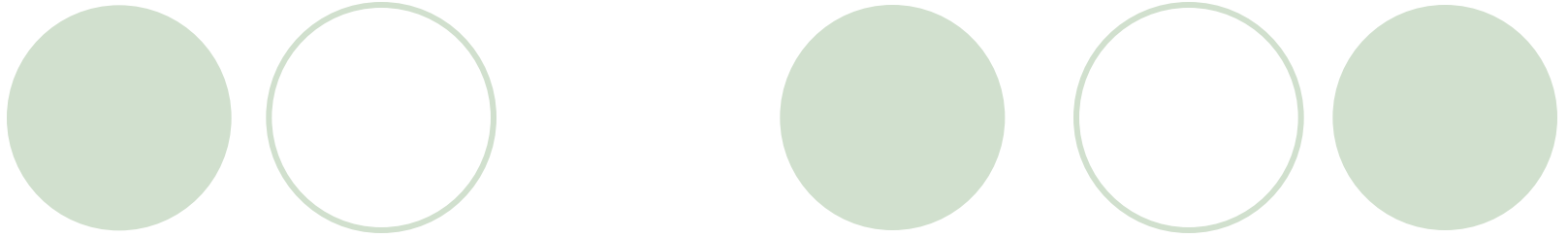


Herstellung von Teufen > 1.000 m im Festgestein für die unterirdische Abfallentsorgung und Energiegewinnung

Dipl.-Ing. Rolf Bielecki, Ph.D.
Chairman EFUC und WSDTI

Vortrag TU Bratislava 10.3.2011



Einführung

Das auf internationaler Ebene mit EU-Förderung zu erforschende Thema befasst sich mit den weltweit diskutierten Problemkreisen

- der Entsorgung gefährlicher, z.B. hoch radioaktiver, wärmeentwickelnder Abfälle, ihre unterirdische Lagerung und mögliche Rückgewinnung
- der hierfür z.B. herzustellenden tiefen Teufen (> 1.000 m) im Festgestein
- und der für den Betrieb derartiger Endlager möglichen Energiegewinnung durch Tiefengeothermie und Aufwindenergie.



Voraussetzungen für Endlagerstandorte

Ein Endlagerstandort erfordert eine breite Zustimmung in der Öffentlichkeit. Diese kann nur 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 Standortauswahlverfahren zu Grunde gelegt werden**
- eine abgesicherte langfristige Finanzierung durch die Verursacher gewährleistet wird
- **ein breiter politischer und gesellschaftlicher Konsens erzielt wird.**



Im Übrigen sollte durch In-situ-Experimente gestützt und mit einem weiträumigen Monitoring des Untergrundes die Standortauswahl nach folgenden Abwägungsanforderungen durchgeführt werden:

- 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
- günstige hydrochemische Bedingungen.



Ausschlusskriterien eines Auswahlverfahrens sind:

- 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.

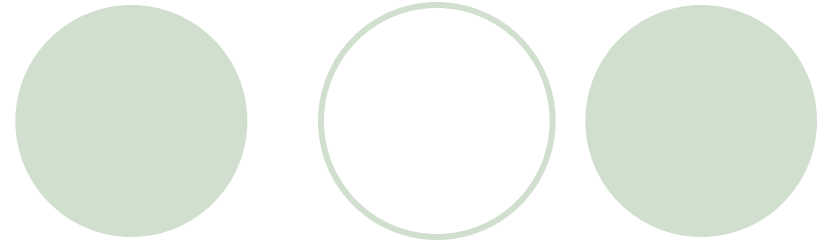
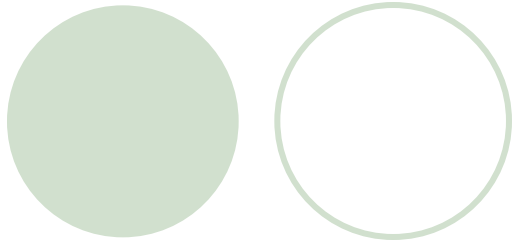


Bisherige unterirdische Endlagerkonzepte

Für gefährliche Abfälle aus Atomkraftwerken, aber auch aus industriellen und medizinischen Anwendungen standen bisher im Blickpunkt:

- unterirdische Hohlräume aus dem Untertagebau z.B. zur Gewinnung von Salz und Erz.

Der Nachteil derartiger Lösungen ist meist die geringere Tiefe dieser Hohlräume, ihr Langzeitverhalten und ihre mögliche Wasserwegsamkeit.



„Košice Resolution“

Auf der 3. EFUC Konferenz „Dimensionen der Lithosphäre“ an der Technischen Universität Košice, Slowakei, wurde am 31. Januar 2007 für hochradioaktive Abfälle u. a. eine internationale Forschung für

- unterirdische Endlagerstätten tiefer 1.000 m
- und deren Langzeitverhalten

empfohlen, um die Einwirkungen auf die Umwelt (100.000 Jahre) zu minimieren bzw. zu eliminieren.



Wirtsgestein (geologische Gesteinsumgebung) für Endlager

Vorteile für ein bestimmtes Wirtsgestein (Salz, Ton, Granit) sind gemäß sicherheitstechnischer Untersuchungen des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) nur im Vergleich verschiedener konkreter Standorte zu ermitteln.

Kristalline Gesteine wie Granit entstehen tief im Innern der Erdkruste aus Magma. Beim Abkühlen entstehen Schrumpfungsrisse und Hohlräume. Entlang dieser Störungen und Klüfte kann Wasser oft relativ einfach und schnell fließen. Zwischen den ungleichmäßig über den Gesteinskörper verteilten Störungszonen gibt es oft große, nur schwach gestörte Bereiche, die wegen ihrer hohen Stabilität für Tiefenlager geeignet sind.



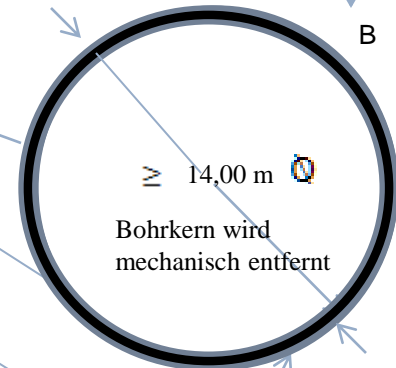
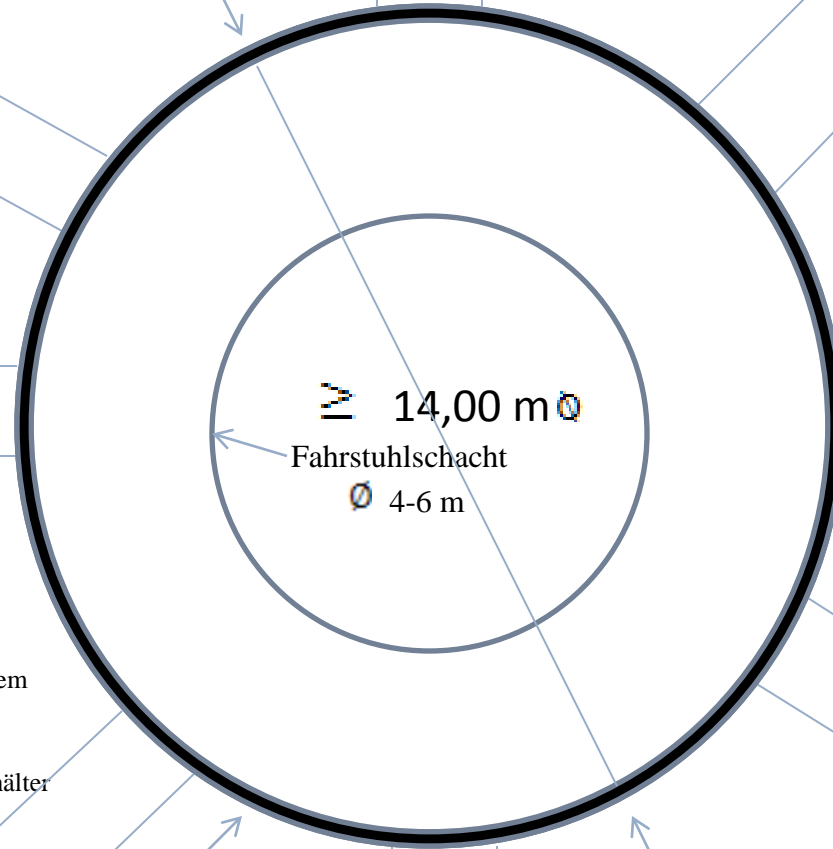
Kombischacht für Abfallentsorgung und Energiegewinnung

Aus wirtschaftlichen Überlegungen sollte für beide Funktionen, Abfallentsorgung und Energiegewinnung, im Festgestein unter Einsatz der Schmelzbohrtechnik ein wasserdichter Kombi-Schacht, wie nachfolgend dargestellt, mit 16 m Außendruckmesser und 2.000 m Tiefe hergestellt werden, von dem aus etagenförmig im Abstand von 50 m fast horizontal kleinere Bohrungen von 2,60 m \varnothing und je ca. 600 m Länge für die Abfallentsorgung und vertikal bis in 4.000 m Tiefe von 200 mm \varnothing für die Erdwärmenutzung ausgehen. Für die Energiegewinnung sind zusätzlich zwei Viereckquerschnitte neben dem Fahrstuhlschacht zur Aufwindnutzung vorzusehen.

GRUNDRISS

Anmerkung:
Alle Hohlraumteile
sind druckwasserdicht herzustellen!

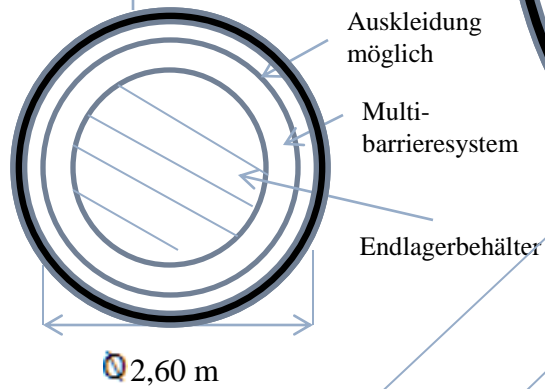
↔ 2,60 m

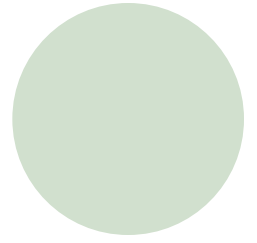
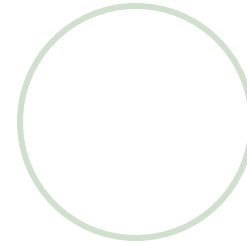
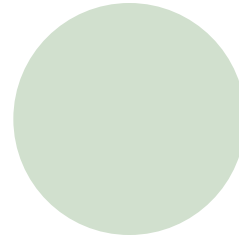
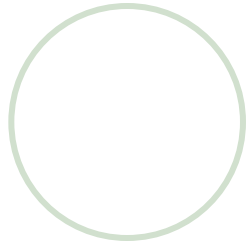
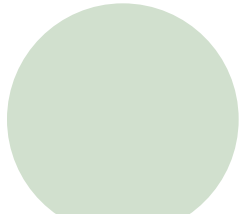


Schmelzkranz
0,25 – 0,30 m,
1

Tunnel für End-
lagerbehälter in
verschiedenen Etagen
(siehe Schnitt A –B)

10





Vorabstudie

Eine in deutscher und englischer sowie slowakischer Sprache zu verfassende Vorabstudie soll den Entscheidungsträgern aus Wissenschaft, Politik und Verwaltung mit einer ersten wissenschaftlichen Teilanalyse die Grunddaten der zum Vortragsthema durchzuführenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aufzeigen.

Ihr Inhalt im Überblick:

1. Einführung
2. Abfälle und ihre Lagerung
3. Tiefengeothermie
4. Aufwindenergie
5. Sicherheit der Energiegewinnung und Abfallentsorgung
6. Bisherige unterirdische Endlagerkonzepte
7. Bewetterung und Klimatisierung tiefer Schächte
8. Mathematische Risikoanalyse



9. Unterirdische Hohlraumherstellung mit der Schmelzbohrtechnik
10. Kurzbeschreibungen internationaler Versuche mit der Schmelztechnik
11. Ökonomische Bewertung der Flammenschmelztechnik
12. Schachtteufen und Streckenvortriebe im Festgestein
13. Gesamtherstellungskosten eines Kombi-Schachtes mit einem Durchmesser von 16 m einschließlich der Kosten seiner abzweigenden Horizontal- und Vertikalbohrungen bei Anwendung der Schmelzbohrtechnik
14. EU-Förderanträge für erforderliche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten
 - 14.1 Konzeptentwicklungen
 - 14.2 Entwicklungen zur Praxisreife
15. Beschreibung der notwendigen Thermoschock-Untersuchungen
16. Projektorganisation und –durchführung
17. Schlussbetrachtungen

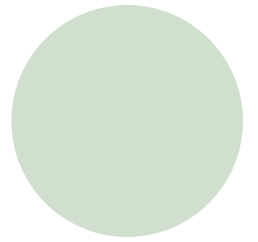
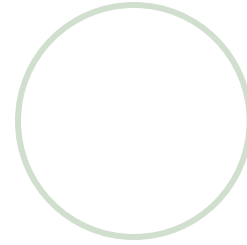
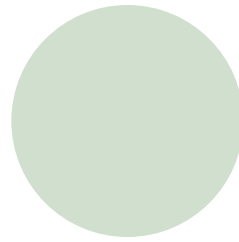
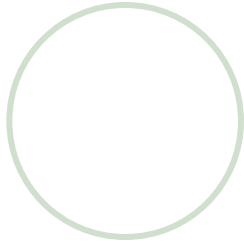
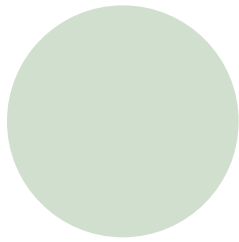


Die Firma Herrenknecht AG aus Schwanau in Deutschland hat in jüngster Vergangenheit mit neuartigen Schachtabsenkungen einen weiteren viel versprechenden Weg für vertikale Großvortriebe beschritten.

Mit diesen Konstruktionen können z. B.

- Start- und Zielschächte für das Microtunneling
- Schachtbauwerke für innerstädtische Metrostationen und andere Infrastrukturanlagen
- Fundamente für Offshore-Bauwerke und Hochhäuser

hergestellt werden. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass in der mechanisierten Erstellung von Teufen noch ein enormes Entwicklungspotential steckt, aber auch weitere intensive Forschungen notwendig sind.





EU-Förderanträge

In Ergänzung der in diesem Jahre abzuschließenden Vorabstudie sind zur Entwicklung der notwendigen Technik mind. zwei Förderanträge für die schrittweise Durchführung folgender Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Brüssel zu stellen:

Für Konzeptentwicklungen

- der erforderlichen Voruntersuchungen zur Standortauswahl
- für die Durchführung von Thermoschock-Untersuchungen
- über Hinweise für den Einbau und die Rückholarbeit der Endlagerbehälter
- für die Bewetterung und Klimatisierung tiefer Schächte
- erste Nachweise der dauerhaften sicheren Unterbringung
- über Sicherheitsaspekte der geplanten Energiegewinnung
- zur Erkennung von Risiken anhand physikalischer Simulationen und Modellrechnungen.

Bearbeitungszeit: 3 Jahre, Kostenaufwand: ca. 3 Mio EURO



Für Entwicklungen zur Praxisreife

Beispiele der hierfür notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind:

- Methoden der geophysikalischen Vorauserkundungen der Eigenschaften des Gebirges
- Festlegung von Bemessungsdaten aus Gebirgs-Wasser- und Wasserdampfdruck
- Anforderungen an das Bauverfahren und die konstruktive Ausbildung von Kombi-Schächten sowie die Bohranlagen der Schmelzbohrtechnik
- Ausbildung von Endlagerbehältern und Barriersysteme
- Sicherheit und Sicherheitsplanung, mathematische Risikoanalysen.

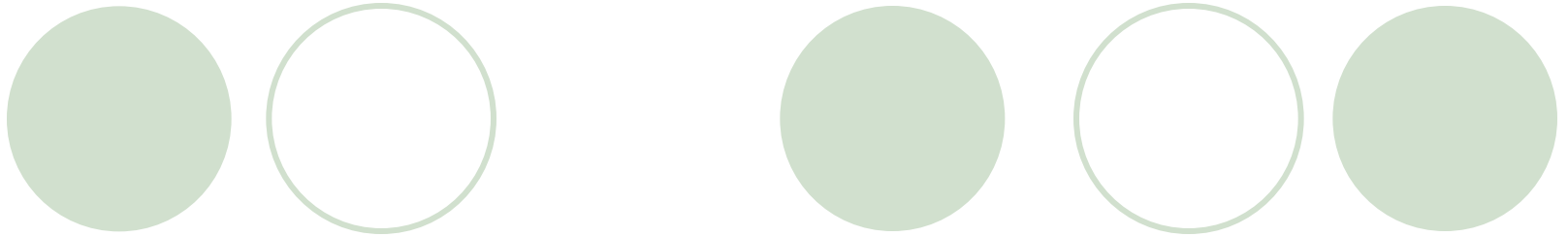
Bearbeitungszeit mind. 15 Jahre, Kostenaufwand: ca. 160 Mio EURO



Beschreibung der notwendigen Thermoschock-Untersuchungen

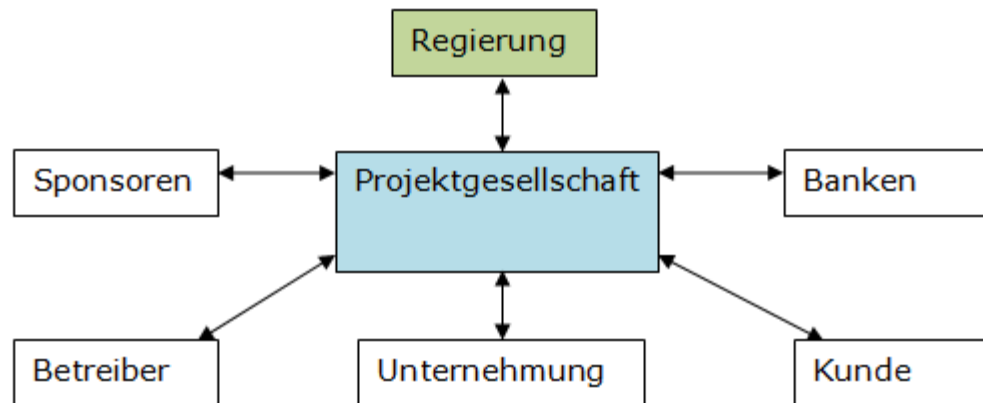
In einer Tiefe von 2.000 m kann bei einem gleich hohen Wasserstand Untertage ein Wasserdruck von bis zu 200 bar entstehen. Zur Herstellung von unterirdischen wasserdichten Hohlräumen gilt es diesem Druck beim Schließen von Rissen und Klüften standzuhalten. Hierfür sind Thermoschock-Untersuchungen durchzuführen und es ist dabei zu erforschen:

- wie weit die Gesteinsschmelze vor ihrer Erstarrung durch den beim Bohren entstehenden Wasserdampfdruck in die Risse und Klüfte bei welchen Temperaturen und Drücken eindringen kann und
- welche kraftschlüssige Verbindung die Schmelze mit der Wandung der zu verfüllenden Hohlräume in welcher Zeit hierbei eingehen kann.



Projektorganisation und -durchführung

Herstellung und Betrieb eines Kombi-Schachtes sind in sinnvolle Teilaufgaben aufzugliedern und diese prozessorientiert, z.B. in einer Projektgesellschaft zusammen zu führen.



Schematische Darstellung der Projektpartner



Die Projektgesellschaft ist dabei der Konzessionsnehmer, dessen Rechte und Pflichten im Konzessionsvertrag, den sie mit der Regierung abschließt, definiert.



Elemente der Projektorganisation



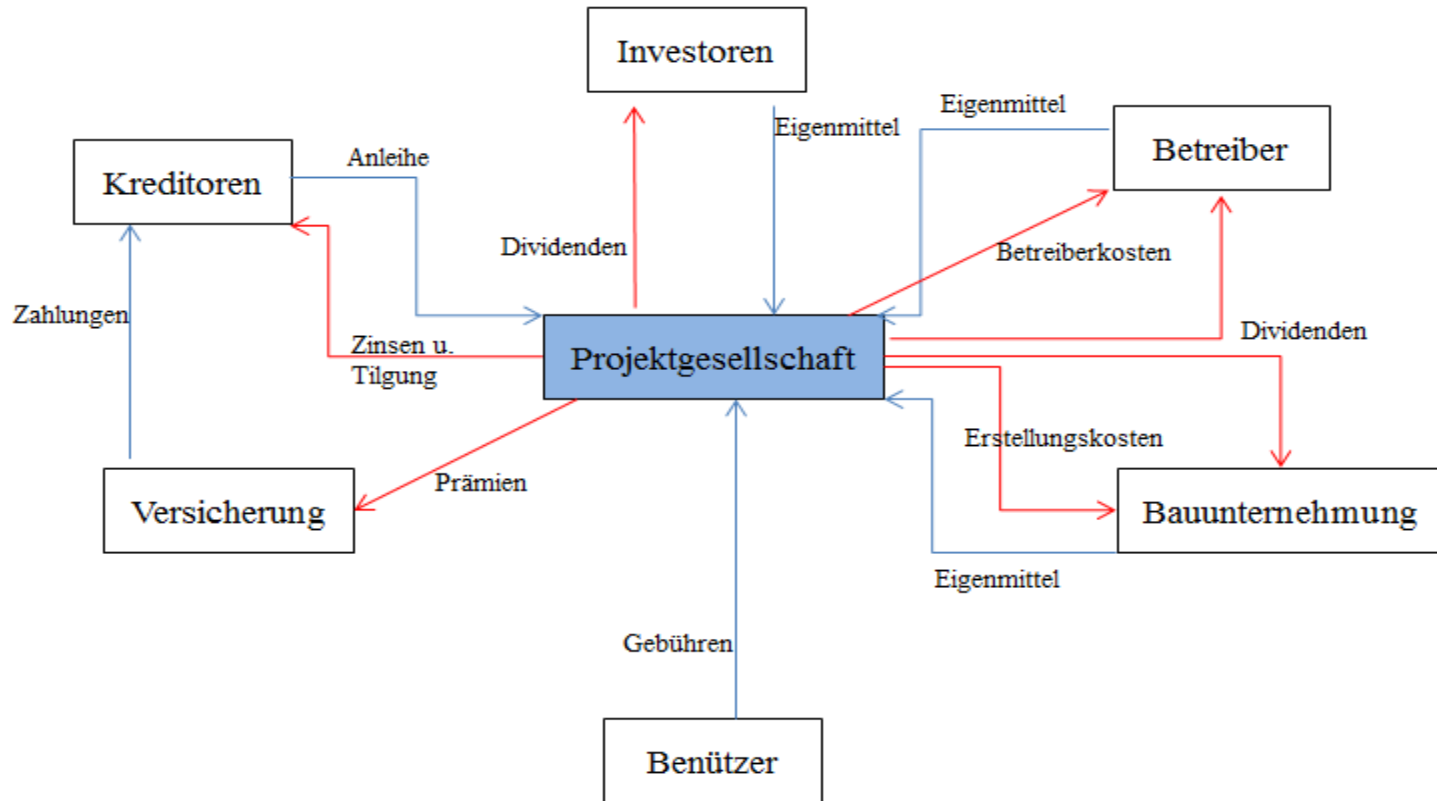
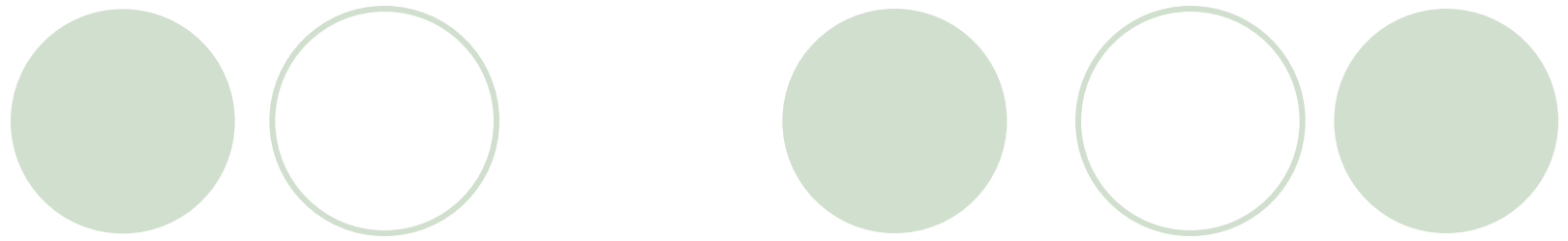
Die Projektgesellschaft hat hierbei die Form einer Beteiligungsgesellschaft, was sie offen macht für jeden, der am Projekt interessiert ist. Sie hat in dieser Eigenschaft die Anleihen zur Finanzierung des Projektes, neben den eingebrachten Eigenmitteln z. B. auch Mittel aus öffentlichen Haushalten, zu besorgen.

Die Eignung des Projekts für den Private Public Partnership-Ansatz spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Das Projekt muss genügende Einnahmen von Seiten der Kunden oder der Regierung generieren können.

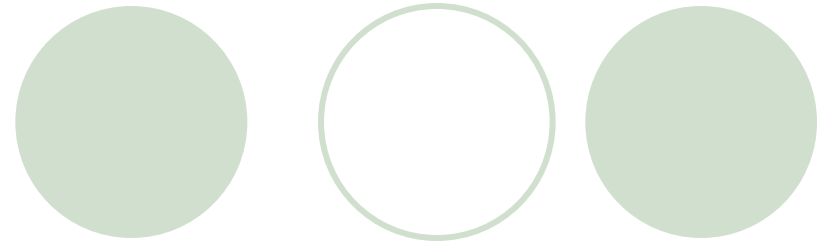
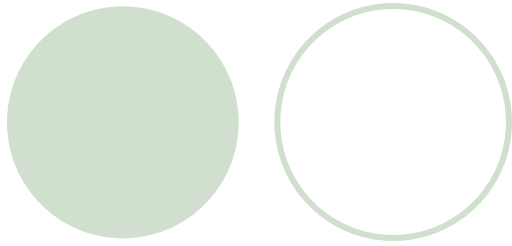


Vertrag	Vertragspartner		Zweck
Konzession	Hoheitliche Regierung	Projektgesellschaft	Erstellung und Betrieb der Anlage
Gesellschaftervertrag	Sponsoren	Sponsoren	Gemeinsame Durchführung des Projekts
Aktien	Investoren	Projektgesellschaft	Beteiligung an der Projektgesellschaft
Kreditverträge	Banken, Institutionen	Projektgesellschaft	Zur Verfügung-Stellung der Finanzen
Versicherungsvertrag	Versicherungen	Projektgesellschaft	Absicherung der inakzeptablen Risiken
Totalunternehmervertrag	Hauptbauunternehmer	Projektgesellschaft	Bauvertrag für die Bauunternehmung
Betreibervertrag	Betreiberfirma, Projektgesellschaft	Projektgesellschaft, Regierung	Leistungsauftrag für den Betreiber

Wichtigste abzuschließende Verträge



Finanzierungsströme



Schlussbetrachtungen

Die bisherigen Überlegungen

- zeigen für größere und damit sichere Tiefen durchaus wirtschaftliche Ausführungen für Endlager von gefährlichen Abfällen (ca. 300.000 cbm/Kombi-Schacht) im Festgestein auf
- und machen deutlich, dass nicht nur die Herstellung tiefer Teufen und der überwachte Betrieb von Endlager eine besondere Herausforderung an die noch durchzuführende Forschung, sondern auch an alle Beteiligten darstellt.