Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 94 (2003)
Heft: 8

Artikel: Projekt Opalinuston
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857544

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 06.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Projekt Opalinuston

Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle sowie langlebige mittelaktive Abfälle
Zusammenfassender Überblick

Mit der Einreichung der Berichte zum bautechnischen Projekt, zur Synthese der erdwissenschaftlichen Untersuchungen und zur sicherheitsmässigen Beurteilung eines Tiefenlagers im Opalinuston erfüllt die Nagra eine Auflage des Bundesrates. Dieser hat in seinem Entscheid zum Projekt Gewähr 1985 für abgebrannte Brennelemente (BE), verglaste hochaktive Abfälle (HAA) sowie langlebige mittelaktive Abfälle (LMA) die Ausdehnung der Forschungsarbeiten auf Sedimentgesteine verlangt. Mit dem Projekt Opalinuston wird der Entsorgungsnachweis nun abgeschlossen. Das Projekt soll Grundlagen für einen Entscheid des Bundesrates zum weiteren Vorgehen im Hinblick auf die Entsorgung der BE/HAA/LMA liefern. Dieser zusammenfassende Überblick dient zur Übersicht über das Projekt Opalinuston, dessen Inhalt und Schlussfolgerungen sowie über seine Einbettung in die Arbeiten zur nuklearen Entsorgung Schweiz.

Einbettung des Projekts Opalinuston in die Arbeiten zur nuklearen Entsorgung Schweiz

Einleitung

Radioaktive Abfälle aus der Nutzung der Kernenergie zur Stromproduktion und aus Medizin, Industrie und Forschung müssen sicher und dauernd beseitigt werden. Dies verlangt das Gesetz und das Gebot der Verantwortung unserer Gesellschaft gegenüber Mensch und Umwelt. In der Schweiz sind für die Entsorgung radioaktiver Abfälle ihre Verursacher verantwortlich – zur Hauptsache die Betreiber der Kernkraftwerke, daneben der Bund für Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF). Die Abfallverursacher stehen hinter dem Verursacherprinzip und nehmen ihre Verantwortung wahr. Sie gehen ihren Aufgaben mit Sorgfalt nach und sorgen im Rahmen der gesetzlichen Rahmenbedingungen für eine zeitgerechte Implementierung der erforderlichen Anlagen, wie des zentralen Zwischenlagers ZWILAG oder des Bundeszwischenlagers BZL. Für Arbeiten zur Endlagerung der radioaktiven Abfälle gründeten sie im Jahre 1972 die Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle). Diese entwickelte sich zu einem international anerkannten technisch-wissenschaftlichen Kompetenzzentrum für die nukleare Entsorgung und erarbeitet im Auftrag der Abfallverursacher Entscheidungsgrundlagen zuhanden der Bundesbehörden.

Die Aufgaben der Entsorgung können unter zwei Gesichtspunkten gegliedert werden (Bild 1). Unter dem *zeitlichen Aspekt* sind zu unterscheiden:

- Laufende sichere Handhabung und Zwischenlagerung der Abfälle, bis definitive Entsorgungsanlagen bereit stehen,wozu auch die Inventarisierung und Charakterisierung der Abfälle und ihre Überführung in eine stabile, endlagerfähige Form gehört (Konditionierung).

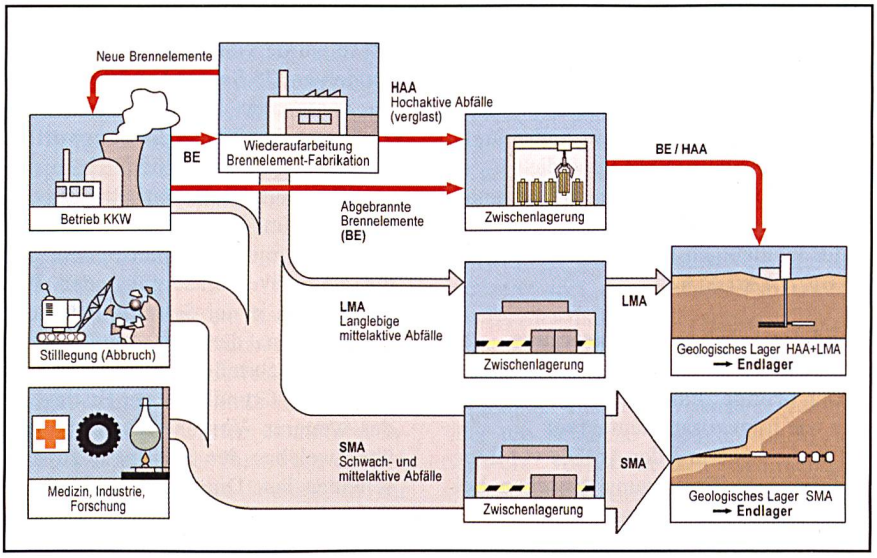


Bild 1 Konzept der nuklearen Entsorgung Schweiz. Die Dicke der Pfeile symbolisiert die Volumenverhältnisse der entsprechenden Abfallflüsse. Für schwach- und mittelaktive Abfälle ist schematisch ein Tiefenlager mit horizontalem Zugang eingezeichnet, wie es etwa für den Standort Wellenberg vorgesehen war. Die nach der Aufgabe dieses Standortes eingeleitete Überprüfung des Entsorgungskonzeptes SMA könnte zu einer anderen Lösung führen, doch hat dies keine Auswirkungen auf die Aussagen des Projekts Opalinuston zur Sicherheit und Machbarkeit der geologischen Tiefenlagerung von abgebrannten Brennelementen, verglasten hochaktiven Abfällen sowie langlebigen mittelaktiven Abfällen.

Kontaktadresse
Nagra
Nationale Genossenschaft für die
Lagerung radioaktiver Abfälle
Hardstrasse 73
5430 Wettingen
E-mail:info@nagra.ch
www.nagra.ch

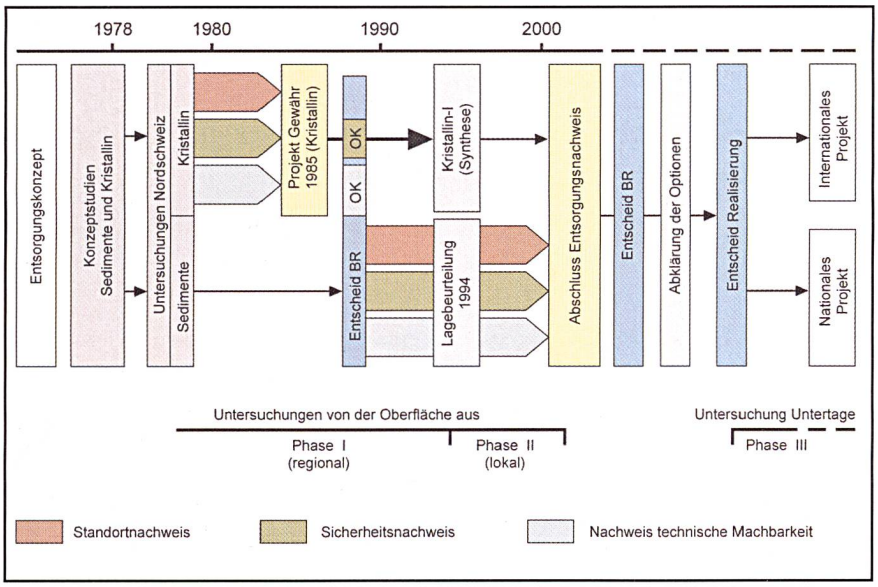


Bild 2 Wichtigste Schritte auf dem Weg zur Realisierung eines geologischen Tiefenlagers für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle sowie langlebige mittelaktive Abfälle (BE/HAA/LMA). Das Projekt Opalinuston dokumentiert die prioritäre Option der Tiefenlagerung in sedimentären Gesteinen. Die Option eines Lagers im kristallinen Untergrund wurde ausführlich im Projekt Gewähr 1985 dargestellt und in späteren Berichten der Nagra [z.B. NTB 93-01,93-22] vertieft, die gegenwärtig von den Sicherheitsbehörden des Bundes überprüft werden.

- Vorbereitung und Planung der längerfristig benötigten definitiven Entsorgungsanlagen (der geologischen Tiefenlager) als Entscheidungsgrundlage zu ihrer späteren Realisierung, wozu auch die Festlegung der konzeptionellen Aspekte der Entsorgung (Entsorgungs- und Lagerkonzept) und die Wahl von möglichen geeigneten Anlagenstandorten gehören (Standortwahl).
- Realisierung der definitiven Entsorgungsanlagen (Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager).

Bezüglich der *Radiotoxizität der Abfälle* wird heute unterschieden:

- Entsorgung der schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA) und die
- Entsorgung der abgebrannten Brennelemente sowie der hochaktiven und der langlebigen mittelaktiven Abfälle (BE/HAA/LMA).

Stand der Arbeiten zur Entsorgung, Ausblick

Der heutige Stand der Arbeiten lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Für die Lagerung der Abfälle vor ihrer definitiven Entsorgung bestehen bei den einzelnen Kernkraftwerken dezentrale Lager und zwei zentrale Anlagen: Das zentrale Zwischenlager ZWILAG für alle Abfallkategorien und das Zwischenlager des Bundes (BZL) für Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung. Konditionieranlagen sind ebenfalls vorhanden. Die Kapazität des Zwischenlagers ZWILAG und der Lager bei den KKW reicht für den Betrieb der bestehenden Kraftwerke aus.
- Für die definitive Entsorgung der SMA in einem geologischen Tiefenlager wurde mit dem Wellenberg ein konkreter Standort gewählt, untersucht und von ausgewiesenen Experten und den Sicherheitsbehörden des Bundes als voraussichtlich geeignet beurteilt. Für die Überprüfung seiner Eignung wurde – nach Bereinigung des Lagerkonzepts – die Konzession für einen Sondierstollen beantragt. Diese wurde vom Regierungsrat Nidwalden am 25.September 2001 erteilt, im kantonalen Volksentscheid vom 22. September 2002 jedoch verworfen. Der technisch voraussichtlich geeignete Standort musste deshalb aus politischen Gründen aufgegeben werden.
- Mit dem Projekt Opalinuston wird für die definitive Entsorgung der BE/HAA/LMA in der Schweiz den Bundesbehörden der Entsorgungsnachweis zur Beurteilung eingereicht und damit auch Grundlagen zur Festlegung des weiteren Vorgehens unterbreitet, über welches der Bundesrat zu entscheiden hat. Die Nagra schlägt den Behörden vor, künftige Untersuchungen in Hinblick auf eine geologische Tiefenlagerung der BE/HAA/LMA in der Schweiz auf den Opalinuston und das potenzielle Standortgebiet im Zürcher Weinland zu fokussieren. Sie stützt sich dabei einerseits auf das systematische, aufgrund von Sicherheitsabwägungen durchgeführte Auswahlverfahren, welches zur Wahl des Opalinustons und des Untersuchungsgebiets Zürcher Weinland für den Entsorgungsnachweis führte und andererseits auf die Ergebnisse der Untersuchungen zum Entsorgungsnachweis. Die Wahl eines konkreten Lagerstandortes bleibt einem künftigen Rahmenbewilligungsverfahren vorbehalten, wozu weiter gehende Abklärungen erforderlich sein werden.

Für die nächsten Jahre vorgesehen sind folgende Arbeiten:

- Laufender Betrieb und Unterhalt der Zwischenlager, Fertigstellung der Lagerhalle für schwach- und mittelaktive Abfälle SMA und die Betriebsaufnahme einer neuen Konditionierungsanlage im ZWILAG.
- Die nach dem politisch motivierten negativen Wellenberg-Entscheid nötige Überprüfung des Vorgehens zur definitiven Entsorgung der SMA, Vorbereitung und Durchführung entsprechender Arbeiten.
- Weiterführung der Forschungs- und Vorbereitungsarbeiten zur geologischen Tiefenlagerung der BE/HAA/LMA in der Schweiz, parallel dazu Verfolgung der Option einer Entsorgung im Ausland (z.B. im Rahmen eines multinationalen Projekts).

Zu den beiden letzten Punkten, das heisst für die Realisierung geologischer Tiefenlager, kann auf den erarbeiteten und international anerkannten hohen wissenschaftlich-technischen Kenntnisstand abgestützt werden. Bei den parlamentarischen Beratungen zum neuen Kernenergiegesetz wurde verlangt, dass die Abfallverursacher dem Bundesrat ein Entsorgungsprogramm zur Prüfung und Genehmigung vorzulegen haben. Für ein solches zielorientiertes Entsorgungsprogramm für alle Arten von Abfällen konnten bis heute verschiedene technische Komponenten und Optionen konkretisiert und evaluiert werden. Betreffend die SMA werden nach dem Wegfall von Wellenberg noch weitere technische Arbeiten nötig sein. Das Zusammenfügen der Komponenten zu einem umfassenden Entsorgungsprogamm ist jedoch erst nach Kenntnis der Behördenbeurteilung zum Entsorgungsnachweis einerseits und nach der Klärung der gesetzlich-politischen Anforderungen anderseits möglich (vorgesehen im Kernenergiegesetz). Hier sind die politischen Kräfte gefordert, rechtliche Rahmenbedingungen zu schaffen, welche eine zeitgerechte Realisierung standortgebundener Entsorgunsan-

lagen unter Mitwirkung der beteiligten Kantone und Gemeinden ermöglichen.

Aufgabenstellung und Anlass zum Projekt Opalinuston

Einen Gesamtüberblick über das Programm zur Entsorgung der hochaktiven Abfälle gibt Bild 2. Den unmittelbaren Anlass zum Projekt Opalinuston bildet die Auflage des Bundesrates in seinem Entscheid vom 3. Juni 1988 zum seinerzeitigen Projekt Gewähr 1985 der Nagra, mit der verlangt wurde, für hochaktive und langlebige mittelaktive Abfälle einen Standortnachweis nachzuliefern und die Arbeiten auf nicht-kristalline Wirtgesteine (d. h. Sedimente) auszudehnen.

Die Arbeiten zum Entsorgungsnachweis gehen auf den Bundesbeschluss vom 6. Oktober 1978 zum Atomgesetz zurück. Der Beschluss stipulierte die Ausarbeitung eines Projekts, «das für die dauernde sichere Entsorgung und Endlagerung der radioaktiven Abfälle Gewähr bietet». Der Entsorgungsnachweis soll aufzeigen, dass und auf welche Weise ein geologisches Tiefenlager für radioaktive Abfälle errichtet werden kann, welches die behördlichen Sicherheitsanforderungen erfüllt und technisch realisierbar ist.

Der Nachweis besteht grundsätzlich aus drei Teilen (Bild 2):

- Nachweis, dass es in der Schweiz einen oder mehrere Standorte mit sicherheitstechnisch geeigneten geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften gibt (Standortnachweis).
- Nachweis, dass ein Lager an einem solchen Standort mit dem heutigen Stand der Technik realisiert und betrieben werden kann (Nachweis der bautechnischen Machbarkeit).
- Nachweis, dass ein solches Lager die behördlich festgelegten Anforderungen an die Langzeitsicherheit erfüllt (Sicherheitsnachweis).

Nach entsprechenden Arbeiten am Konzept der Entsorgung, baulichen Studien und Feld- wie Laboruntersuchungen unterbreitete die Nagra Anfang 1985 dem Bundesrat zur Beurteilung das verlangte gewähr bietende Projekt, kurz Projekt Gewähr 1985 [NGB 85-01/08] genannt. Das Projekt legte für alle Abfallkategorien dar, wie die «dauernde sichere Entsorgung und Endlagerung» in der Schweiz realisiert werden kann.

Das Entsorgungskonzept ging von zwei Endlagern aus – einem für hochaktive sowie langlebige mittelaktive (HAA/LMA) und einem für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA). Für jedes Lager wurde ein Modellstandort bestimmt, mit repräsentativen Eigenschaften, wie sie anhand konkreter erdwissenschaftlicher Untersuchungen erwartet werden konnten. Die Untersuchungen der Nagra für das HAA/LMA-Lager konzentrierten sich aufgrund der tektonischen Stabilität und der geringen seismischen Aktivität auf die Region Nordschweiz. Auf der Basis des internationalen hohen Kenntnisstandes und der damals vorliegenden Daten zur Nordschweiz stand als Wirtgestein das Kristallin im Vordergrund.

Aufgrund von Gutachten und Stellungnahmen der Sicherheitsexperten des Bundes sowie der Schlussfolgerungen und Empfehlungen im Bericht der Arbeitsgruppe des Bundes für nukleare Entsorgung AGNEB fasste der Bundesrat am 3. Juni 1988 zur nuklearen Entsorgung einen Beschluss, dessen wichtigste Punkte waren:

- Der Entsorgungsnachweis für die SMA wurde als erbracht erachtet,
- der Sicherheitsnachweis für HAA/LMA wurde ebenfalls akzeptiert – noch nicht jedoch der Standortnachweis,das heisst der Nachweis, dass es an einem konkreten Standort in der Schweiz einen geeigneten Gesteinskörper mit ausreichender Ausdehnung gibt,
- die bautechnische Machbarkeit wurde als gegeben angesehen und
- die Betreiber der Kernkraftwerke wurden angewiesen, die Arbeiten zur Endlagerung der radioaktiven Abfälle weiterzuführen und die Forschungsarbeiten im Hinblick auf die Entsorgung der HAA/LMA auf Sedimentgesteine auszudehnen.

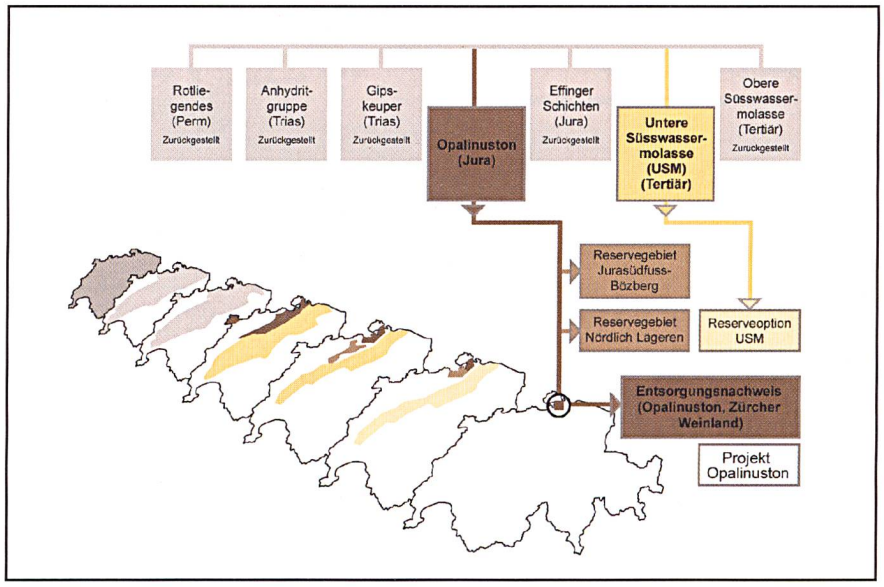


Bild 3 Im Rahmen des Sedimentprogramms wurden mehrere Gesteins- und Gebietsoptionen evaluiert. Das breit angelegte, von den Aufsichtsbehörden eng begleitete und transparente Einengungsverfahren führte schliesslich zur Wahl von Opalinuston in der Region Zürcher Weinland. Dieses Verfahren wurde in mehreren Berichten zusammenfassend dokumentiert [NTB 88-25,91-19 und 94-10]. Die Gebiete «Jurasüdfuss-Bözberg» und «Nördlich Lägeren» für den Opalinuston sowie das Gebiet der Unteren Süsswassermolasse gelten als Reserveoptionen (siehe auch die detailliertere Darstellung in Bild 4).

Zur Wahl des Wirtgesteins Opalinuston und des potenziellen Standortgebiets im Zürcher Weinland (Standortnachweis)

Systematisches Evaluationsverfahren

Im Rahmen des Sedimentprogramms hat die Nagra in der Folge ein breit angelegtes, von den Aufsichtsbehörden eng begleitetes und transparentes Evaluations- und Einengungsverfahren zur Wahl möglicher sedimentärer Wirtgesteine und potenzieller Standortgebiete eingeleitet und in drei Zwischenberichten dokumentiert. Das Verfahren erfolgte im Konsens mit den Sicherheitsbehörden des Bundes und ihren Experten.

In einem ersten Schritt veröffentlichte die Nagra gestützt auf umfangreiche Vorkenntnisse eine breite Auslegeordnung über die mögliche Eignung von in der Schweiz vorkommenden Sedimentgesteinen für die Aufnahme eines geologischen Lagers [NTB 88-25]. Dabei zeichnete sich eine Priorität für tonreiche Gesteinsschichten ab, namentlich für die Formationen des Opalinustons und der Unteren Süsswassermolasse (USM). Für beide wurden potenzielle Standortregionen für weitere Untersuchungen identifiziert.

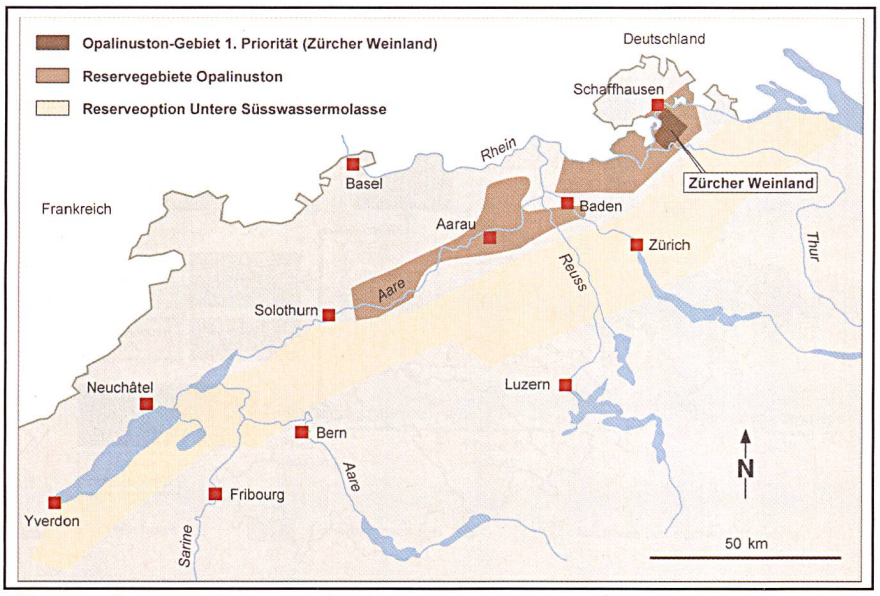


Bild 4 Darstellung der in die engere Wahl gekommenen Optionen in den Sedimentgesteinen Untere Süsswassermolasse und Opalinuston, mit dem Zürcher Weinland als Gebiet erster Priorität.

Bild 5 Das tonige Sedimentgestein Opalinuston bekam seinen Namen von häufigen Fossilienfunden des Ammoniten Leioceras opalinum. Ein rund 179 Millionen Jahre altes Exemplar des Leioceras wurde in einer Tiefe von 652 m mitten im Bohrkern der Bohrung Benken gefunden.

In einer darauf folgenden regionalen Untersuchungsphase (1990–1993) mit spezifischen Feldarbeiten lag das Schwergewicht auf der Beschaffung weiterer geologischer Grundlagen, um die Auswahl einer prioritären Sediment-Wirtgesteinsoption und potenzieller Standortgebiete fundiert und nachvollziehbar begründen zu können (Bild 3). Hinzu kam die Auswertung von Untersuchungen Dritter sowie von publizierten geologischen Karten, Berichten und Fachartikeln. Aufgrund einer überregionalen Studie betreffend die USM beurteilte die Nagra diese Formation als Reserveoption mit grossem räumlichem Potenzial, aber mit Vorbehalten bezüglich der Explorierbarkeit.

Für die Option Opalinuston führten die Arbeiten 1994 aus sicherheitsbezogenen erdwissenschaftlichen Überlegungen und im Konsens mit den Aufsichtbehörden und ihren Fachexperten zur Abgrenzung eines Gebiets erster Priorität für lokale Erkundungen im Kanton Zürich (Bild 4); sie entspricht etwa dem nördlichen Teil der Region Zürcher Weinland [NTB 91-19,94-10].

Nach 1994 erfolgte dann eine detaillierte Charakterisierung des potenziellen Wirtgesteins Opalinuston und des Zürcher Weinlands, mit den wichtigsten Komponenten:

- Eine 3D-Seismikkampagne auf einer Fläche von rund 50 km² [NTB 00-03],
- eine Sondierbohrung (Benken) [NTB 00-01],
- Experimente im Opalinuston im Rahmen eines internationalen Forschungsprogramms im Felslabor Mont Terri (Kanton Jura) und
- regionale Vergleichsstudien an Opalinuston und Vergleiche mit Tonvorkommen, welche im Ausland im Hinblick auf die geologische Endlagerung untersucht werden.

Relevante Eigenschaften des Opalinustons im Zürcher Weinland

Opalinuston ist ein toniges Sedimentgestein, das seinen Namen von häufigen Fossilienfunden des Ammoniten Leioceras opalinum bekam – ein solches Exemplar wurde zufälligerweise mitten im Bohrkern der Bohrung Benken gefunden (Bild 5).

Lithologisch-mineralogisch ist der Opalinuston ein homogenes Tongestein, das über grosse Teile der Nordschweiz gleichförmig abgelagert wurde (Bild 6). Dies ergibt eine gute Übertragbarkeit von Parametern, welche an anderen Lokalitäten (z. B. im Felslabor Mont Terri) erhoben worden sind, auf das Untersuchungsgebiet im Zürcher Weinland. Die geometrischen Abgrenzungen der dort einfach und ruhig gelagerten Opalinustonschicht sind dank der 3D-Seismik genau bekannt. Das Gestein erfüllt im untersuchten Gebiet des Zürcher Weinlandes die Grundanforderungen an das geologische Umfeld eines Tiefenlagers:

- **Geologische Langzeitstabilität**: Das Gebiet liegt am äussersten Rand des Einflussbereichs der Alpen, ist kompressiv beansprucht, aber tektonisch nicht signifikant deformiert. Es ist seismisch weitgehend ruhig, mit einer geringen Hebungsrate von rund 0,1 mm/Jahr und entsprechend geringer Erosionsrate. Der Wärmefluss

und der In-situ-Stress sind durchschnittlich.

- **Günstige Wirtgesteinseigenschaften**: Der Opalinuston ist im ganzen Gebiet in ausreichender Mächtigkeit und lithologischer Homogenität vorhanden. Er hat eine sehr kleine hydraulische Durchlässigkeit, liefert ein stabiles geochemisches Umfeld und hat für die bautechnische Realisierung des Lagers geeignete felsmechanische Eigenschaften. Die Formationen oberhalb und unterhalb des Wirtgesteins sind zudem mehrheitlich ebenfalls geringdurchlässig und bilden eine zusätzliche Isolation.
- **Robustheit gegenüber Störeinflüssen**: Signifikante Veränderungen der günstigen Gesteinseigenschaften aufgrund von geologischen Ereignissen (z. B. Erdbeben) können aufgrund der vorgefundenen Situation ausgeschlossen werden. Das Fehlen abbauwürdiger Ressourcen (Erdöl, Kohle, Erze, Geothermie) macht einen Nutzungskonflikt und somit auch das unabsichtliche menschliche Eindringen unwahrscheinlich.
- **Explorierbarkeit**: Der einfache geologische Bau (Homogenität des Wirtgesteins, geringe fazielle Variabilität mit lateral annähernd konstanten Eigenschaften,wenig gestörte subhorizontale Schichtlage)und die einfache Topographie gewähren eine gute Explorierbarkeit der geometrischen Verhältnisse. Dies erlaubte die Durchführung einer hochauflösenden 3D-Seismik und die Übertragung von Resultaten der Bohrung Benken auf das gesamte Untersuchungsgebiet.
- **Prognostizierbarkeit**: Die geologische Entwicklungsgeschichte des Untersuchungsgebiets ist gut bekannt. Zusammen mit dem einfachen geologischen Bau besteht eine gute Prognostizierbarkeit der Entwicklung des Wirtgesteins und des potenziellen Standortgebiets über den für die Beurteilung der Langzeitsicherheit relevanten Zeitraum.
- **Flexibilität**: Wegen der konstanten Mächtigkeit der Opalinustonschicht und der grossen lateralen Ausdehnung besteht grosse Flexibilität zur Platzierung der Anlagen im potenziellen Standortgebiet. Die leichte Neigung der Schicht ermöglicht es, auch die Tiefenlage zu wählen.

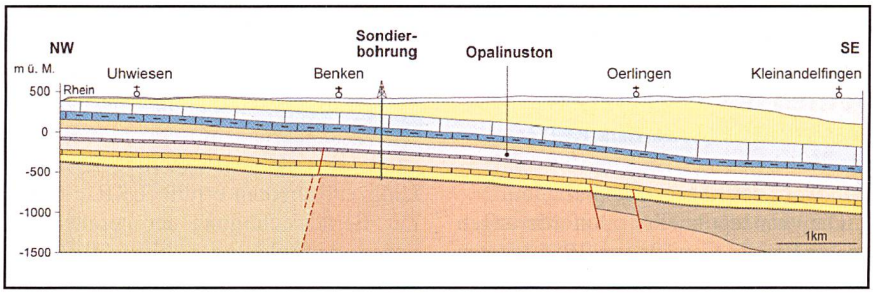


Bild 6 Geologisches Profil durch das Untersuchungsgebiet Zürcher Weinland mit der Bohrung Benken.

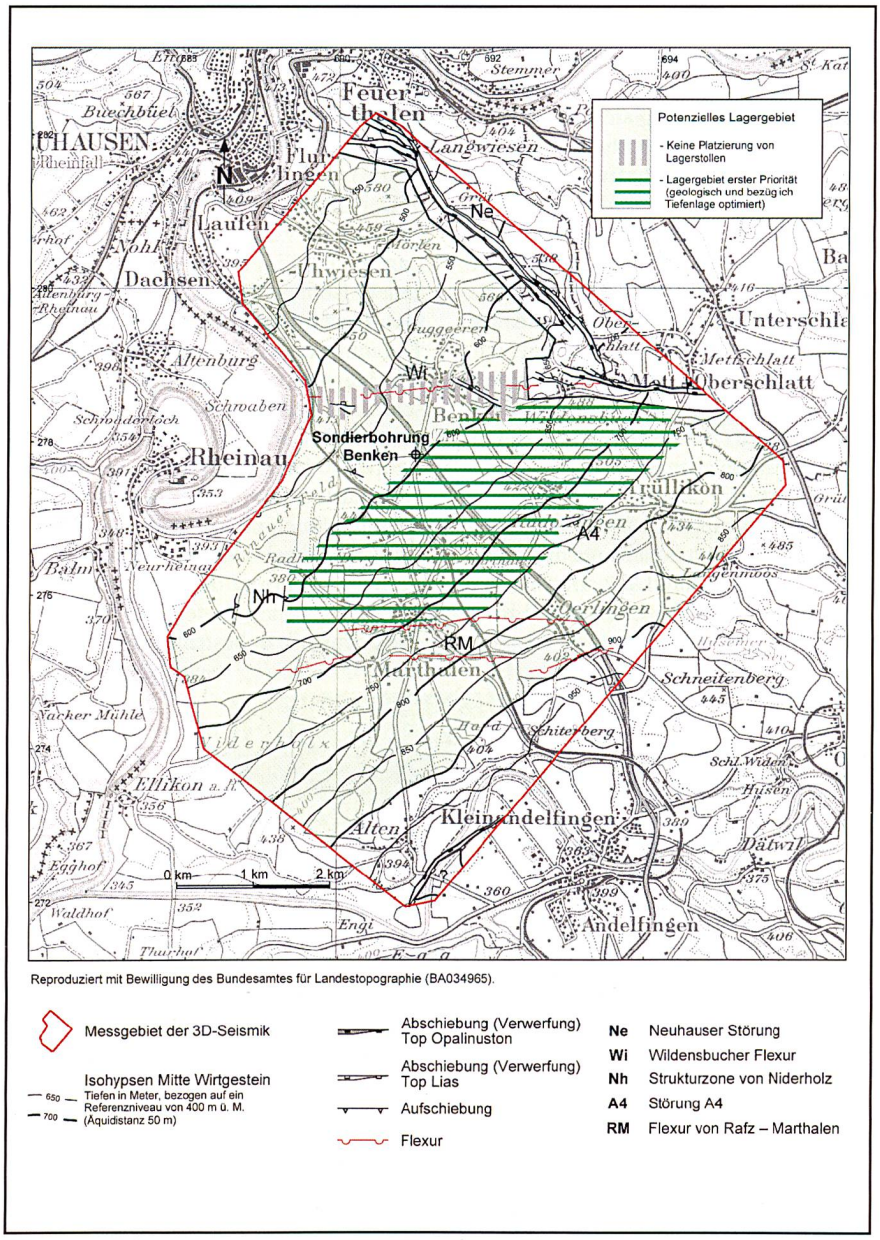


Bild 7 Für die untertägige Anlage eines Tiefenlagers potenziell geeignetes Gebiet.

Für die unterirdischen Lageranlagen wird eine Fläche von rund 2 km² benötigt. Für die Platzierung eines Lagers steht aufgrund der bisherigen Untersuchungen grundsätzlich eine Gesamtfläche von 35 km² zur Verfügung. Für einen optimalen Schutz vor Langzeiterosion wird jedoch das Gebiet mit weniger als 600 m Überdeckung nördlich der Wildensbucher Flexur nicht weiter betrachtet. Die verbleibenden 22 km² sind rund zehnmal grösser, als benötigt. Innerhalb dieses Gebiets wurden aus heutiger Sicht 8 km² als Lagergebiet erster Priorität bezeichnet (Bild 7).

Bemerkungen zum gewählten Lagerkonzept, Anlagen und Betrieb des Tiefenlagers (technische Machbarkeit)

Zur Wahl des Lagerkonzepts

Die konzeptionellen Anforderungen an das Projekt Gewähr von 1985 leiteten sich aus dem Wortlaut des Gesetzes ab («dauernde sichere Entsorgung und Endlagerung»), sowie aus der Detaillierung und Präzisierung dieser Anforderung durch die Sicherheitsbehörden des Bundes [HSK/KSA R-21]. Dem Projekt lag ein Endlager zugrunde, das jederzeit binnen weniger Jahre verschlossen werden konnte, und nachher auch ohne menschliches Zutun langfristig sicher blieb.

Die seitherige Entwicklung der Anforderungen der Gesellschaft an die Entsorgung hat den Grundsatz der vom Menschen unabhängigen Langzeitsicherheit und somit eines geologischen Endlagers bestätigt, gleichzeitig aber auch aufgezeigt, dass die Bevölkerung den als irreversibel empfundenen Entscheid zum definitiven Verschluss des Endlagers erst nach einer Phase ausgedehnter Überwachung zu treffen gedenkt. Hierzu fand eine umfangreiche öffentliche Diskussion statt, die im Jahre 1999 zur Berufung der Arbeitsgruppe EKRA (Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle) durch das Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) führte.

Bezüglich der Anforderungen an die Sicherheit von Mensch und Umwelt kam der Bericht der EKRA zum Schluss, dass nach heutigem Wissensstand die geologische Endlagerung die einzige Methode ist, welche die Anforderungen an die Langzeitsicherheit erfüllt [EKRA 2000]. Zur Berücksichtigung der gesellschaftlichen Anforderungen hinsichtlich der gewünschten Reversibilität von Entscheidungen arbeiteten die Experten der EKRA einen Vorschlag zur Gestaltung des geologischen Lagers aus, der seine stufenweise Umwandlung von einer überwachten Anlage zum verschlossenen Endlager ermöglicht, mit der Option, gewisse Überwachungsaktivitäten auch nach dem (teilweisen) Verschluss weiterzuführen (Konzept der «Kontrollierten Geologischen Langzeitlagerung – KGL»).

Der Gedanke eines schrittweisen Vorgehens zum Verschluss des geologischen Lagers fand Eingang in den Entwurf zum neuen Kernenergiegesetz [KEG 2001]. Das Gesetz spricht vom geologischen Tiefenlager, das nach einer vorgeschalteten längeren Beobachtungsphase verschlossen und somit in ein Endlager umgewandelt werden soll. Auch wenn zum Zeitpunkt der Ausarbeitung des Projekts Opalinuston die parlamentarische Behandlung noch nicht abgeschlossen war, ist festzuhalten, dass die konzeptionellen Festlegungen des Kernenergiegesetzes zur geologischen Tiefenlagerung in beiden Kammern unbestritten blieben.

Die über Jahre entwickelte Lagerstrategie der Nagra mit Betonung der Langzeitsicherheit ist in guter Übereinstimmung mit dem Konzept der Kontrollierten Geologischen Langzeitlagerung – KGL.

Dem Projekt Opalinuston wurden bezüglich des Lagerkonzepts ebenfalls das KGL-Konzept der EKRA (Test-, Pilot- und Hauptlager) und die entsprechenden Vorgaben des vorgeschlagenen neuen KEG zugrunde gelegt, also die Priorisierung der geologischen Langzeitsicherheit und ein schrittweises Vorgehen zum Verschluss.

Einzulagernde Abfälle

Zur Einlagerung im betrachteten Tiefenlager sind abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung vorgesehen. Alle Abfälle werden in speziellen Lagerbehältern bzw. Containern eingelagert. Für die Auslegung der Anlagen und die Beurteilung der Langzeitsicherheit wird angenommen, dass Abfälle aus insgesamt 192 GW_e/a Stromproduktion in bestehenden Kernenergieanlagen anfallen werden. Dieses Szenarium ergibt folgende Abfallmengen:

- Abgebrannte Brennelemente BE:2065 Lagerbehälter
- Verglaste hochaktive Abfälle HAA: 730 Stahlbehälter
- Verfestigte langlebige mittelaktive Abfälle LMA: Rund 4360 m^3 (sog. «cemented waste option»)

Konservativ, als Umhüllende aller Eventualitäten, wird als Extremvariante ein Abfallmengengerüst betrachtet, das einer Energieproduktion von 300 GW_e/a entspricht.

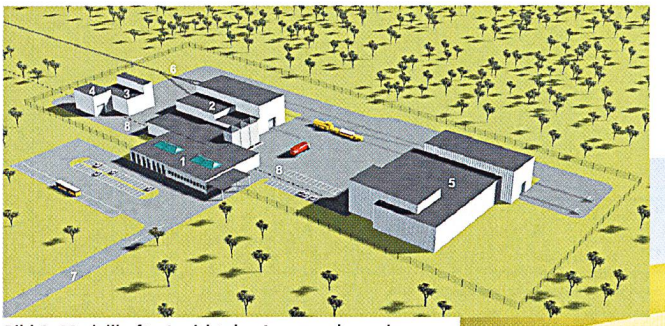


Bild 9 Modellhafte Ansicht der Aussenanlagen im Portalbereich des Tiefenlagers.

1 Administration
2 Betriebsgebäude
3 Lüftung
4 Geräteschleuse
5 Konditionier- und Verpackungsanlage für abgebrannte Brennelemente und verglaste hochaktive Abfälle
6 Bahnzufahrt
7 Strassenzufahrt
8 unterirdische Verbindung zwischen (5) und (4) zur Lagerrampe.

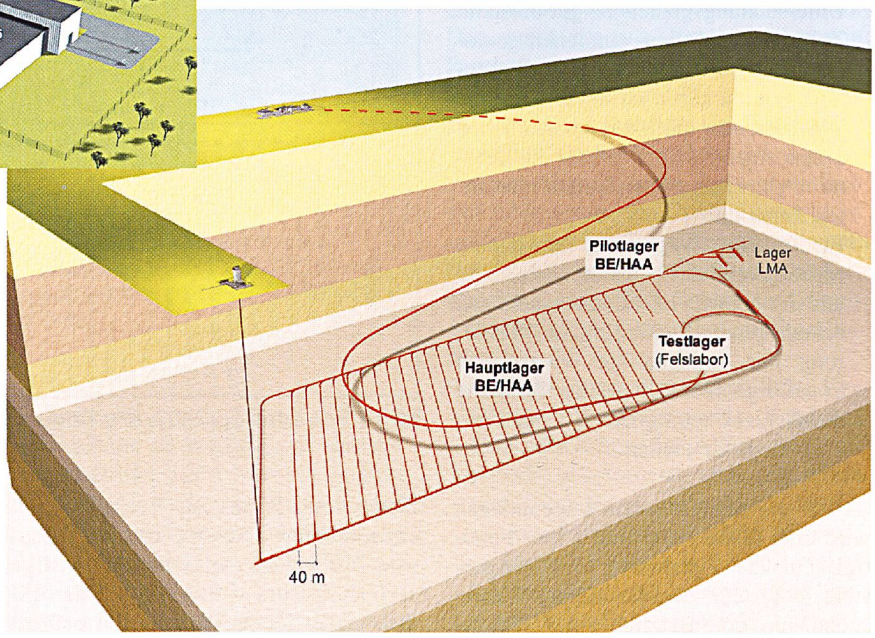


Bild 8 Schematische Gesamtdarstellung des Tiefenlagers für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle sowie langlebige mittelaktive Abfälle im Opalinuston des Zürcher Weinlandes.

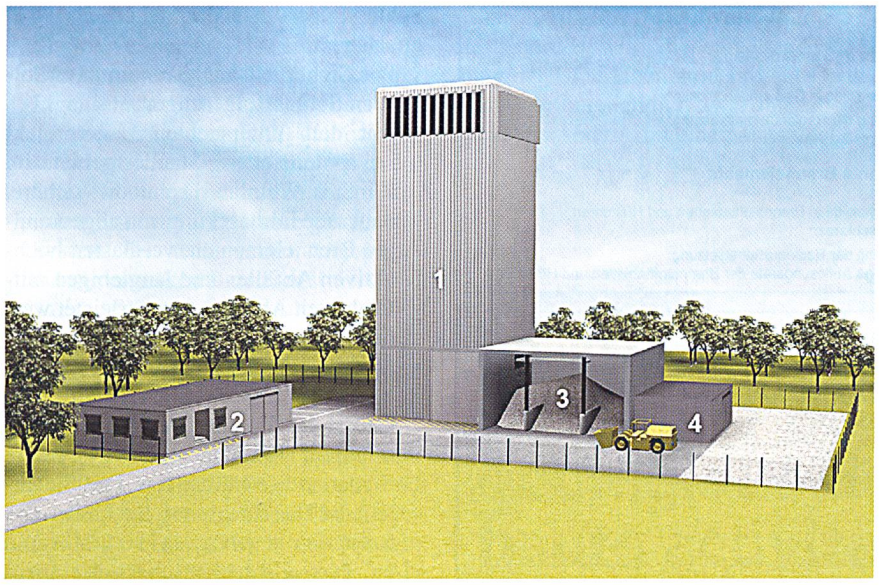


Bild 10 Modellansicht des Schachtkopfbereichs mit dem Förderturm mit Abluftöffnungen (1) und mit Hilfsgebäuden (2 bis 4).

Anlagen und Betrieb (technische Machbarkeit)

Der Nachweis der bautechnischen Machbarkeit der untertägigen Anlagen eines geologischen Tiefenlagers BE/HAA/LMA im Opalinuston wird anhand der gemessenen felsmechanischen Gesteinsparameter geführt. Das dazu erarbeitete Projekt zu Anlagen und Betrieb stellt weiter projektspezifische Unterlagen zur Führung des Nachweises der Langzeitsicherheit bereit und erlaubt auch, aufgrund eines im erforderlichen Detail ausgearbeiteten Anlagen- und Betriebskonzepts (Bilder 8, 9 und 10), die Betriebsabläufe zu überblicken und die Betriebssicherheit abzuklären. Im Einzelnen umfasste die Erarbeitung des Projekts folgende Schritte:

- Entwurf eines generellen Ablaufschemas zur Handhabung und Einlagerung der vorgesehenen radioaktiven Abfälle, einschliesslich der Erstellung der technischen Sicherheitsbarrieren sowie die Auslegung der Anlage unter Berücksichtigung der Sicherheitsvorgaben,
- überschlägige Auslegung der Transport- und Handhabungsgeräte sowie Festlegung von Lichtraumabmessungen für die verschiedenen Anlagenteile unter Tage,
- Ermittlung der Beanspruchung massgebender Stollen- und Tunnelquerschnitte und Vordimensionierung der Einbauten sowie Überlegungen zur Bauausführung,
- Überprüfung der Betriebssicherheit und der Betriebslüftung sowie
- Überlegungen zur Rückholbarkeit und zum Verschluss der Anlage.

Die verschiedenen Bauelemente und Anlagenteile wurden unter Einbezug der Erfahrung bei der Erstellung anderer Bauwerke gewählt und sind modellhaft als Baukastensystem zu einem geschlossenen Gesamtprojekt – mit «Referenzprojekt» bezeichnet – zusammengefügt.

Das bautechnische Projekt zu Anlagen und Betrieb kommt zum Schluss, dass das geologische Tiefenlager für BE/HAA/LMA im Opalinuston des Zürcher Weinlandes mit heutiger Technologie und im Rahmen der gesetzlich vorgegebenen Anforderungen gebaut, betrieben, überwacht und bei Bedarf innert weniger Jahre verschlossen werden kann. Die gesellschaftlichen Anforderungen nach Überwachung und Kontrolle werden erfüllt, die Rückholbarkeit der Abfälle ist ebenfalls gegeben.

Sicherheitstechnische Beurteilung (Sicherheitsnachweis)

Das System der mehrfachen Sicherheitsbarrieren

Die Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers im Opalinuston beruht auf dem System mehrfacher Sicherheitsbarrieren (Bild 11):

- Das Lager wird im **stabilen, tiefen** Untergrund angelegt, fern der zivilisatorischen Tätigkeiten, in einer Umgebung ohne Gefahr disruptiver geologischer Ereignisse und ungünstiger geologischer Prozesse sowie ohne ersichtlich ausbeutbare Naturressourcen (Erze, Energierohstoffe) bzw. anzunehmende unterirdische Infrastrukturbauten, sodass mit keinem unbeabsichtigten menschlichen Eindringen in der Zukunft zu rechnen ist.
- Das gewählte **Wirtgestein** – also das Gestein, in dem die Lageranlagen angelegt werden, der Opalinuston – hat eine extrem geringe hydraulische Durchlässigkeit und eine homogene Porenstruktur, mit Selbstabdichtung von allfälligen Rissen, was wirksam den Transport radioaktiver Stoffe unterbindet und die ingenieurmässig erstellten Sicherheitsbarrieren vor Umwelteinflüssen schützt.
- Die langfristig stabile **chemische Situation** im gewählten Wirtgestein, in der eine Reihe von geochemischen Rückhaltemechanismen wirksam ist und welche die Langzeitstabilität der ingenieurmässig erstellten Sicherheitsbarrieren gewährleistet.
- Der **Bentonit** (ein natürliches Tonmaterial) als Verfüllmaterial zwischen Abfällen und Gestein mit ähnlichen Eigenschaften wie das umgebende Wirtgestein wirkt als **sehr effiziente Transportbarriere**. Er sorgt für ein geeignetes chemisches, thermisches und mechanisches Umfeld für die Abfallbehälter.
- Die **Einbettung der Abfallstoffe** in inerte Matrizen gewährleistet deren langfristige Stabilität.
- Korrosionsbeständige **Behälter** mit hoher mechanischer Festigkeit, in welche die hochaktiven Abfälle und die abgebrannten Brennelemente eingebracht werden, stellen während einer sehr langen Zeit (zumindest 10 000 Jahre) einen absoluten Einschluss der Abfallstoffe sicher.

Primäres Ziel: Einschluss der Abfallstoffe am Lagerort

Durch dieses System der mehrfachen Sicherheitsbarrieren wird eine wirksame Isolation der Abfallstoffe vom menschlichen Lebensraum sichergestellt. Dabei zerfällt ein grosser Teil der in das Lager eingebrachten radioaktiven Stoffe bereits innerhalb der Zeit, während der die Abfallbehälter noch intakt sind und somit einen vollständigen Einschluss ergeben. Aber auch nach einer Verletzung der Behälter durch Korrosion und mechanische Beanspruchung sorgen die tiefe hydraulische Durchlässigkeit und das Rückhaltevermögen des eingebrachten Bentonit-Tons und des umgebenden Wirtgesteins dafür, dass radioaktive Abfallstoffe innerhalb des Lagersystems bleiben und dort zerfallen. Schliesslich sorgen die Transport- und Rückhaltemechanismen im Wirtgestein dafür, dass die Verteilung der restlichen Radionuklide in die Umgebung beispielsweise durch Diffusion und

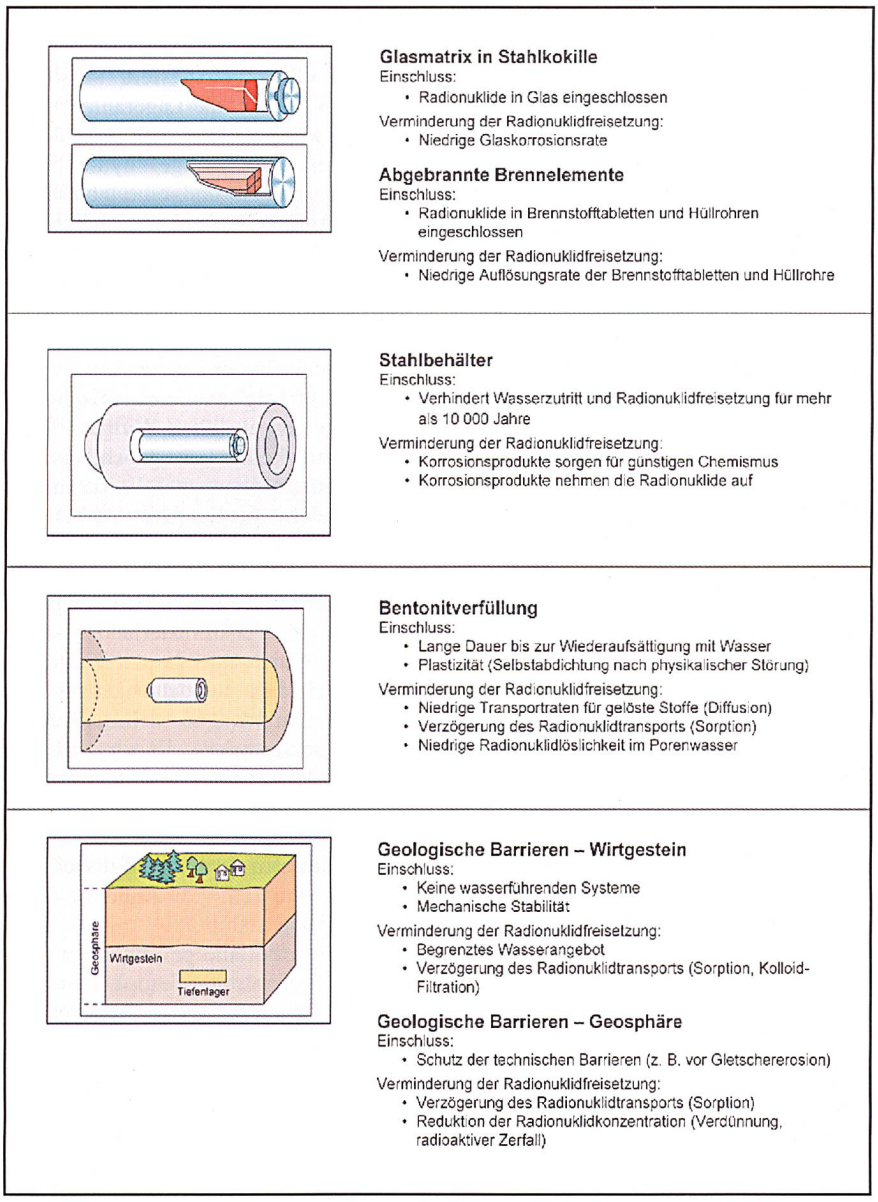


Bild 11 Das System der mehrfachen Sicherheitsbarrieren für abgebrannte Brennelemente und verglaste hochaktive Abfälle in einem geologischen Tiefenlager.

hydrodynamische Dispersion so langsam und räumlich so verdünnt erfolgt, dass die Konzentration der Nuklide unbedenklich klein bleibt.

Diese qualitativen Aussagen wurden aus quantitativen Sicherheitsanalysen für eine Reihe von Freisetzungsszenarien abgeleitet. Dabei werden neben der wahrscheinlichsten künftigen Entwicklung des Lagers alle realistischerweise anzunehmenden Abweichungen in Rechnung gestellt und alternative Freisetzungsszenarien durchgerechnet. Zusätzlich wurde eine Reihe von «Was wenn?»-Fällen eingeführt, in der Phänomene diskutiert werden, die zwar ausserhalb des Bereichs wissenschaftlich zu erwartender Effekte und Prozesse liegen, die Funktion der Sicherheitsbarrieren aber beeinträchtigen könnten. So kann überprüft werden, ob das System «robust» ist und auch einer unerwarteten Entwicklung standhält.

Für die Beurteilung der Sicherheit haben die Sicherheitsbehörden des Bundes in der Richtlinie R-21 [HSK/KSA R-21] strenge quantitative Vorgaben zur maximal zulässigen individuellen Dosis (d. h. der radiologischen Belastung) erlassen. Die Ergebnisse der Sicherheitsanalysen werden an diesen Grenzwerten gemessen. Daneben werden potenziell resultierende Konzentrationen der Abfallnuklide im Gestein mit den Konzentrationen natürlicher Radioaktivität verglichen, und Kenntnisse der über geologische Zeiträume wirksamen natürlichen Einschlusssysteme (sog. Natur-Analoga) werden ausgewertet.

Schlussfolgerungen der Sicherheitsanalyse

Die Sicherheitsanalyse kommt zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Mit dem untersuchten Lagerprojekt im potenziellen Standortgebiet im Zürcher Weinland kann die sichere, dauernde Endlagerung von abgebrannten Brennelementen, verglasten hochaktiven Abfällen und langlebigen mittelaktiven Abfällen gewährleistet werden.
- Wie die quantitative Analyse zeigt, hat das erdwissenschaftlich untersuchte Gebiet im Zürcher Weinland Eigenschaften, welche die geforderte Sicherheit gewährleisten. Die Sicherheit ist für ein breites Spektrum von Szenarien gegeben, das so umfassend ist, dass alle realistischerweise anzunehmenden Fälle der künftigen Entwicklung des Lagersystems abgedeckt werden.In allen Fällen bleibt die resultierende Strahlendosis unter den behördlichen Grenzwerten, in den meisten Fällen um mehrere Grössenordnungen.
- Das System hat sich als robust erwiesen, d.h. alle derzeit noch vorhandenen Ungewissheiten bezüglich der Systementwicklung stellen die Sicherheit nicht in Frage.
- Die felsmechanischen Eigenschaften des Gesteins und das gewählte bautechnische Projekt erlauben, das Lager so zu erstellen, zu betreiben und schliesslich zu verfüllen und zu verschliessen, dass die Langzeitsicherheit gewährleistet ist.
- Die Informationsbasis für die gewählte Standortregion ist ausreichend gross und die geologische Situation wird ausreichend gut verstanden, um die Sicherheitsaussagen zu stützen. Insbesondere ist die Geometrie und die Struktur des Wirtgesteins und der umgebenden Schichten durch die durchgeführte hochauflösende 3D-Seismik gut bekannt und durch die Sondierbohrung Benken gut charakterisiert, und ein grosser Bereich ungestörten Wirtgesteins konnte nachgewiesen werden.
- Die Eigenschaften des Wirtgesteins konnten durch ausgedehnte In-situ-Versuche im Felslabor Mont Terri im Detail untersucht werden. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit denjenigen in der Sondierbohrung Benken.
- Die künftige geologische Entwicklung der Standortregion kann gut abgeschätzt werden, weil extensive regionale erdwissenschaftliche Untersuchungen vorliegen und die all-

gemeine geologische Situation der Region vergleichsweise einfach ist.

- Die Kenntnisse der Abfälle und ihrer Eigenschaften sind ausreichend und beruhen auf mehr als 20 Jahren wissenschaftlicher Untersuchungen in der Schweiz und einer weiten internationalen Erfahrung. Dasselbe gilt für das System der technischen, ingenieurmässig erstellten Barrieren.

Schlussfolgerungen, weiteres Vorgehen

Der Entsorgungsnachweis hat mehrere Ziele. Primär ist die Machbarkeit und Sicherheit der geologischen Tiefenlagerung der BE/HAA/LMA in der Schweiz abzuklären und nachzuweisen. Als Nächstes dient er als Grundlage für den Bundesrat, das weitere Vorgehen im Hinblick auf die Entsorgung der BE/HAA/LMA festzulegen. Zusätzlich liefert das Projekt Unterlagen für die Planung der künftigen Entsorgungsarbeiten einschliesslich der Schätzung ihrer Kosten, und – nicht zuletzt – sollen damit Grundlagen für eine eingehende gesellschaftliche Diskussion der Entsorgungsfragen bereitgestellt werden.

Das Projekt Opalinuston wird diesen Anforderungen gerecht. Mit dem untersuchten Lagerprojekt im potenziellen Standortgebiet im Zürcher Weinland wird gezeigt, dass die sichere, dauernde Entsorgung von abgebrannten Brennelementen, verglasten hochaktiven Abfällen und langlebigen mittelaktiven Abfällen in einem geologischen Tiefenlager möglich ist.

Gestützt auf die Resultate des Projektes Opalinuston und das durchgeführte systematische Auswahlverfahren beantragt die Nagra dem Bundesrat,

- von der Erfüllung der Auflagen zum Projekt Gewähr gemäss Beschluss des Bundesrates vom 3. Juni 1988 im zustimmenden Sinne Kenntnis zu nehmen und den Entsorgungsnachweis als erbracht zu genehmigen,
- und der Fokussierung künftiger Untersuchungen in Hinblick auf eine geologische Tiefenlagerung der abgebrannten Brennelemente, verglasten hochaktiven Abfälle sowie langlebigen mittelaktiven Abfälle BE/HAA/LMA in der Schweiz auf den Opalinuston und das potenzielle Standortgebiet im Zürcher Weinland zuzustimmen.

Nach Angaben der involvierten Bundesbehörden wird die eingehende Prüfung der Unterlagen zum Projekt Opalinuston voraussichtlich zwei Jahre beanspruchen, sodass mit einem entsprechenden Entscheid des Bundesrates im Jahre 2005 oder 2006 zu rechnen ist.

Literatur auf Anfrage

La «Démonstration de la faisabilité du stockage géologique des déchets de haute activité» transmise à la date prévue

La Nagra – Société coopérative nationale pour le stockage géologique de déchets radioactifs – a, comme il avait été annoncé, terminé son étude de faisabilité sur l'évacuation des déchets radioactifs (dont le titre original est Entsorgungsnachweis). La série de rapports a été transmise aux autorités fédérales le 20 décembre 2002. L'étude démontre comment et dans quelle région de Suisse les assemblages combustibles usés (AC), les déchets de haute activité (DHA) et de moyenne activité à vie longue (DMAL) peuvent être stockés en toute sécurité. Les autorités fédérales responsables de la sûreté vont examiner ces documents, afin que le Conseil fédéral puisse décider, vraisemblablement en 2006, de la suite à donner aux travaux relatifs au stockage des déchets. Le choix d'un site de stockage sera soumis à une procédure d'autorisation ultérieure.

La démonstration de faisabilité est basée sur le projet «Argiles à Opalinus», qui tire son nom de la roche d'accueil sélectionnée pour l'implantation du dépôt. Les Argiles à Opalinus et le secteur étudié – le «Weinland zurichois» (nord du canton) – ont été choisis sur la base de critères de sûreté, à l'issue d'une procédure de sélection large, systématique et bien documentée. Cette procédure a également permis de déterminer plusieurs alternatives, tant au niveau de la roche que de la région envisagée. Les résultats du projet montrent que les Argiles à Opalinus du secteur étudié peuvent accueillir un dépôt en profondeur pour déchets de haute activité et que les objectifs de protection peuvent y être respectés.

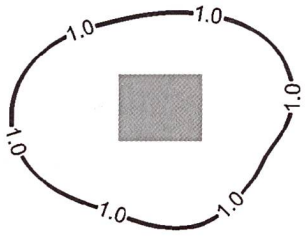
La Nagra demande par conséquent au Conseil fédéral d'accepter la «Démonstration de la faisabilité du stockage géologique des déchets radioactifs» et d'autoriser la poursuite des recherches en vue de l'établissement d'un dépôt géologique profond pour déchets de haute activité (AC/DHA/DMAL) en Suisse, dans les Argiles à Opalinus et le secteur du Weinland zurichois.

Les trois volumineux rapports qui constituent la documentation technique transmise au Conseil fédéral (synthèse des recherches géologiques, construction et exploitation, analyse de la sûreté) vont être imprimés et seront ultérieurement accessibles au public. Un résumé du projet «Argiles à Opalinus» est disponible sur notre site Internet à l'adresse www.nagra.ch.

La «Démonstration de la faisabilité du stockage géologique» comprend trois volets distincts:

- Démonstration de l'existence d'un site: il existe en Suisse un ou plusieurs sites adaptés au stockage des déchets du point de vue géologique et hydrogéologique.
- Démonstration de la faisabilité technique: il est possible, dans l'état actuel des connaissances techniques, de construire et d'exploiter un dépôt implanté sur un tel site.
- Démonstration de la sûreté: un tel dépôt respecte les exigences posées par les autorités compétentes en matière de sûreté à long terme.

Grenzwerte



ARNOLD Engineering und Beratung ist der Spezialist in Sachen **E**lektro-**M**agnetischer **V**erträglichkeit

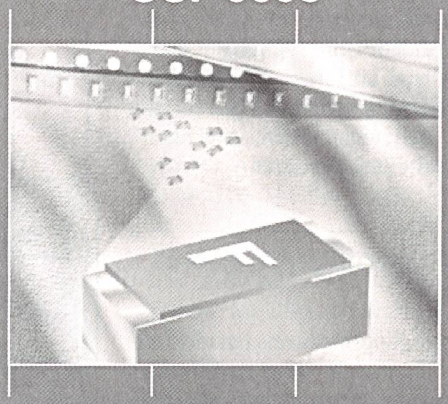
NISV - Beratungen Niederspannungsnetz

Ihr Partner für die Realisierung von NISV-konformen Anlagen

ARNOLD
ENGINEERING UND BERATUNG

CH-8152 Opfikon/Glattbrugg, Wallisellerstrasse 75
Telefon 01/828 15 51, Fax 01/828 15 52

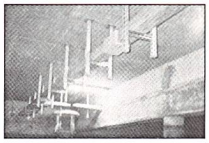
ULTRA SMALL FUSES USF 0603

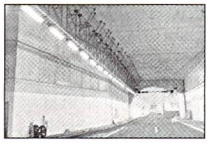


Schurter, Ihr Partner im Bereich elektronischer und elektromechanischer Bauteile, bietet ein zuverlässiges Produkt, wenn es um oberflächenmontierbare Dünnfilmsicherungen geht: die USF 0603.

- ultra klein, nur 1.6 mm lang
- Nennstrombereich von 500mA – 5A
- über den ganzen Nennstrombereich mit einem Ausschaltvermögen von 50A/32V
- Umgebungstemperaturen bis 90°C
- Buchstabencode zur visuellen Identifikation der Nennströme
- Approbation nach UL/CSA-Norm

SCHURTER
contact@schurter.ch
www.schurter.com/usf1





100 % korrosionsfest für Abwasserreinigungs-, Kehrichtverbrennungs- und Aussenanlagen, Lebensmittelindustrie, Bahn- / Strassentunnel, unterirdische Bauten, Offshore-Einrichtungen.
Zu international konkurrenzfähigen Preisen:

- **LANZ HE-Stromschienen** 400 A – 6000 A 1000 V. Korrosionsfest. Giessharzvergossen IP 68. EN / IEC-typengeprüft. Produktion ISO 9001. LM1
- **G-Kanäle, Gitterbahnen, Multibahnen, Weitspann-Mb, Steigleitungen** aus Stahl tauchfeuerverzinkt DIN 50 976, rostfrei A4 WN 1.4571, und 1.4539, oder nach Kundenwunsch. Geprüft für Funktionserhalt im Brandfall E 30 / E 90. Rost frei
- **MULTIFIX-Profilschienen und -Rohrschellen** für koordinierte Installationen von Kabel, Rohren und Leitungen. Abrutschsicher verzahnt. ACS Schockattest 3 bar.

Robust dimensioniert. Perfekt verarbeitet. CE- und IEC-konform. Für Beratung, Offerte, preisgünstige Lieferung
lanz oensingen ag Tel. 062 388 21 21 Fax 062 388 24 24

☐ **Mich interessieren** .....
..... Bitte senden Sie Unterlagen.

☐ Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!

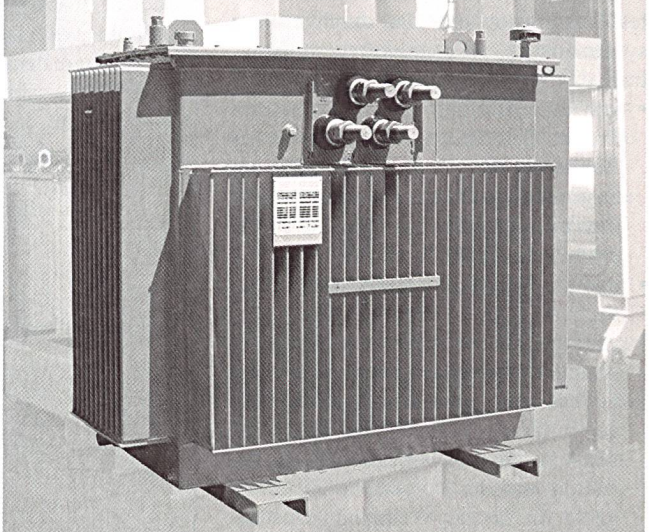
Name / Adresse / Tel. _____

A6

lanz oensingen ag
CH-4702 Oensingen
Telefon 062 388 21 21
www.lanz-oens.com
Südringstrasse 2
Fax 062 388 24 24
info@lanz-oens-com

RAUSCHER & STOECKLIN AG
ELEKTROTECHNIK
POSTFACH
CH-4450 SISSACH
Tel. +41 61 976 34 66
Fax +41 61 976 34 22
Internet: www.raustoc.ch
E-Mail: info@raustoc.ch

RAUSCHER STOECKLIN



Wir bauen Transformatoren nach Mass.