

Herstellung von Teufen mit Tiefen > 1.000 m für die unterirdische Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle im Festgestein und für die Energiegewinnung

Prof. Dr. Dietmar P. F. Möller, UHH, WSDTI

Dr. Rolf Bielecki, WSDTI

- **Geothermal Energy**
- **Caverns and Deep Downs**
- **Underground Storage of High Radioactive Nuclear Waste**
- **Reliability and Safety in Energy Supply Plants**
- **...**

- Problematik der technischen Realisierung unterirdischer Lager zur Zwischen- bzw. endgültigen Lagerung des radioaktiven (nuklearen) Abfalls ist eng verbunden mit der Fragestellung der Minimierung bzw. Eliminierung möglicher langfristiger Einwirkungen auf die Umwelt.
- Infolge der anzusetzenden sehr langen Zeiträume (100.000 Jahre) besteht bei unterirdischer Lagerung radioaktiver Abfälle, auch als Folge sich verändernder Umweltbedingungen, potentiell die Möglichkeit der Migration des radioaktiven Abfalls in die unmittelbare Umgebung des Gesteinsraumes der Lagerstätten, was zur Kontamination des Grundwassers nahe der Erdoberfläche führen kann.
- Vor dem Hintergrund der Menge des bislang angefallenen radioaktiven Abfalls sowie des zukünftig noch hinzukommenden, ist bei nicht genügend tiefer unterirdischer Lagerung in nicht geeigneter Geologie mittelfristig eine potentielle Gefahr für die menschliche Zivilisation als auch für die gesamte belebte Natur zu befürchten.

- Derzeit wird nuklearer Abfall weltweit nur in provisorischen Deponien gelagert, eine endgültige Lagerung mit sicherer Deponierung ist bis heute nicht gelöst.
- Leicht- und mittelaktive Abfälle werden heute z.B. mit Beton vergossen bzw. verpresst, hoch radioaktive Abfälle dagegen in einer Glasschmelze (Kokille) gebunden und in Edelstahlbehältern gasdicht verschweißt.
- Weltweit wird die Einlagerung derartiger Behälter mit hoch radioaktiven Abfällen in tiefe und dichte geologische Formationen als die sicherste Entsorgungsmöglichkeit angesehen, wobei die Standorte der hierfür erforderlichen „großen“ Teufen nach den möglichen geo-tektonischen Störungen durch ingenieur-geologische und felsmechanische Untersuchungen auszuwählen sind.



Fazit:

Endlager- / Endlagerstandort erfordert breite Zustimmung in der Öffentlichkeit.

Diese kann erreicht werden, wenn gewährleistet ist, dass

- die Sicherheit des Endlagerstandortes oberste Priorität hat und nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gewährleistet wird,
- die Lösung einen dauerhaften Bestand hat,
- international akzeptierte Standards und Verfahren für ein Endlager bzw. das Standortauswahlverfahren zu Grunde gelegt werden,
- ein breiter politischer und gesellschaftlicher Konsens erzielt wird und für Politik, Öffentlichkeit und Kernkraftwerksbetreiber Transparenz, Rechtssicherheit und finanzielle sowie zeitliche Planbarkeit gegeben sind.

Bei der Lösung dieser Problematik sind einer Reihe unterschiedlicher Problemstellungen zu bewältigen:

- ökologische
- ethische
- ökonomische
- politische
- die Sicherheit der langfristigen Lagerung.

ENTWICKLUNGSSTAND TRADITIONELLER BOHRTECHNIKEN

Entwicklung der Bohrtechnik begann Mitte des 19. Jahrhunderts mit dem Abteufen der ersten Erdölbohrungen (Baku / Aserbeidschan 1847; Titusville / USA 1859). 1871 wurde die 1.000 m-Grenze und 1893 die 2.000 m-Grenze überschritten. Das heute noch gebräuchliche Rotarybohrverfahren wurde danach vor über 100 Jahren entwickelt und seitdem kontinuierlich verbessert. Begrenzende Faktoren der gegenwärtig üblichen Bohrtechniken sind u. a.:

- * häufiges Bohrkopfwechseln mit Bohrgestänge-Round-Trip,
- * Bohrgutabtransport durch Spülung,
- * Zementieren der Bohrlochwandungen,
- * Richtungsabweichungen des Bohrloches,
- * Reißfestigkeit des Gestängematerials,
- * progressive Bohrzeitzunahme mit zunehmender Tiefe und Temperatur
- * relativ geringe Bohrlochdurchmesser von ca. 100 bis 300 mm.

LITHO-JET Methode

Mit der LITHO-JET Methode unter Einsatz der Flammenschmelztechnologie soll ein neuer Weg beschritten werden. Ziel ist es hierbei, mit einem **Schmelzbohrverfahren** in große Tiefen (> 1.000 m) sicher und wirtschaftlich vorzudringen.

Vergleichend zu klassischen oberflächennahen Stollen bzw. Kavernen, z.B. in Salzstöcken, zur (End-) Lagerung hoch radioaktiver Abfälle kann durch Einkapselung in der Tiefe davon ausgegangen werden die oberflächennahe Kontaminationen, z.B. des Grundwassers, über sehr große Zeiträume auszuschließen.

LITHO-JET Methode

Flammenschmelztechnologie

- Gestein wird mit einem Wasserstoff/Sauerstoff-Brennstrahl von rund 3.500 °C aufgeschmolzen (Hydro-Frac)
- keine mechanische Zerkleinerung des Gesteins
- thermische Einwirkung/Beschädigung des Gesteins (hoher Druck beim Schmelzbohren verursacht Rißbildung im Gestein)
- permanente Kühlung des Schmelzbohrkopfes erforderlich

Gesteinsschmelze wird ins Gestein (seitlich gleich verteilt) verpresst

- Gesteinsschmelze wird als Arbeitsmedium nutzbar (erstarrte Schmelze oberhalb des Schmelzbohrkopfes bildet einen Druckverschluss)
- kein Bohrgutabtransport durch Spülung
- keine Zementierung der Bohrlochwandung (Kristallisierung/Rekristallisierung oberhalb/unterhalb des Gesteinsschmelzpunktes)
- faktisch keine chemischen oder mikrobiologischen Ausfällungen
- bei zunehmender Bohrtiefe wird bei großen Schächten zur Energieeinsparung nur das Außenprofil geschmolzen.

Die Institute der **Slowakischen Akademie der Wissenschaften**, (Institute für Messung, Bratislava, Material, Bratislava, Geotechnik, Košice), die **Technische Universität Košice**, Konštrukta Defense Trenčín, die **Armeehochschule für Flieger** Košice und **ATC Consult** in der Bundesrepublik Deutschland haben sich seit 1992 mit dieser Problematik beschäftigt, Suche nach Ersatz der in Amerika für diese Technik eingesetzten Atomenergie durch günstige hochleistungsfähige Energiequelle, die gleichzeitig umweltfreundlich ist.

These 1:

Litho-Jet verkrustet Bohrlochwandungen durch Flammenschmelztechnik und verankert sie mit dem Felsgestein.

These 2:

Einkapselung der Endlagerbehälter (Container z.B. 1 m \varnothing und 1 m lang aus korrosionsfesten, strahlungsabsorbierenden Materialien) mit den hoch radioaktiven Abfällen in den Behältern im Bohrloch mit undurchlässigem Material.

Ziele Litho-Jet: Nutzung von High-Tech-Strategien für geobgische Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle.

Aufbau **interdisziplinärer Forschung** mit Verbindungen zwischen

- ~ Ökologie und Ökonomie
 - ~ Bodenmechanik und Hydrologie
 - ~ Untergrundreservoir-Technik
 - ~ Strahlenschutz
 - ~ Mechanik
 - ~ Steuerungs- und Regelungstechnik
 - ~ Informations- und Kommunikationstechnik
- sowie andere Forschungs- und Technobgiebereiche

Zweck **Litho-Jet Forschung:**

- ⇒ neuer und einheitlicher Ansatz für Konzepte zur Bewirtschaftung bzw. Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle in großen Teufen, da Gabbrien von 300 bis 1.000 m Tiefe unter der Erdoberfläche selbst bei mittelfristiger Betrachtung zu einer Grundwasser Verunreinigung führen können
- ⇒ Grundlage für harmonisierte europaweite High-Tech-Strategie zur geologischen Entsorgung atomarer Abfälle dienen, wobei bestehende unterschiedliche Szenarien zur Bewirtschaftung und Entsorgung atomarer Abfälle erweitert werden

Vergleichend zu Forschungsergebnissen des **ESDRED**-Projektes strebt **Litho-Jet** eine Lösung zur Erhöhung der technologischen Produktivität an, bei der Schaffung vertikaler unterirdischer Bohrungen und Räume für die Lagerung radioaktiver Abfälle bei entsprechender Bewirtschaftung.

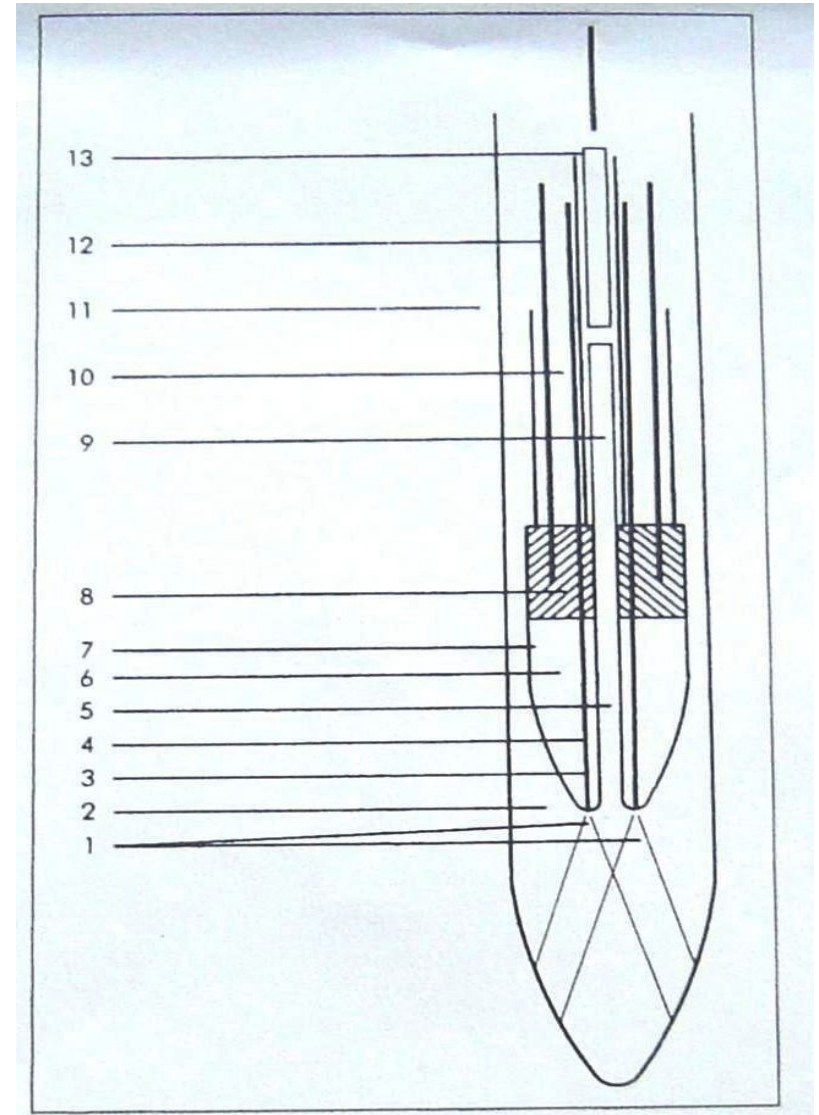
Ohne die Notwendigkeit, horizontale Öffnungen – sog. Stollen – zu bauen, ist es möglich, in größere Tiefen vorzudringen als derzeit für eine unterirdische Lagerung geplant – auch mit horizontalen Ausbrüchen – : Auf diese Weise wird die Sicherheit der neuen Lagerstätten erhöht, denn eine Migration der gelagerten Abfälle ist auch über lange Zeiträume (mehrere zehntausend Jahre) nicht möglich, Grundwasserreservoirs werden nicht kontaminiert.

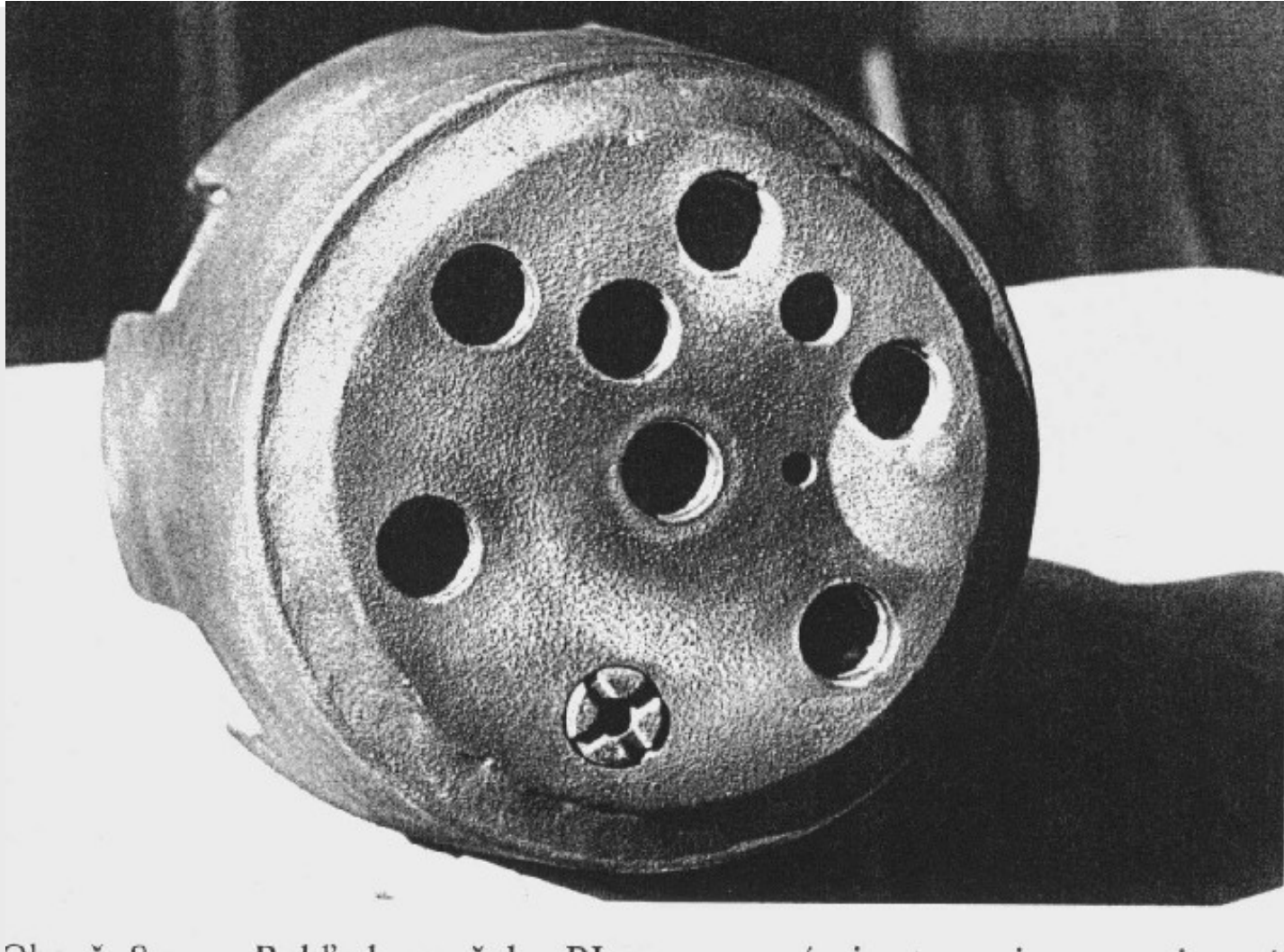
Bisherige Forschungsarbeit zur Litho-Jet Methode

- * Slowakische Akademie der Wissenschaften,
 - * TU Košice, Fakultät BERG (Bergbau, Ökologie, Prozesssteuerung und Geotechnologie)
 - * WSDTI und UHH
- ⇒ möglicher Ersatz von Atomenergie durch wirtschaftlich hochenergetische Sauerstoff-Wasserstoff-Energiequelle, keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt.

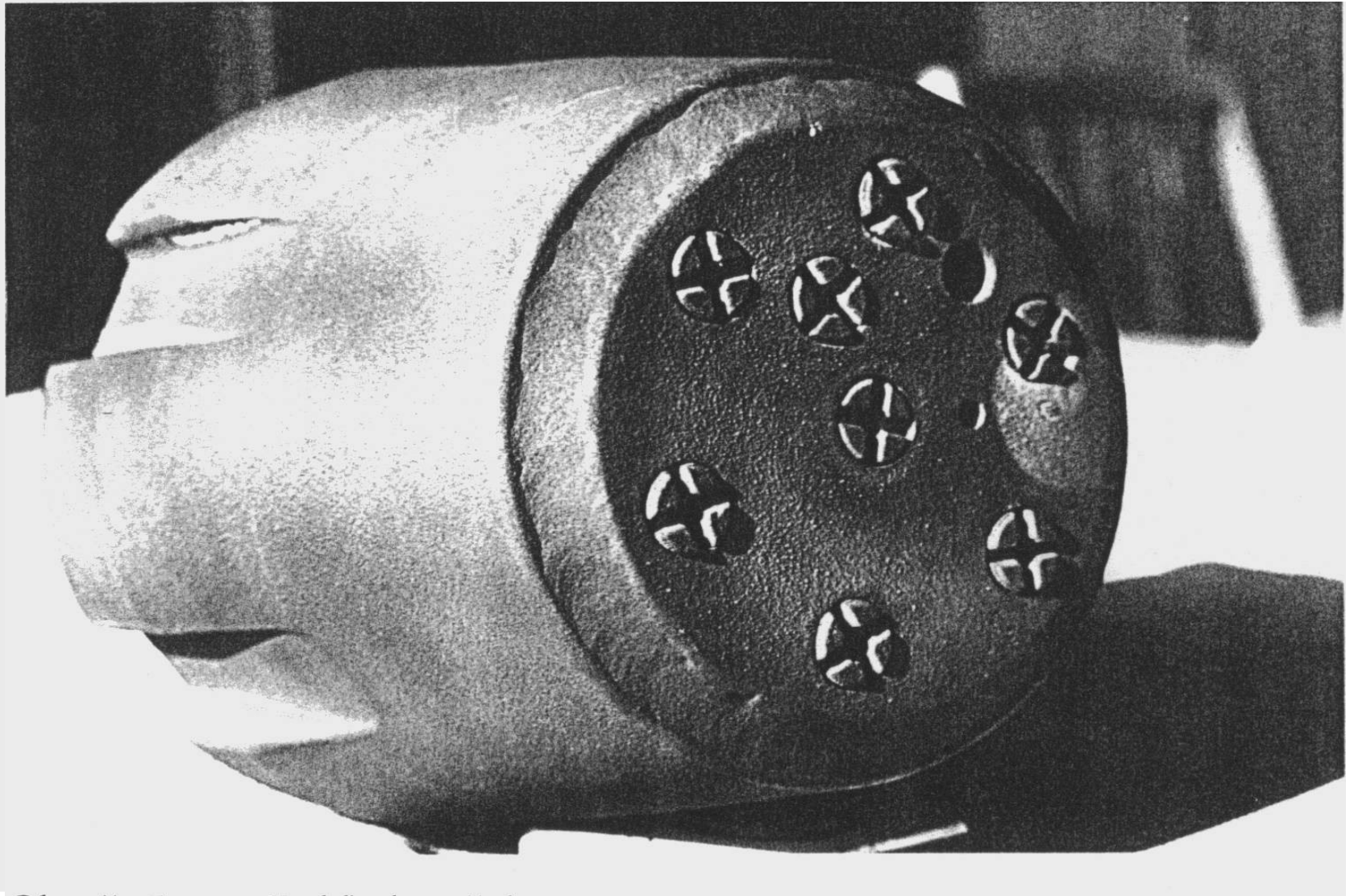
Schematische Darstellung des Litho-Jet Schmelzbohrverfahrens

1. Wasserstoff/Sauerstoff Brennstrahl
2. Gesteinsschmelze
3. Wasserstoffleitung
4. Sauerstoffleitung
5. Schmelzgutförderrohr
6. Druckbohrkopf
7. Druckbohrkopf-Innenkühlung
8. Kühlzone
9. Bohrkernsäule
10. Druck- und Versorgungszylinder
11. Bohrlochverschalung
12. Flüssigstickstoff
13. Bohrkernhebeeinrichtung





Druckbohrkopf mit einer Düse





Testversuche im Steinbruch



Literaturrecherche sowie eigene Forschungsergebnisse zeigen, dass **Litho-Jet** im Hinblick auf die einzelnen **Reservoirtypen** und damit verbundene spezielle **Litho-Jet -Versorgungslogistik** untersucht werden sollte, denn **Litho-Jet** scheint sich für die Lagerung radioaktiver Abfälle in großen Tiefen zu eignen. Dabei ergibt sich das Problem, eine Technologie zu entwickeln, die direkt auf der **Entsorgungsebene** (also nicht an Arbeitsplätzen, bei denen ein gesicherter 100 %-Schutz gegen die Bestrahlung erforderlich wäre) die Verarbeitung dieser Abfälle zu synthetischen Mineralien mit natürlicher Radioaktivität in der Größenordnung der derzeit in Erdkruste vorhandenen Mineralien ermöglicht.

Fragen im Hinblick auf die Weiterentwicklung des derzeitigen Stands der Technik,

- * technisch
- * wirtschaftlich
- * umweltbezogen

für die Realisierung tiefer vertikaler aber auch horizontaler Bohrungen die vor Anwendung von **Litho-Jet** genau analysiert werden müssen. Zu berücksichtigen ist auch die sichere Verkapselung hoch radioaktiver Abfälle.

Zahlreiche **Detailfragen** sind zu lösen, insbesondere im Hinblick auf: **Brennstoff**, **Zuführung**, **Steuerung** und **Kühlung** des Bohrkopfs sowie den Abtransport des abzubauenen Gesteins (Bohrkern), **Stabilität** der verkrusteten Oberfläche des Bohrlochs, **Energiebedarf** und die **Wirtschaftlichkeit**.

Sicherheit der langfristigen Lagerung

Bei langfristiger Lagerung kann z.B. das Risiko von Schäden an den Behältern und von einer Migration von hoch radioaktivem Material in das umgebende Gestein nicht vollkommen ausgeschlossen werden. Es ist klar, dass Behälter, die über einen Zeitraum von 100.000 Jahren hoch radioaktives Material enthalten, korrodieren oder durch Bodenerschütterungen beschädigt werden können. Diese Faktoren müssen bei der Planung von End-Lagerstätten berücksichtigt werden. Möglichkeit von Änderungen in den hydrologischen Bedingungen lässt sich ebenfalls nicht vollkommen ausschließen und könnte in einigen Fällen die Migration von Atomabfällen in die Umgebung ermöglichen.

Migrationsströmungen können mit hydrothermalen Quellen aus großen Tiefen oder über größere Entfernungen zusammenkommen. Teile des radio-aktiven Materials könnten so auch Grundwasserströmungen erreichen, deren Höhe durch die Oberflächenwasserströmungen bestimmt wird.

Sicherheit der langfristigen Lagerung

Verlagerung von seismisch aktiven Gebieten kann sich in einem Zeitraum von 100.000 Jahren vollziehen, lässt sich aber aufgrund fehlender Daten für derartige Verlagerungen nur sehr vage abschätzen. Genaue Daten mit einer ausreichend hohen Messgenauigkeit sind nur für die letzten Jahrzehnte verfügbar, die nur einem Bruchteil von 100.000 Jahren entsprechen. Von den beteiligten Partnern (TU Košice, WSDTI, UHH) wurde ein Modell entwickelt, das sich mit der Umwandlung atomarer Abfälle direkt in den Lagertiefen in natürliche Synthesemineralien befasst. Zu diesem Zweck wurden thermodynamische Bedingungen erzeugt, die die unterirdische Durchführung dieser Reaktionen ermöglichen.

Ausblick / Resume

These 3:

„Kristallgesteine wie Granit entstehen tief im Innern der Erdkruste aus Magma. Beim Abkühlen entstehen Schrumpfungsrisse und Hohlräume Entlang diesen Störungen und Klüften kann Wasser oft relativ einfach und schnell fließen.

Zwischen den ungleichmäßig über den Gesteinskörper verteilten Störungszonen gibt es große, nur schwach gestörte Bereiche die wegen ihrer hohen Stabilität für Tiefenlager geeignet wären.“

Quelle: nagra „spuren der zukunft“, Themenheft Nr. 1 / April 2007

These 4

Das Schmelzbohrverfahren der Litho-Jet Methode verkrustet und verankert die Bohrlochwandung und schließt die Risse.