

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

- notwendige Forschungsarbeiten für die praxisreife Entwicklung der LITHO-JET Methode

*Rolf Bielecki*¹

Drilling into the depth > 1000 m for the underground repository of highly radioactive wastes for energetic exploitation – necessary research of practical development LITHO JET method

The paper deals with serious objectives, which handle to the economical valuation of vertical drilling. Simultaneously, are inter alia, a questions is answered if the LITHO-JET method allows, under some economical conditions, a deposition of high radioactive waste into the depth more than 1000 meters and an increasing research is be necessary.

Key words: flammenschmelztechnologie, radioaktiven Abfällen

Einführung

Seit den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts beschäftigt sich die internationale wissenschaftliche Fachwelt mit der Notwendigkeit einer eigenständigen, von konventionellen Abfällen unabhängigen Entsorgung radioaktiver Abfälle. Ab Anfang der 60er Jahre wurden in der Bundesrepublik Deutschland (BRD) und in der ehemaligen DDR Schritte zur Realisierung von Endlagern radioaktiver Abfälle im tiefen geologischen Untergrund eingeleitet.

Das Ergebnis war 1974 ein durch die Regierung der BRD vorgestelltes Konzept eines nationalen Nuklearen Entsorgungszentrums, welches an einem Ort auf einer Fläche von 12 km² Wiederaufarbeitung, Brennelementfabriken, Konditionierungsanlagen und Endlager konzentriert. Mit der Novellierung des deutschen Atomgesetzes im Jahre 1976 wurde dann die besondere Verantwortung der öffentlichen Hand bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle aufgrund des hohen Gefährdungspotentials und der Langlebigkeit der radioaktiven Stoffe unterstrichen. Nicht die Abfallverursacher, sondern der Staat selber übernahm schon damals die Aufgabe, Anlagen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle zu errichten, wobei die Errichtung des Endlagers von den Betreibern zu bezahlen ist.

Die Vergangenheit hat jedoch gezeigt, dass der Prozess zur Lösung der Endlagerfrage immer wieder ins Stocken geriet, weil es bisher an einem übergreifenden gesellschaftlichen

Konsens, auf welche Weise ein Endlagerstandort bestimmt werden soll, gefehlt hat. Dabei haben immer wieder Anläufe nicht nur auf administrativer, sondern auch auf politischer Ebene stattgefunden. Ein solcher Konsens ist aber notwendig und schafft für die Energiewirt-

schaft Rechtssicherheit und Planbarkeit, für die heutige Öffentlichkeit Transparenz und Nachvollziehbarkeit bei der Auswahl eines Endlagerstandorts sowie für die zukünftigen Generationen den notwendigen Schutz vor den Gefahren radioaktiver Abfälle. Er kann erreicht werden, wenn sichergestellt ist, dass

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

¹ Dipl.-Ing. Rolf Bielecki, PhD., Leitender Baudirektor a.D., Chairman der WSDTI und des EFUC, Hamburg, Germany (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 14. 3. 2008)

Im Übrigen muss der Grundsatz gelten, dass die Generation, die den Nutzen aus der Kernenergie hat, sich auch um die Entsorgung der Abfälle kümmert. Die Lösung der Endlagerung muss daher jetzt angegangen werden und darf nicht auf die lange Bank geschoben werden. Die Auswahl und Festlegung eines Endlagerstandortes, in dem abgebrannte Brennelemente und hoch radioaktive Abfälle endgelagert werden, erfordert ein nachvollziehbares, transparentes Verfahren, wobei die Sicherheit Vorrang vor allen anderen Aspekten hat. Deshalb sollten hoch radioaktive Abfälle in tiefen geologischen Formationen endgelagert werden.

Die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik bestmögliche Sicherheit kann nur erreicht und vermittelt werden, wenn insbesondere der Standort eines Endlagers, in dem hoch radioaktive Abfälle und bestrahlte Brennelemente gelagert werden sollen, in einem klar definierten Verfahren nach vorher festgelegten, wissenschaftlich fundierten Kriterien ausgewählt wird. Mit dem „Safety Requirements: Geological Disposal of Radioactive Waste“ hat die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) im Mai 2006 einen internationalen Standard für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle veröffentlicht, der auch einen Orientierungsrahmen und Mindeststandards vorgibt. Die in diesem Zusammenhang wesentlichen Forderungen sind:

- ein schrittweises Vorgehen; sowohl bei der Endlagerung wie auch bei der Führung des Langzeitsicherheitsnachweises,
- die Optimierung der Schutzwirkung des Endlagers, die – so weit wie vernünftigerweise möglich – bereits bei der Standortauswahl mit zu berücksichtigen ist.

80 Staaten haben 1997 in Wien ein Gemeinsames Übereinkommen verabschiedet, in dem sie völkerrechtlich verbindlich erklären, die weltweit anerkannten Vorschriften der IAEO über die Sicherheit bei der Behandlung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle im nationalen Bereich anzuwenden.

Deutschland ist Vertragspartner dieser Konvention. In der 2. Überprüfungstagung zu diesem Übereinkommen im Mai 2006 wurde Deutschland aufgefordert, klare und transparente Standortauswahlkriterien und ein Standortauswahlverfahren entsprechend der Praxis in anderen Ländern mit fortgeschrittenem Endlagerprogramm zu schaffen. Bei der Durchführung eines Auswahlverfahrens zur Festlegung des Endlagerstandortes sollten die Vorgehensweisen in Finnland, Schweden, Frankreich, Japan, Kanada, Großbritannien und der Schweiz beachtet werden. In Deutschland hat das Bundesamt für Strahlenschutz im November 2005 seine Untersuchungen zu den sicherheitstechnischen Einzelfragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle mit dem Ergebnis abgeschlossen, dass keine eindeutigen Vorteile für ein bestimmtes Wirtsgestein (Salz, Ton, Granit) erkennbar sind. Vorteile für ein bestimmtes Wirtsgestein sind nur im Vergleich verschiedener konkreter Standorte zu ermitteln. Außerdem hat eine weitere Untersuchung der deutschen Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe gezeigt, dass es durchaus andere Standorte als z.B. Gorleben (Salzgestein) gibt, die in ein Standortauswahlverfahren einzubeziehen sind. Zu den Anforderungen eines solchen Verfahrens gehören:

- schrittweises Vorgehen mit eindeutig definierten Überprüfungsschritten,
- Festlegung der Auswahl- und Sicherheitskriterien vor Beginn des Auswahlverfahrens,
- Transparenz des Verfahrens und Beteiligungsmöglichkeiten,
- Definition von Schutzziele und Sicherheitsanforderungen als Bewertungsmaßstab,
- unabhängige Ermittlung und Auswertung der relevanten Standortdaten.

Das Standortauswahlverfahren soll in Deutschland in 2 Phasen und einer Vorphase zur Entscheidung der Auswahlkriterien bis zum Jahre 2020 unter Beteiligung einer Sachverständigen-Kommission durchgeführt werden. Die einzelnen, im Detail vorgeschriebenen Phasen werden in Schritte eingeteilt, nach deren Abschluss die weitere Vorgehensweise entweder abgebrochen oder relativiert wird.

Am Ende der Phase II soll ein Bericht erarbeitet werden, der die Ergebnisse des Auswahlverfahrens und einen Entscheidungsvorschlag enthält. Die Endlagerkommission nimmt hierzu in Berichtsform Stellung. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) legt dem Bundeskabinett unter Berücksichtigung der vorgelegten Berichte einen Gesetzentwurf zur Festlegung eines Endlagerstandortes vor. Der Deutsche Bundestag beschließt über das Endlagerstandortgesetz. Damit kann der Standort im anschließenden Genehmigungsverfahren nicht mehr grundsätzlich in Frage gestellt werden.

Bei der Standortauswahl sind sowohl Auswahlkriterien als auch Sicherheitskriterien einzuhalten, die vorher festgelegt werden (Pochylý, P., 1999). Bei den Auswahlkriterien handelt es sich in erster Linie um Anforderungen an eine günstige geologische Situation. Die Auswahl einer geologisch günstigen Gesamtsituation entscheidet über die Langzeitsicherheit eines Endlagers.

Die Sicherheitskriterien werden sowohl bei der Auswahl wie auch bei der Beurteilung von Standorten im Rahmen von Sicherheitsanalysen angewendet. Sie geben Bewertungsmaßstäbe vor, die sicherstellen, dass der Standort des späteren Endlagers den Anforderungen an die Langzeitsicherheit genügt, die spätere Errichtung und der Betrieb des Endlagers den Anforderungen des Atomgesetzes entspricht und damit als kerntechnische Anlage genehmigt werden kann. Sie sind ausgerichtet auf den zuverlässigen Schutz von Mensch und Umwelt

nach den Grundprinzipien des Strahlenschutzes. Hier ist das Zusammenwirken von Abfallverarbeitung, Abfallbehältern, Anlagenauslegung, Verfüll- und Verschlussmaßnahmen und geologischer Barriere wesentlich.

Bei den Auswahlkriterien handelt es sich in erster Linie um Anforderungen an eine günstige geologische Situation (Spaun, G., et al,1994). Als geowissenschaftliche Auswahlkriterien sollen vorgesehen werden:

Ausschlusskriterien:

- keine großräumigen Hebungen der Endlagerregion von im Mittel mehr als 1 mm pro Jahr,
- keine aktiven geologischen Störungszonen im Endlagerbereich,
- geringe seismische Aktivitäten, die nicht größer als Erdbebenzone 1 sein dürfen,
- kein quartärer, d. h. innerhalb der letzten 2,6 Mio. Jahre aufgetretener, oder zukünftig zu erwartender Vulkanismus.

Mindestkriterien:

- geringe Gebirgsdurchlässigkeit und hinreichende Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs von mindestens 100 m,
- Teufenlage und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs zwischen 300 m und 1500 m,
- keine Gebirgsschlaggefahr,
- keine Zeichen für zukünftige starke Veränderungen der geologischen Gesamtsituation für ca. eine Million Jahre.

Abwägungsanforderungen:

- kein oder langsamer Transport von Grundwasser,
- großes Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs,
- große Sicherheitsabstände zu wasserführenden Schichten,
- Sicherheit bei Versagen einzelner Barrieren,
- gute räumliche Charakterisierbarkeit,
- gute Prognostizierbarkeit,
- günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen,
- geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten,
- gute Gasverträglichkeit,
- gute Temperaturverträglichkeit,
- hohes Rückhaltevermögen,
- günstige hydrochemische Bedingungen.

Die Sicherheitskriterien müssen sich am internationalen Standard orientieren, dessen Rahmen durch die Safety Requirements, No. WS-R-4 der IAEA vorgegeben wird. Bestandteile der Sicherheitskriterien sind z. B.:

- Schutzziele für Mensch und Umwelt in Form von Dosis- oder Risikogrenzwerten,
- Grundanforderungen an die Auslegung des Endlagers (z. B. gestaffeltes System von Abwehrmaßnahmen gegen die Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt),
- Anforderungen an die Nachweisführung,
- Anforderungen an die Qualitätssicherung.

Die Standortregion für ein Endlager übernimmt eine nationale Aufgabe, die die Region vor große Herausforderungen stellt. Es ist daher geplant, der Standortregion hierfür einen Ausgleich zu geben.

Die LITHO-JET Methode

Mit der LITHO-JET Methode unter Einsatz der Flammenschmelztechnik soll ein neuer Weg für die Herstellung von Endlagern im Festgestein, wie z.B. Granit, beschritten werden. Ziel ist es hierbei, mit einem Schmelzbohrverfahren in große Tiefen (> 1.000 m) sicher und wirtschaftlich vorzudringen.

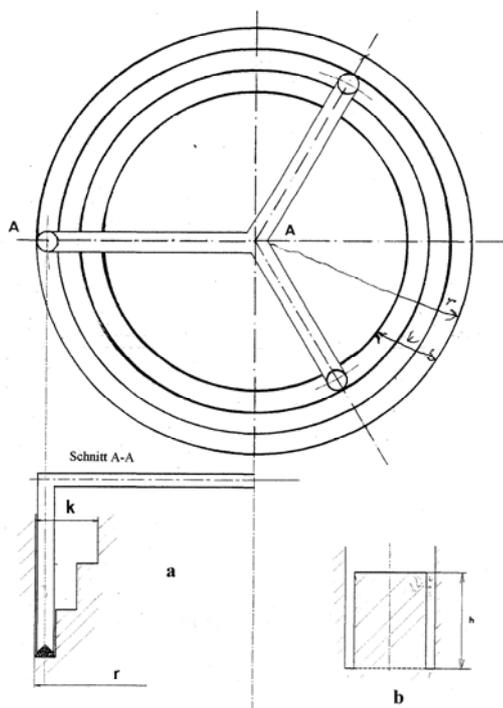
Die Institute der Slowakischen Akademie der Wissenschaften, (Institut für Messung, Bratislava, für Material, Bratislava, für Geotechnik, Košice), die Technische Universität in Košice, Konštrukta Defense Trenčín, die Armeehochschule für Flieger in Košice und ATC Consult in der Bundesrepublik Deutschland haben sich seit dem Jahre 1992 mit dieser Problematik intensiv beschäftigt und suchten die Möglichkeiten des Ersatzes der in Amerika für diese Technik eingesetzten Atomenergie (Altseimer, J.H.,1973) durch eine günstige hochleistungsfähige Energiequelle, die gleichzeitig umweltfreundlich ist (Stark, Jr.W.A., et al,1973).

Danach soll bei der in der Slowakei entwickelten Flammenschmelztechnik (Sekula, F., et al, 1996; 1997; 1998)

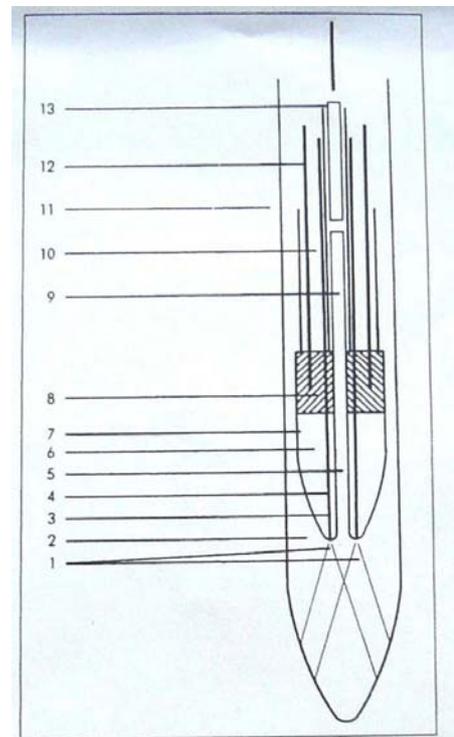
- das Gestein mit einem Wasserstoff/Sauerstoff-Brennstrahl von rund 2.500 °C und mehr aufgeschmolzen (Hydro-Frac) werden,
- bei Bohrungen mit geringeren Querschnitten keine mechanische Zerkleinerung des Gesteins erfolgen,
- sondern eine thermische Einwirkung auf das Gestein (hoher Druck beim Schmelz bohren verursacht Ribbildung im Gestein),
- wofür eine permanente Kühlung des Schmelzbohrkopfes erforderlich ist.

Die Gesteinsschmelze wird ins Gestein (seitlich gleichverteilt) verpresst (Rybár, P., et al, 2004)

- dabei wird die Gesteinsschmelze als Arbeitsmedium nutzbar (erstarrte Schmelze oberhalb des Schmelzbohrkopfes bildet einen Druckverschluss),
- es erfolgt kein Bohrgutabtransport durch Spülung
- und keine Zementierung der Bohrlochwandung, sondern eine Bohrlochverschalung und Verankerung durch die Schmelze,
- faktisch entstehen dabei keine chemischen oder mikrobiologischen Ausfällungen,
- bei zunehmender Bohrtiefe wird bei größeren Schächten zur Energieeinsparung nur das Außenprofil geschmolzen und der Innern kern mechanisch gefördert und dafür, je nach Größe, vorher zerkleinert.



Randschmelzung (k z.B. 0,15 bzw. 0,20 m)



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

Abb. 1. Schematische Beschreibung des LITHO-JET Schmelzbohrverfahrens.
Fig. 1. Outside profile-melt at large-scale boring.

Teilanalyse der Kosten der Schmelzenergie zur Herstellung großer Teufen mit unterschiedlichen Durchmessern für die Unterbringung der mit radioaktiven Abfällen zur Endlagerung befüllten Behälter von z. B. 1 m Durchmesser und 1 m Länge bei 1000 m Stapelhöhe

Spezifische Energie [MJ/m ³]	r m	Energie [MJ/km] 10 ³	Reine Energie [MJ/km] 10 ³ die sich mit einem Wirkungsgrad von 0,3 des Schmelzprozesses ergibt (abgemindert durch Verluste der Kühlung, Entweichen der Wärme in die Gesteinsseiten und Expansion der Wasserdämpfe)	Wasserstoff Verbrauch		Sauerstoff Verbrauch		Preis Wasserstoff [€/km] 10 ⁶	Preis Sauerstoff [€/km] 10 ³	Kostenaufwand für Schmelzenergie bei 2 km Teufe [€] 10 ⁶	Zahl der Container bei 1000 m Stapelhöhe und einer Größe je Container von 1,0 m Ø und 1,0 m Höhe Stück	Kostenaufwand für 1 Stück Container [€] 10 ³
				v kg/km	v kg/km	v kg/km	v kg/km					
1.387,53	1	4.359,07	14.530,23	102.397,70	12.799,70	5,325	17,92	10,686	2.000	5,343		
721,917	2	9.071,88	30.239,60	213.105,00	26.638,10	11,081	37,29	22,237	10.000	2,224		
487,54	3	13.785,00	45.950,00	323.819,60	40.477,50	16,839	56,67	33,791	24.000	1,408		
368,01	4	18.498,50	61.661,67	434.543,10	54.317,90	22,596	76,05	45,344	48.000	0,944		
295,54	5	23.212,20	77.374,00	545.271,30	68.158,90	28,354	95,42	56,899	76.000	0,748		
246,92	6	27.926,28	93.087,60	656.008,50	82.001,10	34,112	114,8	68,454	110.000	0,622		

1 EURO = 37,50 SKK

Anmerkung:

Bei dieser Tabelle wurden über die spezifische Energie der Flammenschmelztechnik von 5000 MJ/m³ (aus Versuchen in Košice ermittelt) die Werte der erforderlichen Energie sowie der Verbrauch an Wasserstoff und Sauerstoff und damit die Kosten der Schmelzenergie pro Container in Abhängigkeit des Radius der Teufe ermittelt.

Unter Zugrundelegung der Kosten pro m³ umbauten Raum von 3.000,-- € für die oberen (ersten) 1.000 m im Lockergestein mit Verbau der Teufen in diesem Bereich ermitteln sich die Gesamtherstellungskosten der Teufen mit unterschiedlichen Durchmessern bis 2.000 m Tiefe in erster Annäherung mit Kosten pro m³ umbauten Raum von i.M. 2.000,--€ (Bielecki, R., 2006).

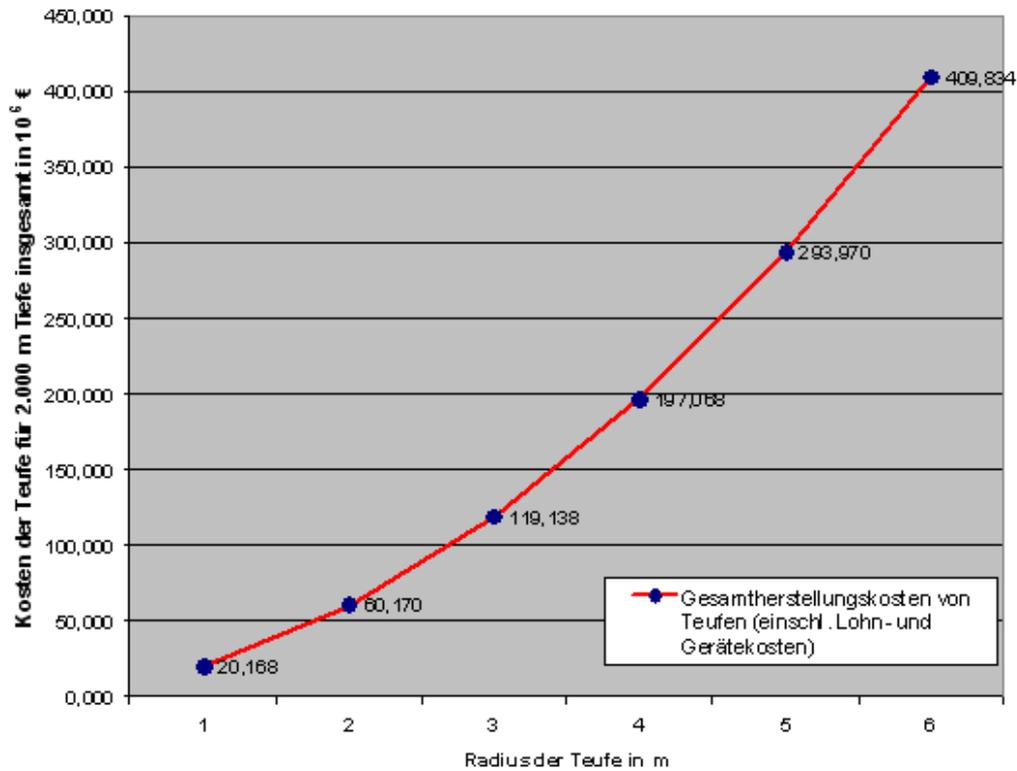


Abb. 2. Graphische Darstellung der Gesamtherstellung von Teufen mit unterschiedlichen Durchmessern für 2000 m Tiefe.
Fig. 2. Graph of smelt-energy costs.

Hierzu ist anzumerken, dass für die Leistungen des Antransportes und der Einlagerung der Container, für deren Einkapselung und der darüber vorzusehenden Verfüllung der Teufe zunächst mit Tonboden in einer Mächtigkeit von mind. 100 m sowie für den Einbau der Überwachungssysteme und für die Renaturierung des Umfeldes der Teufen die angegebenen Preise in der vorstehenden Graphik schätzungsweise noch um ca. 50 % zu erhöhen sind.

Kernkraftwerke werden in der Regel für einen 40jährigen Betrieb ausgelegt, danach stillgelegt und abgebaut. Würde man auch aus ökologischen und sicherheitstechnischen Gründen einen gleichen, mit einiger Sicherheit überschaubaren Zeitraum für die Aufnahme von Containern für große Teufen festlegen, erforderten diese bei einer Stapelhöhe der Container von 1.000 m in einer Tiefe von 1.000 bis 2.000 m einen Durchmesser von ca. 10,00 m bei einer Aufnahmekapazität von 76.000 Containern/Teufe ($76.000 \times 0,55^* = 41.800 : 1000^{**} = 40$ Jahre). Aus bautechnischen und betrieblichen Gründen erscheint dieser Durchmesser aufgrund heute vorhandener Erfahrungen selbst für Tiefen von 2.000 m ausführbar. Wollte man allerdings eine Rückholbarkeit der Container aus dem Endlager mit einplanen, erfordere dieses entweder einen größeren Durchmesser der Teufe oder aber mindestens 2 Teufen von 10 m Durchmesser.

Neben der Energiegewinnung aus Aquiferen kann sich eine weitere Möglichkeit der Energiegewinnung durch die Ableitung der Wärme von Brennstäben der in Containern z.B. des Typs WER 1000 eingelagerten und versiegelten Inhaltes von ca. $0,3 \times 0,5 \times 4,50 = 0,7$ m³ ergeben. Das sind bei einer Aufnahmekapazität einer Teufe von 10 m Durchmesser und einer Endlagertiefe von 1.000 m $41.800 \text{ m}^3 : 0,7 \text{ m}^3/\text{Container} \cong$ ca.

* bei einem Füllkoeffizienten der Container von $0,7 = 0,7 \times 0,785 \cong 0,55 \text{ m}^3/\text{Container}$

** Jahresmenge der in Deutschland anfallenden hoch radioaktiven Abfälle

Rolf Bielecki: Herstellung von Teufen mit Tiefen > 1.000 m für die unterirdische Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle im Festgestein und für die Energiegewinnung - notwendige Forschungsarbeiten für die praxisreife Entwicklung der LITHO-JET Methode

60.000 Container. Bei einer Leistung pro Container von 0,2 MW und einem Wirkungsgrad von 50 % ergibt dies eine Gesamtleistung von $60.000 \times 0,2 \times 0,5 = 6000 \text{ Watt} = 6 \text{ MW}$ über 100 und mehr Jahre.

Die Baukosten einer derartigen Teufe werden mind. 150.000,- EURO/m betragen; = $150.000,- \times 2.000 = 300 \text{ Mio EURO}$. Diesen Kosten sind mindestens 150 Mio EURO u.a. für die Einlagerung der Container usw. hinzuzurechnen.

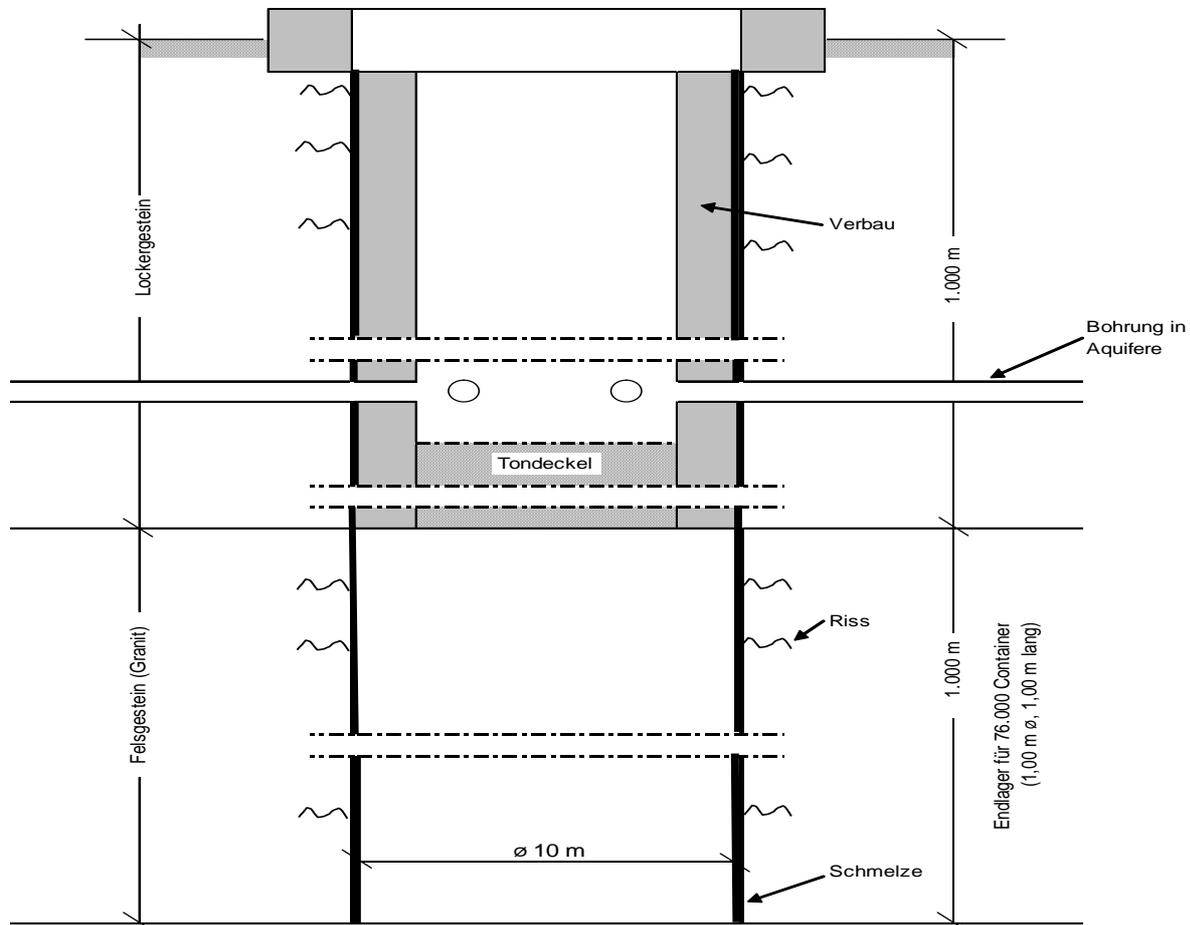


Abb. 3. Prinzip der angenommenen Teufe von 2.000 m Tiefe, mit Bohrungen in Aquifere zur Gewinnung geothermischer Energie (Peren, F., 2005).

Fig. 8. Litho-Jet method for an alternative use.

Notwendige Forschungsarbeiten für die praxisreife Entwicklung der LITHO-JET Methode

Die bisherigen quantitativen Näherungsanalysen auf der Grundlage der wissenschaftlichen Arbeiten der Professoren Sekula, Lazar und Rybár haben gezeigt, dass es ökonomisch und bautechnisch sinnvoll ist, die mit Laborwerten untermauerten bisherigen Forschungen in Košice unter internationaler Beteiligung und Abstimmung weiter zu betreiben mit dem Ziel, die Praxisreife der LITHO-JET Methode zur Herstellung von Teufen mit Tiefen > 1.000 m für die unterirdische Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle im Festgestein und für die Energiegewinnung herbeizuführen (Sekula, F., 2003). Neben der Herstellung von tiefen Teufen in den Untergrund wird die LITHO-JET Methode eines Tages auch für horizontale Schildvortriebe zur wirtschaftlichen Herstellung von Verkehrs- und Leitungstunnel einzusetzen sein. Im ersten Schritt sollten jedoch die vertikalen Bohrungen mit der LITHO-JET Methode zur Praxisreife geführt werden. Hierfür sind zur Herstellung von geologischen Endlagerstätten für hoch radioaktive Abfälle z.B. im Granit vordringlich die Nachweise zu erbringen, dass die bereits vorhandenen Risse und die durch den Einsatz der LITHO-JET Methode entstehenden Risse im Wirtsgestein durch die erzeugte Gesteinsschmelze auf genügend großer Tiefe gegen hohe Drücke vollständig verschlossen werden können (Ostenak, C.A., et al).

Im Einzelnen sind zur praxisreifen Entwicklung der LITHO-JET Methode zunächst eine Vorabstudie und danach eine Machbarkeitsstudie für die schätzungsweise 15jährige Forschungsarbeit mit aufzubringenden Forschungsgeldern in Höhe von 50 Mio € notwendig. Die dabei zu behandelnden Forschungsthemen sind folgende:

1. Methoden der geophysikalischen vorauserkundung von eigenschaften des gebirges zur standortwahl der teufen:
 - 1.1 Aufspüren von Wasserhorizonten und Gasen
 - 1.2 Feststellung von Rissen und Klüften im Festgestein
 - 1.3 Abschätzung möglicher tektonischer Veränderungen
2. Ingenieurgeologische und felsmechanische untersuchungen
 - o Festlegung notwendiger Baugrunddaten im Deckgebirge und Festgestein u.a. durch Rotationsbohrungen mit Kerngewinnung, Ultraschallbohrloch-sondierungen, Seismik und Geoelektrik sowie Untersuchungsmethoden der Felsmechanik
 - o Abschätzung möglicher Störungen aus dem Untergrund
 - o Ermittlung der Gesteinseigenschaften bei Temperaturen von 100 °C und mehr bis zum Schmelzpunkt
 - o Ermittlung der physikalisch/chemischen Eigenschaften der Gesteine bei Hochtemperaturen, Hochdrücken und Wasserdampfbedingungen
3. Hydrogeologische Untersuchungen
 - 3.1 Aufstellung von Wasser- und Gasströmungsmodellen
 - 3.2 Porenvolumen- und Wassergehaltmessungen im Gestein
4. Wasserhaltung während der Bauzeit
5. Methoden der Ableitung von Überdrücken aus gestein, Wasser, Wasserdampf und Gasen
6. Bemessungsdaten aus Gebirgs-, Wasser und Wasserdampfdruck, Druckluft - standsicherheitsnachweise
7. Anforderungen an das Bauverfahren für endlager-teufen
 - 7.1 Personaleinsatz
 - 7.2 Kernabbau und Bohrgutförderung
 - 7.3 Findlingsbeseitigung im Lockergestein
 - 7.4 Bohrlochauskleidungen und Ringraumschmelze
 - 7.5 Messungen der Auflockerungszonen der Wirtsformation
8. Entwicklung vertikaler bohrungen der Geothermie bis 100 m TIEFE (thermische gesteinszerstörung und deren förderung)
9. Konstruktion der Bohranlage zur herstellung der Teufen für die Endlagerung
 - 9.1 Werkstoffanforderungen und Kriterien der Werkstoffauswahl
 - 9.2 Konstruktion der Schmelzköpfe und ihre Kühlung
 - 9.3 Gripperanordnung
 - 9.4 Sichere Energieversorgung
 - 9.5 Navigations- und Datenerfassungssysteme u.a. für die elektronische Steuerung zur Einhaltung der Baugenauigkeit und für die Dokumentation des Baugrundes
 - 9.6 Auswechslung von Abbauwerkzeugen und anderen Anlagenteilen
 - 9.7 Maschinenreparatur und –ausbau
10. Anforderungen an die Konstruktive ausbildung der Teufe und des Endlagers für hoch radioaktive abfälle
 - 10.1 Materialanforderungen und –auswahl, Thermoschock-Untersuchungen, Korrosionsschutz
 - 10.2 Strahlenschutz
 - 10.3. Verhalten der Verschluss-Systeme unter chemischen und mechanischen Einflüssen und bei Gasentwicklung
 - 10.4 Begehbarkeit des Endlagers
 - 10.5 Untersuchung der Szenarien zur Explosion durch radiolytisch gebildeten Wasserstoff
 - 10.6 Rückholbarkeit der Endlagerbehälter

11. Anforderungen an die Konstruktive Ausbildung der Teufen für die Energiegewinnung aus
 - 11.1 Erdwärme
 - 11.2 Wärme radioaktiver Abfälle
12. Sicherheit und Sicherheitsplanung
 - 12.1 Kontrolle der Standsicherheit und Dichte der verkrusteten Bohrlochwandung der Teufen
 - 12.2 Erfassung bzw. Entwurf künstlicher oder natürlicher Barriersysteme
 - 12.3 Entwicklung von Methoden und Verfahren der Sensorik, der Messtechnik, der Datenerfassung und des Monitorings zur Bewertung der Dichtheit des Endlagers, hier zu Lebenszyklusbetrachtungen des Endlagers (Entwurf, Bau, Betrieb, Sanierung, Modernisierung, Aufhebung)
 - 12.4 Langzeitsicherheitsanalyse unter besonderer Berücksichtigung möglicher Störfälle
13. Endlagerbehälter für hoch radioaktive Abfälle
 - 13.1 Größe, Material, Korrosionsschutz
 - 13.2 Einbau und Wiederausbau
 - 13.3 Mögliche Einkapselung
 - 13.4 Eignungsprüfungen
 - 13.5 Kontrolle
14. Bau und Erprobung von entwickelten Prototypen für die Herstellung von Teufen, die Endlagerung und Energiegewinnung
15. Internationale Abstimmung der Forschung
16. Termin- und Kostenplan der Forschungsarbeiten der LITHO-JET Methode
 - 16.1 für Endlager hoch radioaktiver Abfälle
 - 16.2 für Geothermie-Nutzung

Literatur - Literature

Altseimer, J. H.: Systems and Cost Analysis for a Nuclear Subterrene Tunneling Machine. A Preliminary Study. *LA-5354-MS, September 1973.*

Bielecki, R.: Teilanalyse über die Anwendung der Flammenschmelztechnologie zur Herstellung von Teufen > 1000 m für Ablagerungen von radioaktiven Abfällen im Untergrund, *Dissertationsarbeit Košice 2006, ISBN 978-3-8334-8123-9.*

Ostenak, C. A., Whitty, W. J., Dietz, R. J., Preliminary Concepts: Materials Management in an Internationally Safeguarded Nuclear-Waste Geologic Repository. *LA-8049-MS, November 1979.*

Peren, F.: Geotermische Energiesysteme, Eine ökonomische Machbarkeitsstudie, *Dissertationsarbeit, TU Košice, 2005.*

Pochylý, P.: Referenčný projekt povrchových i podzemných systémů HÚ v hostitelském prostředí granitových hornin v dohodnuté skladbě úvodního projektu a hloubce projektové studie, *EGP Invest s.r.o., 1999.*

Rybár, P., Lazar, T., Hamrák, H.: Štúdium problematiky tavenia nerastných surovín v extrémnych podmienkach. *Edičné stredisko/AMS, F. Berg, TU v Košiciach, 2004.*

Sekula, F., Rybár, P., Lazar, T., et al.: Technológia termického tavenia hornin za účelom hĺbenia stihlych vertikálnych diel, *Výskumná správa za rok 1995, Košice 1996.*

Sekula, F., Rybár, P., Lazar, T., et al.: Technológia termického tavenia hornin za účelom hĺbenia stihlych vertikálnych diel, *Výskumná správa za rok 1996, Košice 1997.*

Sekula, F., Rybár, P., Lazar, T., et al.: Technológia termického tavenia hornin za účelom hĺbenia stihlych vertikálnych diel, *Výskumná správa za rok 1997, Košice 1998.*

Sekula, F.: Litho-Jet-Technologie - Forschungsprojektantrag 2003, *unveröffentlichtes Manuskript, Košice*

Spaun, G., Thuro, K.: Untersuchungen zur Bohrbarkeit und Zähigkeit des Innsbrucker Quarzphyllits, *Felsbau 12, 1994.*

Stark, Jr. W. A., Krupka, M. C.: Carbon Receptor Reactions in Subterrene Penetrators. *LA-5423-MS, October 1973.*