

Zusammenfassung

Die Entsorgung von abgebrannten Brennelementen (BE), verglasten hochaktiven Abfällen (HAA) und langlebigen mittelaktiven Abfällen (LMA) vor allem aus der Wiederaufarbeitung beruht auf dem Konzept der geologischen Tiefenlagerung, d.h. ihrem dauerhaft wirksamen Einschluss in geeigneten, tiefliegenden Gesteinsformationen. Die ersten diesbezüglich durch die Nagra durchgeführten Projektstudien liegen über 20 Jahre zurück (Nagra 1980) und untersuchten die Entsorgung im kristallinen Untergrund und im Tongestein. Die über Jahre entwickelte Lagerstrategie der Nagra ist in guter Übereinstimmung mit dem Konzept der "Kontrollierten Geologischen Langzeitlagerung – KGL", wie es in den neuesten Vorgaben der Behörden formuliert ist (EKRA 2000, KEG 2001).

Der vorliegende Bericht ist als Projektbericht zum *Entsorgungsnachweis* erstellt worden, welcher im weiteren einen geologischen Synthesebericht zum Zürcher Weinland (Nagra 2002a) und einen Bericht zur Langzeitsicherheit (Nagra 2002b) umfasst. Das Projekt zeigt die Machbarkeit der Entsorgung der BE/HAA/LMA in der Nordschweiz auf.

Gegenstand dieses Berichtes ist die Abklärung der bautechnischen Machbarkeit eines geologischen Tiefenlagers BE/HAA/LMA im Opalinuston des Zürcher Weinlandes und die Bereitstellung projektspezifischer Unterlagen zur Führung des Langzeitsicherheitsnachweises. Dazu ist ein Anlagen- und Betriebskonzept erstellt worden. Die einzelnen Bauelemente bzw. Anlagenteile, für welche der Machbarkeitsnachweis geführt wird, sind modellhaft als Baukastensystem zu einem in sich geschlossenen Gesamtprojekt zusammengefügt und werden in diesem Bericht als *Referenzprojekt* präsentiert.

Dieses Referenzprojekt ist das Resultat des nachstehend zusammengefassten Vorgehens, welches die folgenden grundsätzlichen Schritte umfasste:

- Entwurf eines generellen Ablaufschemas zur Handhabung und Einlagerung von radioaktiven Abfällen inkl. deren technische Barrieren sowie Auslegung der Anlage, basierend auf spezifischen Vorgaben bzw. Anforderungen,
- Überschlägige Auslegung der Transport- und Handhabungsgeräte sowie Festlegung von Lichtraumabmessungen für die verschiedenen Anlagenteile unter Tag,
- Ermittlung der Beanspruchung massgebender Stollen- und Tunnelquerschnitte und Vor-dimensionierung der Einbauten; Überlegungen zur Bauausführung,
- Überprüfung der Betriebssicherheit, der Betriebslüftung und Überlegungen zur Rückholbarkeit, Definition bzw. Festlegung des Referenzprojektes unter Einbezug der Bauerfahrung aus anderen Bauwerken; Abklärungen zum Verschluss der Anlage.

Um die Flexibilität des Systems zu prüfen, ist jeweils fallspezifisch, im Sinne sog. "was, wenn"-Szenarien, auf mögliche andere Lösungen bzw. alternativ zu treffende Massnahmen eingegangen worden. Als Resultat der durchgeführten Arbeiten kann folgende *Schlussfolgerung* gezogen werden:

Ein geologisches Tiefenlager BE/HAA/LMA für abgebrannte Brennelemente aus dem Betrieb schweizerischer Nuklearanlagen sowie für verglaste hochaktive und langlebige mittelaktive Abfälle vor allem aus der Wiederaufarbeitung kann im Opalinuston des Zürcher Weinlands mit heutiger Technologie im Rahmen der gesetzlich vorgegebenen Sicherheitsanforderungen gebaut, betrieben, überwacht und inert einiger Jahre verschlossen werden. Die gesellschaftlichen Anforderungen nach Überwachung und Kontrolle, wie sie im Entwurf zum Kernenergiegesetz 2001 formuliert wurden, werden erfüllt. Die Rückholbarkeit der eingelagerten Abfälle ist ebenfalls gegeben. Raumreserven sind vorhanden und das Anlagen- und Betriebskonzept bietet eine hohe Flexibilität bei der Fortführung des Projektes.

Abstract

The management of spent fuel (SF), vitrified high-level waste (HLW) and long-lived intermediate-level waste (TRU) principally from reprocessing is based on the concept of deep geological disposal, i.e. long-term isolation of the waste in suitable, deep-lying rock formations. The first project studies carried out by Nagra in this connection date back more than 20 years (Nagra 1980) and looked at the option of disposal in crystalline basement rock and clay. The disposal strategy developed by Nagra over the years ties in closely with the concept of "monitored, long-term geological disposal" as formulated in the most recent requirements of the authorities (EKRA 2000, KEG 2001).

This report forms part of the series produced for the *Entsorgungsnachweis Project*, which also includes a geological synthesis report on the region of the Zürcher Weinland (Nagra 2002a) and a safety assessment report (Nagra 2002b). The purpose of the Project is to demonstrate the feasibility of disposing of SF/HLW/TRU in Northern Switzerland.

The aim of this report is to investigate the engineering feasibility of constructing a repository for SF/HLW/TRU in the Opalinus Clay of the Zürcher Weinland and to provide project-specific input for the long-term safety assessment. Therefore, a concept for the facilities and operation of the repository was elaborated. The individual structural elements and components for which the feasibility demonstration was performed are part of a modular system, which is brought together to form a stand-alone project, presented in this report as the *Reference Project*.

This Reference Project is the end-result of the procedure summarised below, which consists of the following steps:

- Outlining a general procedure for handling and emplacing radioactive waste, including engineered barriers and facility design based on specific boundary conditions and requirements.
- Approximate design of transport and handling equipment and specification of the clearance profiles for the different underground structures.
- Determining the stress on key drift and tunnel cross-sections and preliminary design of rock support measures; consideration of construction procedures.
- Reviewing operational safety, ventilation and consideration of retrievability; definition of the Reference Project drawing on experience from other construction projects; investigation of closure of the facility.

In order to test the flexibility of the system, "what-if" scenarios in the form of possible alternative solutions or alternative measures have been discussed on a case-specific basis. As a result of the work that has been performed, the following conclusion can be drawn:

A deep geological repository in the Opalinus Clay of the Zürcher Weinland for spent fuel from the operation of the Swiss nuclear power plants and for vitrified high-level and long-lived intermediate-level waste mainly from reprocessing can be constructed and operated and can be closed within a few years using currently available technology and in accordance with legally prescribed safety standards. Societal requirements relating to monitoring and control, as formulated in the draft of the new Nuclear Energy Law of 2001, are fulfilled. The retrievability of emplaced waste is also assured. Spatial reserves exist and the concept for facilities and operation offers a high degree of flexibility for the continuation of the project.

Résumé

Pour les assemblages de combustibles usés (AC), les déchets de haute activité vitrifiés (DHA) et les déchets de moyenne activité à vie longue (DMAL), provenant principalement du retraitement des combustibles usés, le concept d'évacuation prévoit le stockage géologique profond, c'est-à-dire le confinement à long terme des colis dans des formations géologiques appropriées, situées à plusieurs centaines de mètres sous la surface du sol. Les premières études dans ce sens réalisées par la Nagra remontent à plus de 20 ans (Nagra 1980) et concernent à la fois le socle cristallin et les roches argileuses. La stratégie de stockage élaborée par la Nagra est en accord avec le concept de "stockage géologique durable contrôlé (KGL)", formulé dans les documents des autorités compétentes les plus récents (EKRA 2000, KEG 2001).

La présente étude fait partie de la série de rapports intitulée "Démonstration de la faisabilité du stockage géologique" (*Entsorgungsnachweis*), qui comprend en outre un rapport de synthèse sur la géologie du Weinland zurichois dans le nord de la Suisse (Nagra 2002a) et un rapport sur la sûreté radiologique à long terme du dépôt envisagé (Nagra 2002b). Le projet *Entsorgungsnachweis* démontre la faisabilité du stockage des AC/DHA/DMAL en couches géologiques profondes dans le nord de la Suisse.

Ce rapport concerne les modalités de la construction d'un dépôt géologique pour AC/DHA/DMAL dans les argiles à Opalinus du Weinland zurichois et présente, dans cette perspective, les documents de base nécessaires pour démontrer la sûreté à long terme de ce dépôt. Un concept de construction et d'exploitation a par conséquent été élaboré. Les différents éléments de la construction et de l'infrastructure sur lesquels est basée la démonstration de faisabilité sont assemblés de façon modulaire pour former un projet complet, présenté dans ce rapport sous le nom de *projet de référence*.

Ce projet de référence a été obtenu à l'issue de la procédure par étapes résumée ci-dessous:

- Proposition d'un schéma général d'exploitation pour la manutention et le stockage des déchets radioactifs (comprenant les barrières ouvragées) et disposition générale des ouvrages, en tenant compte des données et contraintes spécifiques
- Conception des outils de transport et de manutention, et définition des dimensions des différents secteurs de l'infrastructure souterraine
- Prise en compte des contraintes relatives au diamètre des galeries et des tunnels, et dimensionnement prévisionnel des revêtements; réflexions sur la construction proprement dite du dépôt
- Vérification de la sécurité des opérations, de l'aération pendant la phase d'exploitation et réflexions sur la possibilité de récupérer les colis, élaboration et définition du projet de référence en tenant compte des expériences effectuées par d'autres projets de construction; études sur la fermeture du dépôt.

Pour tester la flexibilité du système, d'autres solutions ou mesures alternatives ont été envisagées sur la base de questions du type "qu'arriverait-il si...". A l'issue des études effectuées, il est possible de tirer les *conclusions* suivantes:

Un dépôt géologique en profondeur AC/DHA/DMAL, destiné aux éléments combustibles usés issus de l'exploitation des centrales nucléaires suisses, aux déchets de haute activité vitrifiés et aux déchets de moyenne activité à vie longue provenant des opérations de retraitement du combustible, peut, dans les argiles à Opalinus du Weinland zurichois, avec la technologie actuelle et en respectant les dispositions légales en matière de sûreté, être construit, exploité, surveillé et fermé quelques années plus tard. Les exigences de surveillance et de contrôle posées par la société, telles qu'elles sont formulées dans le projet de Loi sur l'énergie nucléaire, sont remplies. La réversibilité du stockage des déchets est également assurée. Il existe une marge de manœuvre suffisante au niveau de l'espace disponible et le concept de construction et d'exploitation présente une grande flexibilité pour la poursuite du projet.