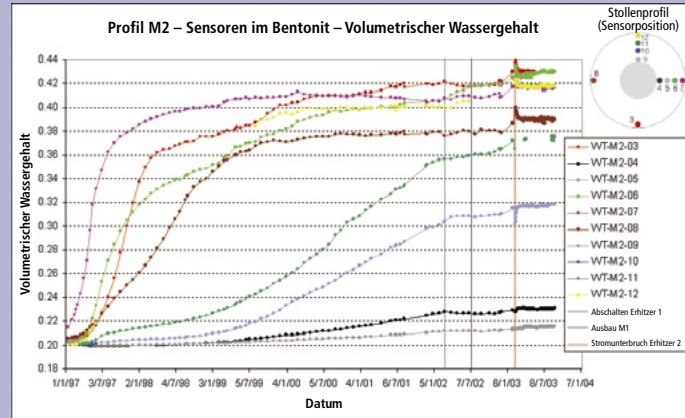
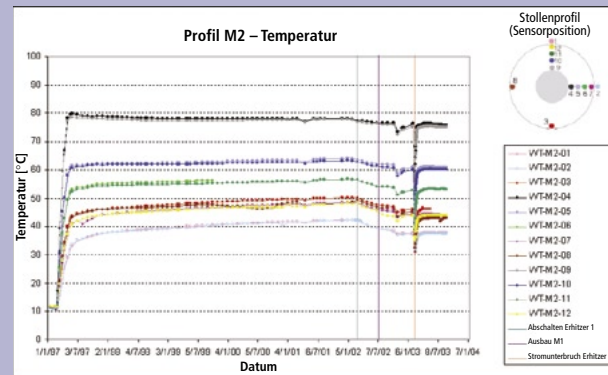


Aufsättigung des Barrierensystems: Bislang erzielte Resultate



In der Nähe des Erhitzers blieben Wassergehalt und Dichte des Bentonits während der gesamten Überwachungszeit von 5 Jahren relativ konstant. Weiter vom Erhitzer entfernt wurde als Ergebnis der zunehmenden Aufsättigung des Bentonits aus dem umgebenden Gestein ein stetiger Anstieg des Wassergehalts beobachtet. Die dem Wirtgestein am nächsten gelegenen Bentonitblöcke wurden dabei fast vollständig aufgesättigt.



Die Temperaturprofile zeigen für den FEBEX-Bentonit eine einheitliche Abnahme von den am nächsten zu den Erhitzern platzierten Sensoren weg in Richtung Tunnelwand. Die Erhitzersteuerung regelt die Temperatur auf gleichbleibende 100 °C an der Erhitzeroberfläche; dadurch erklärt sich auch der schnelle Temperaturanstieg zu Beginn der Überwachungsphase. Die Grafik verdeutlicht zudem, dass sich der Ausbau des ersten Erhitzers lediglich geringfügig auf die Temperaturbedingungen um den Erhitzer 2 auswirkte. Der grosse Temperaturabfall lässt sich auf ein kurzfristiges Versagen der Steuerelektronik zu Anfang des Jahres 2003 zurückführen.

Wichtigste Schlussfolgerungen

- Es konnte die Machbarkeit eines technischen Barrierensystems für BE (und HAA) im Massstab 1:1 gezeigt werden.
- Eine vollständige Sättigung der äusseren Bentonitringe wurde nach 5 Jahren natürlicher Aufsättigung erzielt, der innere Bentonit blieb dabei weitgehend trocken (aufgrund der beiden Erhitzer). Zwischen den Erhitzern und dem Wirtgestein gab es einen einheitlichen Anstieg der Bentonitsättigung (senkrecht zum Stollen).
- Die Bentonitsättigung verlief parallel zum Stollen ebenfalls homogen.
- Die Modellierung konnte den Wärmetransfer und Grad der Aufsättigung im gesamten Bentonit in ausreichender Genauigkeit vorhersagen.
- Die Sensoren arbeiteten zuverlässiger als unter derart schwierigen Bedingungen zu erwarten war.
- Die Fortführung des FEBEX ermöglicht eine Weiterentwicklung und Bewertung der in der Modellierung verwendeten Computercodes.

Die Zukunft des FEBEX

FEBEX wird auf bislang unbestimmte Zeit fortgeführt, da eine grosse Anzahl der eingesetzten Sensoren immer noch funktioniert. Damit wird es möglich, das Langzeitverhalten des Systems der technischen Sicherheitsbarrieren weiterhin zu untersuchen.

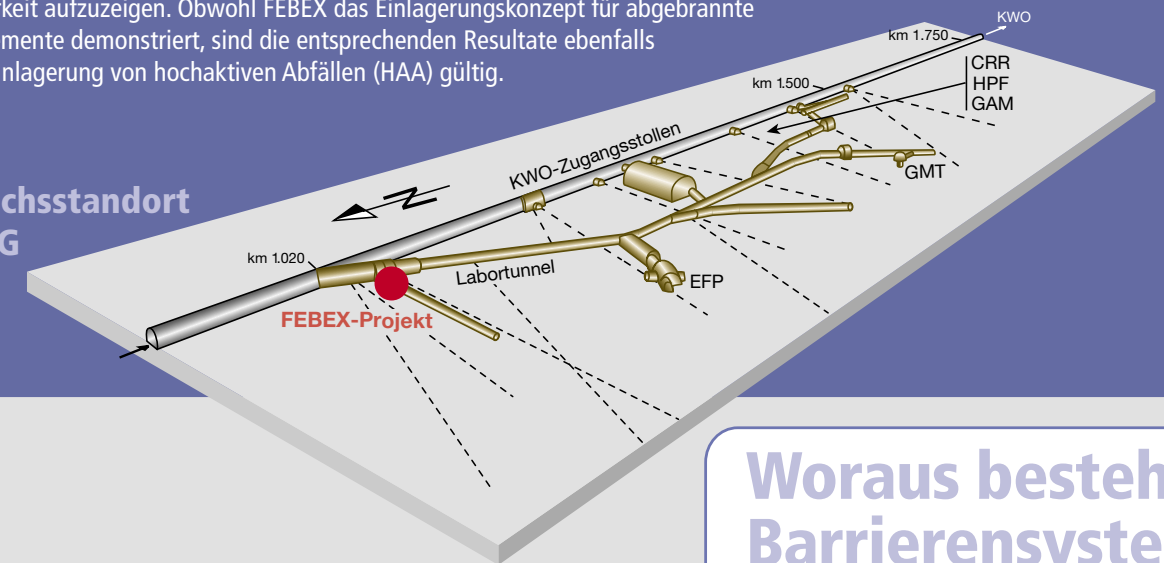
FELSLABOR GRIMSEL

1:1-Demonstrationsversuch des Einlagerungskonzepts für hochaktive Abfälle (FEBEX)

Überblick FEBEX

FEBEX überprüft das Einlagerungskonzept für abgebrannte Brennelemente (BE) im Massstab 1:1. Dabei werden die durch radioaktiven Zerfall entstehende Abwärme und das Gewicht der BE-Abfallgebinde mit zwei grossen elektrischen Heizelementen bzw. Erhitzern simuliert. Diese Erhitzer sind in kompaktierte Blöcke aus Bentonit eingebettet. Das Experiment hat zum Ziel, unter realistischen Bedingungen Voraussagen zur Wirksamkeit des Systems der technischen Sicherheitsbarrieren (EBS) zu treffen und dessen bautechnische Machbarkeit aufzuzeigen. Obwohl FEBEX das Einlagerungskonzept für abgebrannte Brennelemente demonstriert, sind die entsprechenden Resultate ebenfalls für die Einlagerung von hochaktiven Abfällen (HAA) gültig.

Versuchsstandort
im FLG

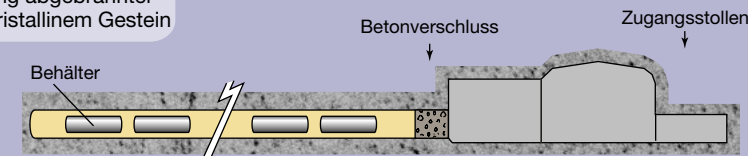


Woraus besteht das Barrierensystem?

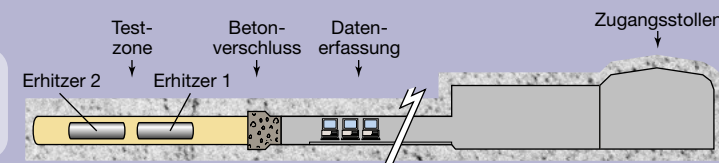
In einem Tiefenlager werden die Abfälle in ein System von technischen Sicherheitsbarrieren eingebettet, d.h. der Glasmatrix im Falle der HAA, dem Stahlbehälter und der aus Bentonit (einem natürlich vorkommenden Tonmaterial) bestehenden Stollenverfüllung. Die Aufgabe dieses Barrierensystems besteht u.a. in der Isolierung der Abfälle, bis deren Aktivität auf ein sicheres Niveau abgeklungen ist.

Komponenten des Barrierensystems und FEBEX-Versuch

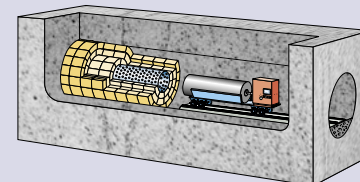
Spanisches Entsorgungskonzept für die Tiefenlagerung abgebrannter Brennelemente in kristallinem Gestein



FEBEX I
Demonstration des technischen Barrierensystems für ein BE-Tiefenlager im Massstab 1:1



Einbau der Erhitzer



Nähere Details finden Sie auf unserer Website: www.grimsel.com

Nagra, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Hardstrasse 73, CH 5430 Wettingen, Schweiz.
Tel. +41 56-437 11 11 Fax: +41 56-437 12 96 Email: info@nagra.ch Internet: www.nagra.ch

FEBEX-PARTNERORGANISATIONEN

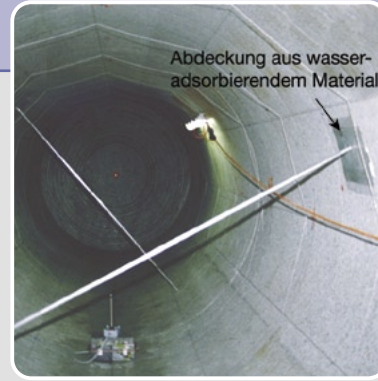


FEBEX steht unter der Leitung von ENRESA (ES). Die FEBEX-Partnerorganisationen trugen weltweit zum In-situ-Versuch mit Laborstudien, Computermodellierungen und einem kleineren Laborversuch, dem sogenannten «Mock-up-Versuch» in reduziertem Massstab 1:3 des In-situ-Versuchs bei. Partnerorganisationen: CIEMAT (ES), AITEMIN (ES), CIMNE-DIT (ES), CSIC (ES), UDC (ES), UPM (ES), SKB (SE), POSIVA (FI), VTT (FI), CEG-CTU (CZ), Euridice EIG (BE), G.3S (FR), GRS (DE), ANDRA (FR), BGR (DE), Nagra (CH), PSI (CH), Clay Technology Lund AB (SE), VBB VIAK (SE), INPL (FR), Euro-Géomat Consulting (FR), BRGM (FR), BBW (CH), Europäische Kommission (EU).

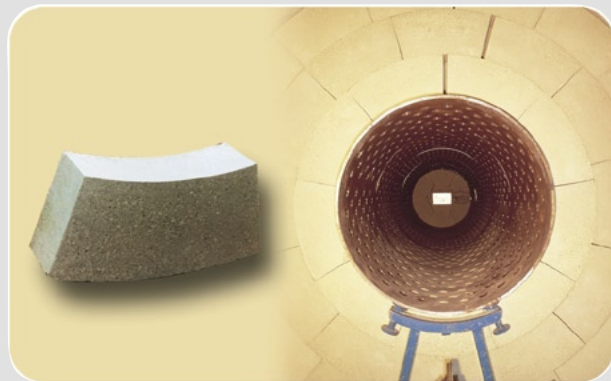
Auffahren des FEBEX-Stollenabschnitts und Einbau



Der FEBEX-Stollen wurde 1996 mit Hilfe einer Vollschnitt-Tunnelbohrmaschine (Stollendurchmesser: 2.3 m) erstellt.



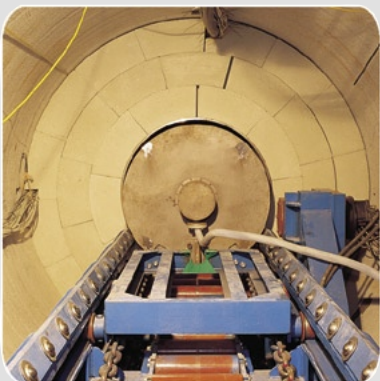
Daran anschliessend folgte eine Phase der Standortcharakterisierung (Geologie, Hydrologie).



Das technische Barrierensystem wurde aus vorgefertigten Bentonitblöcken um einen zentralen Stahl-Liner eingebaut. Damit ist ein einfacher Ein- und Ausbau der «Behälter» gewährleistet. Mehr als 600 Sensoren sind innerhalb des Barrierensystems zur Überwachung installiert. Dabei steht die Bestimmung des Aufsättigungsverhaltens der Bentonitverfüllung im Vordergrund.



Es wurden zwei elektrische Erhitzer mit gleichem Gewicht und Abmessungen wie die Behälter für abgebrannte Brennelemente (12 Tonnen und 4.5 m Länge) eingebaut.



Nach Einbau der beiden Erhitzer wurde der Stollen durch einen 2.7 m langen Betonpfropfen verschlossen. Das Foto (oben) zeigt die Betonblöcke mit dem Erhitzer.



Im Februar 1997 wurden die Erhitzer in Betrieb genommen und daraufhin die Daten mit dem Datenerfassungssystem im Stollen gesammelt und on-line zum Kontrollzentrum in Madrid gesendet. Die Erhitzer werden auf einer Temperatur von konstant 100 °C gehalten.

Aufheiz- und Überwachungsphase I

Die erste Aufheiz- und Überwachungsphase des FEBEX dauerte fünf Jahre; am Ende dieser Periode waren immer noch über 90% der Sensoren in Betrieb. Bei der ursprünglichen Versuchsplanung war vorgesehen, beide Erhitzer nach dieser Zeit auszubauen. Bislang konnten über 2'000'000 Messdaten zu den thermischen, hydraulischen und mechanischen Eigenschaften der Bentonitverfüllung und des umgebenden Wirtgesteins aufgezeichnet werden. Diese Informationen wurden für die Entwicklung und den Test spezifischer Computercodes im Hinblick auf die Vorhersage des Langzeitverhaltens des Barrierensystems verwendet. Im Mai 2001 wurde beschlossen, lediglich einen der beiden Erhitzer im FEBEX auszubauen und die Betriebszeit für den Erhitzer 2 um eine zweite Testphase zu verlängern. Heutige Planungen gehen von einer Betriebszeit bis in das Jahr 2007 aus.

Ausbauphase

Der erste Erhitzer wurde im Februar 2002, nach einer fünfjährigen Betriebszeit, abgeschaltet. Der Ausbau begann im März und dauerte bis Juni 2002.

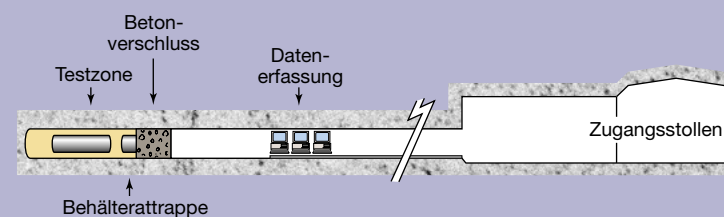


Dabei wurde der Bentonverschluss entfernt und der Bentonit freigelegt. Es zeigte sich, dass sich die ursprünglich zwischen den einzelnen Bentonitblöcken vorhandenen Spalten (vgl. Bild auf der gegenüberliegenden Seite) nach der Aufsättigungsphase durch Quellung des Bentonits geschlossen haben.



Nach dem Entfernen des Erhitzers wurde eine kleine Behältertrappe (ohne Heizelemente) eingebaut, bevor wieder ein neuer Betonverschluss mit einer neuartigen Spritzbetontechnik eingebracht werden konnte.

Das neue FEBEX-Layout



Während der gesamten Ausbauprozedur blieb der zweite Erhitzer samt seinen Sensoren ständig in Betrieb. Die Behältertrappe füllt den kleinen Hohlraum aus, der nach Ausbau des ersten Erhitzers entstanden ist, enthält jedoch keine Heizelemente mehr.