

Die Bedeutung von Untertagelabors auf dem Weg zu einem geologischen Endlager

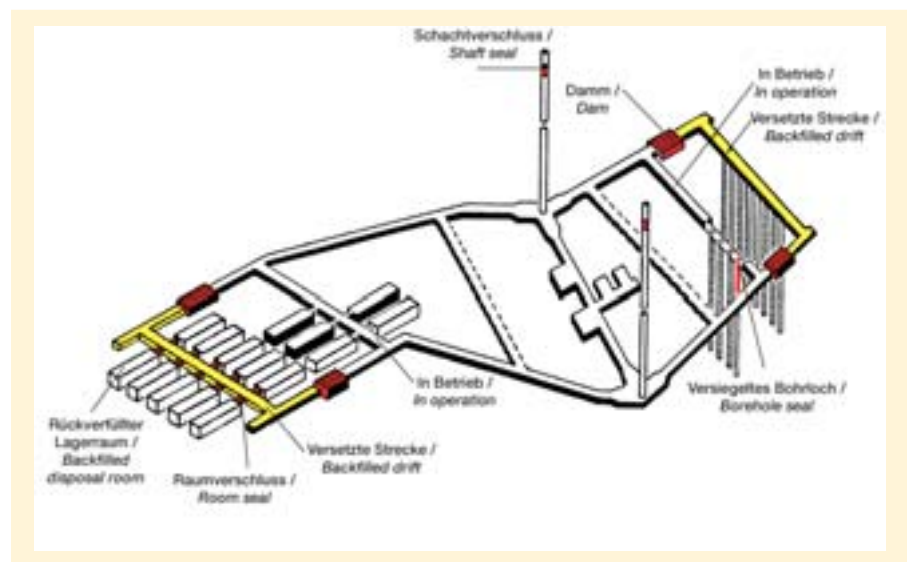
Im Dezember 2002 beendete der BMU-Arbeitskreis „Standauswahlverfahren Endlagerung“ (AkEnd) seine Aufgabe und veröffentlichte die von allen Mitgliedern getragene Empfehlung für ein transparentes und mittels wissenschaftlicher Kriterien gesteuertes Such- und Auswahlverfahren für ein Endlager. Die geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften des Endlagerstandortes sind hierbei ausschlaggebend, da sie sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle und deren Abschluss von der Biosphäre für einen Zeitraum in der Größenordnung von einer Million Jahren gewährleisten sollen. Bei der Beurteilung der geologischen Gesamtsituation stehen die Integrität und das Isolationsvermögen des Barrierensystems, die Charakterisierbarkeit des Endlagerstandortes sowie die Prognostizierbarkeit aller sicherheitsrelevanter Eigenschaften über den Nachweiszeitraum im Vordergrund.

Um diese standortspezifischen Parameter zu ermitteln und die grundsätzliche Einhaltung der Kriterien, die den langfristigen Einschluss der radioaktiven Abfälle in der ausgewählten Gesteinsformation, bzw. in der geologischen Struktur gewährleisten sollen, zu überprüfen, empfiehlt der AkEnd als eine Möglichkeit die Errichtung von Untertagelabors („Underground Research Laboratory“ – URL). Eine auf dieser fachlich-technischen Grundlage erarbeitete Sicherheitsanalyse bestimmt dann das weitere Vorgehen und bildet gegebenenfalls die Grundlage für die Auswahl des Endlager-Standorts.

Festlegung und Anwendung von Sicherheitskriterien

Für den Prozess der Endlagersuche und Standortauswahl ist die frühzeitige Festlegung von Sicherheitskriterien wichtig. Als oberster Grundsatz für die Langzeitsicherheit gilt, dass innerhalb des ausgewiesenen Nachweiszeitraumes das Endlager nachsorgefrei ist und von den radioaktiven Abfällen keine zu besorgende Gefährdung für Mensch und Umwelt ausgeht. Derzeit liegen die aktualisierten Sicherheitskriterien im Entwurf vor, die sowohl die Prinzipien als auch die Schutzziele der Endlagerung in Deutschland weit gehender als bisher definieren. Danach soll das Endlagersystem eine gut begründete Prognose über einen Zeitraum von einer Million Jahre zulassen. Dies erfordert die rechtzeitige Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes, in dem ein robustes Mehrbarrierensystem von entscheidender Bedeutung ist.

Mit einem Langzeitsicherheitsnachweis muss gezeigt werden, dass das Mehrbarrierensystem – bestehend aus der Abfallmatrix, der Verpackung, dem Versatz am Einlagerungsort, den geotechnischen Verschlüssen und der Abfolge der geologischen Barrieren – die geforderte Isolationswirkung erfüllt. Das heißt, dass die integrale Barrierenwirksamkeit, die auf den verschiedenen physikalischen und chemischen Mechanismen einzelner Barrieren sowie auf einer partiellen Redundanz und einer relativen funktionalen Unabhängigkeit der Barrieren



▲ Übersicht (geo)technischer Barrieren im Endlager (Quelle: DBE)
Overview of (geo)technical barriers in a repository (Source: DBE)

untereinander basiert, über den Nachweiszeitraum prognostizierbar ist. Darüber hinaus sind mögliche gekoppelte Effekte und die Lastenträge, die von den Abfällen ausgehen, zu betrachten und zu bewerten. Mittels einer integrierten Sicherheitsanalyse wird die Einhaltung der Schutzziele demonstriert. Der notwendige hohe Vertrauensgrad in diesen Nachweis rechtfertigt die weit gesteckten Anforderungen an die Standortcharakterisierung und die technische Auslegungsplanung des Endlagers mit der dafür erforderlichen Datenerhebung.

Weder die Sicherheitskriterien noch das Standortauswahlverfahren fordern explizit

die Errichtung eines Untertagelabors. Jedoch wird aus den komplexen Zusammenhängen deutlich, dass – vor dem Hintergrund des geltenden Standes von Wissenschaft und Technik – diese Anforderungen an das Systemverständnis und den Langzeitsicherheitsnachweis nur durch gezielte Untersuchungen im Labor- und in situ-Maßstab erfüllt werden können. Hinzu kommt, dass es sich bei einem Endlager um ein nicht normierbares System handelt, dessen bestimmende Parameter in jedem Einzelfall ermittelt werden müssen. Aus diesem Grund werden weltweit wichtige wissenschaftlich-technische Forschungsarbeiten in Untertagelabors durchgeführt.

Grundsätzliche Aufgaben der Untertagelabors

In den mit der Endlagerung befassten Ländern sind Untertagelabors integrale Bestandteile der jeweiligen nationalen Entsorgungsprogramme. Ziel dieser Einrichtungen ist es, durch in situ Tests und andere Untersuchungen

- die zum Nachweis der sicheren Endlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen erforderlichen System- und Sicherheitskenntnisse zu erlangen,
- Endlagertechniken zu entwickeln, zu erproben und ihren funktionsgerechten Einsatz zu demonstrieren sowie
- den Standortauswahl-Prozess und das Genehmigungsverfahren zu unterstützen.

Durch untertägige in situ Untersuchungen können die geologischen, hydrogeologischen, geochemischen und geomechanischen Standortverhältnisse charakterisiert werden. Bergtechnische und endlagerbezogene Maßnahmen ermöglichen die Überprüfung von Belastungen des Gesteinsverbands und die Gewinnung der zur Interpretation von Langzeiteffekten erforderlichen Daten. Damit bilden die Arbeiten in den URLs eine wesentliche Grundlage, um konzeptuelle Modellvorstellungen zur Beschreibung des Verhaltens und der zeitlichen Entwicklung des Endlagersystems mit seinen wesentlichen Komponenten zu erarbeiten. Durch gut abgesicherte numerische Modelle wird das Vertrauen in den Nachweis der Langzeitsicherheit gestärkt.

Bei Errichtung eines Endlagers kann auf die langjährigen Erfahrungen aus dem konventionellen Bergbau zurückgegriffen werden. Für die technische Umsetzung eines Endlagerkonzeptes müssen dagegen endlager-spezifische Komponenten und neue Technologien entwickelt und erprobt werden, wie z. B. zur Erstellung von Endlagerhohlräumen, zur Einlagerung der Abfallgebände und zum Verschluss von Einlagerungshohlräumen und Schächten. Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit dieser Komponenten erfordert z. T. endlagerspezifische Verhält-

Generisches URL <i>Generic URL</i>	Standortspezifisches URL <i>Site-specific URL</i>
<ul style="list-style-type: none"> • vorrangig eine FuE-Einrichtung für Grundlagenforschung <i>primarily R&D facility for pure research</i> • Unterschiedliche Konstruktionsverfahren sind möglich <i>different construction methods possible</i> • Einsatz zerstörender Methoden erlaubt <i>use of destructive methods allowed</i> • Entwicklung von Prüfmethode <i>development of examination methods</i> • Ermittlung generischer Daten, die nicht von übertage bestimmt werden können <i>acquisition of generic data that cannot be obtained from above ground</i> • Testen sicherheitsanalytischer Modelle <i>testing of safety-analytical models</i> • Ausbildungsprogramme für Wissenschaftler und Techniker <i>training programmes for scientists and technicians</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • am realen Standort <i>at the real site</i> • vor Konstruktion sind die Standortverhältnisse bekannt und Monitoring-Systeme eingebaut <i>prior to construction, site conditions are known and monitoring systems installed</i> • stringentes QM-Programm <i>stringent QA programme</i> • Bau wird vom Endlagerkonzept und den vorgesehenen Techniken bestimmt <i>construction is determined by the repository concept and the techniques intended</i> • Minimierung der Gebirgsbelastungen <i>minimisation of loads on the rock mass</i> • Charakterisierung der Wirtsgesteine (Datenbasis) <i>characterisation of the host rock (data basis)</i> • FuE soll Datenunsicherheiten reduzieren und Daten für Sicherheitsanalyse liefern <i>R&D is to reduce data uncertainties and provide data for the safety analysis</i> • Demonstration von Endlagertechniken <i>demonstration of disposal techniques</i>

▲ Randbedingungen und Ziele für die Forschung in generischen und standortbezogenen Untertagelabors (n. OECD / NEA)

Boundary conditions and targets of the research in generic and site-specific underground research laboratories (according to OECD / NEA)

nisse, wie sie vornehmlich nur in einem URL bereitgestellt werden können.

Heute gibt es in einer Reihe von Ländern Untertagelabors, die nach ihrer jeweiligen Stellung in den nationalen Entsorgungsprogrammen und ihrem späteren Verwendungszweck unterschieden werden:

- **Generische URLs** werden sowohl in bereits vorhandenen bergmännisch er-

stellten Hohlräumen oder in einem eigens zu diesem Zweck angelegten Forschungsbergwerk betrieben. Sie sind nicht als Endlager vorgesehen.

- **Standortspezifische URLs** werden an potenziellen oder benannten Endlagerstandorten zur genaueren Charakterisierung der Standortverhältnisse und für weitergehende wissenschaftliche und technische Arbeiten eingerichtet

tet. Die Untersuchungen in diesen URLs und die resultierenden Ergebnisse sind Teil aller nationalen Endlagerprogramme und zum Teil Bestandteil des sechsten Rahmenprogramms der EU.

Generische Untertagelabors

In Deutschland wurden bereits seit Beginn der 1980er Jahre im Forschungsbergwerk Asse richtungsweisende Untersuchungen für die Endlagerung durchgeführt. Neben in situ Bestimmungen geologischer und geotechnischer Parameter im Salzgestein, stand die Erprobung spezieller Messverfahren und die Demonstration von Endlagertechniken im Vordergrund. So wurde

in den 1980er und 1990er Jahren z. B. ein Transport- und Einlagerungssystem für verglaste hochradioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (Cogéma-Kokillen) in der Asse aufgebaut und nach erfolgreicher Demonstration von der zuständigen Bergbehörde für den Versuchsbetrieb zugelassen. Dies war ein entscheidender Schritt zur Genehmigungsfähigkeit der Bohrloch-Einlagerungstechnik für ein späteres Endlager im Salzgestein.

Von 1990 bis 1999 führten das Institut für Tief Lagerung der GSF und später die GRS in Braunschweig ein Simulationsexperiment zur direkten Endlagerung von bestrahlten Brennelementen in der Asse durch. Hierbei wurde über fast neun Jahre

das wärmeabhängige Kompaktionsverhalten von Salzgrusversatz in Einlagerungsstrecken beobachtet. Die erzielten Messergebnisse dienten der Verifikation der bisherigen Rechenmodelle. Es gelang, die rheologischen Modellansätze zu verbessern. An dem Experiment waren abwechselnd bis zu sechs europäische Forschungsinstitutionen beteiligt. Die Ergebnisse sind in das EU-Projekt BAMBUS eingeflossen. Dieses 2003 beendete Projekt stellt den Stand von Wissenschaft und Technik zum langfristigen thermo-hydro-mechanischen Verhalten von Salzgrus dar.

Seit mehr als zwanzig Jahren wird in Untertagelabors im granitischen Gestein geforscht. So beteiligen sich deutsche For-

Name/Name Ort/Location	Formation/ Formation	Tiefe/ Depth	Betreiber/ Operator	Experimente/ Experiments
Asse Bergwerk (Deutschland)	Steinsalz	490 – 800 m	GSF seit 1965 in Betrieb („Excavation Damage Zone“)	GRS-Experimente zum Versatzverhalten und zur EDZ
<i>Asse Mine (Germany)</i>	<i>Rock salt</i>	<i>490 – 800 m</i>	<i>GSF in operation since 1965 (excavation damage zone)</i>	<i>GRS experiments on backfill behaviour and on the EDZ</i>
Grimsel TestSite (Schweiz)	Granit	450 m	NAGRA seit 1983 in Betrieb („Gas Migration Test“)	GRS-Mitarbeit an Großversuchen FEBEX und GMT
<i>Grimsel TestSite (Switzerland)</i>	<i>Granite</i>	<i>450 m</i>	<i>NAGRA in operation since 1983 (gas migration test)</i>	<i>GRS participation in large-scale experiments FEBEX and GMT</i>
Mt. Terri (Schweiz)	Opalinus Ton (Jura)	400 m	SNHGS begonnen 1995, Ausbau stufenweise	GRS-Mitarbeit an Erhitzer- und Ventilationsexperimenten, Bohrlochverschluss
<i>Mt. Terri (Switzerland)</i>	<i>Opalinus clay (Jurassic)</i>	<i>400 m</i>	<i>SNHGS begun in 1995, step-wise extension</i>	<i>GRS participation in heater and ventilation experiment, borehole seal</i>
TournemireTunnel (Frankreich)	konsolidierter Jura-Tonstein	250 m	IRSN seit 1990 in Betrieb	GRS hat geoelektrische Messungen zur Feuchtemigration abgeschlossen
<i>TournemireTunnel (France)</i>	<i>consolidated Jurassic clay</i>	<i>250 m</i>	<i>IRSN in operation since 1990</i>	<i>GRS concluded geoelectrical measurements on humidity migration</i>

▲ Generische URLs eingerichtet in bestehenden untertägigen Hohlräumen (nach OECD / NEA)

Generic URLs established in existing mined cavities (acc. to OECD / NEA)



▲ Entwicklung und Erprobung eines HAW-Einlagerungssystems in der Asse (1992)
Development and trial of an HAW emplacement system in the Asse mine (1992)

schungseinrichtungen einschließlich der GRS maßgeblich an den Experimenten im schweizer Felslabor Grimsel und im schwedischen „Hard Rock Laboratory“ ÄSPÖ. Anders als im Salinar geht es dabei vorwiegend um die Charakterisierung hydraulischer Wegsamkeiten im Gebirge und die Bestimmung der die Radionuklidenausbreitung bzw. Rückhaltung bestimmenden Parameter. Die Entwicklung geeigneter Messverfahren ist in diesem Zusammenhang eine wichtige Aufgabe. Des Weiteren werden geotechnische Barrierensysteme und so genannte Buffermaterialien auf ihre Abdicht- und Verschlusseigenschaften hin untersucht (siehe auch Tabelle auf Seite 106).

Tonstein bildet ähnlich wie Steinsalz eine sehr dichte natürliche Barriere mit einem großen Isolationspotenzial für den langfristigen Einschluss radioaktiver Abfälle. Deshalb stehen hier Untersuchungen zur Integrität des Gesteins unter Last und die Quantifizierung von Diffusions- und Migrationsprozessen im Vordergrund. In einer speziellen Versuchsnische im schweizerischen Mt. Terri Untertagelabor simuliert zurzeit ein internationales Forscherteam in einem Aufheizexperiment die Wärmeabgabe hoch radioaktiver Abfälle und untersucht

die gekoppelten thermo-hydro-mechanischen Auswirkungen auf den Opalinus Ton.

Standortsspezifische Untertagelabors

Im Verlauf eines Standortauswahlverfahrens und in dem vom AkEnd definierten Verfahrensschritt der Untertageerkundung leistet ein standortsspezifisches Untertagelabor einen unverzichtbaren Beitrag für die fachliche Eignungsaussage und den nachfolgenden Entscheidungsprozess. Die fachliche Eignungsaussage ergibt sich aus der Bewertung aller bei der Über- und Untertageerkundung gewonnenen Erkenntnisse und unter Zugrundelegung eines auf der Basis der Sicherheitskriterien entwickelten generischen Endlagerkonzeptes. So gewonnene Erkenntnisse untermauern in einem späteren Genehmigungsverfahren den Nachweis der Langzeitsicherheit. Ebenso kann eine Standortentscheidung umso besser begründet werden, je mehr standortsspezifische Daten vorliegen, insbesondere auch von untertage.

Beispielhaft sei hier die Errichtung eines standortsspezifischen Untertagelabors in

Frankreich in Bure (Meuse/Haute-Marne) westlich von Paris genannt. Es wird in einer jurassischen Tonsteinformation (Callovo-Oxfordian) innerhalb des Pariser Beckens angelegt. Bereits während des Schachtabteufens werden umfangreiche hydrogeologische und geophysikalische/geomechanische Untersuchungen zur Charakterisierung des Deckgebirges und der Wirtsgesteinsformation durchgeführt. Im Untertagelabor selbst sind für die Zukunft verschiedene Untersuchungen und Experimente zur Prüfung der grundsätzlichen Eignung des Tonsteins als Wirtsgestein vorgesehen. Die GRS untersucht zurzeit in einem Vorprojekt die mechanischen Eigenschaften der Gesteine an Bohrkernen. Nach Fertigstellung der untertägigen Versuchsräume ist die Beteiligung an Erhitzerexperimenten geplant.

Die Rolle des URL nach der Standortentscheidung bzw. im Genehmigungsverfahren

Nach erfolgreicher Standortsuche und -entscheidung folgt das Genehmigungsverfahren. In dieser Phase übernimmt das standortsspezifische URL die Aufgabe, durch anlagenbezogene Forschung und Entwicklung die prognostizierten Standorteigenschaften im Hinblick auf die Langzeitsicherheit zu bestätigen sowie Endlagerauslegung und Einlagerungstechnologie entsprechend anzupassen bzw. weiterzuentwickeln. Insbesondere die extrem hohen Anforderungen an das Isolationsvermögen und die Wirkungsdauer der geotechnischen Barrieren erfordern vertiefende in situ Untersuchungen des einschlusswirksamen Gebirges. Das Durchlässigkeitsverhalten der Gesteine ebenso wie das des Gesamtsystems mit seinen geologischen und geotechnischen Barrieren und seinen mechanischen, hydraulischen und ggf. auch geochemischen Wechselbeziehungen stehen hierbei im Vordergrund der Forschungen.

Das experimentelle Programm in einem neu aufgefahrenen URL sollte daher bereits mit dem Schachtabteufen beginnen. Dabei können Daten in Gebirgsbereichen ermittelt werden, die nach Fertigstellung des Schachtes und seines Ausbaus nicht mehr direkt zugänglich sind. Im Untertagebereich sollte der Schwerpunkt auf der Untersu-

chung der geologischen Gegebenheiten sowie den technischen Maßnahmen liegen. Der Einfluss der Hohlraumauffahrung, der Abfalleinlagerung und des Wärmeeintrags auf die Integrität und Stabilität der Barriersysteme sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Dabei spielt die Übertragbarkeit von Daten und Erkenntnissen aus dem Labor- in den Großmaßstab eine besondere Rolle.

Darüber hinaus gibt es spezielle Aspekte, die nur mit Hilfe von Untertagelabors zu eindeutigen, standortspezifischen Kenndaten führen:

- Charakterisierung der geochemischen und abfallchemischen Verhältnisse unter Einlagerungsbedingungen
- Untersuchung der bestimmenden Parameter für Radionuklidtransport und Rückhaltung
- Ermittlung der Korrosion von Behältermaterialien und Abfällen
- Untersuchung der Gasentwicklung und Gasausbreitung sowie des Mehrphasentransports
- Absicherung von numerischen Modellen und Rechenverfahren zu sicherheitsrelevanten Prozessen im Endlager

Für die langzeitige Nutzung der Untertagelabors sind z.T. unterschiedliche Konzepte vorgesehen. So kann z. B. ein URL bei entsprechender Eignung des Standortes Teil des zu errichtenden Endlagers werden oder aber es wird über einen längeren Zeitraum als ein Pilotendlager neben dem eigentlichen Endlager betrieben und messtechnisch überwacht, wie dies beispielsweise von der EKRA in der Schweiz vorgeschlagen wurde.

Wie aufgezeigt ist die Errichtung eines Untertagelabors zwingend geboten, um die für ein Genehmigungsverfahren erforderlichen Kenntnisse zu erwerben, Daten zu ermitteln und Technologien bereitzustellen. Abgesehen davon, trägt der Betrieb eines Untertagelabors erheblich zur Vermittlung von Wissen an die Öffentlichkeit und damit zur Akzeptanzbildung bei.



▲ Geoelektrische Messungen im HRL ÄSPÖ
Geoelectrical measuring in the ÄSPÖ HRL

The Importance of Underground Research Laboratories on the Way to a Geological Repository

In December 2002, the "Committee on a Selection Procedure for Repository Sites", which was set up by the BMU, completed its task and published a recommendation, supported by all its members, for a transparent search and selection of a repository site, to be guided by scientific criteria. Here, the geological and hydrogeological features of the repository site are crucial as they have to guarantee the safe confinement of the radioactive waste and its isolation from the biosphere for a period of one million years. In the assessment of the overall geological situation, the focus is on the integrity and the isolation capacity of the barrier system, the characterisability of the repository site, and the predictability of all safety-relevant features over the entire period of use.

To identify these site-specific parameters to check the principle keeping of the criteria that are to ensure the long-term confinement of the radioactive waste in the rock formation chosen or in the geological structure, the AkEnd recommends as one possible option the establishment of underground research laboratories (URL). A safety analysis subsequently prepared on this expert and technical basis will then determine the further procedure and may possibly form the basis for the decision in favour of the repository site.

Definition and application of safety criteria

For the process of the search for a repository and the selection of a site it is necessary that safety criteria be defined as early as possible. The supreme principle of long-term safety is that throughout the entire period covered by the safety demon-

stration, the repository's condition has to be such that it requires no maintenance whatsoever and that no hazard for man and the environment needs to be feared from the radioactive waste emplaced. A draft of updated safety criteria has recently been prepared, defining more precisely than before the principles as well as the protection objectives of final disposal in



▲ Blick auf den ausgegrabenen Erhitzer in einer TSS – Strecke nach Versuchsende

View of the dug-out heater in a TSS (Thermal Simulation of Drift Emplacement) drift after the end of the experiment.

Germany. According to these draft criteria, the repository system is to allow a scientifically well-founded prognosis covering a period of one million years. This requires the timely development of a safety concept in which a robust multi-barrier system is crucial.

A long-term safety assessment has to show that the multi-barrier system – consisting of the waste matrix, the packaging, the backfill material in the emplacement location and the succession of the geological barriers – fulfils the required isolation effect. This means that the integral barrier effectiveness, which is based on the different physical and chemical mechanisms of the individual barriers as well as on a partial redundancy and a relative functional independence among the barriers, can be predicted over the entire demonstration period. Furthermore, possible combined effects and the load input of the waste have to be taken into account and assessed. An integrated safety analysis has to demonstrate that protection objectives are met. The necessary high degree of confidence in this demonstration justifies the far-reaching requirements for the characterisation of the site and the planning of the technical design of the repository

with the requisite associated data acquisition.

Neither the safety criteria nor the site selection procedure demand explicitly the establishment of an underground research laboratory. Nevertheless, it is clear from the complex coherences that – against the background of the state of the art in science and technology – these requirements for the understanding of the system and the demonstration of long-term safety can only be met by specific investigations on laboratory and on-site scale. This is added by the fact that a repository is not a system that can be standardised; its determining parameters will have to be identified for each individual case. This is why all over the world, important scientific and technical research is carried out in URLs.

General functions of underground research laboratories

In countries where final disposal is an issue, URLs are an integral part of the respective national waste management programmes. By means of on-site testing and other investigations, these facilities are to

- provide the system- and safety-related information needed to demonstrate the safe disposal of radioactive waste in geological formations,
- develop and test disposal techniques and demonstrate their proper functional use, and
- support the site selection process and the licensing procedure.

With the help of underground on-site investigations it is possible to characterise the geological, hydrogeological, geochemical and geomechanical conditions at the site. Mining-related as well as repository-related research allows the investigation of the loads acting on the rock mass and the acquisition of the data necessary for the interpretation of long-term effects. The work performed in the URLs thus forms a crucial basis for the elaboration of conceptual models for the description of the behaviour and development over time of the repository system and its essential components. Confidence in the long-term safety demonstration is increased by verified numeric models.

In connection with the construction of a repository it is possible to draw on long-standing experience from conventional mining. For the technical implementation of a repository concept, on the other hand, repository-specific components and new technologies have to be developed and tested, e. g. for the digging of disposal cavities, the emplacement of the waste packages, and for the sealing of disposal cavities and shafts. Demonstration of the functional performance of these components sometimes requires repository-specific conditions as they can largely only be provided by a URL.

URLs exist today in a number of countries; they are distinguished according to their respective role in the national disposal programmes and their intended use at a later stage:

- **Generic URLs** are operated either in already existing mined cavities or in a research mine specially established for this purpose. They are not intended as repositories.

- **Site-specific URLs** are established at potential or dedicated repository sites for the more detailed characterisation of the site's conditions and for further scientific and technical work. The research carried out in these URLs and the ensuing results form part of all national repository programmes, some of them being part of the Sixth Framework Programme of the EU.

measuring techniques and the demonstration of disposal techniques. For example, a transport and emplacement system for vitrified high-active waste from reprocessing (Cogéma HAW canister) was developed in the Asse mine during the 80s and 90s and licensed for trial operation by the competent mining authority following its successful demonstration. This was a crucial step on the way to the licensability of the borehole emplacement technique for a future repository in salt rock.

measured data served for the verification of the current calculation models. It was possible to improve the rheological model approaches. Up to six European research institutions took turns in the experiment. The results were considered in the EU-sponsored BAMBUS project. This project, which was completed in 2003, represents the state of the art in science and technology with regard to the long-term thermo-hydro-mechanical behaviour of salt breeze.

Generic underground research laboratories

In Germany, investigations begun in the Asse Research Mine in the early 80s already pointed the way with regard to final disposal. Apart from the in-situ determination of geological and geotechnical parameters in salt rock, the focus was on the trial of special

From 1990 until 1999, the Institut für Tief Lagerung of GSF (which in the course of time became GRS Braunschweig) carried out a simulation experiment in the Asse mine on the direct final disposal of irradiated fuel elements. Over almost nine years, the thermally dependent compaction behaviour of salt breeze backfill in emplacement drifts was monitored. The

For more than 20 years, research has been performed in URLs in granite. German research institutions – including GRS – are substantially involved e. g. in the experiments in the Swiss Grimsel rock laboratory and in the Swedish ÄSPÖ “Hard Rock Laboratory”. Other than in saliniferous rock, the focus here is mainly on the characterisation of hydraulic pathways in the rock and the

Name/Name Ort/Location	Formation/ Formation	Tiefe/ Depth	Betreiber/ Operator	Experimente/ Experiments
HADES - URF High-Activity- Disposal Experiment Site (Belgien)	Boom clay, Mol/Dessel	230 m	EURIDICE Betrieb seit 1984	GRS-Mitarbeit an Experimenten zur Gasentwicklung in einem HAW-Endlager
HADES - URF High Activity Disposal Experiment Site (Belgium)	Boom clay, Mol/Dessel	230 m	EURIDICE In operation since 1984	GRS participation in experiments on gas formation in a HAW repository
Whiteshell URL (Kanada)	Granit, Lac du Bonnet	240 – 420 m	AECL Betrieb seit 1984	–
Whiteshell URL (Canada)	Granite, Lac du Bonnet	240 – 420 m	AECL In operation since 1984	–
Horonobe URL (Japan)	Sediment- gestein	ca. 500 m	JNC Bau seit 2002	–
Horonobe URL (Japan)	Sedimentary rock	approx. 500 m	JNC Under construction since 2002	–
ÄSPÖ HRL (Schweden)	Granit	200 – 450 m	SKB Betrieb seit 1995	GRS-Mitarbeit am „Prototype Repository Experiment“
ÄSPÖ HRL (Sweden)	Granite	200 – 450 m	SKB In operation since 1995	GRS participation in the “Prototype Repository Experiment”

▲ Generische URLs in eigens für die Forschung gebauten Bergwerken (nach OECD / NEA)

Generic URLs in mines built specially for research purposes (according to OECD / NEA)

identification of the parameters determining radionuclide propagation and retention. In this context, the development of suitable measuring methods is an important task. Furthermore, geotechnical barrier systems and so-called buffer materials are analysed with regard to their sealing and isolation properties.

Similar to rock salt, clay stone forms a very dense natural barrier with a high isolation potential for the long-term confinement of radioactive waste. Therefore the focus is on investigations into the integrity of the rock under load conditions and on the quantification of diffusion and migration processes. In a special test alcove in the Swiss Mt. Terri URL, a team of international scientists is currently performing a heat-up experiment, simulating the heat emission of high-active waste and investigating the combined thermo-hydro-mechanical effects on Opalinus clay.

Site-specific underground research laboratories

During the course of a site selection procedure and in the procedural step of underground exploration as defined by the AkEnd, a site-specific URL provides an indispensable contribution to the expert qualification assessment and the subsequent decision-making process. The expert qualification assessment follows from the assessment of the entire knowledge gained from exploration above and under ground and on the basis of a generic repository concept developed from the safety criteria. The knowledge gained so far underpins the long-term safety demonstration in a later licensing procedure. Also, a decision in favour on a particular site can be much better justified the more site-specific data are available, especially also from under ground.

An example of a site-specific URL is Bure (Meuse/Haute-Marne) west of Paris. It is being constructed in a Jurassic clay stone formation (Callovo-Oxfordian) in the Paris

Basin. Comprehensive hydrogeological and geophysical/geomechanical investigations with a view to the characterisation of the overburden and the host rock formation are already performed during the sinking of shafts. In the future URL itself, various studies and experiments to check the general qualification of clay stone as host rock are planned. In a preliminary project, GRS is currently investigating the mechanical properties of the different rock types on drill core samples. Once the underground test cavities are ready, the plan is to participate in heater experiments.

The role of the URL following a positive decision on a particular site and in the licensing procedure

After a successful search and a positive decision on a particular site, a licensing procedure is initiated. In this phase, the function of the site-specific URL is to confirm the predicted site characteristics with regard to long-term safety by R&D related to the site and to adapt or develop the repository design and emplacement technique correspondingly. In particular, the extremely strict requirements for the isolation capacity and the period over which the geotechnical barriers are effective demand in-dept on-site investigations of the isolating rock zone. Here, the research focuses on the hydraulic conductivity behaviour of the different types of rock as well as of the overall system with its geological and geotechnical barriers and its mechanical, hydraulic and perhaps also geochemical interrelations.

The experimental programme in a newly excavated URL should therefore start already with the sinking of the shafts. This allows the acquisition of data in rock areas which are no longer directly accessible after the shaft has been sunk and lined. Under ground, the focus of the investigations should be on the geological conditions as well as on the technical measures. The influence of the excavation of the cavities, the emplacement of the waste and the heat



▲ Gasprobennahme im HE-B Feld im Mt. Terri URL
Gas sampling in the HE-B field in the Mt. Terri URL



▲ Errichtung eines URL am Standort Bure
 Construction of a URL at the Bure site

input on the integrity and stability of the barrier system should be the object of further investigations. In this connection, the applicability of data and results from laboratory scale to real-scale conditions plays an important role.

In addition, there are some special aspects under which clear, site-specific parameters can only be obtained from a URL:

- characterisation of the geochemical and waste-related chemical conditions under emplacement conditions
- analysis of the parameters determining radionuclide transport and retention
- determination of the corrosion of storage cask material and the waste itself

- investigation of gas formation and propagation as well as of multi-phase transport
- verification of numerical models and calculation codes relating to safety-relevant processes in the repository.

Concepts for the long-term use of URLs differ in some ways. For example, if a site is found to be suitable, the URL may become part of the repository to be constructed, or it may be operated with monitoring measurements over a longer period as a pilot repository existing side by side with the repository proper, as has been proposed e. g. by EKRA in Switzerland.

The above reasons have shown that the construction of a URL is imperative in order to gain the knowledge required for a licensing procedure, acquire necessary

data, and provide relevant technologies. Apart from that, the operation of a URL contributes considerably to imparting knowledge to the general public and thereby to increasing public acceptance.

B. Baltes, W. Brewitz, T. Rothfuchs