



BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG

## Aufruf zu Forschungsbeiträgen

Demonstrationsbauwerk für eine Streckenabdichtung im  
Anhydrit aus Magnesiabaustoff als Spritzbeton und  
Bitumen/Asphalt (DeSpriBi)

BGE-Forschungsauftragsnummer EMOFuE-21-01-js  
Stand 13.12.2021

## 1 Veranlassung und Gegenstand

Für das zurzeit sich im Offenhaltungsbetrieb befindliche Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist die atomrechtliche Stilllegung beantragt worden. Das Sicherheitskonzept für die Stilllegung umfasst verschiedene Maßnahmen zum langzeitsicheren Abschluss der radioaktiven Abfälle von der Biosphäre. Dies sind neben Stützversatz, der Abdichtung von Bohrungen und den Schachtverschlüssen die Errichtung von Streckenabdichtungen.

Die Anordnung dieser Streckenabdichtungen an geeigneten Stellen verbessert den Zustand der geologischen Barrieren, welche durch im Grubengebäude aufgefahrene Strecken durchörtert wurden. Der Bau der Streckenabdichtungen ermöglicht in Kombination mit der geologischen Barriere die Definition von Bereichen mit Einschlusswirkung (BmEw). Die Streckenabdichtungen müssen dazu einen hohen Strömungswiderstand aufweisen, um mögliche Fluidtransportprozesse im Grubengebäude gezielt zu begrenzen.

Zur Verbesserung der Prognosegüte für die Funktionalität der Streckenabdichtungen wurden basierend auf den vorhandenen Kenntnissen zu erwarteten Lösungszusammensetzungen in den Bereichen der Streckenabdichtungen die dort einsetzbaren Baustoffe für die Streckenabdichtungen im ERAM hinsichtlich der Korrosionsstabilität eingegrenzt. Das für Streckenabdichtungen zu betrachtende Baustoffspektrum umfasst Magnesia-baustoffe sowie Bitumen, gegebenenfalls mit Gesteinskörnungen als Asphalt. Hinsichtlich Einbringtechnologien werden Magnesia-(MgO)-Baustoffe als Massenbeton und Spritzbeton vorgesehen. Technologische Details sind i. b. für den Spritzbeton nicht bekannt oder erprobt. Eine Einbautechnologie für Bitumen-/Asphaltbaustoffe ist nicht vorfestgelegt.

Es werden Abdichtbauwerke in unterschiedlichen Gesteinen der salinaren Abfolge errichtet. Die Bauwerke im Steinsalz sind nicht Gegenstand dieses Vorhabens. Das zu entwickelnde und auf seine Eigenschaften zu untersuchende Abdichtsystem soll im Anhydrit (Hauptanhydrit) zum Einsatz kommen. Die Sicherheitsbewertung für das ERAM basiert hinsichtlich der Abdichtungen nicht auf einer Vorab-Festlegung von Leistungsparametern der Abdichtungen, sondern auf der Ermittlung der in der Sicherheitsbewertung verwendeten Parameter. Dabei werden auch die vorhandenen Ungewissheiten, die durch Modellierungen und i. b. Versuche in unterschiedlichen Maßstäben entstehen, in die Bewertung mit einbezogen.

Eine wesentliche Grundlage für die Ermittlung der Eigenschaften der Abdichtungsmaßnahmen nach deren Herstellung und die daraus abgeleitete prognostische Bewertung der sicherheitsrelevanten Eigenschaften über lange Zeiträume bildet daher die Errichtung von großmaßstäblichen Demonstrationsbauwerken. Hier setzt der vorliegende Forschungsauftrag an. Er konzentriert sich auf die Konzeption, Errichtung und Ermittlung der Parameter einer Streckenabdichtung im Hauptanhydrit zwischen dem BmEw Ostfeld und der übrigen Grube des ERAM.

Die im Versuch ermittelten mechanischen und hydraulischen Eigenschaften der einzelnen Funktionselemente einer Streckenabdichtung sowie deren mögliche Änderung, insbesondere unter Einwirkung von Gas und Lösung, bilden wesentliche Eingangswerte für die Durchführung der Langzeitsicherheitsanalysen für das ERAM. Das Abdichtungsbauwerk im Hauptanhydrit umfasst dabei den eigentlichen Baukörper sowie die Kontaktzone, die sich aus einer möglicherweise geschädigten Betonrandzone, der diffusen Grenzfläche zwischen Baukörper und Gebirge sowie der nachschnittbedingten und baubetrieblich geschädigten Zone (NBZ) des Hauptanhydrits (Abb. 1).

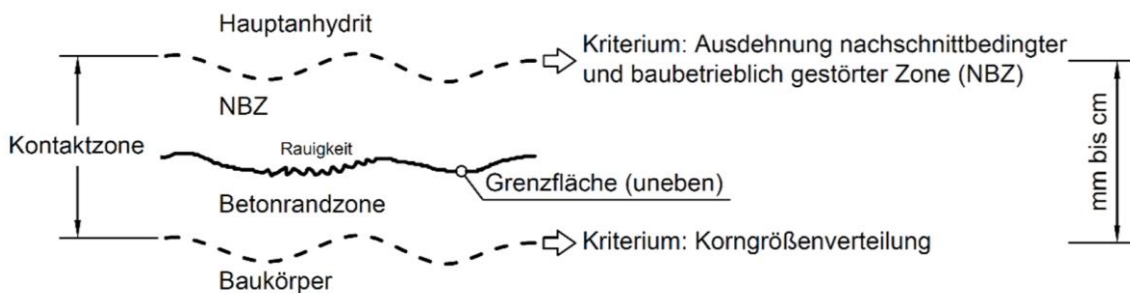


Abb. 1: Skizzenhafte Darstellung der Kontaktzone

**Ausgangspunkt der Entwicklungsleistung ist der Stand von W+T zur Realisierung eines möglichst dichten und robusten Bauwerks im HA.**

## 2 Vorgaben

### 2.1 Standortbeschreibung für die Streckenabdichtung im Hauptanhydrit im ERAM

Der BmEw Ostfeld des ERAM ist mit dem restlichen Grubengebäude über zwei Querschläge verbunden, die im Sohlenriss nur um wenige Meter verschoben, nahezu übereinanderliegen. Der Ostquerschlag auf der -291-mNN-Sohle (2. Sohle) hat zwischen dem Kalilagerteil E im Zentralteil und dem Ostfeld eine Länge von ca. 270 m und durchörtert sowohl Steinsalz wie auch den Hauptanhydrit. Der Ostquerschlag auf der -372-mNN-Sohle (4. Sohle) befindet sich auf einer Länge von ca. 160 m zwischen dem Kalilagerteil E im Zentralteil und dem Ostfeld. Sein ausgerundeter Rechteckquerschnitt hat derzeit eine variierende Breite zwischen 4,0 m und 6,9 m und eine variierende Höhe zwischen 3,4 m und 4,5 m. Er durchörtert auf fast der gesamten Länge zwischen dem Kalilagerteil E westlich der Abdichtung und dem ersten Streckenkreuz im Ostfeld den Hauptanhydrit (z3HA).

Der Hauptanhydrit ist im Bereich der Streckenabdichtung geklüftet. Es handelt sich um ein orthogonales Klufnetz mit vier Hauptklufscharen. Etwa in der Mitte des Streckenabschnitts befindet sich am Südstoß firstnah ein blindes Rolloch, welches etwa 25,1 m

lang ist und unter 75 gon nach oben ansteigt. Der Querschnitt des Rollochs weist Abmessungen von etwa 2,0 m x 1,5 m auf. Für die Strecke im Ostquerschlag auf der -372-mNN-Sohle (4. Sohle) liegen Messungen zur Permeabilität des konturnahen Hauptanhydrits vor.

## **2.2 Bedingungen für die Entwicklungsleistungen für die Streckenabdichtung im Hauptanhydrit im ERAM**

Die Eigenschaften eines Abdichtungssegments aus MgO-Massenbaustoff werden unabhängig vom hier beschriebenen Vorhaben an einem Demonstrationsbauwerk im ERAM untersucht. Im Bedarfsfall können Zwischenergebnisse bereitgestellt werden.

Aus den bereits vorliegenden Permeabilitätsmessungen leitet sich zur Verbesserung des Zustands ein schonender Nachschnitt bis in eine Tiefe von bis zu 50 cm ab. Der Nachschnitt soll bei der Errichtung im ERAM mit einer Teilschnittmaschine erfolgen, wobei das endgültige Oberflächenprofil mit einem Polierkopf erzeugt wird. Entsprechend den Voruntersuchungen an einer Versuchsstrecke im ERAM, lässt sich die Ausdehnung der NBZ auf wenige Zentimeter Tiefe optimieren.

Trotz eines schonenden Gebirgsnachschnitts ist nach dem Bau der Abdichtungssegmente aus MgO-Baustoff Permeation über die Kontaktzone und hier insbesondere über die NBZ möglich. Dieser Bereich mit erhöhter Permeabilität kann sich aufgrund der fehlenden Kriechfähigkeit des Hauptanhydrits im Gegensatz zu Streckenabdichtungen im Steinsalz mit der Zeit nicht zurückbilden. Die Minimierung dieser Umläufigkeit steht daher bei der Konzeption der dichtenden Funktion der „Schotte“ aus Bitumen / Asphalt im Hauptanhydrit im Vordergrund. Die Schotte sollen so konzipiert werden, dass mit ihrem Einbau neben der Unterbrechung einer theoretisch, über die gesamte Bauwerkslänge durchgehenden Kontaktzone zwischen MgO-Abdichtungssegmenten und dem Hauptanhydrit auch die NBZ lokal am Saum des Gebirges bestmöglich vergütet wird.

Für die Funktionalitätsbewertung der Streckenabdichtung im Hauptanhydrit ist davon auszugehen, dass potenziell in das ERAM zutretende Lösung sich vor der Streckenabdichtung auf der -372-mNN-Sohle (4. Sohle) an der westlichen Seite aufstaut. Es wird erwartet, dass anstehende Lösung magnesiumreich sein wird, da zahlreiche Kalilager-vorkommen vorhanden sind. Der Lösungsdruck kann aufgrund der Teufenlage bis zu 6 MPa erreichen. Am östlichen Ende der Streckenabdichtung kann sich Überschusslösung aus der Salzbetonverfüllung des BmEw Ostfeld vor der Streckenabdichtung ansammeln. Auch nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen ist im BmEw Ostfeld eine Gasbildung möglich, die bei funktionsfähigen Abdichtungen in einem Anstieg des Gasdrucks resultiert. Der Gasdruck kann durch Hohlraumkonvergenz verstärkt werden.

## **3 Zielstellung des Forschungsvorhabens**

Ziele des Forschungsauftrags sind:

- 1) die Errichtung der Systemelemente aus Spritzbeton und Bitumen/Asphalt

- 2) die bauzustandsabhängige Bestimmung und Dokumentation der relevanten mechanischen und hydraulischen Parameter zur Funktionalitätsbewertung der Streckenabdichtungselemente als Grundlage für die Langzeitsicherheitsbewertung.
- 3) die Anwendung der Forschungsergebnisse aus 1. und 2. zur Entwicklung eines funktionsoptimierten Abdichtsystems für die Randbedingungen im ERAM unter Berücksichtigung der Systemelemente MgO-Massenbaustoff, MgO-Baustoff/Spritzbeton, Bitumenasphalt.

Für die einzelnen Systemelemente soll der Zustand nach dem Bau beschrieben und die zukünftige Entwicklung der funktionsbestimmenden Eigenschaften auch unter Kontakt mit Lösung und Gas ermittelt werden. Die Abdichtungssegmente aus MgO-Baustoff übernehmen dabei sowohl eine tragende als auch eine abdichtende Funktion zur Begrenzung von Fluidtransporten (Lösung und/oder Gas). Dabei sind die gegebenen Randbedingungen zu berücksichtigen.

Ziel der Erforschung sind dabei auch die Instrumente und Methoden für die Erfassung der in Bezug auf die Sicherheitsbewertungen relevanten Parameter und ihrer Entwicklung sowohl hinsichtlich der Bauzustände als auch für die Prognose des Langzeitverhaltens.

Optimierungsziel ist der langfristige Erhalt eines größtmöglichen Strömungswiderstands unter den gegebenen Randbedingungen. Für die einzelnen Funktionselemente ist demzufolge

- die Auswahl der einzusetzenden Baustoffe im Detail wie auch
- der Einbaubauverfahren

zu treffen und zu optimieren, um den maximalen hydraulischen Widerstand sowohl im Bereich des eigentlichen Streckenabschnitts wie auch der Kontaktzone einschließlich der NBZ zu erzielen. Die zu erwartenden Einwirkungen und ablaufenden Prozesse sind zu beschreiben und zu berücksichtigen.

Die Systemeigenschaften der Abdichtungssegmente aus MgO-Baustoff/Spritzbeton sowie der Dichtelemente aus Bitumen oder Asphalt im Verbund mit dem anstehenden Hauptanhydrit können an einem kombinierten oder an getrennten Demonstrationsbauwerken gegenständlich bestimmt werden, um auf dieser Grundlage prognostische Analysen für das Systemverhalten unter verschiedenen möglichen Belastungsszenarien durchführen zu können. Der gewählte Standort muss nach wissenschaftlichen Kriterien eine Übertragung auf das ERAM erlauben. Das Fachkonzept für die Übertragbarkeit ist dafür zu entwickeln.

Das kombinierte Demonstrationsbauwerk oder mehrere Einzelbauwerke sind in einem Streckenstummel im Hauptanhydrit zu errichten, wofür vorhandene oder neu aufzufahrende Hohlräume genutzt werden können. Die Anforderungen an die geologische Umgebung, Größe und Auffahrungstechnologie dazu ergeben sich aus den oben skizzierten Randbedingungen im ERAM, womit eine Übertragbarkeit gewährleistet sein soll. Dabei

können grundsätzlich auch kleinere Streckenquerschnitte realisiert werden. Die konzeptionelle Vorgehensweise für die Standortauswahl und bergbauliche Umsetzung ist explizit darzulegen.

Die Eigenschaften nach dem Bau sind als Anfangszustand für die zukünftige Entwicklung auf Basis der Bauausführung zu bewerten. Die BGE geht derzeit davon aus, dass für diese Bewertung eine Druckbeaufschlagung (insbesondere des Bitumen- oder Asphaltelements) notwendig ist. Dies ist in einer ersten konzeptionellen Phase zu untersuchen und vorzustellen. Darüber hinaus sind Empfehlungen für eine Methodik anzugeben, wie auf Basis möglicher Prozesse und Einwirkungen die langzeitige Entwicklung der Eigenschaften bewertet werden kann.

Mit der Errichtung der Demonstrationsbauwerke geht das Aufzeigen der bautechnischen Umsetzbarkeit sowie die Erprobung notwendiger qualitätssichernder Maßnahmen (QS-Maßnahmen) unter Realbedingungen einher. Die Übertragbarkeit der Erkenntnisse zu den Eigenschaften und Daten, die aus den Untersuchungen an den zu errichtenden Demonstrationsbauwerken gewonnenen werden, auf die Streckenabdichtung im Hauptanhydrit im ERAM muss aufgezeigt werden. Verwendbare Ergebnisse sollen bis Ende 2024 vorliegen.

#### **4 Leistungsinhalte**

Mit diesem Aufruf erbitten wir Projektvorschläge bis zum 28.02.2022 für die Planung und die Errichtung von einem kombinierten oder mehreren Demonstrationsbauwerken aus MgO-Baustoff/Spritzbeton und eines Dichtelements aus Bitumen oder Asphalt einschließlich der zugehörigen vor- und nachlaufenden Untersuchungen zur Ermittlung der sicherheitsrelevanten Eigenschaften eines Abdichtungsbauwerks in einem Endlager sowie die Erstellung eines Bauwerksentwurfs für eine Streckenabdichtung im Hauptanhydrit im ERAM.

Für die konkrete Umsetzung entsprechend der Zielstellung ist mindestens ein Großversuch zur Demonstration der bautechnischen Machbarkeit, flankiert durch kleinskalige Begleitversuche erforderlich.

Bei der Bearbeitung sind der Stand von Wissenschaft und Technik sowie die Erkenntnisse aus bereits abgeschlossenen und laufenden Forschungsvorhaben zu berücksichtigen.

Das hier beschriebene Vorhaben untergliedert sich in:

- Planung der Demonstrationsbauwerke in einem dafür geeigneten Bergwerk an einer Lokation mit auf die oben beschriebenen Standortbedingungen des ERAM übertragbaren Eigenschaften
  - o Planung der Versuchsorte, u.a. Demonstrationsversuch sowie begleitende Technikums- und Laboruntersuchungen
  - o Darstellung der bergbaulichen Auffahrungstechnologie sowie der Methodik für die Oberflächenbehandlung der Kontur

- Entwicklung eines Messkonzepts zur Bestimmung der bewertungsrelevanten Eigenschaften
- Rezepturauswahl für den MgO-Baustoff/Spritzbeton und das Bitumen beziehungsweise den Asphalt, Optimierungen sind nur notwendig, wenn zu erwarten ist, dass mit den verfügbaren Baustoffen (Stand Wissenschaft und Technik) die Entwicklungsziele nicht erreicht werden können.
  - Durchführung von erforderlichen Voruntersuchungen im Labor und/oder im Technikumsmaßstab
  - Untersuchung des Eindringverhaltens von Bitumen in die NBZ von Hauptanhydrit (auf Basis von geeigneten Demonstrationsversuchen)
- Auswahl der Einbauverfahren und Dimensionierung der erforderlichen Technik
  - Erprobung der Einbauverfahren und Technik
  - Aufstellung der auf die Einbauverfahren und Technik abgestimmten Qualitätssicherungsprogramme
- Planung der erforderlichen Untersuchungen an den Demonstrationsbauwerken und Planung der Gewinnung von Probenmaterial sowie Planung und Auswahl der erforderlichen Messtechnik für die Demonstrationsbauwerke
  - inkl. der Möglichkeit einer Druckbeaufschlagung mit einer Druckkammer und damit
  - Entwicklung eines Druckbeaufschlagungskonzeptes
- Errichtung des oder der Demonstrationsbauwerke
  - Einbau der erforderlichen Messtechnik
  - Durchführung und Erprobung der erforderlichen QS-Maßnahmen
- Durchführung und Auswertung der erforderlichen Untersuchungen an den Demonstrationsbauwerken und an Probenmaterial
  - Bestimmung, Bewertung und Nachweis der Eigenschaften (u.a. an Rückstellproben sowie versuchsbegleitende Untersuchungen)
  - Durchführung von Untersuchungen in Bohrlöchern und an Bohrkernmaterial
- Dokumentation sämtlicher Vorgänge (Planung, Errichtung, Qualitätssicherungspläne, Bauüberwachung, Messdaten, Auswertung und Bewertung der Eigenschaften nach baulicher Errichtung und unter Einwirkung von Lösung und Gas)
- Konzeptentwicklung und Bauwerksentwurf für ein Abdichtsystem, das i. b. für die Zielstellung des langfristigen Erhalts eines möglichst hohen hydraulischen Widerstands optimiert ist und auf die Randbedingungen des ERAM anzuwenden ist. Das Konzept berücksichtigt
  - die Standortbedingungen (Geologie, Klüftigkeit, bergbauliche Situation, Infrastruktur etc.)
  - die Verwendung von Abdichtungssegmenten aus MgO-Baustoff/Massenbeton einschließlich deren Widerlager aus dem gleichen Baustoff und Abdichtungssegmenten aus MgO-Baustoff/Spritzbeton
  - die Anordnung von Dichtelementen aus Bitumen und/oder Asphalt
  - die Übertragbarkeit der Entwicklungsergebnisse auf das ERAM
  - die Skizzierung des Nachweis- und Prognosekonzepts

- Dokumentation der Erfahrungen bei der Erstellung der Demonstrationsbauwerke und Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Errichtung weiterer solcher Bauwerke.

## **5 Zeitliche und administrative Randbedingungen**

Alle für die Planung und die prognostische Bewertung wesentlichen Erkenntnisse und Ergebnisse aus den Untersuchungen an den Demonstrationsbauwerken müssen bis Ende 2024 vorliegen. Zur Darstellung der Erreichbarkeit dieser Vorgabe, ist für das Vorhaben ein Projektterminplan zusammen mit der Projektskizze zu erarbeiten.

Die finale Fertigstellung der Untersuchungsberichte und der Dokumentation kann über den oben genannten Termin hinausgehen. Gegebenenfalls notwendige Langzeitversuche, die über den genannten Endtermin hinausgehen, sind soweit erkennbar bereits in der Projektskizze und im Projektterminplan zu benennen. Die Forschungsergebnisse sind in Form eines Abschlussberichts zu dokumentieren, dieser ist mit dem AG abzustimmen und anschließend vom AN zu veröffentlichen.

Der Standort für die Demonstrationsbauwerke ist so auszuwählen, dass ergänzende Nachuntersuchungen nach 2024 generell möglich sind. Die Demonstrationsbauwerke sollten dabei durch andere Aktivitäten im Bergwerk nicht oder möglichst wenig beeinflusst werden. Die erforderlichen Betriebs- und Sonderbetriebspläne etc. zur Durchführung der Vorversuche, der Errichtung der Demonstrationsbauwerke und der Durchführung des Untersuchungskonzepts unter Tage sind zu erarbeiten und die erforderlichen Genehmigungen einzuholen. Die gültigen technischen und rechtlichen Vorschriften einschließlich des Arbeitsschutzes sind zu berücksichtigen und deren Anwendung zu dokumentieren.

Regelmäßige Befahrungen des Standorts mit Vertretern der BGE sowie Besuchern der BGE wie Vertretern der Genehmigungsbehörde für das ERAM, das Ministerium für Wissenschaft, Energie, Klimaschutz und Umwelt des Bundeslandes Sachsen-Anhalt (MWU), und deren Gutachter und Sachverständige zu ausgewählten Terminen müssen generell möglich sein.

Nach der Einreichung der Projektskizzen und einer Beauftragung erfolgt eine enge Abstimmung mit der BGE über die Durchführung der Arbeiten. Dabei werden Meilensteine definiert, bei deren Erreichen Zwischenergebnisse bewertet werden. Ergeben sich aus der Bearbeitung Erkenntnisse, die eine erfolgreiche Weiterführung in Frage stellen, können Teile des gestuften Vorhabens vorzeitig abgebrochen oder nicht begonnen werden.

Die BGE informiert die Genehmigungsbehörde fortlaufend über die stattfindenden Arbeiten. Die Genehmigungsbehörde und deren Gutachter und Sachverständige werden gegebenenfalls die geplanten Voruntersuchungen, den Bau der Demonstrationsbauwerke und die Untersuchungen an den Demonstrationsbauwerken kommentieren und ergänzende Vorschläge und Empfehlungen unterbreiten. In Abstimmung mit der BGE sind diese in die Projektbearbeitung aufzunehmen.



**Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH**  
**Eschenstraße 55**  
**31224 Peine**  
**T +49 05171 43-0**  
**[poststelle@bge.de](mailto:poststelle@bge.de)**  
**[www.bge.de](http://www.bge.de)**