lagerkapazitäten für schwach- und mittelaktive Abfälle als auch für abgebrannte Brennelemente geschaffen. Auch im Ausland stehen zahlreiche Zwischenlager in Betrieb. Der Bund, der für die Entsorgung radioaktiver Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung zuständig ist, hat die Behandlung und Zwischenlagerung dieser Abfälle im PSI (Bundeszwischenlager) bereits verwirklicht. Die Verbrennung und Konditionierung ist Aufgabe der ZWILAG. Ein Verbrennungsofen modernster Technologie wird im Jahr 2001 in Betrieb genommen. Unter Zwischenlagerung wird die kontrollierte Aufbewahrung der Abfälle auf Zeit verstanden. Für die schwach- und mittelaktiven Abfälle erstreckt sich die Lagerdauer bis zur Inbetriebnahme des geologischen Lagers, für hochaktive Abfälle bis sie – wie bereits erwähnt – einen Teil ihrer Wärme abgegeben haben.

### Breites Abfallspektrum

Im Zwischenlager der ZWILAG, in den Kernkraftwerken sowie im Bundeszwischenlager werden alle Kategorien radioaktiver Rückstände schweizerischen Ursprungs zwischengelagert. Zur Hauptsache sind dies:

- Abgebrannte Brennelemente aus den schweizerischen Kernkraftwerken. Diesbezüglich stellt das zentrale Zwischenlager eine gemeinschaftliche Ergänzung der Brennelementelagerbecken und der Lager für konditionierte Betriebsabfälle in den Kernkraftwerken dar.
- Verglaste hochaktive Abfälle aus der

Wiederaufbereitung abgebrannter Brennelemente schweizerischen Ursprungs in ausländischen Anlagen, die ab dem Jahr 2000 zurück in die Schweiz kommen.

- Schwach- und mittelaktive Abfälle aus der Wiederaufbereitung abgebrannter Brennelemente.
- Schwach- und mittelaktive Betriebsabfälle aus den Kernkraftwerken und später die Stilllegungsabfälle.
- Stilllegungsabfälle aus dem Versuchsreaktor Lucens.
- Abfälle aus dem Bereich des Bundes, nämlich radioaktive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung.

### Erprobte und sichere Konzepte

Bei der Gesamtkonzeption des Zwischenlagers war die Sicherheit von zentraler Bedeutung. Folgende Störfälle mussten bei der Auslegung berücksichtigt werden: Erdbeben, Flugzeugabsturz mit Folgebrand, Wassereintritt von aussen, Brand, Explosion und Verpuffung, Abschirmung, Grundwasserschutz, Helikopterabsturz, Objektschutz entsprechend den Anforderungen der Sektion Nukleartechnik und Sicherung des Bundesamtes für Energie. Je nach Gefährdungspotential wird die Sicherheit durch bauliche Massnahmen und/oder die Gebinde des Lagergutes gewährleistet.

Die Sicherheit beginnt jedoch schon beim Transport. Der An- und Abtransport der radioaktiven Abfälle aller Kategorien erfolgt mit behördlich genehmigten Transportbehältern. Radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente werden seit vielen Jahren per Bahn und per Lastwagen transportiert. Allein in Europa wurden schon rund 9000 Transporte mit abgebrannten Brennelementen durchgeführt, ohne dass sich je ein Zwischenfall mit einer Freisetzung des radioaktiven Behälterinhalts ereignet hätte. Optimale Sicherheit gewährleistet auch die Abfallbehandlung. In der hochmodernen Konditionierungsanlage werden Abfälle aus definierten Bereichen dekontaminiert, zerkleinert, verfestigt und verpackt. High-tech der neusten Generation ist die Verbrennungsanlage. Die radioaktiven Abfälle werden nicht mehr auf konventionelle Art bei 850 Grad Celsius verascht, sondern mit einem Hochleistungs-Plasmabrenner bei sehr hohen Temperaturen thermisch zersetzt oder aufgeschmolzen.

Weltweit bewährt hat sich das Prinzip der Trockenlagerung von verglasten hochaktiven Abfällen. Sowohl die hochaktiven Glaskokillen als auch die abgebrannten Brennelemente werden in massiven, bis zu 150 Tonnen schweren Stahlbehältern, die gleichzeitig als Transportbehälter dienen, zwischengelagert. Diese Behälter schützen die Abfälle und Brennelemente gegen alle

denkbaren Störfälle. Im amerikanischen Kernkraftwerk Sury stehen solche Behälter lediglich auf einem mit einem Zaun gesicherten Areal. Im Zwischenlager Würenlingen ist die Lagerhalle so konzipiert, dass durch die Seitenwände dauernd Frischluft zugeführt und die Wärme über die Dachöffnungen abgegeben wird.

Noch eine Information für Technikinteressierte: Für den 1,2 km langen Transport der Stahlbehälter von der Bahnstation ins Zwischenlager steht ein eigenes Transportfahrzeug zur Verfügung, das für eine Nutzlast von 160 Tonnen ausgelegt ist. Es ist 15,6 Meter lang und hat acht Achsen mit je acht Reifen. Angetrieben wird es mit einem 430-PS-Dieselmotor. ▣

## Blick ins Ausland

Mit der geologischen Lagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle, die ohne Zwischenlagerung entsorgt werden können, ist man im Ausland bedeutend weiter als in der Schweiz. Einige Beispiele: In Schweden konnte bereits 1988 an der Küste von Forsmark ein Lager in Betrieb genommen werden. Das Lager mit vorerst vier Kavernen liegt im Granit unter der Ostsee und ist von einer rund 50 Meter dicken Gesteinschicht überdeckt. Für die Lagerung mittelaktiver Abfälle wurde ein 70 Meter tiefes Silo mit einem Durchmesser von 30 Metern ausgebrochen. Eine Schicht wasserdichter und quellfähiger Betonit (Ton) umhüllt die Konstruktion und sorgt für eine gute Isolation.

In Finnland wurde 1992 in Olkiluoto in unmittelbarer Nähe von zwei Kernkraftwerken ein geologisches Lager in Betrieb genommen. In granitähnlichem Gestein wurden – mit Basis rund 100 Meter unter Tag – zwei Silos von je 34 Metern Höhe und 24 Metern Durchmesser herausgebrochen. Die Silos haben eine dem Lagergut angepasste Auskleidung. Ein Silo dient der Aufnahme schwachaktiver Abfälle, im andern werden mittelaktive Abfälle eingelagert. In Lovissa ist das zweite geologische Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle in Betrieb.

In Frankreich mit dem höchsten Atomstromanteil aller Staaten befasst man sich schon länger mit der Lagerung von Nuklearabfällen. 1969 nahm das Centre de la Manche am Ärmelkanal den Betrieb auf. Im oberflächennahen Lager wurden bis 1994 rund 400 000 Kubikmeter schwach- und mittelaktive Abfälle eingelagert. 1992 wurde zudem ein zweites Lager für schwachaktive Abfälle – das Centre de l'Aube – in Betrieb genommen. Auch dieses ist ein Oberflächenlager. ▣

## Wie geht es weiter am Wellenberg?

Die Nagra, verantwortlich für die Evaluierung von Lagerstandorten und für die technisch-wissenschaftlichen Untersuchungen, nimmt diese Aufgabe beileibe nicht auf die leichte Schulter. Das Verfahren zur Bewertung von Standorten für ein Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle begann bereits 1978. Zuerst wurden die sogenannten Wirtgesteine gewählt, also Gesteinsarten, welche einen dichten Einschluss ermöglichen. Dann wurden aus ursprünglich hundert möglichen Lagerstandorten in mehreren Schritten insgesamt vier potentielle Standorte gewählt: Bois de la Glaive im Kanton Waadt, Oberbauenstock im Kanton Uri, Piz Pian Grand im Kanton Graubünden und Wellenberg im Kanton Nidwalden. An diesen Orten wurden geologische und hydrogeologische Untersuchungen durchgeführt. Schliesslich entschied man sich für den Standort Wellenberg, weil dieser vor allem bezüglich des grossen Volumens von dichtem Mergelgestein entscheidende Vorteile bietet. Hinzu kommen weitere

Vorteile wie die gute Erschliessung durch Schiene und Strasse.

### Der lange Weg zum geologischen Lager

Aber noch ist es nicht soweit. 1993 hatte die Nagra den Wellenberg als Standort für ein Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle vorgeschlagen. Die Standortgemeinde Wolfenschiessen stimmte dem Projekt zu. Ein Jahr später wurde die Genossenschaft für nukleare Entsorgung Wellenberg gegründet und am 29. Juni 1994 das Rahmenbewilligungsgesuch eingereicht. Am 25. Juni 1995 wurden vom Nidwaldner Volk die beiden Wellenberg-Vorlagen – die Stellungnahme der Nidwaldner Regierung zum Rahmenbewilligungsgesuch und die Erteilung der Konzession zur Nutzung des Untergrundes – knapp abgelehnt. Damit war der Bau eines Sondierstollens von maximal 2000 m Länge blockiert. Andererseits kamen 1996 die beiden nuklearen Sicherheitsbehörden des Bundes (Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK und Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen) zum Schluss, dass es aus der Sicht der nuklearen Sicherheit und des

Strahlenschutzes keine Gründe gibt, die gegen eine Erteilung der Rahmenbewilligung sprechen. Eine in der Folge eingesetzte technische Arbeitsgruppe Wellenberg kam zum Schluss, es sollten mit einem Sondierstollen weitere Untersuchungen durchgeführt und die noch offenen Fragen geklärt werden.

Seit das Lagerkonzept ein Diskussions-thema ist, stehen zwei «Philosophien» im Raum. Der Auffassung, ein Endlager müsse nach seinem Verschluss endgültig sein und dürfe nachfolgende Generationen nicht mehr belasten, steht die Forderung nach dauernder Überwachung und Rückholbarkeit gegenüber. Dieses Begehren hat in jüngerer Zeit an Boden gewonnen. In der Folge setzte Bundesrat Moritz Leuenberger, Vorsteher des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie, Kommunikation (UVEK), eine Expertengruppe «Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (EKRA)» ein, welche am 7. Februar 2000 ihren Schlussbericht veröffentlichte. Das von der EKRA entwickelte Konzept der kontrollierten geologischen Langzeitlagerung verbindet die Endlagerung mit der Möglichkeit der Reversibilität. Zusätzlich zum Hauptlager sieht es die Errichtung eines Testlagers und eines



FOTO: NAGRA

Die Nagra hat den Nidwaldner Wellenberg als Standort für ein geologisches Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle vorgeschlagen.

Pilotlagers sowie eine längere Beobachtungsphase vor. Auch nach dem Verschluss des Hauptlagers können Überwachung und Kontrolle im Rahmen des vom Hauptlager unabhängigen Pilotlagers durchgeführt werden. Beobachtungen im Pilotlager erlauben Eingriffe im Hauptlager und wenn nötig die Rückholung der eingelagerten Abfälle (Anmerkung der Redaktion: Ein typisch schweizerischer Kompromiss). Weiter kam die EKRA zum Schluss, dass nur ein verschlossenes geologisches Tiefenlager in Frage kommen kann und dass der Wellenberg aufgrund der heutigen Kenntnisse die Anforderungen sowohl für die geologische Endlagerung als auch für die geologische kontrol-

lierte Langzeitlagerung erfüllt. Es wird empfohlen, den Sondierstollen für vertiefere Abklärungen des Standorts Wellenberg zu bauen.

Ferner ist die EKRA zum Schluss gekommen, dass das im Hinblick auf ein Lager für hochaktive Abfälle erkundete Wirtsgestein Opalinuston im Zürcher Weinland grundsätzlich für beide Lagerkonzepte (geologische Endlagerung und kontrollierte Langzeitlagerung) geeignet ist. Nach Abschluss des noch ausstehenden Entsorgungsnachweises ist die Standortcharakterisierung voranzutreiben und die Lagerplanung und Standorterkundung an die Hand zu nehmen. ▣

## Kampf um den Wellenberg wird weitergeführt

Etwas mehr als fünf Jahre sind verflossen seit der Absage des Nidwaldner Volkes zu den Wellenberg-Plänen der Nidwaldner Regierung und der Nagra. Das Komitee für die Mitsprache des Nidwaldner Volkes bei Atomanlagen (MNA), das 1986 den Kampf gegen die Endlagerpläne aufgenommen und die Abstimmung überhaupt erst ermöglicht hatte, will sich jedoch nicht auf den «Lorbeeren» ausruhen. Im Gegenteil: Der am 7. Februar 2000 abgelieferte Bericht der vom Bundesrat eingesetzten Expertengruppe EKRA hat neu aufgerüttelt. Laut MNA-Präsident Peter Steiner fanden zwar viele Überlegungen des MNA, wie zum Beispiel die Rückholbarkeit des Lagergutes, darin Eingang. Als irritierend wird jedoch die Aussage empfunden, die einen Sondierstollen am Wellenberg zum jetzigen Zeitpunkt empfiehlt. Das MNA hält deshalb an seiner grundsätzlichen Kritik fest und rüstet sich aufgrund der jüngsten Entwicklung rund um den Wellenberg erneut zum Kampf.

Zivilschutz wollte mehr über die Gründe des Widerstands erfahren und sprach mit MNA-Präsident Peter Steiner. Für ihn sprechen sowohl konzeptionelle als auch grundsätzliche Überlegungen gegen ein weiteres Vorgehen am Wellenberg. Zum Konzeptionellen: «Mit dem Projekt hängen zu viele Ungewissheiten zusammen», sagte er. «Es gibt keine Erfahrung darin, wie sich gefährliches Lagergut während langen Zeiträumen verhält. In einem äusserst komplexen System laufen physikalische und chemische Prozesse ab, deren Auswirkungen uns unbekannt sind. Es kann zum Beispiel zur Bildung von Gasen kommen. Auch die Bedeutung der sogenannten Halbwertszeiten wird unterschätzt, denn diese müssen mindestens mit zehn

multipliziert werden, bis die Radioaktivität auf ein umweltverträgliches Mass abgeklungen ist. Das Unsicherheitspotential ist enorm.»

Zum Grundsätzlichen: «Mir ist weltweit kein Lager für radioaktive Abfälle bekannt, das auf einer Bruchstelle der Erdkruste angesiedelt ist. Auf einer solchen befinden wir uns jedoch. Die damit verbundene Alpenfaltung und Erdbebentätigkeit wird noch während vieler Millionen Jahre fort-dauern und eine labile Position bewirken. Dank der Alpenfaltung haben wir aber auch Wasser. Die Alpen und damit auch der Wellenberg sind das Wasserschloss Europas. Weltweit wird das Wasser jedoch immer rarer. Von ihm hängt das Überleben der Menschen ab. Es ist deshalb geradezu fahrlässig, die zentralen Wasservorkommen zusätzlich mit einer Risikoanlage zu gefährden. Eine weitere Gefahr ist der Transport des Atommülls, der durch dicht besiedeltes Gebiet wie die Agglomeration Luzern führt. Mir ist kein Land bekannt, das Lagerstätten für radioaktive Abfälle mitten im Siedlungsraum angelegt hat. Weltweit werden periphere Standorte gewählt. Hinzu kommen ökonomische Überlegungen. Das Engelbergertal und insbesondere Engelberg ist ein Tourismusgebiet mit einer sensiblen Wirtschaft. Eine Lagerstätte für Nuklearabfälle wird die Gegend in Verruf bringen und alle Bemühungen für einen Qualitätstourismus zunichte machen.»

Schliesslich, sagte Steiner, hätten Nagra und GNW mit ihrem Vorgehen 1995 das Vertrauen der Bevölkerung verspielt. «Um das Vertrauen einer betroffenen Region zu gewinnen, ist ein offenes Vorgehen, welches auch die Schwächen eines Projektes eingesteht, unbedingte Voraussetzung.» ▣

Im Felslabor Grimsel der Nagra bauen Wissenschaftler ein Messgestänge in ein Bohrloch ein.

## Forschungsprojekte im Felslabor Grimsel

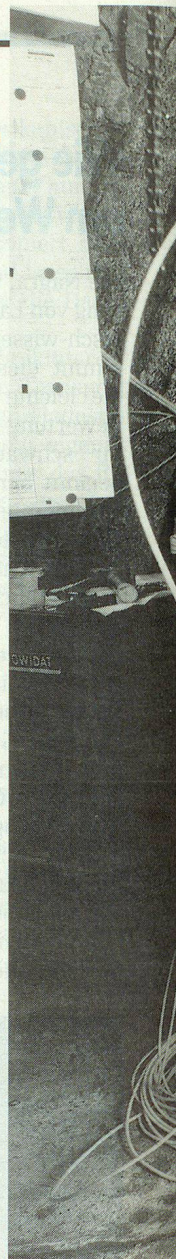
Am 20. Juni 1984 wurde das Nagra-Felslabor Grimsel eröffnet. Das Labor erlaubt Forschung auf hohem Niveau in einem breiten Spektrum. Das Felslabor liegt auf einer Höhe von 1730 Metern über Meer und befindet sich im Granitgestein des Aarmassivs im Kanton Bern, etwa 450 Meter unter dem Juchlistock. Durch seine unterschiedlichen geologischen Eigenschaften – es umfasst sowohl wasserführende und geklüftete als auch homogene Gesteinsbereiche – bietet das Felslabor Grimsel ideale Rahmenbedingungen für Versuche.

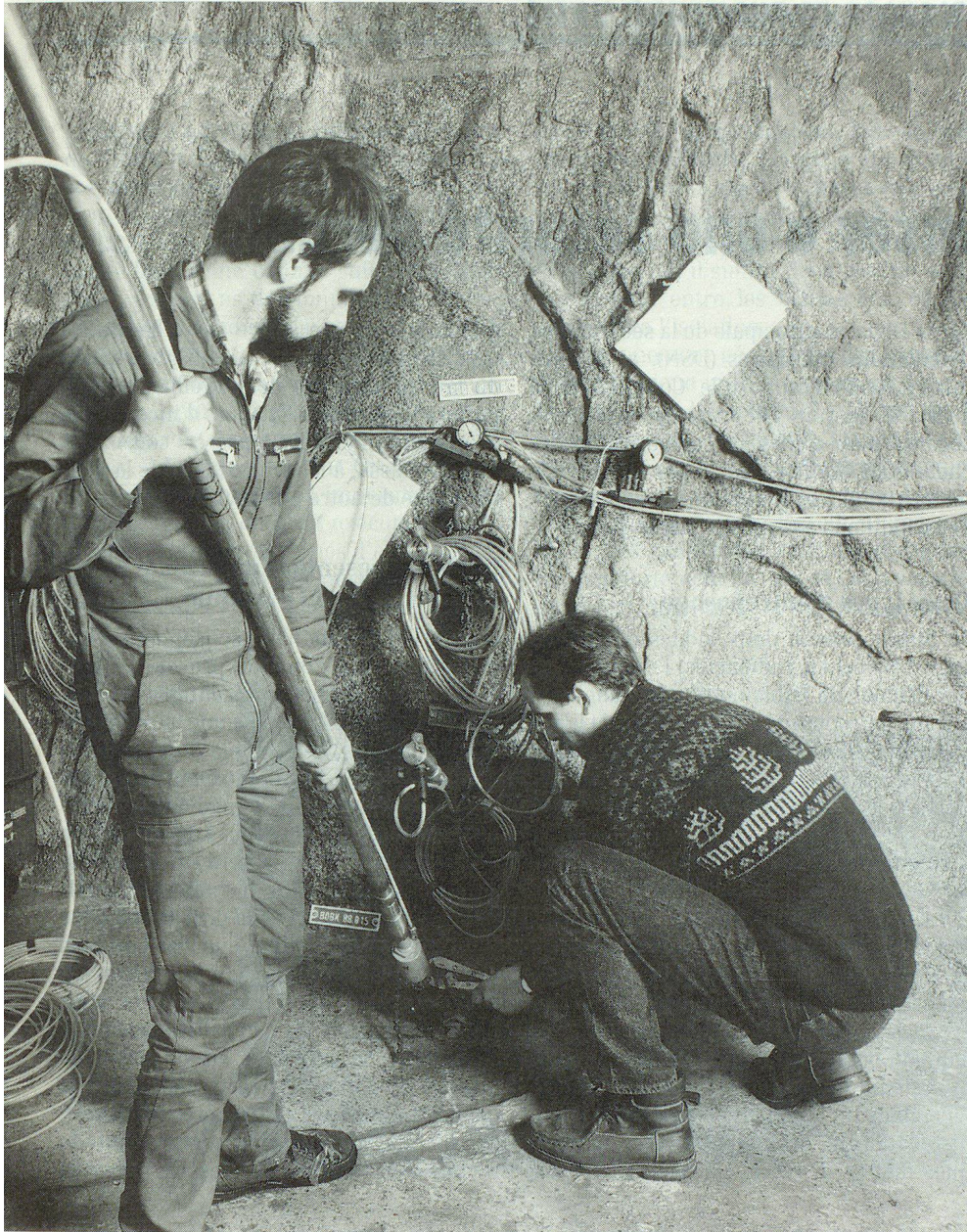
### Internationale Zusammenarbeit

Seit 1984 haben eingespielte Expertenteams Versuchsprogramme durchgeführt und sich ein international anerkanntes Know-how erarbeitet. Mittlerweile beteiligen sich 18 Partnerorganisationen aus Deutschland, Spanien, Frankreich, Japan, Schweden, USA, Taiwan und der Tschechischen Republik sowie zahlreiche in- und ausländische Universitäten, Institute und Firmen an den Arbeiten. Die Europäische Union (EU) sowie das Bundesamt für Bildung und Wissenschaft in Bern fördern mit finanziellen Mitteln einzelne Projekte.

### Schwerpunkte verlagern sich

In den ersten Jahren beantwortete man im Felslabor vor allem Fragen zu Themen wie: Auflockerung des Gesteins um neugebaute Stollen; Bewegung von radioaktiven Substanzen entlang geologischer Störzonen; Erkundung grösserer Gebirgsbereiche mit seismischer Tomographie; Eig-





nung verschiedener Materialien zur Bohrlochversiegelung. Derartige Forschungsarbeiten erfordern oft eine sehr komplexe Anlage von Versuchsreihen und höchste Messgenauigkeit. Man muss sich bewusst sein, dass in den meisten Bereichen in Neuland vorgestossen wurde. In der Zwischenzeit konzentriert sich die Forschung auf Versuche, welche die Umsetzung von Lagerkonzepten widerspiegeln. Ziel dieser Versuche ist es, das Verhalten des gesamten Lagersystems zu untersuchen und die verschiedenen technischen Abläufe, vom Erstellen der Kavernen über den Einbau der Sicherheitsbarrieren bis zur Versiegelung der Stollen, optimal zu gestalten und deren Sicherheit aufzuzeigen. Ein aktueller Versuch gilt der Forschung nach der «Gasmigration» in einem verfüllten Stollen. Ein anderes Projekt ist die Simulation der Einlagerung hochaktiver Abfälle. Mit dem Versuch soll untersucht werden, ob das Lagerkonzept für hochaktive Abfälle in der Praxis funktioniert und ob die benötig-

ten Materialien in einwandfreier Qualität hergestellt werden können.

### Ein zweites Felslabor

Der Vollständigkeit halber sei auch das Felslabor Mont Terri (Opalinuston) bei St-Ursanne im Kanton Jura erwähnt, das von der Landeshydrologie und -geologie betrieben wird und an dem sich nebst weiteren Organisationen aus sechs Ländern seit 1996 auch die Nagra beteiligt. Generell: Dank der umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zählt die Schweiz heute zu den führenden Ländern in bezug auf das Wissen und die Techniken der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Gestützt darauf kann das schweizerische Entsorgungsprogramm hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen, wissenschaftlicher Seriosität und Arbeitsumfang durchaus mit den fortschrittlichsten Endlagerprojekten im Ausland Schritt halten. ▀

## Atomschweizer

*In den Jahren 1958/59 arbeitete ich im norwegischen Städtchen Halden am Iddefjord. An der Peripherie von Halden erhob sich ein kleiner Hügel und in diesem Hügel war ein Atom-Versuchsreaktor untergebracht. Soweit ich mich erinnere, handelte es sich um einen der ersten Versuchsreaktoren in Europa. Deshalb wurde das Projekt von zahlreichen Staaten – auch von der Schweiz – mitfinanziert und immer wieder kreuzten in Halden Besucher aus anderen Ländern auf.*

*Auf dem Hügel stand ganz allein ein Häuschen. Weil sich in der Bevölkerung das Vertrauen in alles «Atomare» in Grenzen hielt, wollte niemand in diesem Häuschen wohnen, bis mein Kollege aus der Romandie, Pierre Dénéreaz, es mietete und sich dort nach dem Motto «Lebe glücklich, lebe froh, wie die Maus im Haferstroh» zusammen mit seiner norwegischen Frau Liljan niederliess. Ich war oft bei Pierre und Liljan auf dem Atomhügel zu Besuch und irgendwie blieb an uns der Ruf hängen, wir hätten etwas mit dem damals doch sehr mysteriösen Atomprojekt zu tun. Bei neuen Bekanntschaften wurde deshalb immer wieder die Frage gestellt: «Er de fra atomen?» (Sind sie vom Atom?) Ich war nicht vom Atom, sondern übte einen ganz profanen Beruf als Buchdrucker aus. Aber damals wurde in mir das Interesse für das komplexe Wissensgebiet «Kernphysik» wach und je mehr ich darüber erfuhr, desto unverkrampfter wurde mein Verhältnis zur friedlichen Nutzung der Kernenergie. Mittlerweile sind über 40 Jahre verflossen, die damaligen Aufenthalte auf dem Atomhügel habe ich unbeschadet überstanden und noch heute erinnere ich mich mit Schmunzeln an meine Zeit als Atomschweizer.*

*Eduard Reinmann*

Entreposage géologique de déchets radioactifs

# Il est temps de penser à une sécurité durable

**rei. Tout le monde veut une élimination des déchets radioactifs, qui soit sûre et durable, que ces déchets proviennent des centrales nucléaires, de l'industrie, de la médecine ou de la recherche. Alors qu'à l'étranger, depuis des années déjà, on exploite des installations propres à assurer l'entreposage de ces déchets, notre pays lutte encore pour trouver des emplacements et des conceptions. S'il est vrai que la Suisse joue un rôle prédominant dans la recherche en matière d'évacuation des déchets radioactifs, elle est bel et bien en retard lorsqu'il s'agit de l'application dans des domaines importants.**

Un stockage final sûr et durable des déchets radioactifs: voici la condition que la loi sur l'énergie nucléaire nous pose avant de nous permettre de continuer à user de l'énergie nucléaire. La Nagra (Société coopérative nationale pour l'entreposage de déchets radioactifs) a pour mission de fournir les preuves d'une évacuation fiable de ces déchets. En 1985, la Nagra a remis la projet «Sûreté» dans les mains de l'Autorité fédérale. Après que les autorités responsables de la sécurité, et en particu-

lier la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN), aient examiné à fond ce rapport, le Conseil fédéral a décidé, en juin 1988, que la preuve de sécurité pour toutes les catégories de déchets était donnée. En même temps, les mêmes autorités donnaient connaissance des conditions à respecter par la suite.

## Deux types d'entreposage

La Suisse prévoit deux modes d'entreposage des déchets radioactifs: l'entreposage des déchets de faible ou de moyenne activité et l'entreposage des déchets dont la radioactivité est élevée, ou moyenne et de grande longévité. La géologie est l'une des nombreuses barrières de sécurité possibles. Un dépôt géologique doit être conçu de manière à ce qu'il puisse être fermé en tout temps, dans l'espace de quelques années, et qu'il ne demande ni mesures de sécurité ni mesures de surveillance après sa fermeture. On veut épargner ainsi aux générations futures le devoir s'occuper de charges anciennes. En comparaison, on connaît, pour les déchets de faible activité, le système l'entreposage définitif en surface, dans un récipient en béton, avec une installation de drainage, couvert de quelques mètres de terre. Un tel entrepôt de-

mande par contre à être surveillé durant trois siècles. Même en faisant abstraction du fait qu'un ordre de surveillance comportera toujours des facteurs d'incertitude, ce système n'entrerait pas en considération en Suisse, à la seule pensée de la haute densité de notre population.

## Déchets présentant une radioactivité faible ou moyenne

Lors de l'élaboration des conceptions d'entreposage, on a donné la priorité à l'évacuation des déchets présentant une radioactivité faible ou moyenne. Il s'agit en effet avant tout des déchets d'exploitation et d'arrêt d'une installation ainsi que des déchets provenant de la médecine, de l'industrie et de la recherche. Les déchets de ces catégories représentent environ 99% du volume de tous les déchets alors qu'ils sont la source de 1% de la dose radioactive enregistrée. Précisons que les déchets présentant une radioactivité faible ou moyenne sont des filtres à eau ou à air contaminés dans les centrales nucléaires, le matériel de nettoyage ou les outils. Le fardeau le plus lourd reste cependant la destruction des réacteurs après leur arrêt. On planifie un entrepôt au profond de roches d'accueil appropriées. On donne la

## Un centime pour une élimination sûre



En Suisse, les producteurs de déchets radioactifs sont responsables de l'évacuation. C'est pourquoi les entreprises nucléaires et le Département fédéral de l'intérieur (DFI), qui est responsable des déchets provenant de la médecine, de l'industrie et de la recherche, ont créé la Nagra (Société coopérative nationale pour l'entreposage de déchets radioactifs), dont les sociétaires sont les suivants:

- Confédération suisse
- BKW FMB énergie SA, Berne (Centrale de Mühleberg)
- Centrale nucléaire de Gösgen-Däniken SA, Däniken

- Centrale nucléaire de Leibstadt SA, Leibstadt
  - Forces motrices du Nord-Est de la Suisse, Baden (Centrales nucléaires de Beznau I et II)
  - Energie de l'Ouest-Suisse, Lausanne
- La Nagra est financée par ses six sociétaires. Les frais courants et futurs, relatifs à l'évacuation des déchets, sont compris dans le prix du courant. On fait payer ceux qui occasionnent les frais. Les entrepôts intermédiaires et définitifs sont mis à la charge du consommateur à raison de 1 centime par kilowatt/heure d'énergie nucléaire.

## Les buts de la Nagra

Durant ses 30 ans d'existence, la Nagra a acquis des connaissances solides, qui recueillent une haute considération à l'échelon international. Ce sont 65 personnes qui s'occupent de l'évacuation fiable des dé-

- chets. En outre, tout selon le projet, 100 à 200 personnes travaillent selon une mission reçue, comme par exemple l'Institut Paul Scherrer, différentes universités et des institutions étrangères. Les buts poursuivis sont
- La planification d'installations souterraines propres à l'élimination des déchets radioactifs produits en Suisse
  - Les recherches géologiques à des endroits susceptibles de donner satisfaction
  - L'apport des preuves de sécurité dans les installations
  - La mise à jour continue du know-how en ce qui concerne les relations avec les matières radioactives
  - La collaboration étroite avec les institutions étrangères, sous la forme d'échange d'informations et en donnant à des tiers les conseils qu'ils demandent. Cette collaboration comprend aussi l'organisation en commun de séminaires traitant de projets communs. ▀



préférence au Wellenberg, dans le canton de Nidwald. Grâce à un système de mesures techniques et géologiques d'intégration, on forme des barrières de sécurité multiples. Le système des barrières de sécurité fonctionne comme suit: les déchets sont versés dans des tonneaux de ciment qui résistent à tout délavage. Ainsi, lesdits déchets sont enfermés et fixés avec soin. Avant leur emmagasinage dans des entrepôts géologiques, les tonneaux sont placés dans des containers en béton qui sont remplis avec du ciment coulant. On obtient ainsi une nouvelle isolation imperméable des déchets. Lorsqu'on aura exécuté l'emmagasinage dans les cavernes d'entreposage, ces dernières resteront ouvertes pour un certain temps, ce qui permettra le contrôle

des déchets. Le cas échéant, leur enlèvement sera plus facile. Les générations futures posséderont alors les bases leur permettant de décider si un entrepôt géologique peut devenir définitif. Si l'on choisit cette solution, il suffira de couler un mortier spécial entre les containers, ce qui complètera l'isolation.

L'environnement géologique des cavernes d'entrepôt joue un rôle important dans la conception de la sécurité. Le Mergel (Wellenberg) est peu perméable, stable, tout en présentant des propriétés hydrochimiques favorables. Sa stabilité protège les barrières techniques contre les efforts mécaniques. Les puissantes couches rocheuses limitent fortement l'accès de l'eau dans les entrepôts définitifs. On compte qu'un tel

entrepôt définitif de déchets présentant une radioactivité faible ou moyenne devrait pouvoir contenir 100 000 mètres cubes de déchets.

**Peu de volume mais haute radioactivité**

Le combustible usé des centrales nucléaires contient encore de l'uranium et du plutonium utilisables et qui peut de ce fait trouver un nouvel usage. On sépare ces deux éléments dans des installations de revalorisation. Les autres déchets radioactifs issus du combustible doivent être évacués en tant que déchets de haute activité et à grande longévité. Si l'on renonce à améliorer les éléments usés, ceux-ci devront également être évacués en tant que déchets de haute activité. Les déchets de haute activité se présentent en petites quantités. Si l'on part d'une durée d'exploitation de 40 ans et d'une revalorisation totale, les centrales nucléaires suisses produiront 500 mètres cubes de ces déchets. S'ajoutent environ 2000 mètres cubes de déchets d'une radioactivité moyenne mais d'une grande longévité. A cause de cette grande longévité de déchets, l'emplacement des entrepôts devra répondre à de hautes exigences. Stabilité géologique, infiltration d'eau minimale, bons conducteurs de chaleur, telles sont les principales conditions posées.

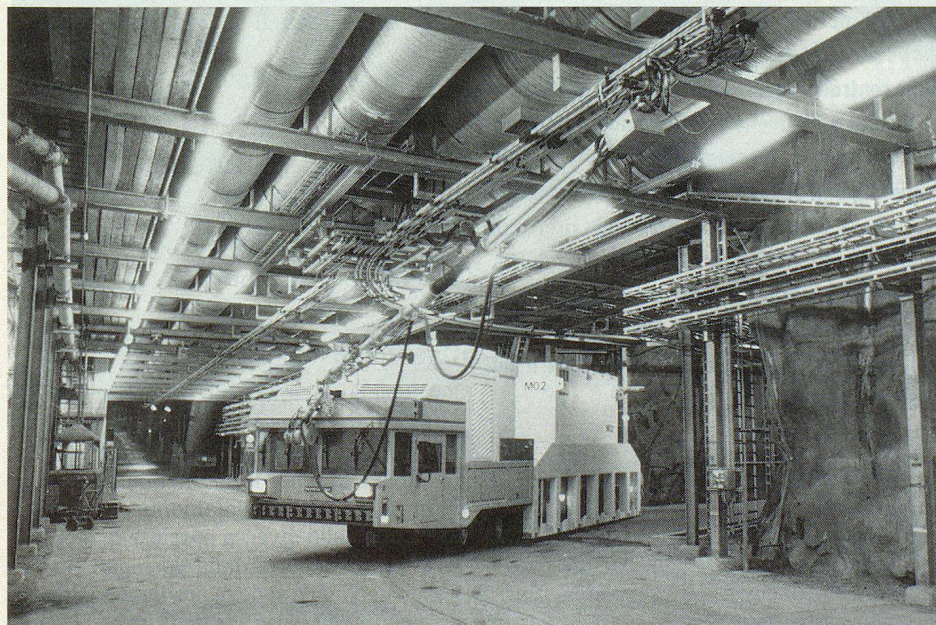
S'ajoutent encore, comme pour les déchets présentant une radioactivité faible ou moyenne, les barrières de sécurité. Les déchets à haute radioactivité sont refondus dans du verre au moment où on les traite. Ils sont alors placés dans des récipients d'acier aux parois épaisses. A eux seuls, les récipients d'acier assurent une réserve de sécurité d'au moins 1000 ans. Le verre contenant les déchets est aussi très résistant. Vient enfin un remplissage des garnitures des entrepôts, de matière argileuse, adapté à la roche de l'entrepôt et à la longévité des déchets.

Pour l'évacuation des déchets de haute activité et des déchets présentant une radioactivité faible ou moyenne mais aussi une grande longévité, on cherche un emplacement dans le nord du pays. Depuis 1982, on a procédé, dans le cadre de vastes programmes de recherche réalisés sur une surface de 1200 kilomètres carrés, au moyen de sondages en profondeur, à des mesures sismiques, à des expertises hydrogéologiques et à des recherches scientifiques, pour accéder à des données sur les fonds de roche cristalline et sur les couches sédimentaires qui les recouvrent. La première phase de ces programmes est terminée. Aujourd'hui, on trouve au premier plan du granit et du gneiss dans le nord de l'Argovie (Mettauertal) et de l'argile opaque dans le Weinland

**Le Centre de la Manche, au nord de Cherbourg (France). C'est ici que l'on dépose les déchets présentant une radioactivité faible ou moyenne, pour les recouvrir ensuite d'une couche d'argile. S'ajoute une couverture d'humus verdoyant.**



PHOTOS: NAGRA



**L'entrepôt géologique de Forsmark, en Suède, repose dans un bac de granit, environ 50 mètres sous la mer Baltique. Les récipients des déchets sont enfermés dans des containers durant leur transport au lieu d'entrepôt.**

zurichois. L'évacuation des déchets de haute activité n'est pas urgente. En effet, comme ces déchets produiront encore pendant longtemps de la chaleur, ils doivent se refroidir pendant encore environ 40 ans dans un entrepôt intermédiaire à Würenlingen. Pour l'entrepôt géologique, le délai est ainsi reporté aux environs de l'an 2040. ▀

Sources: Nagra, Office fédéral de l'énergie, Association suisse pour l'énergie atomique, Forum Vera, Forum suisse de l'énergie, littérature, archives.

## Un coup d'œil vers l'étranger

A l'étranger, on est beaucoup plus avancé qu'en Suisse en matière d'entreposage géologique des déchets présentant une radioactivité faible ou moyenne, qui peuvent être évacués sans entrepôt intermédiaire. Quelques exemples: en 1988 déjà, la Suède mettait en service un entrepôt sur la côte de Forsmark. Celui-ci, qui comprenait d'abord quatre cavernes, se trouve dans du granit, sous la mer Baltique. Il est recouvert d'environ 50 mètres de roche. Pour les déchets de moyenne activité, on a creusé un silo profond de 70 mètres et d'un diamètre de 30 mètres. Une couche de béton (argile), imperméable de l'extérieur, mais permettant le suintement vers l'extérieur, enveloppe la construction et assure une bonne isolation. En Finlande, on a ouvert un entrepôt géologique en 1992, à Olkiluoto, dans les environs immédiats de deux centrales nucléaires. On a creusé à 100 mètres de fond la base de deux silos de 34 mètres de haut et de 24 mètres de diamètre chacun. Les silos sont enveloppés en fonction de leur contenu. L'un des silos est destiné aux déchets présentant une radioactivité faible, l'autre aux déchets présentant une radioactivité moyenne. Un deuxième entrepôt pour déchets présentant une radioactivité faible ou moyenne est exploité à Lovissa.

La France qui, parmi tous les Etats, produit la plus grande part de courant dans des centrales nucléaires, s'occupe depuis longtemps déjà de l'entreposage des déchets radioactifs. Le Centre de la Manche a été mis en activité en 1969. Dans cet entrepôt proche de la surface, on a évacué jusqu'en 1994 environ 400 000 mètres cubes de déchets présentant une radioactivité faible ou moyenne. En 1992, on a mis en outre en service le Centre de l'Aube, destiné à recueillir les déchets de faible activité. Ce centre, lui aussi, est un entrepôt en surface. ▀

Il Centre de la Manche a nord di Cherbourg (Francia). Qui vengono immagazzinate le scorie debolmente e mediamente attive con una copertura di pochi metri di argilla e di humus.



FOTO: NAGRA

Il deposito geologico delle scorie nucleari

## È tempo di pensare alla sicurezza durevole

**rei. Tutti desiderano uno smaltimento sicuro e durevole delle scorie radioattive provenienti dalle centrali nucleari, dall'industria, dal settore medico e da quello della ricerca. Mentre all'estero sono in funzione già da tempo alcuni impianti per il deposito di queste scorie, nel nostro paese siamo sempre ancora alla ricerca di possibili ubicazioni e di una strategia adatta. La Svizzera è infatti all'avanguardia nella ricerca sullo smaltimento nucleare, ma sotto alcuni aspetti è ancora piuttosto in ritardo nella realizzazione.**

Secondo la legge sull'energia nucleare, lo smaltimento durevole e sicuro e il deposito definitivo delle scorie radioattive è una delle premesse per l'ulteriore sfruttamento dell'energia nucleare. Responsabile della dimostrazione dello smaltimento sicuro è la Società cooperativa nazionale per l'immagazzinamento di scorie radioattive (Nagra). Nel 1985 la Nagra ha presentato alle

autorità federali il progetto «Garanzia». Dopo l'esame approfondito di questo rapporto da parte delle autorità di sicurezza, e in particolare da parte della Divisione principale della sicurezza degli impianti nucleari, nel giugno 1988 il Consiglio federale ha stabilito che la prova della sicurezza sia stata adottata per tutte le categorie di scorie e allo stesso tempo ha fissato delle condizioni per la procedura successiva.

### Due tipi di depositi

Per lo smaltimento delle scorie radioattive la Svizzera prevede due tipi di depositi, uno per le scorie debolmente e mediamente attive e uno per le scorie altamente attive er per le scorie mediamente attive durevoli. Una delle diverse barriere di sicurezza è rappresentata dalla geologia. Un deposito geologico si deve predisporre in modo che possa essere chiuso in ogni momento e che dopo la chiusura non siano più necessarie misure di sicurezza e di sorveglianza. In tal modo si vuole evitare che le

generazioni future debbano assumersi oneri lasciate in eredità da quelle precedenti. Ricordiamo che per le scorie debolmente attive esiste anche il sistema del deposito definitivo non sotterraneo in una vasca di cemento con impianto di drenaggio e una copertura di terra di pochi metri. Un'area per il deposito definitivo di questo genere deve però essere sorvegliata per almeno 300 anni. A prescindere dai fattori di insicurezza collegati all'incarico di sorveglianza, questo sistema non può essere preso in considerazione per la Svizzera già per via della sua elevata densità di popolazione.

### Le scorie debolmente e mediamente attive

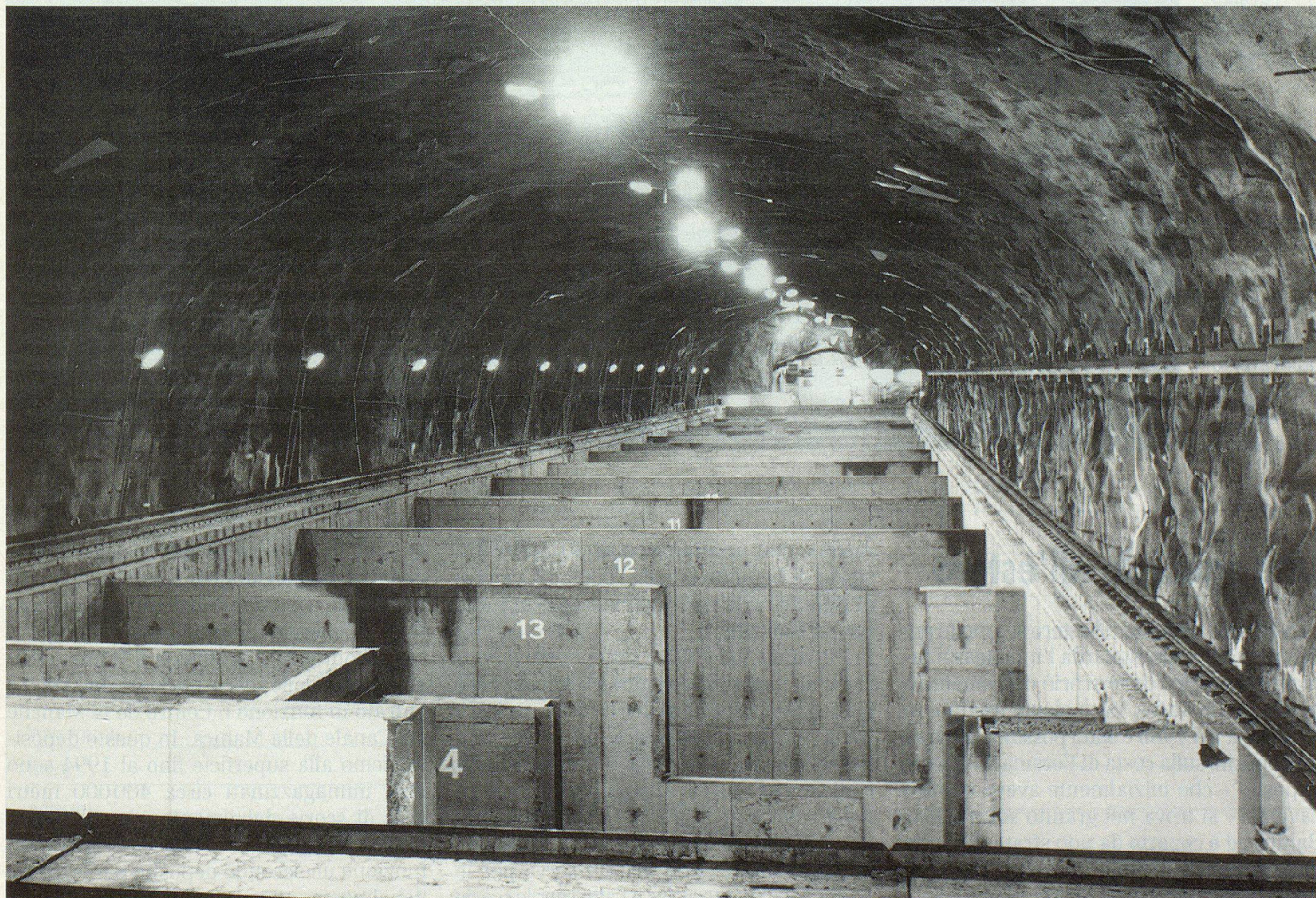
Nell'elaborazione di una strategia per l'immagazzinamento la priorità spetta allo smaltimento delle scorie debolmente e mediamente attive. Si tratta soprattutto di scorie provenienti dall'esercizio di impianti e dal loro spegnimento e di scorie provenienti dal settore medico, dell'industria e della ricerca, che rappresentano il 99 per cento del volume totale delle scorie, ma solo l'1 per cento del totale delle radiazioni emesse. Per essere più precisi, le scorie de-

bolmente e mediamente attive sono ad esempio i filtri contaminati dei circuiti idrici e aerei delle centrali nucleari, il materiale di pulizia o gli attrezzi. La parte più rilevante è comunque rappresentata dallo smantellamento dei reattori dopo il loro spegnimento. È previsto un deposito in profondità nella montagna in una roccia ospite adatta. L'ubicazione preferita sarebbe il Wellenberg nel cantone Nidvaldo. Con un sistema di misure di chiusura tecniche e geologiche vengono costruite diverse barriere di sicurezza. Il sistema delle barriere di sicurezza ha le seguenti caratteristiche; le scorie vengono inserite in contenitori di cemento che formano blocchi chiusi e compatti. Prima dell'immagazzinamento in un deposito geologico i contenitori sono inseriti in un blocco di calcestruzzo e riempiti di cemento liquido per poter ottenere una maggiore isolamento delle scorie ed evitare l'afflusso di acqua. Dopo l'immagazzinamento nelle caverne all'interno della montagna, queste vengono lasciate aperte per un po' di tempo, in modo che le scorie possano essere controllate ed eventualmente facilmente spostate. Le generazioni future dispongono così di basi concrete per poter decidere trasformare un deposito geologi-

co in un deposito definitivo o no. Una volta presa questa decisione, gli spazi intermedi all'interno del blocco vengono riempiti con un tipo di calce speciale che completa l'isolazione. Il circondario geologico delle caverne di deposito è ritenuto molto importante per la strategia di sicurezza. La marna del Wellenberg è poco permeabile all'acqua, stabile e presenta buone caratteristiche idrochimiche. La sua stabilità protegge le barriere tecniche dalla sollecitazione meccanica. L'afflusso di acqua al deposito definitivo viene molto limitato dai possenti strati di roccia. Si è calcolato che un deposito definitivo per scorie debolmente e mediamente attive di questo genere deve essere in grado di accogliere 100000 metri cubi di scorie.

### Poche ma altamente attive

Gli elementi combustibili usati provenienti dalle centrali nucleari contengono ancora urano e plutonio riutilizzabili che possono essere reinseriti in nuovi elementi combustibili. Negli impianti di rigenerazione questi due elementi vengono separati e le rimanenti scorie radioattive provenienti dagli elementi combustibili devono essere



Uno sguardo in una delle caverne del deposito geologico per le scorie debolmente e mediamente attive a Forsmark (Svezia).

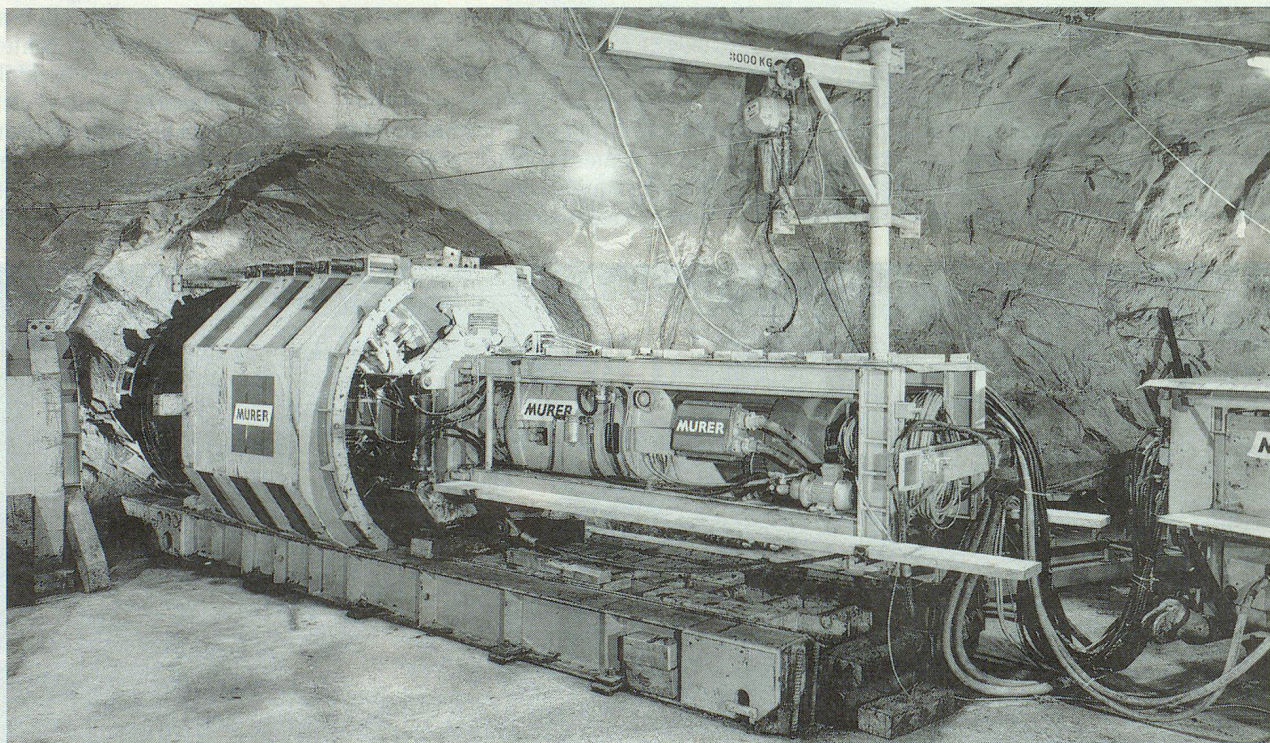
smaltite come scorie altamente attive e scorie mediamente attive durevoli. Se non si procede alla rigenerazione degli elementi combustibili usati, allora le scorie devono essere smaltite come scorie altamente attive. Le scorie altamente attive rappresentano una quantità relativamente scarsa: se partiamo da una durata d'esercizio di 40 anni e da una rigenerazione totale delle centrali nucleari svizzere, esse arriveranno a raggiungere un volume di circa 500 metri cubi. A queste si aggiungono circa 2000 metri cubi di scorie mediamente attive durature. Proprio a causa della lunga vita delle scorie è necessario che le ubicazioni dei depositi soddisfino notevoli requisiti come stabilità geologica, permeabilità all'acqua minima e buona conduzione del calore. A queste si aggiungono – come per le scorie debolmente e mediamente at-

tive – le barriere di sicurezza. Nella rigenerazione le scorie altamente attive vengono fuse nel vetro e inserite in contenitori d'acciaio molto spessi. I contenitori d'acciaio da soli garantiscono una riserva di sicurezza di almeno 1000 anni. Anche il vetro che circonda le scorie è resistentissimo. A ciò si aggiunge il riempimento delle gallerie del deposito con materiale argilloso adeguato alla roccia del deposito e alla durata di vita delle scorie.

Per lo smaltimento delle scorie altamente attive e mediamente attive durevoli si sta cercando un'ubicazione nella Svizzera settentrionale. A partire dal 1982 sono stati realizzati importanti programmi di ricerca su una superficie di 1200 m<sup>2</sup> con trivellazioni profonde, misurazioni sismiche e ricerche idrogeologiche per la raccolta di dati scientifici sulla montagna primitiva cri-

stallina e sugli strati sedimentari sovrastanti. La prima fase di questi programmi è stata conclusa e oggi la proposta più adeguata sembra quella del granito e dello gneis nella regione dell'Argovia settentrionale (valle Mettau) e dell'argilla opalina nella zona del Weinland zurighese. Lo smaltimento delle scorie altamente attive non è urgente. Poiché queste sviluppano calore ancora per molto tempo, devono raffreddarsi per almeno 40 anni in un deposito intermedio centrale situato a Würenlingen. Il termine per l'immagazzinamento geologico è quindi previsto più o meno per il 2040. ▽

*Fonti: Nagra, Ufficio federale dell'energia, Associazione svizzera per l'energia atomica, Forum Vera, Forum svizzero dell'energia, letteratura, archivio.*



Avanzamento di una nuova galleria nel laboratorio nella roccia Grimsel della Nagra.

## Uno sguardo all'estero

Rispetto alla Svizzera all'estero si è molto più avanti per quanto riguarda l'immagazzinamento geologico delle scorie debolmente e mediamente attive. Ecco alcuni esempi: in Svezia già nel 1988 è stato possibile attivare un deposito sulla costa di Forsmark. Questo deposito – che inizialmente aveva quattro caverne – si trova nel granito sotto il Mar Baltico ed è coperto da uno strato di roccia dello spessore di circa 50 metri. Per l'immagazzinamento delle scorie mediamente attive è stato scavato un silo profondo 70

metri e con un diametro di 30 metri. Un strato di betonite (argilla) stagna e capace di rigonfiarsi la costruzione e assicura una buona isolamento.

In Finlandia nel 1992 è stato messo in funzione un deposito geologico a Olkiluoto nelle immediate vicinanze di due centrali nucleari. Nella roccia simile a granito – con una base sotterranea di circa 100 metri – sono stati scavati due sili alti ognuno 34 metri e del diametro di 24 metri. Questi sili hanno un rivestimento adeguato al materiale da immagazzinare. Uno dei sili serve per le scorie debolmente attive e l'altro per le scorie mediamente attive. A Lovissa è in funzione

il secondo deposito geologico per le scorie debolmente e mediamente attive.

In Francia – il paese con la più alta percentuale di energia atomica – già da tempo si sta affrontando il problema dell'immagazzinamento delle scorie nucleari. Nel 1969 è entrato in funzione il Centre de la Manche sul Canale della Manica. In questo deposito vicino alla superficie fino al 1994 sono stati immagazzinati circa 400000 metri cubi di scorie debolmente e mediamente attive. Nel 1992 è stato poi messo in funzione un secondo deposito per le scorie debolmente attive, il Centre de l'Aube, anche questo un deposito di superficie. ▽