



Bundesamt für Strahlenschutz

# Deckblatt

GZ: QM - 9A 23431000 / SE 4.2.1

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RB	0045	00	

Titel der Unterlage:

ABSCHLUSSBERICHT - STUDIE ZUR EIGUNGSFÄHIGKEIT UND ZUM ENTWICKLUNGSBEDARF VON GERÄTSCHAFTEN / WERKZEUGEN FÜR DEN EINSATZ IN DER SCHACHTANLAGE ASSE II

Ersteller:

KIT/

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person:

Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person:

Freigabe PL:

Freigabe zur Anwendung:

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BfS.



Bundesamt für Strahlenschutz

# Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RB	0045	00	Stand: 18.05.2016

Titel der Unterlage:

ABSCHLUSSBERICHT - STUDIE ZUR EIGUNGSFÄHIGKEIT UND ZUM ENTWICKLUNGSBEDARF VON GERÄTSCHAFTEN / WERKZEUGEN FÜR DEN EINSATZ IN DER SCHACHTANLAGE ASSE II

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer	Rev. Seite	Kat.*	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
Kategorie S = substantielle Änderung  
mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 1 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

## Abschlussbericht

### Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften/Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II

**Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen  
(TMRK)**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 2 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

### Impressum:

Auftraggeber: Bundesamt für Strahlenschutz  
 Willy-Brandt-Str. 5  
 38226 Salzgitter  
 Telefon: 030 18333-0  
 Telefax: 030 18333-1885  
 E-Mail: [epost@bfs.de](mailto:epost@bfs.de)  
 Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)

Ersteller:

Abbildungen: Dem KIT wurden die Nutzungsrechte für sämtliche in der Studie verwendeten Abbildungen von den Abbildungseigentümern eingeräumt.

Der Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) erstellt. Das BfS behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des BfS zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 3 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

#### Revisionsblatt

Rev.	Rev.-Stand Datum	revidierte Seite	Kat. (*)	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Revision  
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 4 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

## KURZFASSUNG

Autoren:

**Titel:** Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II

Arbeitspaket 7 - Abschlussbericht

**Stand:** 18.05.2016

Im Rahmen der Studie werden die Eignungsfähigkeit und der Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II in mehreren Arbeitspaketen (AP) untersucht.

Im vorliegenden Abschlussbericht werden die Ziele und Ergebnisse der Arbeitspakete 1 bis 6 zusammengefasst und die jeweiligen Vorgehensweisen erläutert.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 5 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 18.05.2016
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>KURZFASSUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>5</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>6</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>7</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>8</b>
<b>EINHEITENVERZEICHNIS.....</b>	<b>9</b>
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>10</b>
1.1    AUSGANGSLAGE .....	10
1.2    ÜBERSICHT DER ARBEITSPAKETE .....	10
1.3    ZIELSETZUNG DES ARBEITSPAKETS 7.....	12
1.4    ABGRENZUNG.....	12
1.5    VORGEHENSWEISE.....	12
<b>2 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>13</b>
2.1    MASCHINENTECHNIK (AP 1 UND AP 2) .....	13
2.2    VORVERSUCHE (AP 2A).....	16
2.3    PRÜFUNG DER EIGNUNGSFÄHIGKEIT VORHANDENER TECHNIKEN (AP 3 UND AP 4).....	18
2.4    MACHBARKEITSSTUDIE „SCHILDVORTRIEB MIT TEILFLÄCHENABBAU“ (AP 3A).....	22
2.5    IDENTIFIZIERUNG NOTWENDIGER ENTWICKLUNGSBEDARFE (AP 5 UND AP 6).....	23
<b>3 GESAMTZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT .....</b>	<b>28</b>
<b>4 AUSBLICK.....</b>	<b>30</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>31</b>

Gesamtseitenzahl: 31

Stichworte: Asse, Rückholung, Maschinentechnik, Eignungsfähigkeit, Schildvortrieb, Entwicklungsbedarfe, Trägergeräte, Anbauwerkzeuge

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 6 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Verfahrenstechnische Kette bestehend aus den einzelnen Verfahrensschritten (VS) .....	13
Abbildung 2: Versuchsstand mit aufgelagerten Gebinden vor (links) und während (rechts) der Betonage. ...	17
Abbildung 3: Schematischer Aufbau des Versuchstandes der Zugversuche .....	17
Abbildung 4: Bewertungsdiagramm für Terex TC125T VS1 .....	21
Abbildung 5: Schildmaschine mit Teilflächenabbau, Frontansicht (links), Rückansicht (rechts) [4] .....	22
Abbildung 6: Schildvortriebskonzept [4] .....	23



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 7 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Aktionsmatrix – Auszug .....	15
Tabelle 2: Gerätematrix – Auszug .....	15
Tabelle 3: Beurteilungsfelder und Bewertungskriterien mit Bewertungsmerkmalen – Auszug .....	19
Tabelle 4: Fallkombinationen – Auszug .....	20
Tabelle 5: Bewertungsmatrix für Terex TC125T VS1 .....	21
Tabelle 6: Beurteilungsfelder und technische Anforderungen an Trägergeräte – Auszug .....	24
Tabelle 7: Technische Anforderungen an Anbauwerkzeuge – Auszug .....	25
Tabelle 8: Einordnung der Trägergeräte nach Verfahrensschritten .....	26
Tabelle 9: Einordnung der Anbauwerkzeuge nach Verfahrensschritten .....	27

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 8 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>AP</b>	Arbeitspaket
<b>AtG</b>	Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)
<b>BfS</b>	Bundesamt für Strahlenschutz
<b>ELK</b>	Einlagerungskammer
<b>FTS</b>	Fahrerloses Transportsystem
<b>KIT</b>	Karlsruher Institut für Technologie
<b>LAW</b>	low active waste
<b>MAW</b>	medium active waste
<b>VS</b>	Verfahrensschritt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 9 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

## **EINHEITENVERZEICHNIS**

h	Stunde
kg	Kilogramm
kW	Kilo-Watt
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
min	Minute
MPa	Megapascal
s	Sekunde
t	Tonne

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 10 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RB	0045	00	Stand: 18.05.2016

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 AUSGANGSLAGE

Die Schachanlage Asse II bei Wolfenbüttel, ein ehemaliges Kali- und Steinsalzbergwerk, wurde seit 1965 als Forschungsbergwerk zur Untersuchung der Endlagerung radioaktiver Abfälle in Salzformationen betrieben. In den Jahren 1967 bis 1978 wurden ca. 125.000 Gebinde schwachradioaktiver Abfälle (low active waste – LAW) und mittelradioaktiver Abfälle (medium active waste – MAW) auf drei unterschiedlichen Sohlen in insgesamt 13 Kammern eingelagert [1].

Infolge des hohen Durchbauungsgrades an der Südflanke der Schachanlage Asse II konnte das angrenzende Nebengebirge um mehrere Meter in das Grubengebäude hineinkonvergieren [2]. Diese Konvergenzbewegungen führten zu einer Verletzung der Barriereintegrität, sodass seit 1988 Lösungen aus dem Deckgebirge an der Südflanke zutreten. Derzeit beträgt die gefasste Lösungsmenge etwa 13 m<sup>3</sup> pro Tag. Von 1995 bis Anfang 2004 wurden zur Stabilisierung der Südflanke die bis dahin noch offenen Hohlräume mit Salzgrus verfüllt. Da der Salzgrus über einen nicht unerheblichen Porenraum verfügt und zusammengedrückt wird, halten die Verformungen weiterhin an. Aufgrund der anhaltenden Verformungen rutscht das Deckgebirge nach und es besteht jederzeit die Möglichkeit, dass sich die Lage des Lösungszutritts und dessen Menge verändern können.

Der gesetzliche Auftrag zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II im Hinblick auf die sichere Stilllegung wurde durch das Inkrafttreten der Lex Asse im April 2013 erteilt. Für die nach § 57b des Atomgesetzes (AtG) gesetzlich beschlossene Rückholung der Abfälle aus der Schachanlage Asse II bestehen noch Unsicherheiten und Kenntnisdefizite für die Planung der Rückholung. Zur Beseitigung dieser Wissenslücken und Unsicherheiten sieht das BfS eine sogenannte Faktenerhebung vor. Im Rahmen dieser Faktenerhebung soll ein ELK spezifisches Erkundungsprogramm mögliche Kenntnisdefizite beseitigen.

Eine Rückholung radioaktiver Abfälle aus einem Tiefenlager wurde bisher weltweit noch nicht durchgeführt. Es kann demnach nicht auf belastbare Informationen und Erfahrungen zurückgegriffen werden.

Im Februar 2012 wurde das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) vom BfS mit einer Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften/Werkzeugen für den Einsatz in der Schachanlage Asse II beauftragt. Dieser Auftrag gliedert sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes in mehrere Arbeitspakete (AP), die im Folgenden dargestellt werden.

## 1.2 ÜBERSICHT DER ARBEITSPAKETE

### AP 1: Feststellung der am Markt vorhandenen Rückbau-/Rückholtechniken

Mithilfe einer internationalen Literatur- und Marktrecherche wurde festgestellt, ob bzw. welche Maschinenteknik für den Rückbau und die Rückholung von radioaktiven Abfällen vorhanden ist. Im Rahmen dieser Recherche wurde ein Schwerpunkt auf fernbedienbare Technik gelegt. Darüber hinaus wurden auch Fragen zum Einsatz dieser Techniken in einem Salzbergwerk sowie der Verfügbarkeit aufgegriffen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 11 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 18.05.2016
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		

## **AP 2: Erstellung und Vorstellung eines Zwischenberichts**

Die Ergebnisse aus AP 1 wurden in Form des 1. Zwischenberichts dargestellt.

### **AP 2a: Vorversuche mit Versatzmaterial und Versuchsreihen zum Freilegen und Lösen von Gebinden**

In diesem Arbeitspaket wurden erste Vorversuche mit Salz durchgeführt. Innerhalb dieser Versuchsreihen wurden einige der im Rahmen der Recherche in AP 1 identifizierten Geräte und Werkzeuge auf ihre grundsätzliche Eignung zum „Freilegen und Lösen“ von Gebinden erprobt. Die Ergebnisse wurden im Rahmen des 2. Zwischenberichts dokumentiert.

### **AP 3: Prüfung, welche der vorhandenen Techniken für die Rückholung der Abfälle aus der Schachtanlage Asse II geeignet sind**

Anhand nachvollziehbarer Kriterien oder Begründungen wurde dargelegt, welche der Rückbau-/Rückholtechniken grundsätzlich für die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II geeignet sind. Diese Gerätschaften wurden in AP 1 identifiziert.

### **AP 3a: Studie zum Sondervorschlag „Schildvortrieb mit Teilflächenabbau“**

Zur Untersuchung der Eignung eines „Schildvortriebs mit Teilflächenabbau“ für die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II wurde eine Machbarkeitsstudie durchgeführt. Die Ergebnisse wurden im 4. Zwischenbericht dokumentiert.

## **AP 4: Erstellung und Vorstellung eines Zwischenberichts**

Die Ergebnisse aus AP 3 wurden in Form des 3. Zwischenberichts dargestellt.

## **AP 5: Identifizierung notwendiger Entwicklungsbedarfe**

Anhand eines Soll/Ist-Vergleichs wurde aufgezeigt, ob noch Entwicklungsbedarfe bei Gerätschaften und Werkzeugen bestehen.

## **AP 6: Erstellung und Vorstellung eines Zwischenberichts**

Die Ergebnisse aus AP 5 wurden in Form des 5. Zwischenberichts dargestellt.

## **AP 7: Erstellung und Vorstellung eines Abschlussberichts**

Die Ergebnisse aus AP 1 bis 6 werden in diesem Abschlussbericht zusammengefasst.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 12 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 18.05.2016
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		

**AP 8: Technikumsversuche mit am Markt vorhandenen Rückbau-/Rückholtechniken (optional)**

Gerätschaften und Werkzeuge werden im Hinblick auf ihre Eignung zur Rückholung von radioaktiven Abfällen im repräsentativen Maßstab geprüft. Hierbei sollen die in der Schachtanlage Asse II zu erwartenden Einlagerungssituationen möglichst realitätsnah abgebildet werden.

**AP 9: Berichterstellung inklusive Versuchsdokumentation (optional)**

Die Ergebnisse der Technikumsversuche aus AP 8 werden in Form eines Versuchsberichtes dargestellt.

**1.3 ZIELSETZUNG DES ARBEITSPAKETS 7**

Im Rahmen dieses Abschlussberichts sollen die Erkenntnisse aus den jeweiligen Zwischenberichten zusammengefasst werden. Dabei soll ein Überblick über die Ziele, Vorgehensweisen und die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete gegeben werden.

**1.4 ABGRENZUNG**

Der Inhalt dieses Abschlussberichts basiert auf den Ergebnissen der vorangegangenen Arbeitspakete 1 bis 6. Diese Ergebnisse werden hier zusammenfassend dargestellt. Neue Erkenntnisse oder Untersuchungen sind nicht Gegenstand dieses Arbeitspakets.

**1.5 VORGEHENSWEISE**

Zunächst werden jeweils die Ziele der einzelnen Arbeitspakete bzw. Zwischenberichte vorgestellt und anschließend deren Ergebnisse zusammengefasst. Am Ende dieses Abschlussberichts erfolgen eine Gesamtzusammenfassung und ein Fazit der Studie sowie ein Ausblick auf mögliche weitere Untersuchungen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 13 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RB	0045	00	Stand: 18.05.2016

## 2 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete zusammenfassend vorgestellt. Für eine detailliertere Information über die Studie sei bereits an dieser Stelle auf die einzelnen Zwischenberichte verwiesen.

### 2.1 MASCHINENTECHNIK (AP 1 UND AP 2)

Ziel der Arbeitspakete 1 und 2 war die Identifikation der auf dem Markt vorhandenen Maschinenteknik zur Bergung und Rückholung radioaktiver Abfälle aus einem Tiefenlager. Die im Rahmen des AP 1 und AP 2 durchgeführte Recherche bietet eine Übersicht der zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II möglicherweise geeigneten, am Markt verfügbaren Gerätschaften und Werkzeuge und wurde im 1. Zwischenbericht festgehalten.

Zu Beginn wurde für die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II eine verfahrenstechnische Kette definiert, die in vier Verfahrensschritten (VS) unterteilt ist (Abbildung 1).



Abbildung 1: Verfahrenstechnische Kette bestehend aus den einzelnen Verfahrensschritten (VS)

Im ersten Verfahrensschritt werden die Gebinde oder Gebindeteile aus dem ggf. eingebrachten Salzgrus gelöst und freigelegt um anschließend im zweiten Verfahrensschritt gegriffen und angehoben zu werden. [Anmerkung: Der zweite Verfahrensschritt wurde im 3. Zwischenbericht dieser Studie um die Tätigkeit des Ablegens erweitert.] Im dritten Verfahrensschritt werden die Gebinde oder Gebindeteile in entsprechende Abschirm- und Transportbehälter verladen, damit diese im vierten und letzten Verfahrensschritt zur zentralen Übergabestation<sup>1</sup> transportiert werden können.

Um die Anforderungen – wie beispielsweise den Strahlenschutz, die Einsatzflexibilität oder die Möglichkeit zur Fernhandlung – die die Rückholung der eingelagerten Gebinde an die einzusetzenden Gerätschaften und Werkzeuge stellt, zu ermitteln, wurde eine Anforderungsanalyse für die zu untersuchende Maschinenteknik erarbeitet. Diese unterteilt sich in die folgenden allgemeinen und besonderen Anforderungen:

Allgemeine Anforderungen:

- Antriebskonzepte
- Abmessungen
- Wartung, Reparatur, Inspektion
- Lieferzeiten, Beschaffung, Ersatzteilbeschaffung

<sup>1</sup> An dieser Stelle findet das Ausschleusen der Behälter aus den potentiell radioaktiv kontaminierten Bereichen statt.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 14 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

- Erfüllung mindestens eines Bearbeitungsschrittes der verfahrenstechnischen Kette oder dafür notwendige Vorarbeit

### Besondere Anforderungen:

- Einsatz im Salzbergwerk
- Strahlenresistenz
- Arbeitssicherheit gemäß Bundesberggesetz / Gesundheitsschutz-Bergverordnung
- Schutzziele gemäß Strahlenschutzverordnung / Atomgesetz
- Fernhantierung
- Automatisierung
- Einsatzflexibilität

Zuerst wurde die Maschinenteknik nach einer internationalen Marktrecherche anhand der allgemeinen Anforderungen, die sich an den bekannten Gegebenheiten in der Schachanlage Asse II orientieren, in einer allgemeinen Geräteliste mit den wichtigsten Kenndaten aufgelistet und kategorisiert.

Anschließend wurden die Geräte nach den besonderen Anforderungen unterschieden und hinsichtlich ihrer Eignung für die jeweiligen Aufgabenbereiche, die es im Zuge der Rückholung zu erfüllen gilt, ausgewählt.

Als Grundlage zur Entscheidungsfindung wurde eine Aktionsmatrix (Tabelle 1) erarbeitet, die denkbare Einlagerungssituationen und Gebindezustände für jeden Schritt innerhalb der verfahrenstechnischen Kette einzeln betrachtet, und somit als Entscheidungsgrundlage für die Auswahl geeigneter Gerätschaften und Werkzeuge dient.

Da der Zustand der Gebinde und der Einlagerungszustand im Salzgrus zum Zeitpunkt der Recherche unbekannt waren, wurden in der Matrix alle möglichen Fallkombinationen aufgezeigt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 15 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

Tabelle 1: Aktionsmatrix – Auszug

		Gebinde unbeschädigt			Gebinde leicht beschädigt		
		liegt frei	liegt locker im Salzgrus	liegt eingeschlossen im Salzgrus	liegt frei	liegt locker im Salzgrus	liegt eingeschlossen im Salzgrus
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Lösen	[A]	keine Aktion erforderlich	Freilegen der Gebinde durch Freiziehen, Freigraben bzw. Absaugen	Herauslösen der eingeschlossenen Gebinde mittels Stemmen	keine Aktion erforderlich	Freilegen der Gebinde durch Freiziehen, Freigraben bzw. Absaugen	Herauslösen der eingeschlossenen Gebinde mittels Stemmen
Greifen	[B]	Greifen des Gebindes mit einem geeigneten Greifsystem (mechanisch, magnetisch, pneumatisch)	Greifen des Gebindes mit einem geeigneten Greifsystem (mechanisch, magnetisch, pneumatisch)	Greifen des Gebindes mit einem geeigneten Greifsystem (mechanisch, magnetisch, pneumatisch)	Greifen des Gebindes mit einem geeigneten Greifsystem (mechanisch, magnetisch, pneumatisch) bzw. Aufnehmen des Gebindes mit einem Ladegerät (Schaufel, Löffel, etc.)	Greifen des Gebindes mit einem geeigneten Greifsystem (mechanisch, magnetisch, pneumatisch) bzw. Aufnehmen des Gebindes mit einem Ladegerät (Schaufel, Löffel, etc.)	Greifen des Gebindes mit einem geeigneten Greifsystem (mechanisch, magnetisch, pneumatisch) bzw. Aufnehmen des Gebindes mit einem Ladegerät (Schaufel, Löffel, etc.)

Anhand der in der Aktionsmatrix identifizierten Aktionsbeschreibungen wurden die entsprechenden Gerätschaften und Werkzeuge bestimmt, die zur Ausführung der jeweiligen Aufgabe besonders geeignet erscheinen; diese wurden in einer Gerätematrix (Tabelle 2) zusammengestellt.

Tabelle 2: Gerätematrix – Auszug

		Gebinde unbeschädigt			Gebinde leicht beschädigt		
		liegt frei	liegt locker im Salzgrus	liegt eingeschlossen im Salzgrus	liegt frei	liegt locker im Salzgrus	liegt eingeschlossen im Salzgrus
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Lösen	[A]	kein Gerät erforderlich	Saugbagger, Bagger mit Sieblöffel bzw. mit Reißzahn oder mit Rechen	(Mini-)bagger mit Stemmeißel	kein Gerät erforderlich	Saugbagger, Bagger mit Sieblöffel bzw. mit Reißzahn oder mit Rechen	(Mini-)bagger mit Stemmeißel
Greifen	[B]	Greifer - mechanisch - magnetisch - pneumatisch			Greifer - mechanisch - magnetisch - pneumatisch Bagger mit Sieb- bzw. Tieföffel Radlader mit (Sieb-)Schaufel		
Laden	[C]	Bagger oder Minikran mit Greifer (s.o.)  Teleskopstapler  Radlader mit Gabel			Bagger oder Minikran mit Greifer (s.o.)  Teleskopstapler  Radlader mit Gabel		
Transportieren	[D]	Container zur Aufnahme von Einzelgebänden, Paletten, Gitterboxen, etc. auf Wechselladerfahrzeug					

Auf Grundlage dieser Gerätematrix wurden die als zweckmäßig erachteten Gerätschaften und Werkzeuge vorgestellt. Darüber hinaus wurde ein Sondervorschlag beschrieben, bei dem eine Vortriebsmaschine zur Rückholung der Gebinde mittels offenem Schildvortrieb eingesetzt werden könnte.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 16 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass es Standardwerkzeuge und Maschinen gibt, die prinzipiell geeignet scheinen, um die Anforderungen innerhalb der vier Verfahrensschritte der verfahrenstechnischen Kette zu erfüllen. Allerdings muss bei allen untersuchten Gerätschaften eine Adaption und Weiterentwicklung erfolgen.

Im Rahmen der Arbeitspakete 1 und 2 konnten allerdings noch keine Aussagen zur Leistungsfähigkeit, zum Langzeitverhalten der Werkzeuge und zum speziellen Einsatzverhalten bei der Rückholung der Gebinde getroffen werden. Auch konnten keine Aussagen im Hinblick auf die Bereiche und den Umfang der nötigen Weiterentwicklungen und Adaptionen getroffen werden. Aus diesem Grund wurde das Arbeitspaket 2a in das Arbeitsprogramm aufgenommen.

## 2.2 VORVERSUCHE (AP 2A)

Ziel des Arbeitspaketes 2a war die Untersuchung der grundsätzlichen Eignung von ausgewählten Standardwerkzeugen für das Freilegen und Lösen von Gebinden aus dem Versatzmaterial Salzgrus. Hierfür wurden Vorversuche durchgeführt und innerhalb des 2. Zwischenberichts dokumentiert. .

Zuerst wurde im Rahmen von Erhärtungsversuchen ein Material entwickelt, welches ähnliche Eigenschaften wie das in der Schachanlage Asse II zur Verfüllung genutzte und zwischenzeitlich voraussichtlich verfestigte Salzgrus aufwies. Dem Salzgrus wurden hierfür entsprechende Mengen an Wasser und Zement zugemischt, wodurch ein Steinsalzbeton entstand.

In einem ersten Versuchsstand (Freilegen und Lösen, Abbildung 2) wurden daraufhin mehrere mit Sand gefüllte Gebinde sowohl stehend als auch liegend in diesen Steinsalzbeton eingebunden. Die Druckfestigkeit dieses Steinsalzbetons entsprach dabei im Mittel 18,8 MPa, womit die angenommene Druckfestigkeit des Salzgruses in der Schachanlage Asse II [3] aufgrund der großmaßstäblichen Versuchsbedingungen leicht übertroffen wurde.

Anhand von Versuchen wurde daraufhin in mehreren Messreihen die grundsätzliche Eignung der Werkzeuge Baggerlöffel, Reißzahn, Hydraulikmeißel, Hydraulikfräse mit Querschneidkopf und Spaltgerät zum Freilegen und Lösen der ca. 300 kg schweren Gebinde untersucht. Speziell zum Ausheben der freigelegten Gebinde wurde darüber hinaus die Eignung eines speziell konzipierten Nukleargreifers betrachtet.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 17 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RB	0045	00	Stand: 18.05.2016



Abbildung 2: Versuchsstand mit aufgelagerten Gebinden vor (links) und während (rechts) der Betonage.

In einem zweiten Versuchsstand (Zugversuche, Abbildung 3) wurden ausbetonierte Gebinde mit einem Gesamtgewicht von 500 kg (+/- 1 %) einerseits mit Hilfe eines mechanischen Anschlagseils und andererseits mit einem Vakuumheber aus dem Salzgrus herausgezogen, welches zuvor mechanisch verdichtet wurde. Dabei wurden die hierfür notwendigen Zugkräfte ermittelt.

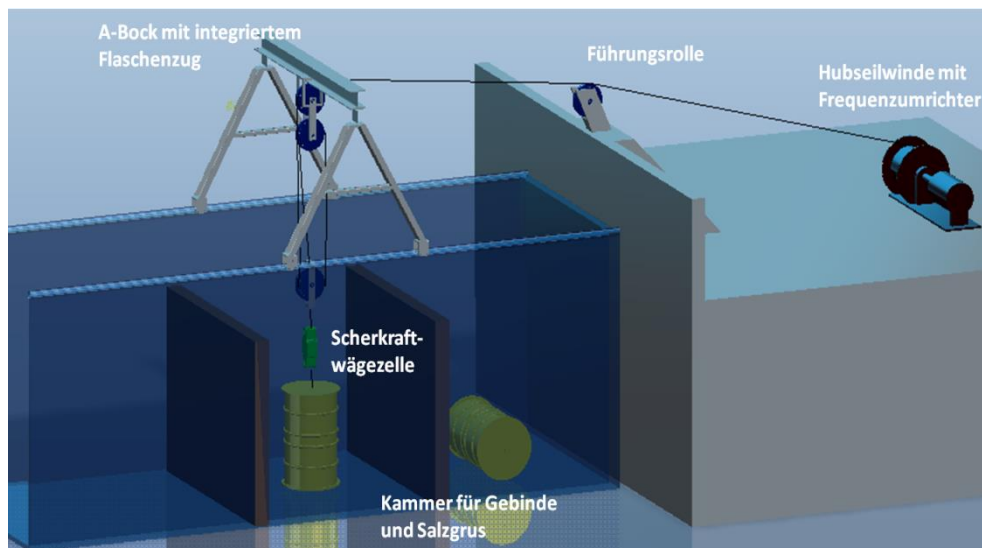


Abbildung 3: Schematischer Aufbau des Versuchstandes der Zugversuche

Zusammenfassend kann nach der Bearbeitung des AP 2a festgehalten werden, dass sich Baggerlöffel und Reißzahn nur sehr eingeschränkt für die Bearbeitung des Steinsalzbetons eignen. Ein Aufbrechen oder Abscheren der Steinsalzbetonstruktur war unter den gegebenen Randbedingungen des eingesetzten Trägergeräts kaum möglich. Um bereits gelöstes Material zu bewegen, sind diese beiden Anbauwerkzeuge jedoch geeignet.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 18 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RB	0045	00	Stand: 18.05.2016

Mit den getesteten Anbauwerkzeugen Fräse und Hydraulikmeißel ließ sich der Steinsalzbeton hingegen bearbeiten, so dass mit beiden Geräten Versuche über eine Zeitdauer von etwa 45 bis 50 min durchgeführt und die jeweilige Abtragsleistung ermittelt werden konnte.

Die grundsätzliche Eignung des Nukleargreifers, freigelegte und gelöste Gebinde zu greifen und anzuheben, wurde ebenfalls durch Versuche bestätigt. Allerdings musste hierfür gewährleistet sein, dass der Greifer das Gebinde sicher umschließen kann.

Über das manuell geführte Spaltgerät kann abschließend festgehalten werden, dass es ein erschütterungs- sowie staubarmes Herausbrechen von großen Stücken aus dem Steinsalzbetongefüge ermöglicht.

Als Ergebnis aus den Zugversuchen ist an dieser Stelle festzuhalten, dass die Mantelreibung innerhalb des mechanisch verdichteten Salzgruses im Vergleich zum Eigengewicht der Gebinde um ein Vielfaches höher war.

In Bezug auf den getesteten Vakuumheber ist zusammenzufassen, dass die Angriffsfläche bei stehenden Gebinden nicht ausreichend groß ist um das Gebinde aus dem losen verdichteten Salzgrus zu befreien. Hingegen konnte der Vakuumheber liegende Gebinde aus dem Salzgrus ziehen wenn die Mantelfläche ausreichend freigelegt war, da somit ein problemloses Anbringen der Saugplatte möglich war.

## **2.3 PRÜFUNG DER EIGNUNGSFÄHIGKEIT VORHANDENER TECHNIKEN (AP 3 UND AP 4)**

Ziel der Arbeitspakete 3 und 4 war es, die Eignungsfähigkeit der auf dem Markt vorhandenen Maschinenteknik für die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II zu untersuchen und anhand nachvollziehbarer Kriterien zu bewerten.

In einem ersten Schritt wurden gemeinsam mit dem BfS Anforderungen festgelegt, die die Maschinenteknik – unter den Randbedingungen der Schachanlage Asse II – zu erfüllen hat. Diese Anforderungen wurden anschließend in maschinenspezifische Bewertungskriterien übersetzt. Insgesamt ergaben sich dadurch 34 unterschiedliche Bewertungskriterien, die in die sechs Beurteilungsfelder

1. Strahlenschutz
2. Antrieb
3. Betrieb
4. Bewegung/ Ortsveränderung
5. Flexibilität
6. Ausfall-/ Störfallrisiko

eingruppiert wurden.

Anschließend wurden für die Bewertungskriterien Bewertungsmerkmale (Tabelle 3) und dazugehörige Bewertungsmaßstäbe definiert.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 19 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

Tabelle 3: Beurteilungsfelder und Bewertungskriterien mit Bewertungsmerkmalen – Auszug

Beurteilungsfeld	Bewertungskriterium	Bewertungsmerkmal
Strahlenschutz	Staubemission	Staubemission durch Einsatz der Anbauwerkzeuge
	Dekontaminierbarkeit	Vgl. Kapitel 5.1.2 (3. Zwischenbericht)
	Fernhantierbarkeit	Möglichkeiten der Fernhantierung
	Personalaufwand	Anzahl der erforderlichen Personen für das Bedienen der Maschinenteknik

Da die Aufgaben während der Rückholung komplex und teilweise höchst unterschiedlich sind, wurden in einem weiteren Schritt Fallkombinationen (Tabelle 4) erarbeitet, mit deren Hilfe denkbare und relevante Gegebenheiten der Schachanlage Asse II abgebildet werden konnten. Die Eignung der Maschinenteknik konnte daraufhin, je nach Verfahrensschritt, anhand der Variablen

- Gebindegewicht
- Gebindezustand
- Einlagerungssituation
- Einlagerungstechnik
- Gesamtgewicht (Gebinde & Transportbehälter) und
- Transportstrecke

betrachtet werden. Insgesamt wurden somit 27 relevante Fallkombinationen festgestellt.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 20 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

Tabelle 4: Fallkombinationen – Auszug

Verfahrens-schritt	Gebinde-gewicht	Gebindezustand	Einlagerungs-technik	Kurz-bezeichnung		Fall Nr.
VS2 – Greifen, Anheben und Ablegen	Gebinde ≤ 1,25 t	unbeschädigt bis leicht beschädigt	stehend	VS2	F1	5
			liegend	VS2	F2	6
			ungeordnet	VS2	F3	7
		mittelmäßig bis stark beschädigt	stehend	VS2	F4	8
			liegend	VS2	F5	9
			ungeordnet	VS2	F6	10
	Gebinde ≤ 5 t	unbeschädigt bis leicht beschädigt	stehend	VS2	F7	11
			liegend	VS2	F8	12
			ungeordnet	VS2	F9	13
		mittelmäßig bis stark beschädigt	stehend	VS2	F10	14
			liegend	VS2	F11	15
			ungeordnet	VS2	F12	16
	Gebinde ≤ 9,8 t	unbeschädigt bis stark beschädigt		VS2	F13	17
	Struktur zerstört, Gebindeteile liegen in Stücken vor; kontaminier-tes Versatzmaterial mit Gebindeteilen			VS2	F14	18

Basierend auf diesen Fallkombinationen wurde die jeweils passende Maschinenteknik ausgewählt, sodass anschließend deren Bewertung anhand eines dreistufigen Bewertungssystems durchgeführt werden konnte:

1. Vorauswahl anhand von Ausschlusskriterien, die im Vorfeld definiert wurden
2. Zuordnung der ausgewählten Maschinenteknik zu den einzelnen Fallkombinationen
3. Fallspezifische Prüfung anhand der Bewertungskriterien

Prinzipiell wurde dabei wie folgt bewertet:

- „-“ : geringe Eignungsfähigkeit
- „o“ : bedingte Eignungsfähigkeit
- „+“ : gute Eignungsfähigkeit

Exemplarisch ist in der nachfolgenden Tabelle 5 die Bewertungsmatrix für das Trägergerät Terex TC125T im Verfahrensschritt 1 dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die Ergebnisse der Bewertung zudem grafisch dargestellt (Abbildung 4).

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 21 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

Tabelle 5: Bewertungsmatrix für Terex TC125T VS1

Bewertungskriterium	Ausprägung	Bewertung
<b>Fernhantierbarkeit</b>	nicht vorhanden	-
<b>Personalaufwand</b>	eine Person	+
<b>Frischwetterbedarf</b>	lediglich zum Abtransport der Abwärme	+
<b>Energieversorgung</b>	Elektroantrieb (Versorgung über Kabel)	+
<b>Wirkbereich</b>	Oberwagen 360° drehbar; Reichweite des Auslegers: ca. 7,3 m	+
<b>Manövrierfähigkeit</b>	Kettenfahrwerk, Standfläche: ca. 18,0 m <sup>2</sup>	0
<b>Mobilität des Trägergerätes</b>	Kettenfahrwerk, viel Bodenfreiheit, niedriger Schwerpunkt, großer Böschungswinkel, geringe Geschwindigkeit, Kabelmitführung	0
<b>Beweglichkeit des Auslegers</b>	vier Freiheitsgrade	+
<b>Steigfähigkeit</b>	60 %	+
<b>Werkzeugwechsel</b>	automatisch möglich	+
<b>Verfahrensflexibilität</b>	für Verfahrensschritte 1 bis 4 einsetzbar	+

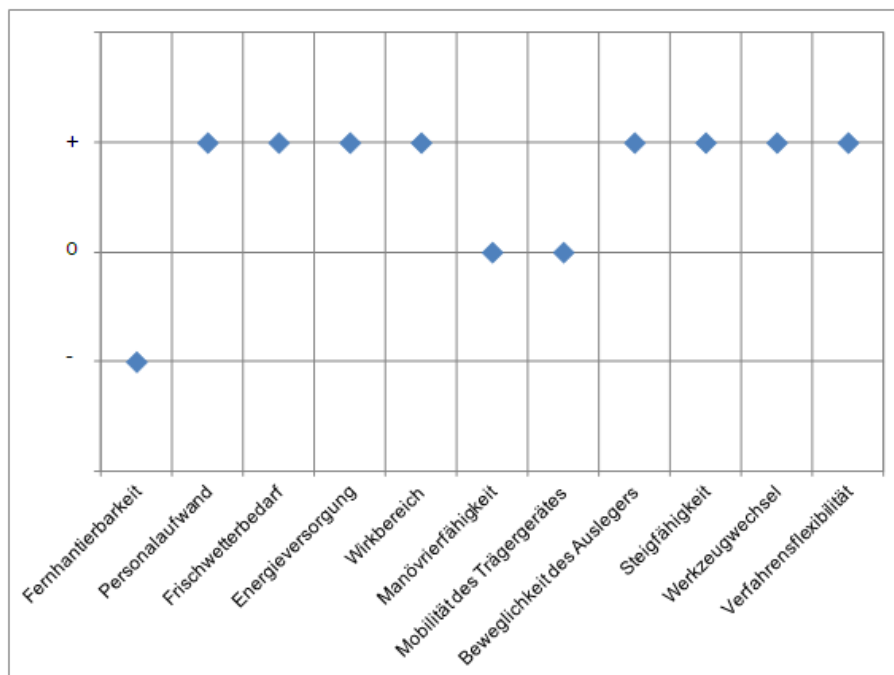


Abbildung 4: Bewertungsdiagramm für Terex TC125T VS1

Mithilfe des Bewertungssystems wurde die Maschinenteknik verschiedener Hersteller anhand objektiver Kriterien bewertet und damit eine Vergleichbarkeit der Gerätschaften ermöglicht. Für jede Fallkombination konnte passende Maschinenteknik vorgestellt werden. Somit wurde im Rahmen des 3. Zwischenberichts aufgezeigt, dass potentiell geeignete Maschinenteknik für verschiedene Randbedingungen der Rückholung vorhanden ist, auch wenn es weiterer Anpassung

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 22 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

und Modifikation dieser Gerätschaften bedarf, damit alle geltenden Anforderungen und Randbedingungen aus der Schachtanlage Asse II erfüllt werden können.

## 2.4 MACHBARKEITSSTUDIE „SCHILDVORTRIEB MIT TEILFLÄCHENABBAU“ (AP 3A)

Ziel des Arbeitspaketes 3a war es, die Machbarkeit der Rückholung der radioaktiven Abfälle durch einen „Schildvortrieb mit Teilflächenabbau“ zu untersuchen und die Resultate im 4. Zwischenbericht zu dokumentieren. Diese Möglichkeit wurde im Rahmen des AP 1 durch das KIT entwickelt (Kapitel 2.1). Dabei sollte betrachtet werden, ob die Einlagerungskammern mit einer Schildvortriebsmaschine nacheinander durchfahren und geräumt werden können.

Mit der Erstellung dieser Machbarkeitsstudie beauftragte das KIT die Herrenknecht AG.

Hierfür wurden relevante (horizontale) Vortriebs- und (vertikale) Abteufverfahren beschrieben, untersucht und bewertet. Favorisiert wurde eine horizontal arbeitende Schildmaschine mit den Abmessungen 10 m x 10 m (Breite x Höhe) (Abbildung 5), die daraufhin im Rahmen der Machbarkeitsstudie grob konzipiert wurde. Dabei lag der Fokus auf der Beschreibung des Rückholvorgangs, der Bergungstechnik, der Materialförderung, der Umschlaglogistik, dem Ausbau und der Sicherung sowie dem Strahlenschutz.

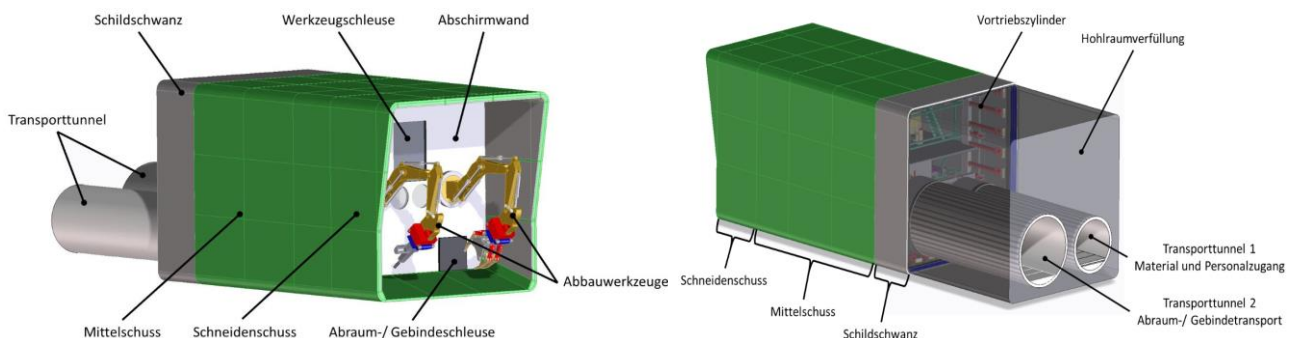


Abbildung 5: Schildmaschine mit Teilflächenabbau, Frontansicht (links), Rückansicht (rechts) [4]

Die Steuerung der konzipierten Schildmaschine kann mittels Fernhantierung oder auch durch Teilautomatisierung einzelner Prozessschritte erfolgen. Im vorderen Bereich der Schildmaschine (Abbildung 5) befinden sich dabei Abbauwerkzeuge zum – je nach Bedarf – Freilegen, Lösen, Greifen oder Anheben von Gebinden. Durch Öffnungen in der Abschirmwand kann einerseits benötigtes Werkzeug ein- und ausgeschleust, andererseits können Abraum und Gebinde aus dem Sperrbereich ausgeschleust werden. Der hinter dem Schild entstandene Hohlraum wird, bis auf die beiden Transporttunnelröhren, mit Beton verfüllt.

Im weiteren Verlauf dieses Arbeitspaketes wurde ein entsprechendes Rückholkonzept für die Einlagerungskammern auf der 750 m-Sohle erarbeitet. Dabei soll die Rückholung in fünf Vortrieben unterschiedlicher Streckenlänge erfolgen (Abbildung 6).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 23 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

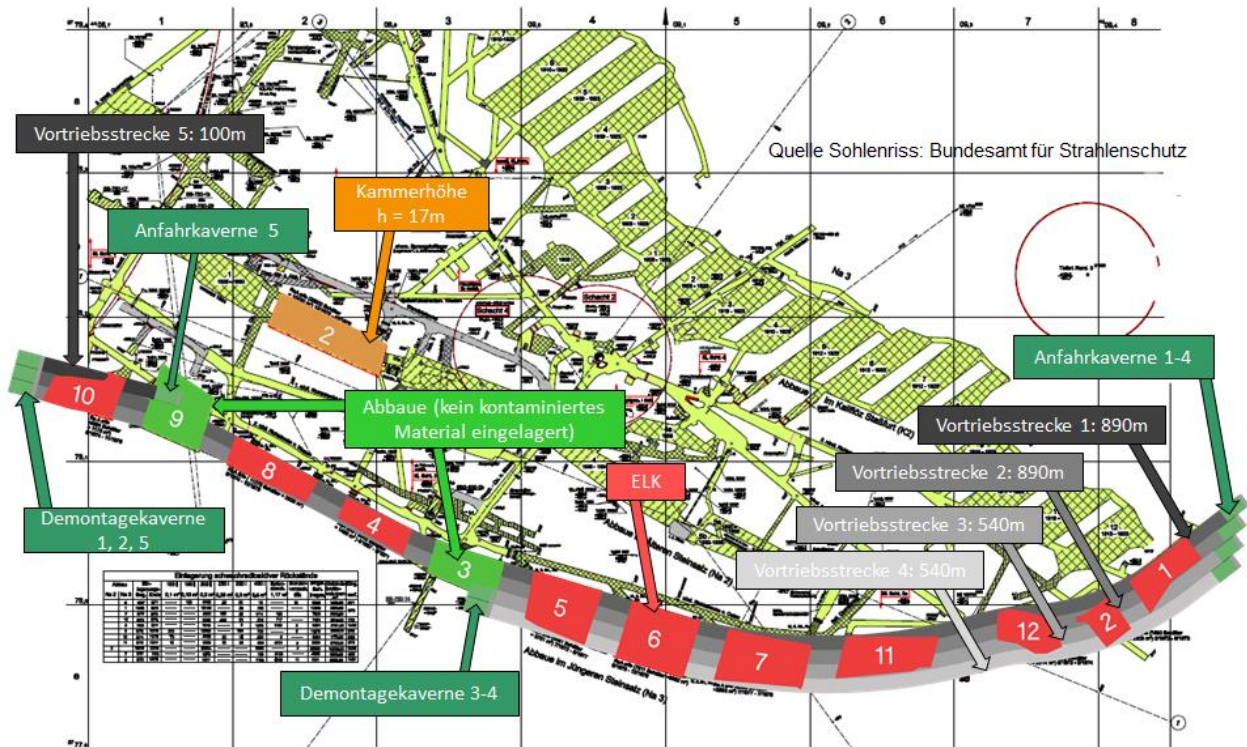


Abbildung 6: Schildvortriebskonzept [4]

Die theoretische Machbarkeit der Rückholung der Gebinde aus der Schachanlage Asse II mittels „Schildvortrieb mit Teilflächenabbau“ konnte in diesem Arbeitspaket aufgezeigt werden. Für die abschließende Beurteilung hinsichtlich einer technischen Realisierbarkeit ist eine weitergehende Betrachtung unter Berücksichtigung von bergbaulichen, betrieblichen und strahlenschutztechnischen Randbedingungen sowie eine Beantwortung der im Zwischenbericht aufgeführten offenen Fragen erforderlich.

Zu diesem Zeitpunkt kann jedoch schon festgehalten werden, dass durch die Verwendung von Schildvortriebmaschinen die Rückholung losgelöst von einzelnen Gerätschaften und durch parallel laufende Prozesse erfolgen kann. Darüber hinaus kann die Sicherheit während der Rückholung – vor allem bei instabilen Grubenverhältnissen – erhöht werden.

## 2.5 IDENTIFIZIERUNG NOTWENDIGER ENTWICKLUNGSBEDARFE (AP 5 UND AP 6)

Ziel der Arbeitspakete 5 und 6 war die Identifikation der – in Bezug auf die Einsatzfähigkeit zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II – Entwicklungsbedarfe für ausgewählte, auf dem Markt verfügbare Maschinenteknik. Die Grundlage für diese Auswahl bildeten dabei die Ergebnisse aus AP 3 (vgl. Kapitel 2.3). Weiterhin wurden die Geräteliste aus AP 1, Erfahrungen aus den Vorversuchen (AP 2a) sowie Fachgespräche mit Geräteherstellern und branchenspezifische Informationen herangezogen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 24 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

Zusammengefasst im 5. Zwischenbericht, wurden zunächst die Gerätschaften in Trägergeräte und Anbauwerkzeuge unterschieden, um, ausgehend von den Bewertungskriterien und Fallkombinationen aus AP 3, die technischen Anforderungen an die Geräte aufzustellen.

Die insgesamt 77 technischen Anforderungen an die Trägergeräte wurden, gegliedert in die jeweiligen Beurteilungsfelder (Kapitel 2.3), folgendermaßen aufgestellt (Tabelle 6):

Tabelle 6: Beurteilungsfelder und technische Anforderungen an Trägergeräte – Auszug

Beurteilungsfeld	Technische Anforderungen	Nr.
Strahlenschutz	Überwachung der Strahlenbelastung durch Messtechnik	1
	Strahlenschutzkonzept für gefährdete Teilsysteme	2
	Geschlossene Bauweise und Unterbodenschutz der Gerätschaften, um ein Eindringen von Kontaminationen zu verhindern bzw. die Dekontamination zu erleichtern	3
	Oberflächenbeschichtung mit niedriger Rauheit, um eine Anhaftung von Kontaminationen zu verringern und die Dekontamination zu erleichtern	4
	Abdichtung von Schnittstellen (Gelenke, Zylinder, Kabel und Leitungen), um ein Eindringen von Kontaminationen zu verhindern bzw. die Dekontamination zu erleichtern	5
	Abdeckung oder Einhausung schwer zugänglicher Bauteile und Zwischenräume zur Verhinderung der Ansammlung von Kontaminationen und Erleichterung einer eventuellen Dekontamination	6
	Filtersysteme für Luftansaugungen zum Herausfiltern von aerosolgetragenen Partikeln	7
	Verfügbarkeit der Fernhandlung	8
Antrieb	Gesamtheit eingesetzter Gerätschaften mit Verbrennungsmotor < 100 kW	9
	Möglichkeit der Umrüstung des Verbrennungsmotors auf Elektroantrieb	10
	Energieversorgung über Kabel bei Elektromotor	11
Betrieb	Ausleger zum Heben und Bewegen einer Last sowie zur Befestigung von Anbauwerkzeugen	12
	Hydraulikanschluss für Anbauwerkzeuge (VS 1-3)	13

Die Auswahl der geeigneten Anbauwerkzeuge innerhalb der verfahrenstechnischen Kette hängt von den Randbedingungen in den jeweiligen Einlagerungskammern ab. Um diese Bedingungen einzugrenzen, mussten – da die Faktenerhebung zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht abgeschlossen war – Annahmen getroffen werden. Anhand dieser Annahmen konnten die Anforderungen an die zum Einsatz kommenden Anbauwerkzeuge festgelegt werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 25 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

Im 3. Zwischenbericht wurden 26 verschiedene Fallkombinationen definiert, die mögliche Zustände und Randbedingungen in den Einlagerungskammern beschreiben. Für relevante Fallkombinationen wurden daraufhin in AP 5 Anforderungsprofile für die zum Einsatz kommenden Anbauwerkzeuge aufgestellt. Der Entwicklungsbedarf für die Anbauwerkzeuge ergab sich somit aus den Anforderungen, die von Anbauwerkzeugen gemäß dem aktuellen Stand der Technik bzw. aus dem 3. Zwischenbericht nicht erfüllt wurden.

Neben den Anforderungen aus den einzelnen Fallkombinationen des 3. Zwischenberichts existieren weitere Anforderungen, die von den Anbauwerkzeugen ebenfalls erfüllt werden müssen. Dabei handelt es sich um allgemeine technische Anforderungen in Bezug auf

- Energieversorgung,
- Standzeit,
- Wartungsaufwand,
- Ersatzteilverfügbarkeit und
- Wirkungsbereich.

Die insgesamt 45 technischen Anforderungen an die Anbauwerkzeuge wurden, gegliedert in die jeweiligen Verfahrensschritte und die allgemeinen technischen Anforderungen, folgendermaßen aufgestellt (Tabelle 7):

Tabelle 7: Technische Anforderungen an Anbauwerkzeuge – Auszug

Nr.	Verfahrensschritt 1
1	Anbauwerkzeug für den großflächigen Abtrag von verfestigtem Versatzmaterial
2	Anbauwerkzeug für den definierten Abtrag von verfestigtem Versatzmaterial unter Vermeidung von Beschädigungen der Gebinde in unmittelbaren Umgebung
3	Anbauwerkzeug für den Abtrag von verfestigtem Material aus den Zwischenräumen von liegend, stehend oder ungeordnet gelagerten Gebinden
4	Anbauwerkzeug für grobkörnige Zerkleinerung von verfestigtem Material aus einem Verbund
5	Anbauwerkzeug für definiertes Auseinanderdrücken von Gebinden oder verfestigtem Material
6	Maßnahmen zur Verhinderung eines unkontrollierten Auftretens von Stäuben
7	Anbauwerkzeug für die Trennung von metallischen Verbindungen

Mittels Soll-/ Ist-Vergleich erfolgte anschließend die Identifizierung des Entwicklungsbedarfs sowohl für Trägergeräte als auch für Anbauwerkzeuge. Die technischen Anforderungen stellten

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 26 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

hierbei den gewünschten Soll-Zustand für die Gerätschaften dar, die jeweiligen technischen Eigenschaften der Gerätschaft entsprachen dem Ist-Zustand.

Durch den Vergleich des Soll-Zustands mit dem Ist-Zustand wurden die bisher nicht erfüllten technischen Eigenschaften aufgezeigt und somit der Entwicklungsbedarf für die jeweilige Gerätschaft definiert. Folglich wurde auch überprüft, welche technischen Anforderungen erfüllt wurden, bzw. hinsichtlich welcher Merkmale die Gerätschaft bereits geeignet war, um für die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II eingesetzt zu werden.

Folgende Trägergeräte (Tabelle 8) und Anbauwerkzeuge (Tabelle 9) wurden einem detaillierten Soll-/ Ist-Vergleich unterzogen:

Tabelle 8: Einordnung der Trägergeräte nach Verfahrenschritten

Trägergeräte	Trägergerätgruppe	VS1	VS2	VS3	VS4
Atlas Copco Scooptram EST3.5	Fahrlader				●
Atlas Copco Scooptram ST2G	Fahrlader				●
Bobcat T870	Kompaktlader	●	●		
Brokk 800S	Abbruchroboter	●	●	●	●
DTA Trailer (FTS)	Fahrerloses Transportsystem				●
Herbst Arktur II	Schwerlaststapler		●	●	●
Hitachi ZX140W-3	Mobilbagger	●	●	●	●
IBS SM100	Teilschnittmaschine	●			
Komatsu PC190LC-8	Raupenbagger	●	●	●	●
Kontinuierlicher Förderer	Stationäres Fördersystem				●
Liebherr LR614	Laderraupe			●	●
Liebherr TL451-13	Teleskoplader		●	●	●
Mecalac 10MCR	Kompaktbagger	●	●	●	●
Menzi Muck M340	Schreitbagger	●	●	●	●
MKF CS 220E	Schwerlaststapler		●	●	●
Paus 853 S8	Scaler	●	●	●	●
Paus Universa 50-2	Wechselader				●
Terex TC125T	Tunnelbagger	●	●	●	●
TML Unidachs 200R	Teleskopbagger	●	●	●	●
Unic Cranes URW-706	Minikran		●		
Brokk 100	Abbruchroboter	●	●	●	●
Husqvarna DXR 300	Abbruchroboter	●	●	●	●

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 27 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

Tabelle 9: Einordnung der Anbauwerkzeuge nach Verfahrensschritten

Anbauwerkzeuge	VS1	VS2	VS3	VS4
Fassgreifer		●		
Fasskipklammer		●		
Gitterlöffel/Gitterschaufel		●		
Hydraulikfräse	●			
Hydraulikhammer	●			
Hydraulikscherer für Stahl und Beton	●			
Tieflöffel/Verladeschaufel	●	●		
Magnetgreifer	●	●		
Pneumatische Förderanlage	●			
Reißzahn	●			
Roderechen	●			
Sortiergreifer		●		
Verladegabel		●	●	●
Vakuumgreifer		●		
Zweischalengreifer		●		

Bezüglich der überprüften Trägergeräte wurde festgestellt, dass einige der technischen Eigenschaften bereits erfüllt oder optional durch den Hersteller integriert werden können. Jedoch waren zum Zeitpunkt der Bearbeitung bei keiner der Gerätschaften alle Soll-Anforderungen erfüllt. Der Entwicklungsbedarf lag im Allgemeinen in der Überführung bereits auf dem Markt vorhandener Techniken in ein Gesamtsystem. Des Weiteren waren Modifizierungen notwendig, die sich aus den Randbedingungen der Fernhantierung und Automatisierung ergaben.

Auch in Bezug auf die auf dem Markt verfügbaren Anbauwerkzeuge konnte festgehalten werden, dass diese bereits einen großen Bereich abdecken und für verschiedene Randbedingungen eingesetzt werden können. Hinsichtlich der spezifischen Randbedingungen für die Rückholung der Gebinde aus der Schachtanlage Asse II lagen aber noch Entwicklungsbedarfe vor, welche beispielsweise die Verkleinerung der Abmessungen von vorhandenen Anbauwerkzeugen betreffen. Darüber hinaus wurde im Hinblick auf notwendige Modifizierungen und Neuentwicklungen unter anderem der Bedarf von Anbauwerkzeugen aufgezeigt, die ein definiertes Auseinanderdrücken von Gebinden zur Aufhebung eines möglichen Verbundes mit der Umgebung ermöglichen. Auch notwendige Entwicklungen im Hinblick auf das Auftreten einer unkontrollierten Staubbildung während des Rückholprozesses wurden angesprochen.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde in Anlage 1 des 5. Zwischenberichtes eine Zeit- und Kostenschätzung für ausgewählte Gerätschaften erstellt, die den damit verbundenen Aufwand zur Entwicklung und Modifizierung aufzeigt. Hierfür wurde eine Bewertungsmatrix erstellt, welche mittels unterschiedlicher Wichtungen, die zu favorisierenden Gerätschaften ermittelt. Im Anschluss daran, wurden die zu favorisierenden Trägergeräte und Anbauwerkzeuge, hinsichtlich deren Weiterentwicklung und Realisierungsmöglichkeit mit Hinblick auf den Zeit- und Kostenaufwand, näher betrachtet.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 28 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		Stand: 18.05.2016

## 3 GESAMTZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

In den Arbeitspaketen 1 und 2 der Studie wurden, um einen allgemeinen Überblick über die Schachtanlage Asse II zu erhalten, die vorliegenden Gegebenheiten näher betrachtet. Außerdem wurde für die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II eine verfahrenstechnische Kette definiert, die in vier Verfahrensschritte (VS) unterteilt ist.

Im Anschluss wurde im Bereich der für den Rückbau von Kernkraftwerken eingesetzten Technologien, nach für die Rückholung der radioaktiven Abfälle geeigneten Technologien recherchiert. Die recherchierte Maschinenteknik wurde in einer allgemeinen Geräteliste mit den wichtigsten Kenndaten aufgelistet und kategorisiert. Anhand der in einer erarbeiteten Aktionsmatrix identifizierten Aktionsbeschreibungen wurden die entsprechenden Gerätschaften und Werkzeuge bestimmt, die zur Ausführung der jeweiligen Aufgabe besonders geeignet erscheinen; diese wurden in einer Gerätematrix zusammengestellt. Auf Grundlage dieser Gerätematrix wurden die als zweckmäßig erachteten Gerätschaften und Werkzeuge in Form des 1. Zwischenberichts vorgestellt.

Im Arbeitspaket 2a wurde daraufhin ein Material (Steinsalzbeton) entwickelt, welches ähnliche Eigenschaften wie das in der Schachtanlage Asse II zur Verfüllung genutzte und zwischenzeitlich voraussichtlich verfestigte Salzgrus aufwies. Somit konnten einige der zuvor identifizierten Geräte und Werkzeuge im Rahmen von Vorversuchen auf ihre grundsätzliche Eignung zum „Freilegen und Lösen“ von Gebinden aus einem Steinsalzbeton erprobt werden.

Hierzu wurden einerseits Versuche zum Freilegen und Lösen und andererseits Zugversuche durchgeführt. Die dabei erarbeiteten Ergebnisse wurden im Rahmen des 2. Zwischenberichts dokumentiert.

In den Arbeitspaketen 3 und 4 wurden in einem ersten Schritt Anforderungen festgelegt, welche die Maschinenteknik unter den Randbedingungen der Schachtanlage Asse II zu erfüllen hat. Diese Anforderungen wurden in maschinenspezifische Bewertungskriterien übersetzt und dazugehörige Bewertungsmerkmale und Bewertungsmaßstäbe definiert. Da die Aufgaben während der Rückholung komplex und teilweise höchst unterschiedlich sind, wurden in einem weiteren Schritt Fallkombinationen erarbeitet, mit deren Hilfe denkbare und relevante Begebenheiten der Schachtanlage Asse II abgebildet werden konnten. Nach der Auswahl der zu jeder Fallkombination passenden Maschinenteknik wurde deren Bewertung anhand eines dreistufigen Bewertungssystems durchgeführt. Die daraus gewonnenen Resultate wurden im 3. Zwischenbericht festgehalten.

Arbeitspaket 3a enthielt die Untersuchung der Machbarkeit der Rückholung der radioaktiven Abfälle durch einen „Schildvortrieb mit Teilflächenabbau“. Hierfür wurden verschiedene Verfahren betrachtet und bewertet, um daraufhin eine favorisierte Schildmaschine und ein entsprechendes Rückholkonzept grob zu konzipieren. Die Vorstellung der Ergebnisse erfolgte im 4. Zwischenbericht.

In den Arbeitspaketen 5 und 6 wurden Entwicklungsbedarfe für ausgewählte, auf dem Markt verfügbare Maschinenteknik identifiziert. Hierfür wurden technischen Anforderungen an die Geräte definiert (Soll-Zustand), die anschließend den technischen Eigenschaften (Ist-Zustand) gegenübergestellt wurden. Durch diesen Soll-/ Ist-Vergleich wurden die bisher nicht erfüllten technischen Eigenschaften aufgezeigt und somit die Entwicklungsbedarfe für die jeweilige Gerätschaft definiert. Aufbauend auf den im Rahmen des 5. Zwischenberichts dargestellten Ergebnissen wurde in Anlage 1 des 5. Zwischenberichtes eine Zeit- und Kostenschätzung für ausgewählte Gerätschaften erstellt, die den damit verbundenen Aufwand zur Entwicklung und Modifizierung aufzeigt. Hierfür wurde eine Bewertungsmatrix erstellt, welche mittels unterschiedlicher Wichtungen, die zu favorisierenden Gerätschaften ermittelt. Im Anschluss daran, wurden die zu favorisierenden Trägergerä-

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 29 von 31	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN			
9A	23431000	GHB	RB	0045	00			Stand: 18.05.2016

te und Anbauwerkzeuge, hinsichtlich deren Weiterentwicklung und Realisierungsmöglichkeit mit Hinblick auf den Zeit- und Kostenaufwand, näher betrachtet.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass es potentiell geeignete Standardwerkzeuge und Maschinen gibt, die grundsätzlich geeignet scheinen, um die verschiedenen Anforderungen in Bezug auf die Rückholung zu erfüllen. Allerdings bedarf es weiterer Anpassung und Modifikationen dieser Gerätschaften, damit alle die Schachanlage Asse II betreffenden Anforderungen erfüllt werden können. Vor allem der Überführung der bereits auf dem Markt vorhandenen Techniken in ein Gesamtsystem sollte Beachtung geschenkt werden. Eine geeignete Alternative könnte hierbei ein „Schildvortrieb mit Teilflächenabbau“ darstellen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 30 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RB	0045	00	Stand: 18.05.2016

## 4 AUSBLICK

Aus den im Rahmen der Gesamtstudie angenommenen Rückholtätigkeiten ergeben sich besondere Randbedingungen, für die bisher keine Erfahrungen aus vergleichbaren Fällen vorliegen. Die Neuentwicklung von Gerätschaften und deren Validierung stellen daher einen wesentlichen Teil des Entwicklungsprozesses dar. Entsprechend sind praxisnahe Voruntersuchungen zur Klärung noch offener Randbedingungen frühzeitig umzusetzen.

Insbesondere gilt dies für die Untersuchung von prototypischen Gerätschaften unter möglichst realitätsnahen Gegebenheiten der Schachtanlage Asse II. Im Zuge dieses Prozesses kann der Entwicklungsbedarf konkretisiert und geeignete Gerätschaften entwickelt werden. Neben der Untersuchung von prototypischen Entwicklungen stellt zudem die fernhantierte Rückholung einen wesentlichen Schwerpunkt dieser Untersuchungen dar.

Aufbauend auf dieser Studie sind daher Aspekte der Rückholung der Gebinde aus der Schachtanlage Asse II detaillierter zu betrachten. Dabei ist die Nachbildung von verschiedenen realitätsnahen Szenarien durchzuführen und die möglichen Fälle zu simulieren. Die hierfür notwendigen Untersuchungen lassen sich im Einzelnen, insbesondere aus den technischen Anforderungen sowie den möglichen Fallkombinationen dieser Studie, ableiten.

Da der Genehmigungsprozess im Hinblick auf beispielsweise strahlenschutz- oder bergrechtliche Bestimmungen zeitintensiv ausfallen kann, bietet sich die Qualifizierung der Rückholtechniken im Rahmen von Technikumsversuchen an, entsprechende Stellen und Gutachter frühzeitig in den Entwicklungsprozess mit einzubeziehen. Somit können Anpassungen hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit frühzeitig geplant und durchgeführt werden.

Eine Erprobungsumgebung bietet zusätzlich den Vorteil, neuartige Verfahren für die Rückholung zu untersuchen. So kann beispielsweise das Potential eines Saugbaggers für das Freilegen und Lösen von unbeschädigten Gebinden aus nicht verfestigtem Versatzmaterial entsprechend überprüft werden, um hieraus ein geeignetes Gerät zu entwickeln. Die hierfür notwendigen Untersuchungen unter Variation der Saugleistung und Geometrie des Werkzeugs sind unabhängig von den besonderen Randbedingungen der Schachtanlage Asse II durchführbar.

Die Umsetzung der Ergebnisse dieser Studie in Form von Technikumsversuchen und einer Erprobungsumgebung trägt daher zum erfolgreichen Abschluss dieser Studie bei und stellt einen nachhaltigen Gewinn für die Planung und Durchführung der Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II dar.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 31 von 31
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 18.05.2016
9A	23431000	GHB	RB	0045	00		

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] DMT GmbH & Co. KG, TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG, „Beurteilung der Möglichkeit einer Rückholung der LAW-Abfälle aus der Schachtanlage Asse,“ 2009.
- [2] DBE Technology GmbH, „Sachstandbeschreibung; Beschreibung des Grubengebäudes und der Tagesanlagen der Schachtanlage Asse II,“ 2009.
- [3] Institut für Gebirgsmechanik GmbH, „Tragfähigkeitsanalyse des Gesamtsystems der Schachtanlage Asse in der Betriebsphase,“ Leipzig, Oktober 2006.
- [4] Bundesamt für Strahlenschutz, „4. Zwischenbericht - Machbarkeitsstudie für die Methode „Schildvortrieb mit Teilflächenabbau“, Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II,“ 2015.