

# felslabor grimsel

forschen für die  
sichere tiefenlagerung  
radioaktiver abfälle

nagra ● aus verantwortung



# Mit Blick auf die geologische Tiefenlagerung

## Verantwortung tragen

Unsere Generation verursacht radioaktive Abfälle. Es ist unsere Pflicht, diese Abfälle verantwortungsbewusst und nachhaltig zu entsorgen. Die Nagra wurde von den Verursachern mit der Erarbeitung und Umsetzung dieser Aufgabe betraut.

## Auf dem Weg zu Tiefenlagern

In der Schweiz wird die geologische Tiefenlagerung der radioaktiven Abfälle vom Gesetz gefordert. Experten weltweit sind sich darüber einig, dass dies eine langfristig sichere Lösung darstellt.

In Entsorgungsprogrammen werden zur Abklärung der Eignung möglicher Standorte spezifische Felduntersuchungen durchgeführt. Durch Laborstudien, bei der Untersuchung von vergleichbaren natürlichen Prozessen (Naturanaloga) und mit Forschungsprojekten in Felslabors können zusätzlich Kenntnisse zur Sicherheit von Tiefenlagern, Charakterisierung geeigneter Gesteine und Funktion technischer Sicherheitsbarrieren gewonnen und vertieft werden.

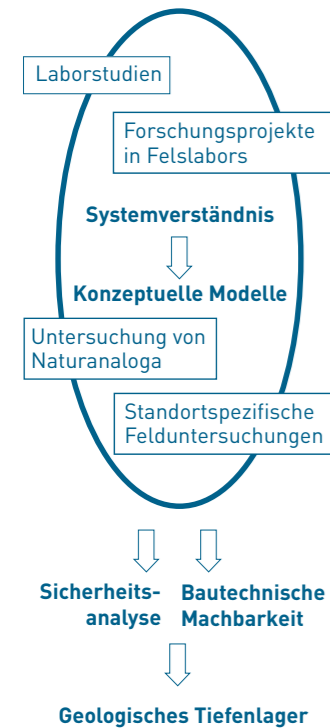
Die Schweizer Felslabors Grimsel (BE) und Mont Terri (JU) stellen wichtige Forschungszentren für das Entsorgungsprogramm in der Schweiz und die internationale Zusammenarbeit dar.

## Beitrag der Felslabors

Felslabors leisten einen zentralen Beitrag zur Beantwortung von Fragestellungen der Sicherheitsanalyse und Überprüfung der technischen Machbarkeit der Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle. Forschungsschwerpunkte und Aufgaben sind zum Beispiel:

- Geologische und hydrogeologische Charakterisierung möglicher für die Tiefenlagerung geeigneter Gesteine,
- Eigenschaften und Langzeitverhalten von Komponenten der technischen Sicherheitsbarrieren,
- Transportverhalten und Rückhalteigenschaften von Radionukliden in technischen Sicherheitsbarrieren und umgebendem Gestein,
- Verifizierung von Daten und Rechenmodellen für Sicherheitsanalysen,
- Stollenbau- und Einlagerungstechnik,
- Information der Bevölkerung, Politiker und Behörden,
- Internationale Zusammenarbeit und Erfahrungsaustausch.

### Bausteine von Entsorgungsprogrammen



# Über 25 Jahre Forschung im Felslabor Grimsel

## Bisherige Forschungsschwerpunkte

Die wissenschaftlichen Tätigkeiten der letzten zwei Jahrzehnte konzentrierten sich im Wesentlichen auf:

- Entwicklung von Techniken für Standortuntersuchungen. Ein Beispiel ist die Fernerkundung des Gebirges mit seismischer Tomografie.
- Test von Techniken zum Lagerbau und deren Auswirkung auf die Funktion der geologischen Barriere. Beispiele sind Untersuchungen der beim Tunnelbau verursachten Auflockerungszonen im Gestein oder die Bohrlochversiegelung.
- Entwicklung und Test des technischen Barriersystems. Neben der Demonstration der Lagerkonzepte in grossem Massstab ist die Beurteilung der Langzeitentwicklung unter anderem bezüglich der Sättigung, Erwärmung und Gasausbreitung Bestandteil der Projekte.
- Test von Modellierungen und Daten Grundlagen für Sicherheitsanalysen. Beispiele sind Untersuchungen zum Transport und zur Rückhaltung von radioaktiven Stoffen im Gestein oder zur Auswirkung von Kolloiden und Wässern mit hohem pH-Wert auf das Transportverhalten der Radionuklide.

## Heute und morgen

Im 21. Jahrhundert werden viele Tiefenlagerprojekte konkretisiert und umgesetzt. Die Untersuchungen im Felslabor gehen dieser Entwicklung voraus: Bei der Planung von Projekten stehen Machbarkeit und Betriebssicherheit von Tiefenlagern im Vordergrund. Zweck dieser Versuche ist es, das Verhalten der Lagersysteme über Jahrzehnte unter lagerrelevanten Bedingungen zu bestimmen, die technischen Abläufe optimal zu gestalten und deren Sicherheit zu dokumentieren. Für die kommenden Jahre wurden folgende Ziele gesetzt:

- Durchführung von Versuchen zur Demonstration und Verifizierung des technischen und geologischen Barriersystems eines Tiefenlagers. Dazu müssen die Bedingungen, wie sie in solchen Lagern herrschen, über viele Jahre nachgeahmt werden, um langsam ablaufende gekoppelte Prozesse besser quantifizieren zu können.
- Entwicklung von neuen Techniken für die Einlagerung von radioaktiven Abfällen (z. B. Fernsteuerungs- und Überwachungstechnik).
- Ausbildung und Training von Fachleuten und Studenten.

### Aktuelle Forschungsschwerpunkte und Hauptprojekte

#### 1 – Prozesse und Langzeitverhalten der technischen Barrieren

**FEBEXe** (Full-scale HLW Engineered Barriers Experiment - extension) 1:1-Demonstrationsversuch des Einlagerungskonzepts für hochaktive Abfälle

**FORGE** (Fate of Repository Gases) Gasmigration in technischen Barrieren (Bentonit/Sand)

**GAST** (Gas-Permeable Seal Test) Gasdurchlässiger Stollenverschluss (Planungsphase)

#### 2 – Radionuklidtransport Wechselwirkung Abfall / Technische Barriere / Geologische Barriere

**CFM** (Colloid Formation and Migration) Bildung und Transport von Kolloiden und ihr Einfluss auf die Radionuklidmobilität

**LCS** (Long-term Cement Studies) Langzeitwechselwirkungen zwischen Zementlösungen und Porenwässern und Gestein

#### 3 – Prozesse und Charakterisierung der geologischen Barriere

**LTD** (Long-term Diffusion) Langzeitdiffusion von Radionukliden

**C-FRS** (CRIEPI's Fractured Rock Studies) Hydrogeologische und geologische Charakterisierung von tektonischen Bruchstrukturen

#### 4 – Technische und operationelle Aspekte beim Lagerbau

**LSP** (Low-pH Shotcrete Plug) Anwendung von Tief-pH-Zementen

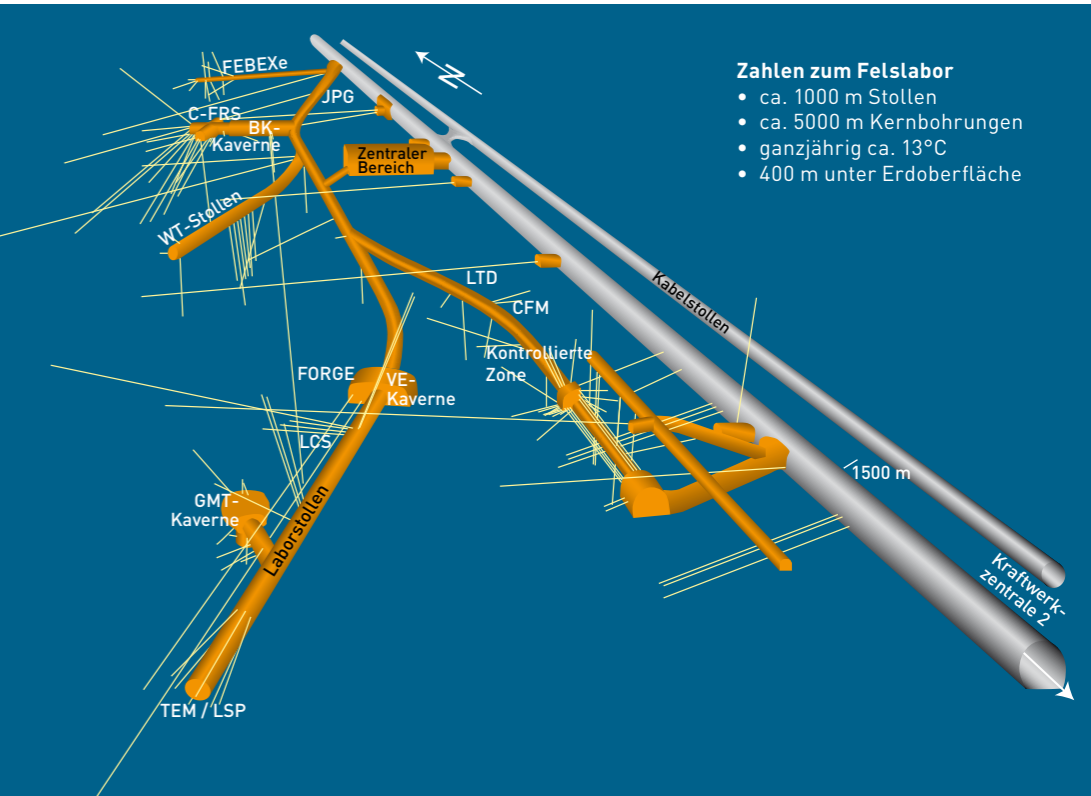
**TEM** (Test and Evaluation of Monitoring techniques) Test von Überwachungsmethoden

**JGP** (JAEA Grouting Project) Zementinjektionen unter hohen Formationsdrücken



Stollensystem des Felslabors Grimsel. Gelbe Linien: Bohrungen.

GAST: Standort noch nicht festgelegt.



**Zahlen zum Felslabor**

- ca. 1000 m Stollen
- ca. 5000 m Kernbohrungen
- ganzjährig ca. 13°C
- 400 m unter Erdoberfläche



**Im Fokus der Forschung** Eigenschaften, Funktion und Machbarkeit der Sicherheitsbarrieren von Tiefenlagern.

**Bezug zur Praxis** Das System der Sicherheitsbarrieren bei einem Tiefenlager für hochaktive Abfälle besteht aus:

### Technische Barrieren

- 1 Glasmatrix (enthält radioaktive Stoffe)
- 2 Stahlbehälter
- 3 Verfüllung aus Ton (Bentonit)

Die technischen Barrieren verzögern die Freisetzung beziehungsweise den Transport von radioaktiven Stoffen in das angrenzende Gestein.

### Geologische Barriere

- 4 Gestein

# Auf welche konkreten Fragen werden heute im Felslabor Grimsel Antworten gesucht?

## Wie wirkt sich die Abwärme von hoch-aktiven Abfällen auf die Stollenverfüllung und das angrenzende Gestein aus?

Das Projekt FEBEX überprüft das Einlagerungskonzept für hochaktive Abfälle im Massstab 1:1. Dabei werden die durch radioaktiven Zerfall entstehende Abwärme und das Gewicht des Abfallbehälters durch ein elektrisches Heizelement simuliert, welches in Bentonitblöcke eingebettet ist. Das Experiment hat zum Ziel, unter Berücksichtigung der Abwärme Voraussagen zur Wirksamkeit der technischen Barrieren zu machen und deren bautechnische Machbarkeit aufzuzeigen.

## Was passiert mit dem in den Lagerstollen produzierten Gas?

Das geplante GAST Projekt ist ein grossmassstäbliches Versiegelungsexperiment. In einem verfüllten Lager entstehen durch Korrosion von Metall und Abbau von organischem Material Gase. Wie wird der vorgeschlagene gasdurchlässige Stollenverschluss gebaut, welcher die hydraulische Dichtheit des Systems nicht beeinträchtigt? Im Vordergrund steht die Untersuchung des Sättigungsverhaltens und des Gas-transportes durch das Verfüllmaterial sowie die bautechnische Machbarkeit.

## Wie werden radioaktive Stoffe im Gestein zurückgehalten und was beeinflusst deren Mobilität?

Die meisten Lagerkonzepte sehen die Verwendung von Zementmaterialien vor, die mit dem Grundwasser zusammen Wasser mit hohen pH-Werten bilden. Dadurch kann das Fliessverhalten und das Rückhaltevermögen des Gesteins für radioaktive Stoffe aber verändert werden. Das Projekt LCS betrachtet die Wechselwirkung zwischen dem Gestein und solch alkalinen Wässern. Das Projekt LTD untersucht die Diffusion von Radionukliden aus Klüften in die Gesteinsmatrix, wo sie zum Teil zurückgehalten werden.

Das CFM-Projekt beschäftigt sich mit der Frage, welchen Einfluss Kolloide im Bereich von Klüften und Scherzonen auf das Transportverhalten (Mobilität) von Radionukliden haben. Aufwändige In-situ-Versuche werden unter möglichst realistischen Randbedingungen durchgeführt, um das Migrationsverhalten von Radionukliden und Kolloiden zu untersuchen.

### Radionuklide

Von jedem chemischen Element gibt es stabile und spontan zerfallende (=radioaktive) Atomarten. Radioaktive Atomarten nennt man auch Radionuklide.

### Diffusion

Den passiven Konzentrationsausgleich von gasförmigen oder gelösten Stoffen zwischen Bereichen höherer und niedrigerer Konzentration nennt man Diffusion.

### Kolloide

Als Kolloide bezeichnet man Mikropartikel organischer oder anorganischer Herkunft (z. B. feine Tonpartikel), die in einem Medium (z. B. Wasser) fein verteilt sind.

# Das Felslabor Grimsel

## 450 Meter tief unter dem Juchlistock

Das Felslabor Grimsel liegt 1730 Meter über Meer in granitischen Gesteinen des Aarmassivs. Es wird über den Zugangstollen der Kraftwerke Oberhasli AG (KW0) erreicht. Das Labor ist rund einen Kilometer lang und wurde 1983 mit einer Tunnelbohrmaschine und im Sprengvortrieb aufgeföhrt und 1995/1998 erweitert.

## Geologie

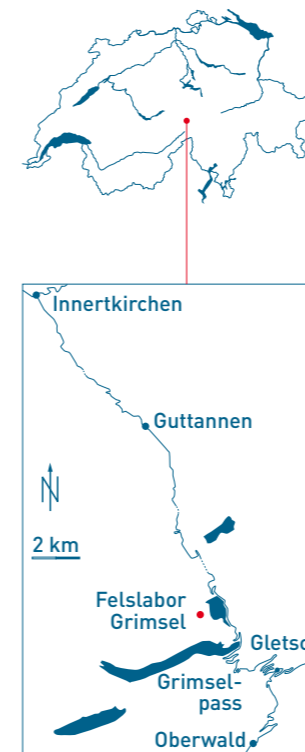
Vor rund 300 Millionen Jahren sind im Grimselgebiet Magmen zu granitischen Gesteinen erstarrt. In die Spalten des abkühlenden Gesteins drangen neue Schmelzen ein und erstarrten als Ganggesteine (Lamprophyre). Bei der alpinen Gebirgsbildung, die das Grimselgebiet vor etwa 40 Millionen Jahren erfasste, wurden die Gesteine des Aarmassivs durch die nach Norden vorstossenden alpinen Decken überfahren und dadurch etwa 12 Kilometer tief versenkt. Unter hohen Temperaturen und Drücken wurden sie überprägt, und es bildeten sich Scherzonen und Kluftsysteme aus. Durch Hebung (0,5 bis 0,8 mm/a) und Erosion, die bis heute andauern, kamen die Gesteine des Aarmassivs wieder an die Oberfläche. Die im Grimselgebiet bekannten Kluftminerale bildeten sich vor rund 16 Millionen Jahren.

## Kein Labor im üblichen Sinne

Tief im Berg stellen die unterschiedlichen geologischen Verhältnisse im Felslabor (geklüftete/wasserführende sowie homogene/dichte Gesteinsbereiche) ideale Rahmenbedingungen zur Untersuchung der Wirkungsweise nicht nur der geologischen, sondern auch der technischen Barrieren von geologischen Tiefenlagern dar. Dazu werden Projekte durchgeführt, die Lagerkonzepte im grossen Massstab untersuchen. Eine kontrollierte Zone ermöglicht den überwachten Einsatz von Radionukliden, um den Transport radioaktiver Substanzen im Gestein direkt zu testen.

## International anerkanntes Forschungszentrum

Heute beteiligen sich rund 25 Partnerorganisationen sowie Universitäten, Institute und Firmen aus verschiedenen Ländern an den Untersuchungen. Die Europäische Union und das Schweizer Staatssekretariat für Bildung und Forschung fördern finanziell einzelne Projekte. Das Felslabor leistet einen wichtigen Beitrag zum langfristigen Erhalt und zur Weitergabe des erworbenen Know-hows an zukünftige Generationen.



## Besuchen Sie uns

Die Nagra bietet von Juni bis Oktober für Gruppen kostenlose Führungen im Felslabor Grimsel an.

## Auskunft

Frau Renate Spitznagel  
Telefon 056 437 12 82  
renate.spitznagel@nagra.ch



## Forschung aktuell

Eine Darstellung der aktuellen Untersuchungen im Felslabor Grimsel findet sich auf der englischsprachigen Website [www.grimsel.com](http://www.grimsel.com), ein Überblick auf [www.nagra.ch](http://www.nagra.ch).

## Felslabor Grimsel



## Beteiligte Länder



Nationale Genossenschaft  
für die Lagerung  
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73  
CH-5430 Wettingen

Tel 056 437 11 11  
Fax 056 437 12 07

info@nagra.ch  
www.nagra.ch  
www.grimsel.com

**nagra** ● aus verantwortung

Juli 2010  
Fotos: Nagra, Comet Photoshopping (Weisslingen)

