Teilanalyse über die Anwendung der Flammenschmelztechnologie zur Herstellung von Teufen > 1000 m für Ablagerungen von radioaktiven Abfällen im Untergrund

Rolf Bielecki[1]

A partial analysis of using the melting of flame technoogy for the production of a deep shaft to rocks for the deposition of radioactive wastes

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 LITO-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*: lammenschmelztechnologie, radioaktiven Abfällen*

Einfűhrung

Sechs Milliarden Menschen leben heute auf der Erde. Bereits 2043, neun Jahre früher als bisher angenommen, wird diese Zahl voraussichtlich auf neun Milliarden steigen, wobei die Weltbevölkerung immer mehr in die Städte drängt. Schon in ca. 20 Jahren werden fast zwei Drittel aller Menschen insbesondere in den Entwicklungsländern in Städten leben und es wird ca. 100 Städte auf der Welt mit Einwohnerzahlen von über 5 Millionen Menschen geben. Grund genug, darüber nachzudenken, wie diese urbanen Ballungsräume zu entwickeln und dabei in zwangsläufiger Folge nicht nur die oberirdischen, sondern z. B. aus Gründen des Umweltschutzes, des Schutzes des Kulturerbes, des Komforts und der Sicherheit auch gleichzeitig die unterirdischen Bauräume in die Städteplanungen mit einzubeziehen sind.

Der Blick in die Tiefe wird zu einem Blick in die Zukunft. Unter der Erdoberfläche befinden sich Gestaltungsräume für die Stadt- und Verkehrsplanungen von morgen. Das Wachstum der Metropolen und die Verdichtung des Verkehrs verbrauchen die Landschaft und bedrohen die natürliche Artenvielfalt. Innovative Konzepte werden weltweit diskutiert und von internationalen Organisationen, so z. B. von der UNEP, dringend gefordert. Die Verlagerung von Verkehrs-, Produktions-, Ver- und Entsorgungs- sowie Kommunikationseinrichtungen, Kultur-, Sport- und Einkaufszentren sowie Anlagen zur Energiegewinnung und Lagerung von Abfällen im Untergrund schafft über der Erde Platz für menschengerechtes Wohnen und naturschonende Lebensverhältnisse. Der unterirdische Bauraum muss daher von Ingenieuren und Architekten noch mehr als bisher erschlossen werden. Ein neues Modell der Raumplanung zur Korrektur der heutigen Verhältnisse zwischen Neubautätigkeit und Landschaftsverbrauch wird gefordert.

Es müssen zwei miteinander verbundene Welten entstehen: Die Welt an der Erdoberfläche mit besserer Erlebnisqualität sowie eine freundlich gestaltete unterirdische Welt der Dienstleistungen und hiervon getrennt in noch größerer Tiefe die Welt der Lagerstätten.

Die Erdoberfläche kann nicht vermehrt werden. Dringende Zukunftsaufgaben sind daher u.a.:

- die sich aus unterirdischen Bauräumen ergebenden weit reichenden technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Chancen für die Zukunft bewusst zu machen,
- politische Entscheidungsträger anzuregen, den unterirdischen Bauraum als Potenzial für Stadtentwicklungen zu erkennen und zu nutzen,
- die Öffentlichkeit für die unterirdischen Welten zu interessieren,Forschungen und Entwicklungen für das Unterirdische Bauen zu betreiben.

Dabei sollten künftige Forschungsarbeiten u. a. das Ziel haben, in technischen, ökonomischen und ökologischen Machbarkeitsstudien zu prüfen, ob z.B.

- sich geothermische Energiesysteme wirtschaftlich mit einem wettbewerbsfähigen Aufwand eignen, jetzt oder in absehbarer Zeit herrschende Energien sinnvoll zu substituieren,
- der dabei auftretende primäre gegenwärtige Engpass in der Bohrtechnik durch den Einsatz eines alternativen Bohrverfahrens auf der Basis der Flammenschmelztechnologie beseitigt und
- durch größere Teufen gleichzeitig die unterirdische endgültige Ablagerung von hoch radioaktiven Abfällen in Großbohrungen ermöglicht werden kann.

[1] Dr.-Ing. Rolf BIELECKI, Prezident EFUC a WSDTI
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 19. 1. 2007)

Sehr häufig gehen jedoch technische Entwicklungen der Menschen Hand in Hand mit weiteren Einschränkungen der Lebensräume z.B. für Tiere und Pflanzen; zu wünschen bleibt, dass sie zu deren Rettung beitragen.

- Hierzu ist festzustellen: wer dem Bedürfnis der Menschheit nach Wachstum und Wohlstand Rechnung tragen will, muss die Verpflichtung übernehmen, unseren Nachkommen eine möglichst intakte Umwelt zu übergeben.
- Obwohl Forscher verpflichtet sind, nach bestem Wissen und Gewissen Auskunft über die Möglichkeiten und Risiken ihrer Forschung zu geben,
- „betreten wir häufig die Zukunft rückwärts“, schrieb der französische Schriftsteller Paul Valéry bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts,
- Er wollte damit zum Ausdruck bringen, dass wir häufig nicht sehen, was uns erwartet, sondern nur, was in der Vergangenheit geschehen ist.
- So sind z.B. der Treibhauseffekt und andere Umweltschäden heute noch im starken Maße mit der Energiegewinnung gekoppelt.
- Auf der Suche nach dem Ersatz von Energiequellen für Brennholz, Kohle, Öl und Gas weckte die Atomenergie große Hoffnungen, aber immer mehr auch Ängste, die u.a. mit der Problematik der Lagerung radioaktiver Abfälle zusammen hängen.

Die Problematik Der Unterirdischen Lagerung radioaktiver abfälle

- Die Problematik der technischen Realisierung unterirdischer Lager zur Zwischen- bzw. endgültigen Lagerung des radioaktiven (nuklearen) Abfalls aus Atomkraftwerken (aber auch aus industriellen und medizinischen Anwendungen) ist eng verbunden mit der Fragestellung der Minimierung bzw. Eliminierung möglicher langfristiger Einwirkungen auf die Umwelt.
- Infolge der hierfür anzusetzenden sehr langen Zeiträume (100.000 Jahre) besteht bei einer unterirdischen 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 letztendlich zur Kontamination des Grundwassers nahe unter der Erdoberfläche führen kann.
- Vor dem Hintergrund der Menge des bislang angefallenen radioaktiven Abfalls sowie des zukünftig noch hinzukommenden, muss 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 befürchtet werden.

Bei der Lösung dieser Problematik sind folgende Phänomene zu bewältigen:

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

Vorläufig wird das Produkt des Atomkernabfalls überall nur in provisorischen Deponien gelagert, wobei eine endgültige Lagerung mit sicherer Deponierung bis heute nicht gelöst ist. Dabei wird die Lösung des ökonomischen Phänomens z.B. auch deshalb so wichtig, weil die gegenwärtigen Preise für Elektroenergie die realen Kosten für die Liquidierung der Kernkraftwerke sowie die Kosten einer sicheren endgültigen Lagerung der angeführten Abfälle nicht berücksichtigen.

Leicht und mittelaktive Abfälle werden heute z.B. mit Beton vergossen bzw. verpresst, hochaktive Abfälle dagegen in einer Glasschmelze gebunden und in Edelstahlbehältern gasdicht verschweißt. Weltweit wird die Einlagerung solcher Behälter mit hoch radioaktiven Abfällen in tiefe und dichte geologische Formationen als die sicherste Entsorgungsmöglichkeit angesehen, wobei die Standorte der hierfür notwendigen „großen“ Teufen nach den möglichen geotektonischen Störungen durch ingenieur-geologische und felsmechanische Untersuchungen auszuwählen sind.

Entwicklungsstand traditioneller bohrtechniken

Die 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

Während konventionelle und optimierte Rotarywerkzeuge, PDC-Werkzeuge sowie pneumatische und hydraulische Inlochhammer in konventionellen Tiefenbereichen (bis 4.000 m) geeignet sind, können

heute nur Verfahren der Spallation (Gesteinszertrümmerung) für Tiefen über 4.000 m z.B. für die Herstellung geothermischer Energiesysteme bedingt eingesetzt werden.

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 Gesteinstemperatur sowie außerdem die relativ geringen Bohrlochdurchmesser von ca. 100 bis 300 mm.

Entwicklungsstand mechanisierter vertikaler großvotriebe

Mit der industriellen Entwicklung ab der Mitte des 18. Jahrhunderts erfuhr auch der Kohle-, Erz und Salzbergbau einen ständigen Aufschwung. Durch die Einführung der Dampfmaschine im Bergbau entwickelten sich bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts Spezialunternehmen, die zum Teil als Gesellschaften Spezialarbeiten des Bergbaues übernahmen, so z. B. Tiefbohrungen, die später auch zu Schächten ausgebaut wurden. Pionierleistungen waren jedoch notwendig, um z.B. Schachtausbauten für den Einsatz in wasserführenden festen und lockeren Gebirgen mit Teufen bis zu 400 m zu entwickeln. Sonderabteufverfahren wurden:

- Senkschachtverfahren,
- Schachtbohrverfahren nach Kind-Chaudron,
- Gefrierverfahren,
- Zementierverfahren (Injektionsverfahren).

Die Fa. Herrenknecht AG aus Schwanau in Deutschland hat in jüngster Vergangenheit mit neuartigen Schachtabsenkungen einen weiteren viel versprechenden Weg für vertikale Großvortriebe beschritten. Mit diesen Konstruktionen können z.B. Start- und Zielschächte für das Microtunnelling, Schachtbauwerke für innerstädtische Metrostationen und andere Infrastrukturanlagen sowie Fundamente für Offshore-Bauwerke und Hochhäuser hergestellt werden. Die gewonnenen Erfahrungen beim Einsatz der folgenden Geräte zeigen, dass in der mechanisierten Erstellung von Teufen noch ein enormes Entwicklungspotential steckt und die bisher zum Einsatz kommenden maschinellen Lösungen auf eine breite Resonanz stoßen.

Abmessungen:

- Maschinenlänge: 11,5 m,
- Machinendurchmesser: 2,5 m,
- Maschinengewicht: 29 to

Technische Daten:

- Maschinenkraft: 110 kW.
- Installierter Drehmoment: 20 kNm.
- Geschwindigkeit: 0-45 U/min.
- Abtransport mit Winde und Greifer.
- Greifer: 65 l Volumen.
- Förderkorb: 1,6 m^3.
- 4 sinkende und hebende Zylinder.
- Spannbacke.
- Luftventilation.

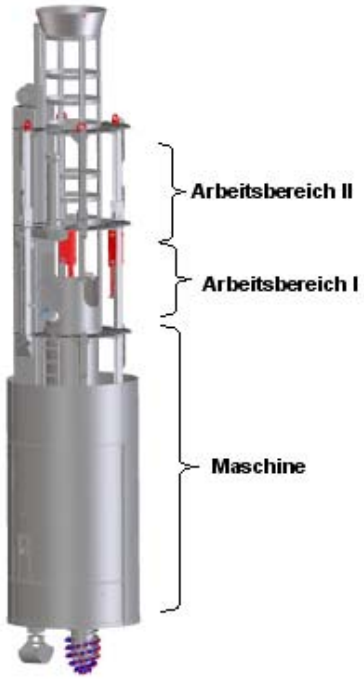


Abb.1. Schildmaschine für verticale Bohrung.
Fig. 1. Schield machine for vertical boring.

Abb. 2. Teufe 100 m tief.
Fig. 2. Depth 100 m deep.

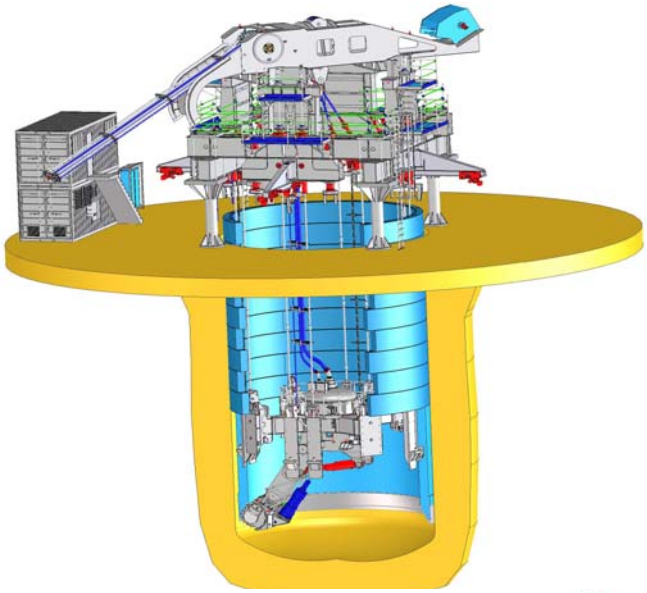


Abb. 3. Schildmaschine für vertikale Bohrung
Konditionen Geologie: Sand, Ton, großes Felsgestein bis 180 Mpa, Schachttiefe: bis 85 m. Präzision des Schachts: 1 % der Schachttiefe.
Fig. 3. Shield machine for the vertical boring.

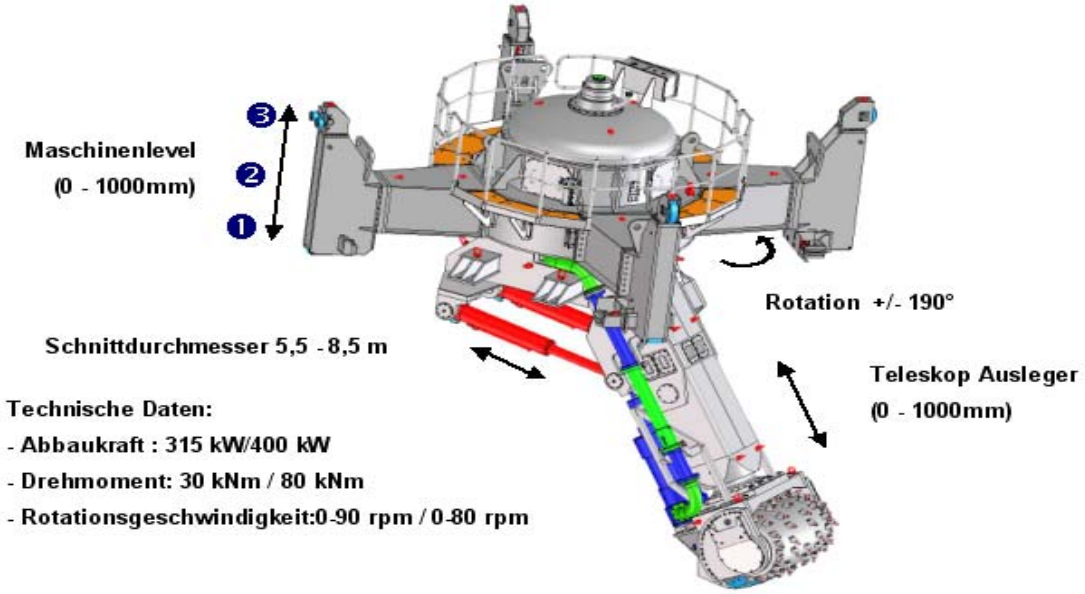


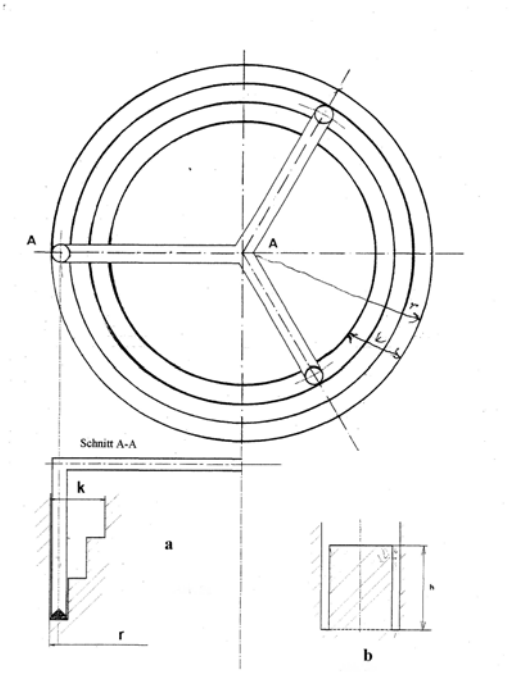
Abb. 4. Schildmaschine für vertikale Bohrung.
Fig. 4. Shield machine for vertical boring.

Die 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.

- 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 gleichverteilt) 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.



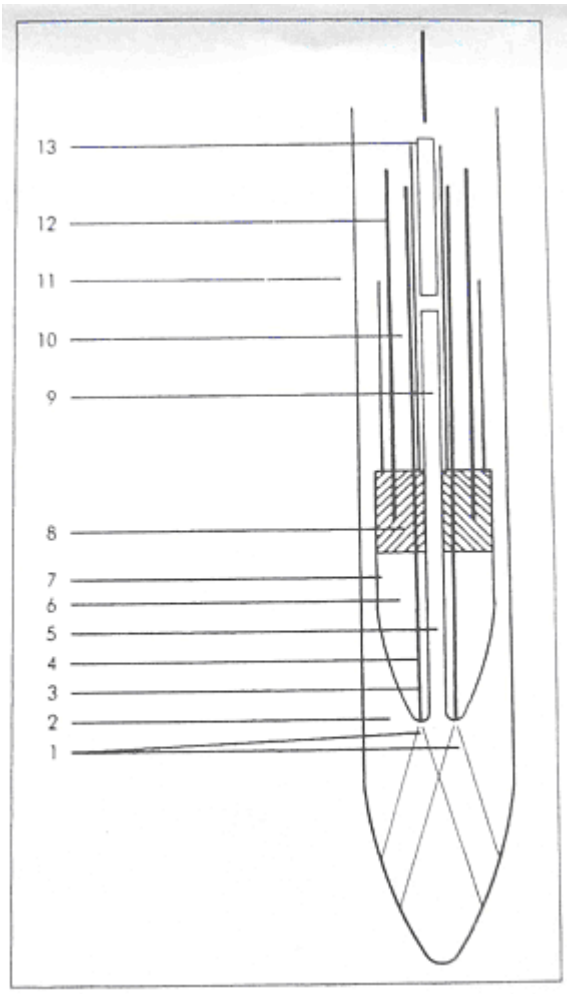


Abb. 5.. Schematische Beschreibung des LITHO-JET Schmelzbohrverfahren

- *Wasserstoff/Sauerstoff-Brennstrahl*
- *Gesteinsschmelze*
- *Wasserstoffleitung*
- *Sauerstoffleitung*
- *Schmelzgutförderrohr*
- *Druckbohrkopf*
- *Druckbohrkopf-Innenkühlung*
- *Kühlzone*
- *Bohrkernsäule*
- *Druck- und Versorgungszylinder*
- *Bohrlochverschalung*
- *Flüssigstickstoff*
- *.Bohrkernhebeeinrichtung*

Fig. 5. Outside profile-melt at large-scale boring.

Ökonomische bewertung der LITHO-JET methode

Tab. 1. 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.
Tab. 1. Economical aspect of the Litho Jet method.

Spezifische Energie [MJ/m³]	**r** [m]	**Energie** [MJ/km] 10^3	**Reine Energie** [MJ/km] 10^3	**Wasserstoff Verbrauch** [v kg/km]	**Sauerstoff Verbrauch** [v kg/km]	**Preis Wasserstoff** [€/km] $10^{\prime 6}$	**Preis Sauerstoff** [€/km] 10^3	**Kostenaufwand für Schmelzenergie bei 2 km Teufe** [€] $10^{\prime 6}$	**Zahl der Container Stück**	**Kostenaufwand für 1 Stück Container** [€] 10^3
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	114,80	68,454	110.000	0,622

Art und Kosten eines notwendig werdenden Verbaus vertikaler Teufen

Für den Verbau vertikaler Teufen stehen Auskleidungen aus

- Ortbeton mit und ohne Bewehrung,
- Stahlfaserbeton,
- Spritzbeton,
- Stahl-, Stahlbeton- sowie Verbundrohre und –auskleidungen,
- Tübbinge aus:
  - o Stahl,
  - o Gusseisen,
  - o Stahlbeton.

zur Verfügung.

Derartige Auskleidungen werden bei der Flammenschmelztechnologie in den Fällen erforderlich, wenn z. B. im Lockergestein nicht standfeste Bohrlochwandungen insbesondere bei extrem hohen Wasserdrücken sogar unter Einsatz des Vereisungsverfahrens zusätzlich gesichert werden müssen. Im festen Felsgestein (z. B. Granit) sind derartige Auskleidungen im Normalfall nicht erforderlich. Es empfiehlt sich daher, bei der Standortwahl der Teufen derartige geologische Formationen ausfindig zu machen, um möglichst nur solche wegen ihrer Standfestigkeit und Dichte, aber auch aus Kostengründen, durchörtern zu müssen.

Ermittlung der Herstellungskosten von Teufen mit unterschiedlichen Durchmessern bis 2.000 m Tiefe

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 wie nachstehend in der Tabelle dargestellt mit Kosten pro m³ umbauten Raum von i.M. 2.000,--€.

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 ermittelten Preise für den Kostenaufwand für 1 Stück Container in den nachstehenden Tabellen schätzungsweise noch um ca. 30% zu erhöhen sind.

Tab. 2. Preise für den Kostenaufwand für 1 Stück Container.
Tab. 2. Costs of depositing per 1 piece of container.

Teufe		Obere (erste) 1.000 m im Lockergestein Kostenaufwand				
Radius r m	Ausbruchquerschnitt lsg. m²	m³ umbauter Raum	Schmelzenergie gemäß Ziffer 6.1 10^6 €	Verbau und Ausbruch gem. Ziffer 6.2 10^6 €	lsgesamt 10^6 €	pro m³ umbauter Raum €/m³
1	3,14	3.140	5,343	9,420	14,763	4.702,00
2	12,56	12.560	11,119	37,680	48,799	3.885,00
3	28,26	28.260	16,896	84,780	101,676	3.598,00
4	50,24	50.240	22,672	150,720	173,392	3.451,00
5	78,50	78.500	28,450	235,500	263,950	3.362,00
6	113,04	113.040	34,227	339,120	373,347	3.303,00
						I.M. 3.717,00

Fortsetzung:

Teufe		Untere (zweite) 1.000 m im Felsgestein Kostenaufwand				
Radius r m	Ausbruchquerschnitt lsg. m²	m³ umbauter Raum	Schmelzenergie gemäß Ziffer 6.1 10^6 €	Kernabbau 20,-€/m³ 10^6 €	lsgesamt 10^6 €	pro m³ umbauter Raum €/m³
1	3,14	3.140	5,343	0,062	5,405	1.721,00
2	12,56	12.560	11,119	0,252	11,371	905,00
3	28,26	28.260	16,896	0,566	17,462	618,00
4	50,24	50.240	22,672	1,004	23,676	471,00
5	78,50	78.500	28,450	1,570	30,020	382,00
6	113,04	113.040	34,227	2,260	36,487	323,00
						I.M. 737,00

Fortsetzung:

Teufe						
Radius r m	Ausbruchquerschnitt lsg. m²	Kosten der Teufe für 2000 m lsgesamt 10^6 €	m³ umbauter Raum der Teufe bei 2000 m Tiefe	Kosten der Teufe bei 2000 m Tiefe pro m³ umbauter Raum €/m³	Zahl der Container gem. Ziffer 6.1 Stück	Kostenaufwand für 1 Stück Container lges. 10^6 € x)
1	3,14	20,168	6.280	3.211,00	2.000	10,084
2	12,56	60,170	25.120	2.395,00	10.000	6,017
3	28,26	119,138	56.520	2.118,00	24.000	4,964
4	50,24	197,068	100.480	1.961,00	48.000	4,106
5	78,50	293,970	157.000	1.872,00	76.000	3,868
6	113,04	409,834	226.080	1.812,00	110.000	3,726
				I.M. 2.228,00		

x) siehe Anmerkung auf Seite 15, letzter Absatz

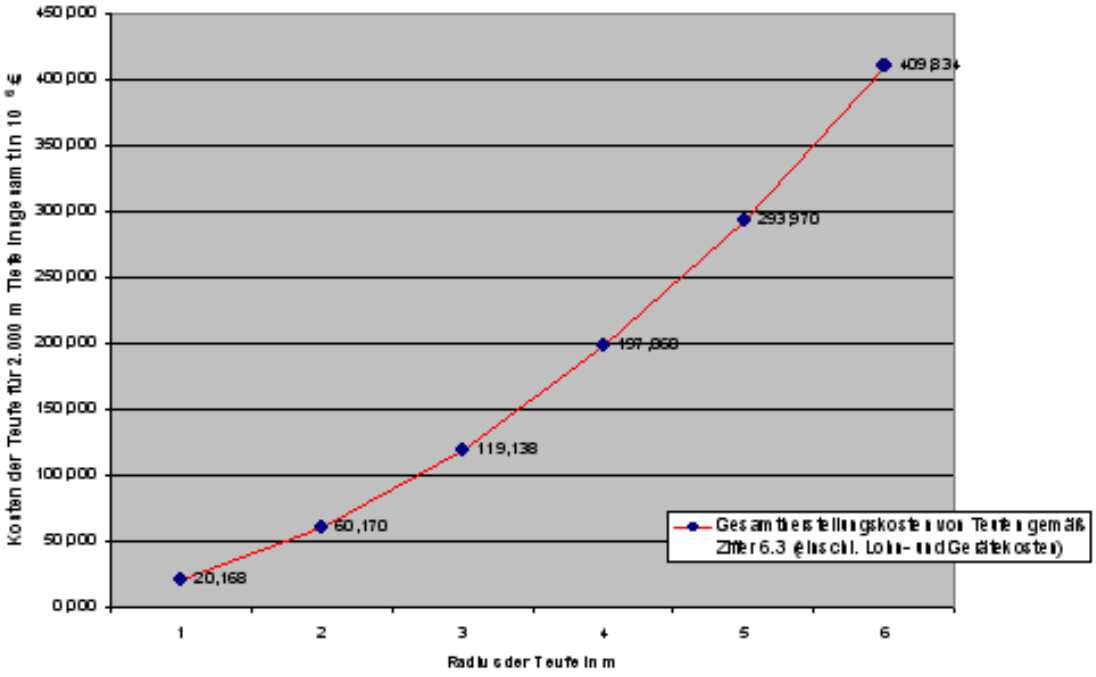


Abb. 6. Graphische Darstellung der Gesamtherstellung von Teufen mit unterschiedlichen Durch messern für 2000 m Tiefe.
Fig. 6. Graph of smelt-energy costs.

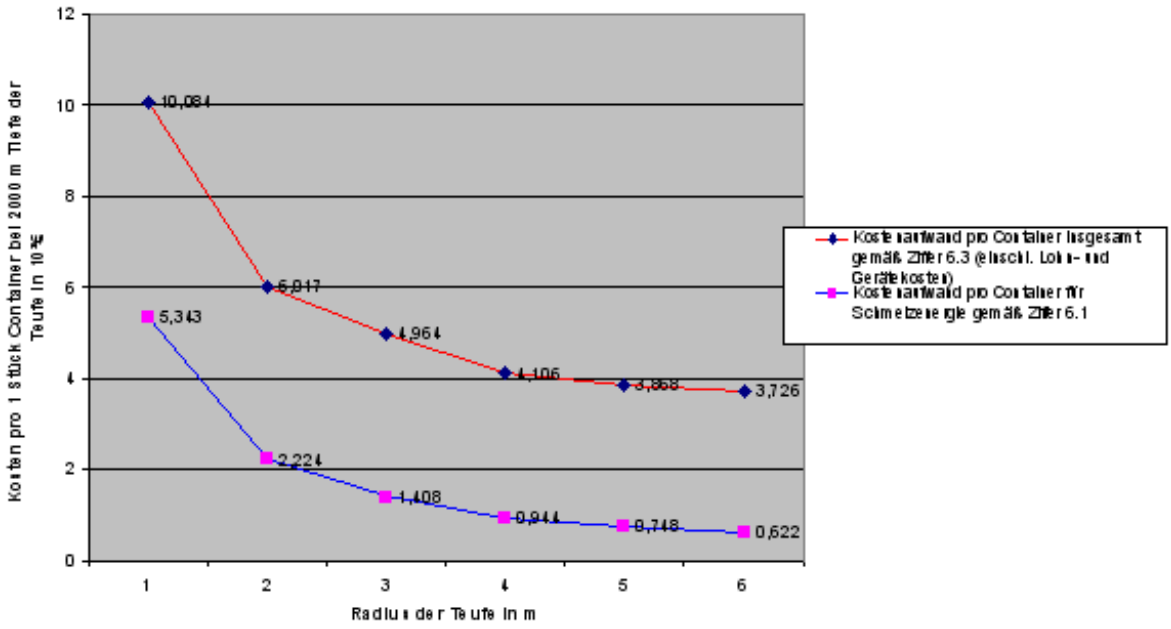


Abb. 7. Graphische Darstellung der Kosten der Lagerung pro 1 Stück Container bei 2000 m Tiefe von Teufen mit unterschiedlichen Durchmessern.
Fig. 7. Graph of smelt-energy costs.

Synthese der Untersuchungsergebnisse zur herstellung grosser teufen bei anwendung der Flammenschmelztechnologie

Die Möglichkeiten und das Potential für die geologische Lagerung nuklearer Abfälle in großen Teufen

Derzeit sind in Deutschland noch 17 Atomkraftwerke in Betrieb. Sie tragen insgesamt 28 Prozent der Stromerzeugung und 5,4 Prozent des Energiebedarfs dieses Landes. Besonders in den letzten 10 Jahren stieg dabei die Gesamtmenge der konditionierten radioaktiven Abfälle um ca. 10.000 m³/a an; von 1985 bis zum

Jahre 2010 wird für die gesamte Bundesrepublik Deutschland eine Menge von 180.000 m³ prognostiziert, das sind i. M. 7.400 m³/a aus Kernkraftwerken (48 %) und der kerntechnischen Industrie (3 %), der Großforschung (28 %), den Landessammelstellen (2 %) und der Wiederaufarbeitung (19 %). Unterstellt man für die Endlagerung, dass hiervon 90 % der Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in Salzstöcken untergebracht werden können, so verbleibt für die Unterbringung in Teufen >1.000 m im Festgestein eine Jahresmenge aus Deutschland von ca. 1.000 m³.

Empfehlungen zur Auswahl des Durchmessers großer Teufen aus bautechnischer und betrieblicher Sicht

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 x 0,55[1] = 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. Er sollte auch unter Berücksichtigung der beschriebenen internationalen Zusammenarbeit bei der Einlagerung von hoch radioaktiven Abfällen aus Kernkraftwerken gewählt werden.
Gesamtherstellungskosten von Teufen mit unterschiedlichen Aufnahmekapazitäten, Durchmessern und Tiefen

Schlussbetrachtungen

Die Ausführungen der Dissertationsarbeit zeigen auf der Basis der bisher durchgeführten Testversuche

- die grundsätzliche Machbarkeit von Teufen > 1000 m bei Anwendung der Flammenschmelztechnologie im Locker- und Felsgestein auf,
- belegen nach geschätzten Annahmen mit der durchgeführten quantitativen Näherungsanalyse die ökonomische Akzeptanz z.B. von Teufen bis 2000 m Tiefe mit max. Herstellungskosten von rd. 150.000,- €/m und hieraus sich ergebenden Deponiekosten von rd. 7.000,- €/m³ bzw. 10.000,--€/m³ (einschl. aller Einbau- und Renaturierungskosten),
- zeigen die möglichen Einsparungen von 10% bei Entfall des Verbaus (durch Verkürzung oder Entfall zu verbauender Lockergesteinsstrecken, Verlängerung der Felsgesteinsstrecken) bzw. die möglichen Einsparungen bei größeren Tiefen der Teufen auf,
- geben erste Empfehlungen bzw. Hinweise zur Auswahl des Durchmessers herzustellender Teufen sowie hierbei einzusetzender Bohrmaschinen,
- thematisieren für eine technische Machbarkeitsstudie die anzusprechenden Kriterien
- und stellen den Bedarf sowie den Zeitaufwand für die noch durchzuführenden Forschungen und Entwicklungen dar (mind. 45 Mio EURO für 15 Jahre).

Bisher nicht angesprochen wurden die Forschungs- und Entwicklungsstrategien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in den letzten 20 Jahren. Hierzu bleibt festzustellen, dass diese für mehrere 100 Mio € andere Wege verfolgt haben, nämlich die Einlagerung von radioaktiven Abfällen z.B. in Salzstöcke oder bereits vorhandene unterirdische Hohlräume des Bergbaues.

Die LITHO-JET Methode zeigt jetzt mit alternativen Überlegungen für sichere, größere Tiefen und wirtschaftliche Ausführungen neue Wege für Endlager auf, deren Akzeptanz sich in der wissenschaftlichen Fachwelt, der genehmigenden Verwaltung, bei den Bürgerinnen und Bürgern und in der ausführenden Wirtschaft erst durchsetzen muss.

Vorteile der tiefen Teufen ergeben sich möglicherweise im Einzelfall auch durch die Energiegewinnung aus wasserführenden Gesteinsformationen (Aquifere) mit Temperaturen bis zu 250° C, die durch fächerartige Bohrungen aus der Teufe oberhalb des Endlager-Deckels zu erschließen sind.

Eine weitere Möglichkeit der Energiegewinnung kann sich durch die Ableitung der Wärme von Brennstäben der in Containern z.B. des Typs WER 1000 eingelagerten und versiegelten Inhaltes von ca. 0,3 x 0,5 x 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 m³ : 0,7m³/Container ca. 60.000 Container. Bei einer Leistung pro Container von 0,2 MW und einem Wirkungsgrad von 50 % ergibt dieses eine Gesamtleistung von 60.000 x 0,2 x 0,5 = 6000 Watt = 6 MW über 100 und mehr Jahre.

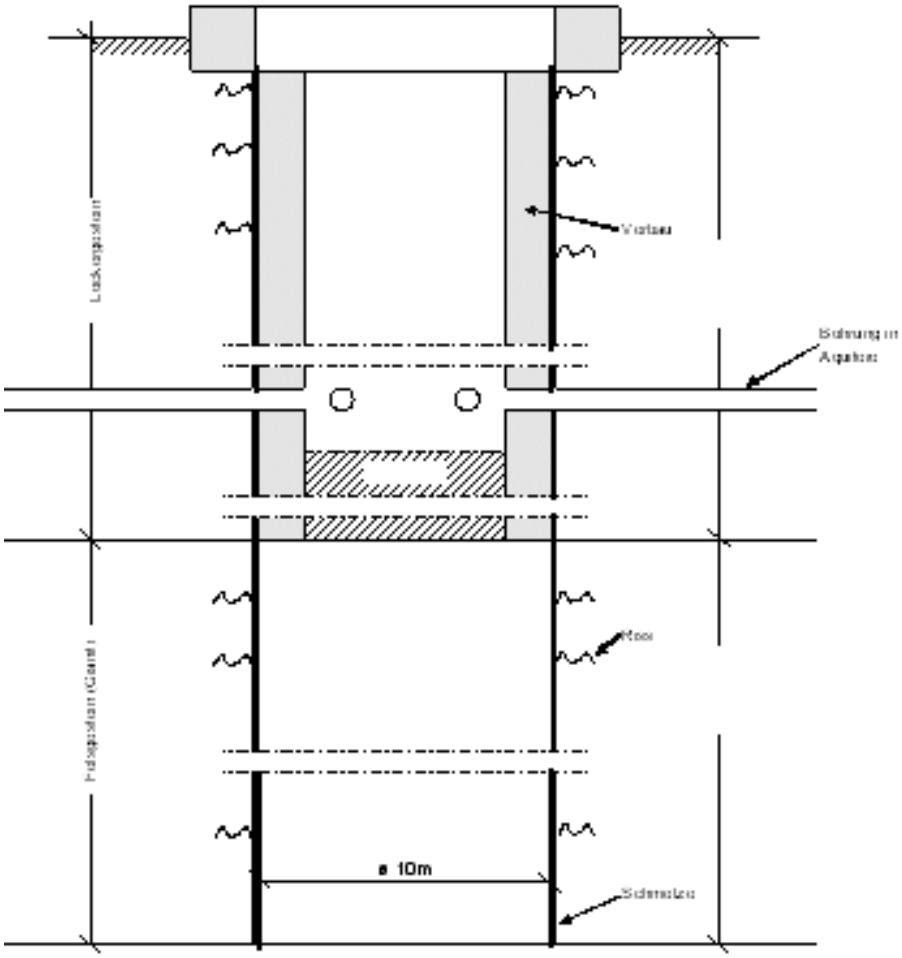


Abb. 8. Prinzip der angenommenen Teufe 2.000 m tief, mit Bohrungen in Aquifere zur Gewinnung geothermischer Energie.
Fig. 8. Litho-Jet method for an alternative use.

Literaturverzeichnis - References

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

Arbeitsgemeinschaft 4. Röhre Elbtunnel, Die 4. Röhre des Elbtunnels in Hamburg Eigenverlag Hamburg, *ISBN 3-00-012594-9, 2004.*

Busch, K. F., Luckner, L.: Geohydraulik, Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1972.

DIN 21 530-3, Ausbau für den Bergbau – Teil 3: Anforderungen, *2003*.

Duddeck, H.: Zu den Berechnungsmethoden für die Neue Österreichische Tunnelbauweise, *Rock Mechanics, Suppl. 8, 1979.*

Fechting, R, Kovari, K., Kradolfer, W.: Historische Alpendurchstiche in der Schweiz – Gotthard, *Simplon, Lötschberg, Band 2, Gesellschaft für Ingenieur baukunst, Zürich, 1996.*

Gach, G.: In Schacht & Strecke, *Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1986, ISBN 3-7739-0468-1*

Geißler, E.: Technologien aus dem Ingenieurtunnelbau zur Gewinnung von Uranerz, Festschrift Maidl, Bauverfahrenstechnik – Das Fachgebiet der Zukunft, Technisch-wissenschaftliche Mitteilung Nr. 88-3 des Instituts für konstruktiven Ingenieurbau, *Ruhr-Universität Bochum, 1988*.

Girmscheid, G.: Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau, *Berlin, 2000.*

Hanold, R. J.: Large Subterrene Rock-Melting Tunnel Excavation Systems. *A preliminary Study. LA-5210-MS, Februar 1973.*

Heister, H.: Orientierungskontrolle mit Hilfe von Präzisions-Kreiselmessungen, *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik (VPK), 12/2000.*

Herrenknecht, A G: Firmeninformationen, 2005 und 2006, *Jadrová energetika Pyramída vydavatel'stvo SAV Bratislava, 1990.*

Kabus, F., Seibt, P.: Stand und Perspektiven der Erdwärmenutzung in Deutschland, *Geothermie Neubrandenburg (GTN) GmbH., 2002.*

Kaltschmitt, M., Nill, M. Schröder, G., Rogge, S.: Geothermische Stromerzeugung – Umweltaspekte im Vergleich zu anderen Optionen einer Stromerzeugung aus regenerativen Energien sowie Marktchancen, *VDI – Berichte 1703, Tagung Potsdam 17./18.10.2002.* Korittke, N.: Vortrieb, Vermessung beim Bau des Eurotunnels, Taschenbuch für den Tunnelbau, *Essen, Glückauf Verlag, 1990.*Korittke, N.: Zur Anwendung hochpräziser Kreiselmessungen im Bergbau und Tunnelbau, *DMT-Gesellschaft für Forschung und Prüfung mbH, Essen, 1997.*Maidl, B.: Handbuch des Tunnel- und Stollenbaues, *Band I und II, 3. Auflage, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 2004, ISBN 3-7739-1331-1 und 3-7739-1332-x.*Möser, M. u.a.: Messgenauigkeiten, Toleranzen und Ausgleichung, Handbuch für Ingenieurgeodäsie, *Herbert Wichmann Verlag, 2000.*Müller, L.: Der Felsbau, Band 3*, Stuttgart, Enke Verlag 1978.*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.*

Pause, H., Hollstegge, W.: Baugrundvereisung zur Herstellung von Tunnelbauwerken, *Der Bauingenieur 54, 1979.*Peren, F.: Geotermische Energiesysteme, Eine ökonomische Machbarkeitsstudie, *Dissertationsarbeit, TU Košice, 2005.*Pochylý, P.: Referenčný projekt povrchových i podzemních systému HÚ v hostitelském prostředí granitových hornin v dohodnuté skladbě úvodného 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., Lazár, T., u.a.: Technológia termického tavenia hornin za úcelom hlbenia stihlych vertikálnych diel, Vyskummá správa za rok 1995, *Košice 1996.*

Sekula, F., Rybár, P., Lazár, T., u. a.: Technológia termického tavenia hornin za úcelom hlbenia stihlych vertikálnych diel, Vyskummá správa za rok 1996, *Košice 1997.*

Sekula, F., Rybár, P., Lazár, T., u.a.: Technológia termického tavenia hornin za úcelom hlbenia stihlych vertikálnych diel, *Vyskummá 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.*www.fh-bochum.de, *2005*.

Stratmann, M.: Moderne Bohr- und Sprengverfahren beim Vortrieb des Mitholztunnels, *Nobel-Hefte 62, 1996.*

Zbinden, P.: AlpTransit Gotthard-Basistunnel: Geologie, Vortriebsmethoden, Bauzeiten und Baukosten, Stand der Arbeiten und Ausblick, *Forschung und Praxis 37, Düsseldorf Alba, 1998*.