



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	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

Titel der Unterlage:

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

Ersteller/in:

KIT,

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person:

\_\_\_\_\_  
Datum und Unterschrift

Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person:

\_\_\_\_\_  
Datum und Unterschrift

Freigabe im Projekt/Betrieb:

\_\_\_\_\_  
Datum und Unterschrift

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	RA	0027	00	Stand:

Titel der Unterlage:  
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

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer/in (Zeichn.)	Rev. 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

 		<b>Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II – Schildvortrieb</b>				
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 1 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

#### **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**

**Herrenknecht AG  
im Auftrag des  
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen (TMRK)**



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 2 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

### 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:

Internet: [www.herrenknecht.de](http://www.herrenknecht.de)

Co-Autoren:

Internet: [www.tmb.kit.edu](http://www.tmb.kit.edu)

Abbildungen: Dem Ersteller 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.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 3 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

## 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



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 4 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

### KURZFASSUNG

Ersteller:

Co-Autoren:

Titel: 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,

Stand: 13.05.2015

Das KIT wurde vom BfS beauftragt, eine Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Asse II durchzuführen. Im Rahmen des Arbeitspaketes 3a dieser Studie erfolgt die Untersuchung der Machbarkeit der Rückholung der radioaktiven Abfälle mit der Methode „Schildvortrieb mit Teilflächenabbau“. Die Herrenknecht AG wurde mit der Erstellung dieser Machbarkeitsstudie betraut. Diese beinhaltet insbesondere berg- und tunnelbautechnische sowie atomrechtliche Gesichtspunkte. Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie werden im vorliegenden 4. Zwischenbericht dargestellt.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 5 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

### ABSTRACT

Authors:

Co-Authors:

Title: 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,

Status: 13.05.2015

The KIT was assigned by the BfS to carry out a study on feasibility and development needs of machines and tools for the use in the pit Asse II. Within framework of this study the present working package 3a examines the feasibility to recover low active nuclear waste by the method “shield tunnelling with partial face excavation”. Herrenknecht AG was awarded to carry out this feasibility study. The working package 3a comprises in particular techniques for recovery and tunnelling as well as aspects of the nuclear law. The results of the feasibility study are summarized in the 4. interim report at hand.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 6 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>6</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>10</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>13</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>14</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>16</b>
1.1 AUSGANGSLAGE .....	16
1.2 ÜBERSICHT DER ARBEITSPAKETE .....	17
1.3 ZIELSETZUNG .....	18
1.4 ABGRENZUNG .....	18
1.5 GLIEDERUNG .....	19
1.6 VORGEHENSWEISE .....	19
1.7 BEGRIFFLICHKEITEN .....	20
<b>2 GRUNDLAGEN/RAHMENBEDINGUNGEN</b> .....	<b>21</b>
2.1 EINLAGERUNGSBEREICHE .....	21
2.1.1 Einlagerungsbereiche auf der 725-m-Sohle .....	23
2.1.2 Einlagerungsbereiche auf der 750-m-Sohle .....	24
2.1.3 Geometrische Abmessungen der Einlagerungsbereiche .....	25
2.1.4 Einlagerungstechnik und Inhalt der Einlagerungskammern .....	26
2.1.5 Zustand der Einlagerungsbereiche .....	28
2.1.6 Prognostizierte Situation zum Zeitpunkt der Bergung .....	29
2.2 ABFALLGEBINDE .....	30
2.2.1 Gebindeart .....	30
2.2.2 Gebindeinhalt .....	31
2.2.3 Gebindeanzahl .....	32
2.2.4 Gebindezustand .....	32
2.3 RADIOAKTIVITÄT .....	33
2.3.1 Strahlenschutzbereiche .....	33
2.3.2 Strahlenschutzmaßnahmen .....	34
2.4 PLANUNGSSTAND FÜR DIE RÜCKHOLUNG .....	35
2.5 ANFORDERUNGEN AN GERÄTSCHAFTEN .....	36
2.6 GEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE BEDINGUNGEN .....	36
2.6.1 Geologie und Bergungsmaterial auf der 750-m-Sohle .....	37
2.6.2 Geologie und Bergungsmaterial auf 725-m-Sohle .....	46
2.6.3 Deckgebirgsschichten im Bereich der Südflanke .....	48
2.6.4 Annäherung an das Deckgebirge .....	48
2.6.5 Hydrogeologische Verhältnisse .....	49
2.6.6 Gebirgsmechanische Situation .....	56



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 7 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

2.7	TUNNELBAUTECHNISCHE EINSCHÄTZUNG .....	59
2.7.1	Gesteinsdruckfestigkeit .....	59
2.7.2	Konvergenzen .....	60
2.7.3	Spannungen .....	60
2.7.4	Gebirgssicherung und Hohlraumverfüllung .....	61
2.7.5	Lösungszutritte .....	61
2.7.6	Chemische Zusammensetzung der Salzlösungen .....	62
2.7.7	Gase und Gaskonzentrationen .....	62

### 3 BESCHREIBUNG BESTEHENDER MASCHINELLER VORTRIEBS- UND ABTEUFVERFAHREN ..... 63

3.1	SCHILDVORTRIEB MIT TEILFLÄCHENABBAU .....	63
3.1.1	Schildvortrieb mit Teilflächenabbau ohne Ortsbruststützung .....	64
3.1.2	Schildvortrieb mit Teilflächenabbau mit mechanischer Teilstützung .....	64
3.1.3	Schildvortrieb mit Teilflächenabbau mit Druckluftstützung .....	65
3.1.4	Schildvortrieb mit Teilflächenabbau mit Flüssigkeitsstützung .....	65
3.2	SCHACHTBOHREN – MASCHINELLES TEUFEN OHNE VORBOHRLOCH .....	66

### 4 UNTERSUCHUNG UND BEWERTUNG VON VORTRIEBS-/ ABTEUFVARIANTEN ..... 69

4.1	SCHILDVORTRIEBSTECHNIK .....	69
4.2	VARIANTE I – SCHILDVORTRIEB, L = 890 M .....	71
4.2.1	Variante I a – Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 890 m .....	73
4.2.2	Variante I b – Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 890 m .....	74
4.3	VARIANTE II – SCHILDVORTRIEB, L = 40 M .....	75
4.3.1	Variante II a – Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 40 m .....	76
4.3.2	Variante II b – Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 40 m .....	77
4.4	VARIANTE III – SCHACHTABSENKEN, D = 5 X 5 M, T = 25 M .....	78
4.5	VARIANTE IV – SCHILDVORTRIEB, D = 10 X 6 M, L = 890 M .....	80
4.6	VARIANTENBEWERTUNG .....	82
4.7	FAVORISIERTE VARIANTE DER METHODE SCHILDVORTRIEB .....	91

### 5 ENTWURF EINES RÜCKHOLKONZEPTEES DURCH SCHILDVORTRIEBE MIT TEILFLÄCHENABBAU ..... 92

5.1	ANSATZ .....	92
5.2	VORTRIEBSKONZEPT .....	92
5.3	RÜCKHOLKONZEPT .....	94
5.4	KONZEPTION EINER SCHILDMASCHINE MIT TEILFLÄCHENABBAU .....	96
5.5	BERGUNG DER GEBINDE .....	100
5.5.1	Freilegen und Lösen .....	101
5.5.2	Greifen und Anheben .....	102
5.6	FÖRDERUNG UND TRANSPORT .....	103
5.6.1	Förderung und Verpackung von Gebinden .....	104
5.6.2	Transportbehälter zur Gebindeförderung .....	108
5.6.3	Abfordern von Material ohne Transportbehälter .....	109
5.7	WERKZEUGWECHSEL .....	109
5.8	AUSBAU UND SICHERUNG .....	111
5.8.1	Herstellung der Tunnelauskleidung mit Extrudierbeton .....	112
5.8.2	Hohlraumverfüllung durch Spritzbeton .....	113
5.8.3	Verfüllung der Schildschwanzfuge .....	116
5.8.4	Abdichtung des Schildschwanzes .....	117
5.9	BEDIENUNG DER SCHILDMASCHINE .....	117



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 8 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

5.10	VORSCHUB DER SCHILDMASCHINE .....	118
5.11	BEWETTERUNG .....	119
5.12	ENTSTAUBUNG .....	119
5.13	STRAHLENSCHUTZ/STRAHLENEXPOSITION .....	120
5.13.1	Schutz vor Direktstrahlung .....	120
5.13.2	Schutz vor Inhalation von radioaktiven Stoffen .....	120
5.13.3	Schutz vor Kontamination .....	121
5.13.4	Schutz von Personen .....	121
5.14	GEBIRGSERTÜCHTIGUNG, VORPFÄNDEN, ABDICHTEN .....	121
5.15	WARTUNG .....	121
5.16	SICHERHEIT .....	122
5.16.1	Fluchtwege .....	122
5.16.2	Störfallanalyse .....	122
5.17	VORAUERKUNDUNG .....	126
5.18	GAS .....	127
5.19	ZEIT- UND KOSTENPLANUNG .....	127
5.19.1	Vortriebsleistung .....	127
5.19.2	Kostenschätzung .....	128
5.20	AUSLEGUNGSÜBERSCHREITENDER LÖSUNGSZUTRITT .....	128
5.21	ENTWICKLUNGSBEDARF .....	128

## **6 INFRASTRUKTUR FÜR EINEN SCHILDVORTRIEB..... 130**

6.1	BAUSTELLENEINRICHTUNG .....	130
6.1.1	Förderung und Transport .....	131
6.1.2	Energieversorgung .....	131
6.1.3	Wasserversorgung .....	132
6.1.4	Kühlwasserkreislauf .....	132
6.1.5	Baustoffmischanlage .....	133
6.1.6	Abwasserentsorgung .....	133
6.2	MONTAGE .....	133
6.3	DEMONTAGE .....	137

## **7 ZUSAMMENFASSUNG..... 139**

## **LITERATURVERZEICHNIS..... 141**

## **GLOSSAR..... 146**

Gesamtseitenzahl: 148



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 9 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Stichworte: Asse, Rückholung, Bergung, Vortrieb, Schild, Schildvortrieb, Schildmaschine, Teilflächenabbau, Abbau, Tunnelbohrmaschine, Herrenknecht, KIT, Tunnelvortriebstechnik, Tunnelbau, Geologie, Rückholkonzept, Ausbau, Lösen, Freilegen, Greifen, Anheben, Fördern, Transport

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 10 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

### ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: 3-D-Ansicht der Schachanlage Asse II; Blickrichtung von NO nach SW [8] (rot sind die ELK dargestellt).....	21
Abbildung 2: 3-D-Ansicht der Schachanlage Asse II mit Einlagerungsbereichen (rot); Blickrichtung von S nach N [9] (rot sind die ELK dargestellt).....	22
Abbildung 3: 3-D-Ansicht des Einlagerungsbereichs auf der 725-m- und der 750-m-Sohle; Blickrichtung von N nach S [9] (rot sind die ELK dargestellt).....	22
Abbildung 4: Sohlenriss 725-m-Sohle; Zugang ELK 7/725 über Wendelstrecke entsprechend Risswerk [10]/[11]; modifiziert durch Verfasser .....	24
Abbildung 5: Sohlenriss 750-m-Sohle; ELK und Zugangsbereiche entsprechend Risswerk [12] bis [14]; modifiziert durch Verfasser .....	25
Abbildung 6: Prinzipskizze des Querschnitts der ELK [7] .....	26
Abbildung 7: Lage der ELK und Darstellung der Einlagerungstechnik auf Basis von [12] bis [14] und modifiziert durch Verfasser entsprechend Angaben aus [5], S. 29 und [6], S. 128.....	27
Abbildung 8: Einlagerungssituation mit Gebinden im Salzgrus, ELK 7, 725-m-Sohle, Aufnahme aus dem Jahr 2008 [15] .....	28
Abbildung 9: Schematische Darstellung der Strahlenschutzbereiche unter Tage bei einer geöffneten ELK [5].....	34
Abbildung 10: Überlagerung von Sohlenriss und Geologie auf der 750-m-Sohle [12] bis [14], [38].....	38
Abbildung 11: Geologische Querprofile von SW nach NO mit Schnitten 14, 2 und 22 nach [41] bis [43] .....	39
Abbildung 12: Geologische Vertikalschnitte von SW nach NO mit Schnitten 14, 2 & 22 auf 725-m- und 750-m-Sohle nach [41] bis [43], modifiziert durch Verfasser .....	43
Abbildung 13: Überlagerung von Sohlenriss und Geologie auf der 725-m-Sohle [10] bis [11] und [37].....	46
Abbildung 14: Schematische Darstellung der Fließpfade der Lösungen im Bereich der Abbaureihe 3, projiziert in den Schnitt 16 [2].....	50
Abbildung 15: Grundwasserzufluss in einen dränierten Tunnel gemäß KOLYMBAS [54].....	51
Abbildung 16: Primäre Lösungszutritte in ELK auf 750-m-Sohle nach KOLYMBAS [54] .....	52
Abbildung 17: Schematische Darstellung des Laugenflusses und der Laugenaustrittsstellen [2].....	54
Abbildung 18: Sekundäre Austrittsstellen im Nahbereich der ELK 8 und 4 der 750-m-Sohle gemäß [10] bis [14], modifiziert durch Verfasser.....	55
Abbildung 19: Festigkeitskurven (Differenz aus aufnehmbare Axialspannung und konstantem Manteldruck, oben) und Verlauf der Auflockerung (positive Volumenverformung oder Dilatanz, unten) von Steinsalzprüfkörpern bei unterschiedlichen Manteldrücken [35], S. 13 .....	58
Abbildung 20: Räumliche Verteilung der minimalen Spannungsmesswerte, Blickrichtung von S nach N entsprechend [62], S. 359 .....	59
Abbildung 21: Abschälen von Salzgestein mit Rissen im Bereich erhöhter Spannungen im Nahbereich der ELK9/750 [Bildquelle Herrenknecht AG] .....	60
Abbildung 22: Übersicht der Schilde mit Teilflächenabbau [57].....	64
Abbildung 23: Vertical Shaft Sinking Machine (VSM) mit Segmentausbau [Bildarchiv Herrenknecht AG] .....	67
Abbildung 24: Ansicht der Schildmaschine beim Auffahren der ELK [Bildquelle Herrenknecht AG].....	70



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 11 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Abbildung 25: Frontansicht der Schildmaschine [Bildquelle Herrenknecht AG].....	70
Abbildung 26: Rückansicht der Schildmaschine [Bildquelle Herrenknecht AG].....	71
Abbildung 27: Vortriebsvariante I: Längsschnitt der Auffahrstrecke für Schildvortrieb, [39] modifiziert durch Verfasser.....	72
Abbildung 28: Vortriebsvariante I: Grundriss der Auffahrstrecke für Schildvortrieb, [38] modifiziert durch Verfasser.....	73
Abbildung 29: Vortriebsvariante I b: Ansicht der Schildmaschine (5 x 6 m) beim Auffahren der ELK [Bildquelle Herrenknecht AG].....	74
Abbildung 30: Vortriebsvariante II: Grundriss der Auffahrstrecke für Schildvortrieb, [38] modifiziert durch Verfasser.....	75
Abbildung 31: Vortriebsvariante II a: Längsschnitt der Auffahrstrecke für Schildvortrieb, Bildquelle BfS modifiziert durch Verfasser.....	76
Abbildung 32: Vortriebsvariante II b: Längsschnitt der Auffahrstrecke für Schildvortrieb, Bildquelle BfS modifiziert durch Verfasser.....	77
Abbildung 33: Vortriebsvariante III: Ansicht der Abteuftechnik mit Schachtmaschine (grün) sowie Schachtauskleidung und Einrichtung [Bildquelle Herrenknecht AG].....	78
Abbildung 34: Vortriebsvariante III: Querschnitt der Abteuftechnik, Bildquelle BfS modifiziert durch Verfasser.....	79
Abbildung 35: Vortriebsvariante IV: Frontansicht der Schildmaschine [Bildquelle Herrenknecht AG].....	80
Abbildung 36: Vortriebsvariante IV: Materialumschlag [Bildquelle Herrenknecht AG].....	81
Abbildung 37: Vortriebsvariante IV: Rückansicht der Schildmaschine [Bildquelle Herrenknecht AG].....	81
Abbildung 38: Längsschnitt des Schildvortriebskonzepts, [39] modifiziert durch Verfasser.....	93
Abbildung 39: Grundriss des Schildvortriebskonzepts, [38] modifiziert durch Verfasser.....	94
Abbildung 40: Frontansicht der Schildmaschine mit Teilflächenabbau [Bildquelle Herrenknecht AG].....	97
Abbildung 41: Frontansicht der Schildmaschine mit Geometrie der Abschirmwand [Bildquelle Herrenknecht AG].....	98
Abbildung 42: Rückansicht der Schildmaschine mit Teilflächenabbau [Bildquelle Herrenknecht AG].....	99
Abbildung 43: Einbauten und Maschinenausrüstung der Schildmaschine mit Teilflächenabbau [Bildquelle Herrenknecht AG].....	100
Abbildung 44: Fräsversuche zum Freilegen von Gebinden in Steinsalzbeton [56].....	101
Abbildung 45: Versuche mit Hydraulikhammer zum Freilegen von Gebinden in Steinsalzbeton [56].....	101
Abbildung 46: Versuche mit Nukleargreifer zum Greifen und Anheben von Gebinden [56].....	102
Abbildung 47: Förderweg des Transportbehälters von der Abbaukammer zum Tunnel [Bildquelle Herrenknecht AG].....	104
Abbildung 48: Beladen des Transportbehälters mit Abfallgebinden [Bildquelle Herrenknecht AG].....	105
Abbildung 49: Zoneneinteilung nach dem Verschließen des Transportbehälters [Bildquelle Herrenknecht AG].....	106
Abbildung 50: Umschlag des Transportbehälters und Zoneneinteilung [Bildquelle Herrenknecht AG].....	108
Abbildung 51: Entwurf für Transportbehälter [Bildquelle Herrenknecht AG].....	109
Abbildung 52: Werkzeugwechselsystem [Bildquelle Herrenknecht AG].....	110



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 12 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Abbildung 53: Zuführung von Werkzeugen und Verbrauchsstoffen mit Nummerierung der Prozesschronologie [Bildquelle Herrenknecht AG].....	111
Abbildung 54: Herstellung der Tunnelröhren mit Extrudierbeton [Bildquelle Herrenknecht AG].....	113
Abbildung 55: Spritzbetonauftrag zur Hohlraumverfüllung [Bildquelle Herrenknecht AG].....	115
Abbildung 56: Verfüllung der Schildschwanzluft [Bildquelle Herrenknecht AG].....	116
Abbildung 57: Steuerstand der Schildmaschine mit Teilflächenabbau [Bildquelle Herrenknecht AG] .....	117
Abbildung 58: Beispiel für Steuerkabine und fernhantierte Steuerung einer Tunnelbohrmaschine, Projekt Dublin Port Tunnel [Bildarchiv Herrenknecht AG] .....	118
Abbildung 59: Steuerung der Schildmaschine mit Vortriebszylindern [Bildquelle Herrenknecht AG].....	119
Abbildung 60: Baustelleneinrichtung für Schildvortrieb, [38] modifiziert durch Verfasser.....	130
Abbildung 61: Montagesituation für den Aufbau der Schildmaschine [Bildquelle Herrenknecht AG] .....	134
Abbildung 62: Montagekaverne mit Schildmaschine [Bildquelle Herrenknecht AG].....	135
Abbildung 63: Anfahrsequenz für Schildvortrieb mit Teilflächenabbau [Bildquelle Herrenknecht AG] .....	136
Abbildung 64: Grundriss der Demontagekavernen, [38] modifiziert durch Verfasser .....	137



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 13 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Gesamtzahl der in den ELK lagernden Gebinde nach [5] .....	32
Tabelle 2: Ausbruchmaterialien an der Ortsbrust in der Südflanke (ELK 1-2, 4-8, 11-12) auf 750-m-Sohle .....	44
Tabelle 3: Ausbruchmaterialien an der Ortsbrust im Sattelkern (ELK Nr. 2 ) auf der 750-m-Sohle.....	45
Tabelle 4: Ausbruchmaterialien an der Ortsbrust im Sattelkern (ELK Nr. 7 ) auf der 725-m-Sohle.....	47
Tabelle 5: Unmittelbar entlang der Südflanke anstehende Deckgebirgsschichten auf Höhe der 725-m- und der 750-m-Sohle .....	48
Tabelle 6: Durchschnittswerte für 2012 der täglich gefassten Salzlösungsmengen in der Südflanke nach [61] .....	53
Tabelle 7: Variantenbewertung.....	83
Tabelle 8: Mögliche Störfälle beim Schildvortrieb mit Teilflächenabbau in den ELK .....	123



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 14 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>Abb.</b>	Abbildung
<b>ABergV</b>	Allgemeine Bundesbergverordnung, zuletzt geändert 24. Februar 2012
<b>ABVo</b>	Allgemeine Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen
<b>Anl.</b>	Anlage
<b>AÜL</b>	Auslegungsüberschreitender Lösungszutritt
<b>AtG</b>	Atomgesetz
<b>BfS</b>	Bundesamt für Strahlenschutz
<b>Bq</b>	Becquerel
<b>cm</b>	Zentimeter
<b>CNC</b>	Computerized Numerical Control
<b>DAUB</b>	Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V.
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung e. V.
<b>dm</b>	Dezimeter
<b>E<sub>young</sub></b>	Elastizitätsmodul
<b>ELK</b>	Einlagerungskammer
<b>FEM</b>	Finite-Elemente-Methode
<b>ff.</b>	fortfolgend
<b>ggf.</b>	gegebenenfalls
<b>GPa</b>	Gigapascal
<b>IFG</b>	Institut für Gebirgsmechanik Leipzig
<b>KIT</b>	Karlsruher Institut für Technologie
<b>kN</b>	Kilonewton
<b>KTA</b>	Kerntechischer Ausschuss
<b>kW</b>	Kilowatt
<b>kV</b>	Kilovolt



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 15 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

<b>l</b>	Liter
<b>m</b>	Meter
<b>m<sup>3</sup></b>	Kubikmeter
<b>min</b>	Minute
<b>mm</b>	Millimeter
<b>MPa</b>	Megapascal
<b>mSv</b>	Millisievert
<b>N</b>	Nord
<b>NO</b>	Nordost
<b>nVBA</b>	Gebinde ohne verlorene Betonabschirmung
<b>O</b>	Ost
<b>S</b>	Süd
<b>SW</b>	Südwest
<b>S.</b>	Seite
<b>StrlSchV</b>	Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Gesetz vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)
<b>StrlSchO</b>	Strahlenschutzordnung der Schachtanlage Asse II, Stand vom 12.11.2009
<b>t</b>	Tonne
<b>UTK</b>	Umverpackungs- und Teilkonditionierungsanlage
<b>V</b>	Volt
<b>VBA</b>	Verlorene Betonabschirmung
<b>VSM</b>	Vertical Shaft Sinking Machine
<b>Tab.</b>	Tabelle
<b>TBM</b>	Tunnelbohrmaschine
<b>W</b>	West
<b>3-D</b>	Dreidimensional



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 16 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

## 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. 125.800 Gebinde mit radioaktiven Abfällen auf drei unterschiedlichen Sohlen in insgesamt 13 Abbaue eingelagert [1].

Infolge des hohen Durchbauungsgrades an der Südflanke der Schachanlage Asse II konnte das angrenzende Nebengebirge um mehrere Meter in das Grubengebäude hinein konvergieren [6]. 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 12 m<sup>3</sup> pro Tag [2]. 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 Zutrittsrate, der Sättigungsgrad und die Austrittsrate der Lösung verändern können.

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), das die Anlage seit 2009 betreibt, hat im Rahmen eines Optionenvergleichs drei mögliche Stilllegungsoptionen für die Schachanlage Asse II untersucht. Im Ergebnis des Vergleichs wurde festgestellt, dass nach derzeitigem Kenntnisstand die vollständige Rückholung der Abfälle die bevorzugte Option darstellt [3]. Die entsprechende gesetzliche Regelung trat am 20. April 2013 durch die Lex Asse Inkraft und besagt: „Der § 57b des Atomgesetzes [4] regelt die gesetzliche Zielfestlegung der Rückholung der radioaktiven Abfälle als Vorzugsoption im Hinblick auf die sichere Stilllegung der Schachanlage Asse II.“ Allerdings bestehen bei der Option der Rückholung noch Wissenslücken und Unsicherheiten. Zur Beseitigung dieser Wissenslücken und Unsicherheiten sieht das BfS eine sogenannte Faktenerhebung vor. Diese soll in drei Schritten erfolgen: Im ersten Schritt werden zwei ausgewählte Einlagerungskammern (ELK) angebohrt, im zweiten Schritt geöffnet und im dritten Schritt erste Abfallgebände probeweise geborgen.

Eine Rückholung radioaktiver Abfälle aus einem Tiefenlager wurde bisher weltweit noch nicht durchgeführt. Es kann demnach nicht auf belastbare Informationen und Erfahrungen zurückgegriffen werden [1].

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. Im Zuge der Erstellung dieser Studie wurde ein Sonder-vorschlag erarbeitet, die Rückholung losgelöst von Einzelmaschinen mit Anbauwerkzeugen durchzuführen, indem die ELK mithilfe eines „Schildvortriebs mit Teilflächenabbau“ durchfahren und geräumt werden. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes gliedert sich die Studie in mehrere Arbeitspakete (AP), die im Folgenden dargestellt werden.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 17 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### 1.2 ÜBERSICHT DER ARBEITSPAKETE

#### AP1: 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.

#### AP2: Erstellung und Vorstellung eines Zwischenberichts

Die Ergebnisse aus Arbeitspaket 1 wurden in Form eines 1. Zwischenberichts dargestellt.

#### AP2a: 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 Arbeitspaket 1 identifizierten Geräte und Werkzeuge auf deren grundsätzliche Eignung beim Freilegen und Lösen von Gebinden erprobt und im Rahmen des 2. Zwischenberichts dargestellt.

#### AP3: Prüfung, welche der vorhandenen Techniken für die Rückholung der Abfälle aus der Schachtanlage Asse II geeignet sind

Anhand nachvollziehbarer Kriterien oder Begründungen wird dargelegt, welche der Rückbau-/Rückholtechniken für die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II geeignet sind.

#### AP3a: 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, deren Ergebnisse im vorliegenden 4. Zwischenbericht dargestellt werden.

#### AP4: Erstellung und Vorstellung eines Zwischenberichts

Die Ergebnisse aus Arbeitspaket 3 werden in Form eines 3. Zwischenberichts dargestellt.

#### AP5: Identifizierung notwendiger Entwicklungsbedarfe

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

#### AP6: Erstellung und Vorstellung eines Zwischenberichts

Die Ergebnisse aus Arbeitspaket 5 werden in Form eines 5. Zwischenberichts dargestellt.

#### AP7: Erstellung und Vorstellung eines Abschlussberichts

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 18 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Die Ergebnisse aus den Arbeitspaketen 1 bis 6 werden in Form eines Abschlussberichts zusammengefasst.

### **AP8: 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 Schachanlage Asse II zu erwartenden Einlagerungssituationen möglichst realitätsnah abgebildet werden.

### **AP9: Berichtserstellung inklusive Versuchsdokumentation (optional)**

Die Ergebnisse der Technikumsversuche werden in Form eines Versuchsberichtes dargestellt.

## **1.3 ZIELSETZUNG**

Das bisherige Konzept der vollständigen Rückholung der Abfallgebände aus Schachanlage Asse II sieht vor, die ELK zu öffnen, die Gebinde zu bergen und zu einer Schleuse zu transportieren. Dort sollen die Abfälle in Spezialcontainer verpackt und über einen noch abzuteufenden Schacht 5 nach über Tage gefördert werden.

Als mögliche Variante zur Rückholung und Bergung der radioaktiven Abfälle kommt der Vortrieb im Schutze eines Schildes mit Teilflächenabbau infrage. Der vorliegende Zwischenbericht soll es dem Bundesamt für Strahlenschutz ermöglichen, eine Entscheidung hinsichtlich der prinzipiellen Methode der Bergung der Gebinde aus den ELK der Schachanlage durch die Variante „Schildvortrieb mit Teilflächenabbau“ treffen zu können. Die technische Realisierbarkeit und Umsetzung eines „Schildvortriebes mit Teilflächenabbau“ soll die bergbaulichen, betrieblichen und strahlenschutztechnischen Randbedingungen berücksichtigen.

Folgende wesentliche Aspekte sind im Rahmen des Arbeitspaketes 3a zu untersuchen:

- die maschinelle, fernhantierte Bergung aller 124.486 Abfallgebände aus den zwölf ELK auf der 750-m- und 725-m-Sohle
- die Sicherung, Stabilisierung und Verfüllung geräumter Bereiche der ELK sowie der neu aufgefahrenen Bereiche im Grubengebäude
- der Transport der geborgenen Gebinde(-teile) innerhalb des Sperrbereichs bis zu einer Schleuse und Übergabe für die weitere „Bearbeitung“
- Berücksichtigung des gegenwärtigen Stands der Wissenschaft und Technik

## **1.4 ABGRENZUNG**

Im Rahmen des Arbeitspaketes 3a soll die Rückholung der radioaktiven Abfälle von der Gewinnung (Bergung der Gebinde) bis zur Übergabe der geborgenen Gebinde an einer Schleuse, die den Arbeitsbereich der Maschine (Sperrbereich) vom restlichen Grubengebäude trennt, untersucht werden. In die Betrachtung sind die für den Schildvortrieb erforderlichen Randbedingungen wie Infrastruktur, Baustelleneinrichtung, Montage- und Demontagesituation einzubeziehen. Die Bergung

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 19 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

der mittlerradioaktiven Abfallgebinde, die Konzeption von übertägigen Anlagen und das weitere Grubengebäude sind nicht Teil des Arbeitspaketes 3a.

## 1.5 GLIEDERUNG

Es werden die Grundlagen und Rahmenbedingungen herausgearbeitet, welche der vorliegenden Studie zugrunde liegen. Die Grundlagen umfassen Angaben zu den Einlagerungsbereichen, den Abfallgebänden, der Radioaktivität, dem Planungsstand für die Rückholung, den Anforderungen an Gerätschaften, den geologischen und hydrogeologischen Bedingungen sowie die tunnelbautechnische Einschätzung.

Es werden prinzipiell infrage kommende, maschinelle Vortriebsverfahren aufgezeigt und mögliche Vortriebs- und Abteufverfahren beschrieben. Die Vortriebs- und Abteufoptionen werden mit Blick auf die Eignung unter den gegebenen Randbedingungen untersucht und mit Blick auf die Rückholaufgabe bewertet.

Es wird mit einer favorisierten Vortriebsvariante ein Rückholkonzept im Schildvortrieb mit Teilflächenabbau entworfen, welches ein Vortriebs- und Rückholkonzept umfasst. Die Konzeption umfasst die Bergung der Gebinde, das Fördern und den Abtransport, den Ausbau und die Sicherung, den Werkzeugwechsel auf der Schildmaschine, die Bedienung der Schildmaschine, den Vorschub der Schildmaschine, die Bewetterung, die Entstaubung, den Strahlenschutz, die Gebirgsertüchtigung, die Wartung der Schildmaschine, die Sicherheit, die Vorauserkundung, Gas, die Zeit- und Kostenprognose, den Zustand auslegungsüberschreitender Lösungszutritte, sowie Entwicklungsbedarf bei der Rückholoption im Schildvortrieb.

Weiterhin wird die Infrastruktur für einen Schildvortrieb mit der Planung für eine Baustelleneinrichtung, der Montage und Demontage erörtert.

Abschließend folgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse.

## 1.6 VORGEHENSWEISE

Die Vorgehensweise für die Prüfung der Machbarkeit ist:

1. Erfassung, Auswertung, Beschreibung und Darstellung der derzeitigen Verhältnisse in der Schachanlage zur Definition der Rahmenbedingungen, der Ausgangssituation und der Grundlage
2. Beschreibung und Darstellung von relevanten Vortriebs- und Abteufverfahren sowie Bewertung technischer Lösungen
3. Untersuchung und Bewertung von relevanten Vortriebs- und Abteufverfahren entsprechend der aufgestellten Bewertungskriterien
4. Entwurf eines Rückholkonzeptes im Schildvortrieb durch Erörterung eines Konzeptes und einer Prozesskette zu Bergung, Förderung und Transport der Gebinde bis zu einer Schleuse, Konzeption eines Ausbaus und einer Sicherung des Hohlraums sowie Ableitung der zu berücksichtigenden Randbedingungen, Zeit- und Kostenplanung sowie Berücksichtigung der Infrastruktur
5. Zusammenfassung der Ergebnisse und Darstellung einer geeigneten Variante.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 20 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### 1.7 BEGRIFFLICHKEITEN

Im vorliegenden Zwischenbericht werden sowohl bergmännische Begriffe aus der Schachtanlage Asse II als auch tunnelbautechnisch spezifische Begriffe verwendet, die zum Verständnis des Inhalts gegebenenfalls einer Klärung bedürfen. Daher werden die wesentlichen projektspezifischen oder fachtechnischen Ausdrücke im Glossar kurz erläutert.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Bedeutungen dieser Begriffe im Textteil des Berichtes nicht erneut dargelegt.

Im Glossar aufgenommene Begriffe sind:

Abbau, Radioaktiver Abfall, Abfallgebinde, Abwetter, Anhydrit, AÜL, Bundesberggesetz, Bewetterung, Carnallit, Deckgebirge, Dosis, Dosisleistung, Einlagerungskammer, Firste, Gebinde, Gebirge, Gebirgsdruck, Grubengebäude, Konvergenz, Einlagerungsbereich, Lutte, Nuklid, Ortsbrust, Ortsdosis, Pfeiler, Radioaktivität, Radionuklid, Rötanhydrit, Rückholung, Salzspiegel, Schutzfluid, Schwebe, Sohle, Sorelbeton, Steinsalz, Störfall, Strahlenschutz, Strecke, Strahlenschutzverordnung, Verlorene Betonabschirmung, Verfüllen, Versatz, Verschlussbauwerk, Vorpfänden, Vortrieb, Wetter, Zutrittsstelle.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 21 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

## 2 GRUNDLAGEN/RAHMENBEDINGUNGEN

Die strahlen- und abfalltechnische, betriebstechnische sowie geologische bzw. gebirgsmechanische Situation in der Asse II wird in zahlreichen Berichten und Stellungnahmen umfanglich beschrieben. Im Hinblick auf die maschinelle Bergung der Abfälle werden im Folgenden daher ausschließlich die mit Blick auf einen Schildvortrieb relevanten Gegebenheiten in den Abbauen, ELK und Streckensystemen sowie die geologischen und hydrogeologischen Bedingungen im Nahbereich der 725-m- und der 750-m-Sohle behandelt.

Da die Bergung der mittelradioaktiven Gebinde auf der 511-m-Sohle, ELK 8a, nicht Teil der Untersuchungen ist, wird auf die Bergungsbedingungen im Umfeld der 511-m-Sohle nicht eingegangen.

Für eine detaillierte Darstellung der Gegebenheiten in der Schachtanlage Asse II wird auf die Bezugsquellen entsprechend dem Literaturverzeichnis verwiesen.

### 2.1 EINLAGERUNGSBEREICHE

Die Situation der Einlagerungsbereiche in der 725-m- und der 750-m-Sohle, bestehend aus den ELK, Zugängen sowie Verbindungen zum restlichen Grubengebäude, wird in [5], [6] und [7] ausführlich beschrieben.

Demzufolge sind im Steinsalzbaufeld der Südflanke in Abbaubereichen der 750-m-Sohle und im Baufeld Sattelkern auf der 725-m- und 750-m-Sohle radioaktive Gebinde eingelagert (Abbildung 1 bis Abbildung 3).



Abbildung 1: 3-D-Ansicht der Schachtanlage Asse II; Blickrichtung von NO nach SW [8] (rot sind die ELK dargestellt)

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 22 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

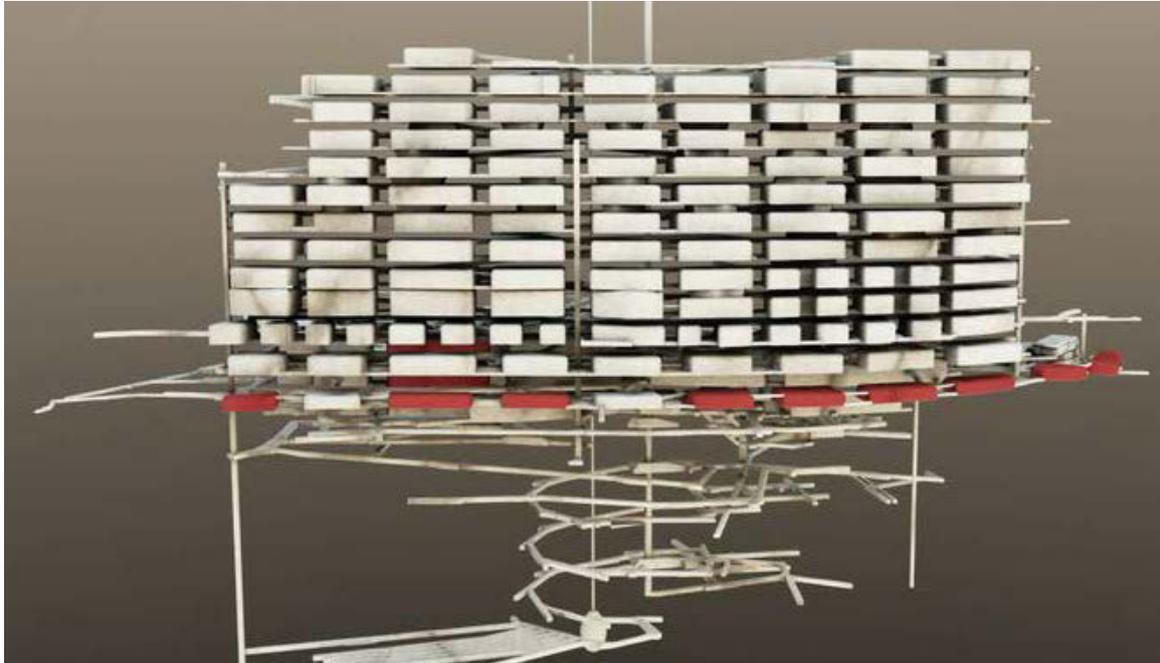


Abbildung 2: 3-D-Ansicht der Schachtanlage Asse II mit Einlagerungsbereichen (rot); Blickrichtung von S nach N [9] (rot sind die ELK dargestellt)



Abbildung 3: 3-D-Ansicht des Einlagerungsbereichs auf der 725-m- und der 750-m-Sohle; Blickrichtung von N nach S [9] (rot sind die ELK dargestellt)

Gemäß [7], Blatt 11 ff. wurden in der Südflanke der Schachtanlage Asse II im Zeitraum von 1967 bis 1978 insgesamt 125.787 Gebinde mit radioaktiven Abfällen eingelagert. Davon befinden sich 124.494 Gebinde mit radioaktiven Abfällen in 12 ELK auf der 750-m-Sohle und in der ELK 7 auf der 725-m-Sohle. Die übrigen 1.293 Gebinde mit radioaktiven Abfällen liegen in der ELK Nr. 8a auf 511-m-Sohle.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 23 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Folgende ELK wurden für die Einlagerung von radioaktiven Abfallgebinden genutzt [7], Blatt 11 ff.:

- 750-m-Sohle, Südflanke (Jüngeres Steinsalz, Na3): ELK 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11 und 12
- 750-m-Sohle, Sattelnern (Älteres Steinsalz, Na2): ELK 2
- 725-m-Sohle, Sattelnern (Älteres Steinsalz, Na2): ELK 7

Die ELK der Abfallgebände waren ursprünglich Abbaue zur Salzgewinnung. Der Abbau erfolgte zwischen 1916 und 1962 im Bohr- und Sprengverfahren nach dem Prinzip des Kammer-Pfeiler-Baus. Dabei bildeten ursprünglich die Pfeiler und Schweben die Stützelemente der Schachtanlage.

### 2.1.1 Einlagerungsbereiche auf der 725-m-Sohle

Die derzeitige Situation im Einlagerungsbereich der ELK 7 auf 725-m-Sohle ist in [5], S. 20 ff. und [6], S. 60 ff. beschrieben sowie in den Speicher- und Sohlenrissen [10] und [11] zeichnerisch dargestellt.

Demnach ist der überwiegende Teil der Strecken und Abbaue auf der 725-m-Sohle bereits entweder voll- oder teilversetzt. Die Richtstrecken sind entweder nicht oder teilversetzt. Entsprechend sind mit Ausnahme der ELK 7 und dem Abbau 6 die ehemaligen Abbaue der 725-m-Sohle nicht mehr zugänglich.

Die ELK 7 ist über Querschläge aus der Wendelstrecke von Schacht 2 aus sowie der westlichen Richtstrecke erschlossen. Es wird auf die Quellen [6], S. 60, [10], [11] und Abbildung 4 verwiesen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 24 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

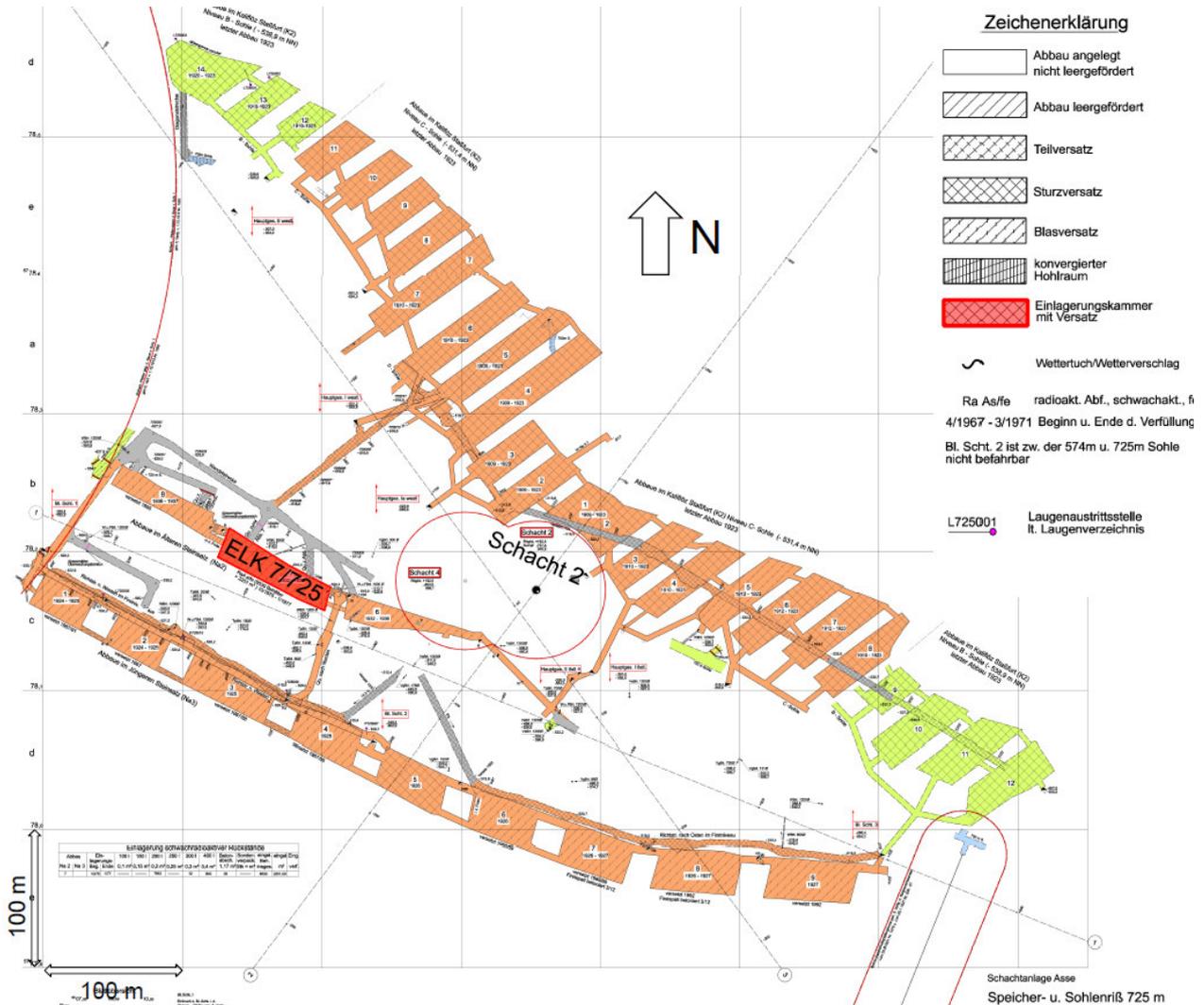


Abbildung 4: Sohlenriss 725-m-Sohle; Zugang ELK 7/725 über Wendelstrecke entsprechend Risswerk [10]/[11]; modifiziert durch Verfasser

## 2.1.2 Einlagerungsbereiche auf der 750-m-Sohle

Die derzeitige Situation in den Einlagerungsbereichen auf der 750-m-Sohle ist in [5], S. 20 ff. und [6], S. 60 ff. beschrieben, sowie in den Speicher- und Sohlenrissen [12] bis [14] und in Abbildung 5 zeichnerisch dargestellt.

Demnach ist der überwiegende Teil des Streckennetzes auf der 750-m-Sohle noch befahrbar. Wie auf 725-m-Sohle sind die Abbaue im Carnallitbaufeld der Nordflanke und einige der Richtstrecken teil- oder vollversetzt im Sturz- oder Pumpverfahren. Zum Teil stehen die nicht versetzten Richtstrecken zu den ehemaligen Abbaue konvergiert an. Die Abbaue im Sattelnern und der Südflanke sind ebenfalls teil- oder vollversetzt im Blas- oder Sturzverfahren.

Nach den Quellen [6], S. 60 und [12] bis [14] ist die ELK 2/750 Na2 über Querschläge aus der Wendelstrecke und von Schacht 2 aus erschlossen. Die ELK 8 und 4 sind derzeit noch von Schacht 2 aus über die 2. südliche Richtstrecke nach Westen und zum Teil durch verbrochene Durchbiege erreichbar. Die übrigen ELK 1, 2 Na3 sowie 5 bis 7 und 11, 12 sind nicht mehr erreich-

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 25 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

bar, da die Richtstrecken und Zugangswege durch Salzhauwerk / Sorelbeton eingedämmt oder versetzt wurden.



Abbildung 5: Sohlenriss 750-m-Sohle; ELK und Zugangsbereiche entsprechend Risswerk [12] bis [14]; modifiziert durch Verfasser

### 2.1.3 Geometrische Abmessungen der Einlagerungsbereiche

Gemäß [7], Anlage 6, S. 115 wurden die ELK der 725-m- und der 750-m-Sohle mit ursprünglich rechteckförmig bis trapezförmigem Grundriss sowie Rechteck-Gewölbe-Querschnitt zwischen den Jahren 1917 und 1936 aufgefahren.

Infolge der seit Jahrzehnten andauernden Deformationen im Salzsattel des Grubengebäudes ist jedoch davon auszugehen, dass die derzeitige Geometrie der ELK nicht mehr den Ursprungsausbruchkonturen entspricht. In [7], Blatt 16 werden die ELK prinzipiell, wie in Abbildung 6 dargestellt, angenommen:

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 26 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

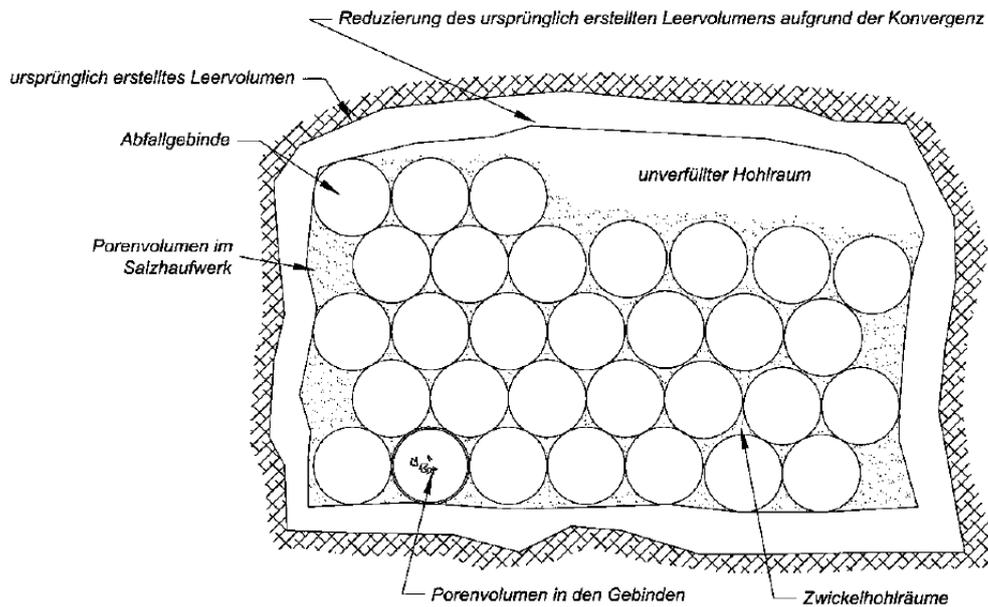


Abbildung 6: Prinzipskizze des Querschnitts der ELK [7]

Die Abmessungen der ELK können grob angegeben werden zu:

- Länge: 23 m bis 84 m
- Breite: 16 m bis 39 m
- Höhe: 10 bis 17 m (überwiegend 10 m und 11,5 m; nur ELK 2/750 Na2 hat eine Höhe von 17 m)

Die Pfeilerabmessungen im Steinsalz zwischen den Abbaue variieren und betragen auf der 725-m- und der 750-m-Sohle entsprechend [10] bis [14]:

- Maximale Pfeilergröße: ca. 20 m x 40 m (Breite x Länge)
- Minimale Pfeilergröße: ca. 12 m x 40 m (Breite x Länge)

## 2.1.4 Einlagerungstechnik und Inhalt der Einlagerungskammern

Die Füllung und Einlagerungstechniken der ELK der 725-m- und der 750-m-Sohle sind in [5], [6] und [7] ausführlich beschrieben und erfasst. Mit Fokus auf die maschinelle Bergung werden im Folgenden die bautechnisch und baubetrieblich relevanten Informationen zusammengestellt.

In Abbildung 7 ist die in [7] beschriebene Einlagerungstechnik der Abfallgebände dargestellt. Die Behälter wurden sowohl stehend und liegend mit einem Stapler eingebracht als auch mit einem Radlader verkippt.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 27 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

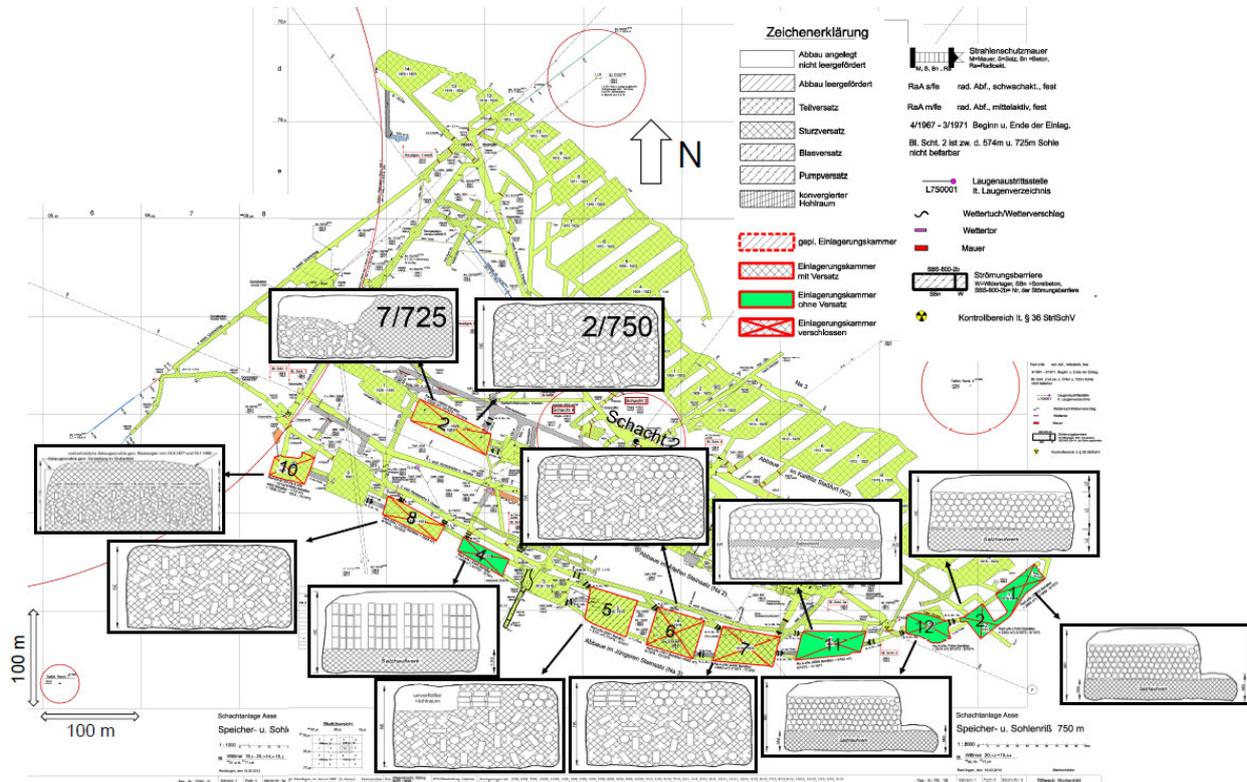


Abbildung 7: Lage der ELK und Darstellung der Einlagerungstechnik auf Basis von [12] bis [14] und modifiziert durch Verfasser entsprechend Angaben aus [5], S. 29 und [6], S. 128

Einige ELK wurden beim Einlagern der Gebinde lagenweise mit Salzgrus aufgefüllt und verdichtet. Der Salzgrus hat die Aufgabe, die Gebinde dicht in einer Matrix einzubetten. Zusätzlich soll es zur Abschirmung für die radioaktiven Abfälle als auch zur Stabilisierung des umgebenden Gebirges genutzt werden.

Die Abbildung 8 gibt eine Vorstellung von der Lage und dem Zustand der Gebinde, welche beim Bergen erwartet werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Gebinde(-teile) sich in einer umgebenden Matrix aus Salzgrus befinden und je nach Gebirgsdruck in den ELK oder Einlagerungs- bzw. Abwurftechnik deformiert, geplatzt oder zerschert vorgefunden werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 28 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

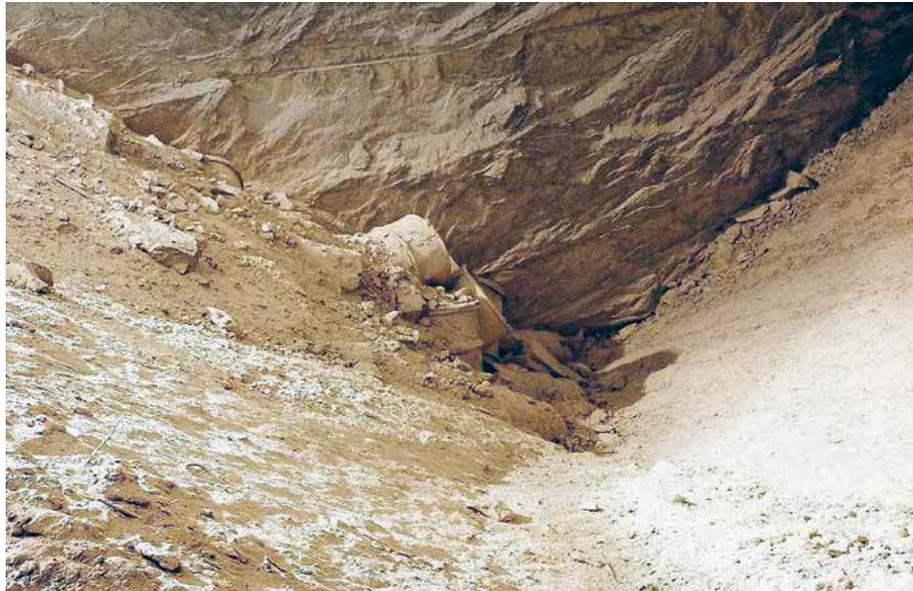


Abbildung 8: Einlagerungssituation mit Gebinden im Salzgrus, ELK 7, 725-m-Sohle, Aufnahme aus dem Jahr 2008 [15]

Beim Bergen des Inhalts der ELK und bei der zu untersuchenden Machbarkeit eines Vortriebes zur Rückholung werden folgende Materialien erwartet:

- Abfallgebände/-behälter/-fässer samt deren Inhalt befinden sich in unterschiedlichem Zustand. Auf die Gebinde und deren Inhalt wird in Kapitel 2.2 näher eingegangen.
- Salzgrus als Versatzmaterial
- Salzgestein im Randbereich beim vortriebsbedingten Überbohren, entlang der Ausbruchkontur und beim Durchhörtern von Pfeilern oder Schweben
- Lösungen, durchfeuchtetes Material, feuchtes Abraummateriale vor allem im Sohlbereich
- Gase, die sich gebildet haben können
- Sorelbetonsteine, Sorelbeton
- Verschlussbauwerk als Zugang zur ELK: zum Teil als Salzhautwerk, Beton, Salz oder Mauerwerk; Salzhautwerk mittlerweile durch Kompaktion teilweise wieder verfestigt
- Bitumen (Verschlussbauwerke)

### 2.1.5 Zustand der Einlagerungsbereiche

Die in den Kapiteln 2.1.1 bis 2.1.4 zusammengefassten Informationen über den Inhalt der ELK und der Einlagerungsbereiche der 725-m- und der 750-m-Sohle basieren im Wesentlichen auf fotografischen Auswertungen und Dokumenten aus der Einlagerungszeit mit der Datenbasis ASSEKAT Version 8.0 entsprechend [7], Blatt 9 ff. Seit dem Verschließen der ELK wird zudem die



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 29 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Hohlraumentwicklung des Grubenbaugebäudes durch die Monitorprogramme der Standortüberwachung und der Markscheiderei der Asse GmbH überwacht.

Entsprechend der Datendichte und -qualität kann die Umgebung der ELK auf der 725-m- und der 750-m-Sohle in Bezug auf die tunnelbautechnische Beurteilung und das maschinelle Bergungskonzept durch einen Schildvortrieb als ausreichend erkundet bzw. erfasst bezeichnet werden. Dies trifft für die ELK (außer ELK 7 /725) selbst nicht zu, da diese versiegelt und nicht begehbar oder zugänglich sind. Eine In-situ-Aufnahme der Gegebenheiten in den ELK ist derzeit nicht in ausreichender Intensität möglich und wird voraussichtlich auch in Zukunft nicht in vollem Umfang gegeben sein.

Im Folgenden werden daher diejenigen Zustandsvariablen der ELK aufgelistet, die für die Konzepterstellung einer maschinellen Bergung als unbekannt angesehen und daher angenommen oder idealisiert werden müssen:

- Lösungs- oder Flüssigkeitsvolumen z. B. aus Salzlösung bzw. Sättigungsgrad des Porenraumes der ELK mit Lösungswässern
- Korrosionsgrad bzw. bergungstechnische Stabilität der Gebinde bei Beanspruchung durch Abbau- und Bergegerät wie z. B. Fräsen, Hydraulikhammer, Greifer
- Gastypen und Gaskonzentrationen
- Mechanischer Lösewiderstand der Salzversatz- bzw. Salzgrusmatrix in den Zwischenräumen der Gebinde
- Grad des unverfüllten Hohlraumvolumens unter Berücksichtigung der zum Zeitpunkt der Bergung aufgetretenen Konvergenzen
- Mechanisches Verhalten der Füllung der ELK im Hinblick auf die Standsicherheit der Ortsbrust für vertikal oder horizontal gerichtete Teufen oder Vortriebe mit Teilflächenabbau
- Strahlungsintensität
- Mechanisches Verhalten bzw. Entfestigungs- und Plastifizierungsgrad der Schweben und Pfeiler im Bereich der ELK zum Zeitpunkt der Bergung
- Maximalvolumen bzw. -größe und Maximalgewicht des zu bergenden Stückgutes

### 2.1.6 Prognostizierte Situation zum Zeitpunkt der Bergung

Das derzeitige Sicherungs- und Notfallplanungskonzept [9] sieht vor, vor allem die derzeit noch offenen Strecken und Nebenabbau der 725-m- und der 750-m-Sohle teilweise zu verfüllen und die Firstspalte mit Sorelbeton abzudichten bzw. zu verfüllen. Durch diese Maßnahmen soll die Südflanke sowie der Sattelkern stabilisiert und einem möglichen Austritt kontaminierter Salzlösungen aus den ELK entgegengewirkt werden [9]. Eine Resthohlraumverfüllung der ELK soll nur im Notfall, d. h., beispielsweise bei einem auslegungsüberschreitenden Lösungszutritt (AÜL) in das Grubengebäude, dem „Absaufen“ der Schachanlage Asse II, erfolgen.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 30 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 13.05.2015
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	

Zeitgleich zu oben genannten Maßnahmen sollen bis zur Bergung die verbleibenden Firstspalte der übrigen Abbaue, 490-m- bis 700-m-Sohlen, im Bereich der Südflanke und im Sattelkern sowie des Carnallitbaufeldes vollständig mit Sorelbeton verfüllt bzw. verpresst werden [9].

Insgesamt bleiben nach Durchführung dieser Sicherungsmaßnahmen im Grubengebäude planmäßig nur die Schächte 2 und 4 als Zugang, ausgewählte Infrastrukturräume und – sofern nicht vollständig verfüllt – die Firstspalte der ELK als Hohlräume erhalten. Die etwaigen zusätzlichen Notfallmaßnahmen sind in [9] dargestellt.

Für die Ausarbeitung der maschinellen Bergungsmaßnahmen wird von einer planmäßigen Fortführung der Sicherungsarbeiten ausgegangen. Somit besteht zum Zeitpunkt der Bergung die Überdeckung der 725-m- und der 750-m-Sohle im Bereich der Schachanlage Asse II voraussichtlich aus versetzten sowie mit Sorelbeton gefüllten bzw. verpressten Abbauen der 490-m- bis 700-m-Sohlen sowie den zugehörigen Salzschweben. Oberhalb der Schachanlagenstruktur stehen der Gipshut, unverritztes Salinar und darüber das Deckgebirge an.

## 2.2 ABFALLGEBINDE

### 2.2.1 Gebindeart

Die im vorliegenden Zwischenbericht zu betrachtende Bergung der Abfallgebände beschränkt sich auf die Rückholung von Abfallgebänden mit radioaktivem Inhalt. Wie im 1. Zwischenbericht des KIT [16] dokumentiert, wurden dazu sowohl 200-l-Fässer als auch 400-l-Fässer in den ELK eingelagert. Darüber hinaus wurden Gebände mit einer verlorenen Betonabschirmung (VBA) und Sonderbehälter zur Einlagerung des radioaktiven Abfalls benutzt. Folgende Angaben zu den zu bergenden Gebänden sind bekannt:

- 200-l-Fässer: Die 200-l-Fässer durften Größen von 56 cm x 87 cm bis 62,5 cm x 92,5 cm (Durchmesser x Höhe) aufweisen [16]. Das Gewicht eines Gebändes durfte 1,25 t nicht überschreiten.
- 400-l-Fässer: 400-l-Fässer wurden in den Annahmebedingungen mit 76 cm x 113,5 cm bzw. 77,5 cm x 110 cm (Durchmesser x Höhe) angegeben [16]. Das Gewicht eines Gebändes durfte ebenfalls 1,25 t nicht überschreiten.
- VBA-Gebände: Radioaktive Abfälle mit hoher Dosisleistung erhielten zur Strahlenabschirmung eine verlorene Betonabschirmung (VBA) und damit eine zusätzliche Umkleidung in Form einer Betonschicht. Die Maße der VBA sollten 85 cm x 137 cm (Durchmesser x Höhe) betragen [16]. Das Gewicht durfte 5 t nicht überschreiten.
- Sonderbehälter: Abfälle, die nicht in die zuvor genannten Behälter verpackt werden konnten, durften als Sonderbehälter die Abmessungen 2 m x 1 m x 3,5 m (Länge x Breite x Höhe) und ein Gewicht von max. 9,8 t nicht überschreiten [16].



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 31 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

### 2.2.2 Gebindeinhalt

Der Bericht [17] zeigt auf, dass die eingelagerten Gebinde vor allem verfestigte oder getrocknete und zuvor wasserhaltige Abfälle enthalten wie zum Beispiel:

- Verdampferkonzentrate
- Filtrerrückstände
- Schlämme
- Ionenaustauschharze

Darüber hinaus wurden feste Abfälle eingelagert wie zum Beispiel:

- Bauschutt
- Schrott
- Filter
- Laborabfälle
- Zementierte Verbrennungsrückstände
- Kernkraftwerksabfälle
- Sonstige Abfälle

Bei etwa der Hälfte der radioaktiven Abfallgebände wurde der Inhalt verfestigt durch Zugabe von:

- Beton
- Bitumen

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 32 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### 2.2.3 Gebindeanzahl

Die Gebindeanzahl in den einzelnen ELK ist entsprechend dem DMT-Bericht [5] in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Gesamtzahl der in den ELK lagernden Gebinde nach [5]

ELK	Gebindeanzahl nach Gebindetyp				
	VBA	400 I	200 I	Sonstige	Gesamt
7/750	3.138	139	1.079	-	4.356
6/750	4.799	1.184	1.617	11	7.611
11/750	4.731	604	3.965	99	9.399
1/750	-	752	10.156	25	10.933
5/750	1.198	1.349	7.009	5	9.561
2/750	153	1.711	5.372	214	7.450
12/750	717	215	6.080	452	7.464
7/725 Na2	35	840	7.643	12	8.530
8/750	-	709	10.200	369	11.278
2/750 Na2	-	6.392	30.504	4	36.900
10/750	8	280	4.266	110	4.664
4/750	-	10	6.165	165	6.340
<b>Gesamt</b>	14.779	14.185	94.056	1.466	124.486*

\* Hier gilt es zu beachten, dass Quelle [7] S. 22 eine unterschiedliche Gesamtgebindezahl angibt.

### 2.2.4 Gebindezustand

Über den Zustand der Gebinde in den ELK existieren zum heutigen Zeitpunkt keine verlässlichen Informationen. Derzeit werden Bohrungen zur Beprobung und Erkundung der ELK im Rahmen der Faktenerhebung ausgeführt. Zum Zeitpunkt der Verfassung dieses Zwischenberichts lagen noch keine zitierfähigen Informationen aus der Erkundung vor.

Während der Rückholung über einen Zeitraum von Jahren bis eventuell wenige Jahrzehnte muss von einer weitergehenden Destabilisierung des Grubengebäudes und der Einlagerungsbereiche, und demzufolge von einer mechanischen Beanspruchung der Gebinde ausgegangen werden. Vor allem in den ELK, in denen Konvergenzen oder Nachbrüche in den Schweben eingetreten sind und bei Korrosionserscheinungen an den Gebinden aufgrund des Vorhandenseins von Feuchtigkeit, muss mit einem erhöhten Anteil beschädigter Behälter gerechnet werden. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass offene Gebinde, freigesetzte Radioaktivität und Schadstoffe angetroffen wer-



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 33 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

den. Sind die Behältnisse nicht mehr intakt, ist das Greifen der Gebinde zeitlich und technisch aufwendiger.

## 2.3 RADIOAKTIVITÄT

### 2.3.1 Strahlenschutzbereiche

Je nach Höhe der Strahlenexposition wird gemäß § 36, Abs. 1 der StrlSchV [18] zwischen Überwachungsbereichen, Kontrollbereichen und Sperrbereichen, letztere als Teile der Kontrollbereiche, unterschieden in:

- Überwachungsbereiche sind betriebliche Bereiche, in denen Personen eine effektive Dosis  $> 1$  mSv/a erhalten können, oder Organdosen  $> 15$  mSv/a für Augenlinsen,  $> 50$  mSv/a für Haut, Hände, Unterarme, Füße, Knöchel.
- Kontrollbereiche sind Bereiche, in denen Personen eine effektive Dosis  $> 6$  mSv/a erhalten können, oder Organdosen  $> 45$  mSv/a für Augenlinsen,  $> 150$  mSv/a für Haut, Hände, Unterarme, Füße, Knöchel.
- Sperrbereiche sind Bereiche des Kontrollbereiches, in denen die Ortsdosisleistung  $> 3$  mSv/h sein kann. Sperrbereiche sind darüber hinaus so abzusichern, dass Personen, auch mit einzelnen Körperteilen, nicht unkontrolliert hineingelangen können.

Gemäß § 36, Abs. 1 der StrlSchV [18] sind Überwachungsbereiche ab einer effektiven Dosis  $> 1$  mSv/a (Daueraufenthalt) und Kontrollbereiche ab einer effektiven Dosis  $> 6$  mSv/a (Aufenthaltszeit 2.000 h/a) einzurichten.

Nach der Strahlenschutzordnung der Schachtanlage Asse II (Strahlenschutzordnung) [19] wird der Überwachungsbereich durch ein Gitter von übrigen Bereichen abgegrenzt. Der Kontrollbereich wird durch Absperrketten oder ähnliches sichtbar abgegrenzt.

Ein Beispiel für die Bereichseinteilung für eine Rückholung durch einzelne Baugeräte wurde in dem DMT-Bericht [5] erörtert und ist der Abbildung 9 zu entnehmen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 34 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

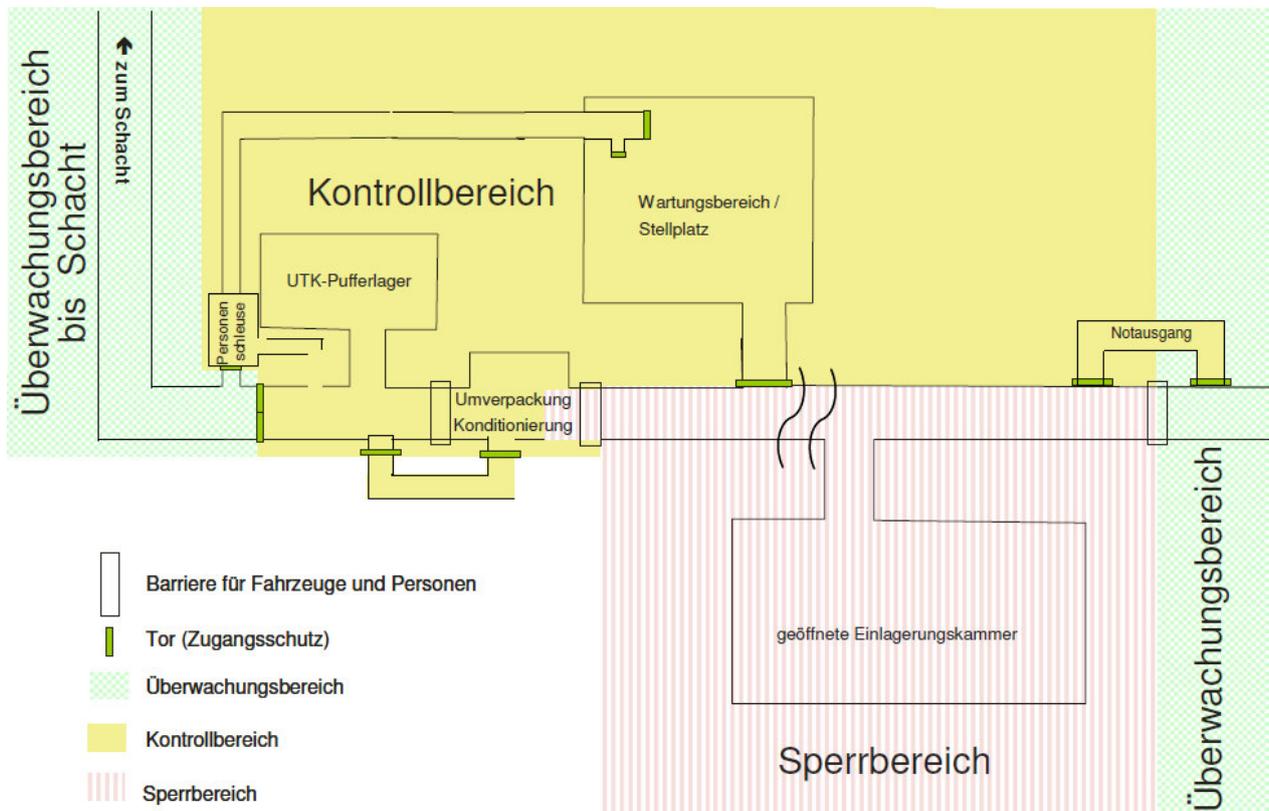


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Strahlenschutzbereiche unter Tage bei einer geöffneten ELK [5]

Es werden die Abbauzugangsstrecken und die ELK als Sperrbereich definiert, da die maximale Dosisleistung in direkter Umgebung zu den Abfallgebinden erreicht werden könnte. Neben dem Abbaubereich könnten in den Zugangsstrecken für den Materialabtransport vorübergehend Dosisleistungen  $> 3 \text{ mSv/h}$  erreicht werden. Der Sperrbereich endet an der Schleuse zum Wartungsbereich bzw. Logistik- und Materialumschlagplatz, dem Notausgang und an der Übergabestelle der Abfallgebinde zur Umverpackungs- und Teilkonditionierungsanlage (UTK). Der Wartungsbereich / Stellplatz für Logistik- und Materialumschlag ist als Kontrollbereich ausgewiesen, da es hier zu Kontaminationsverschleppungen aus der ELK heraus kommen kann. Aufgrund der Verpackung der Gebinde im UTK kann es zur Kontamination des Verpackungsbereiches kommen, weshalb dieser als Kontrollbereich ausgewiesen wird. Die weitere Strecke bis zum Schacht ist als Überwachungsbereich eingestuft. Der Übergang vom Sperr- zum Überwachungsbereich ist durch eine Barriere gesichert, sodass weder Fahrzeuge noch Personen passieren können. Lediglich als Fluchtweg aus dem Kontrollbereich ist ein Notausgang in den Überwachungsbereich vorgesehen.

### 2.3.2 Strahlenschutzmaßnahmen

Es gilt zu ermitteln, mit welchen Mitteln die Vorgaben der StrlSchV [18] bei der Rückholung eingehalten werden können und welche Maßnahmen des Strahlenschutzes für Personal bei den Tätigkeiten der Rückholung vorzusehen sind. Im Fokus der Prüfung stehen insbesondere folgende Punkte der Strahlenschutzverordnung:

- § 6 Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und Dosisreduzierung



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 35 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

- § 36 Strahlenschutzbereiche
- § 43 Schutzvorkehrungen
- § 44 Kontamination und Dekontamination
- § 54 Kategorien beruflich strahlenexponierter Personen
- § 55 Schutz bei beruflicher Strahlenexposition

Die StrlSchV [18] zeigt auf, welche Vorgaben zur Strahlenexposition für das Personal unter Tage zu beachten und einzuhalten sind. Die Dosisleistung ist für das Personal so gering wie möglich zu halten. Die Körperdosis ist für alle Personen im Kontrollbereich zu ermitteln. Weiterhin ist in Strahlenschutzbereichen die Strahlenexposition untergliedert nach

- Ortsdosisleistung oder Ortsdosis,
- Konzentration radioaktiver Stoffe in der Luft und
- Kontamination des Arbeitsplatzes.

Für die Umsetzung der Vorgaben müssen verschiedene Maßnahmen zur Dosisreduzierung des Personals durchgeführt und messtechnisch überwacht werden. Es ist von folgenden Schutzmaßnahmen auszugehen:

### Schutz vor Direktstrahlung

Das Aussetzen von Personal gegenüber direkter Strahlung ist zu verhindern oder zu minimieren. Dazu können räumliche Trennungen oder ausreichend Abstände geschaffen werden.

### Schutz vor Inhalation

Es ist davon auszugehen, dass bei Arbeiten im Sperrbereich, z.B. der ELK, beträchtliche Belastungen durch radioaktive Stoffe in der Raumluft eintreten. Das Personal ist in jedem Fall vor einer erhöhten Schwebstoffbelastung zu schützen und die Inhalation von radioaktiven Stoffen ist zu verhindern.

### Schutz vor Kontamination

Im Abbaubereich beim Auffahren der ELK sowie beim Fördern des Materials im Logistikbereich ist mit kontaminiertem Material zu rechnen und das Personal zu schützen.

## 2.4 PLANUNGSSTAND FÜR DIE RÜCKHOLUNG

Das Konzept der vollständigen Rückholung der Abfallgebände aus der Schachanlage Asse II sieht vor, die ELK zu öffnen, die Gebände zu bergen und zu einer Schleuse zu transportieren. Dort sollen die Abfälle in Spezialcontainer verpackt und über einen noch abzuteufenden Schacht 5 nach über Tage gefördert werden.

Vor der eigentlichen Bergung der Abfallgebände sollte zur Stabilisierung des Grubengebäudes der Resthohlraum der ELK verfüllt werden. Im Anschluss ist geplant, Zugänge und den Inhalt der ELK auszuberechnen und die Gebände sowie Gebändeteile rückzuholen. Noch unter Tage soll radioaktiv kontaminiertes Material umverpackt werden, bevor dieses über den Schacht 5 nach über Tage ge-



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 36 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

fördert wird. Es ist beabsichtigt, in einer Konditionierungsanlage und mindestens einem Pufferlager über Tage die Konditionierung und Zwischenlagerung durchzuführen, bevor die Abfälle in ein annahmeberechtigtes Endlager überführt werden.

### 2.5 ANFORDERUNGEN AN GERÄTSCHAFTEN

Es sind verschiedene Regelungen und Anforderungen für Gerätschaften in der Schachtanlage Asse II einzuhalten und zu beachten:

- Für alle Gerätschaften gelten die jeweils gültigen EU-Richtlinien.
- Für alle Gerätschaften muss je eine EU-Konformitätserklärung vorliegen.
- Bezüglich der Anforderungen des Strahlenschutzes muss jede Gerätschaft individuell betrachtet werden.
- Es gelten die Regelungen des Kerntechnischen Ausschusses (KTA-Regelwerk [20]).

Nach der Allgemeinen Bundesbergverordnung (ABergV) [21], § 13 müssen Geräte und Anlagen, welche für die Sicherheit bedeutsam sind, im Notfall von geeigneten Stellen aus fernbedient werden können oder auf andere Weise selbsttätig einen gefährlichen Zustand verhindern.

Weiterhin ist nach § 15 in Bereichen mit Gefahr von Gebirgs-, Gas- oder Wassereinbruch der Schutz der Beschäftigten zu gewährleisten und es sind darüber hinaus Maßnahmen zu treffen, um die Gefahren zu beherrschen.

Nach § 17 sind Maschinen, Geräte und Anlagen so zu betreiben, dass bei bestimmungsgemäßer Benutzung Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten sichergestellt sind.

### 2.6 GEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE BEDINGUNGEN

Die im Salzsattel und den umgebenden Deckgebirge anstehenden geologischen Schichten werden in [22] detailliert beschrieben und darauf basierend in [23] unter Einbindung der Ergebnisse aus zwei Jahrzehnten geologischer Standortforschung aufbereitet. Zusammenfassend werden die geologischen Verhältnisse in [5], [6], [24] sowie [25] dargelegt.

Neben den geologischen werden in oben genannten Berichten auch die hydrogeologischen Standortbedingungen erörtert. Zudem werden in [26], [27] und [28] die derzeitigen und zukünftig zu erwartenden Grundwasserbewegungen in und außerhalb des Salzsattels beschrieben und die Prognosen auf Basis von numerisch-hydraulischen Modellrechnungen verifiziert. Als Teil der hydrogeologischen Rahmenbedingungen werden die bisherige Entwicklung und der derzeitige Bestand der auftretenden Salzlösungen und Gase innerhalb des Grubengebäudes in den Berichten [29] und [30] dargestellt. In [31] wird die zukünftig zu erwartende Gasbildung in der Asse II unter Annahme einer Endlagerung der Gebinde prognostiziert.

Auf Basis der geologischen und hydrogeologischen Forschungsstudien, sowie unter Einbeziehung der Ergebnisse aus den jährlich fortlaufenden geodätischen sowie gebirgsmechanischen Messreihen und Sicherungsarbeiten im Grubengebäude, wird das derzeitige und zukünftig zu erwartende gebirgsmechanische Verhalten des Salinars sowie der umgebenden Deckschichten in den Berichten des IFG [32], [33], [34], [35] und [36] beschrieben. Diese Untersuchungen beruhen auf Berechnungen an einem seit 1996 entwickelten numerischen, großräumigen 3-D-Modells der Asse II und



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 37 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

der Deckschichten unter Verwendung des Programms FLAC<sup>3D</sup>. Teilweise sind die aufgeführten Untersuchungen aktualisiert worden. Aktuelle Literatur der Asse-GmbH [62] aus dem Jahr 2013 fasst real gemessene Gebirgsspannungen zusammen.

Eine zeichnerische Darstellung der geometrischen Verhältnisse des Grubengebäudes und der 725-m- und der 750-m-Sohle ist in den Seiger- und Sohlenrissen [10] bis [14] enthalten. Der derzeitige Stand der geologischen Standortaufnahme ist in den geologischen Seiger- und Sohlenrissen der 725-m- und der 750-m-Sohle [37] bis [39] sowie den geologischen Querprofilen [40] bis [43] verzeichnet.

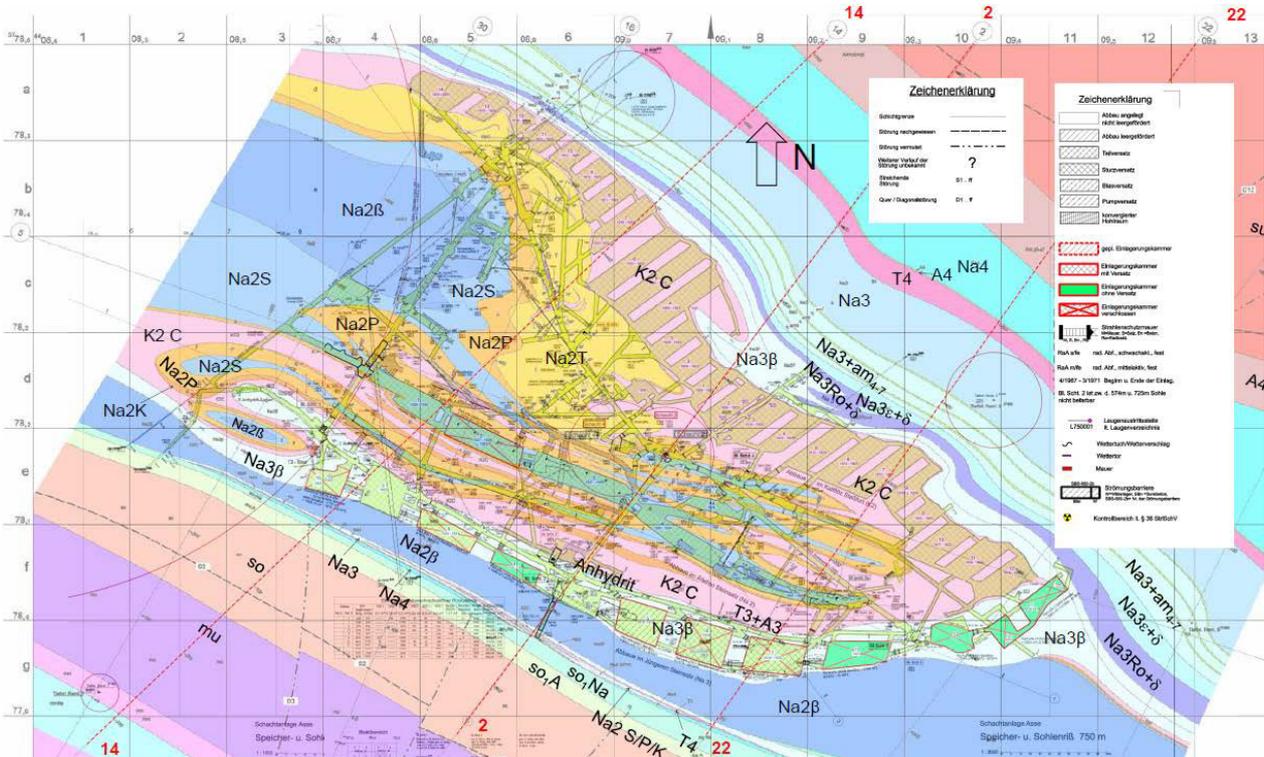
Neben den oben genannten Studien stehen im Internet sowohl auf den Seiten der ehemaligen und derzeitigen Betreiber [www.asse-gmbh.de](http://www.asse-gmbh.de), [www.endlager-asse.de](http://www.endlager-asse.de) oder [www.asse-archiv.de](http://www.asse-archiv.de), [44] und [9] als auch auf sonstigen projektbezogenen Homepages [52] bis [53] weitere Forschungsstudien und Stellungnahmen zu den geologischen und hydrologischen Gegebenheiten zur Verfügung.

Die obigen Ausführungen machen deutlich, dass die geologischen, hydrogeologischen und bergsmechanischen Standortbedingungen der Asse II in zahlreichen Stellungnahmen und Studien beschrieben und planerisch erfasst sind. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden daher im Folgenden nur diejenigen geologischen und hydrologischen Rahmenbedingungen zusammenfassend dargestellt, welche die Basis der auszuarbeitenden maschinellen Bergungskonzepte auf der 725-m- und der 750-m-Sohle bilden.

### 2.6.1 Geologie und Bergungsmaterial auf der 750-m-Sohle

Die in Abbildung 10 dargestellte Überlagerung der gegebenen geometrischen Sohlengrundrisse [12] bis [14] mit dem geologischen Sohlenriss [38] verbildlicht die neben dem Inhalt der ELK zu erwartenden Abbaumaterialien in der 750-m-Sohle. Demnach wurden die ELK der Südflanke im Unteren Leine-Steinsalz Na<sub>3</sub>β angelegt. Die ELK 2/750 im Sattelkern wurde im Speisesalz Na<sub>2</sub>S aufgefahren. Im Süden grenzen die ELK an das Staßfurt Hauptsalz Na<sub>2</sub>β und im Sattelkern an das Kaliflöz K2C.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 38 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	



Farb- und Zeichenerklärung (Geologie)

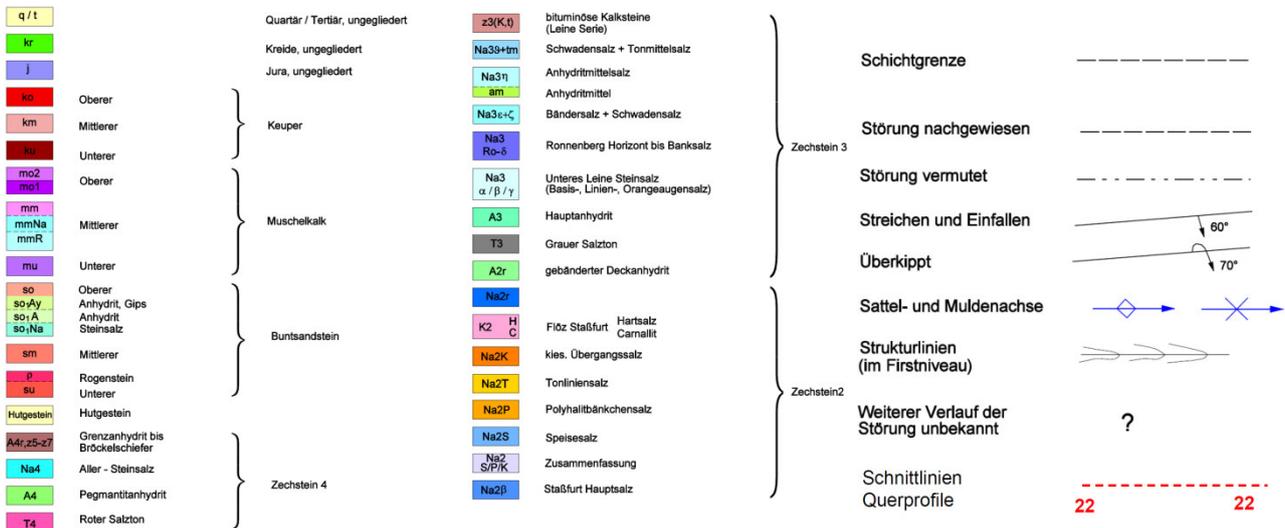


Abbildung 10: Überlagerung von Sohlenriss und Geologie auf der 750-m-Sohle [12] bis [14], [38]

Die in Abbildung 11 von Südwest nach Nordost dargestellten geologischen Schnitte 14, 2 und 22 [41] bis [43] zeigen die geologische Vertikalabwicklung des Grubengebäudes von West nach Ost sowie die oberhalb und unterhalb der ELK der 750-m-Sohle anstehenden Schichten.

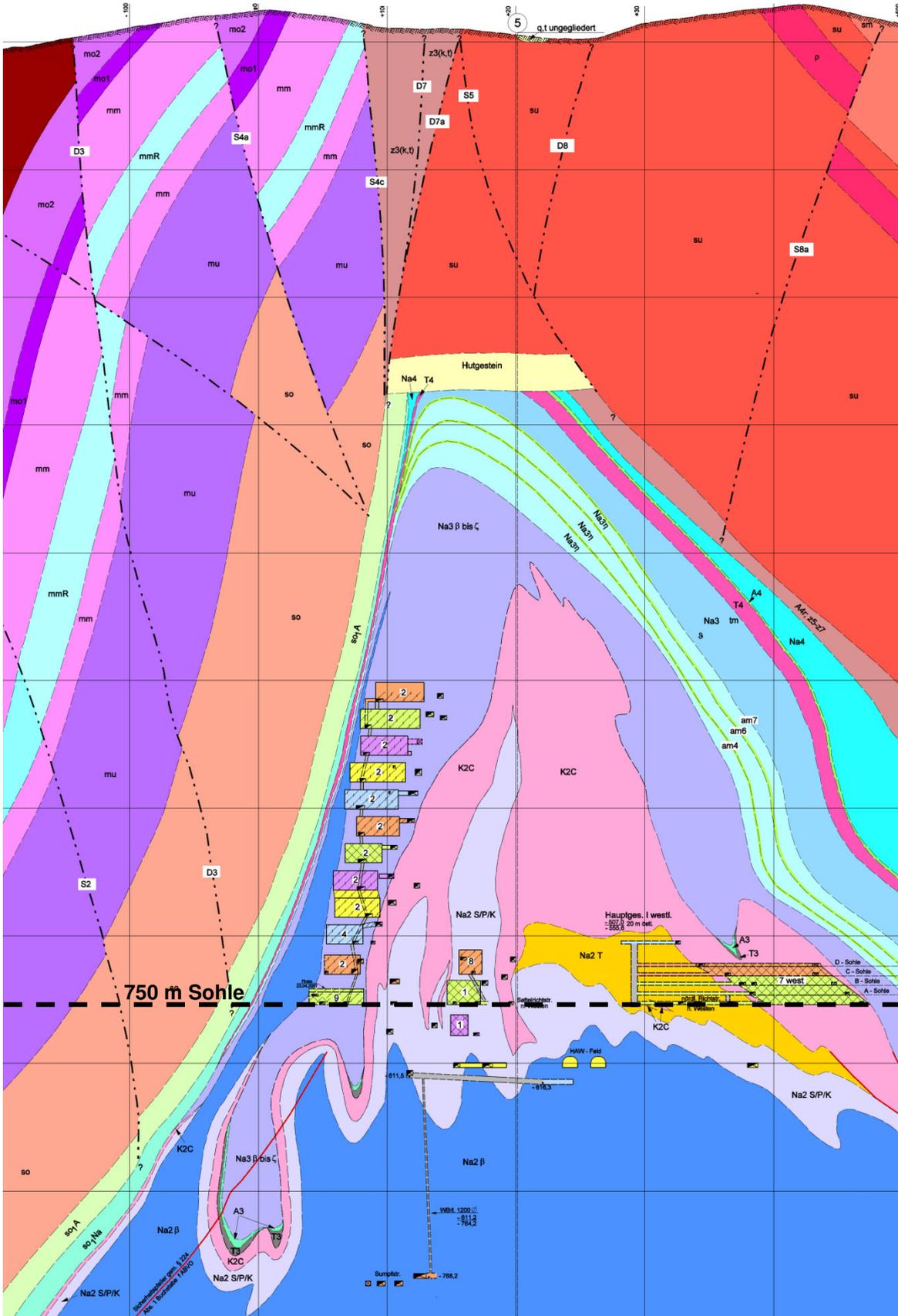
# Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II – Schildvortrieb

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	23431000	GHB	RA	0027	00

Seite: 39 von 148

Stand: 13.05.2015

## Schnitt 14

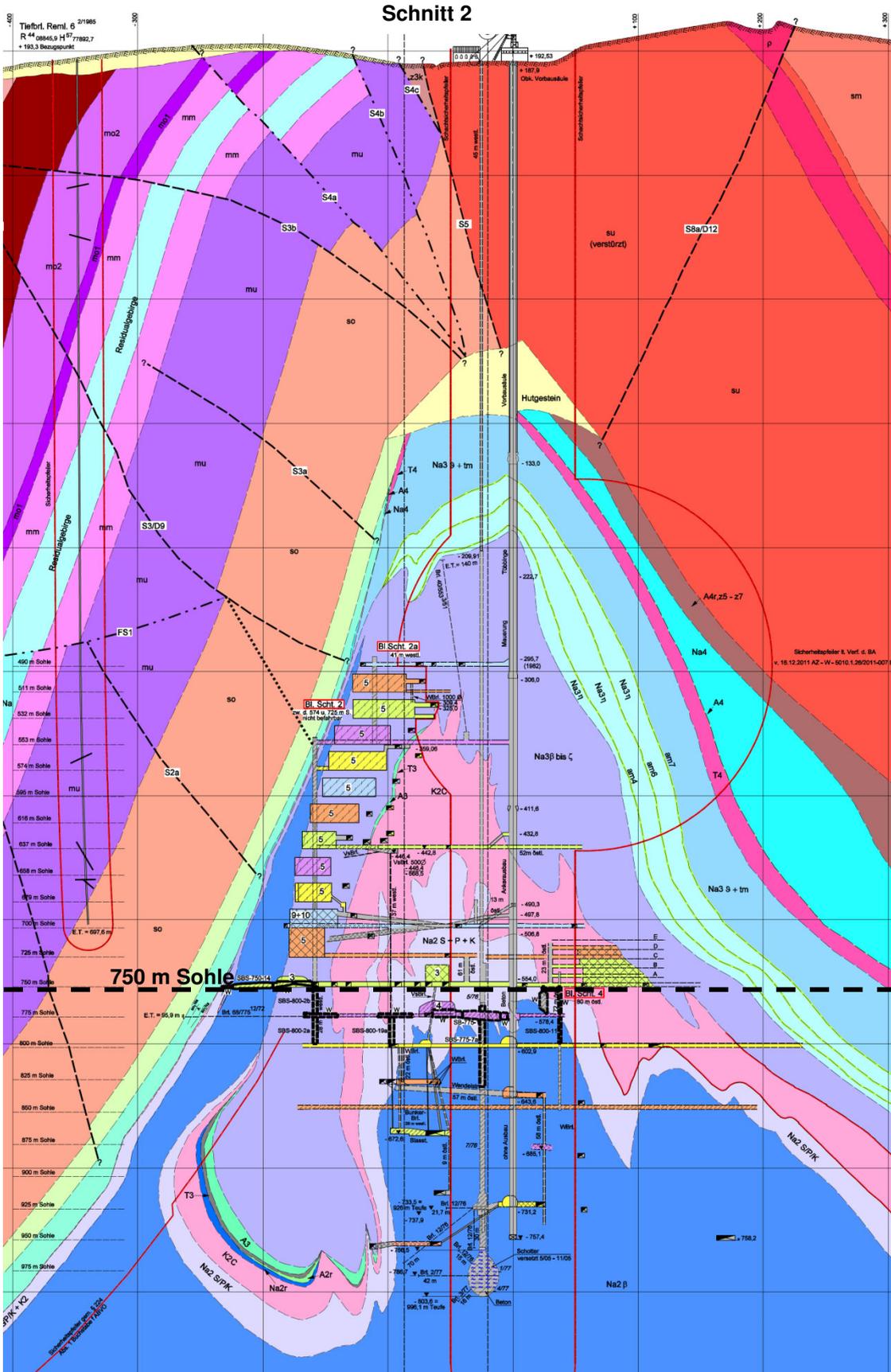


# Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der SchachtanlageASSE II – Schildvortrieb

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	23431000	GHB	RA	0027	00

Seite: 40 von 148

Stand: 13.05.2015



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	23431000	GHB	RA	0027	00

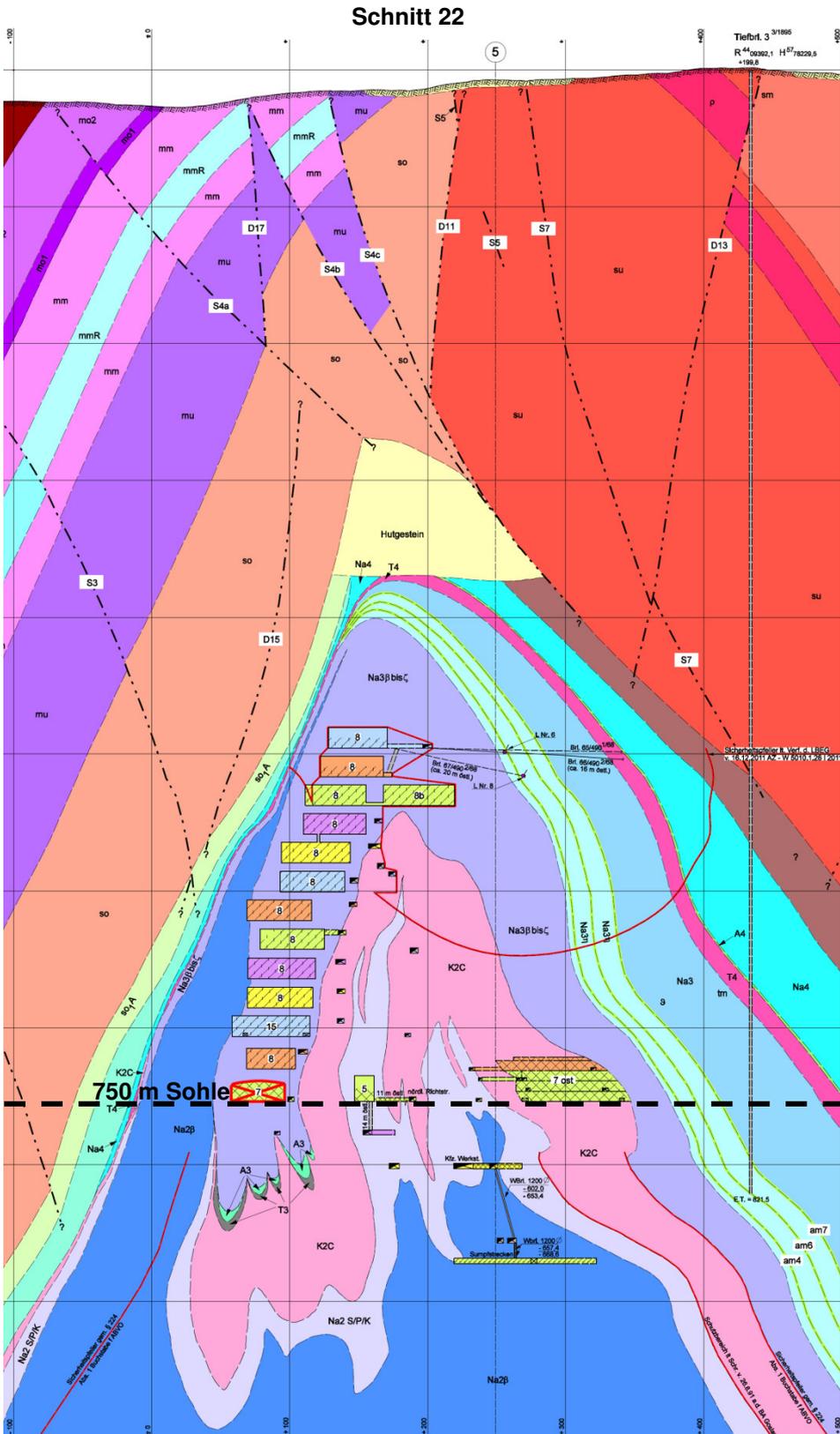


Abbildung 11: Geologische Querprofile von SW nach NO mit Schnitten 14, 2 und 22 nach [41] bis [43]

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 42 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

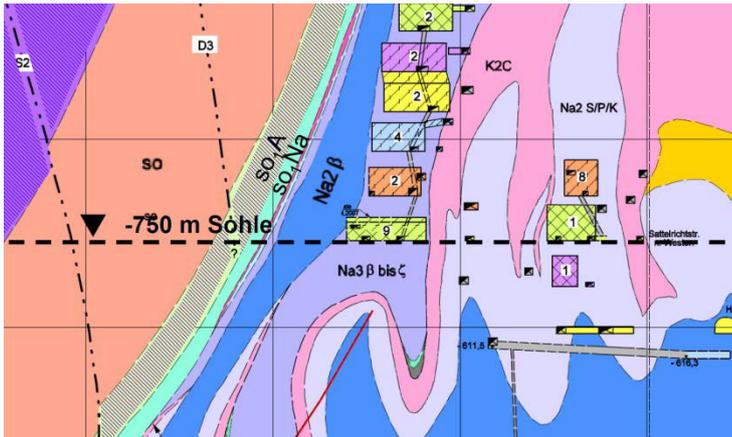
Legende zu Abbildung 11:

## Zeichen- und Farberklärung

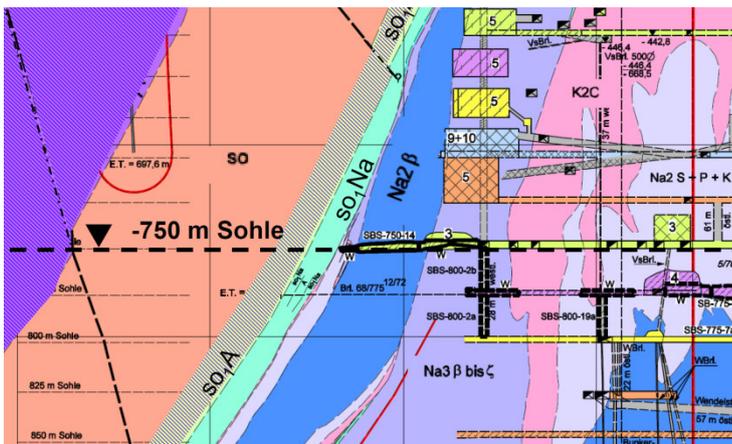
	q/t		Tertiär / Quartär, ungegl.		Hutgestein
	kr		Kreide		A4r, z5-z7 Grenzanhydrit bis Bröckelschiefer
	j		Jura, ungegliedert		Na4 Aller - Steinsalz
	ko	Oberer	Keuper		A4 Pegmantitanhydrit
	km1	Mittlerer			T4 Roter Salztön
	km2				z3k bituminöse Kalksteine (Leine Serie)
	ku	Unterer			Na39+tm Schwadensalz + Tonmittelsalz
	mo2	Oberer	Muschelkalk		Na3η Anhydritmittelsalz
	mo1				am Anhydritmittel
	mm				Na3ε+ζ Bändersalz + Schwadensalz
	mm Na	Mittlerer			Na3 Ro-δ Ronnenberg Horizont bis Banksalz
	mmR				Na3 α+β+γ Unteres Leine Steinsalz (Basis-, Linien-, Orangeaugensalz)
	mm				A3 Hauptanhydrit
	mu	Unterer			T3 Grauer Salztön
	so	Oberer	Buntsandstein		A2r gebänderter Deckanhydrit
	Ay	Anhydrit, Gips			Na2r Decksteinsalz
	so	Anhydrit			K2 H C Hartsalz Flöz Staßfurt Camallit
	A	Anhydrit			Na2K kies. Übergangssalz
	Na	Steinsalz			Na2P Polyhalitbänkchensalz
	sm	Mittlerer			Na2S Speisesalz
	p	Rogenstein			Na2β Staßfurt - Hauptsalz
	su	Unterer			gepl. Einlagerungskammer
		1.+ 6.+ 11.+ 16. Sohle			Einlagerungskammer mit Versatz
		2.+ 7.+ 12.+ 17. Sohle			Einlagerungskammer ohne Versatz
		3.+ 8.+ 13.+ 18. Sohle			Einlagerungskammer verschlossen
		4.+ 9.+ 14.+ 19. Sohle			Strahlenschutzmauer M=Mauer, S=Salz, Bn=Beton, Ra=Radioakt.
		5.+ 10.+ 15.+ 20. Sohle			RaA s/fe rad. Abf., schwachakt., fest
		Sturzversatz			RaA m/fe rad. Abf., mittelaktiv, fest
		Blasversatz			4/1967 - 3/1971 Beginn u. Ende der Einlag.
		Störungen, nachgewiesen			Bl. Scht. 2 ist zw. d. 574m u. 725m Sohle nicht befarbar
		Störungen, vermutet			Laugenaustrittsstelle lt. Laugenverzeichnis
		Abbau angelegt nicht leergefördert			Wettertuch/Wetterverschlag
		Abbau leergefördert			Wettertor
		Teilversatz			Mauer
		Sturzversatz			SBS-800-2b Strömungsbarriere W=Widerlager, SBn=Schalbeton, SBS-800-2b= Nr. der Strömungsbarriere
		Blasversatz			SbN W
		Pumpversatz			Kontrollbereich lt. § 36 StrlSchV
		konvergierter Hohlraum			

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 43 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

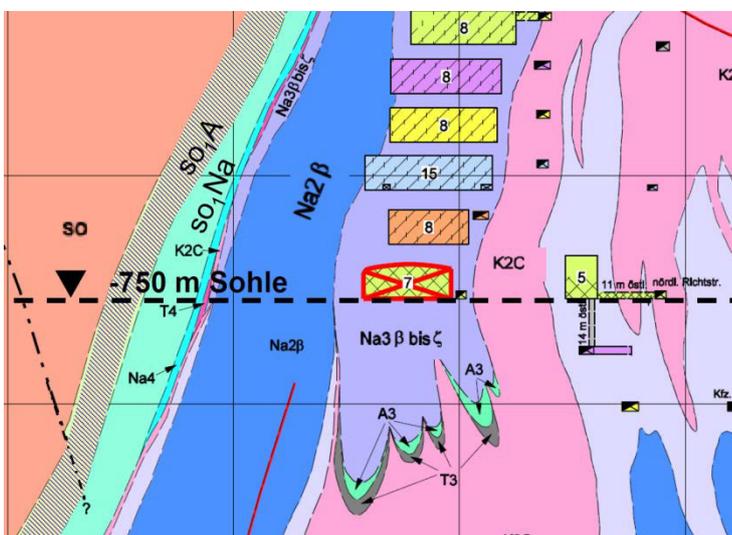
Die folgenden Auszüge aus den Vertikalschnitten 14, 2 und 22 (Abbildung 12) im Bereich der 725-m- und 750-m-Sohle verdeutlichen neben den geologischen und geometrischen Verhältnissen die Mächtigkeit der Steinsalzbarriere (Na $\beta$ ), d.h. den Abstand zwischen den südlichen Rändern der ELK der Südflanke und den Deckgebirgsschichten. Diese beträgt gemäß [7], Anlage 6 im Bereich der 750-m-Sohle ca. 20 m im Westen bis 120 m im Osten des Grubengebäudes.



Schnitt 14



Schnitt 2



Schnitt 22

Abbildung 12: Geologische Vertikalschnitte von SW nach NO mit Schnitten 14, 2 & 22 auf 725-m- und 750-m-Sohle nach [41] bis [43], modifiziert durch Verfasser

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 44 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Gemäß der in Abbildung 10 bis Abbildung 12 dargestellten geometrischen und geologischen Randbedingungen sowie den Angaben in [5], [33], [7], [25], [23] und [22] sind sowohl bei einem horizontalen als auch vertikalen Auffahren der ELK die Ausbruchmaterialien entsprechend Tabelle 2 und Tabelle 3 an der Ortsbrust der 750-m-Sohle zu erwarten:

Tabelle 2: Ausbruchmaterialien an der Ortsbrust in der Südflanke (ELK 1-2, 4-8, 11-12) auf 750-m-Sohle

Ausbruchmaterial im Ortsbrustbereich der Südflanke (ELK im Jüngerem Steinsalz 1-2, 4-8, 11-12) der 750-m-Sohle	Asse Kürzel	Ortsbrust [%] ***	$\gamma^*$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\nu^{**}$ [-]	$q_{u,k}^{**}$ [MPa]	$q_{t,k}^{**}$ [MPa]	K** [GPa]	G** [GPa]	$E_{Young}^{**}$ [GPa]
<b>a) Kammersüdrand: Staßfurt Hauptsalz</b> Unverritztes, polyhalitisches, weißes Stein- und Hauptsalz; geschichtete Salzlagen im Dezimeter- bis Meterbereich, Halitkorngößen < 1 cm bis > 5 cm, mit Anhydrit-einschaltungen von 1 bis 5 cm Dicke	Na2β	~ 1-2	21,7-22,0	0,25-0,26	23-27	1,4-1,8	-	-	-
<b>b) Pfeiler &amp; Schweben: Unteres Leine-Steinsalz</b> Feinkristallines Basis-, Linien- und Orangenaugensalz; lokal m-mächtige und ggf. lösungsführende 1 bis 5 cm dicke Linsen aus Hauptanhydrit A3 und grauem Salzton T3, Halitkorngößen < 2 mm	Na3 $\alpha/\beta/\gamma$ A3 + T3	~ 20	21,3-21,7	0,26-0,27	22-36	0,5-2,3	16,66	10	25 ( $\nu = 0,25$ )
<b>c) Kammernordrand/Sattelkern: Kalisalz, Flöz Staßfurt</b> Hartsalz, (halitischer) Carnallit, Trümmercarnallit; geschichtet bis gebankt, teilweise stark gefaltet	K2C	~ 1-2	18,8-21,6	0,23-0,28	18-59,4	-	20,5	7,4	19,7 ( $\nu = 0,34$ )
<b>d) Kammerfüllungen</b> Die Kammerfüllungen bestehen üblicherweise aus: ⇒ 4.356 – 11.278 Stück Abfallgebände gemäß der in Tabelle 1 aufgeführten Gebindetypen ⇒ Porenvolumen in Gebänden: ±30 ⇒ Sonderverpackungen: 0 bis 452 Stück je Kammer ⇒ Vereinzelt: Salzversatz aus Salzbeton, Salzgrus, Salzhauwerk in Zwickelhohlräumen (verkippt, verblasen oder verschleudert); mittlerer Feststoffanteil 67% ±4 ⇒ Vereinzelt: Ausgleichsschichten aus 0,8 bis 1,0 m Salzhauwerk oder ähnlich ⇒ Lufterfüllter Hohlraum (Porenraum in Salzversatz & Abfallgebände + Zwickelhohlraum): 33 % – 56 % des gesamten Kammervolumens ⇒ Unverfüllter Hohlraum: 0 – 42 %, Anlage 6	-	74-77	Skizzen gemäß [7], S. 16 						
<b>e) Verschlussbauwerke in Zugangsbereichen zu Kammerfüllungen</b> Der Aufbau der Verschlussbauwerke im Übergang der Kammer zu Zugangsstrecke besteht gemäß Anlage 14 aus Salzbeton, Bitumenemulsion, Betonmauern, Beton.	-	~ 1-2	Skizzen gemäß [7], Anlage 14 						

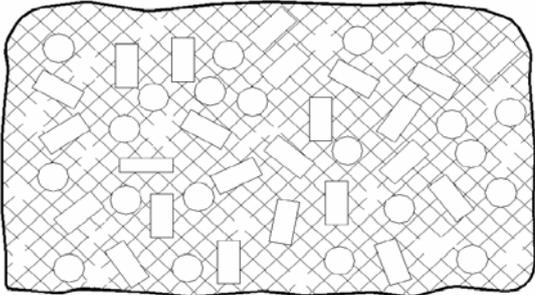
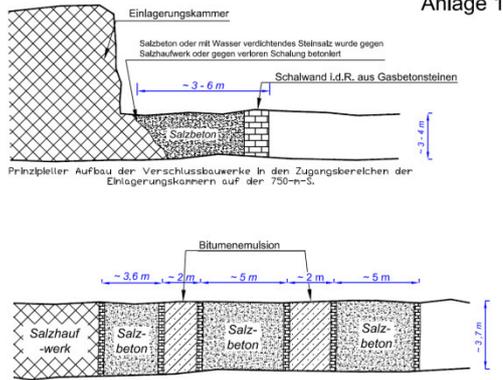
\*)  $\gamma$ : spez. Gewicht

\*\*)  $q_{u,k}$ : charakteristische einaxiale Druckfestigkeit;  $q_{t,k}$ : charakteristische Spaltzugfestigkeit; K: Kompressionsmodul, G: Schermodul;  $\nu$ : Querdehnzahl;  $E_{Young}$ : Elastizitätsmodul

\*\*\*) %-Anteile anstehend an Ortsbrust; grob abgeschätzt auf Basis Abbildung 10

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 45 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Tabelle 3: Ausbruchmaterialien an der Ortsbrust im Sattelkern (ELK Nr. 2 ) auf der 750-m-Sohle

Ausbruchmaterial im Ortsbrustbereich des Sattelkerns (ELK Nr. 2 im Älteren Steinsalz) der 750-m-Sohle	Asse Kürzel	Ortsbrust [%] ***	$\gamma^*$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\nu^*$ [-]	$q_{u,k}^{**}$ [MPa]	$q_{t,k}^{**}$ [MPa]	K <sup>**</sup> [GPa]	G <sup>**</sup> [GPa]	$E_{young}^{**}$ [GPa]
<b>f) Westliche und östliche Kammerränder sowie Schweben: Speisesalz – Älteres Steinsalz</b> Fein bis mittelkristallin, reinweißes Steinsalz mit Kristalleinschlüssen im Durchmesser $\leq 10$ m, monomineralisch (überwiegend Halit, 0,3 bis 3,0 Gewicht-% Polyhalit, 0 bis 4 Gewicht-% Anhydrit)	Na2S	~ 1-2	21,7-22	0,24-0,28	21-24	1,5-1,7	-	-	-
<b>g) Nördlicher und südlicher Kammerrand: Kalisalz, Flöz Staßfurt</b> Hartsalz, (halitischer) Carnallit, Trümmercarnallit, geschichtet bis gebankt, teilweise stark gefaltet	K2C	~ 1-2	18,8 – 21,6	0,23-0,28	18-59,4	-	20,5	7,4	19,7 ( $\nu = 0,34$ )
<b>h) Kammerfüllung in Kammer Nr. 2</b> Die Kammerfüllung besteht im Mittel aus: ⇒ 30.504 Stück Abfallgebände als 200-l-Fass sowie 6.392 Stück Abfallgebände als 400-l-Fass ⇒ Porenvolumen in Gebänden: $\pm 25\%$ , ⇒ Sonderverpackungen: 4 Stück ⇒ Salzversatz aus Salzbeton, Salzgrus, Salzhautwerk in Zwickelhohlräumen (verkippt, verblasen oder verschleudert); mittlerer Feststoffanteil $67\% \pm 4\%$ möglich: Ausgleichsschichten aus 0,8 - 1,0 m Salzhautwerk oder ähnlich ⇒ Lufterfüllter Hohlraum (Porenraum in Salzversatz & Abfallgebände + Zwickelhohlraum): $41\% \pm 16\%$ des gesamten Kammervolumens ⇒ Unverfüllter Hohlraum: 0 %	-	94-97	Skizzen gemäß [7], Anlage 8, S. 32 						
<b>i) Verschlussbauwerke in Zugangsbereichen zu Kammerfüllungen</b> Der Aufbau der Verschlussbauwerke im Übergang von Kammer zu Zugangsstrecke besteht aus Salzbeton, Bitumenemulsion, Betonmauern, Beton.	-	~ 1-2	Skizzen gemäß [7], Anlage 14 Anlage 14 						

\*)  $\gamma$ : spez. Gewicht

\*\*)  $q_{u,k}$ : charakteristische einaxiale Druckfestigkeit;  $q_{t,k}$ : charakteristische Spaltzugfestigkeit; K: Kompressionsmodul, G: Schermodul;  $\nu$ : Querdehnzahl;  $E_{young}$ : Elastizitätsmodul

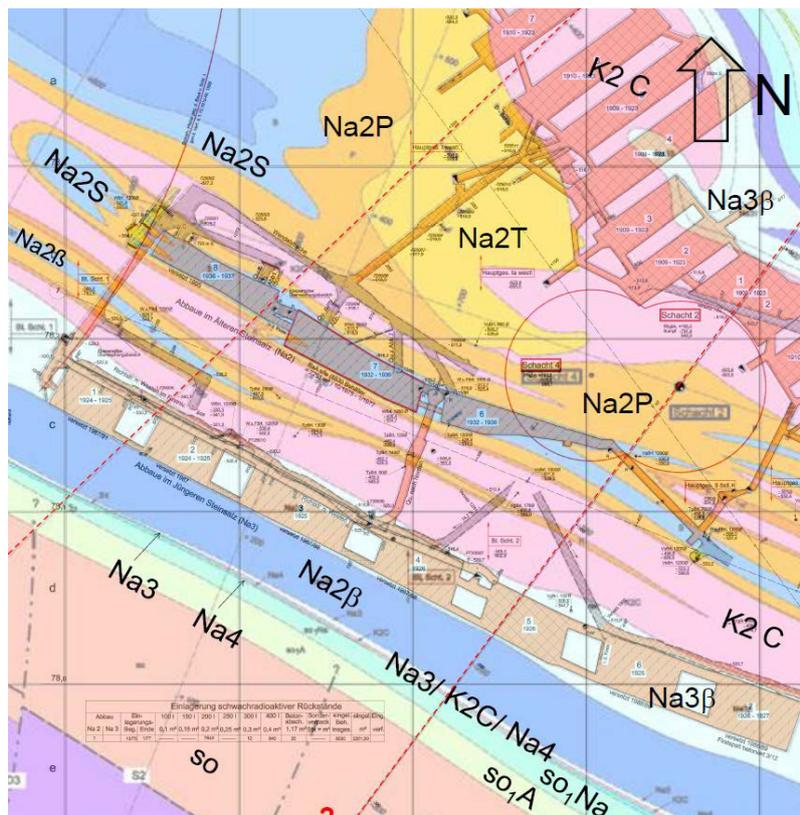
\*\*\*) %-Anteile anstehend an Ortsbrust; grob abgeschätzt auf Basis Abbildung 10

Die Abbildung 10 bis Abbildung 12 zeigen, dass neben den Kammerfüllmaterialien in den Randbereichen der ELK auch die umgebenden Salzformationen und die Verschlussbauwerke zu durchörtern sein werden. Die in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellten prozentualen Ortsbrustanteile der ermittelten Ausbruchmaterialien a) - i) basieren auf den Flächenanteilen im Grundriss und Vertikalschnitt und sind bis zur endgültigen Wahl der Bergungsvariante als Richtwerte anzusehen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 46 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

## 2.6.2 Geologie und Bergungsmaterial auf 725-m-Sohle

Die in folgender Abbildung 13 dargestellte Überlagerung der gegebenen geometrischen Sohlengrundrisse [10] bis [11] mit dem geologischen Sohlenriss [37] verbildlicht die neben den Kammerfüllungen zu erwartenden Ausbruchmaterialien in der ELK 7/725 m. Demnach wurde die ELK 7/725 im Sattelkern im Speisesalz Na<sub>2</sub>S & Na<sub>2</sub>P aufgefahren.



Farb- und Zeichenerklärung (Geologie)

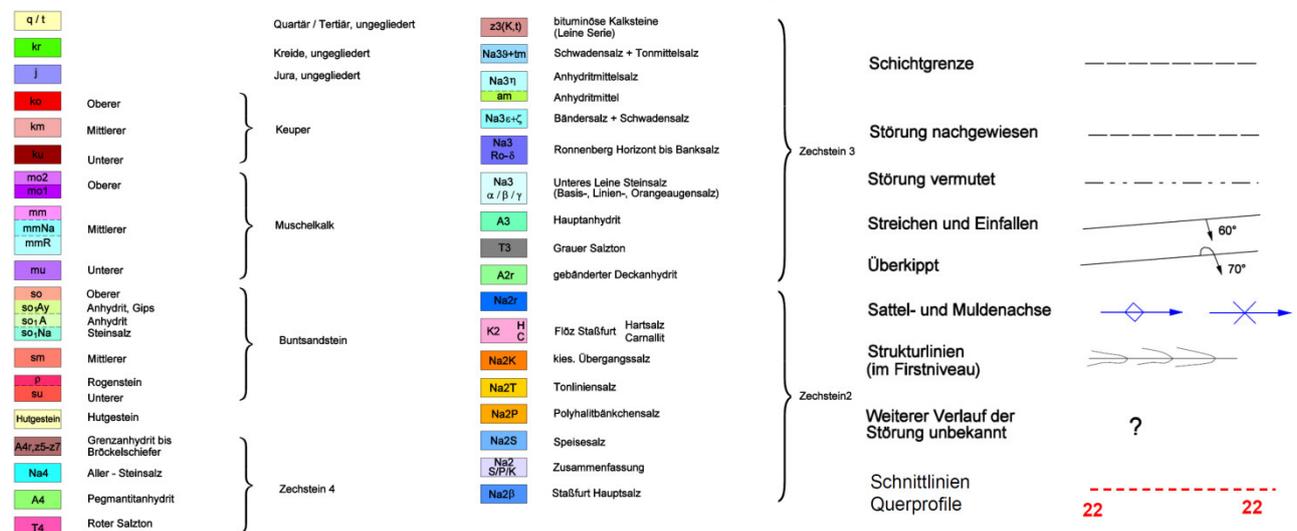
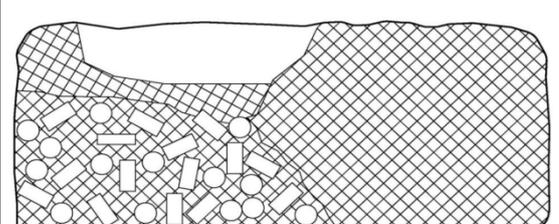
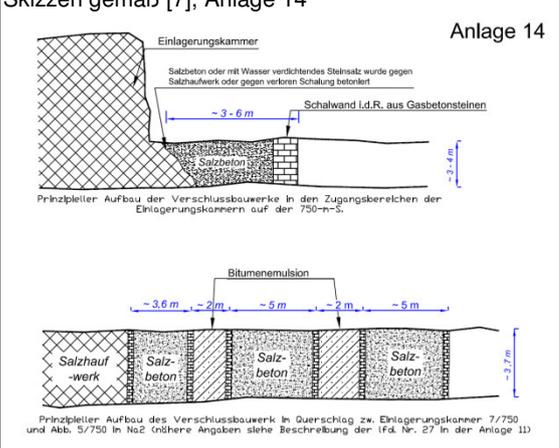


Abbildung 13: Überlagerung von Sohlenriss und Geologie auf der 725-m-Sohle [10] bis [11] und [37]

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 47 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Gemäß der in Abbildung 12 und Abbildung 13 dargestellten geometrischen und geologischen Rahmenbedingungen sowie den Angaben in [5], [33], [7], [25], [23] und [22] sind sowohl bei einem horizontalen als auch vertikalen Auffahren der ELK 7/725 die Ausbruchmaterialien entsprechend Tabelle 4 an der Ortsbrust der 725-m-Sohle zu erwarten:

Tabelle 4: Ausbruchmaterialien an der Ortsbrust im Sattelkern (ELK Nr. 7 ) auf der 725-m-Sohle

Ausbruchmaterial im Ortsbrustbereich im Sattelkern (ELK Nr. 7 im Älteren Steinsalz) der 725-m-Sohle	Asse Kürzel	Ortsbrust [%] ***	$\gamma^*$ [kN/m <sup>3</sup> ] ]	$v^*$ [-]	$q_{u,k}^{**}$ [MPa]	$q_{t,k}^{**}$ [MPa]	K** [GPa]	G** [GPa]	$E_{Young}^{**}$ [GPa]
<b>j) Kammerränder und Schweben: Speisesalz – Älteres Steinsalz</b> Fein- bis mittelkristallin, reinweißes Steinsalz mit Kristalleinschlüssen mit Durchmesser $\leq 10$ m, monomineralisch (überwiegend Halit, 0,3 bis 3,0 Gewicht-% Polyhalit, 0 bis 4 Gewicht-% Anhydrit)	Na2S Na2P	~ 1-2	21,7-22	0,24-0,28	21-24	1,5-1,7	-	-	-
<b>k) Kammerfüllung in Kammer Nr. 7</b> Die Kammerfüllung besteht im Mittel: ⇒ 7.643 Stück Abfallgebände als 200-l-Fass und 12 Stück Abfallgebände als 300-l-Fass sowie 840 Stück Abfallgebände als 400-l-Fass ⇒ Porenvolumen in Gebinden: $\pm 25\%$ ⇒ Sonderverpackungen: 0 Stück, 35 Stück VBA ⇒ Salzversatz aus Salzbeton, Salzgrus, Salzhauwerk in Zwickelhohlräumen (verkippt, verblasen oder verschleudert); mittlerer Feststoffanteil $67\% \pm 4\%$ ⇒ Ausgleichsschichten aus 0,8 bis 1,0 m Salzhauwerk oder ähnlich ⇒ Lufterfüllter Hohlraum (Porenraum in Salzversatz, Abfallgebände und Zwickelhohlraum): $43\% \pm 12\%$ des gesamten Kammervolumens ⇒ Unverfüllter Hohlraum: 11 %	-	94-97	Skizzen gemäß [7], Anlage 8, S. 35 						
<b>l) Verschlussbauwerke in Zugangsbereichen zu Kammerfüllungen</b> Der Aufbau der Verschlussbauwerke im Übergang von ELK zu Zugangsstrecke besteht aus Salzbeton, Bitumenemulsion, Betonmauern, Beton.	-	~ 1-2	Skizzen gemäß [7], Anlage 14 Anlage 14 						

\*)  $\gamma$ : spez. Gewicht

\*\*)  $q_{u,k}$ : charakteristische einaxiale Druckfestigkeit;  $q_{t,k}$ : charakteristische Spaltzugfestigkeit; K: Kompressionsmodul, G: Schermodul;  $v$ : Querdehnzahl;  $E_{young}$ : Elastizitätsmodul

\*\*\*) %-Anteile anstehend an Ortsbrust; grob abgeschätzt auf Basis Abbildung 10

Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen, dass neben dem Abbaufüllmaterial in den Randbereichen der ELK auch die umgebenden Salzformationen und die Verschlussbauwerke zu durchörtern sein werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 48 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Die in Tabelle 4 dargestellten prozentualen Ortsbrustanteile der ermittelten Ausbruchmaterialien j) bis l) basieren auf den Flächenanteilen im Grundriss und Vertikalschnitt und sind bis zur endgültigen Wahl der Bergungsvariante als Richtwerte anzusehen.

### 2.6.3 Deckgebirgsschichten im Bereich der Südflanke

Wie in Kapitel 2.6.1 angedeutet, beträgt die Mächtigkeit der sogenannten Salzbarriere (Staßfurt Steinsalz Na<sub>2</sub>), d. h. der Abstand der Deckgebirgsschichten zu den ELK entlang der Südflanke des Grubengebäudes, im Bereich der 725-m- und der 750-m-Sohle von W nach O zunehmend ca. 20 m bis 120 m ([7], Anlage 6; Abbildung 12). Da das Deckgebirge entlang der Südflanke teilweise grundwasserführend [23], S. 85 und infolge der geringen Mächtigkeit der Salzbarriere tunnelbautechnisch für die Bergung von Interesse ist, werden einige Eigenschaften der Deckschichten im Nahbereich der 725-m- und der 750-m-Sohle in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Unmittelbar entlang der Südflanke anstehende Deckgebirgsschichten auf Höhe der 725-m- und der 750-m-Sohle

Unmittelbar an Südflanke anstehende Deckgebirgsschichten auf Höhe der 725-m- und der 750-m-Sohle	Asse Kürzel	γ* [kN/m³]	ν* [-]	q <sub>u,k</sub> ** [MPa]	q <sub>t,k</sub> ** [MPa]	K** [GPa]	G** [GPa]	φ/c* [° / MPa]	φ <sub>s</sub> /c <sub>s</sub> *** [° / MPa]
<b>m) Rötanhydrit / Rötalinare</b> Tektonisch überprägt, gebirgsmechanisch beansprucht, potentiell wasserführend	so <sub>1</sub> A so <sub>1</sub> Na	27,5 (26-29,3)	0,3 (0,19)			12,5	5,8	σ <sub>3</sub> < 4 MPa: 47,3/0 σ <sub>3</sub> > 4 MPa: 35/3	σ <sub>3</sub> < 4 MPa: 30/0 σ <sub>3</sub> > 4 MPa: 28/0,3
<b>n) Oberer Buntsandstein (Rötaquitard)</b> Sandstein, Ton- / Siltstein, lokal durch Scherbeanspruchung deformiert	so <sub>2</sub> -so <sub>4</sub>	25 (23,5-28,3)	0,3 (0,15-0,21)			12,5	10	σ <sub>3</sub> < 7,5 MPa: 33,0/0 σ <sub>3</sub> > 7,5 MPa: 33,0/	σ <sub>3</sub> < 7,5 MPa: 25,9/0 σ <sub>3</sub> > 7,5 MPa: 25/0,
<b>o) Unterer Muschelkalk</b> Kalk- und Mergelstein, teilweise wasserführend (Grundwasserleiter)	mu	23,9 (23-26,6)	0,25 (0,23-0,25)			21	13,3	σ <sub>3</sub> < 7,5 MPa: 48,0/0 σ <sub>3</sub> > 7,5 MPa: 34,0/6,5	σ <sub>3</sub> < 7,5 MPa: 27,5/ σ <sub>3</sub> > 7,5 MPa: 22,0/0,0
<b>p) Scherflächen / Scherbänder</b> Zerscherte Zonen in Großstörungen, südlich der der 725-m- und der 750-m-Sohle									σ <sub>3</sub> < 3,5 MPa: 21,1/0 σ <sub>3</sub> > 3,5 MPa: 19,0/0,2

\*) Gebirgsparameter gemäß [32], S. 25 und [33], S. 65 ff. & [55], S. 20  
 \*\*) q<sub>u,k</sub>: charakteristische einaxiale Druckfestigkeit; q<sub>t,k</sub>: charakteristische Spaltzugfestigkeit; K: Kompressionsmodul, G: Schermodul; ν: Querdehnzahl; E<sub>young</sub>: Elastizitätsmodul  
 \*\*\*) Schichtparameter gemäß [55], S. 20

Die Distanz zwischen den ELK im Sattelkern zu den Deckgebirgsschichten der Nord- oder Südflanke beträgt 250 bis 400 m. Aufgrund dieser Distanz wird auf eine detaillierte Charakterisierung des nördlichen Deckgebirges an dieser Stelle verzichtet und auf die eingangs des Kapitels erwähnten geologischen Forschungsberichte verwiesen.

### 2.6.4 Annäherung an das Deckgebirge

Nach der Allgemeine Bergverordnung (ABVO) gilt als Sondervorschriften für Salzbergwerke in §224 1 f): Sicherheitspfeiler sind mit mindestens 150 m gegen den Salzspiegel, die Salzstockbasis, sowie gegen die Salzstockflanken zu belassen. Eine weitere Annäherung als die bereits vorliegende ist zu vermeiden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 49 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

## 2.6.5 Hydrogeologische Verhältnisse

Für die Bestimmung und Auslegung der Vortriebs- und Tunnelbautechnik sind im Bereich der ELK der 725-m- und der 750-m-Sohle folgende Entwurfskriterien aus den hydrogeologischen Standortverhältnissen abzuleiten:

- Maximalzufluss von ggf. kontaminierten Porenwässern bzw. Salzlösungen durch die Ortsbrust bei Durchörterung der ELK im Teilflächenabbau unter atmosphärischen Bedingungen
- Bauzeitlich kontinuierlicher Zulauf von Deckgebirgs- oder Lösungswässern in die ELK und durch die Ortsbrust nach der oben genannten Erst-Entwässerung des gesättigten Porenraumes
- Bauzeitlich auftretende, maximale und minimale hydraulische Drücke auf die Maschinenelemente und auf ggf. vorhandene Tunnelbauwerke
- Lösungsschemismus hinsichtlich Pumpfähigkeit, Versinterungsneigung, Korrosivität, Aufbereitung, Wiederverwendung, Deponierung

Der Maximalzufluss ist abhängig von dem zum Zeitpunkt der Bergung vorhandenen Sättigungsgrad der ELK. Dieser ergibt sich aus den bisherigen seit der Versiegelung in den 1980er Jahren zugelaufenen und zukünftig bis zur Bergung auftretenden, primären Deckgebirgs- wässern, sowie den sekundär durch die Schweben und Abbauwänden eindringenden Lösungswässern.

Die Menge der nach der Erst-Entwässerung kontinuierlich zulaufenden Poren- bzw. Lösungswässer hängt im Wesentlichen von der hydraulischen Aktivität der Steinsalzbarriere (Na<sub>2</sub>β) zwischen den ELK und dem Deckgebirge sowie der Durchlässigkeit der Kammerfüllungen und dem Sättigungsgrad der Lösungswässer ab.

Der Grundwasserchemismus sowie die Grundwasseraggressivität gegenüber Maschinenteilen und Bauwerksstrukturen sind zum Teil aus den gegebenen hydrogeologischen Berichten [29] bis [31] sowie [61] ableitbar.

### Primäre Salzlösungszutritte aus dem Deckgebirge

Quantitative Aussagen zu den primären Salzlösungszutritten aus dem Deckgebirge bzw. Rötanhydrit in die ELK der 725-m- und der 750-m-Sohle konnten den genannten Referenzen nicht entnommen werden.

Die Fließwege der Grundwässer sind auf Basis von [2] in Abbildung 14 dargestellt. Die Fließpfade sind hypothetisch und nicht nachgewiesen. Die Lösungszutritte sind in Folge starker Verformungen, eines nicht hinreichend bemessenen Tragsystems sowie aufgrund einer nicht ausreichenden Schutzschichtmächtigkeit zum wasserführenden Nebengebirge eingetreten [2].

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	23431000	GHB	RA	0027	00

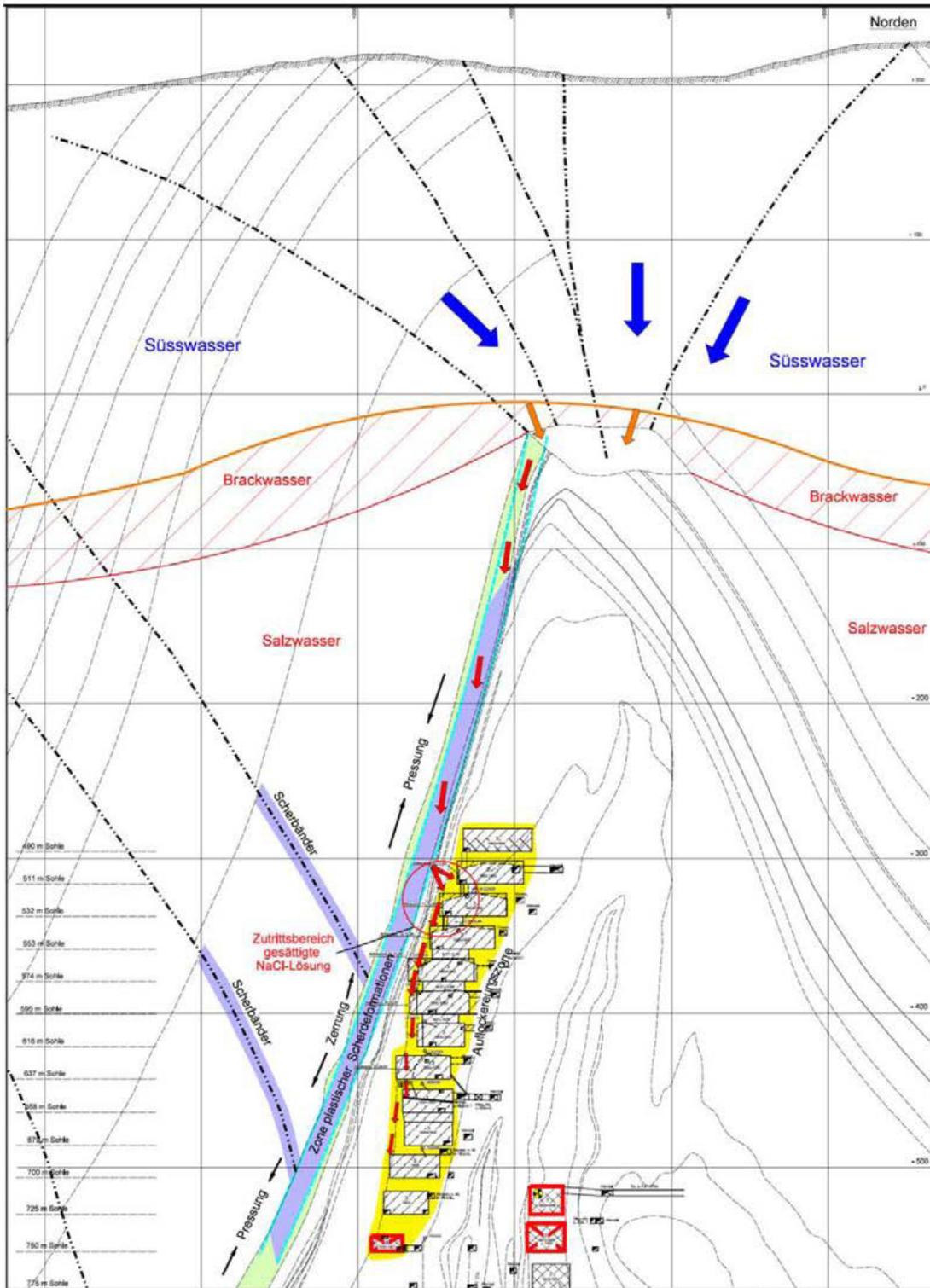


Abbildung 14: Schematische Darstellung der Fließpfade der Lösungen im Bereich der Abbaureihe 3, projiziert in den Schnitt 16 [2]

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 51 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Demnach stehen im Bereich der Südflanke des Grubengebäudes drei wesentliche Grundwassertypen und -strömungen an:

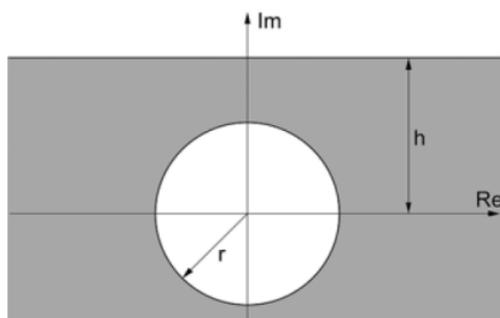
- Grundwässer im Deckgebirge oberhalb des Salzwasserspiegels ohne salinaren Einfluss („Süßwässer“)
- Grundwässer im Rötanhydrit (so<sub>1</sub>A) und Rötsalinar (so<sub>1</sub>Na) entlang der Südflanke mit salinarem Einfluss („Salzwässer“)
- Grundwässer im Deckgebirge bzw. Muschelkalk (mu) entlang von Scherzonen mit geringem bis keinem salinaren Einfluss: Gemäß [29], S. 93 wurde eine Einspeisung von Süßwasser (M<sub>g</sub>Cl<sub>2</sub>- und M<sub>g</sub>SO<sub>4</sub>-untersättigten Wässern) aus dem Muschelkalkgrundwasserleiter in den Rötanhydrit genetisch als Deckgebirgslösung erkannt.

Für primäre Salzlösungszutritte aus dem Deckgebirge in die ELK der 725-m- und der 750-m-Sohle sind im Wesentlichen das Druckpotential im Rötanhydrit sowie die Durchlässigkeit und Mächtigkeit der Steinsalzbarriere Na<sub>2</sub>β entscheidend. Die Integrität der Steinsalzbarriere hängt neben dem Plastifizierungsgrad vom Lösungspotential bzw. Sättigungsgrad der anstehenden Grundwässer im Rötanhydrit ab. Die Mächtigkeit der Steinsalzbarriere beträgt gemäß [7], Anlage 6 im Bereich der 750-m-Sohle ca. 20 m im Westen bis 120 m im Osten des Grubengebäudes (siehe Abbildung 12).

Für die ELK der 750-m-Sohle werden die möglichen Salzlösungszutritte aus dem Rötanhydrit stark vereinfacht nach KOLYMBAS [54] unter Variation der Durchlässigkeiten und der Mächtigkeit der Steinsalzbarriere sowie unter Annahme atmosphärischer Druckbedingungen in den ELK abgeschätzt ( $h_a = h_1$ ; siehe Abbildung 15 und Abbildung 16). Vereinfachend werden die ELK nicht als Rechteckquerschnitte sondern als flächengleiche Kreisquerschnitte unter Ansatz der minimalen und maximalen Abmessungen der ELK modelliert. Die minimalen bzw. maximalen Querschnitte der ELK betragen gemäß [7], Anlage 6 190 m<sup>2</sup> (ELK 4/750) bzw. 390 m<sup>2</sup> (ELK 6/750). Dies entspricht Ersatzkreisquerschnitten von Ø 12,65 m bzw. Ø 19,75 m.

Das maximale Druckpotential im Bereich der ELK der 750-m-Sohle wird entsprechend der Höhe des Süßwasserspiegels zu 50 bar (Höhendifferenz  $\Delta p = (750 \text{ m} - 250 \text{ m})$ ; Druck = 500 m x 10 kN/m<sup>3</sup> = 5.000 kN/m<sup>2</sup> = 50 bar) angenommen. Die Dicke der Salzbarriere ( $h_1-r$ ) wird zwischen 20 m und 120 m variiert.

Für die Durchlässigkeiten der Salzbarriere werden ebenfalls von  $1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-12} \text{ m/s}$  zunehmende Werte angesetzt. Für die Berechnung der Zuläufe wird von stationären Bedingungen ausgegangen.



$$q = \frac{\pi K (H - h_a)}{\log \left( \frac{r}{h - \sqrt{h^2 - r^2}} \right)}$$

q: Zufluss per Laufmeter Tunnel (allgemein)

K: Durchlässigkeit im durchströmten Bereich

Abbildung 15: Grundwasserzufuhr in einen dränen Tunnel gemäß KOLYMBAS [54]

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 52 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Die unter oben genannten Annahmen ermittelten Zuflussvariationen  $q$  zeigt nachfolgend Abbildung 16:

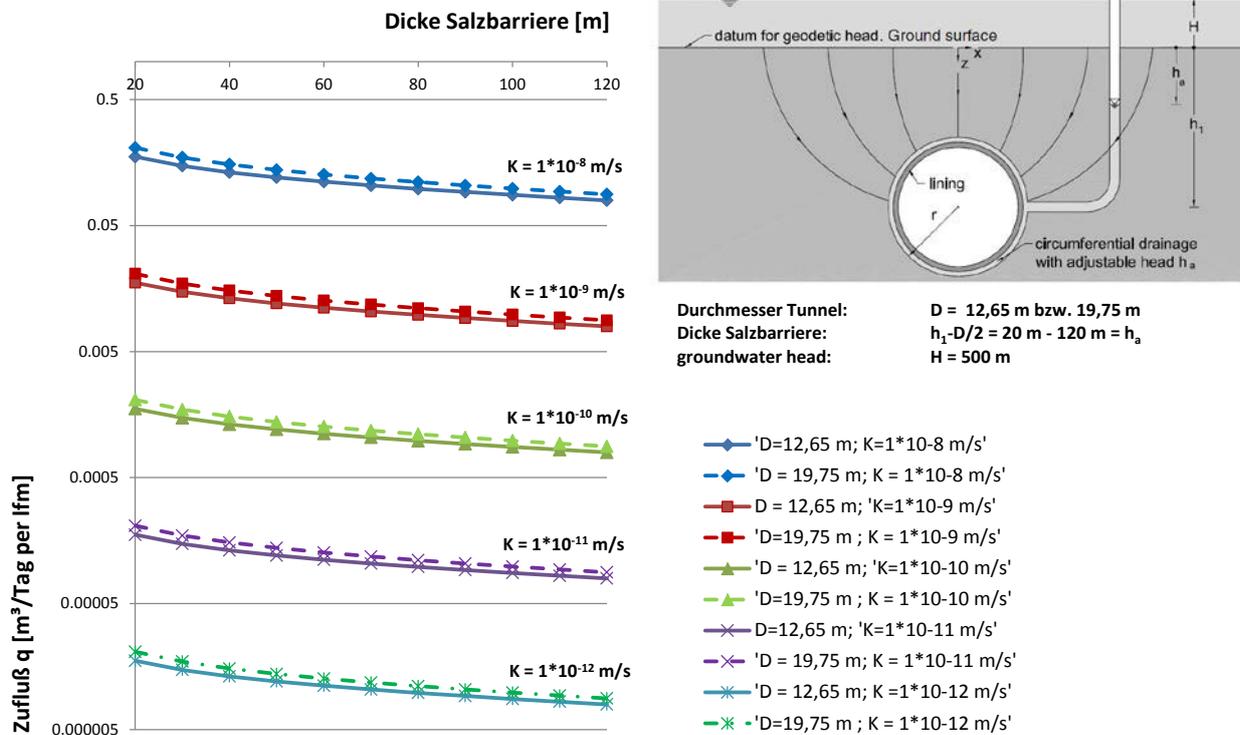


Abbildung 16: Primäre Lösungszutritte in ELK auf 750-m-Sohle nach KOLYMBAS [54]

Die Applizierung des oben beschriebenen Verfahrens zur Abschätzung von lokal begrenzten primären Lösungszutritten in die ELK ist aus quantitativer Sicht streitbar. Jedoch lassen sich aus der vereinfachten Berechnung qualitative Aussagen zu den Einflussparametern ableiten. Die Abbildung 16 zeigt, dass im stationären Zustand sowohl die Dicke der Salzbarriere als auch die Größe der ELK hinsichtlich der Prognosegenauigkeit der Zuflussmengen eine untergeordnete Rolle spielen.

Neuere Studien [29] weisen eine Verlagerung der primären und sekundären Salzlösungszutritte in tiefer liegende Bereiche der Südflanke aus. Demnach traten bis 31.12.2008 [29], Blatt 93 ff. im Abbau 3 der 658-m-Sohle Schüttraten der Hauptzutrittsstellen von 10,1 m<sup>3</sup>/Tag auf, während insgesamt im Bereich der Südflanke in 2012 nach [61] durchschnittlich 11,6 m<sup>3</sup>/Tag gefasst wurden. Gemäß [61] setzte sich 2012 die täglich gefasste Salzlösungsmenge je nach Lokalität wie folgt zusammen:

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 53 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Tabelle 6: Durchschnittswerte für 2012 der täglich gefassten Salzlösungsmengen in der Südflanke nach [61]

Lokalität	Beschreibung	Menge [m <sup>3</sup> /d]
L658008	Abbau 3 auf der 658-m-Sohle	10,623
L658020	Bohrung 119 aus dem Abbau 3/637	0,141
P725010, P725004 und P725007	Sümpfe auf der Strecke zwischen den versetzten Abbauen 2-4 auf der 725-m-Sohle	0,677
P725019	Erkundungsbohrung 8 im Abbau 3/725	0,086
P725020	Erkundungsbohrung 9 im Abbau 4/725	0,0002
L725005	Rollloch 1 auf der 725-m-Sohle	0,0008
L725006	Rollloch 2 auf der 725-m-Sohle	0,023
P750007	Sumpf West vor dem westlichen Zugang im Abbau 9 auf der 750-m-Sohle	0,005
P750006 und P750023	Sumpf Ost vor dem östlichen Zugang im Abbau 9 und Sumpf in dem Sohlenschlitz vor dem östlichen Zugang im Abbau 9 auf der 750-m-Sohle	0,006
P750043 und P750044	Sohlenschlitze vor der östlichen und westlichen Zugänge in der Kammer 8 auf der 750-m-Sohle	0,015
<b>Summe</b>		<b>11,6</b>

Die Lokalitäten der gefassten Salzlösungsmengen nach können Abbildung 17 entnommen werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 54 von 148 Stand: 13.05.2015
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	

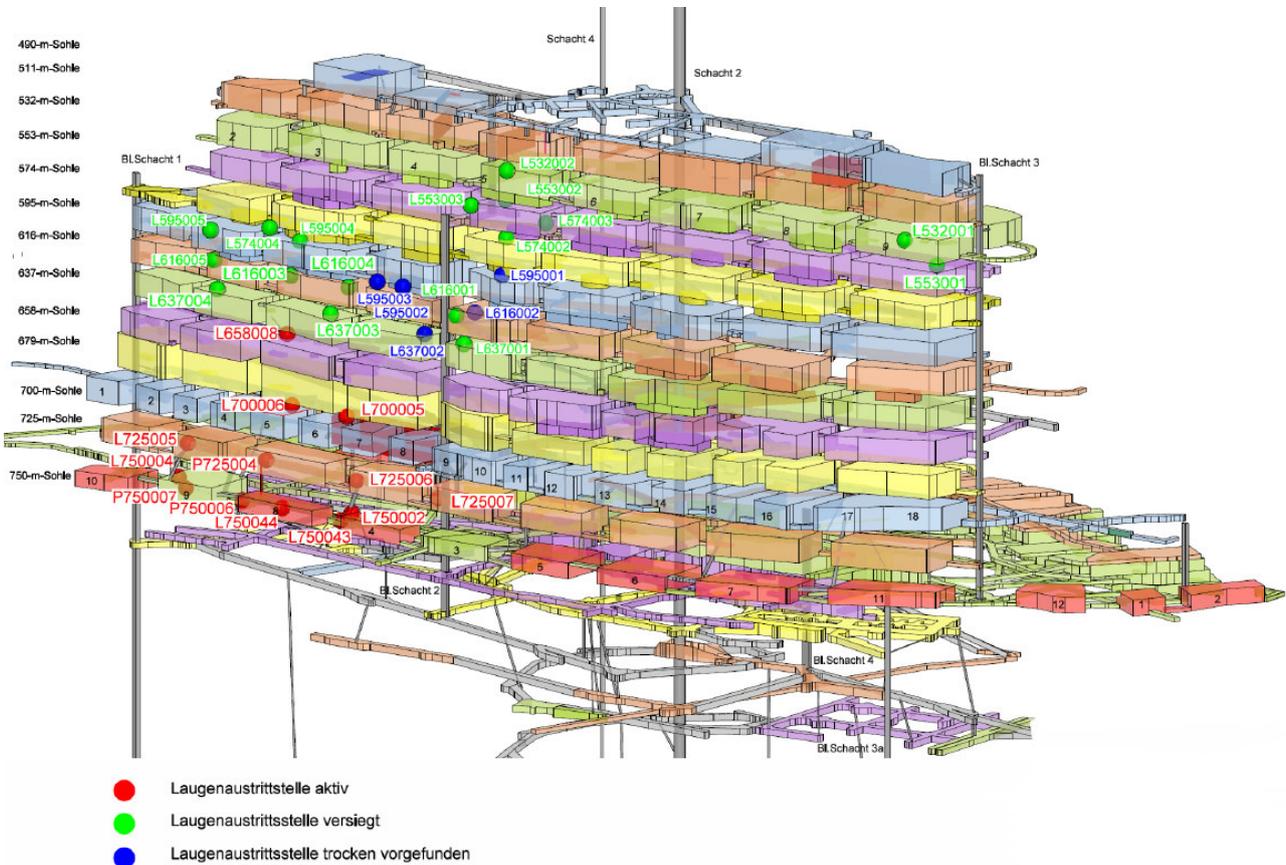


Abbildung 17: Schematische Darstellung des Laugenflusses und der Laugenaustrittsstellen [2]

Der Vergleich der in Abbildung 16 ermittelten lokalen Zuflussmengen von  $<0,01 \text{ m}^3/\text{Tag}$  bis  $0,175 \text{ m}^3/\text{Tag}$  mit den im Laugenverzeichnis [60] erfassten primären Schüttmengen von  $0,0076$  bis  $0,015 \text{ m}^3/\text{Tag}$ ,  $0,072 \text{ m}^3/\text{Tag}$  und bis  $10,8 \text{ m}^3/\text{Tag}$  zeigt, dass die gemäß KOLYMBAS [54] abgeschätzten primären Zuflussmengen trotz der sehr starken Modellvereinfachung in einer plausiblen Größenordnung liegen.

Insgesamt zeigen obige Ausführungen, dass Salzlösungszutritte aus dem Deckgebirge über die Steinsalzbarriere und die durchlässigen Bereiche des Grubengebäudes in die ELK hydraulisch möglich und im Hinblick auf die bisher gefassten Lösungsmengen im Grubengebäude nicht auszuschließen sind. Aufgrund der Anzahl der unbekanntenen Rechenparameter, wie z. B. des tatsächlich vorhandenen, hydraulischen Potentials und der Durchlässigkeiten der Salzbarriere, sind jedoch rechnerische Ergebnisse zur Quantität der primären Schüttmengen ohne messtechnische Unterstützung nicht belastbar.

### Sekundäre Salzlösungszutritte über das Grubengebäude

Der Zusammenhang zwischen den primären Zutrittsstellen und den daraus resultierenden sekundären Austrittsstellen der Salzlösungen innerhalb des Grubengebäudes ist in [23]; S. 79 ff. ausführlich beschrieben.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 55 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	

Die sekundären Fließwege hängen von der primären Zutrittsstelle L658008, also dem Abbau 3 der 658-m-Sohle ab. Die daraus resultierenden Laugenaustrittsstellen in der 725-m- und der 750-m-Sohle sind in den Speicher- und Sohlenrissen [10] bis [14] durch lila-punktierte Nadelmarkierungen verzeichnet. In den noch offenen Sektionen der 750-m-Sohle unterhalb der Zutrittsstelle L658008 im Nahbereich der randnahen ELK 10/750, 8/750 und 4/750 treten etwa 13 sekundäre Austrittsstellen auf (Abbildung 18).

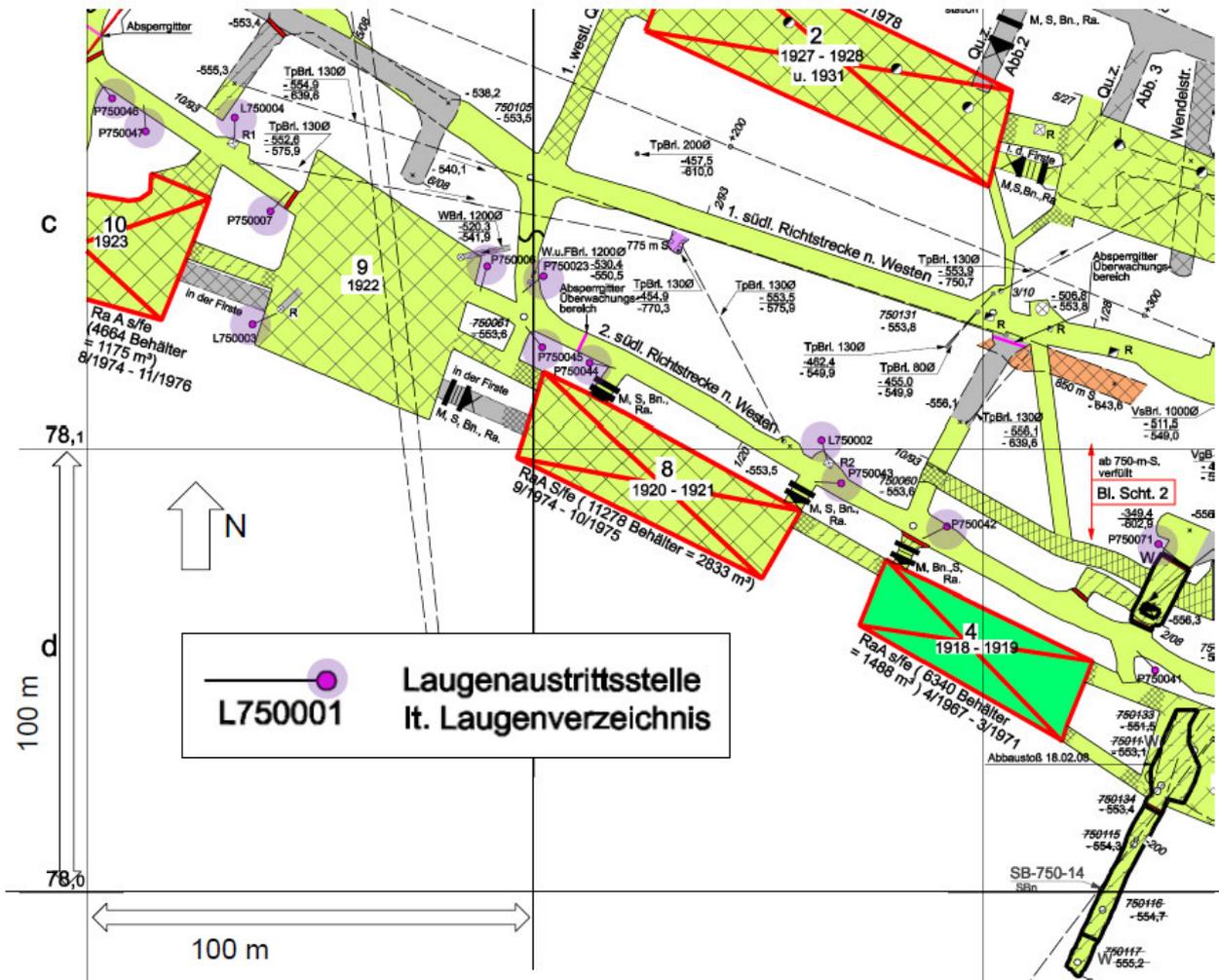


Abbildung 18: Sekundäre Austrittsstellen im Nahbereich der ELK 8 und 4 der 750-m-Sohle gemäß [10] bis [14], modifiziert durch Verfasser

Gemäß Tabelle 6 betragen in 2012 die gefassten Salzlösungsmengen im Bereich der 750-m-Sohle ca. 0,813 m<sup>3</sup>/Tag. Der überwiegende Teil der Salzlösung wird auf der 658-m-Sohle gefasst.

Lösungszutritte in die ELK sind bisher nicht messtechnisch erfasst worden. Jedoch ist aufgrund der Anzahl der oben dargestellten Lösungszutritte im Nahbereich der ELK von einem Eindringen von Lösungswässern in die ELK auszugehen. Die Größe dieser Schüttmengen ist nicht abschätzbar.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 56 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Insgesamt machen obige Ausführungen zu den primären und sekundären Lösungsmengen jedoch deutlich, dass im Zuge der untersuchten Vortriebe in der 725-m- und der 750-m-Sohle zumindest lokal und räumlich begrenzt mit Lösungen zu rechnen ist.

### Kontaminationen von Lösungen

Betrachtet man alle Lösungen im Grubengebäude gibt es kontaminierte Salzlösungen. Es ist aufgrund der Einlagerungszeit und gemäß den Ausführungen in Kapitel 2.6.5 davon auszugehen, dass im Zuge der Rückholung kontaminierte Salzlösungswässer aufgefahren werden.

### 2.6.6 Gebirgsmechanische Situation

Die gebirgsmechanische Situation wurde gemäß [35], S. 26 ff. in 2007 wie folgt bewertet:

*„Das Tragsystem der Südflanke befindet sich in einem Grenzzustand der dilatanten Entfestigung mit Überzugswirkungen auf das unmittelbare Deckgebirge, die auch dort zu lokalen Bruchprozessen führen. Trotz der noch bestehenden Stützwirkung durch die Schwebenringe und der Versatzwirkung, werden sich mit den weiteren Deckgebirgsverschiebungen die Bruchprozesse fortsetzen. Bei brechenden Schwebenringen könnte sich der Resttragwiderstand entscheidend verringern. Auf Grund der nur noch begrenzten Resttragfähigkeit im mittleren Bereich der Südflanke sowie des Gefährdungspotentials der Zuflusssteigerung wird eine schnellstmögliche Schließung des Bergwerkes empfohlen.“ [35].*

Ergänzend hierzu wurde im Jahr 2009 die gebirgsmechanische Situation unter Berücksichtigung der durchgeführten bzw. geplanten Versatzmaßnahmen und Firstspaltverfüllung gemäß [55], S. 31 ff. wie folgt bewertet:

*„Wenn man davon ausgeht, dass die Spannungsmonitorstationen nur einen ‚begrenzten Einblick‘ in den gebirgsmechanischen Zustand der Pfeiler gestatten und meist im Bereich der noch stützenden Schwebenringe installiert sind (in halber Kammerhöhe ist die Entfestigung noch stärker), sind keine Reserven im Tragsystem der Südflanke mehr erkennbar.“ [55]*

*„Mittels der mikroseismischen Überwachung wurden im Messzeitraum 10/2007 bis 09/2008 erstmalig Ereignisse in der Verlängerung der streichenden Störung S2a in der Steinsalzbarriere nachgewiesen. Hier ist zu besorgen, dass sich Mikrorisse in der Steinsalzbarriere in Richtung der 700-m-Sohle zu Makrorissen vereinigen und zu hydraulischen Konsequenzen (Anschluss des hydraulisch leitfähigen Muschelkalks über die Störung S2a) führen.“ [55]*

In 2009 wurde die zukünftige Systemtragfähigkeit unter Berücksichtigung der bis 2006 gemessenen Versatzdrücke und unter Einbeziehung der Firstspaltverpressungen wie folgt bewertet [55], S. 31 ff.:

*„Ein wesentliches Resultat der gebirgsmechanischen Rechnungen mit dem vertikalen 3-D-Modell besteht darin, dass für den berechneten Prognosezeitraum bis 2020 eine Resttragfähigkeit ausgewiesen werden kann, ohne dass es zu einem deutlichen Anstieg der Deckgebirgsverschiebungsraten kommt, wie bisher berechnet. Die Ursache liegt in den im Modell vorgegebenen erhöhten Versatzdrücken, die erst seit 2005/2006 gemessen werden und die einer Beschleunigung der Bruchprozesse entgegen wirken.“ [55], S. 32*



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 57 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

*„Die Modellierung der Firstspaltverfüllung in unterschiedlichen Fallstudien zeigt einen relativ geringen Einfluss auf die weiteren Verschiebungen und daraus resultierenden Beanspruchungen des Deckgebirges.“ [55], S. 33*

Insgesamt ist gemäß obigen Ausführungen aus den Jahren 2007 und 2009 anzunehmen, dass die Systemtragfähigkeit des Grubengebäudes bis zum Auffahren der ELK trotz der geplanten Firstspaltverfüllungen und Versatzmaßnahmen keinesfalls zunehmen wird. Es wird noch von weitestgehend intakten Tragelementen im Umfeld der ELK auf der 750-m-Sohle ausgegangen.

Für die Auslegung der Bergungstechnik ist von entfestigtem und plastischem Materialverhalten des Salzgebirges im Bereich der Schweben und der Salzbarriere sowie im Salzsattel auszugehen. Aufgrund des Grades der Überbeanspruchung mit In-situ-Scherdeformationen von >5 bis 20 %, entsprechend Abbildung 19, ist anzunehmen, dass die verbleibenden Tragreserven und Spannungszustände im Salzgebirge der 725-m- und der 750-m-Sohle im Bereich der Restfestigkeit liegen werden [35], S. 13.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 58 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

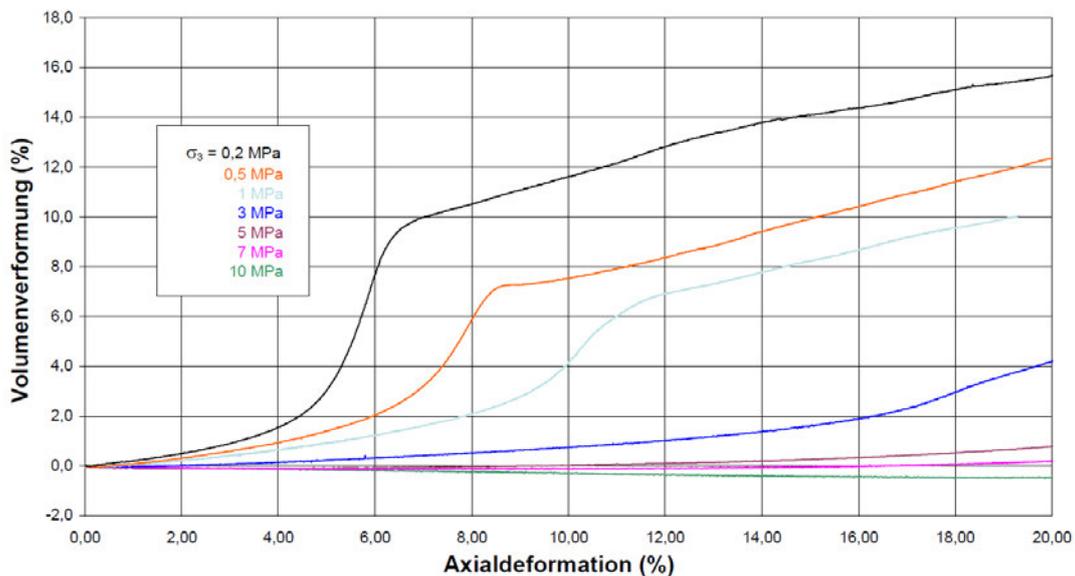
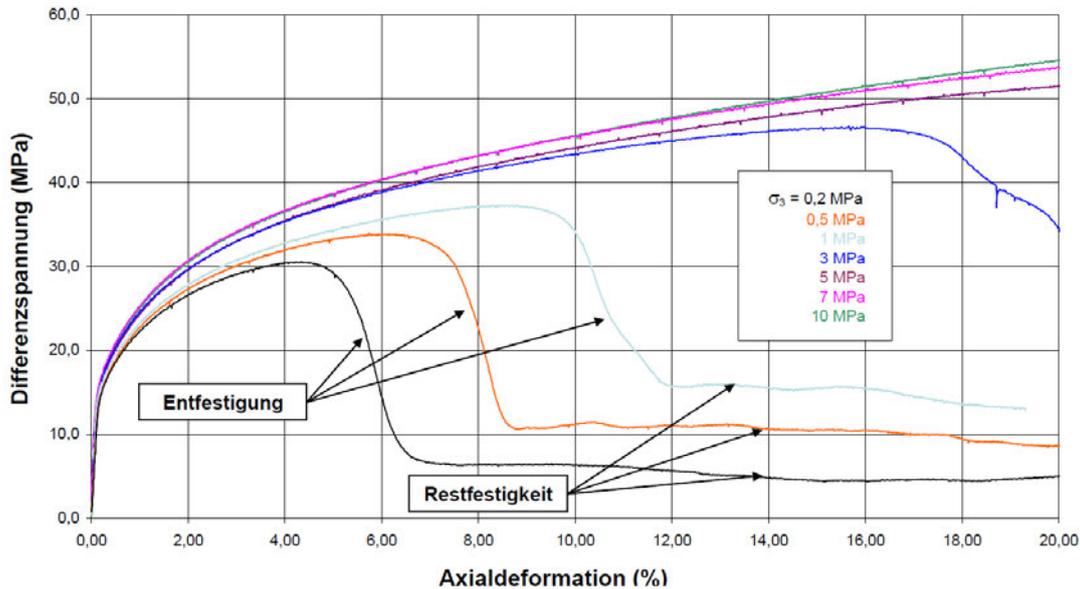


Abbildung 19: Festigkeitskurven (Differenz aus aufnehmbarer Axialspannung und konstantem Manteldruck, oben) und Verlauf der Auflockerung (positive Volumenverformung oder Dilatanz, unten) von Steinsalzprüfkörpern bei unterschiedlichen Manteldrücken [35], S. 13

Aktuelle Aussagen zum gebirgsmechanischen Zustand und der Systemtragfähigkeit des Grubengebäudes liegen in Form des Jahresberichtes 2012 der Asse GmbH vor [62]. Die Gebirgsspannungen in den Tragelementen der Südflanke wurden anhand von installierten Spannungsmonitorstationen gemessen und überwacht. Sowohl auf der 725-m-Sohle als auch auf der 750-m-Sohle sind keine Spannungen gemessen worden. Von den nächstliegenden Spannungsmonitorstationen über den ELK, aus den Pfeilern der 658-m-Sohle und der 679-m-Sohle, sind Spannungsmessungen vorhanden. Diese zeigen eine über die Jahre zunehmende Spannung zum größten Teil im Bereich bis zu 10 MPa. Vereinzelt und maximal wurden Spannungen bis 35 MPa gemessen. Für eine Prognose von Gebirgsspannungen im Nahbereich der ELK sind Gebirgsspannungsmessstellen in dem Pfeiler zwischen ELK 6/750 und ELK 7/750 als auch in dem Pfeiler zwischen ELK 7/750 und

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 59 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

ELK 11/750 geplant. Die räumliche Verteilung oberhalb der ELK kann Abbildung 20 entnommen werden.

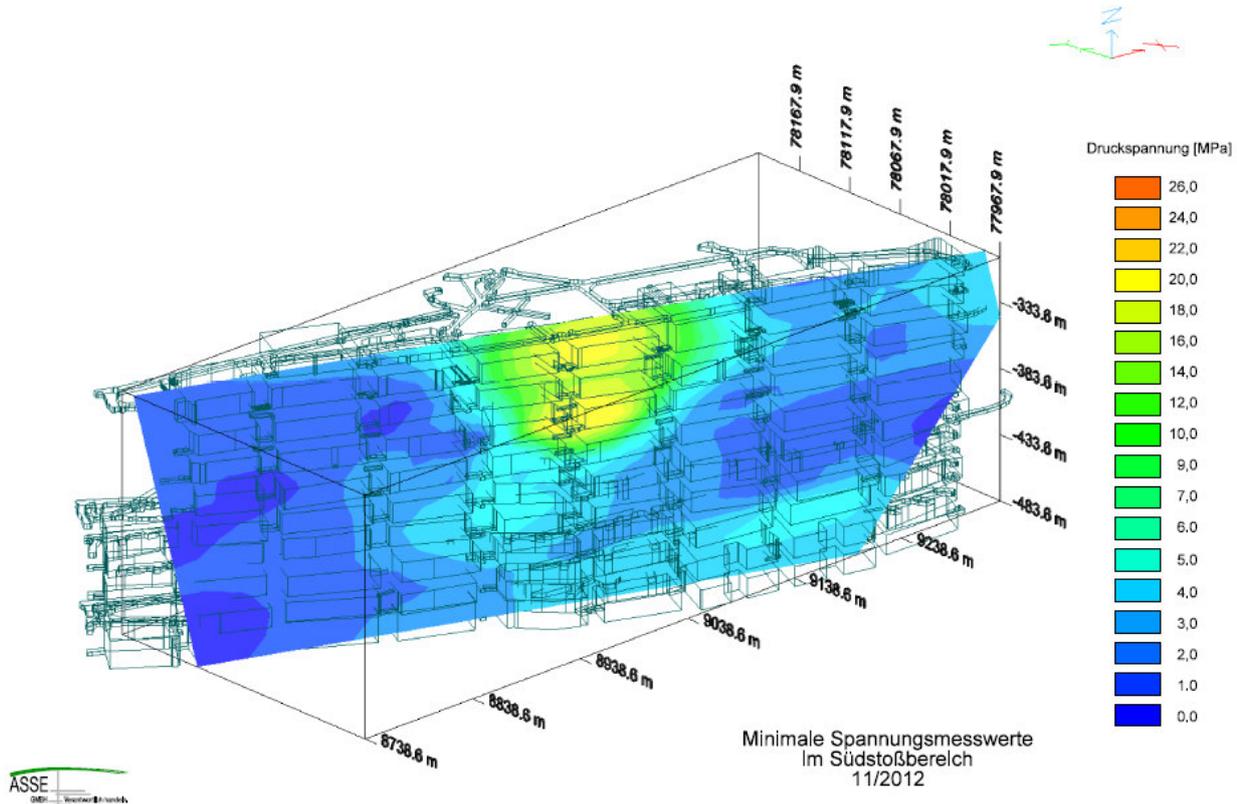


Abbildung 20: Räumliche Verteilung der minimalen Spannungsmesswerte, Blickrichtung von S nach N entsprechend [62], S. 359

## 2.7 TUNNELBAUTECHNISCHE EINSCHÄTZUNG

### 2.7.1 Gesteinsdruckfestigkeit

Im Zuge der Rückholung werden bei einem horizontalen oder auch vertikalen Auffahren die teil- oder vollversetzten bzw. verblasenen ELK, die Pfeiler oder auch Schweben sowie unter Umständen die Salzbarriere aufgefahren. Für das Auffahren von Gestein sind Lösewerkzeuge erforderlich. Der Einsatzbereich von Lösewerkzeugen hängt von der Druckfestigkeit des anzutreffenden Gesteins ab.

Die im Bereich der Schweben, Salzbarriere und Pfeiler zu erwartenden Lösewiderstände sind abhängig von den Salztypen und deren Druckfestigkeiten. Entsprechend Tabelle 2 liegt die Druckfestigkeit in der Regel im Bereich von 25-35 MPa. Die maximale Druckfestigkeit im Kalisalz wird gemäß [6], S. 43 und [33], Anlage 19 zu ca. 60 MPa angegeben. Typische Gesteinsdruckfestigkeiten für die Eignung eines Hydraulikhammer oder eines Fräskopf als Lösewerkzeug liegen im Bereich bis 80 MPa und damit unterhalb den vorgefundenen Druckfestigkeiten. Damit eignen sich bewährte und am Markt verfügbare Lösegeräte für das Auffahren in der Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 60 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

Die in den ELK zu erwartenden maximalen Lösewiderstände hängen im Wesentlichen vom Zustand der Fassgebirge und derer Materialfestigkeiten sowie der Festigkeit des Gesamtverbundes aus Gebirge und Salzversatzmatrix ab. Hier wird auf die Untersuchungen im 2. Zwischenbericht des KIT [56] und auf Kapitel 2.2 sowie Kapitel 5.5.1 verwiesen.

## 2.7.2 Konvergenzen

Konvergenzen werden überwiegend in Strecken und Versuchsfeldern und vereinzelt in wichtigen Streckenlokalitäten gemessen. Die in den Jahren 2011 und 2012 gemessenen Konvergenzen werden bezogen auf die Länge der Messtrecke über die Zeit ausgewertet und betragen vertikal im Mittel 2,2 – 4,0 ‰/a im Bereich der Abdichtbauwerke der 700-m- bis 775-m-Sohle [62]. Im Bereich der Südflanke bestätigt sich eine Zunahme der Konvergenzen mit zunehmender Teufe nicht [62].

Auftretende Gebirgskonvergenzen und daraus resultierend Belastungen auf die Schildmaschine können durch entsprechend gewählten Überschnitt bzw. Überprofil reduziert werden.

Derzeit werden Bohrungen zur Beprobung und Erkundung der ELK ausgeführt. Zum Zeitpunkt der Verfassung dieses Zwischenberichts lagen noch keine Informationen aus der Erkundung vor. Es ist davon auszugehen, dass die ELK nicht mehr in ihrem ursprünglich ausgebrochenen Profil vorliegen und bereits durch geologische Aktivität konvergiert und deformiert angetroffen werden. Die Abbildung 21 zeigt mögliche Konvergenzen, Verbrüche und Risse im Gebirge.

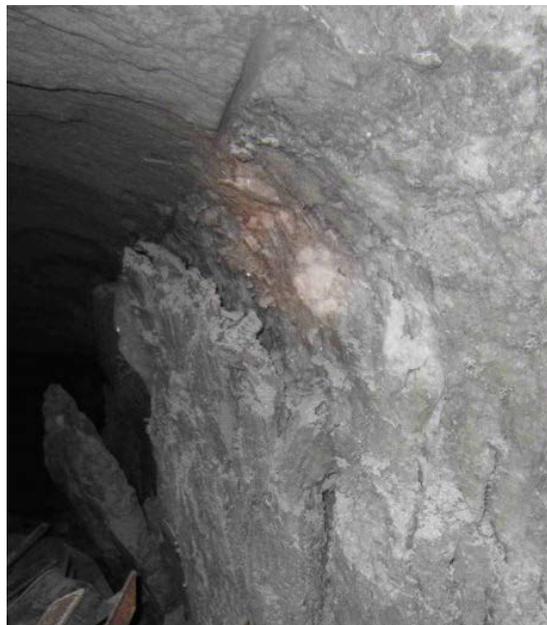


Abbildung 21: Abschälen von Salzgestein mit Rissen im Bereich erhöhter Spannungen im Nahbereich der ELK9/750 [Bildquelle Herrenknecht AG]

## 2.7.3 Spannungen

Die sich in diesem Zustand einstellenden Spannungen bzw. Verformungen in den Salzpfeilern und Schweben der 725-m- und der 750-m-Sohle sind maßgebend für die Belastung auf den Schildmantel einer Schildmaschine und für die Dimensionierung des temporären Ausbaus und die Hohlraumverfüllung.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 61 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

Die Belastungen der Schildmaschine oder der Hohlraumverfüllung hängen von zahlreichen Parametern ab, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt der Planungen nicht final festgelegt werden können. Eine Lastabschätzung kann nicht getroffen werden und es wird empfohlen die zu erwarteten zukünftigen Spannungen vertiefend zu evaluieren.

Durch einen entsprechenden Überschnitt beim Abbau, also einem Überprofil über die Profilabmessung der Schildmaschine hinaus, können Spannungen erheblich reduziert werden. Durch das zeitliche Konvergenzverhalten nach Herstellung des Überschnitts wird dem Gebirge die Möglichkeit zur Spannungsumlagerung eingeräumt. Erfahrungen aus dem Tunnelbau zu Dimensionierung von kreisförmig, runden Schildmaschinen liegen bei maximalen radialen Gebirgsdruckspannungen in der Größenordnung um die 1 bis 2 MPa.

Um die Auswirkung der Belastung auf einen rechteckförmigen Schild zu verifizieren, wird nach Vorliegen von zu erwartenden Gebirgsdrücken eine statische Untersuchung empfohlen. Auch ohne vorliegenden, rechnerischen Nachweis wird eine konstruktive Ausbildung des Schildes für hohe Gebirgsspannungen als für realisierbar erachtet.

### 2.7.4 Gebirgssicherung und Hohlraumverfüllung

Entsprechend Ausarbeitung nach [5] gilt: „Die gebirgsmechanische Erfahrung zeigt, dass bereits ein geringer Stützdruck eine deutlich positive Wirkung auf das Verformungsverhalten von anstehenden Gesteinsbereichen hat und das Tragverhalten – vor allem im Bereich der Resttragfähigkeit – positiv beeinflusst.“

Eine Stützung der Ortsbrust sowie der Stützmitteleinbau durch eine Tunnelauskleidung und durch eine Hohlraumverfüllung können wesentlich zur Beherrschung der Gebirgsdrücke und -verformungen beitragen. Weiterhin erreicht eine Verfüllung des Hohlraums bei Räumung von neben- oder hintereinanderliegenden ELK den kompletten Verlust der horizontalen Gebirgsstützung und reduziert Verbrucherscheinungen an den Decken.

### 2.7.5 Lösungszutritte

Es ist vom Zutritt von Salzlösungen in der Schachtanlage Asse II berichtet worden. So erreichen NaCl-gesättigte Lösungen bereits die 750-m-Sohle. Die Lösungen werden gefasst und abgepumpt. Die Durchfeuchtung des Gebirges mit gesättigten Lösungen kann zur Entfestigung und zu verändertem Kriechverhalten führen.

Auf der 725-m- und der 750-m-Sohle sind folgende Schichten/Bereiche potentiell lösungsführend:

- Pfeiler- und Zugangsbereiche: Leinsteinsalz  $\text{Na}_3\alpha/\beta/\gamma$  im Bereich der eingeschalteten Anhydrit- und Saltonbänke
- Innerhalb der Salzbarriere  $\text{Na}_2\beta$  im Bereich von mechanisch stark beanspruchten Bereichen (Risszonen/Auflockerungsbereiche).

Seit August 1988 werden ca. 12 m<sup>3</sup>/d zutretende gesättigte Lösungswässer (NaCl) gefasst.

Es wird im Rahmen dieses Zwischenberichts angenommen, dass die Lösungszuflussmengen aus dem Deckgebirge beherrschbar bleiben und weitestgehend vor Erreichen der 750-m-Sohle gefasst werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 62 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

Die Ausführungen in Kapitel 2.6.5 zu den Salzlösungszutritten im Grubengebäude zeigen, dass im Zuge der Bergungsvortriebe damit zu rechnen ist, in den Einlagerungsbereichen mit Salzlösung gesättigte Bereiche bzw. Taschen oder Porenwässer mit entsprechenden Spitzenlösungszuflüssen aufzufahren.

Es wird zwischen dem primären Salzlösungszutritt auf der 658-m-Sohle und den sekundären Salzlösungszutritten auf Höhe der ELK der 725-m- und der 750-m-Sohle ein hydraulischer Zusammenhang vermutet (Abbildung 14). Eine hydraulische Konnektivität zwischen den Sohlen oberhalb der 658-m-Sohle und den ELK ist aus den Referenzunterlagen nicht ablesbar.

Eine Schildmaschine sollte mit einer Druckwand so konzipiert und verschlossen werden, dass Lösung durch die Abschirmwand abgetrennt bleiben und keine Flüssigkeit unkontrolliert in den Kontrollbereich gelangen kann.

## 2.7.6 Chemische Zusammensetzung der Salzlösungen

Der Chemismus der im Grubengebäude gefassten Salzlösungen wird seit den 30er Jahren des vergangenen Jahrhunderts untersucht und archiviert [29], Blatt 24 ff.. Die festgestellte Mineralisierung der auf der 725-m- und der 750-m-Sohle gefassten Salzlösungen ist gemäß [61], S. 29 ff. für das Jahr 2012 tabellarisch zusammengefasst.

Für die tunnelbautechnischen Planungen wird empfohlen, die Korrosionswahrscheinlichkeit gemäß z. B. DIN 50929-1 auf Grundlage der in [29] und [30] vorhandenen Messwerte zu beurteilen. Da die Lösungen chemisch nicht stabil sind [29], wird empfohlen, die Korrosionsbeständigkeit der tunnelbautechnischen Einrichtungen an die sich fortlaufend ändernde Zusammensetzung der Salzlösungen anzupassen.

## 2.7.7 Gase und Gaskonzentrationen

Die im Grubengebäude aufgetretenen Gase und Gaskonzentrationen werden ebenfalls in den Berichten [29] und [30] beschrieben.

Gemäß [29], Blatt 41 ff. sind auf Höhe der 725-m- und der 750-m-Sohle Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) Methan ( $CH_4$ ), Ethan ( $C_2H_6$ ), Ethen ( $C_2H_4$ ), Propan ( $C_3H_8$ ) und Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ ) angetroffen worden und entsprechend im Zuge des Vortriebs zu erwarten.

Die Gastypen und -konzentrationen ändern sich ebenfalls je nach Örtlichkeit und Messzeitraum bzw. Auftrittszeitpunkt. Zudem variieren sie stark und sind daher für die tunnelbautechnische Auslegung der Bergungseinheiten je nach Lage des Vortriebes im Grubengebäude und auf Basis des Vortriebskonzeptes zu interpretieren. Die Auslegung der Ventilation ist entsprechend durch kontinuierliche Messungen fortlaufend zu verifizieren und gegebenenfalls zu modifizieren.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 63 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### 3 BESCHREIBUNG BESTEHENDER MASCHINELLER VORTRIEBS- UND ABTEUFVERFAHREN

Der im Weiteren beleuchtete, konzeptionelle Ansatz setzt voraus, dass für die Rückholung der Gebinde die Umkehr des Einlagerungsprozesses mit konventionellen Geräten nicht mehr zielführend ist. In diesem Fall können Verfahren und Maschinen, welche zur Einlagerung verwendet wurden, aufgrund von Grubenstabilität, Sicherheits- und Strahlenschutzanforderungen nicht mehr eingesetzt werden. Zur Möglichkeit, den Inhalt der ELK im bergmännischen Verfahren mit herkömmlichen Baugeräte und -maschinen rückzuholen, wird auf die Berichte [6] und [5] verwiesen. Im Folgenden wird ausschließlich das maschinelle Auffahren oder Abteufen im Teilflächenabbau betrachtet und dargelegt.

#### 3.1 SCHILDVORTRIEB MIT TEILFLÄCHENABBAU

Bei einer Schildmaschine mit Teilflächenabbau besteht der Schild aus einer Stahlstruktur und einem Schildmantel. Die Ortsbrust wird punktuell durch wechselbare Abbaugeräte abgebaut. Die Abbaugeräte können entsprechend den geologischen Anforderungen adaptiert werden. Die Schutterung von Abraum erfolgt mittels Schneckenförderern, durch Bandanlagen oder mit Kettenförderern.

Bei offenen Schildmaschinen im Teilflächenabbau besteht eine sehr gute Zugänglichkeit zur Ortsbrust, sodass insbesondere bei der Gefahr von anzutreffenden Hindernissen diese Verfahren große Vorteile bieten können.

Schildmaschinen für einen Teilflächenabbau werden oft für kleinere Querschnitte, wie z. B. Abwassersammler, und gelegentlich für große Tunnelprofile mit Ausbruchdurchmesser größer als 10 m verwendet. Durch den Teilflächenabbau mit Abbaubaggern oder Fräsen ist die Auffahrung nichtkreisförmiger Querschnitte möglich. Die gute Einsicht zur Ortsbrust sowie der leichte Zugang zur Abbaukammer erlauben jederzeit die Kontrolle und die schnelle, flexible Anpassung an die Ausbruch- oder Baugrundbedingungen.

Größere Schildmaschinen sind mit einer oder mehreren horizontalen Bühnen ausgestattet, um die Ausbruchfläche zu segmentieren und die Ortsbrust mechanisch zu stützen. Auf den Bühnen sitzen in mehreren Ebenen die Abbaugeräte. Der Schild und bei kleinen Tunneldurchmesser auch der Ausbau werden vorangeschoben. Bei größeren Schilden wird eine Tunnelröhre bestehend aus Betonfertigteilstegmenten hergestellt.

Der Deutsche Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) [57] unterscheidet nach vier Grundtypen von Schildmaschinen mit Teilflächenabbau. Wie der Abbildung 22 entnommen werden kann, ist die Ausführung einer Schildmaschine mit Teilflächenabbau ohne Stützung, mit Teilstützung, mit Druckluftbeaufschlagung sowie mit Flüssigkeitsstützung möglich.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 64 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

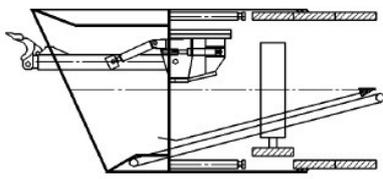
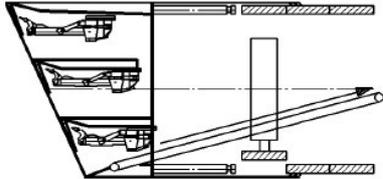
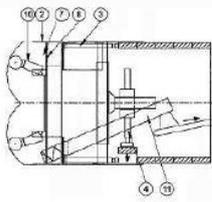
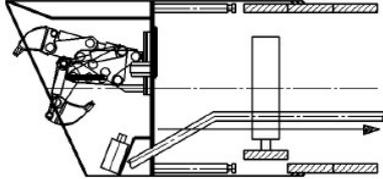
<b>SM-T1</b> ohne Stützung <i>Partial excavation and without support</i>		
<b>SM-T2</b> Teilstützung <i>Partial excavation and partial support</i>		
<b>SM-T3</b> Druckluftbeaufschlagung <i>Partial excavation and compressed air application</i>		
<b>SM-T4</b> Flüssigkeitsstützung <i>Partial excavation and slurry support</i>		

Abbildung 22: Übersicht der Schilde mit Teilflächenabbau [57]

### 3.1.1 Schildvortrieb mit Teilflächenabbau ohne Ortsbruststützung

Sofern die Ortsbrust standfest ist und gleichzeitig kein Grundwassereintritt erwartet wird, kann ein Teilflächenabbau ohne jegliche Stützung der Ortsbrust erfolgen (Abbildung 22). Eine standfeste Ortsbrust wird beispielsweise bei steifen Schluff-/Tonböden und gering festen Gesteinen wie Mergel, Kalk-/Tonstein vorgefunden.

Die Maschine besteht aus den Grundelementen:

- Schildmantel
- Abbaugeräte
- Fördereinrichtung

### 3.1.2 Schildvortrieb mit Teilflächenabbau mit mechanischer Teilstützung

Wenn die Standsicherheit der Ortsbrust nicht mehr vollständig gegeben ist, aber der natürliche Böschungswinkel des Bodens zur Stützung der Ortsbrust ausreicht, kann in Teilflächen mit mechanischer Teilstützung abgebaut werden (Abbildung 22). Die mechanische Stützung des natürlichen

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 65 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Böschungswinkels kann durch Bühnen und Brustverbauplatten erfolgen. Mit Blick auf die Ortsbruststabilität ist der Vortrieb bedingt kontrollierbar, da Verformungen und lokale Ausbrüche an der Ortsbrust eintreten können und Ausbruchmaterial nachrieseln kann.

Das Zutreten und Zufließen von Grundwasser kann mit einer mechanischen Stützung nicht verhindert werden. Eine ausreichende Ortsbruststabilität wird beispielsweise bei Schotter-, Kies- oder Sandböden mit entsprechendem innerem Reibungswinkel des Bodens erwartet.

Die Maschine besteht aus den Grundelementen:

- Schildmantel
- Abbaugeräte
- Bühnen mit Brustverbauplatten bei größeren Tunnelprofilen
- Fördereinrichtung

### 3.1.3 Schildvortrieb mit Teilflächenabbau mit Druckluftstützung

Ein Teilflächenabbau ohne Ortsbruststützung als auch mit mechanischer Teilstützung kann bei Zutritt von Grundwasser Anwendung finden, sofern Druckluft in einer abgeschotteten Abbaukammer aufgebracht wird. Die Druckluftstützung (Abbildung 22) erlaubt das Verdrängen von einströmendem Wasser. Ein bemannter Einstieg in die unter Luftüberdruck stehende Abbaukammer kann durch Personenschleusen erfolgen, welche hinter der Druckwand installiert sind.

Der Einsatzbereich dieser Vortriebsvariante hängt von der Durchlässigkeit des Baugrundes ab. Je durchlässiger der Boden, desto höher der Luftverbrauch und das zu verdrängende Volumen.

Die Maschine besteht aus den Grundelementen:

- Schildmantel
- Abbaugeräte
- Optional: Bühnen und Brustverbauplatten bei größeren Tunnelprofilen
- Fördereinrichtung
- Druckwand
- Schleuse und Druckluftregelanlage

### 3.1.4 Schildvortrieb mit Teilflächenabbau mit Flüssigkeitsstützung

Maschinen mit flüssigkeitsgefüllter Abbaukammer können zum Abbau von sandigen, kiesigen Böden unter Grundwasser verwendet werden (Abbildung 22). Die Materialförderung erfolgt mittels Flüssigkeitskreislauf in Rohrleitungen durch eine Kreiselpumpe. Der Kreislauf besteht aus einer Speise- und Förderleitung. Über die Speiseleitung gelangt Stützflüssigkeit, wie etwa eine Bentonitsuspension, in die Abbaukammer, wird dort mit ausgebrochenem Boden vermischt und mit höherer Dichte über die Förderleitung aus dem Tunnel an die Oberfläche befördert. An der Ober-



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 66 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

fläche ist zur Materialaufbereitung oft eine Separationsanlage zur Trennung von Flüssigkeit und ausgebrochenem Boden vorgesehen.

Die Maschine besteht aus den Grundelementen:

- Schildmantel
- Abbaugeräte
- Optional: Bühnen und Brustverbauplatten bei größeren Tunnelprofilen
- Flüssigkeitskreislauf
- Druckwand
- Schleuse und Druckluftregelanlage

### 3.2 SCHACHTBOHREN – MASCHINELLES TEUFEN OHNE VORBOHRLOCH

Beim maschinellen Schachtabteufen aus dem Vollen wird von der betreffenden Sohle aus die gesamte Schachtteufe ohne Vorbohrloch aufgefahren. Der Gesteinslöseprozess erfolgt statt durch Bohren und Sprengen mit Längs- oder Querschneidköpfen. Das gelöste Material wird üblicherweise mit Greifer und Kübel oder durch Lufthebeverfahren nach oben gefördert. Das Abteufen des Schachtes und das Einbringen des Ausbaus erfolgen gleichzeitig.

Für die Erstellung von vertikalen Schächten hat die Herrenknecht AG die VSM-Technologie (Vertical Shaft Sinking Machine) entwickelt. Die VSM-Maschinenteknik ist in Abbildung 23 dargestellt. Die maschinelle Schachtabsenkanlage wird vorwiegend für Start- und Zielschächte, Zugangs- und Belüftungsschächte oder Servicezugänge für unterirdische Bauwerke und Tunnel aller Art eingesetzt. Die VSM wird vor allem im Durchmesserbereich von 4,5 bis 12 m sowie unter dem Grundwasserspiegel eingesetzt. Darüber hinaus erweitern Sonderlösungen, wie innerstädtische, unterirdische Parkschächte oder Vor- und Ventilationsschächte im Bergbau, das Einsatzspektrum. Die VSM-Technologie hat ihre Vorzüge in zahlreichen Projekteinsätzen erfolgreich demonstriert. Sie kann grundsätzlich in weichem Boden und standfestem Fels bis zu Gesteinsdruckfestigkeit von 80 MPa eingesetzt werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 67 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

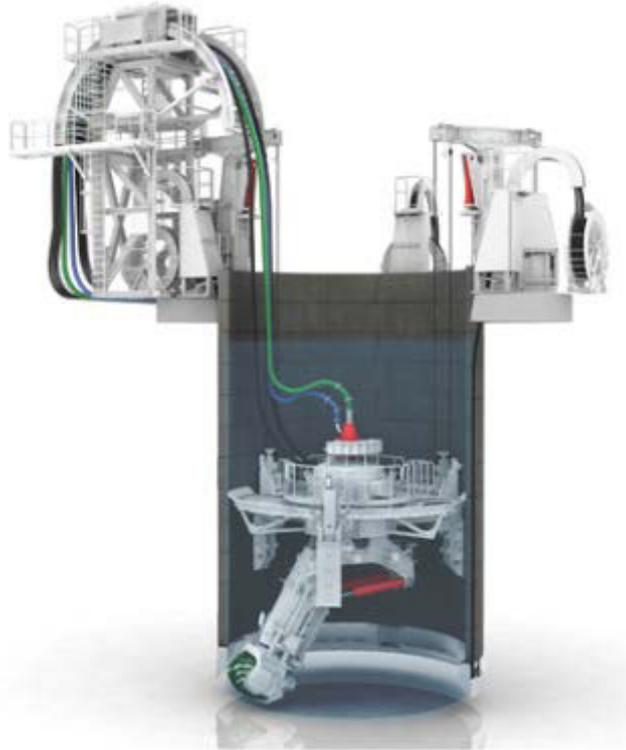


Abbildung 23: Vertical Shaft Sinking Machine (VSM) mit Segmentausbau [Bildarchiv Herrenknecht AG]

Die Schachtabsenkanlage besteht aus zwei Hauptkomponenten: der Schachtbohrmaschine und den Absenkeinheiten. Die Schachtbohrmaschine wird in das Startrohr abgelassen und mithilfe von Maschinenarmen fest im Schacht fixiert. An einem Schrämausleger ist eine drehende, mit Rundschafftmeißeln bestückte Fräswalze befestigt. Sie löst und zerkleinert den anstehenden Baugrund an der Schachtsohle. Der Schrämausleger ist teleskopier-, schwenk- und drehbar. Dadurch kann sukzessiv der gesamte Schachtquerschnitt abgebaut sowie der für das Absenken des Ausbaus notwendige Überschchnitt hergestellt werden.

Bei einer VSM erfolgt der Abtransport des Abraums hydraulisch über eine Tauchmotorpumpe zur Separationsanlage an der Oberfläche.

Der untere Betonring, auch Schachtschneide genannt, ist angeschrägt und schert in die anliegende Geologie. Gleichzeitig verringert der Überschchnitt der Schräge unter der Schachtschneide im Zusammenspiel mit der äußeren Schmierung des Ringraums die Reibungskräfte zwischen Schacht und Baugrund. Mehrere Litzenzugzylinder sind an der Oberfläche fest auf dem Betonringfundament fixiert. Über Stahlseile (Litzen) sind sie mit dem unteren Betonring verbunden. So kann das gesamte Schachtbauwerk gehalten und bei der Teufe kontrolliert abgelassen werden. Parallel zu den Teufarbeiten findet an der Oberfläche der Ringbau mit Betonfertigteilelementen statt. Der Ausbau kann abschnittsweise durch Fertigteile am Schachtkopf errichtet und sukzessive mit dem Aushub des Schachtinneren auf seine Endtiefe abgesenkt werden. Dieses Grundprinzip ist auch als Senkschacht bekannt.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 68 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

Kontinuierlich wird das Bauwerk weiter abgelassen, während an der Oberfläche der Ringbau erfolgt. Ist die Zieltiefe erreicht, wird die Maschine nach oben geborgen. Anschließend wird der Schacht mit einer Betonsohle abgedichtet und der Ringraum mit Mörtel kraftschlüssig verpresst. Die Parallelisierung von Arbeitsabläufen, wie Abbau, Materialförderung, Schachtausbau und Absenken, ermöglicht mit der VSM-Technologie hohe Teufleistungen.

Die Steuerung und Überwachung aller Arbeiten erfolgt von der Oberfläche. Neben Separationsanlage, Absenkeinheiten und Hubwinden zählen Steuercontainer und Versorgungsaggregate zur Baustelleneinrichtung. Alle verfügbaren Vortriebsinformationen werden gesammelt und im Steuercontainer visualisiert. Dort kann der Maschinenfahrer jederzeit mit vollem Überblick auf die jeweiligen Verhältnisse reagieren. Nach Fertigstellung des Vortriebs oder bei Werkzeugwechseln wird die Schachtbohrmaschine über Hubwinden geborgen.

Die VSM-Technologie hat ein großes Anwendungsspektrum. Nicht nur Schächte unterhalb des Grundwasserspiegels können abgeteuft werden, sondern durch Modifikation der Abraumförderung von einem Flüssigkeitskreislauf hin zu einem Greifer oder einer Lufthebeförderung ist eine Anpassung des Förderkonzepts für Teufen im Fels und ohne Grundwasserspiegel möglich. Derzeit laufen zwei Schachtabsenkmaschinen mit pneumatischer Materialförderung für ein Bergwerk in Kanada.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 69 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

## 4 UNTERSUCHUNG UND BEWERTUNG VON VORTRIEBS-/ ABTEUFVARIANTEN

Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse zur Schaffung einer Beurteilungsgrundlage zusammengestellt und für eine Entscheidung hinsichtlich einer zu favorisierenden Auffahr- und Rückholvariante aufbereitet. Es erfolgt zunächst die Vorauswahl einer Vortriebstechnik für den Schildvortrieb im Teilflächenabbau basierend auf den gegebenen Randbedingungen.

Weiterhin werden fünf Schildvortriebsoptionen und ein Abteufverfahren untersucht. Die Varianten unterscheiden sich wesentlich sowohl im Rückholprozess als auch im Ausbruchquerschnitt. Zudem können die Logistik zur Rückholung und das Anfahren der ELK vom Grundsatz her sowohl horizontal als auch vertikal erfolgen. Eine Klassifizierung der Varianten findet mit Blick auf Maschinenteknik, Vortriebslänge und Ausbruchprofil statt.

### 4.1 SCHILDVORTRIEBSTECHNIK

Ein Schildvortrieb mit Flüssigkeitsstützung (Kapitel 3.1.4) wird nicht favorisiert, da weder der Inhalt der ELK durch eine Flüssigkeit gestützt noch möglichst zerstörungsfrei durch eine Flüssigkeit herausgepumpt werden kann. Auch eine Druckluftstützung (Kapitel 3.1.3) wird nicht erforderlich gesehen, da das Lösungsvorkommen im Grubengebäude entweder im handhabbaren Bereich liegen soll und abgepumpt wird oder das Aufbringen der Druckluft bei hoher Durchlässigkeit des Baugrundes nicht den gewünschten stabilisierenden Effekt bewirkt.

Die mechanische Teilstützung der Ortsbrust (Kapitel 3.1.2) bedingt bei größeren Schildmaschinen über ca. 6 m im Durchmesser mehrere Bühnen, auf Ebenen angeordnet, mit Brustverbauplatten, welche hydraulisch zur Stützung an die Ortsbrust fahren können (Abbildung 22).

Es wird für die aufzufahrenden Strecken von gering durchlässigem und standfestem Gestein ausgegangen. Eine aktive Stützung der Ortsbrust wird insofern nicht erforderlich betrachtet. Im Weiteren wird daher ausschließlich ein Schildvortrieb mit Teilflächenabbau ohne eine Stützung der Ortsbrust verfolgt. Von einer ausreichenden und zielführenden Stützung des Inhalts der ELK kann ohnehin nicht ausgegangen werden. Eine aktive Stützung durch eine oben beschriebene Schildvortriebstechnik erschwert zudem die freie Zugänglichkeit und Einsicht zur Ortsbrust bei der Rückholung. Eine Schildvortriebsmaschine zur maschinellen Rückholung kann mit einem kleineren Ausbruchprofil von etwa 5 x 6 m (Höhe x Breite) oder mit einem großen Profil von etwa 10 x 10 m (Höhe x Breite), wie in Abbildung 24 skizziert, technisch umgesetzt werden. Die geometrischen Abmessungen beim Auffahren der ELK haben Auswirkung auf das auszubrechende und zu bergende Gesamtmaterialvolumen. Je höher das zu fördernde Gesamtmaterialvolumen, desto höher wird der Zeitbedarf für die Rückholung, als auch der Aufwand zur Aufbereitung des gewonnenen Materials erwartet. Der Ausbruchquerschnitt bestimmt den zur Verfügung stehenden Bauraum einer Maschinenteknik und bestimmt die Anzahl der aufzufahrenden Strecken um die ELK vollständig zu räumen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 70 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

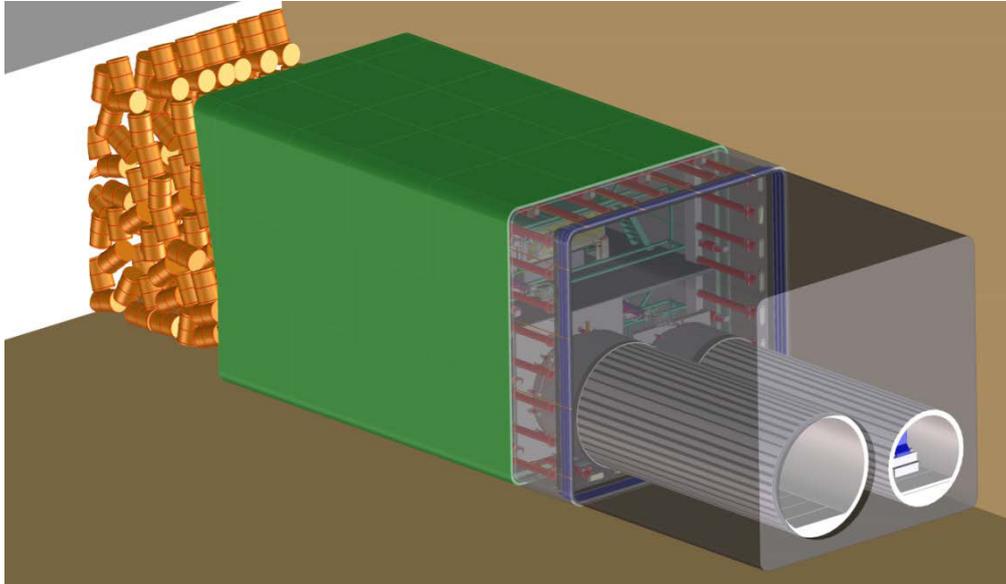


Abbildung 24: Ansicht der Schildmaschine beim Auffahren der ELK [Bildquelle Herrenknecht AG]

Die Schildmaschine besteht aus dem Schildmantel zum Schutz gegen herabfallendes Gestein und zur Abschirmung gegen Kontamination. In der Abbaukammer der Schildmaschine befinden sich Abbaugeräte zum Freilegen und Lösen, Greifen und Anheben von Gebinden. Die Abbaukammer ist durch eine Abschirmwand von dem Schildbereich abgegrenzt. Durch Öffnungen in der Abschirmwand kann Material gezielt und kontrolliert aus einem Sperrbereich ausgeschleust werden. Der Aufbau einer Schildmaschine ist in Abbildung 25 definiert.

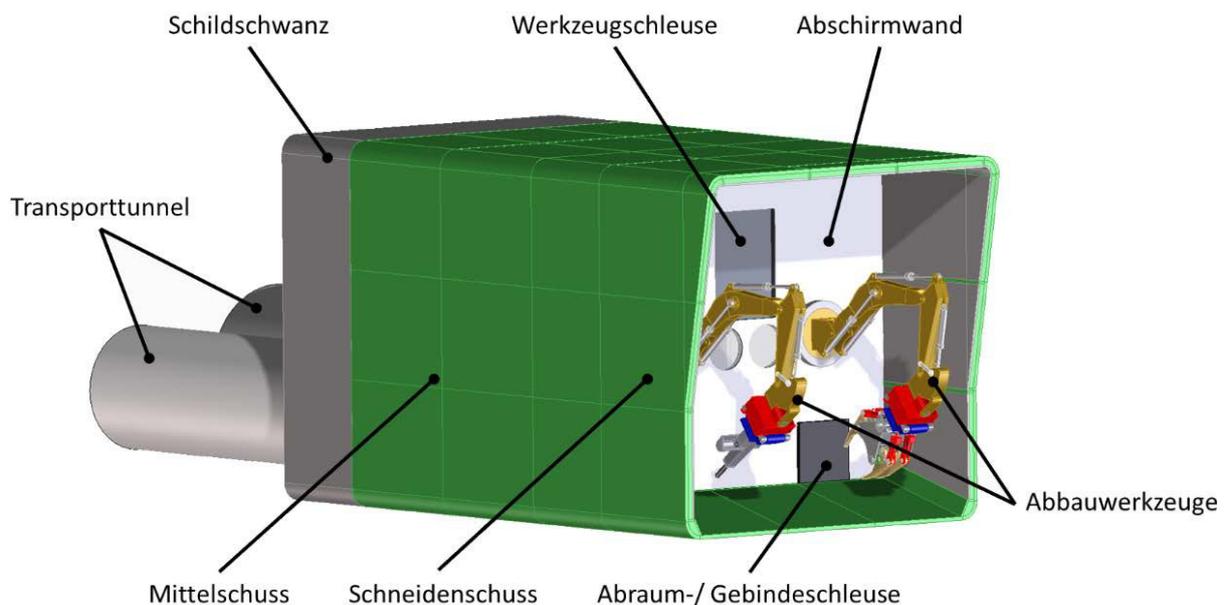


Abbildung 25: Frontansicht der Schildmaschine [Bildquelle Herrenknecht AG]

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 71 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Hinter dem Schildmantel wird der zurückgelassene und geborgene Hohlraum mit Beton verfüllt. Lediglich die beiden für die Logistik erforderlichen Tunnelröhren zur Versorgung der Maschine bleiben erhalten und werden nach Vortriebsende verfüllt (Abbildung 26).

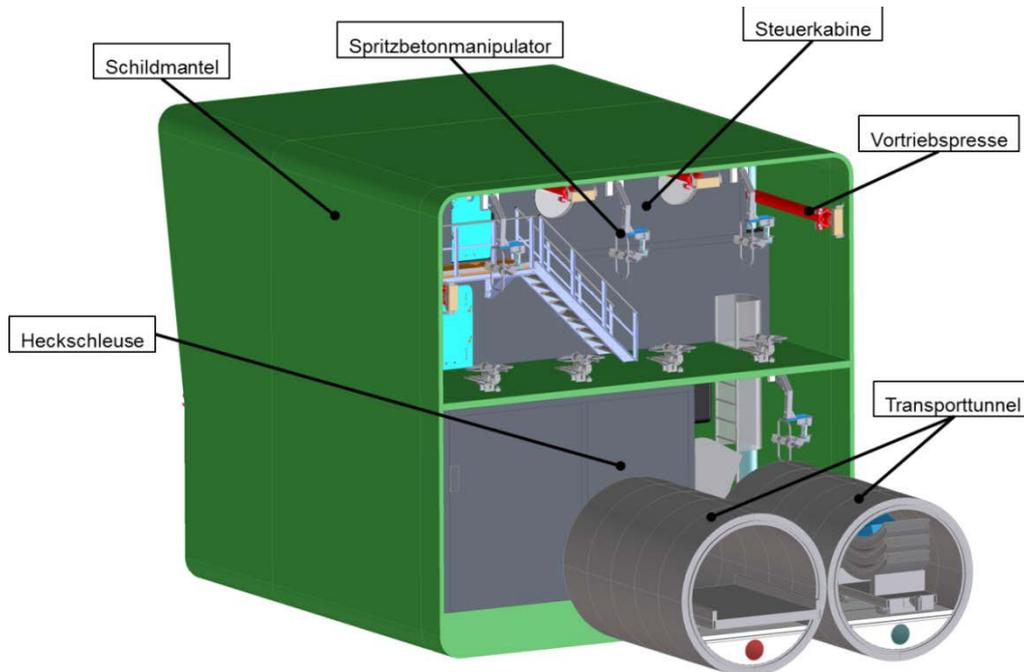


Abbildung 26: Rückansicht der Schildmaschine [Bildquelle Herrenknecht AG]

### 4.2 VARIANTE I – SCHILDVORTRIEB, L = 890 M

Die Variante I beschreibt einen horizontalen Schildvortrieb mit Teilflächenabbau. Der Vortrieb soll von einer noch zu erstellenden Anfahrkaverne starten und für eine möglichst vollständige Rückholung möglichst viele ELK systematisch überbohren. Die beschriebene Situation eines Vortriebs von einer Anfahrkaverne zu einer Demontagekaverne kann der Abbildung 27 entnommen werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 72 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

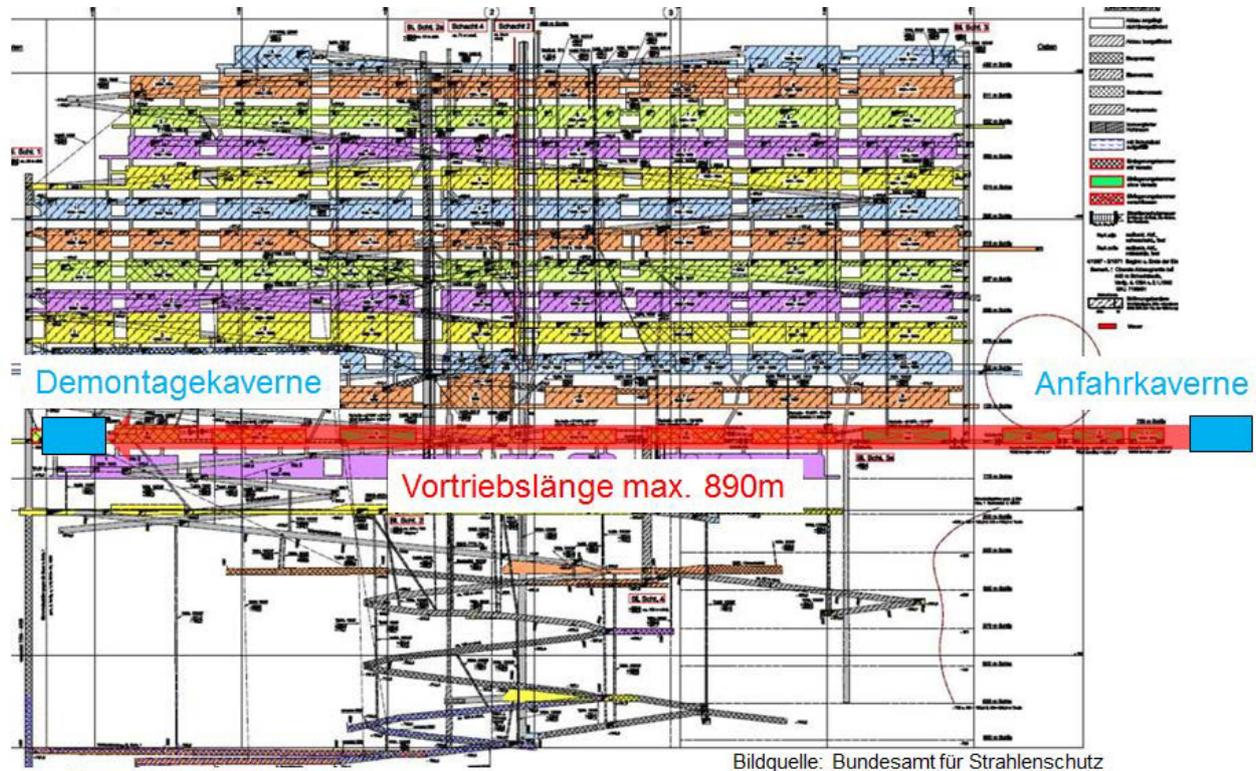


Abbildung 27: Vortriebsvariante I: Längsschnitt der Auffahrstrecke für Schildvortrieb, [39] modifiziert durch Verfasser

Dazu wird der Auffahrquerschnitt auf die vorwiegend vorhandene durchschnittliche Höhe und die maximale Breite der ELK konzipiert. Bis auf die ELK 2/750 Na2 betragen die durchschnittlichen Höhen in etwa 9,5 m.

Bei Verwendung einer Schildmaschine mit den Abmessungen 10 x 10 m (Höhe x Breite) könnte in vier hintereinanderliegenden Vortrieben die ELK aufgefahren und deren Inhalt rückgeholt werden (Abbildung 28). Die Ausbruchkubatur würde in etwa 286.000 m<sup>3</sup> betragen und setzt sich aus dem Ausbruchprofil von etwa 100 m<sup>2</sup> und den Auffahrlängen von zwei Vortrieben zu je 890 m und zwei Vortrieben zu je 540 m zusammen.

Alternativ kann durch ein zeitlich versetztes Auffahren mit vier Schildmaschinen eine Rückholung verkürzt werden.

Ein Auffahren der ELK ist auch mit kleinerem Ausbruchprofil von 6 x 5 m (Höhe x Breite) denkbar. Dazu wären acht Vortriebe in zwei Ebenen erforderlich. Eine erwartete maximale Vortriebslänge beträgt für die vorliegende Variante in etwa 890 m. Zur Südflanke hin ist die Vortriebslänge bedingt durch die geometrische Lage der ELK verkürzt auf etwa 540 m. Unabhängig von der Größe des Ausbruchprofils bedingt der Vortrieb in dieser Variante das Auffahren der Pfeiler zwischen den ELK.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 73 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

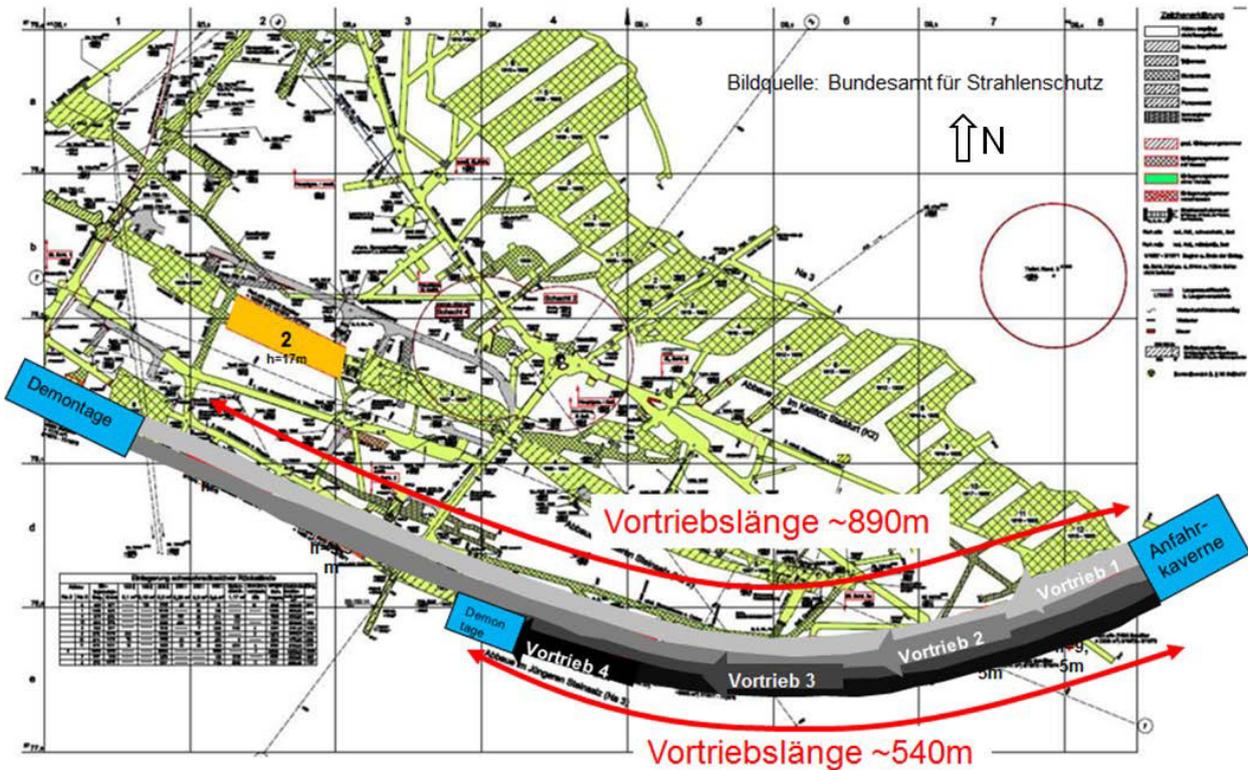


Abbildung 28: Vortriebsvariante I: Grundriss der Auffahrstrecke für Schildvortrieb, [38] modifiziert durch Verfasser

#### 4.2.1 Variante I a – Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 890 m

Die Schildabmessungen betragen etwa 10 x 10 m (Höhe x Breite). Das Ausbruchprofil ist quadratisch und die Ausbruchfläche beträgt 100 m<sup>2</sup>. Die Höhe des Schildes ist mit 10 m größer gewählt als die durchschnittliche Höhe der überliegenden ELK. Das Überprofil soll möglichst gering sein, um die zu fördernde Ausbruchkubatur zu reduzieren. Die schematische Darstellung der Variante I a kann den bereits aufgeführten Abbildung 25 und Abbildung 26 entnommen werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 74 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

#### 4.2.2 Variante I b – Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 890 m

Die Hohlraum- und Gebirgsstabilität kann durch eine Reduzierung des Ausbruchquerschnitts erhöht werden. Daher wird eine Auffahrung der ELK mit Schildabmessungen von etwa 5 x 6 m (Höhe x Breite) evaluiert. Die Höhe des Schildes in der Variante I b, wie in Abbildung 29, ist halbiert im Vergleich zu Variante I a.

Um die ELK mit einer Höhe von 9,5 m durch einen Schild mit der Höhe von 5 m aufzufahren, sind Vortriebe in zwei Ebenen erforderlich. Erhebliche Nachteile sind bei dieser Vortriebsart zu berücksichtigen. Sollte zunächst ein Schildvortrieb in der unteren Ebene stattfinden, liegen ständig Gebinde auf dem Schild und der Hohlraumverfüllung auf. Ein unkontrollierter Verbruch von oben ist dabei sehr wahrscheinlich. Mit einem Schildvortrieb zunächst in der oberen Ebene sind die Bettung und das Widerlager der Schildmaschine und des Ausbaus auf den darunter befindlichen Gebinden undefiniert. Ein unkontrolliertes Absinken der Maschine ist dabei sehr wahrscheinlich. Beide Alternativen sind nicht zu favorisieren.

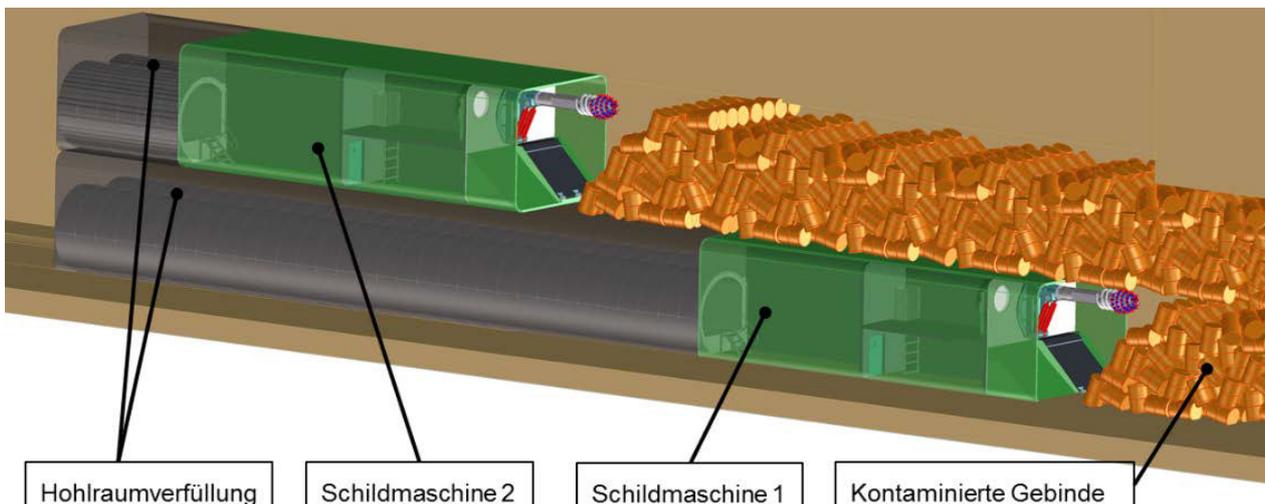


Abbildung 29: Vortriebsvariante I b: Ansicht der Schildmaschine (5 x 6 m) beim Auffahren der ELK  
[Bildquelle Herrenknecht AG]

Der prinzipielle Aufbau der Schildmaschine und die Rückholmethode sind analog zu Variante I a. Bedingt durch das kleinere Ausbruchprofil wird der Schild länger, um die erforderliche Ausrüstung zur Versorgung der Maschine aufzunehmen. Dies ist unter den gegebenen Spannungsverhältnissen und geometrischen Bedingungen jedoch als nachteilig zu betrachten.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 75 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### 4.3 VARIANTE II – SCHILDVORTRIEB, L = 40 M

Anstatt die Pfeiler in Ost-West-Richtung zu überbohren, wie in Variante I, ist ein Auffahren der ELK in Nord-Süd-Richtung wie in Abbildung 30, möglich. Der Auffahrquerschnitt kann wie in der Variante I mit großer oder kleiner Ausbruchkontur gewählt werden. Eine Schildmaschine in den Abmessungen 10 x 10 m könnte in etwa 48 Vortrieben die ELK überfahren und deren Inhalt rückholen. In einer kleineren Schildabmessung von 5 x 6 m (Höhe x Breite) wären 96 Vortriebe in zwei Ebenen erforderlich. Die Vortriebslänge wird mit etwa 40 m erwartet (Abbildung 30).

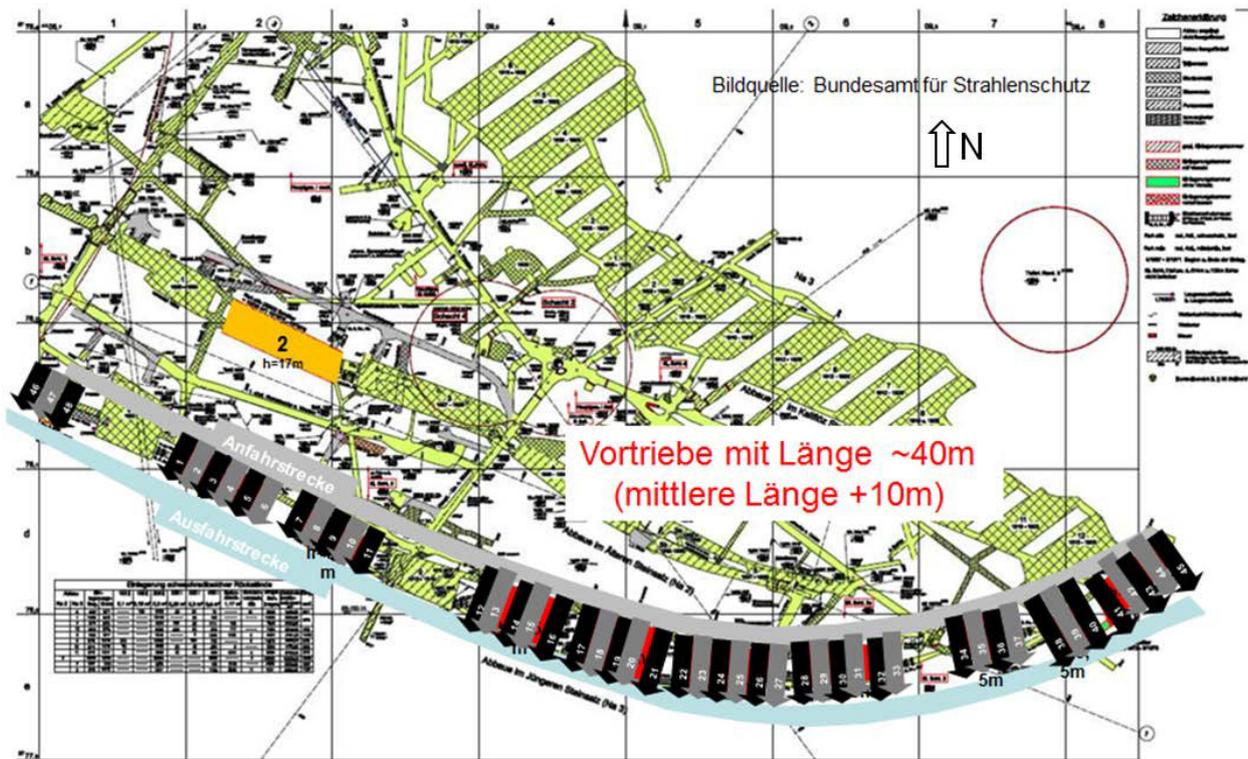


Abbildung 30: Vortriebsvariante II: Grundriss der Auffahrstrecke für Schildvortrieb, [38] modifiziert durch Verfasser

Die Ausbruchkubatur würde in etwa 192.000 m<sup>3</sup> betragen und setzt sich aus dem Ausbruchprofil von 100 m<sup>2</sup> und der Auffahrlänge von 48 Vortrieben zu je 40 m Länge zusammen. Vor Vortriebsbeginn müssen zahlreiche Anfahrtsituationen für den Aufbau oder für das Versetzen der Schildmaschine erstellt werden. Nach etwa 40 m Vortrieb ist die Schildmaschine zurückzuholen und für einen erneuten Vortrieb aufzubereiten.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 76 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### 4.3.1 Variante II a – Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 40 m

Die Schildabmessungen betragen etwa 10 x 10 m (Höhe x Breite). Das Ausbruchprofil ist quadratisch und die Ausbruchfläche beträgt 100 m<sup>2</sup>. Die Höhe des Schildes ist größer als die Höhe der ELK. Der Vortrieb mit der Schildmaschine erfolgt für eine kurze Distanz von etwa 40 m von einer Anfahrestrecke aus (Abbildung 31). Die Schildmaschine überbohrt dabei die ELK in Querrichtung.

Nach Auffahren der ELK ist die Maschine entweder zu dekontaminieren und rückzubauen oder als verlorener Schild, unter Berücksichtigung der Sicherheitsaspekte, in der ELK zurückzulassen. Dabei könnten die Hauptkomponenten der Maschine vorab dekontaminiert und dann rückwärtig durch die Tunnelröhre entnommen werden.

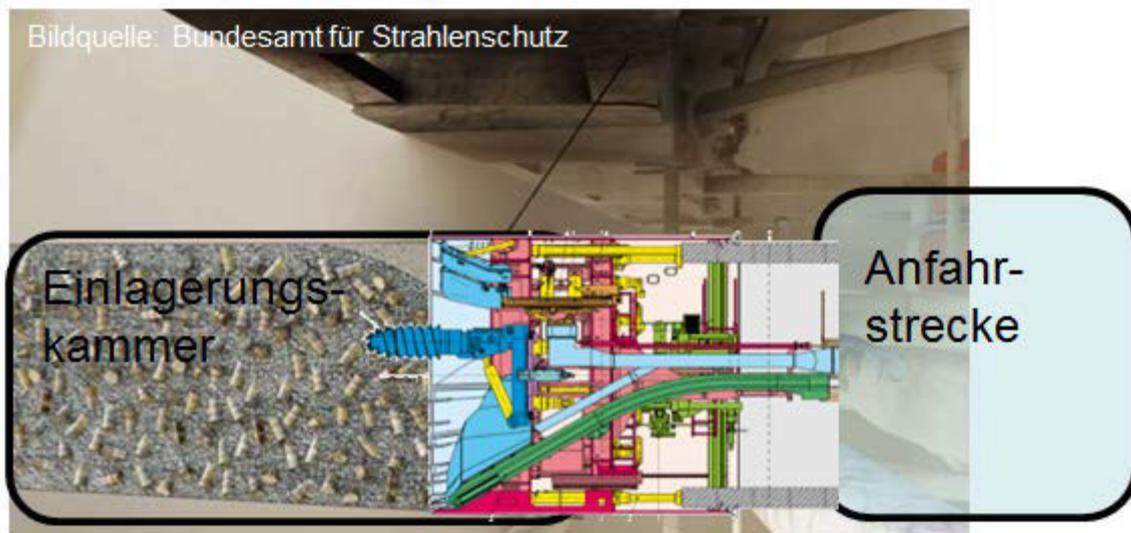


Abbildung 31: Vortriebsvariante II a: Längsschnitt der Auffahrestrecke für Schildvortrieb, Bildquelle BfS modifiziert durch Verfasser

Der prinzipielle Aufbau der Schildmaschine und die Rückholmethodik sind analog Variante I a.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 77 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### 4.3.2 Variante II b – Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 40 m

Die Schildabmessungen betragen etwa 5 x 6 m (Höhe x Breite). Die Höhe des Schildes in der Variante II b ist halbiert im Vergleich zu Variante II a. Um die ELK mit einer Höhe von 9,5 m durch einen Schild mit der Höhe von 5 m aufzufahren, sind Vortriebe in zwei Ebenen erforderlich.

Die Abbildung 32 stellt den Vortrieb mit Schildmaschinen in zwei Ebenen für eine kurze Distanz von etwa 40 m von einer Anfahrestrecke aus dar. Die Schildmaschinen überbohren dabei die ELK in Querrichtung.



Abbildung 32: Vortriebsvariante II b: Längsschnitt der Auffahrestrecke für Schildvortrieb, Bildquelle BfS modifiziert durch Verfasser

Der prinzipielle Aufbau der Schildmaschine und die Rückholmethodik sind analog Variante I b.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 78 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

### 4.4 VARIANTE III – SCHACHTABSENKEN, D = 5 X 5 M, T = 25 M

Alternativ zu einer Rückholtechnik durch horizontale Vortriebe wird ein Greifen und Fördern von Gebinden in vertikaler Richtung untersucht. Die Technik ist angelehnt an eine Schachtabsenkmaschine (Vertical Shaft Sinking Machine – VSM, siehe Kapitel 3.2).

Die Form des Senkschachtes hat meist kreisförmige Grundrissformen, kann aber auch quadratisch Abmessungen annehmen. Zum Absenken des Schachtes muss die Reibung an der Außenseite der Schachtwand überwunden werden. Um die Reibungskräfte zu verringern, kann der Senkschacht nach oben hin verjüngt ausgeführt, ein größerer Überschchnitt gewählt, oder der Schachtwandschlitz mit Bentonitsuspension geschmiert werden. Der Ausbruch und die Auskleidung beim Teufen werden durch die Maschine bewerkstelligt.

Die Abmessung der Schachtmaschine ist konzipiert mit etwa 5 x 5 m (Länge x Breite) wobei die Teufe etwa 25 m beträgt. Die Anfahrsituation der Schachtmaschine befindet sich in den Abbauen auf der 725-m-Sohle. Entsprechend Abbildung 33 wird eine Maschine und ein Schachtabbau abgeteuft und dabei die ELK von oben und vertikal kommend geräumt.

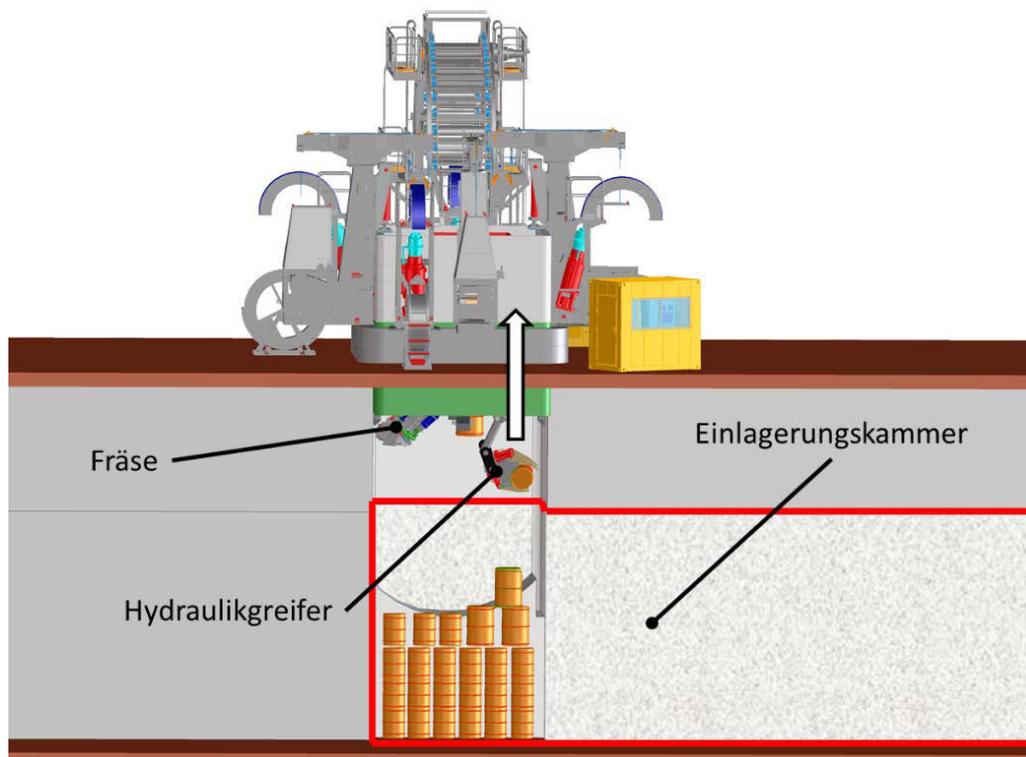


Abbildung 33: Vortriebsvariante III: Ansicht der Abteuftechnik mit Schachtmaschine (grün) sowie Schachtauskleidung und Einrichtung [Bildquelle Herrenknecht AG]

Ein vertikales Rückholen von Gebinden aus den ELK auf der 750-m-Sohle bedingt das Ausräumen und Sichern der Abbaue sowie neu herzustellende Strecken auf der 725-m-Sohle.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 79 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Das Abbaugerät und die Maschine werden mit der Auskleidung von oben herab sukzessive, dem Rückholfortschritt entsprechend, abgesenkt. Für den Strahlenschutz ist eine Abschirmung in Form einer Einhausung in der Anfahrkaverne erforderlich (Abbildung 34).

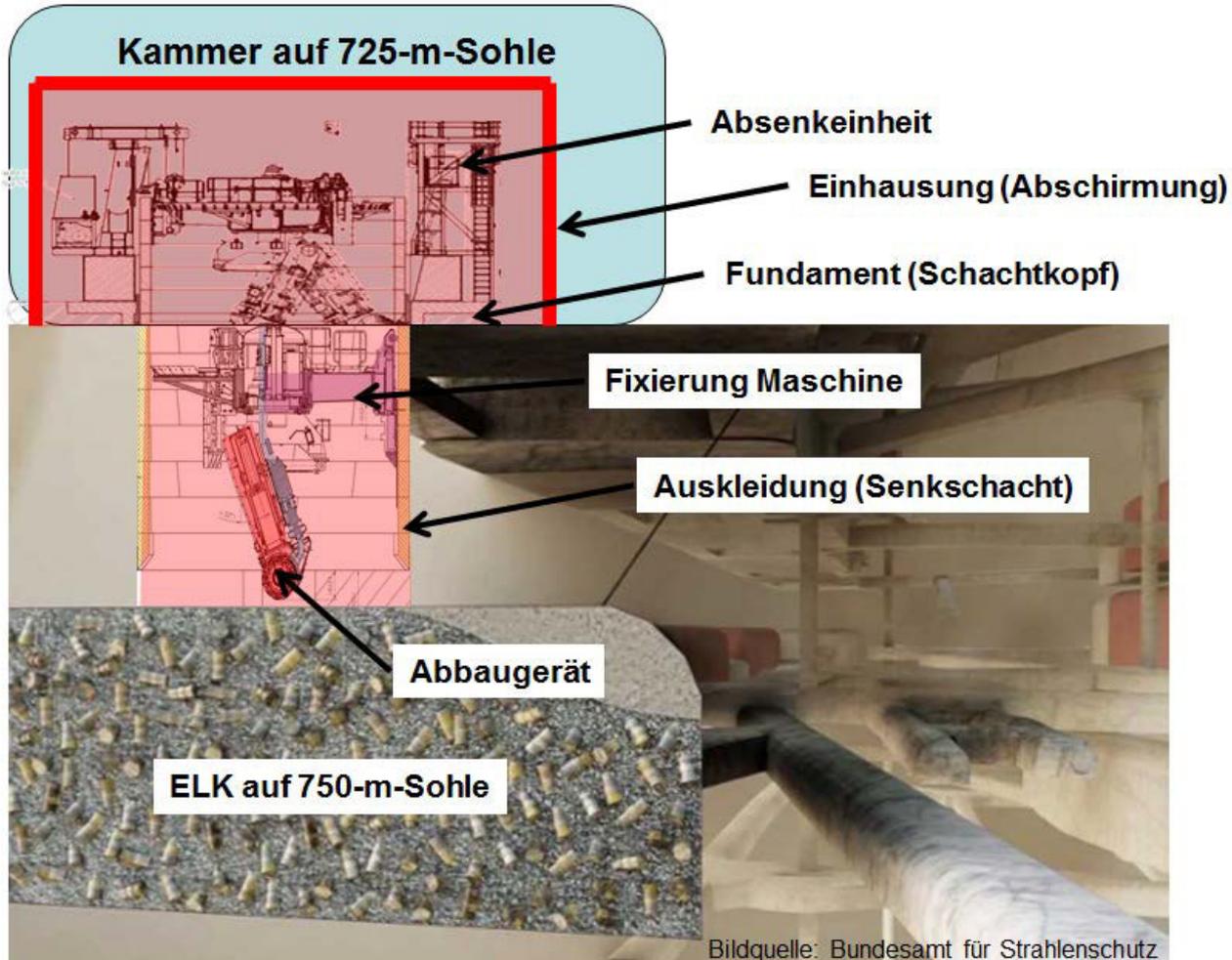


Abbildung 34: Vortriebsvariante III: Querschnitt der Abteuftechnik, Bildquelle BfS modifiziert durch Verfasser

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 80 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

#### 4.5 VARIANTE IV – SCHILDVORTRIEB, D = 10 X 6 M, L = 890 M

In dieser Variante wird eine Schildmaschine mit einem Ausbruchprofil von etwa 10 x 6 m (Höhe x Breite) untersucht. Die Maschine soll dabei unterteilt werden in einen oberen und unteren Schildbereich, welche zueinander verschiebbar sind (Abbildung 35). Der obere Schild soll dem Materialgreifen aus der ELK dienen, während der untere Schild die Funktion als Stützschild gegen keilförmig hereinbrechendes Material übernimmt. Die Grundüberlegung basiert auf der Vereinfachung der Materialförderung durch ein vertikales Greifen von Gebinden aus der ELK. Durch das vertikale Greifen könnte das Nachbrechen von Gebinden in der ELK verhindert oder reduziert werden, da Gebinde für Gebinde, Schicht für Schicht nach oben hin entnommen werden.

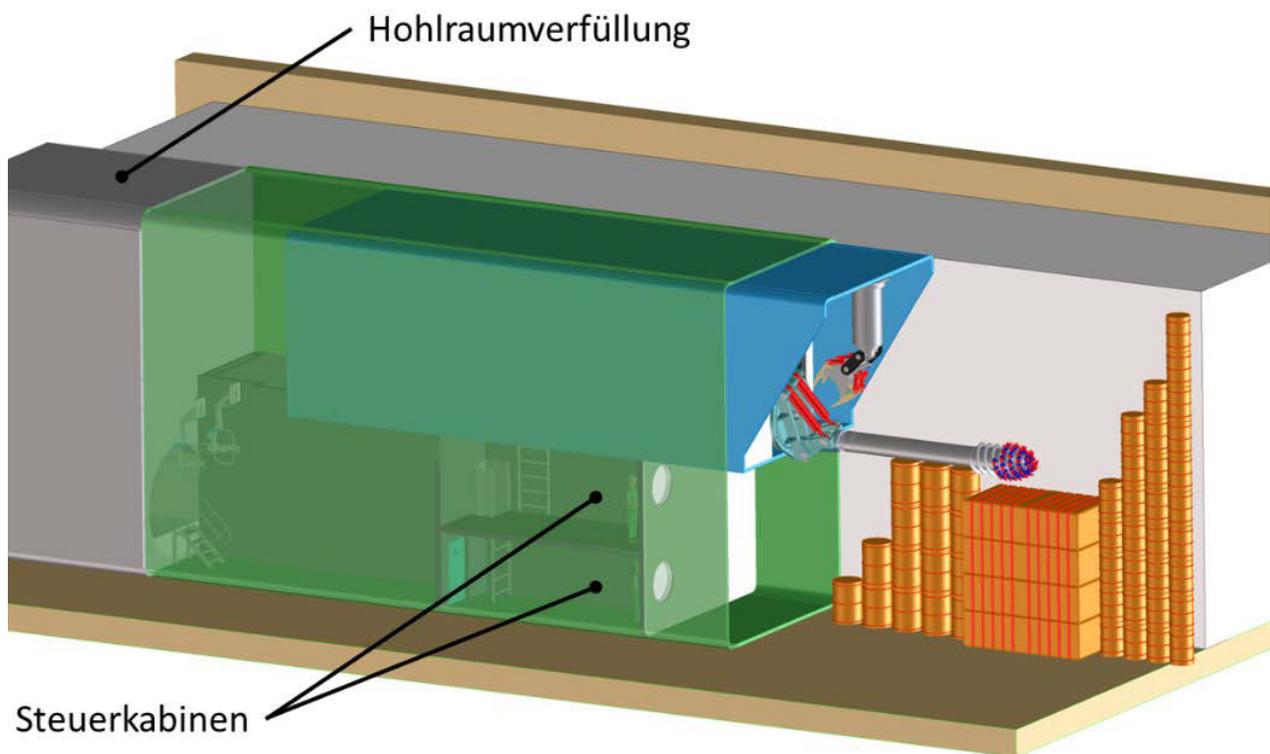


Abbildung 35: Vortriebsvariante IV: Frontansicht der Schildmaschine [Bildquelle Herrenknecht AG]

Der Materialumschlag innerhalb des Schildes erfolgt zunächst aus der ELK vertikal nach oben durch das Greifen. Wie in Abbildung 36 skizziert ist im Anschluss eine Übergabe durch Schleusentore hinein in den Schild möglich, in welchem eine Umverpackung und Verladung auf ein Transportfahrzeug stattfindet.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 81 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

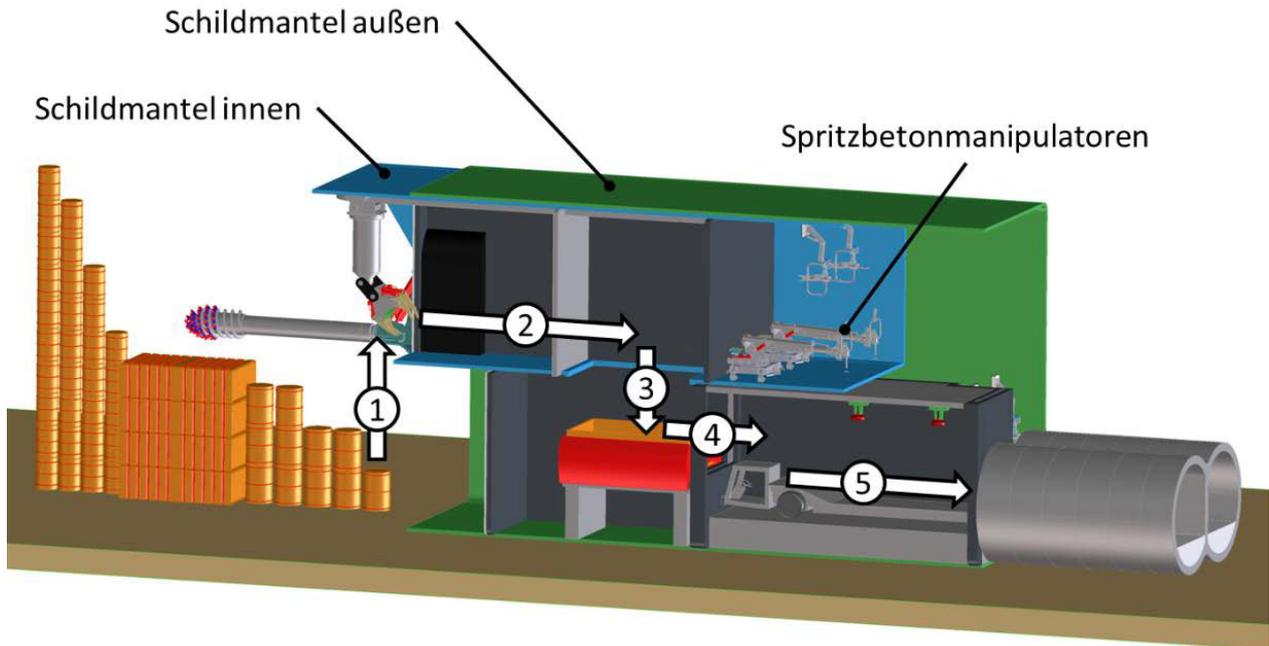


Abbildung 36: Vortriebsvariante IV: Materialumschlag [Bildquelle Herrenknecht AG]

Hinsichtlich der Hohlraumverfüllung und Logistik hinter der Schildmaschine unterscheidet sich die Variante IV nicht von den Varianten I oder II. Die Logistik und Versorgung der Maschine erfolgt durch zwei Tunnelröhren (Abbildung 37).

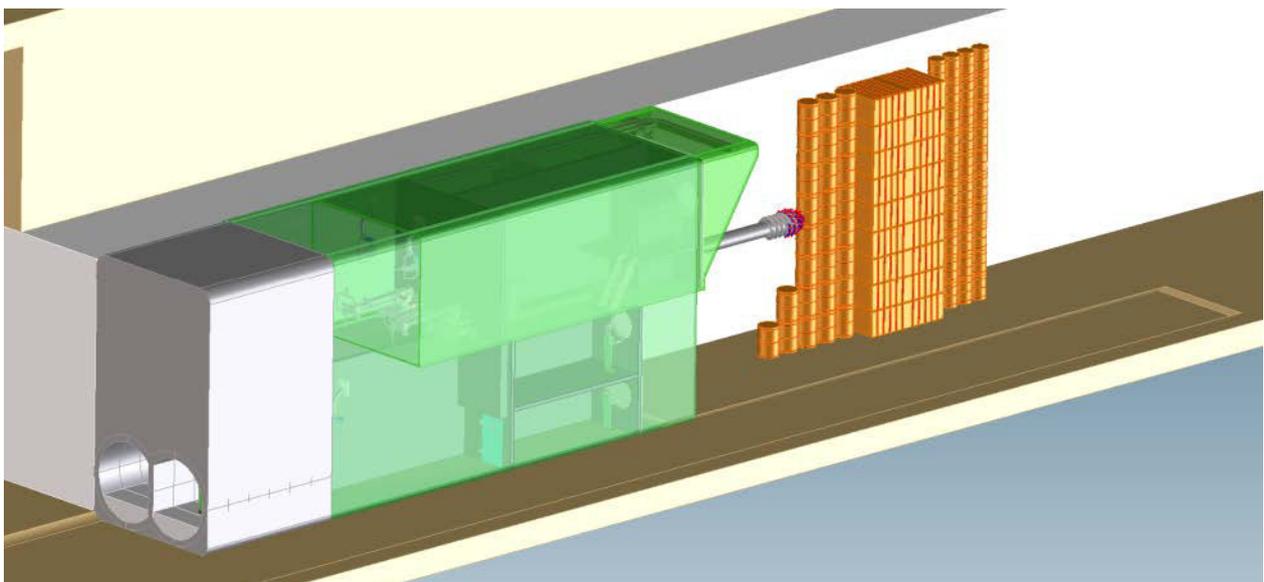


Abbildung 37: Vortriebsvariante IV: Rückansicht der Schildmaschine [Bildquelle Herrenknecht AG]



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 82 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

### 4.6 VARIANTENBEWERTUNG

Der bewertende Vergleich zwischen den oben aufgeführten und untersuchten Vortriebsvarianten ist als Zusammenfassung in Tabelle 7 zu finden.

Dabei gilt:

- + Einfluss/Einwirkung **positiv** mit Blick auf das Verfahren / die Maschine
- o Einfluss/Einwirkung **neutral** mit Blick auf das Verfahren / die Maschine
- Einfluss/Einwirkung **negativ** mit Blick auf das Verfahren / die Maschine



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 84 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Fortsetzung Tabelle 7: Variantenbewertung

Verfahren / Aspekte	Variante I a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 890 m	Variante I b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 890 m	Variante II a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 40 m	Variante II b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 40 m	Variante III: Schachtabsenken, D = 5 x 5 m, L = 25 m	Variante IV: Schildvortrieb, D = 10 x 6 m, L = 890 m
Hohlraumverfüllung - endgültig	0 neutral zu bewerten	0 neutral zu bewerten	0 neutral zu bewerten	0 neutral zu bewerten	+ Verfüllen durch Voll- laufen- lassen des Schachtes mit Sorelbe- ton ist ein- facher	- Verfüllung auf zwei verschieb- baren Ebenen er- forderlich
Lösungszufluss/-handling	0 neutral zu bewerten	0 neutral zu bewerten	0 neutral zu bewerten	0 neutral zu bewerten	0 neutral zu bewerten	0 neutral zu bewerten
Stabilität der Pfeiler	- Durchbohren der Pfeiler notwendig	- Durchbohren der Pfeiler notwendig	+ Kein Anbohren der Pfeiler notwendig	+ Kein Anbohren der Pfeiler notwendig	+ Kein Anbohren der Pfeiler notwendig	- Durchbohren der Pfeiler notwendig
Stabilität der Schweben	0 Stabilität der Schweben hängt von Tragfähigkeit und Kraftschlüssigkeit der Hohlraumverfüllung ab	- Da der Vortrieb in zwei Ebenen erfolgt, können eher Auswirkungen auf die Stabilität der Schweben auftreten	0 Stabilität der Schweben hängt von Tragfähigkeit und Kraftschlüssigkeit der Hohlraumverfüllung ab	0 Stabilität der Schweben hängt von Tragfähigkeit und Kraftschlüssigkeit der Hohlraumverfüllung ab	- Schweben werden durchbrochen; Stabilitätsprobleme können in tonnenförmig verwölbten Schweben eintreten	0 Stabilität der Schweben hängt von Tragfähigkeit und Kraftschlüssigkeit der Hohlraumverfüllung ab
Weitere Annäherung an Deckgebirge notwendig	+ keine	+ keine	- Annäherung an Deckgebirge bedingt durch Ausfahrkaverne notwendig	- Annäherung an Deckgebirge bedingt durch Ausfahrkaverne notwendig	- Annäherung an Deckgebirge bedingt durch Versatz der ELK auf 725-m- und 750-m-Sohle notwendig	+ keine

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 85 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Fortsetzung Tabelle 7: Variantenbewertung

Verfahren / Aspekte	Variante I a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 890 m	Variante I b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 890 m	Variante II a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 40 m	Variante II b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 40 m	Variante III: Schachtabsenken, D = 5 x 5 m, L = 25 m	Variante IV: Schildvortrieb, D = 10 x 6 m, L = 890 m
<b>Vortriebstechnik:</b>						
Ausbruch mit konventionellen Werkzeugen wie Fräse und Hydraulikhammer	o möglich	o möglich	o möglich	o möglich	o möglich	o möglich
Abtransport von nicht kontaminiertem Salzgestein im Kontrollbereich	+ möglich	+ möglich	+ möglich	+ möglich	- nicht möglich	+ möglich
Temporär-sicherung	+ Schild und Spritzbetonauskleidung	+ Schild und Spritzbetonauskleidung	+ Schild und Spritzbetonauskleidung	+ Schild und Spritzbetonauskleidung	+ Fertigteilausbau	+ Schild und Spritzbetonauskleidung
Abschirmung der ELK, Abgrenzung des Sperrbereichs	+ möglich	+ möglich	+ möglich	+ möglich	+ möglich	+ möglich
Zoneneinteilung im Logistikbereich mit Abgrenzung von Sperr- und Überwachungsbereich	+ möglich	o bedingt möglich	+ möglich	o bedingt möglich	- nicht möglich	o bedingt möglich
Eine Vortriebs-technik für alle ELK	- nur für ELK mit gleicher Höhe (von z. B. 9,5 m) eine Vortriebs-technik ideal	o Vortriebskonzept an unterschiedliche Höhen anpassbar	- nur für ELK mit gleicher Höhe (von z. B. 9,5 m) eine Vortriebs-technik ideal	o Vortriebskonzept an unterschiedliche Höhen anpassbar	+ Vortriebs-technik unabhängig von Höhe der ELK	- nur für ELK mit gleicher Höhe (von z. B. 9,5 m) eine Vortriebs-technik ideal

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 86 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Fortsetzung Tabelle 7: Variantenbewertung

Verfahren / Aspekte	Variante I a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 890 m	Variante I b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 890 m	Variante II a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 40 m	Variante II b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 40 m	Variante III: Schachtab- sen, D = 5 x 5 m, L = 25 m	Variante IV: Schildvortrieb, D = 10 x 6 m, L = 890 m
Vortriebsleistung	+	-	-	+	-	-
	Erfahrungen zeigen höhere Vortriebsleistungen beim Tunnelvortrieb mit entsprechender Länge	kürzere Vortriebs-etappen lassen längere Vortriebszeiten wegen Vielzahl von An-/Ausfahr-situationen vermuten	kürzere Vortriebs-etappen lassen längere Vortriebszeiten wegen Vielzahl von An-/Ausfahr-situationen vermuten	zunächst gleichwertig zu bewerten, aber Erfahrungen zeigen höhere Vortriebsleistungen beim Tunnelvortrieb	zunächst gleichwertig zu bewerten, aber Erfahrungen zeigen geringe Vortriebsleistungen beim Schachtabteufen	es liegen keine Erfahrungen vor, wird geringer erwartet
Anzahl der Maschinen ohne Dekontamination für Wiedereinsatz bzw. Anzahl der Dekontaminierungsvorgänge bei Einsatz nur einer Maschine	+	+	-	-	-	+
	vier	acht	geschätzt 45	geschätzt 90	geschätzt > 500	acht
Bergung bzw. Rückziehen der Maschine	+	+	-	-	-	+
	Rückziehen nicht notwendig	Rückziehen nicht notwendig	Rückziehen bedingt Dekontamination	Rückziehen bedingt Dekontamination	Rückziehen bedingt Dekontamination	Rückziehen nicht notwendig
Absinken der Maschine zum Beispiel bei durch Lösung aufgeweichter Sohle	+	0	+	0	+	+
	Absinken der Maschine unwahrscheinlich, da im stabilen Salzgestein gebettet; ansonsten Injektionen vorab notwendig	Absinken der Maschine unwahrscheinlich, sofern zuerst unterer Vortrieb und dann Vortrieb in der Ebenen darüber	Absinken der Maschine unwahrscheinlich, da im stabilen Salzgestein gebettet; ansonsten Injektionen vorab notwendig	Absinken der Maschine unwahrscheinlich, sofern zuerst unterer Vortrieb und dann Vortrieb in der Ebenen darüber	Absinken der Maschine und des Ausbaus wird durch Zugstangen/Seile verhindert.	Absinken der Maschine unwahrscheinlich, da im stabilen Salzgestein gebettet; ansonsten Injektionen vorab notwendig

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 87 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Fortsetzung Tabelle 7: Variantenbewertung

Verfahren / Aspekte	Variante I a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 890 m	Variante I b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 890 m	Variante II a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 40 m	Variante II b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 40 m	Variante III: Schachtabse- ken, D = 5 x 5 m, L = 25 m	Variante IV: Schildvortrieb, D = 10 x 6 m, L = 890 m
Stabilität des er- stellten Hohlraums als Zugang zu den ELK	0	0	0	0	-	0
	Schweben werden auf kompletter Länge durch den Spritzbeton gestützt	Schweben werden auf kompletter Länge durch den Spritzbeton gestützt	nur die Schweben über den ELK sind zu stützen	nur die Schweben über den ELK sind zu stützen	Ausbau muss nur eventuellen Horizontaldruck aus den Schweben aufnehmen können	Schweben werden auf kompletter Länge durch den Spritzbeton gestützt
Bettung bzw. Sta- bilität der Maschi- ne im Hohlraum	+	-	+	-	-	+
	definiert auf Sohle	1. obere, zuerst hergestellte Tunnelröhre liegt über der unteren; Bettung der Schildmaschine undefiniert auf Abfallgebinden	definiert auf Sohle	1. obere, zuerst hergestellte Tunnelröhre liegt über der unteren; Bettung der Schildmaschine undefiniert auf Abfallgebinden	indirekt über Spannritzen an der Schweben darüber; bei Verformungen an der Schweben ergibt sich negativer Einfluss auf Maschine	definiert auf Sohle
Bettung der Aus- kleidung im ge- bohrten Hohlraum	+	-	+	-	-	+
	sofort durch Spritzbeton	Verpressen der Fertigteil-segmente erforderlich	sofort durch Spritzbeton	Verpressen der Fertigteil-segmente erforderlich	Verpressen der Fertigteil-segmente erforderlich	sofort durch Spritzbeton

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 88 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Fortsetzung Tabelle 7: Variantenbewertung

Verfahren / Aspekte	Variante I a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 890 m	Variante I b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 890 m	Variante II a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 40 m	Variante II b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 40 m	Variante III: Schachtabsenken, D = 5 x 5 m, L = 25 m	Variante IV: Schildvortrieb, D = 10 x 6 m, L = 890 m
<b>Logistik:</b>						
Materialförderung	+	+	+	+	0	-
	Horizontallogistik etabliert	Horizontallogistik etabliert	Horizontallogistik etabliert	Horizontallogistik etabliert	vertikal mit Vakuumsauggebläse möglich, aber aufwendiger	Materialumschlag vertikal und horizontal gestaltet sich aufwendiger
Sicherheit bei der Materialförderung im Tunnel oder im Schacht	+	+	+	+	-	+
	horizontal, kein Herabfallen aus großen Höhen möglich	horizontal, kein Herabfallen aus großen Höhen möglich	horizontal, kein Herabfallen aus großen Höhen möglich	horizontal, kein Herabfallen aus großen Höhen möglich	Herabfallen möglich	horizontal, kein Herabfallen aus großen Höhen möglich
Ausschleusen aus Sperrbereich	0	0	0	0	-	-
	neutral zu bewerten	neutral zu bewerten	neutral zu bewerten	neutral zu bewerten	erschwert	erschwert
Förderlängen mit Blick auf Kontaminationsverschleppung	-	-	+	+	+	-
	größere Länge L = ~ 890 m	größere Länge L = ~ 890 m	kürzere Länge L = ~ 40 m	kürzere Länge L = ~ 40 m	kürzere Länge L = ~ 25 m	größere Länge L = ~ 890 m
<b>Sicherheit:</b>						
Arbeitsplatz	0	0	0	0	0	0
	neutral zu bewerten, im Tunnel kann bemannt gearbeitet werden, da Tunnel Überwachungsbereich und abgegrenzt vom Sperrbereich (Abbaukammer)	neutral zu bewerten, im Tunnel kann bemannt gearbeitet werden, da Tunnel Überwachungsbereich und abgegrenzt vom Sperrbereich (Abbaukammer)	neutral zu bewerten, im Tunnel kann bemannt gearbeitet werden, da Tunnel Überwachungsbereich und abgegrenzt vom Sperrbereich durch Kanal	neutral zu bewerten, im Tunnel kann bemannt gearbeitet werden, da Tunnel Überwachungsbereich und abgegrenzt vom Sperrbereich durch Kanal	neutral zu bewerten, im Tunnel kann bemannt gearbeitet werden, da Tunnel Überwachungsbereich und abgegrenzt vom Sperrbereich durch Kanal	neutral zu bewerten, im Schacht kann bemannt gearbeitet werden, da Tunnel Überwachungsbereich und abgegrenzt vom Sperrbereich durch Kanal

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 89 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Fortsetzung Tabelle 7: Variantenbewertung

Verfahren / Aspekte	Variante I a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 890 m	Variante I b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 890 m	Variante II a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 40 m	Variante II b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 40 m	Variante III: Schachtabsen- ken, D = 5 x 5 m, L = 25 m	Variante IV: Schildvortrieb, D = 10 x 6 m, L = 890 m
Abschirmung / Abgrenzung der ELK (Sperrbereich)	+	+	+	+	-	+
	sofort und direkt an der Front durch Abschirmwand am Schild	sofort und direkt an der Front durch Abschirmwand am Schild	sofort und direkt an der Front durch Abschirmwand am Schild	sofort und direkt an der Front durch Abschirmwand am Schild	durch Schottwand oder durch Entfernung von Schachtkopf (L = ~ 15 m)	sofort und direkt an der Front durch Abschirmwand am Schild
Bedienbarkeit	+	+	+	+	-	+
	horizontales Sichtfeld durch Bleiglas an der Abschirmwand oder durch Fernhantierung	horizontales Sichtfeld durch Bleiglas an der Abschirmwand oder durch Fernhantierung	horizontales Sichtfeld durch Bleiglas an der Abschirmwand oder durch Fernhantierung	horizontales Sichtfeld durch Bleiglas an der Abschirmwand oder durch Fernhantierung	nur fernhantiert und indirekt durch Videokameras, da nach unten geneigtes Blickfeld erforderlich	horizontales Sichtfeld durch Bleiglas an der Abschirmwand oder durch Fernhantierung
Unbemannte Wartung oder Zugang Abbaukammer möglich	o	o	o	o	o	o
	neutral zu bewerten	neutral zu bewerten				
Werkzeugwechsel Abbaugerät	o	o	o	o	o	o
	neutral zu bewerten	neutral zu bewerten				
Verfüllmöglichkeiten im Falle des Absaufens des Bergwerkes	o	o	o	o	+	o
	neutral zu bewerten	neutral zu bewerten	neutral zu bewerten	neutral zu bewerten	schnelleres Verfüllen mit Lösung möglich, da Schacht vertikal volllaufen kann	neutral zu bewerten

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 90 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Fortsetzung Tabelle 7: Variantenbewertung

Verfahren / Aspekte	Variante I a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 890 m	Variante I b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 890 m	Variante II a: Schildvortrieb, D = 10 x 10 m, L = 40 m	Variante II b: Schildvortrieb, D = 5 x 6 m, L = 40 m	Variante III: Schachtabse- ken, D = 5 x 5 m, L = 25 m	Variante IV: Schildvortrieb, D = 10 x 6 m, L = 890 m
<b>Randbedingungen:</b>						
Komplexität der An-/Ausfahr-situation bzw. Notwendigkeit zum Auffahren zusätzlicher Strecken	+	+	0	-	-	+
Ausbruchkubatur (kontaminiert und nicht kontaminiert)	0	0	+	+	-	0
Bergen von Gebinden, welche sich (teils) außerhalb des Ausbruchprofils befinden	-	-	-	-	-	-
<b>Bewertung der Varianten</b>	7x neg. 12x neutral 16x pos.  Variante zu favorisieren	10x neg. 14x neutral 11x pos.	9x neg. 12x neutral 14x pos.	10x neg. 14x neutral 11x pos.	19x neg. 7x neutral 9x pos.	11x neg. 11x neutral 13x pos.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 91 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

### 4.7 FAVORISIERTE VARIANTE DER METHODE SCHILDVORTRIEB

Die Variante I a sticht beim Variantenvergleich mit den meisten positiven Bewertungen und den wenigsten negative Bewertungen hervor. Die Variante I a beschreibt einen horizontalen Schildvortrieb mit Schildabmessungen von etwa 10 x 10 m und wird favorisiert. Entsprechend den Untersuchungen und den Abwägungen sind als markante Nachteile der Variante I a die Notwendigkeit zum Durchörtern der Pfeiler sowie die Erfordernis weiterer Maschinenteknik zum Räumen der drei ELK über 10 m Höhe zu nennen. Vorteilhaft sind der zur Verfügung stehende Bauraum im Schild mit der Möglichkeit der Zoneneinteilung (Sperrbereich/Überwachungsbereich), die erwartete Steigerung der Vortriebsleistung sowie eine möglichst geringe Annäherung an das Deckgebirge.

Eine Detaillierung der Variante I a wird in Kapitel 5 vorgenommen.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 92 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

## 5 ENTWURF EINES RÜCKHOLKONZEPTEES DURCH SCHILDVORTRIEBE MIT TEILFLÄCHENABBAU

### 5.1 ANSATZ

Die Erkenntnisse aus der Untersuchung entsprechend Kapitel 3 und Kapitel 4 bilden die Grundlage für den folgenden Ansatz zu einem möglichen Rückholkonzept. Als Basis wird eine Schildmaschine mit Teilflächenabbau entsprechend Variante I a (Kapitel 4.2.1) herangezogen und weiter hinsichtlich eines möglichen Rückholkonzepts detailliert ausgeführt. Es wird zunächst das Vortriebskonzept und die Grundüberlegungen bei der Rückholung aufgezeigt und im Anschluss eine Schildvortriebsmaschine für die Anforderungen abgeleitet und entwickelt.

### 5.2 VORTRIEBSKONZEPT

Das Rückholkonzept sieht vor, durch mehrere, horizontale Schildvortriebe im Teilflächenabbau die ELK zu überbohren und dabei die Gebinde zu bergen.

Der Schildvortrieb dient dem

- Freilegen und Lösen von Behälterteilen, Abfallgebinden und Gebindeinhalten aus dem Versatzmaterial (Salzgrus),
- Greifen und Anheben von Behälterteilen, Abfallgebinden und Gebindeinhalten,
- Transportieren von Behälterteilen, Abfallgebinden und Gebindeinhalten sowie von Versatzmaterial und Salzgestein und
- Verpacken von Behälterteilen, Abfallgebinden und Gebindeinhalten in entsprechende Abschirm- und Transportbehälter.

Für den Aufbau und die Anfahrt der Schildmaschine ist eine Anfahrkaverne östlich der ELK zu planen. Die Anfahrkaverne sollte östlich der ELK 1/750 im Salzgestein ausgebrochen werden und sich zwischen der ELK 1/750 und dem noch abzuteufendem Schacht 5 befinden (Abbildung 38).

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 93 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

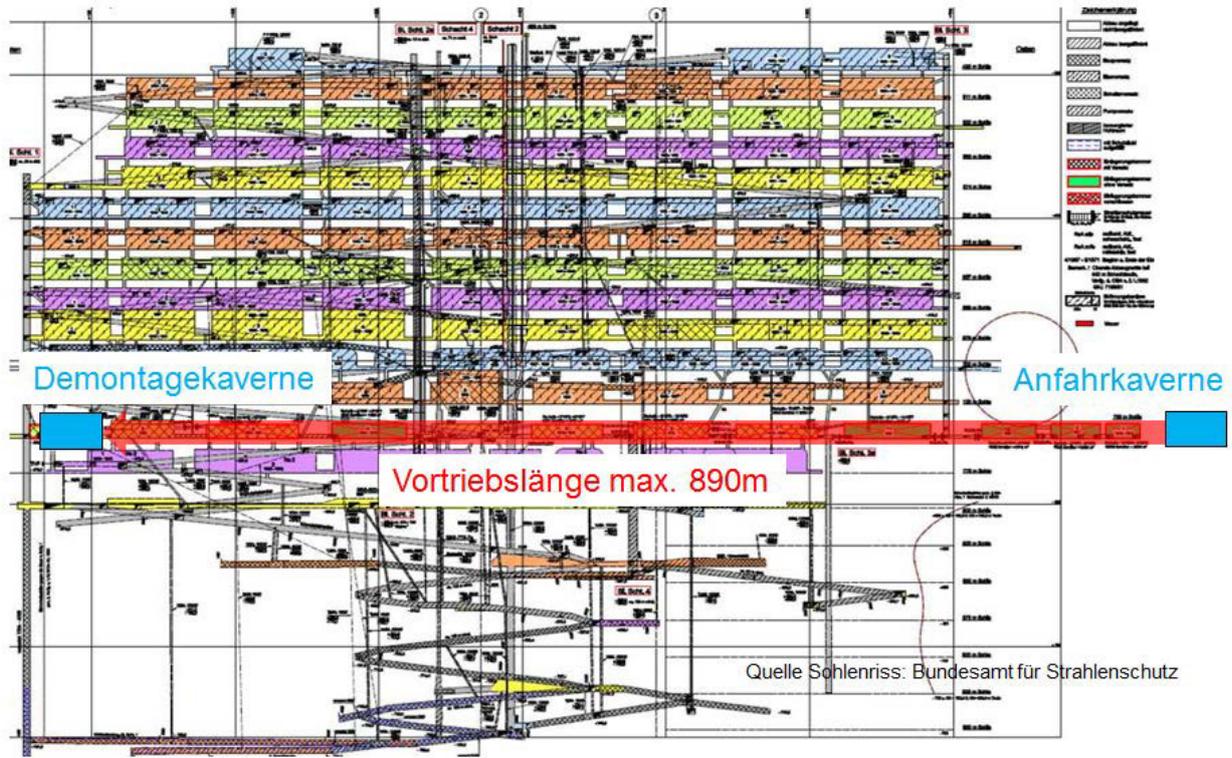


Abbildung 38: Längsschnitt des Schildvortriebskonzepts, [39] modifiziert durch Verfasser

Die Rückholung durch einen Schildvortrieb mit quadratischer Ausbruchfläche von 10 x 10 m erfolgt in fünf Vortrieben mit einer geschätzten Vortriebslänge von 890 m für Vortriebsstrecke 1, 890 m für Vortriebsstrecke 2, 540 m für Vortriebsstrecke 3, 540 m für Vortriebsstrecke 4 und 100 m für Vortriebsstrecke 5 (Abbildung 39). Der Ausbruchquerschnitt ist abgeleitet aus der durchschnittlich erwarteten Höhe der ELK von etwa knapp 10 m. Der Ausbruchquerschnitt für einen Vortrieb wird für eine optimale Profilierung der etwa rechteckigen Kontur der ELK und aufgrund der Schildkonstruktion quadratisch gewählt.

Von den Anfahrkavernen aus sollen die ELK 1/750, 2/750, 12/750, 11/750, 7/750, 6/750, 5/750, 4/750, 8/750 und 10/750 aufgefahren und geräumt werden. Die eventuell stabilitätsgefährdeten Abbaue 3/750 wie auch 9/750 sollen dabei überbohrt werden, obwohl sich darin kein kontaminiertes Material befindet. Dies wird erforderlich, sofern der Vortrieb ohne Unterbrechung durch eine weitere Demontage und erneute Montage des Schildes erfolgen soll.

Das Auffahren und Räumen der ELK 2/750 Na2 kann nicht durch einen Schild mit einer Höhe von 10 m erfolgen, da sie 17 m hoch ist und mit verkippten Gebinden befüllt wurde. Das Überbohren der ELK 2/750 Na2 würde ein Vortrieb in zwei Ebenen zu je 10 m bedingen. Die Nachteile bei der Umsetzung von Vortrieben in zwei Ebenen sind in Kapitel 4.2.2 beschrieben.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 94 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

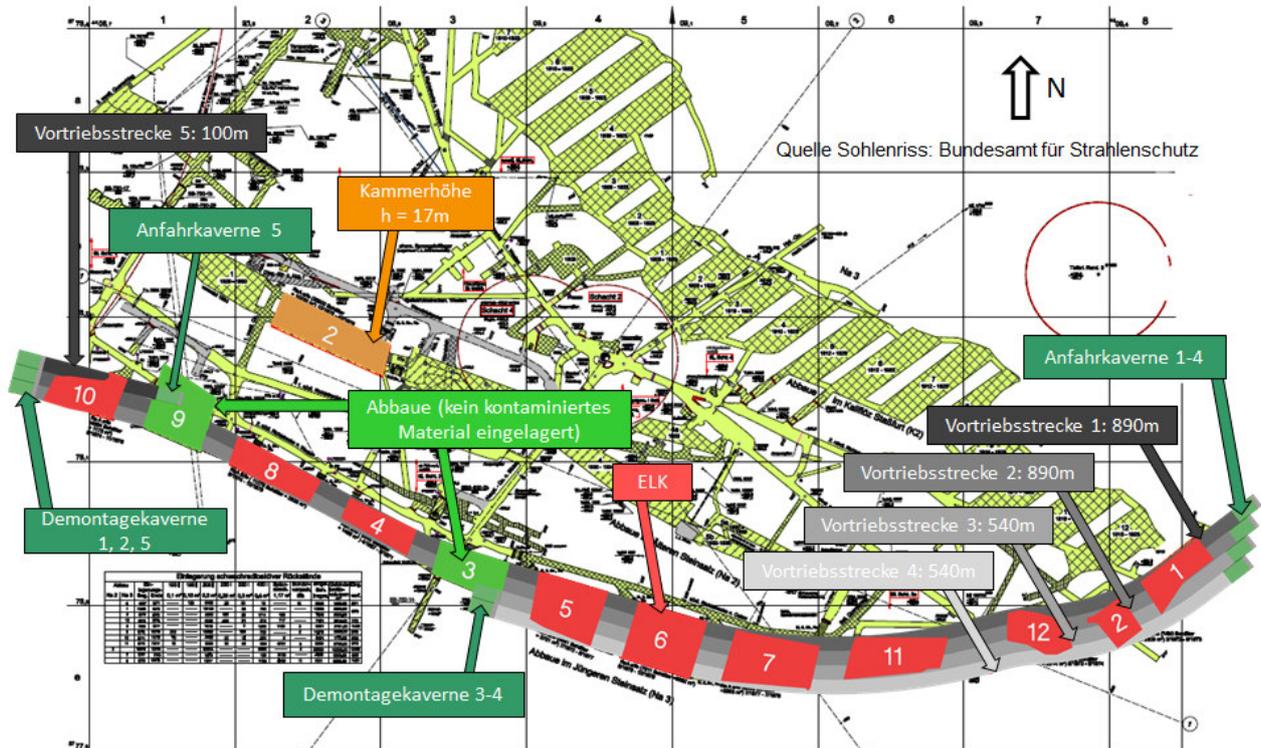


Abbildung 39: Grundriss des Schildvortriebskonzepts, [38] modifiziert durch Verfasser

Die Vortriebe durch die ELK von Ost nach West auf der 750-m-Sohle können mit einer Schildmaschine aufeinander folgend oder durch vier Schildmaschinen parallel laufend und damit zeitlich verkürzt erfolgen. Die maximale Vortriebslänge beträgt 890 m, die kürzeste Etappe etwa 100 m. Der horizontale Vortrieb durch alle dargestellten ELK und Abbaue bedingt das Auffahren der Pfeiler zwischen den ELK. Das Ausbrechen der Pfeiler kann eine Spannungsumlagerung bedingen und eine Destabilisierung des Hohlraums bedeuten. Dieser Destabilisierung soll einerseits durch die temporäre Stützung mit dem Schild während der Pfeilerdurchfahrt und andererseits durch eine frühzeitige, tragende Hohlraumverfüllung entgegengewirkt werden. Die Vortriebsreihenfolge von Nord nach Süd erzeugt nach dem Ausfahren des 1. Vortriebes ein tragfähiges, längliches Sorelbetonbauwerk. Diese Sorelbetonverfüllung wird zur Stabilisierung der Vortriebe 2 bis 4 beitragen.

Die Ausbruchkubatur würde dabei in etwa 296.000 m<sup>3</sup> betragen und setzt sich aus dem Ausbruchprofil von etwa 100 m<sup>2</sup> und der Gesamtaufahrlänge von 2.960 m zusammen.

### 5.3 RÜCKHOLKONZEPT

Das Rückholkonzept basiert auf dem Einsatz von Schildvortriebsmaschinen zum Auffahren und Räumen der ELK auf der 750-m-Sohle. Dazu wird geplant, die ELK der Reihe nach von Ost nach West mit den Schildmaschinen zu überbohren und dabei die Inhalte der ELK zu räumen. Das Räumen der ELK 2/750 Na2 sowie der ELK 7 auf der 725-m-Sohle mit je einer Höhe von durchschnittlich 17 m kann im Weiteren, bedingt durch die gewählten geometrischen Abmessungen der Schildmaschine, nicht betrachtet werden. Durch eine weitere Optimierung und Modifizierung der



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 95 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

Maschinentechnik scheint aber auch eine Rückholung in dieser Profilabmessung denkbar, zumal die ELK nicht bis unter die Schweben mit einer Höhe von 17 m gefüllt wurden.

Kontaminiertes Abraummateriale soll auf der Schildmaschine geborgen, in Transportbehälter umverpackt und in einem hinter der Schildmaschine hergestellten Tunnel zur Anfahrkaverne gefördert werden. Alternativ zur Umverpackung auf der Maschine ist eine Förderung von kontaminiertem Abraum entlang eines Sperrbereichs zu einer Umverpackungsstation im Bereich der Anfahrkaverne möglich. Dieses Vorgehen soll nicht weiter untersucht werden, da dies bereits in dem DMT-Bericht [5] dargelegt wurde und analog erfolgen könnte. Bevor die Transportgebinde von der Anfahrkaverne zum Schacht 5 gebracht werden, um nach über Tage zu gelangen, ist eine weitere Aufarbeitung der Transportgebinde möglich.

Hinter den Schildmaschinen wird der Hohlraum der geräumten ELK mit Sorelbeton verfüllt. Die Hohlraumverfüllung bewirkt hinter der Schildmaschine eine Stützung der Bergwerksumgebung und soll eine weitere Destabilisierung des Grubenhohlraums und einer damit einhergehenden Schwebeninstabilität rund um die ELK verhindern.

Neben dem Einsatz der speziell zu konzipierenden Schildmaschinen sind Geräte für die Logistik und entsprechende Ausrüstung für die Peripherie erforderlich. Die Bereitstellung von Geräten und Ausrüstung ist analog den Erfordernissen bei der Logistik und Baustelleneinrichtung im Tunnelbau mit einer Tunnelbohrmaschine zu betrachten.

Für die Rückholung sind mehrere Vortriebe durch die ELK auf der 750-m-Sohle mittels Schildmaschinen geplant:

- Bergung der Gebinde durch Freilegen und Lösen, Greifen und Anheben,
- Verladen und Transport der Gebinde inklusive Umverpackung in Transportbehälter,
- Förder- und Transportlogistik zur Versorgung des Schildvortriebs und
- Herstellung und Einbringen eines Ausbaus und einer Sicherung als stabilisierende Hohlraumverfüllung

Im Vorfeld der eigentlichen Rückholung mit den Schildmaschinen sind u. a. folgende weitere Arbeiten durchzuführen:

- Herstellung von Anfahrkavernen sowie Grubenräume zur Baustelleneinrichtung für Schildvortrieb
- Herstellung bzw. Auffahren von Transport- bzw. Ventilationstrecken
- Anschluss der Anfahrkavernen an den Schacht 5
- Je nach Lage Streckensanierungen, Querschnittserweiterungen, Kurvenradiusvergrößerungen, Einrichtung von Ausweichstellen usw.
- Einrichtung von Überwachungs-, Kontroll- und Sperrbereichen sofern nicht Teil der Schildmaschine
- Errichtung der Umverpackungs- und Teilkonditionierungsanlage



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 96 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

Im Nachgang zu der eigentlichen Rückholung sind u. a. folgende Arbeiten zu berücksichtigen:

- Herstellung von Demontagekavernen zum Rückbau der Schildmaschine
- Dekontamination, Rückbau und Umverpackung der Schildmaschine
- Verfüllung der Tunnelröhren mit Sorelbeton
- Rückbau nicht mehr erforderlicher Strecken sowie Räumen für Infrastruktur und Baustelleneinrichtung

Des Weiteren wird seitens des BfS vorgesehen, dass die ELK als auch die Transportwege nicht abschließend dekontaminiert werden. Nach der Leerung der ELK sind Firste, Sohle und Wände nicht zwingend abzufräsen und die betreffenden Grubenräume nicht abschließend freizumessen. Restkontaminationen sind dabei nicht auszuschließen.

### 5.4 KONZEPTION EINER SCHILDMASCHINE MIT TEILFLÄCHENABBAU

Der Vortrieb der Schildmaschine erfolgt im Teilflächenabbau. Zum Abbau des Materials sind gelenkige Ausleger zur Aufnahme von Hydraulikhammer, Fräskopf, Greifer oder Bagger vorgesehen. Die Abbaugeräte bearbeiten im Schutze eines Schildes die Ortsbrust. Die Abbaugeräte können manuell von einem Steuerstand bedient werden oder rechnergesteuert, z.B. im Bereich der Pfeiler, einen Abschlag automatisch ausführen.

Der Schild ist ausgeführt als mehrteilige Schweißkonstruktion mit Schraubenstößen entsprechend den maximal zulässigen Transportabmessungen. Wie bereits in Abbildung 42 dargestellt, besteht die Schildkonstruktion im Grundaufbau aus den Teilen Schneidenschuss, Mittelschuss und Schildschwanz. Der Schild übernimmt die temporäre Sicherung und Stützung der Schweben, bis der geräumte Hohlraum im Nachgang mit Sorelbeton verfüllt wird.

Der Schneidenschuss umfasst diverse Einbauten sowie die Aufnahmekonstruktion für Abbaugeräte, Werkzeugwechsel und zum Ausschleusen von Abraum- und Gebindeteilen (Abbildung 40). Der Schneidenschuss ist mit einer Abschirmwand ausgebildet, um die Abbaukammer und den Inhalt der ELK von der Schildmaschine und den dahinter liegenden Tunnelröhren abzugrenzen. Durch Öffnungen in der Abschirmwand werden die Gebinde und jegliches Material aus der ELK ausgeschleust. An der Abschirmwand sind Sichtfenster vorhanden für den Einblick in die ELK.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 97 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

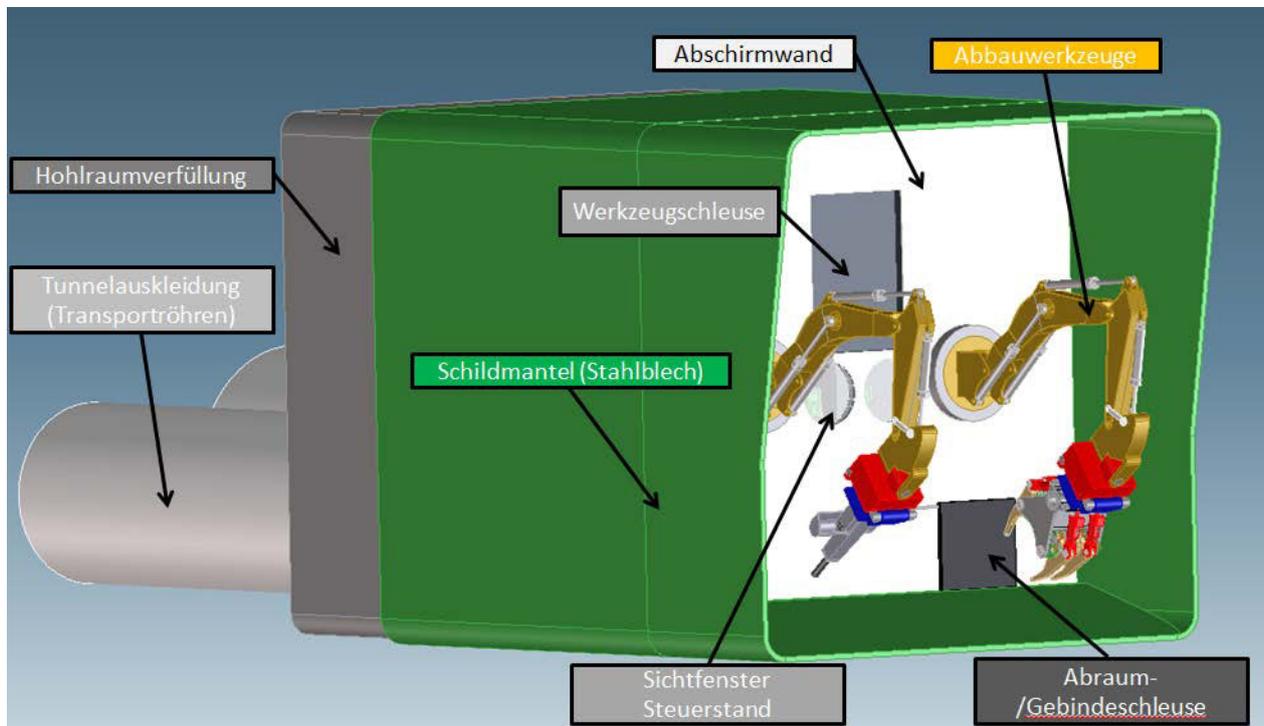


Abbildung 40: Frontansicht der Schildmaschine mit Teilflächenabbau [Bildquelle Herrenknecht AG]

Hinter den Sichtfenstern befindet sich der Steuerstand zur Bedienung der Abbaugeräte und zur Überwachung der Materialausschleusung. Diese Abbaukammer im Schild wird mit den erforderlichen Gaskondensatoren ausgerüstet, um eine Ventilation von kritischen Gaskonzentrationen einleiten zu können.

Der Schild hat eine quadratische Ausbruchkontur von 10 x 10 m. Für den Werkzeugwechsel ist eine Werkzeugschleuse zum Austausch von Werkzeugen konzipiert. Die Sichtfenster des Steuerstandes haben einen Durchmesser von 1,2 m und die Größe von zu fördernden Gebinden und Teilen aus der ELK darf, bedingt durch den verbleibenden Bauraum, ca. 1,5 m betragen. Die geometrischen Abmessungen kann Abbildung 41 entnommen werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 98 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

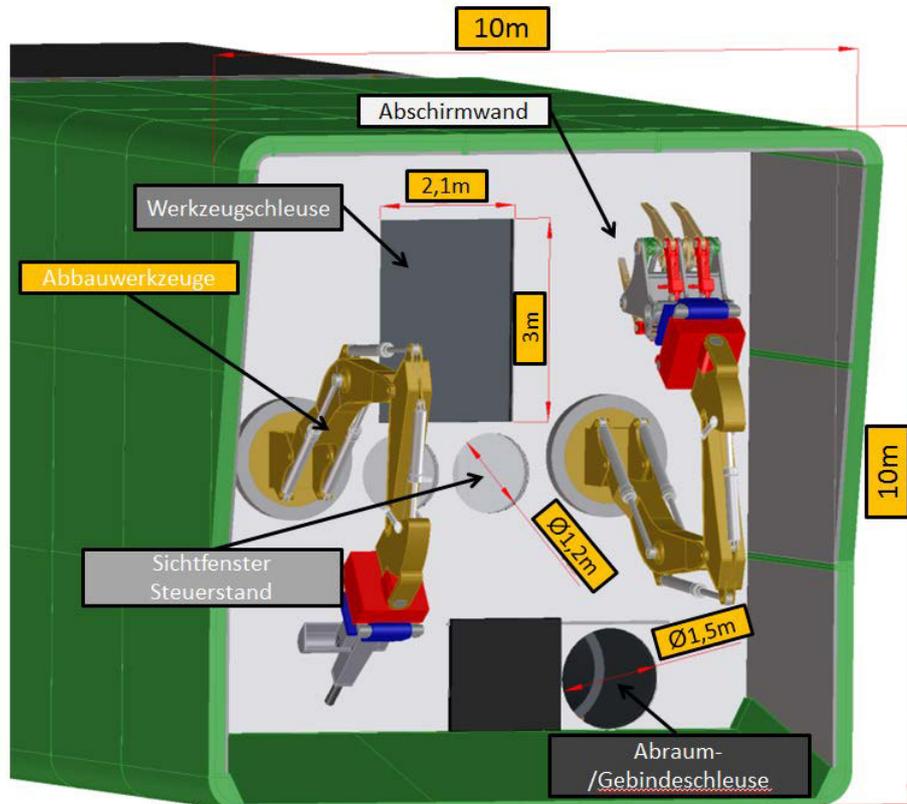


Abbildung 41: Frontansicht der Schildmaschine mit Geometrie der Abschirmwand [Bildquelle Herrenknecht AG]

Im Mittelschuss sind der Steuerstand, das System für Werkzeugwechsel sowie die Ausrüstung zur Versorgung der Anlage installiert. Der Schildschwanz dichtet gegenüber der Hohlräumauskleidung ab und ist gelenkig ausgeführt. Der Schild wird mittels Hydraulikzylinder an der Hohlräumauskleidung (siehe Abbildung 42) vorangedrückt.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 99 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

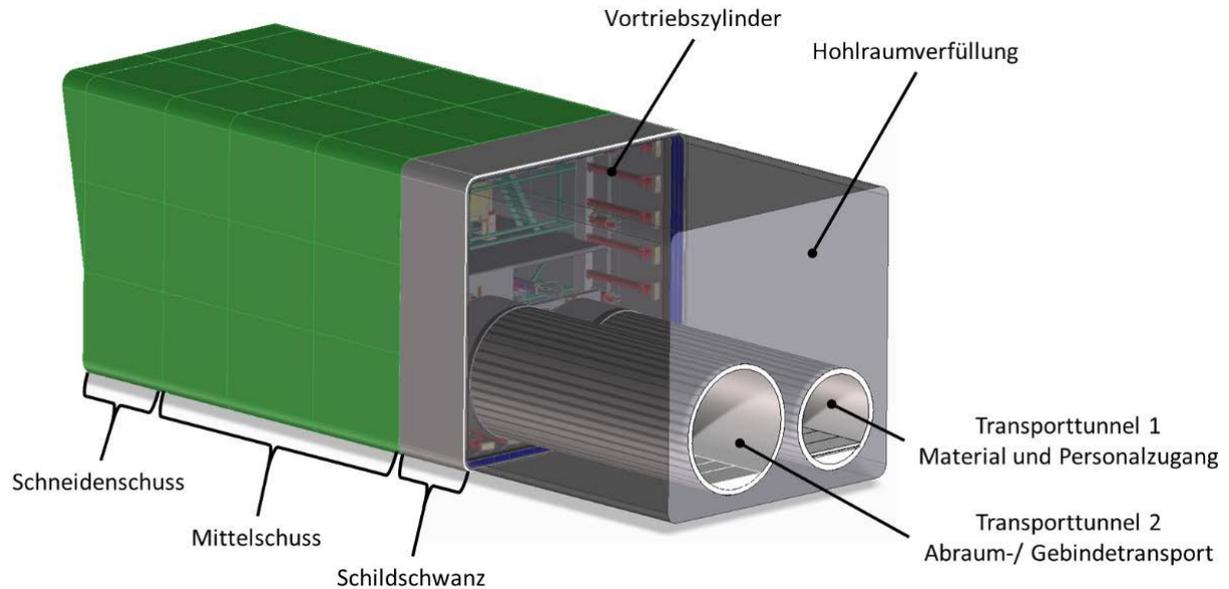


Abbildung 42: Rückansicht der Schildmaschine mit Teilflächenabbau [Bildquelle Herrenknecht AG]

Zur Versorgung der Maschine sind ein Hydraulikaggregat mit Hydraulikpumpen und Hydrauliktank, ein Filter-/Kühlkreislauf mit Filter- und Kühlwasserpumpe sowie eine elektrische Anlage mit Transformator, Schaltschränken, Steuerkabine und Bedienpulten erforderlich. Die Bauteile werden im Schild installiert (Abbildung 43).

Durch Schildgelenkzylinder kann der Schildschwanz gelenkig hinter der Maschine gezogen werden und jeglicher Kurven- oder Korrekturfahrt ohne Zwängungen folgen.

Die Materiallogistik kann mit Radfahrzeugen oder auch gleisgebunden erfolgen. Für die Hohlraumverfüllung ist der Materialumschlag von Spritzbeton sowie von Verpressmörtel erforderlich. Zur Verlängerung von Versorgungsleitungen sind Kabeltrommeln und Schlauchtrommeln notwendig. Der Umschlag von Werkzeugen und Maschinenteilen kann mit Krananlagen bewerkstelligt werden. Der Zugang innerhalb des Schildes z. B. für Wartungsarbeiten ist durch Podeste gewährleistet.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 100 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

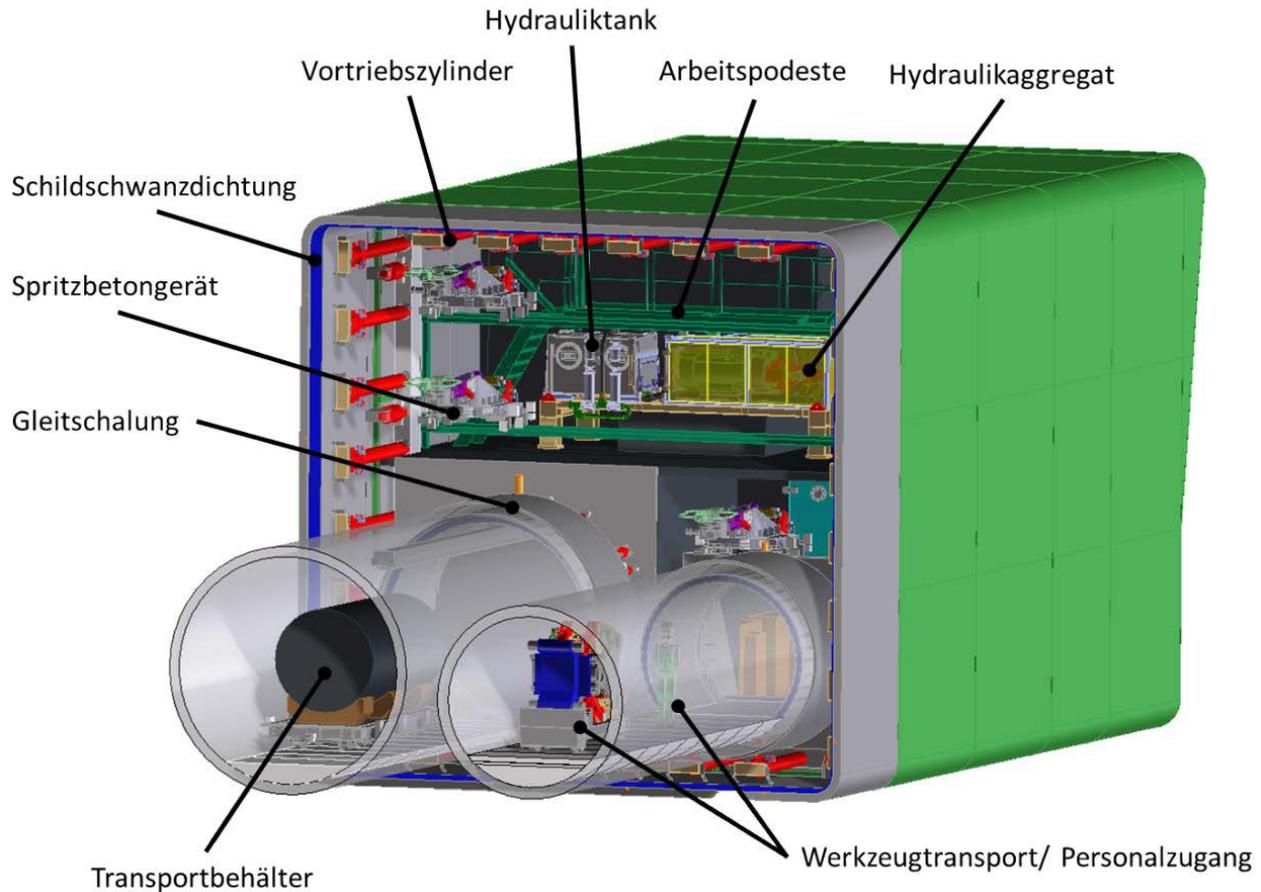


Abbildung 43: Einbauten und Maschinenausrüstung der Schildmaschine mit Teilflächenabbau [Bildquelle Herrenknecht AG]

Im Schutze des Schildes sind zwei Tunnelröhren herzustellen. Die Röhren sollen unabhängig voneinander für Logistik fungieren und beide Röhren sollen als Fluchtweg dienen. Die kleinere Tunnelröhre dient der Zuführung von neuen Abbaugeräten, dem Zugang von Personal und zur Versorgung mit Verbrauchsgütern. Die größere Tunnelröhre dient im Normalfall ausschließlich dem Ein- und Ausfahren von Transportbehältern sowie dem Abfordern von verpackten Gebinden und Abraum aus der ELK. Im Notfall, zum Beispiel im Brandfall in der ersten Röhre, ist die zweite, größere Tunnelröhre als Fluchtweg zugänglich.

## 5.5 BERGUNG DER GEBINDE

Für die Bergung der Gebinde durch am Schild angebrachte Abbaugeräte wird auf den 1. Zwischenbericht des KIT [16] verwiesen. Dieser gibt einen Überblick über mögliche Geräte und Verfahrensschritte bei der Bergung der Gebinde, welche als Grundlage für die Wahl der Abbaugeräte an der Schildmaschine dienen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 101 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### 5.5.1 Freilegen und Lösen

Der 2. Zwischenbericht des KIT [56] zeigt anhand von ausgeführten Versuchen und der Abbildung 44, dass Steinsalzbeton mit einer Hydraulikfräse bearbeiten werden kann und sich im Salzgrus eingeschlossene Gebinde freilegen lassen.



Abbildung 44: Fräsversuche zum Freilegen von Gebinden in Steinsalzbeton [56]

Neben dem Einsatz einer Fräse haben die Versuche des KIT entsprechend Abbildung 45 gezeigt, dass bei weniger Staubentwicklung eine höhere Abbruchleistung mit einem Hydraulikhammer erzielt werden kann.



Abbildung 45: Versuche mit Hydraulikhammer zum Freilegen von Gebinden in Steinsalzbeton [56]

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 102 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

Die Lage und der Zustand der Gebinde wurden im Rahmen dieser Vorversuche nur in begrenztem Maße nachgebildet. Für die Versuche wurden intakte Behälter in geordneter Lage verwendet. Allerdings ist für die vorherrschende Einlagerungssituation von ungeordneten, eventuell zerstörten oder verwachsenen Gebinden und Gebindeteilen auszugehen. Die Freilege- und Lösewerkzeuge beim Teilflächenabbau müssen derartige Bedingungen bewältigen können.

Bei der weiteren Betrachtung der Abbautechnik wird ein Hydraulikhammer als vorteilhaft betrachtet und als primäres Freilegegerät zugrunde gelegt. Durch einen Hammer würde sich sowohl Versatzmaterial auflockern, Gebirge ausbrechen als auch Versturz und Schwebeninstabilitäten nacharbeiten lassen.

Als sekundäres Gerät kommt eine Fräse in Betracht. Vor allem das kleinstückige Zerfräsen des Gesteins oder des Salzgruses und die damit verbundene Notwendigkeit zur Entstaubung sind nachteilig zu bewerten.

### 5.5.2 Greifen und Anheben

Die Gerätschaften zum Greifen und Anheben von Abfallgebinden müssen die maximal zu erwartenden Abmessungen und Gewichte berücksichtigen, um eine weitestgehend zerstörungsfreie Bergung der Gebinde zu ermöglichen. Eine möglichst geringe Zerstörung von Gebinden bedeutet eine geringe Kontaminierung des Abraummateri als und eine reduzierte Strahlenbelastung.

Im Rahmen der Vorversuche wurde ein speziell konzipierter Nukleargreifer (Abbildung 46) zum Freilegen und Verladen der Gebinde herangezogen [56]. Der Greifkörper ist zusätzlich mit einem Tiltrotator ausgestattet, um Gebinde in beliebiger Lage aus dem Salzgrus zu greifen und zu verladen.



Abbildung 46: Versuche mit Nukleargreifer zum Greifen und Anheben von Gebinden [56]

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 103 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

Das Greifsystem soll maßgebend zum Umfassen und Anheben von intakten Gebinden und zum Greifen von großstückigen, losen Gebindeteilen und defekten Fässern dienen. Die ebenfalls in der Schachanlage Asse II eingelagerten Sondergebände mit den Abmessungen von etwa 2 m x 1 m x 3,5 m und ein Maximalgewicht von bis zu 9,8 t können mit diesem Nukleargreifer jedoch nicht gegriffen und angehoben werden (siehe dazu Kapitel 5.6.1).

Kleinstückige, lose Gebindeteile und defekte Gebinde sind unter Umständen statt mit dem Nukleargreifer mit Baggerschaufel oder -löffel zu fassen. An dieser Stelle wird auf die Ergebnisse der Untersuchungen zum 3. Zwischenbericht – Prüfung der Eignungsfähigkeit vorhandener Techniken, Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachanlage Asse II in dieser Studie verwiesen, der zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Zwischenberichtes ebenfalls erarbeitet wird.

Bei der weiteren Detaillierung der Abbautechnik wird ein Greifer, wechselbar auf eine Baggerschaufel, favorisiert.

## 5.6 FÖRDERUNG UND TRANSPORT

Die Materialversorgung und der Personalzugang einerseits, und die Abraumförderung in Transportbehältern andererseits, finden in zwei voneinander getrennten Tunnelröhren statt.

Die beiden Tunnelröhren unterscheiden sich je nach Verwendungszweck:

### Verwendungszweck der ersten Tunnelröhre:

- Materiallandienung von:
  - Werkzeugen
  - Ersatzteilen
  - Verschleißteilen
  - Verbrauchsgütern
  - Spritzbeton
  - Ringspaltmörtel
  - Kühl- und Industrierwassern
  - Schmierstoffen wie Öl und Fett
- Zugangsmöglichkeit für jegliches Personal zur Schildmaschine
- Bewetterung (Frischlufft)
- Strom
- Industrieluft (Druckluft)

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 104 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### Verwendungszweck der zweiten Tunnelröhre:

- Abraumförderung in Transportbehältern (kontaminiertes / nicht kontaminiertes Material)
- Abführung von kontaminierter Luft (Entstaubung)
- Abführung von Abwasser, Lösungen
- Abtransport von Werkzeugen, Ersatz- und Verschleißteile
- Abtransport von betrieblichen Abfälle

### 5.6.1 Förderung und Verpackung von Gebinden

Um die Umsetzung der Anforderungen an den Strahlenschutz zu optimieren, soll kontaminiertes Material aus der Abbaukammer innerhalb der Schildmaschine direkt in einen Transportbehälter beladen werden. Nach dem Verschließen des Transportbehälters kann dieser durch einen Verfahrsschlitten, eine Kranbahn und ein Transportvehikel aus dem Schild durch den Tunnel zur Anfahrkaverne transportiert werden. Die Transportlogistik ist in Abbildung 47 zu finden.

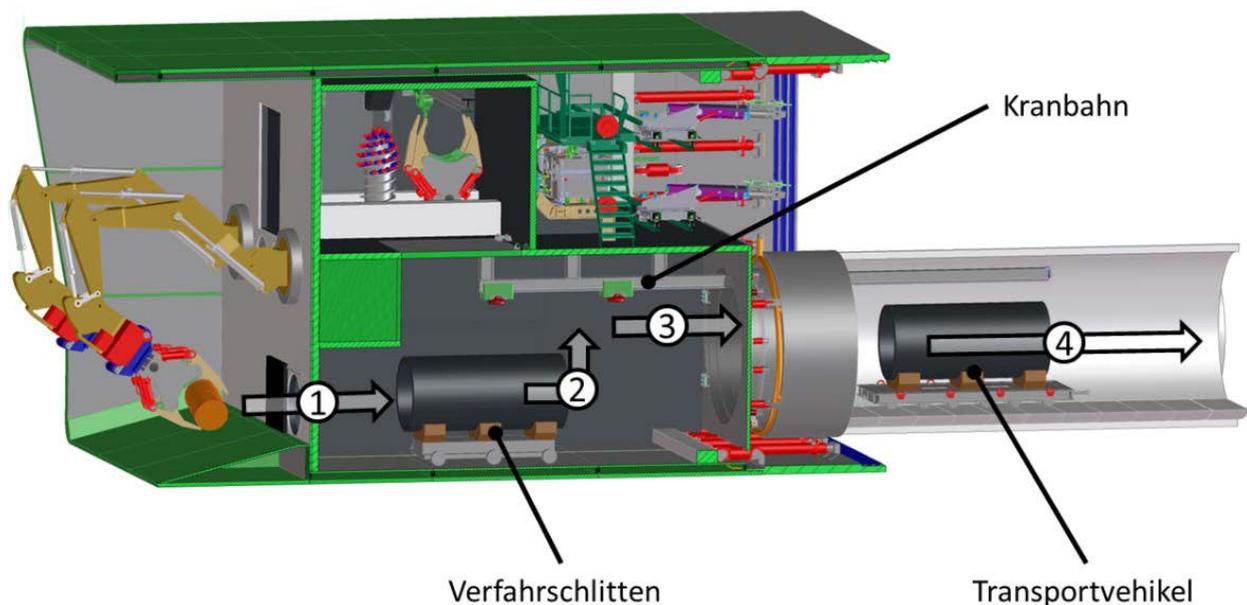


Abbildung 47: Förderweg des Transportbehälters von der Abbaukammer zum Tunnel [Bildquelle: Herrenknecht AG]

Die Abschirmwand der Schildmaschine und die Schleusenöffnungen sind technische Barrieren und sind in Abbildung 48 dargestellt. Die technische Barriere grenzt den Sperrbereich (Abbaukammer) vom Kontrollbereich (Schleuse und Tunnel) ab. Als Förder- und Zuführgerät für die Gebinde in den Transportbehälter dient vorzugsweise ein Greifer oder – im Falle von kleinstückigem Abraummateri- al – eine Baggerschaufel.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 105 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

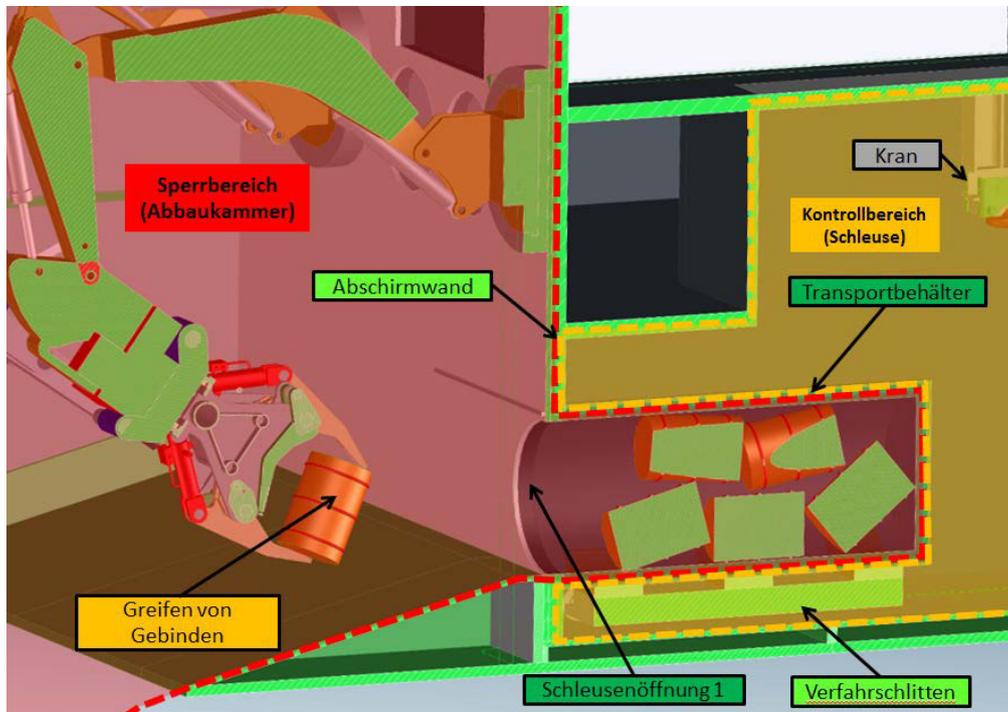


Abbildung 48: Beladen des Transportbehälters mit Abfallgebinden [Bildquelle Herrenknecht AG]

Der Transportbehälter sowie die Schleusentür 1 an der Abschirmwand (Abbildung 49) sind nach dem vollständigen Beladen zu verschließen. Der Raum zwischen Behälterverschluss und der Schleusentür 1 ist als kontaminiert (Sperrbereich) zu betrachten und entsprechend zu dekontaminieren. Der Transportbehälter wird zum Beladen von hinten dicht an die Abschirmwand angeschraubt. Sobald der Behälter verschlossen ist, können der Behälter und der Raum zwischen Schleusentür 1 und dem Behälterverschluss dekontaminiert werden. Die Verschraubung zur Fixierung des Behälters an der Abschirmwand kann gelöst werden und der Behälter liegt frei auf dem Verfahrslitten für den weiteren Transport durch eine Kranbahn.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 106 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

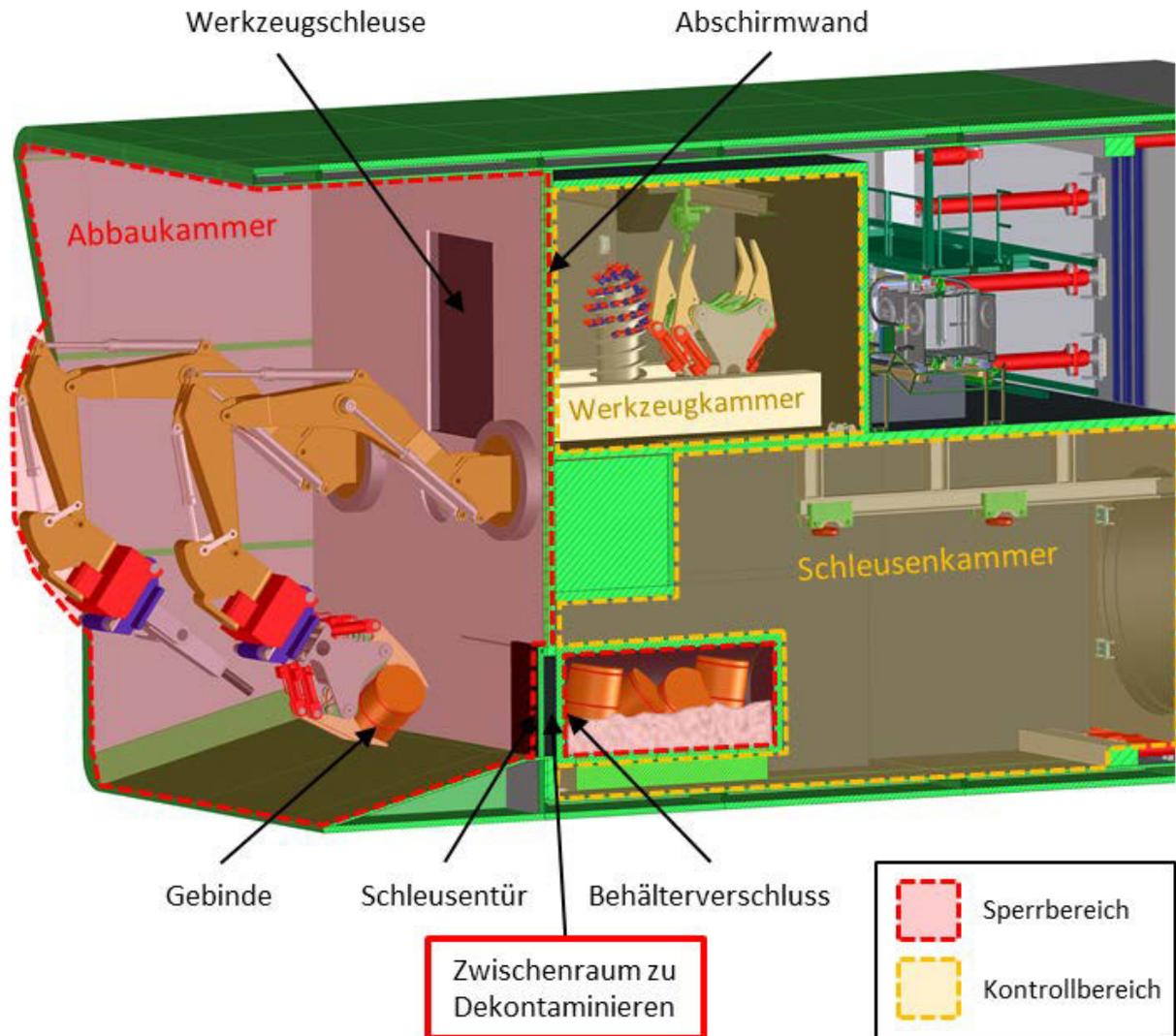


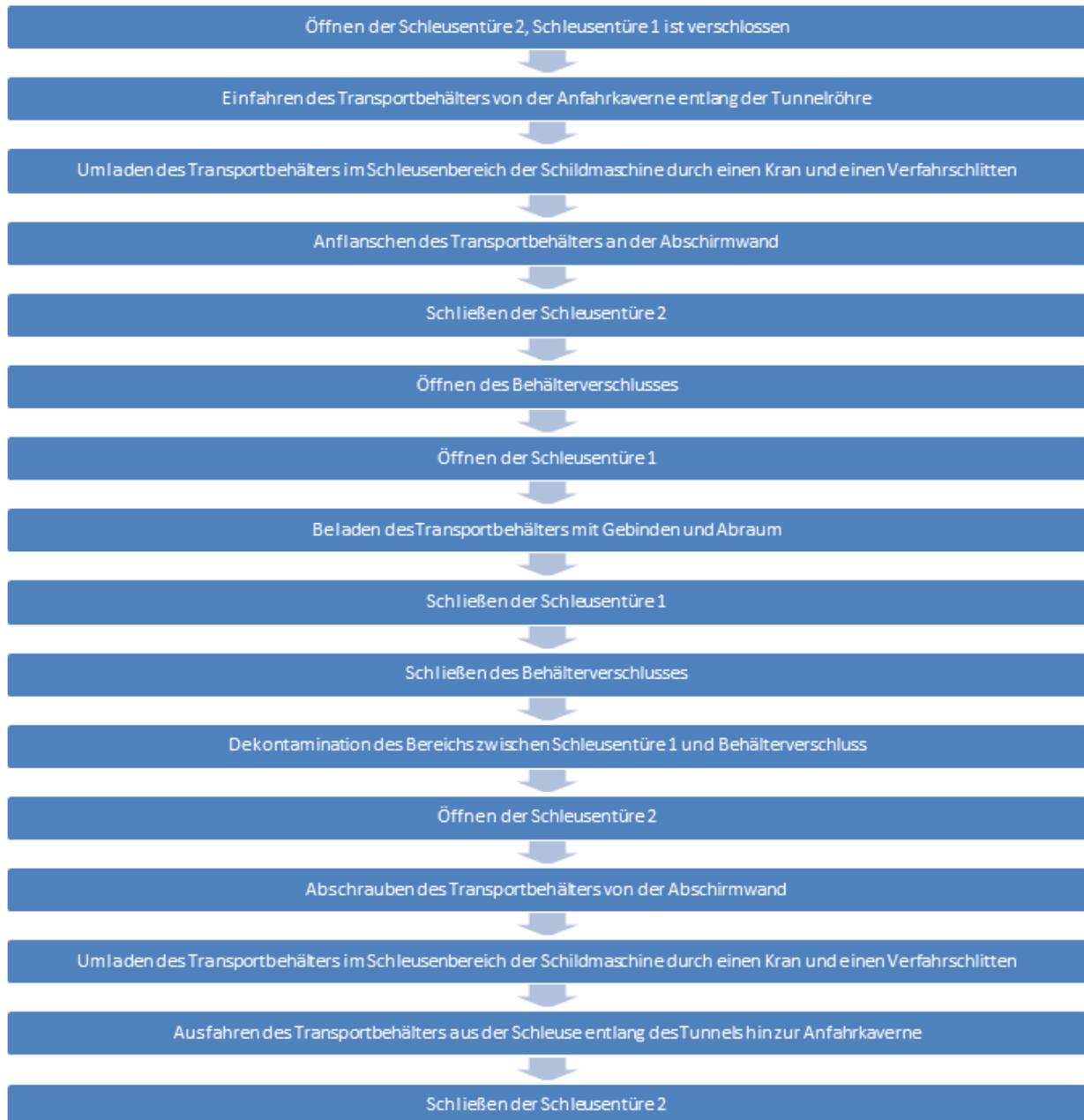
Abbildung 49: Zoneneinteilung nach dem Verschließen des Transportbehälters [Bildquelle Herrenknecht AG]

Für die Förderung von Gebinden, Gebindeteilen und Gebindeinhalten sind prinzipiell Abmessungen und Gewichte wie schon beim Greifen und Anheben zu berücksichtigen. Die Öffnung für den Gebinde- und Abraumtransport ist aus Platzgründen im Bereich der Schleusenöffnung 1 auf maximal 1,5 m limitiert. Die Öffnungsabmessungen an der Abschirmwand sind bereits in Abbildung 41 aufgeführt worden.

Die in der ELK befindlichen Gebinde können weitestgehend am Stück ohne eine weitere Zerkleinerung durch die Öffnungen transportiert werden. Lediglich die Sonderbehälter oder miteinander verwachsene Gebindeteile sind in der Abbaukammer auf ein Maß von maximal 1,5 m zu zerkleinern.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 107 von 148  Stand: 13.05.2015
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	

Die Prozesskette für das Beladen und das Umverpacken von Gebinden in einen Transportbehälter gliedert sich wie folgt:



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 108 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

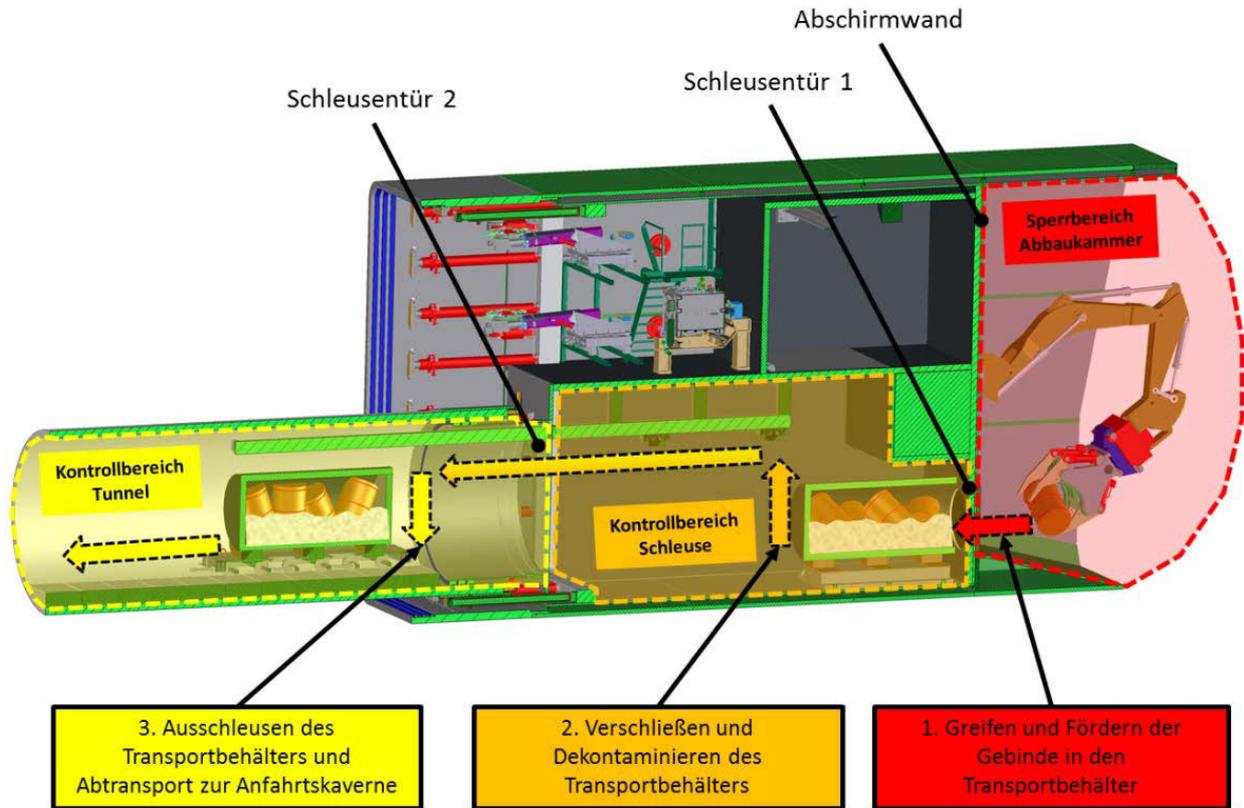


Abbildung 50: Umschlag des Transportbehälters und Zoneneinteilung [Bildquelle Herrenknecht AG]

### 5.6.2 Transportbehälter zur Gebindeförderung

Jegliches aus den ELK und dem Sperrbereich entnommen Material wird in der Schildmaschine einem Transportbehälter zugeführt. Ein Entwurf für einen Transportbehälter ist dargestellt in Abbildung 51.

Es gilt zu prüfen, inwiefern der Transportbehälter standardisiert eingesetzt werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass der Transportbehälter den geometrischen Abmessungen der Maschine und der Transporttechnik angepasst werden muss. Der Behälter kann rund oder eckig ausgebildet werden und muss mittels Kränen und einem Verfahrslitten innerhalb der Schleuse und entlang der Tunnelröhre von/zu der Anfahrkaverne transportiert werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 109 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015



Abbildung 51: Entwurf für Transportbehälter [Bildquelle Herrenknecht AG]

Die Beschaffenheit und Konstruktion des Transportbehälters ist nicht Teil des vorliegenden Zwischenberichts und wird nicht tiefergehend betrachtet. Angenommen wurden ein Durchmesser von 1,5 m und eine Behälterlänge von 3,8 m.

Das aus den ELK gewonnene Aushubmaterial muss vor dem Transport nach über Tage teilkonditioniert werden. Eine Teilkonditionierung durch Verpackung von Behältern innerhalb der Schildmaschine würde das Risiko der Kontaminationsverschleppung in den Tunnelhinter der Schildmaschine und im restlichen Grubengebäude minimieren. Eine Umverpackung soll in einem Schleusenbereich auf der Schildmaschine und damit möglichst früh hinter der ELK stattfinden. Alternativ können der Schleusenbereich und die Teilkonditionierung auch außerhalb des Tunnels, etwa in der Anfahrkaverne, integriert werden.

### 5.6.3 Abfordern von Material ohne Transportbehälter

Es ist denkbar, das Fördern von feinkörnigem Abraummateriale, wie etwa Salzgrus oder Salzgestein, separat von den Gebinden zu bewerkstelligen, sofern das Material nicht kontaminiert ist. Umsetzbar wäre zum Beispiel eine Luftstromförderung mit einem Saugrüssel zum Absaugen von Salzgrus, Salzgesteinstücken oder Salzstaub. Hierzu sind weitergehende Untersuchungen zur Eignung des Geräts notwendig. Oder auch der Einsatz eines Schneckenförderers, bekannt vom Tunnelvortrieb mit Erddruckschilden, ist möglich. Die alternative Förderung durch Luftstrom anstatt mit einem Schneckenförderer hängt von den Abraummaterialekonditionen ab. Ist der Abraum auf einigen Vortriebsmetern nicht kontaminiert und besteht dieser aus Salzgestein, zum Beispiel im Bereich der Anfahrkaverne oder beim Auffahren der Pfeiler, wird eine deutlich höhere Vortriebsgeschwindigkeit erwartet. Sofern in diesem Fall keine Teilkonditionierung und Umverpackung des Abraummateriale erforderlich ist, ist ein alternativer Ansatz zur Förderung von Material ohne einen Transportbehälter sinnvoll.

## 5.7 WERKZEUGWECHSEL

Die Bestückung der Abbausleger ist möglichst flexibel zu halten, um den unterschiedlichen Materialzuständen und Einlagerungssituationen gerecht zu werden. Die Flexibilität beim Werkzeug-

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 110 von 148  Stand: 13.05.2015
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	

einsatz innerhalb der Abbaukammer ist durch ein fernhantiertes Wechseln des Hydraulikhammers mit einem Fräskopf oder des Greifers mit einer Baggerschaufel und umgekehrt möglich.

Am Markt sind diverse Schnellwechselsysteme verfügbar, welche sich für einen automatisierten, mechanischen und hydraulischen Anschlusswechsel von Werkzeugen eignen. Der Werkzeugwechsel ist so zu planen, dass entweder kein bemannter Einstieg in die Abbaukammer notwendig wird, oder die Einsatzzeiten unter Vollschutz möglichst kurz ausfallen. Durch den automatisierten Werkzeugwechsel aus einem Werkzeugwechselsystem kann der Personaleinsatz in der Abbaukammer signifikant reduziert werden, beziehungsweise auf diesen komplett verzichtet werden.

Ein Werkzeugwechselsystem erlaubt den sicheren und flexiblen Austausch von Abbauwerkzeugen wie Hydraulikhammer, Fräskopf, Greifer und Baggerschaufel. Der Werkzeugwechsel ist innerhalb einer abgeschirmten Abbaukammer hinter der Abschirmwand und damit außerhalb der Abbaukammer, entsprechend Abbildung 52, möglich. Der Wechsel eines Werkzeuges kann automatisiert werden und die erforderliche Kinematik und Prozessschritte können vorab einprogrammiert werden. Ähnlich dem Werkzeugtausch auf einer CNC-Maschine würde ein Schlitten vorkonfigurierte Werkzeugbestückungen nach dem Öffnen einer Schleusentüre in die Abbaukammer fahren. Einer der beiden Auslegerarme kann den Schlitten ansteuern und das zu wechselnde Werkzeug darauf abstellen. Ein neues Werkzeug kann vom Schlitten aufgenommen werden. Der Schlitten fährt wieder in die Schleusenkammer und die Schleusenöffnung wird wieder verschlossen. Die Schleusenkammer wird dekontaminiert, bis sie durch Personal ohne Vollschutz betreten werden kann. Eine Reparatur des Werkzeuges in der Schleusenkammer des Werkzeugwechselsystems kann somit im Kontrollbereich stattfinden. Die Abbaukammer ist an eine Absaugung mit entsprechender Filteranlage anzuschließen.

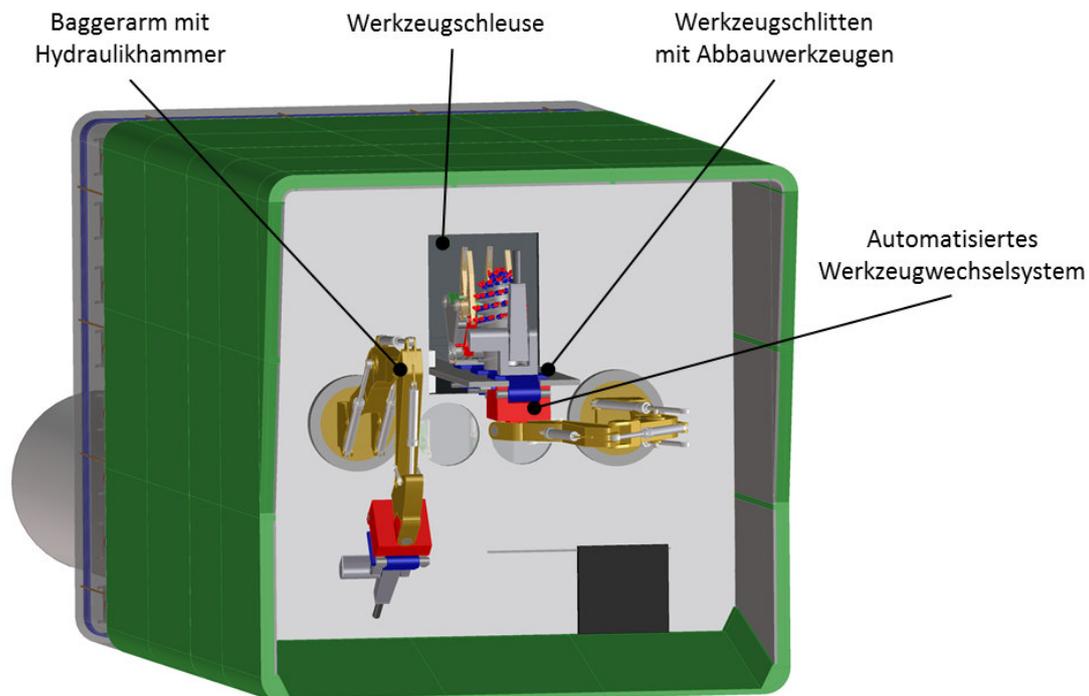


Abbildung 52: Werkzeugwechselsystem [Bildquelle Herrenknecht AG]

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 111 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Es ist nicht bekannt, dass ein derartiges Wechselsystem im Einsatz ist. Es wird deshalb empfohlen, das Werkzeugwechselsystem auf die Eignung bei der Rückholung zu testen.

Sowohl der Zugang für Personal als auch der Transport von Werkzeugen und Verbrauchsstoffen erfolgt in derselben Tunnelröhre. Die Transportlogistik wurde in Abbildung 53 skizziert. Zunächst ist im Tunnel selbst ein Transportvehikel einzusetzen, um den Materialumschlag bis zu einer Hubbühne am Ende der Schildmaschine zu bewerkstelligen. Die Hubbühne ist zum Überbrücken der Höhendifferenz zwischen Tunnelsohle und Schildboden erforderlich. Das Transportvehikel ist unter den Kran zu positionieren, um neue Abbauwerkzeuge anzuheben und dem Werkzeugwechselsystem zuzuführen.

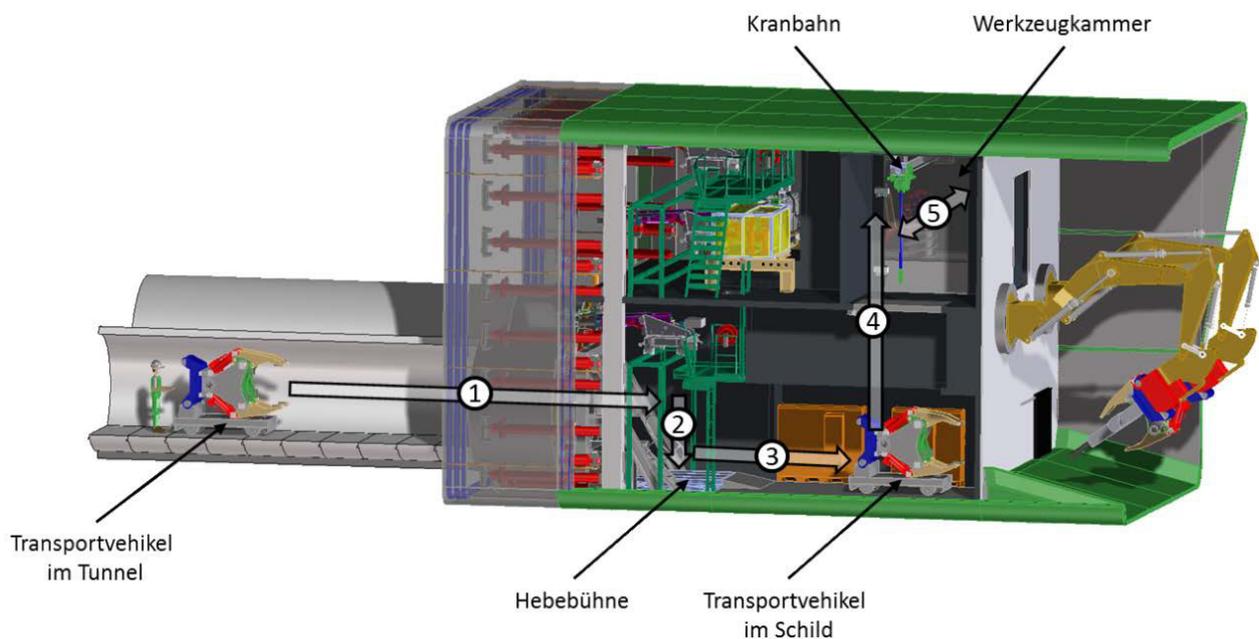


Abbildung 53: Zuführung von Werkzeugen und Verbrauchsstoffen mit Nummerierung der Prozesschronologie [Bildquelle Herrenknecht AG]

Der Abtransport verschlissener Abbauwerkzeuge aus der ELK erfolgt auf demselben Transportweg wie für die Gebinde. Die Abbauwerkzeuge und Verschleißteile, welche dem Sperrbereich entnommen werden, sind wie kontaminiertes Material zu behandeln und über Transportbehälter zu befördern. Der Prozessschritt zum Fördern und Verpacken von Material aus der ELK wird analog Kapitel 5.6.1 ausgeführt. Dadurch ist eine klare Trennung des Transportwegs von neu angeordneten und bereits verschlissenen, kontaminierten Werkzeugen gegeben.

## 5.8 AUSBAU UND SICHERUNG

Durch den Ausbau soll der Hohlraum nach dem Leeren der ELK verfüllt werden. Die Hohlraumverfüllung soll gebirgsstabilisierend, stützend und abschirmend gegen mögliche ionisierende Strahlung wirken. Der Hohlraum kann durch Auftrag von Spritzbetonschichten nahezu vollflächig verfüllt werden. Lediglich die für die Logistik erforderlichen Tunnelröhren werden nicht verfüllt. Sofern erforderlich können die beiden Tunnelröhren nach der Rückholung der Gebinde und der Bergung der Schildmaschine nachträglich mit Sorelbeton verfüllt werden. Zusätzlich zur Hohlraumsicherung



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 112 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

dient der Schild über eine Länge von etwa 20 m zur Aufnahme von eventuellen Belastungen aus Gebirgsdeformationen.

Der Raum zwischen ausgebrochenem Gebirge oder ELK und Außenkontur der Hohlraumverfüllung, die sogenannte Schildschwanzfuge, ist mit Mörtel zu verpressen, um die durch Spritzbeton eingebrachte Hohlraumverfüllung kraftschlüssig im Gebirge zu betten und abschließend die geräumten ELK abzuschirmen.

### 5.8.1 Herstellung der Tunnelauskleidung mit Extrudierbeton

Es sind zwei Tunnelröhren während der Rückholzeit für die Materiallogistik und als Zugangsmöglichkeit zur Schildmaschine notwendig. Die Tunnelröhren sind durch den Spritzbetonauftrag vollständig umlaufend gebettet. Die Tunnelauskleidung soll als Extrudierbeton eingebracht werden. Dabei wird der Extrudierbeton als Sorelbeton in eine Gleitschalung gepumpt. Es wird davon ausgegangen, dass der Ausbau wegen der umlaufenden und kraftschlüssigen Hohlraumverfüllung unbewehrt ausgeführt werden kann. Die Abbildung 54 zeigt die Herstellung von Tunnelröhren durch das Einbringen von Extrudierbeton.

Die Gleitschalung ist prinzipiell als innerer und äußerer Stahlzylinder ausgebildet, welcher hinter der Schildmaschine, mit Zylindern gesteuert, nachgeschleppt wird. Die innere Gleitschalung ist gleichzeitig als Schildschwanz ausgebildet. Der Innenraum der Schildmaschine kann mit einer Schildschwanzdichtung zum Tunnel hin als Kontrollbereich abgegrenzt und abgedichtet werden. Dadurch ist eine klare Abgrenzung und Zoneneinteilung der beiden Tunnelröhren in ihre Funktionsbereiche möglich.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 113 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

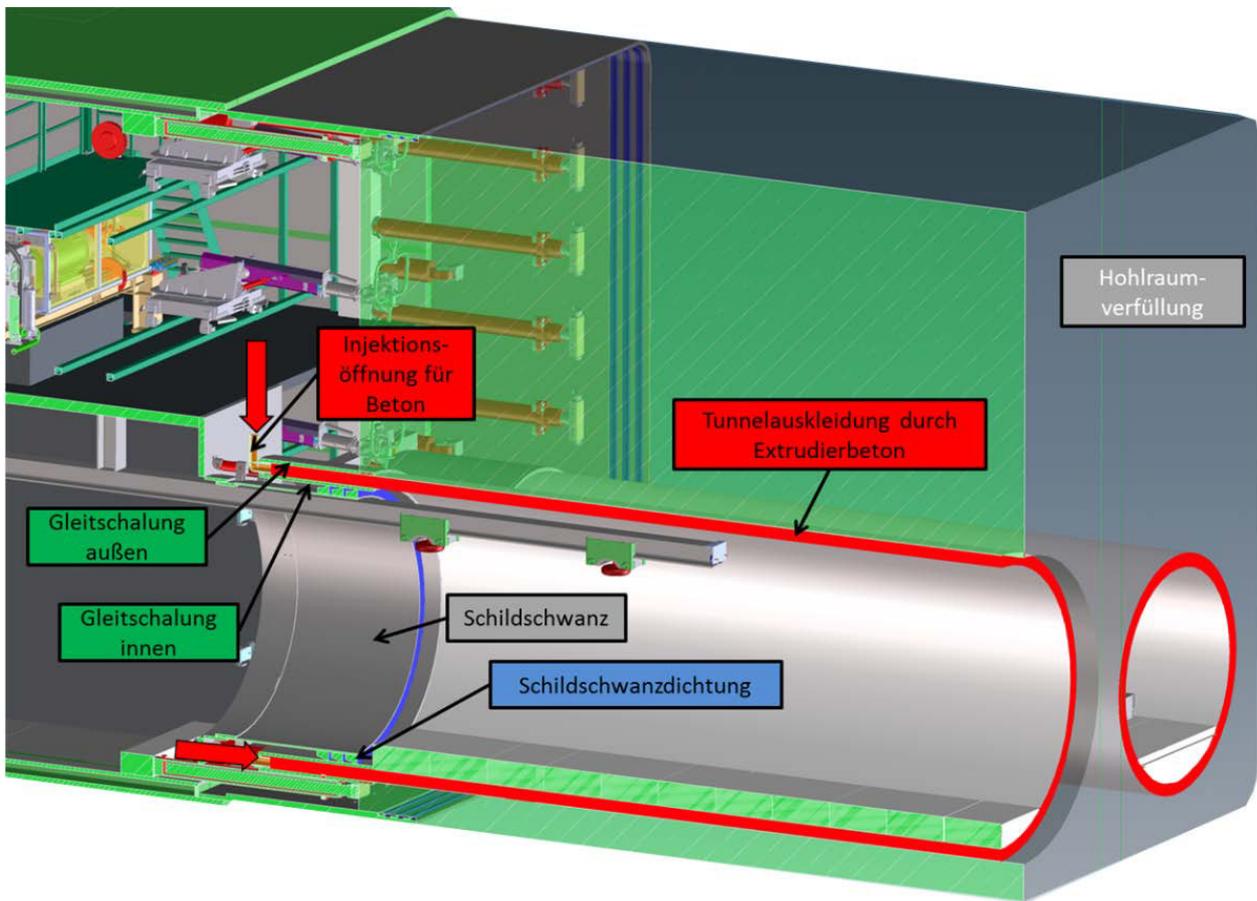


Abbildung 54: Herstellung der Tunnelröhren mit Extrudierbeton [Bildquelle Herrenknecht AG]

Der Vorteil beim Einbringen von Sorelbeton in eine Gleitschalung ist der geringe Platzbedarf zum Innen- und Außenraum der Tunnelröhren. Ein Fertigteilausbau mit Tübbing bedingt den Einsatz eines Erektors zum Versetzen der Tübbinge. Üblicherweise wird der Tübbingring durch einen in Tunnelmitte befindlichen Erektordrehrahmen von innen her aufgebaut. Ein Erektor in Tunnelmitte verhindert allerdings im vorliegenden Konzept die logistische Versorgung der Schildmaschine durch die Tunnelröhren. Der Ausbau mit Fertigteilen durch einen Erektor, wie von Tunnelvortriebsmaschinen üblicherweise bekannt, scheint im Fall der Schachtanlage Asse II nicht umsetzbar, da der Durchmesser des Ausbaus nicht dem Durchmesser der Schildmaschine entspricht. Den Tübbingring von außen aufzubauen, scheint nicht möglich, da nicht genug Platz zum Schildschwanz verbleibt.

Das Extrudierverfahren ist von Tunnelbauprojekten bekannt. Dennoch gilt es, sowohl das Verfahren als auch das Materialverhalten von Sorelbeton als Extrudierbeton zu evaluieren. Bislang sind keine Erfahrungen zum Einbringen von Extrudierbeton in dieser Kombination bekannt. Die Eignung sollte durch einen Versuchsstand bestätigt werden.

### 5.8.2 Hohlraumverfüllung durch Spritzbeton

Bis auf den Querschnitt der beiden Tunnelröhren ist der durch das Räumen der ELK entstandene Hohlraum hinter der Schildmaschine zu verfüllen. Die Hohlraumverfüllung ist aus Stabilitätsgrün-



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 114 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

den erforderlich und soll frühzeitig hinter der Schildmaschine die Schweben- und Hohlraumstabilität gewährleisten. Ohne die Hohlraumstützung ist ein Nachbrechen und Versagen der Schweben wahrscheinlich.

Die Verfüllung der aufgefahrenen Hohlräume muss nach folgenden Gesichtspunkten erfolgen [6]:

- Verfüllung auf der gesamten Länge der Hohlräume
- Verfüllung in der Art und Weise, dass nachträgliche Setzung und Nachbrüche minimal ausfallen
- Verfüllung, um eine Verbindung und damit eine Kontaminationsverschleppung zwischen Einlagerungsbereichen zu verhindern

Als Verfüllmaterial kommt Sorelbeton infrage, da das Material aus gebirgsmechanischer Sicht und aus Sicht der Langzeitsicherheit am stabilsten ist und die besten Eigenschaften aufweist. Für den Sorelbeton ist ein Eignungsnachweis zu führen. Die Möglichkeit, Sorelbeton als Versatzmaterial einzubringen, wurde in [58] erörtert.

Die Hohlraumverfüllung schirmt den Bereich um die Schildmaschine ab und verhindert einen Kontakt von kontaminierter Luft aus der ELK mit den Tunnelröhren und der Umgebung hinter der Schildmaschine. Die Schildmaschine und der Tunnel werden als Kontrollbereich geführt. Das umgebende Salzgestein (Sperrbereich) wird durch den Spritzbetonauftrag abgeschirmt und abgegrenzt.

Das Verfüllen des Hohlraums erfolgt mittels Sorelbeton als Spritzbeton (Abbildung 55). Dieser wird in dünnen Schichten aufgetragen. Am Ende eines Arbeitstages soll die Dicke des Spritzbetonauftrags der maximal erzielten Vortriebstagesleistung entsprechen. Der Auftrag erfolgt mit Spritzbetonmanipulatoren auf unterschiedlichen Ebenen. Die Betonzuführung wird mit Spritzbetonpumpen bewerkstelligt.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 115 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

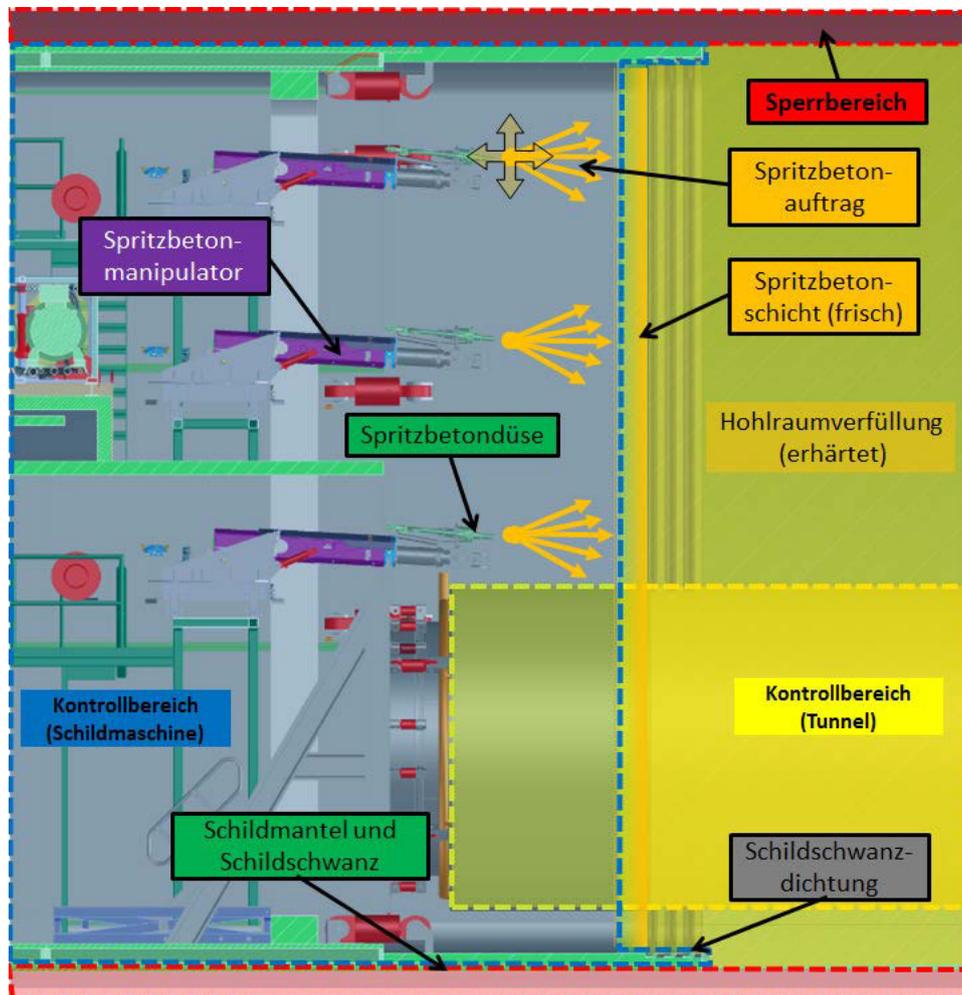


Abbildung 55: Spritzbetonauftrag zur Hohlraumverfüllung [Bildquelle Herrenknecht AG]

Der Spritzbeton kann von der Anfahrkaverne in den Tunnel gepumpt werden. Auch eine Spritzbetonlogistik mit einem Transportbehälter zur Schildmaschine ist möglich. In beiden Varianten wird der Nassmörtel durch eine Dosiereinheit mit Beschleuniger und Industrieluft gemischt und durch einen Spritzbetonmanipulator über ein Bedienpult gesteuert. Ein automatisierter Spritzbetonauftrag ist durch Bedienpulte und Fernsteuerung der Düsen möglich.

Sorelbeton entwickelt nach dem Einbringen als Hohlraumverfüllung Abbindewärme. Entsprechend der Ausarbeitung des IFG-Berichtes [58] kann die Abbindewärme ein Kriechen bewirken und negativen Einfluss auf die Stabilität des umliegenden Salzgesteins haben. Diese Thematik ist unabhängig von einem Schildvortrieb und ist mit Blick auf die Hohlraumverfüllung zu untersuchen. Die Materialeigenschaften des Sorelbetons sind so einzustellen, dass eine Gebirgsstabilisierung erzielt werden kann. Die Einstellung der Materialeigenschaften ist durch Versuche zu belegen. Bei der Auslegung der Ventilation sind die Abbindewärme des Spritzbetons und der Eintrag von Wärme in das Gebirge zu berücksichtigen. In [58] wird berichtet, dass durch den Wärmeeintrag eine Entfestigung des Gebirges möglich ist.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 116 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### 5.8.3 Verfüllung der Schildschwanzfuge

Die Schildschwanzfuge ist ein Spalt, welcher bei der Herstellung der Hohlraumverfüllung zwischen der Außenseite der Hohlraumverfüllung und dem anstehenden Gebirge und damit der Ausbruchkontur der ELK oder des Schildes verbleibt. Die verfüllte Schildschwanzfuge ist in Abbildung 56 blau eingefärbt.

Der Schild ist leicht konisch ausgeführt, um die Reibungskraft entlang des Schildmantels gering zu halten und um ein Einkeilen des Schildes bei Steuerbewegungen zu verhindern. Die durch die Abbauwerkzeuge erzeugte Ausbruchkontur verfügt somit über eine größere Abmessung als Schneidenschuss, Schildschwanz und Außenkontur der Hohlraumverfüllung. Die Schildschwanzfuge entsteht zunehmend durch den Vorschub der Schildmaschine. Die Fuge ist baldmöglichst zu verfüllen, um der Entspannung, Entfestigung und Auflockerung des Gebirges entgegenzuwirken. Ziel ist es, den ursprünglichen Spannungszustand im umliegenden Gebirge möglichst zu erhalten. Durch die Verfüllung der Fuge mit Mörtel durch Lisenen im Schildschwanz wird die Hohlraumverfüllung umlaufend und frühzeitig in das Gebirge gebettet.

Es ist eine Verpresseinrichtung installiert, um die Schildschwanzfuge vollständig und druckkonstant zu verpressen. Die Verpressung kann mit Exzentrerschneckenpumpen aus einem Mörteltank erfolgen. Als Verpressmedium eignet sich Nassmörtel, welcher als Sorelbeton in den Tunnel gepumpt oder durch Behälter transportiert wird. Das Injektionsgut wird am Anfang des Schildschwanzes mehreren, über den Umfang verteilten, Schildschwanzlisenen zugeführt. Durch die Lisenen gelangt der Nassmörtel unter Druck in die Schildschwanzfuge und härtet dort aus.

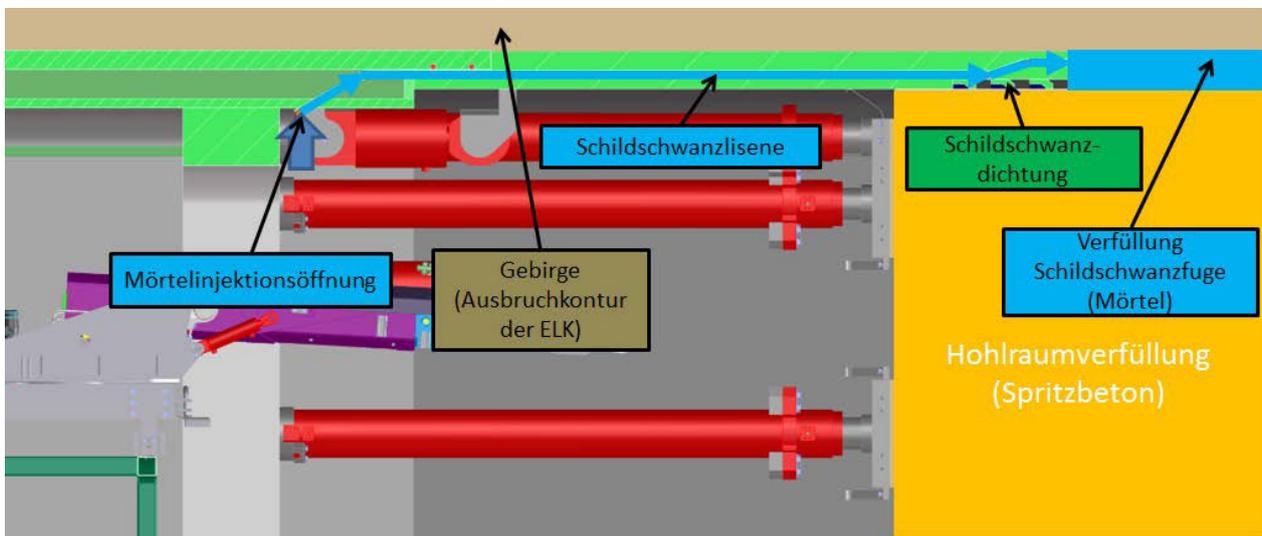


Abbildung 56: Verfüllung der Schildschwanzluft [Bildquelle Herrenknecht AG]

Erfahrungen mit Sorelbeton zur Verfüllung des Schildschwanzes liegen nicht vor. Die Einstellung der Materialeigenschaften mit einem Schwerpunkt auf der Abbindeverzögerung und der Fließfähigkeit ist zu untersuchen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 117 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### 5.8.4 Abdichtung des Schildschwanzes

Die Schildschwanzdichtung zwischen der Schildmaschine und der Hohlraumverfüllung schützt den Hohlraum während des Vortriebs gegen Zutritt von Lösungen und Verpressmörtel. Die Dichtung soll den Schild beim Vorschub gegen die relativ steife Hohlraumverfüllung abdichten und mögliche Unebenheiten beim Einbringen der Hohlraumverfüllung ausgleichen.

Der Spritzbeton soll im Schildschwanz gegen eine Folie gespritzt werden. Die Folie wird endlos miteinander verbunden. Auf der Folie gleitet die Schildschwanzdichtung zum Beispiel in Form von Federblechen. Der Ringspaltmörtel wird außerhalb der Folie eingebracht und durch die Federbleche zum Kontrollbereich innerhalb der Schildmaschine abgedichtet.

### 5.9 BEDIENUNG DER SCHILDMASCHINE

Der Schild wird über einen Steuerstand, welcher sich direkt hinter der Abschirmwand befindet und ein freies Sichtfeld in die ELK aufweist, bedient. Zur Abschirmung der Strahlung sind Bleiglasplatten im Sichtfenster vorzusehen. Eine Steuerung der Maschine erfolgt durch Fernhandlung oder auch durch Teilautomatisierung einzelner Prozessschritte. Auf dem Steuerstand sind Bedientableaus und Bildschirme zur Steuerung und Überwachung von Vortriebsparametern installiert. Der Einbauort des Steuerstands kann der Abbildung 57 entnommen werden.

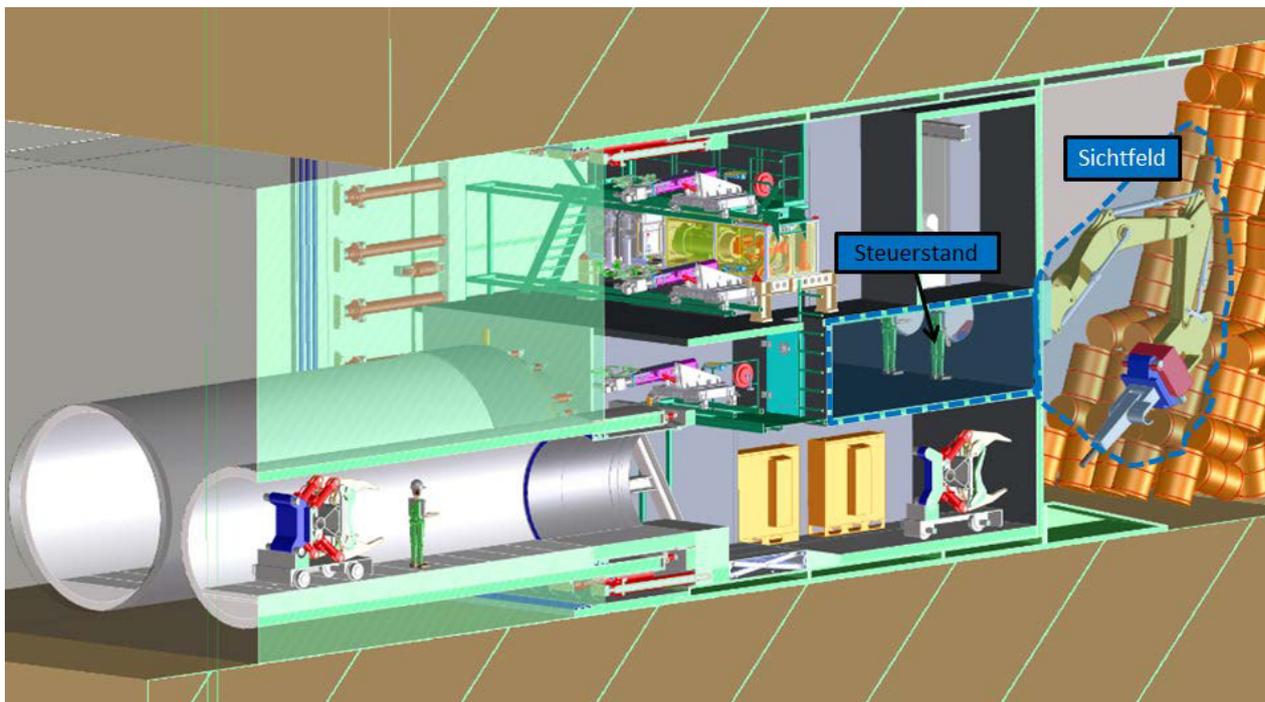


Abbildung 57: Steuerstand der Schildmaschine mit Teilflächenabbau [Bildquelle Herrenknecht AG]

Der Steuerstand ist fremdbelüftet, sodass die Kontrolle, die Steuerung und die Überwachung der Maschine durch Personal ohne Schutzkleidung möglich sind. Der Zugang zum Steuerstand erfolgt durch die erste Tunnelröhre. Eine Fernhandlung der Maschine von der Anfahrkaverne wäre auch denkbar. Dazu müssten allerdings alle wichtigen Prozessschritte ausschließlich kameraüberwacht

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 118 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

ausgeführt werden. Die Abbildung 58 zeigt beispielhaft den Steuerstand einer Schildmaschine im Teilschnitt.



Abbildung 58: Beispiel für Steuerkabine und fernhandelte Steuerung einer Tunnelbohrmaschine, Projekt Dublin Port Tunnel [Bildarchiv Herrenknecht AG]

## 5.10 VORSCHUB DER SCHILDMASCHINE

Im hinteren Bereich des Schildes befinden sich die Vortriebszylinder (Abbildung 59). Dazu wird der Schild durch die Vortriebspresen an der Hohlraumverfüllung nach vorne verschoben. Steuerbewegungen und Kurvenfahrten werden durch Einstellung des hydraulischen Druckes an den Vortriebspresen eingeleitet. Ein höherer Hydraulikdruck bewirkt eine höhere Vortriebspresenkraft.

Durch permanentes Vergleichen der Ist- mit der Soll-Position des Schildes mittels Laser und Zieltafel ist ein lage- und zielgenauer Vortrieb jederzeit möglich.

Um eine ausreichende Stabilität von eventuell noch nicht erhärtetem Spritzbeton bei der Hohlraumverfüllung zu gewährleisten, sollen sich zwei Sätze von Vortriebspresen alternierend am abgebundenen Bereich des Spritzbetons abdrücken. Damit ist ein Vorschub immer gegenüber bereits erhärtetem Sorelbeton möglich.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 119 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

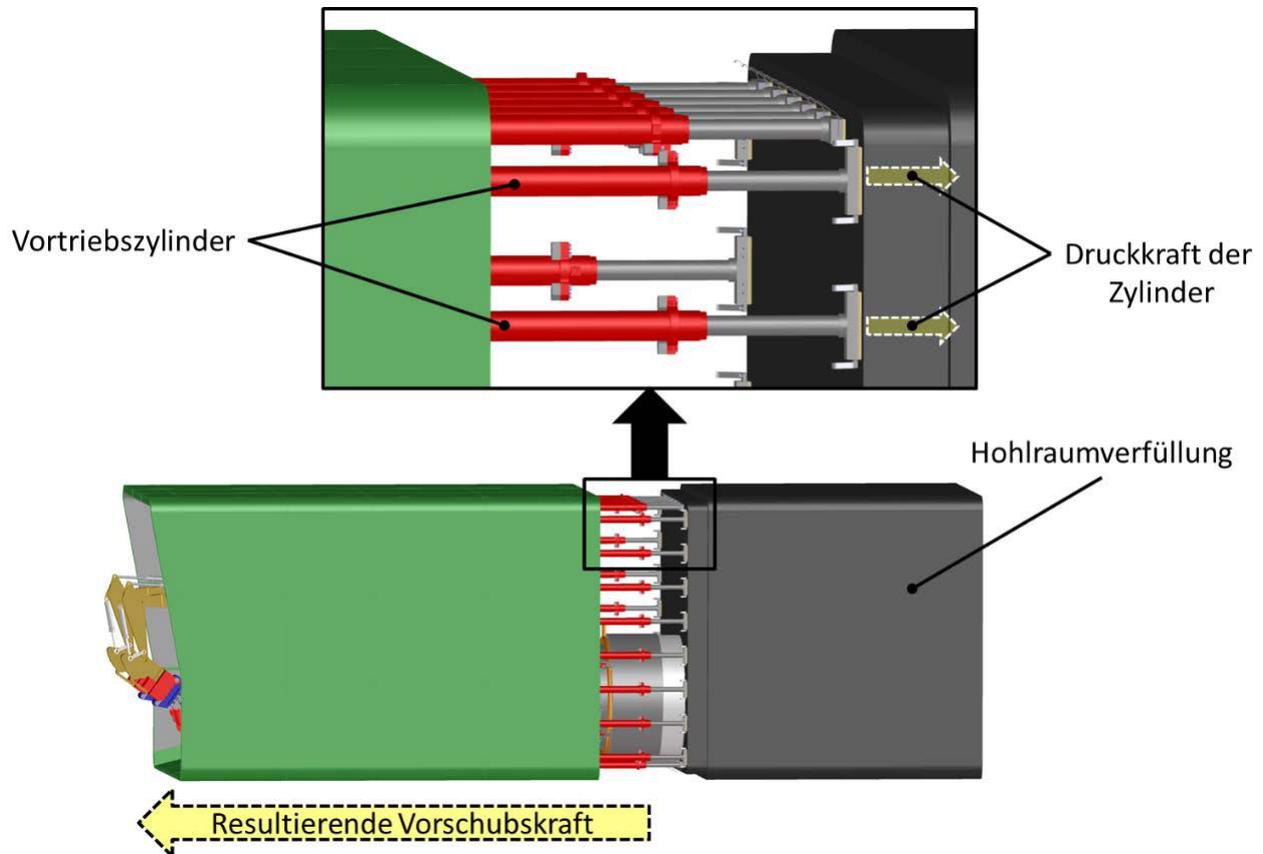


Abbildung 59: Steuerung der Schildmaschine mit Vortriebszylindern [Bildquelle Herrenknecht AG]

## 5.11 BEWETTERUNG

Eine Ventilation mit entsprechender Luttenführung ist für die Bewetterung mit Frischluft im Bereich der Schildmaschine und der ersten Tunnelröhre vorgesehen. Eine separate Bewetterung ist in der zweiten Röhre vorzusehen. Die Bewetterung ist durch Messungen zu steuern. Die Bewetterung soll in den Kontrollbereichen einen Überdruck schaffen, sodass im Hinblick auf die Sperrbereiche eine Druckdifferenz entsteht. Zur Abgrenzung der Sperrbereiche soll in diesen ein Unterdruck herrschen. Vor allem in der Abbaukammer ist durch einen gerichteten Luftstrom ein Unterdruck umzusetzen, da dadurch eine unkontrollierte Kontaminationsverschleppung vermieden werden kann. Eine Sonderbewetterung wird bei kontaminierter Luft generell erforderlich werden.

Neben der Frischluftversorgung und der Zoneinteilung kann eine Bewetterung im Bereich der Hohlraumverfüllung zur Kühlung des Spritzbetonauftrags sinnvoll sein. Durch die Abbindewärme können in der Hohlraumverfüllung Temperaturen von bis zu ca. 100 °C entstehen.

Die Konzeption der Bewetterung und deren Prozesstechnik ist nicht Gegenstand des vorliegenden Zwischenberichts.

## 5.12 ENTSTAUBUNG

Während des Abbauvorgangs im Salzgrus oder Salzgestein durch einen Quer- oder Längsfräskopf oder auch mittels Hydraulikhammer wird gemäß 2. Zwischenbericht [56] mit einer Staubeentwick-



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 120 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

lung gerechnet. Zur Reduzierung der Staubkonzentration in der Luft wird üblicherweise eine Entstaubung eingesetzt. Ohne die gezielte Abführung von staubhaltiger Luft muss mit Sichteinschränkung auf das Abbauwerkzeug gerechnet werden. Eine visuelle Steuerung aus dem Steuerstand oder fernhantiert durch Kameras ist dadurch unter Umständen beträchtlich eingeschränkt.

Die Entstaubung sollte in der Abbaukammer (Sperrbereich) beim Lösen und Freilegen von Gebirgen und Salzgestein erfolgen. Luft und Staubpartikel sind durch radiologische Filter abzuführen. Eine ständige Wettermessung zur Kontrolle des Kontaminationsgrades ist zu berücksichtigen. Die in den Filtern der Entstaubungsanlage aufgefangenen Staubpartikel können kontaminiert sein und müssen abgeschirmt werden. Die Entstaubungsanlage ist entweder im Sperrbereich der Schildmaschine oder abgekapselt im Kontrollbereich vorzusehen. Eine weitere Entstaubung mit getrennter Abführung ist durch den Rückprall bei der Spritzbetonapplikation sinnvoll.

Die Konzeption der Entstaubung und deren Prozesstechnik ist nicht Gegenstand des vorliegenden Zwischenberichts.

## 5.13 STRAHLENSCHUTZ/STRAHLENEXPOSITION

### 5.13.1 Schutz vor Direktstrahlung

Ein Ziel bei der Bergung der Gebirge muss das Verhindern von Direktstrahlung auf das Personal sein. Dazu können Geräte oder Maschinenbereiche innerhalb der Prozesskette fernbedient werden. Die Fernsteuerung erfolgt außerhalb des Sperrbereiches und wird bei fehlendem Sichtkontakt mittels Kamera überwacht. Zusätzlich können ausgewählte Geräte oder Maschinenbereiche von einem abgeschirmten Steuerstand bedient oder automatisiert werden. Eine ausreichende strahlenschutztechnische Abschirmung der Schildmaschine und ihrer Einbauten wird generell vorgesehen.

Eingriffe des Personals können bei Störung oder in Wartungsfällen notwendig werden. Bei niedriger Dosisleistung für die meisten Gebirge wird dies als umsetzbar und zumutbar eingestuft.

### 5.13.2 Schutz vor Inhalation von radioaktiven Stoffen

Im Abbaubereich wird eine Absaugung und nachgehend eine Filteranlage vorgesehen, wodurch eine Separation der radioaktiven Partikel erzielt wird.

Ein Begehen des Abbaubereichs bedeutet Zugang zum Sperrbereich. Eine Begehung ist daher nur mit Vollschutz zu betrachten. Im Sperrbereich sollte eine gerichtete Luftströmung herrschen, um das Risiko einer Kontaminationsverschleppung aus den ELK zu minimieren. Das Abführen des Luftstroms ist durch eine Ventilation mit Filteranlagen und entsprechenden Kontrollmessungen zu bewerkstelligen.

Erfolgen Arbeiten innerhalb des Sperrbereichs und außerhalb geschirmter Einrichtungen sind situationsbedingte Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Der Sperrbereich ist durch ein Luftdruckgefälle abzuschotten.

Weiterhin ist im Logistikbereich hinter der Schildmaschine mit Verschleppungen von Feststoffen aus den ELK zu rechnen. Insbesondere ist die Aufwirbelung von kontaminierten Stäuben möglich. Auch hier sollte eine Absaugung und Filterung vorgesehen werden. Die Überwachung der Raumluftkonzentration auf radioaktive Stoffe wird an geeigneten Stellen durchgeführt, wie z. B. an Orten mit erhöhter Konzentration von radioaktiven Stoffen. Die Nutzung der Steuerkabinen im Maschinenbereich für den Störfall oder die Wartung ist in Kombination mit geeigneter Absaugung und Filtern zu sehen.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 121 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### 5.13.3 Schutz vor Kontamination

Durch entsprechende Abtrennung und räumliche Gestaltung können Abbau- und Förderbereiche von Personalbereichen getrennt werden. Der Großteil der Kontaminationen wird in den ELK und damit zunächst im Abbaubereich erwartet. Die ELK werden nicht mit Fahrzeugen befahren und nur im Wartungs- oder Störfall durch Personal mit situationsbedingten Schutzmaßnahmen betreten. Das Bergen der Gebinde findet durch Verpacken der Gebinde in einen Transportbehälter statt, welcher dekontaminiert im Kontrollbereich den Tunnel verlässt. Eine mögliche Kontaminationsverschleppung im Logistikbereich bei der Materialförderung ist in jedem Fall zu verhindern.

### 5.13.4 Schutz von Personen

Der Personaleinsatz ist durch die Mechanisierung und Automatisierung der Rückholprozesse weitestgehend reduziert. Eine Bergung kann mit möglichst wenig manueller Bedienung und damit reduziertem Risiko auf das Personal erfolgen. Ziel muss es sein, die jährliche Strahlendosis für das Personal so gering wie möglich zu halten.

## 5.14 GEBIRGSERTÜCHTIGUNG, VORPFÄNDEN, ABDICHTEN

Speziell die Durchfahrt der Pfeilerstruktur ist kritisch zu bewerten und eine vorläufige Sicherung und Stabilisierungsmaßnahmen können erforderlich werden. Zudem muss davon ausgegangen werden, dass die Schweben bei der Schilddurchfahrt aufgrund von Spannungsumlagerungen nicht selbsttragend bleiben.

Stabilisierungsmaßnahmen können vorgängig zum Schildvortrieb durch bereits aufgefahrene Strecken oder durch die Schildmaschine selbst vorgesehen werden. Gebirgsinjektionen dienen der Baugrundverbesserung oder der Abdichtung gegen Lösungszutritte. Injektionsarbeiten sind durch den Schildmantel oder die Abschirmwand durch fest installierte Sondierbohrkanäle möglich. Die Bohrungen sind mit einem Preventer auszuführen. Durch den Preventer ist eine Abdichtung gegeben und kontaminierte Wetter können nicht aus dem Sperrbereich (Abbaukammer) in den Kontrollbereich der Schildmaschine gelangen.

Neben den Bohrgeräten sind zur Herstellung der Injektionsbohrlöcher ein Vorratsbehälter für das Injektionsmaterial sowie eine Mischanlage und eine Injektionspumpe erforderlich. Neben Injektionen sind Vorpfändungen oder das Setzen von Ankern mögliche Sicherungs- oder Ertüchtigungsmöglichkeiten.

## 5.15 WARTUNG

Typische Wartungs- und Kontrollarbeiten auf der Schildmaschine sind sowohl im Kontrollbereich als auch im Sperrbereich erforderlich und durch Personal auszuführen. Es gilt zu prüfen, inwiefern eine Teilautomatisierung von Wartungsprozessen möglich ist, um bemannte Arbeiten im Sperrbereich zu reduzieren.

Es sind folgende Schwerpunkte bei der Wartung und der Kontrolle zu berücksichtigen:

- Kontrolle an Abbaugeräten und Wechsel von Abbauwerkzeugen
- Wechsel von Verschleißteilen
- Kontrolle der Antriebsaggregate auf Dichtheit aller Anschlüsse und Funktion von Wasserkreislauf, Kühlung, Fettschmierung



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 122 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

- Kontrolle von Hydraulikschläuchen und -leitungen
- Sichtkontrolle Dichtungen (z. B. Austritt Fett oder Mörtel)
- Kontrolle Ölstände und Austausch Öl
- Schmierung von Lagern, Zylindern, Gelenken, Führungen
- Kontrolle und Reinigung von Schleusentüren/-dichtungen
- Kontrolle der Kreisläufe auf Verschmutzungen und Austausch von Filtern
- Reinigung der Aggregate und Leitungen für Spritzbeton- und Mörtelapplikation sowie von Extrudierbeton
- Regelmäßiger Funktionstest der elektrischen Komponenten

### 5.16 SICHERHEIT

#### 5.16.1 Fluchtwege

Mögliche Fluchtwege werden auf der Schildmaschine durch Beschilderung, Beleuchtung und ausreichend breite Wege, Treppen und Podeste berücksichtigt. Der Fluchtweg soll durch die erste Tunnelröhre zur Anfahrkaverne und zur Baustelleneinrichtung weisen. Für den Fall, dass die erste Röhre nicht zugänglich sein sollte, kann die zweite Tunnelröhre als Fluchtweg genutzt werden. Die zweite Röhre ist nur im Stör-/Notfall zu benutzen, da sie im Normalfall abgegrenzt ist und der Förderung von Transportbehältern dient. Zusätzliche Untersuchungen müssen in einer weiterführenden Planung erstellt werden.

#### 5.16.2 Störfallanalyse

Die StrlSchV [18] definiert einen Störfall als Ereignisablauf, bei dem ein Betrieb der Schildmaschine nicht fortgeführt werden kann, für den die Schildmaschine zu konzipieren ist und bei dem Vorkehrungen zum Schutze zu treffen sind. Für die weitere und nähere Identifizierung von Störungen und Störfällen mit Freisetzungen radioaktiver Stoffe wird auf die Berichte [5] und [59] verwiesen.

Im Weiteren werden sowohl sicherheitstechnisch relevante Störfälle aufgezeigt, welche eine Freisetzung radioaktiver Stoffe am Störfallort bedingen, als auch tunnelbau- und maschinentechnische Ereignisse dargestellt, bei denen keine Gefahr der Freisetzung radioaktiver Stoffe herrscht.

Es werden in Tabelle 8 Störfälle betrachtet aus denen sich Maßnahmen sowie Möglichkeiten der Erkennung und der Verhinderung ergeben.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 123 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Tabelle 8: Mögliche Störfälle beim Schildvortrieb mit Teilflächenabbau in den ELK

Störfall	Vorsorge/ Verhinderung	Erkennung	Maßnahme
Signifikanter Lösungszufluss / Auslegungsüberschreitender Lösungszutritt	Stringente Umsetzung der Vorsorgemaßnahmen	z.B. Durchflussmessung an Hauptaufgangsstelle	Einleitung Notfallmaßnahmen
Nicht standfestes Gebirge, lokale gebirgsmechanische Einwirkungen in der ELK, den Pfeilern oder den Schweben	Vorlaufende Ertüchtigung und Stabilisierung des Bereichs der Auflockerung und Instabilität	Verbruch in ELK	Ertüchtigung und Stabilisierung des Bereichs der Auflockerung und Instabilität
Hindernisbeseitigung in der ELK (Sperrbereich)	Vorauserkundung	Durch Betriebsdaten oder durch Sichtkontakt in die ELK	Bemannter Einstieg unter Vollschutz zur Hindernisbeseitigung, sofern Hindernis nicht fernhantiert oder automatisiert zu lösen ist
Absacken der Schildmaschine	Vorlaufende Ertüchtigung und Stabilisierung der Sohle	Abweichung des Schildes vom Soll-Trassenverlauf	Nach einem Absacken des Schildes wird über eine Korrekturkurve und, falls erforderlich, vorauslaufende Sohleninjektionen auf die geplante Solltrasse zurückgefahren.
Schaden an den Abbaugeräten	Regelmäßige Wartung und Werkzeugwechsel	Absinken der Abbauleistung, visuelle Kontrolle	Reparatur und Werkzeugwechsel; wenn nicht mit Werkzeugwechselsystem tauschbar, dann bemannter Einstieg unter Vollschutz



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 124 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Fortsetzung Tabelle 8: Mögliche Störfälle beim Schildvortrieb mit Teilflächenabbau in den ELK

Störfall	Vorsorge/ Verhinderung	Erkennung	Maßnahme
Brand auf der Schildmaschine oder im Tunnel	Vorsorge durch nicht brennbare Materialien, Branddetektion und -bekämpfung	Auf der Schildmaschine und im Nachläuferbereich sind Temperatursensoren installiert. Bei Ausbruch eines Brandes wird dies optisch und akustisch signalisiert.	Zur Bekämpfung von kleineren Brandherden sind Feuerlöscher angebracht.  Eine Löschmittelbedüsung ist an strategischen Stellen vorzusehen.  Eine automatische Löschanlage kann vorgesehen werden.
Ausfall der Stromversorgung	Ein Notstromaggregat sollte vorhanden sein.		Notstromaggregat zur Notstromversorgung, Notbeleuchtung
Auftreten von Gas	Installation von Gassensoren	Überwachung mit Gassensoren	Bewetterung und Abführen von Gaskonzentrationen
Ausfall der Bewetterung (Ventilation)	Redundantes System mit Notstromversorgung zur Frischluftversorgung und/oder zur Aufrechterhaltung eines Druckunterschiedes zwischen Kontroll-/Sperrbereich	Überwachung des Luftstromes	Beseitigung des Ausfalls, Installation eines redundanten Systems
Ausfall der radiologischen Filter, Ausfall Filterung von Abwettern aus der ELK	Redundantes System mit Notstromversorgung, frühzeitige Wartung	Überwachung der Filteranlage	Beseitigung des Ausfalls, Installation eines redundanten Systems



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 125 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Fortsetzung Tabelle 8: Mögliche Störfälle beim Schildvortrieb mit Teilflächenabbau in den ELK

Störfall	Vorsorge/ Verhinderung	Erkennung	Maßnahme
Ausfall der Strahlenschutzmesstechnik zur Überwachung des radiologischen Arbeitsschutzes	Redundantes System mit Notstromversorgung, frühzeitige Wartung	Überwachung der Strahlenschutzmesstechnik	Beseitigung des Ausfalls, Installation eines redundanten Systems
Versagen der Unterdruckhaltung zur Abgrenzung des Sperrbereichs vom Kontrollbereich	Redundantes System mit Notstromversorgung, frühzeitige Wartung	Überwachung der Unterdruckhaltung	Installation eines redundanten Systems
Freisetzung radioaktiver Stoffe innerhalb des Abbaubereiches (Sperrbereich)	-	Radiologische Messung	Wird nicht erforderlich gesehen, da bereits Sperrbereich  Innerhalb des Sperrbereichs keine bis geringe Erhöhung der Emissionen zu erwarten
Freisetzung radioaktiver Stoffe im Logistikbereich (Kontrollbereich)	Überwachung, Abschirmung, frühestmögliche Umverpackung hinter der ELK in einen Transportbehälter	Radiologische Messung	Im Kontrollbereich ist prinzipiell eine Freisetzung möglich. Eine zusätzliche Abschirmung oder Evakuierung oder Belüftung oder ausreichend Abstand ist einzuplanen.
Transportunfall von kontaminierten Gebinden	Überwachung, Abschirmung, frühestmögliche Umverpackung hinter der ELK in einen Transportbehälter	Radiologische Messung	Im Kontrollbereich ist prinzipiell eine Freisetzung möglich. Eine zusätzliche Abschirmung oder Evakuierung oder Belüftung oder ausreichend Abstand ist einzuplanen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 126 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

### 5.17 VORAUSERKUNDUNG

Um den Auffahr- und Bergevorgang gezielt steuern zu können und zu automatisieren, müssen vorab die Lage und der Abstand zu den Gebinden möglichst exakt bekannt sein. Sollte der Salzgrus abgesaugt werden können, kommen hierfür optische Detektions- und Bildanalyseverfahren infrage. Im Falle von stark verfestigtem Salzgrus, der sich nicht vorab entfernen lässt, können vortriebsbegleitende geophysikalische Messverfahren die notwendige Lageinformation liefern.

Dabei ist zu unterscheiden zwischen geordnet (stehend oder liegend) oder ungeordnet gelagerten Gebinden. Im Vorfeld ließen sich wichtige physikalische Parameter wie

- Durchfeuchtungsgrad und elektrische Leitfähigkeit des Salzgruses und
- Seismische und elektromagnetische Wellengeschwindigkeiten

bestimmen, mit deren Hilfe die am besten geeigneten Verfahren ausgewählt werden können. Infrage kommen hochauflösende Wellenverfahren wie Georadar und Seismik. Radarverfahren aus Bohrungen wurden bereits erfolgreich in der Schachtanlage Asse II eingesetzt. Die Machbarkeit von hochfrequenten seismischen Verfahren müsste im Vorfeld geprüft werden.

Ziel der geophysikalischen Messung ist die lagerichtige Erfassung von geordneten oder ungeordneten Gebinden, die mit Salzgrus verblasen wurden. Die Umgebung der Gebinde kann erdfeucht, nass oder trocken sein. Weil die Detektionssicherheit und -reichweite von Radarverfahren bereits durch kleine Feuchteunterschiede sehr stark beeinflusst wird, ist eine Feuchtebestimmung im Vorfeld notwendig.

Der Auffahrprozess erfolgt mit, im Vergleich zum Tunnelvortrieb, geringen Vortriebsleistungen je Tag. Eine angestrebte Detektionsreichweite könnte daher etwa 0,5 m betragen. Entscheidend für die geophysikalische Machbarkeit sind die erreichbaren Detektions- und Fehldetektionsraten.

Alle Messungen müssen innerhalb des Sperrbereichs ferngesteuert erfolgen.

Eine lagegenaue Abbildung der Gebinde liefern ausschließlich Wellenverfahren der Angewandten Geophysik wie Georadar oder Seismik. Die Einsatzmöglichkeiten der verschiedenen Verfahren ergeben sich u. a. aus:

- Kontrast der physikalische Parameter zwischen Gebinde und Umgebung
- Abstand und Orientierung der Gebinde
- Signal- / Rauschverhältnis der Daten
- Detektionsreichweite
- Lagegenauigkeit
- Möglichkeit der Fernbedienung



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 127 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 13.05.2015
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	

### 5.18 GAS

Es können unter anderem Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ), Methan ( $CH_4$ ), Ethan ( $C_2H_6$ ), Ethen ( $C_2H_4$ ), Propan ( $C_3H_8$ ), Wasserstoff ( $H_2$ ) und Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ ) angetroffen werden.

Auf der Schildmaschine ist eine stationäre Anlage zur Gaskonzentrationsmessung installiert. Die Gaskonzentration wird über eine Visualisierung im Steuerstand angezeigt. Bei Überschreiten eines Grenzwertes wird mit Warnsignalen darauf hingewiesen. Vor allem im Bereich der Abbaukammer, im Schleusenbereich und im Tunnel sind Gassensoren zur Überwachung zu platzieren.

Es ist eine Prozesskette mit einer Zoneneinteilung zu entwerfen, um entsprechende Beschränkungen an der Maschine umzusetzen. Die Begrenzung kann sich von der Vortriebsgeschwindigkeit bis zur vollständigen Unterbrechung des Vortriebs und dem automatischen Verschluss der Schleusentüre in die Abbaukammer erstrecken.

### 5.19 ZEIT- UND KOSTENPLANUNG

#### 5.19.1 Vortriebsleistung

Entscheidend für die erwartete Vortriebsleistung sind einerseits die Förderkapazität im Schacht und andererseits der Aufwand für die Umverpackung, Dekontamination und dem Transport in den Tunnelröhren und dem Grubengebäude.

Die Schildmaschine kann technisch so ausgelegt werden, dass übliche Vortriebsleistungen von mehreren Metern pro Arbeitstag erreicht werden. Es wird vermutet, dass die Logistik unter Berücksichtigung des Strahlenschutzes diesen aus dem Tunnelbau bekannten Leistungen nicht nachkommt.

In der frühen Phase der Konzeption einer Rückholung mit einer Schildmaschine mit Teilflächenabbau wird eine maximale Tagesvortriebsleistung im intakten, nicht kontaminierten Salzgestein erwartet.

Es wird von sechs Arbeitstagen je Kalenderwoche mit 18 Arbeitsstunden pro Arbeitstag ausgegangen.

Das obere Limit der Vortriebsleistung ergibt sich im intakten Salzgestein geschätzt zu:

- Ausbruchleistung der beiden Fräsausleger:  $\max. 2 \times 10 \text{ m}^3/\text{h} = 20 \text{ m}^3/\text{h}$
- Ausbruchvolumen je Laufmeter:  $100 \text{ m}^3/\text{m}$  (Ortsbrustfläche:  $100 \text{ m}^2$ )
- Vortriebsdauer je Laufmeter Tunnel:  $100 \text{ m}^3/\text{m} : 20 \text{ m}^3/\text{h} = 5 \text{ h}/\text{m}$
- Vortriebsdauer je Laufmeter Tunnel unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit der Maschine:  $5 \text{ h}/\text{m} : 80 \% = 6,25 \text{ h}/\text{m}$
- Arbeitszeit je Arbeitstag:  $18 \text{ h}$
- Maximale Vortriebsmeter je Arbeitstag:  $18 \text{ h} : 6,25 \text{ h}/\text{m} = 2,8 \text{ m}/\text{Tag}$



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 128 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 13.05.2015
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	

Die Vortriebsleistung zum Durchörtern der ELK und zum Bergen und Ausschleusen der Gebinde kann nicht abgeschätzt werden. Es wird empfohlen, reale Bedingungen zur Evaluierung der zu erwartenden Vortriebsleistungen zu schaffen. Es muss stets berücksichtigt werden, dass solch eine Schildmaschine einen Prototyp darstellt und weltweit keine Erfahrungen zu einer derartigen Rückholung vorliegen.

### 5.19.2 Kostenschätzung

Für die Konzeption, die Konstruktion, die Herstellung und die Lieferung einer Schildvortriebsmaschine mit Teilflächenabbau zur Rückholung von radioaktiven Abfallgebinden aus Einlagerungsbereichen liegen keine Erfahrungen vor.

Eine grobe Kostenschätzung für die Lieferung einer Schildmaschine, wie im vorliegenden Zwischenbericht ausgearbeitet, bewegt sich in der Dimension um etwa 15 Millionen Euro.

Unberücksichtigt sind hierbei der Aufwand für den Transport und die Montage der Maschine unter Tage. Die Kostenprognose berücksichtigt nicht den Aufwand für Neuentwicklungen, jegliche Anforderungen an die Umsetzung des Strahlenschutzes samt Nachweisen, Dokumentation und Gutachten, sowie den Aufwand aus der Zulassung einer Schildmaschine als Prototyp für einen derartigen Einsatz.

### 5.20 AUSLEGUNGSÜBERSCHREITENDER LÖSUNGSZUTRITT

Kann im Fall eines auslegungsüberschreitenden Lösungszutrittes (AÜL) eine sichere Rückholung durch einen Schildvortrieb nicht weiter gewährleistet werden, wird die Rückholung eingestellt. Nach Feststellung des Notfalls werden die dafür vorgesehenen Notfallmaßnahmen unverzüglich umgesetzt. Dabei verbleibt unter Umständen nicht ausreichend Zeit, um die Schildmaschine vollständig zu bergen. In diesem Fall verbleibt der Stahlbau der Schildmaschine mit Einbauten mit geschätzt 1.000 t Einsatzgewicht je Maschine im Grubengebäude.

### 5.21 ENTWICKLUNGSBEDARF

Der vorliegende Zwischenbericht basiert überwiegend auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Nichtsdestotrotz wird Entwicklungsbedarf in folgenden Punkten gesehen:

- Großflächige Spritzbetonapplikation mit Sorelbeton zur stabilisierenden Hohlraumverfüllung und Abdichten dieser im Schildschwanz durch eine Schildschwanzdichtung
- Auswirkungen des Wärmeeintrags durch die Spritzbetonapplikation auf die Ausbau- und Hohlraumqualität
- Materialzuführung und Verpackung von Gebinden in die Transportbehälter und Anflanschen des Behälters an der Abschirmwand der Schildmaschine
- Einbringen von Sorelbeton im Extrudierverfahren mit einer Gleitschalung zur Herstellung der Tunnelröhren für die Logistik hinter der Schildmaschine
- Prozesstechnik zur Dekontaminierung von Gebinden und System zum Ausschleusen von Gebinden aus der Schildmaschine
- Erörterung der gebirgsmechanischen Situation und der Belastung auf die Schildmaschine während des Rückholvorgangs



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 129 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

- Abstützen der Vortriebszylinder an der Hohlraumverfüllung zum Vorschub und zur Steuerung der Schildmaschine

Das Gesamtsystem der Rückholung mit dem Fokus auf die Schildmaschine und die Zoneneinteilung samt der angeschlossenen Prozesse und Logistik ist im Vorfeld durch realitätsnahe Versuche zu prüfen. Somit kann sowohl das Personal geschult als auch die Technologie weiter optimiert werden. Die Versuche erhöhen die Sicherheit im geplanten Rückholbetrieb entscheidend und eventuelle Planungs- und Konzeptfehler können frühzeitig behoben werden.

Um möglichst reale Bedingungen zu simulieren, können Tests über Tage als auch in der Schachtanlage Asse II oder in kontaminationsfreien Salzbergwerken durchgeführt werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 130 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

## 6 INFRASTRUKTUR FÜR EINEN SCHILDVORTRIEB

### 6.1 BAUSTELLENEINRICHTUNG

Die Baustelleneinrichtung für den Schildvortrieb wird im Bereich der Anfahrkavernen in Betracht gezogen. Die Schaffung von zusätzlichem Hohlraum darf keine weitere Destabilisierung des Grubengebäudes und/oder eine Erhöhung von Lösungszutritten bedingen. Weiterhin ist ein ausreichender räumlicher Abstand zum Deckgebirge, gemäß ABergV, einzuhalten. Neue Hohlräume sollen die Steinsalzbarriere in der Südflanke nicht weiter desintegrieren.

Die Baustelleneinrichtung für die ersten vier Vortriebe ist zwischen Schacht 5 und Anfahrkaverne 1-4 geplant. Der Raum für die Baustelleneinrichtung wird über die Zugangsstrecke zum Schacht 5 versorgt. Der Abbau 9 auf der 750-m-Sohle kann zur Einrichtung des Schildvortriebs nahe der Anfahrkaverne 5 genutzt werden.

Die Abbildung 60 gibt eine Übersicht über die Baustelleneinrichtung, die Anfahrkavernen sowie die Demontagekavernen.

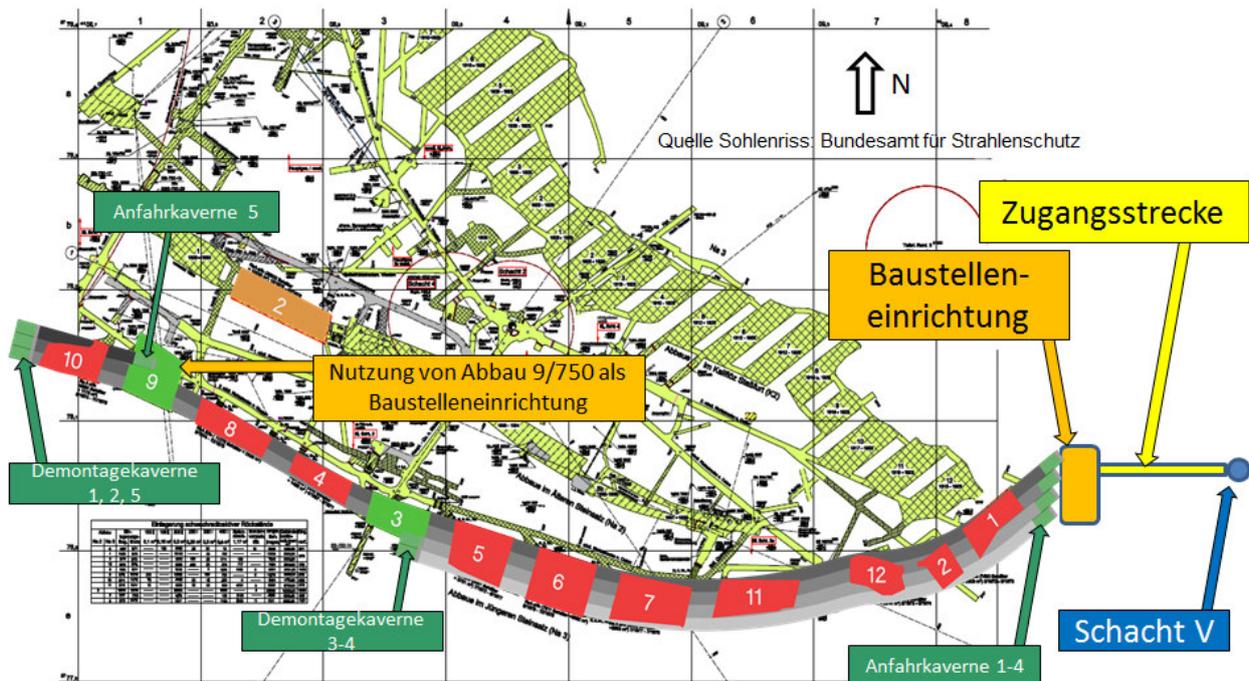


Abbildung 60: Baustelleneinrichtung für Schildvortrieb, [38] modifiziert durch Verfasser

Neben der Baustelleneinrichtung speziell für den Schildvortrieb sind eine allgemeine Baustelleneinrichtung, sowie notwendige Einrichtungen für parallel laufende Prozesse aufeinander abzustimmen. Bei der Planung des Schildvortriebs ist von folgenden Randbedingungen auszugehen:

- Anfahrt der Schildvortriebsmaschine(n) in den Anfahrkavernen
- Zufahrt und Versorgung der Schildmaschine(n) erfolgt durch Verbindung der Anfahrkaverne mit der Baustelleneinrichtung über die Zugangsstrecke zum Schacht 5



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 131 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

- Im Bereich der Anfahrkaverne befindet sich die Baustelleneinrichtung samt Büro für die Leitung der Schildmaschine und der Tunnel- bzw. Rückholarbeiten
- Andere Gebäude wie Baustellenhauptverwaltung sind über Tage vorgesehen

Für die Baustelle unter Tage ist Platz für folgende zusätzlichen Einrichtungen freizuhalten:

- Stromstation
- Baustoffmischanlage für Sorelbeton mit Silos
- Lager
- Ventilation
- Baustellenbüro
- Werkstatt
- Kran
- Wasserversorgung soweit wie notwendig
- Abwasserentsorgung
- Kühlmöglichkeiten

### 6.1.1 Förderung und Transport

Für die Logistik im Bereich der Baustelleneinrichtung, der Anfahrkaverne und dem Tunnelabschnitt zur Schildmaschine sind diverse Geräte, Ausrüstungen und Fahrzeuge notwendig. Dazu zählen vor allem Förderfahrzeuge zum Transport von Abraum und Gebinden in Transportbehältern, der Materialumschlag mit Kränen und Hebewerkzeugen sowie Förderfahrzeuge zum Transport von Werkzeugen sowie Wartungs- und Verschleißmaterial zu/von der Schildmaschine. Der Sorelbeton zur Hohlraumverfüllung kann von der Baustoffmischanlage einerseits durch den Tunnel zur Schildmaschine gepumpt oder andererseits mit Fahrmischern gefördert werden.

Ferner ist ausreichend Platz zur Zwischenlagerung von Umschlagmaterial, Transportbehältern und für einen Fahrzeugpark einzuplanen.

### 6.1.2 Energieversorgung

Es wurde in [5] berichtet, dass die Energieversorgung im Grubengebäude typischerweise mit 500 V erfolgt. Es sind verschiedene Anschlusswerte an den Hauptverteilungen auf den unterschiedlichen Sohlen mit 5 kV und 20 kV vorhanden:

Für den Betrieb der Schildmaschine(n) und die Peripherie ist eine entsprechende Stromversorgung einzuplanen. Die installierte Leistung je Schildmaschine wird mit mindestens 1.450 kW abgeschätzt. Bei vier Maschinen, die parallel laufen, ist eine Leistungsabdeckung von in der Summe mindestens 5.800 kW notwendig.

Der Mindestbedarf an elektrischer Leistung für den Betrieb der Schildmaschine beträgt:



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 132 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

- Kinematik und Antrieb Abbauwerkzeuge: 2 x 250 kW
- Spritzbetonausrüstung: 180 kW
- Hydraulik Vortriebszylinder: 130 kW
- Mörtelverpressung: 110 kW
- Filterkühlkreislauf Hydrauliköl: 30 kW
- Wasserkühlkreislauf: 90 kW
- Industrieluft-Kompressor (u. a. Spritzbeton): 2 x 90 kW
- Hilfsbetriebe: 55 kW
- Sekundärventilation, Entstaubung: 150 kW
- Beleuchtung: 10 kW
- Steuerung: 5 kW
- Diverses: 10 kW

- 
- TOTAL ca.1.450 kW

Der Vortrieb mit Schildmaschinen ist durch eine elektrische Direktversorgung durch Hochspannungskabel zu gewährleisten. Auf Dieselbetrieb und entsprechende Bewetterung der Dieselabgase kann für den regulären Schildvortrieb verzichtet werden. Nur im Störfall, im Notbetrieb oder bei Verlängerung der Hochspannungsleitung ist ein dieselbetriebener Notstromgenerator zur Grundversorgung der Maschinen einzusetzen.

Die Stromversorgung der Schildmaschine erfolgt an einer Anschlussstelle im Bereich der Anfahrkaverne. Über die Anfahrkaverne werden die Schildmaschine und die Baustelleneinrichtung versorgt. Die Anfahrkaverne soll an Schacht 5 angeschlossen werden.

### 6.1.3 Wasserversorgung

Die Wasserversorgung für die Baustelle ist an einen Frischwassertank angeschlossen. Von diesem Tank aus, der auch als Pufferbehälter dient und mit der Kühlung verbunden ist, erfolgt die Wasserversorgung der Schildmaschine und des Tunnels. Andere Verbraucher können teils direkt an die Wasserversorgung, den Kühlkreislauf oder über separate Pumpen an den Tank angeschlossen werden.

### 6.1.4 Kühlwasserkreislauf

Die Kühlung wird in der Anfahrkaverne auf Fundamente gestellt. Das Warmwasser aus dem Wärmetauscher der Schildmaschine gelangt innerhalb der Kühlung in den Warmwasserbereich. Von dort wird das Wasser über die Lamellen der Kühlung gepumpt. Das Wasser wird durch diesen



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 133 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

Kühler abgekühlt und wandert in den Kaltwasserbehälter, dabei verdampft ein Teil des Wassers. Das Brauchwasser wird entsprechend des Verbrauches nachgespeist und gelangt dann in die Kühlwasservorlaufleitung. Für den Vor- und Rücklauf sind Rohre im Tunnel zu verlegen.

### 6.1.5 Baustoffmischanlage

Es soll ausschließlich Sorelbeton für die Hohlraumsicherung verwendet werden. Die Anmischrezeptur ist zu definieren. Entsprechend der Rezeptur und der erwarteten Vortriebsleistung ist eine Baustoffmischanlage zu konzipieren. Unter Umständen kann zur Versorgung mit Sorelbeton zusätzlich auf die vorhandene Mischanlage zurückgegriffen werden.

### 6.1.6 Abwasserentsorgung

Abwasser fällt vor allem auf der Schildmaschine und im Tunnel z.B. bei Verlängerung der Kühlwasserleitung sowie an der Betonmischanlage an. Die Schildmaschine hat ein separates Abwassersystem, um Abwässer aus dem Tunnel zu führen.

Das Abwasser, welches auf der Schildmaschine und im Tunnel anfallen kann, muss über eine Anlage zur Abwasserentsorgung entsorgt werden. Das detaillierte Abwasserentsorgungssystem der Baustelle ist im Zuge der weiteren Planungen zu entwickeln.

## 6.2 MONTAGE

Die Abmessungen für eine Maschinenteknik werden durch den Zugangsschacht definiert. Es ist geplant, einen Schacht 5 herzustellen, durch den die Maschinenteile nach unter Tage befördert werden können. Nach Auskunft des BfS soll das maximale Transportgewicht im Schacht 5 etwa 25 t betragen und der Schacht einen Durchmesser von 8 m aufweisen. Eine maximale Abmessung von Maschinenteilen oder Transportbehältern wird mit 4 x 3 m geplant.

Die Montage der Schildmaschine wird in Abbildung 61 grob skizziert.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 134 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

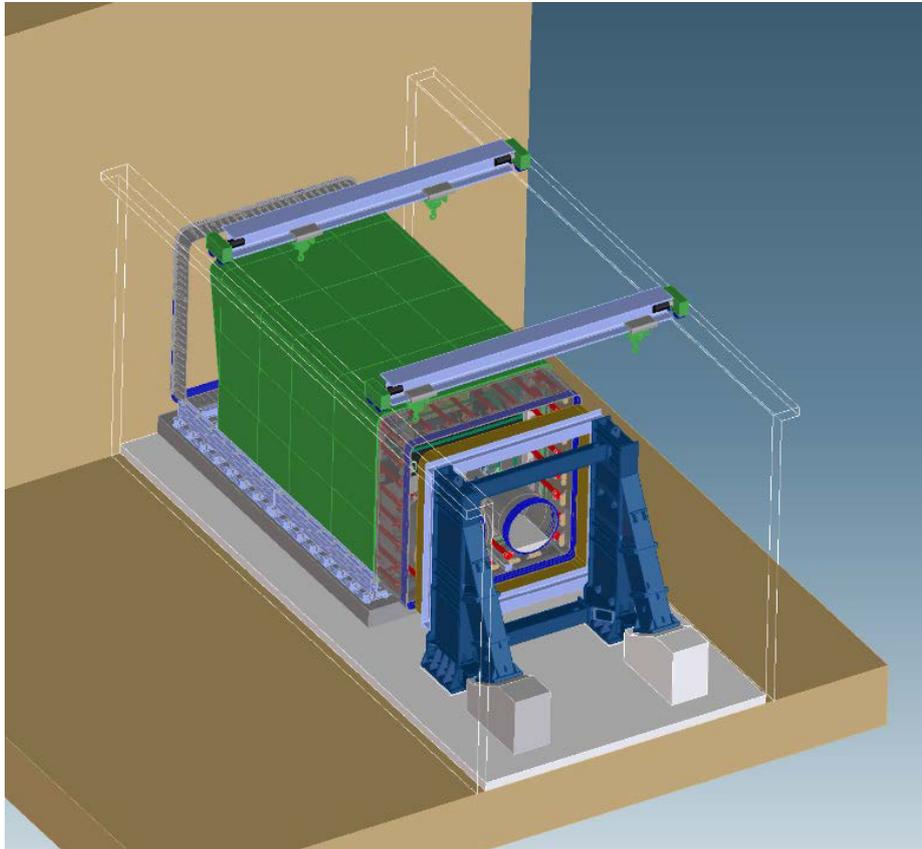


Abbildung 61: Montagesituation für den Aufbau der Schildmaschine [Bildquelle Herrenknecht AG]

Die Abmessungen für die Montagekaverne können Abbildung 62 entnommen werden und betragen:

- Minimal erforderliche Länge: 35 m
- Minimal erforderliche Höhe: 20 m
- Minimal erforderliche Breite: 17 m

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 135 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

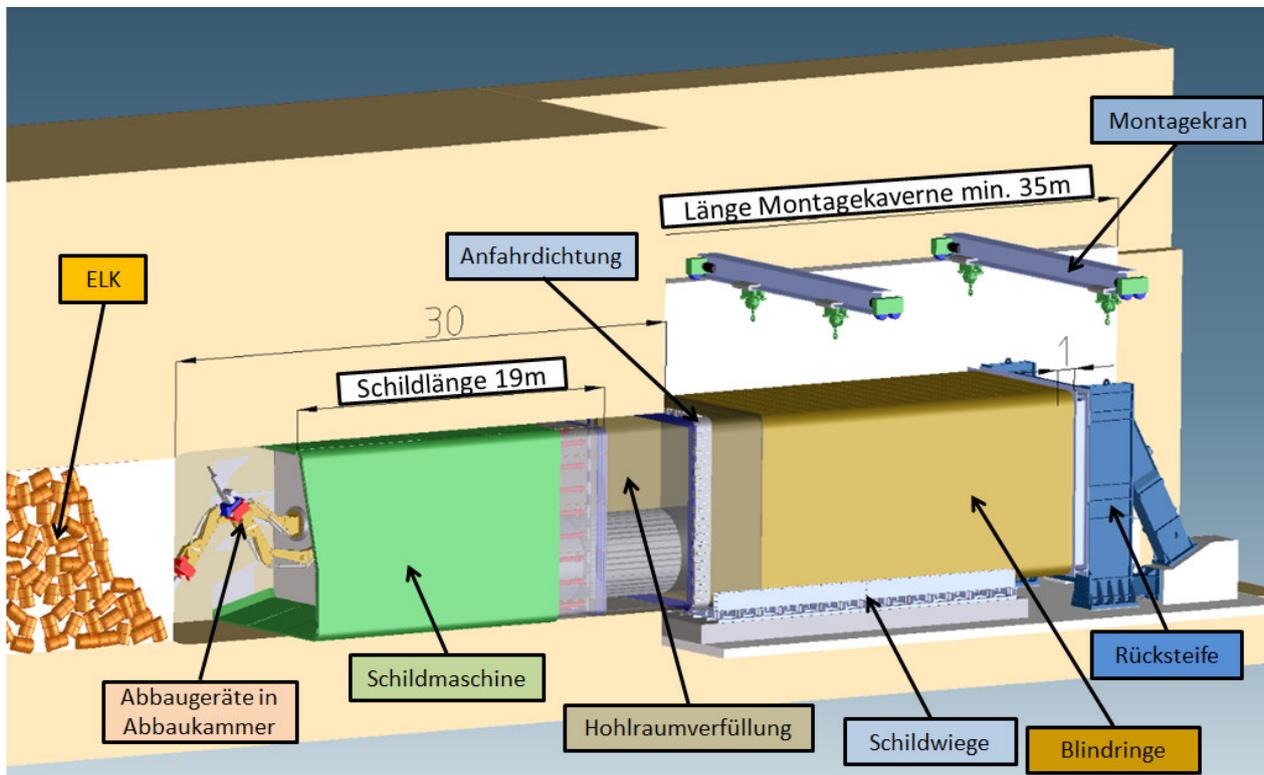


Abbildung 62: Montagekaverne mit Schildmaschine [Bildquelle Herrenknecht AG]

Der Ablauf für die Montage und Anfahrt der Schildvortriebsmaschine ist in Etappen untergliedert. Es sind die Montagekaverne und die Infrastrukturräume für die Baustelleneinrichtung aufzufahren. Alle für den Aufbau der Maschine erforderlichen Bauteile und Hilfswerkzeuge sind nach unter Tage zu fördern. Zunächst werden periphere Hilfskonstruktionen errichtet. Dazu zählen

- die Schildwiege zum gezielten Führen des Schildes und als Fundament,
- die Anfahrdichtung zum Abschirmen und Abdichten der ELK und des Gebirges und zur Abgrenzung des Kontrollbereichs,
- die Rücksteife für den Vorschub der Schildmaschine sowie
- ein Montagekran.

Der Schild mit seinen Einbauten wird sukzessive in mindestens 40 Kollis mit Abmessungen von 4 x 3 m durch den Schacht 5 nach unter Tage gefördert und von dort zur Schildwiege transportiert. Auf der Schildwiege werden die Maschinenteile durch den Montagekran nacheinander aufgebaut. Nach Komplettierung der Schildmaschine und deren Prozesstechnik erfolgt eine Baustelleninbetriebnahme mit Funktionstests.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 136 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Die Anfahrsequenz (Abbildung 63) kann wie folgt grob skizziert werden:

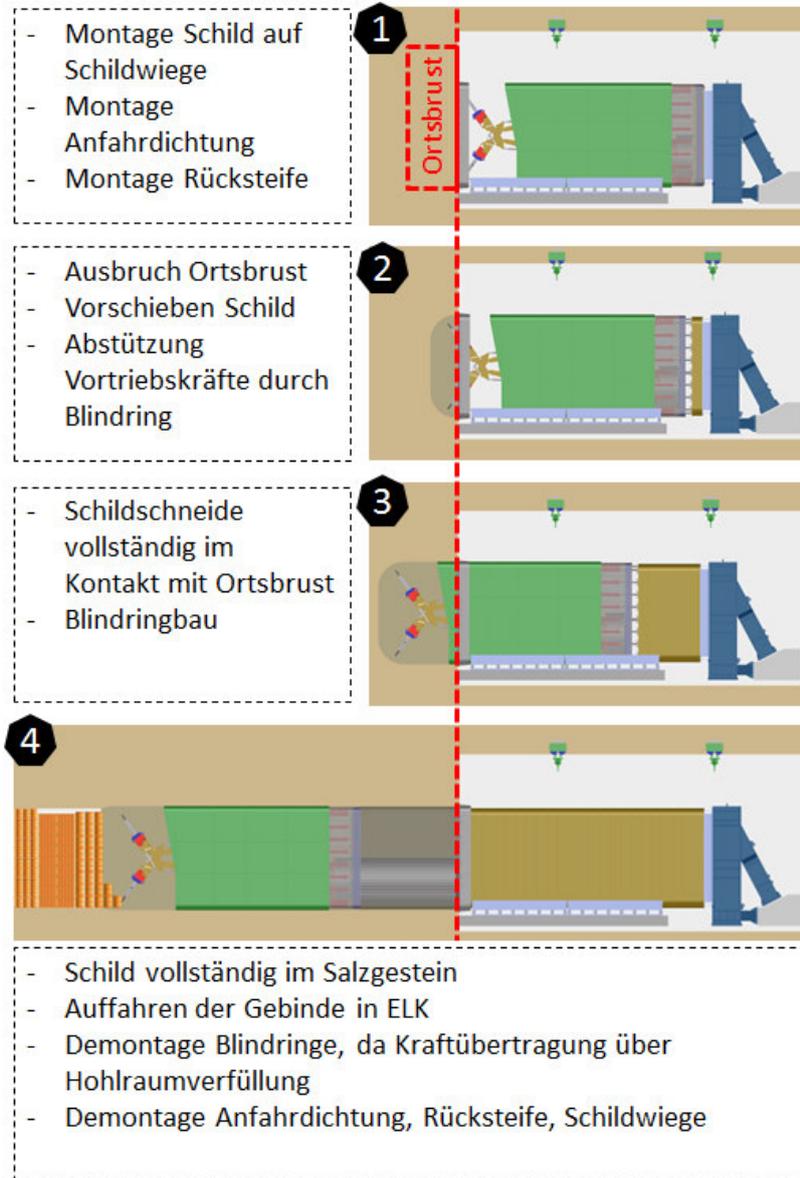


Abbildung 63: Anfahrsequenz für Schildvortrieb mit Teilflächenabbau [Bildquelle Herrenknecht AG]

Die Vortriebszylinder schieben den Schild nach vorne und drücken sich dabei temporär an der Rücksteife ab. Die Maschine schreitet voran und ein Blindring ist zwischen Vorschubdistanz und Rücksteife einzubauen. Der Blindring dient, wie die Rücksteife, vorübergehend der Durchleitung und Abfangung der Vortriebspressenkräfte, bis der Schild ausreichend tief in das Gebirge vorgeschoben wurde. Während des Vortriebs wird Salzgestein an der Ortsbrust ausgebrochen und gefördert.

Es wird eine Distanz von 30 m zwischen dem Antreffen der ersten ELK und der Montagekaverne angenommen. Dadurch ist gewährleistet, dass bei einer Länge der Schildmaschine von etwa 19 m





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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 138 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Es sind minimal erforderliche Kavernenabmessungen analog dem Aufbau der Maschine heranzuziehen:

Abmessungen Demontagekaverne:

- Minimal erforderliche Länge: 35 m
- Minimal erforderliche Höhe: 20 m
- Minimal erforderliche Breite: 17 m

Sollte eine Dekontamination der Schildteile nicht möglich sein oder ein Bergen der Schildmaschine aus arbeitssicherheitstechnischer Sicht nicht umsetzbar sein, kann der Schild in der Endposition verbleiben und mit Sorelbeton verfüllt werden. In diesem Fall ist eine Betrachtung aus Sicht der Langzeitsicherheit erforderlich.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 139 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### 7 ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende 4. Zwischenbericht soll es dem Bundesamt für Strahlenschutz ermöglichen, eine Entscheidung hinsichtlich der prinzipiellen Methode der Bergung der Gebinde aus den ELK der Schachanlage Asse II durch die Variante „Schildvortrieb mit Teilflächenabbau“ treffen zu können. Die Tunnelvortriebstechnik stellt dabei eine mögliche Option dar, um im Schutze eines Schildes mit Teilflächenabbau radioaktive Abfälle zu bergen.

Es wurden verschiedene Varianten der Rückholung aus den ELK mit sowohl horizontalem als auch vertikalem Rückholweg gegenübergestellt und bewertet.

Für die Rückholung durch einen maschinellen Tunnelvortrieb konnte eine Schildmaschine mit einer Abmessung von 10 x 10 m (Breite x Höhe) als favorisierte Variante erörtert werden. Die Schildmaschine wurde mit Blick auf die gegebenen Rahmenbedingungen grob konzipiert. Dabei lag der Fokus auf der Beschreibung des Rückholvorgangs, der Bergungstechnik, der Materialförderung, der Umschlaglogistik, dem Ausbau und der Sicherung sowie dem Strahlenschutz.

Im Rahmen des vorliegenden 4. Zwischenberichts wurde die maschinelle, fernhantierte Bergung der Abfallgebände aus den ELK auf der 750-m-Sohle mit Höhe kleiner als 11,5 m Höhe erörtert. Das Räumen der ELK 2/750 Na2 sowie der ELK 7 auf der 725-m-Sohle mit je einer Höhe von durchschnittlich 17 m wurde aus geometrischen Gründen nicht betrachtet. Durch eine weitere Optimierung und Modifizierung einer Maschinenteknik scheint aber auch eine Rückholung in dieser Profilabmessung denkbar, zumal die ELK nicht bis unter die Schweben mit einer Höhe von 17 m gefüllt wurden.

Das Bergungskonzept umfasst die Sicherung, Stabilisierung und Verfüllung geräumter Bereiche der ELK sowie der neu aufgefahrenen Bereiche im Grubengebäude. In der Konzeption einer Rückholung wurde der Transport der geborgenen Gebinde(-teile) innerhalb des Sperrbereichs bis zu einer Schleuse und Übergabe für die weitere Aufbereitung berücksichtigt. Die für einen Schildvortrieb erforderliche Infrastruktur, Montage- und Demontagesituation wurde dargelegt und die Kosten für eine Maschinenteknik sowie die maximal zu erzielende Vortriebsleistung wurden abgeschätzt.

Eine abschließende Bewertung hinsichtlich einer technischen Realisierbarkeit und Umsetzung eines „Schildvortriebes mit Teilflächenabbau“ kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht vorgenommen werden. Eine weitergehende Betrachtung unter Berücksichtigung von bergbaulichen, betrieblichen und strahlenschutztechnischen Randbedingungen sowie der offenen Fragestellungen ist erforderlich. Die offenen Fragestellungen umfassen Maßnahmen zur stabilisierenden Hohlraumverfüllung durch Sorelbeton und in diesem Zusammenhang die Auswirkungen durch den Eintrag von Abbindewärme in das Grubengebäude. Zudem sind im Wesentlichen die Materiallogistik und die Prozesstechnik beim Gebindeftransport sowie die gebirgsmechanische Situation während des Rückholvorgangs zu beleuchten. Ein Entwicklungsbedarf über den Stand von Wissenschaft und Technik hinaus besteht vor allem in der Anwendung von Sorelbeton für die Hohlraumsicherung und in der Prozesskette zum Ausschleusen von Material aus der ELK mit den Randbedingungen des Strahlenschutzes.

Die Betrachtung und Bewertung dieser Themen ist im Rahmen der weiteren Planung vorzusehen. Offene Fragestellungen beim Einsatz einer Schildmaschine für die Rückholung, welche sich unter anderem aus dem vorliegenden Zwischenbericht ergeben, sind frühzeitig durch Studien und durch Versuche unter realen Bedingungen zu evaluieren.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 140 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

Die Rückholung durch einen Schildvortrieb mit Teilflächenabbau ist gegenüber einer konventionellen Bergung in nachfolgenden Punkten vorteilhaft zu sehen. Durch die Verwendung von Schildvortriebsmaschinen kann die Rückholung losgelöst von einzelnen Geräten und Maschinen und durch parallel laufende Prozesse erfolgen. Der Schildvortrieb kann dazu beitragen, die Rückholzeit zu verkürzen und die Sicherheit während der Rückholung vor allem bei instabilen Grubenverhältnissen zu gewährleisten. Darüber hinaus ist durch die Schildmaschine eine klare Abschirmung durch Einteilung in Sperr- und Kontrollbereich möglich.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 141 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] KIT (2013): Leistungsbeschreibung zur Erstellung einer Machbarkeitsstudie für die Methode „Schildvortrieb mit Teilflächenabbau“ – Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen, Karlsruhe
- [2] BFS (2012): Fließwege zutretender Salzlösungen im Grubengebäude der Schachanlage Asse II, Bundesamt für Strahlenschutz
- [3] BFS (2013): Optionenvergleich für die Rückholung der Abfälle aus der Schachanlage Asse II. [http://www.asse.bund.de/DE/4\\_WasWird/Stilllegungskonzept/Optionenvergleich/node.html](http://www.asse.bund.de/DE/4_WasWird/Stilllegungskonzept/Optionenvergleich/node.html) Zugriff am 05.12.2013, Bundesamt für Strahlenschutz
- [4] Atomgesetz (2013): Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren, Stand 24.04.2013
- [5] DMT & TÜV NORD (2009): Beurteilung der Möglichkeit einer Rückholung der LAW-Abfälle aus der Schachanlage Asse – DMT GmbH & Co. KG, TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG
- [6] ERCOSPLAN & TÜV NORD (2009): Beurteilung der Machbarkeit einer Umlagerung aller oder Teile der radioaktiven Abfälle in der Schachanlage Asse II – Ercosplan Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH, TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG
- [7] ASSE-GMBH (2009): Beschreibung der Lagerbereiche der Abfälle, Stand: 27.03.2009 – Asse-GmbH
- [8] BFS (2012): 3D-Ansicht Asse II als Screenshot von der Asse II-Information-DVD mit Titel: Animation und Filme, Bundesamt für Strahlenschutz
- [9] BFS (2013) Notfallplanung für die Schachanlage Asse II. [http://gsb.download.bva.bund.de/BFS/ASSE/asse\\_notfallplanung/index.html](http://gsb.download.bva.bund.de/BFS/ASSE/asse_notfallplanung/index.html), Zugriff am 05.12.2013, Bundesamt für Strahlenschutz
- [10] Schachanlage ASSE (2013): Speicher- und Sohlenriß 725 m; Reg. Nr.: 725-71, Schrank: 1; Fach: 3, Zeichn. Nr.: 2; Stand: 19.03.2013, Datei: 725-m-Sohle.pdf
- [11] Schachanlage ASSE (2013): Speicher- und Sohlenriß 725 m; Reg. Nr.: 725N-03, Schrank: 1; Fach: 3, Zeichn. Nr.: 2a; Stand: 19.03.2013, Datei: 725-m-Sohle Nord.pdf
- [12] Schachanlage ASSE (2013): Speicher- und Sohlenriß 750 m; Reg. Nr.: 725-132, Schrank: 1; Fach: 3, Zeichn. Nr.: 3; Stand: 19.03.2013, Datei: 750-m-Sohle.pdf
- [13] Schachanlage ASSE (2013): Speicher- und Sohlenriß 750 m; Reg. Nr.: 750W-10, Schrank: 1; Fach: 3, Zeichn. Nr.: 3a; Stand: 19.03.2013, Datei: 750-m-Sohle West.pdf
- [14] Schachanlage ASSE (2013): Speicher- und Sohlenriß 750 m; Reg. Nr.: 750N-13, Schrank: 1; Fach: 3, Zeichn. Nr.: 3b; Stand: 19.03.2013, Datei: 750-m-Sohle Nord.pdf
- [15] BFS (2013): Asse Einblicke. Information über ein Endlager – Bundesamt für Strahlenschutz, 03/2013
- [16] BFS (2012): 1. Zwischenbericht – Marktrecherche möglicher Bergungstechnologien, Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 142 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

den Einsatz in der Schachanlage Asse II. Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Juli 2012

- [17] GSF (2002): Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachanlage Asse – GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Strahlenschutz, Forschungsbergwerk Asse
- [18] STRLSCHV (2001): Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Gesetz vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)
- [19] STRLSCHO ASSE II (2014): Strahlenschutzordnung der Schachanlage Asse II – Bundesamt für Strahlenschutz
- [20] KTA (2013): Regelwerk des Kerntechnischen Ausschusses (KTA-Regelwerk), <http://www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/atomenergie-sicherheit/rechtsvorschriften-technische-regeln/kta-regelwerk/> – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Zugriff am 26.06.2013
- [21] ABBERG V (2012): Bergverordnung für alle bergbaulichen Bereiche (Allgemeine Bundesbergverordnung – ABBergV). – Bundesministeriums der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH, [www.juris.de](http://www.juris.de)
- [22] KLARR, K. (1981): Grundlagen zur Geologie der Asse – Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, München, Institut für Tieflagerung: Grundlagen zur Geologie der Asse; GSF-Bericht T117; März 1981; Datei: 1981\_KLARR\_T117\_Grundlagen-der-Geologie-der-Asse\_Archiv1\_3121.pdf
- [23] ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH (2004): Zusammenfassung der geologischen Grundlagen für die Langzeitsicherheitsbewertung der Schachanlage Asse II; Projekt-Nr.: EGB 03-003; Datum: 16.06.2004; Datei: 02\_Zusammenfassung\_geologische Grundlagen.pdf
- [24] CDM Consult GmbH (2008): Konzeptstudie zur Erhöhung der Versatzsteifigkeit der mit Salzgrus verfüllten Kammern der Südwestflanke der Schachanlage Asse II Projekt-Nr.: 61574 Bericht 01; Stand: 12.09.2008, S. 78; Datei: 2008-09\_cdm\_versatzsteifigkeit\_studie.pdf
- [25] GRS- Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH (2006): Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit für den Standort Asse (Konsequenzanalyse); Stand: 12/2006; HAG-Datei: GRS\_Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit für den Standort Asse.pdf; Quelle: [http://www.endlagerasse.de/SharedDocs/Downloads/DE/HistorischeDokumente/Stilllegungskonzept\\_HMGU/33\\_gesamtbewertung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.endlagerasse.de/SharedDocs/Downloads/DE/HistorischeDokumente/Stilllegungskonzept_HMGU/33_gesamtbewertung.pdf?__blob=publicationFile), Zugriff am 05.12.2013
- [26] GSF- : (2000): Untersuchungen zur Grundwasserbewegung im Umfeld der Schachanlage Asse II, Abschlussbericht, November 2000; Datei: Graf et al-Untersuchung zur Grundwasserbewegung (1).pdf & Graf et al-Untersuchung zur Grundwasserbewegung (2).pdf
- [27] GSF- (2006): Hydrogeologische Modellvorstellungen; Bericht 4956/07; Revision 3, November 2006; Datei: 04\_IV.07 - Hydrogeolog Modellvorstellungen.pdf



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 143 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

- [28] GSF- (2006): Deckgebirgsmodellierung Phase IV Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse, Schlussbericht, September 2006; Datei: 27\_deckgebirgsmodellierung.pdf
- [29] BfS / Asse GmbH (2009): Zusammenstellung und Bewertung der Salzlösungs- und Gaszutritte im Grubengebäude der Schachanlage Asse II; Projekt: 9A-64222100 HG RB 0002, Revision: 01; Stand: 21.07.2009; Datei: ZUSAMMENSTELLUNG UND BEWERTUNG DER SALZLÖSUNGS- UND GASZUTRITTE IM GRUBENGEBÄUDE DER SCHACHTANALGE ASSE II.pdf, Bundesamt für Strahlenschutz
- [30] GSF - (2006): Zusammenstellung und Bewertung der ab 1988 im Grubengebäude der Schachanlage Asse II aufgetretenen Salzlösungen und Gase; Revision: 03; Stand: Januar 2006; Datei: 08\_salz\_gas\_nach\_1988.pdf
- [31] ISTEK – (2005): Realistische und maximale Gasbildung in der Schachanlage Asse; ISTec-A-979; Datum: Juli 2005; Datei: 21\_realistische\_maximale\_gasbildung.pdf
- [32] IFG Institut für Gebirgsmechanik Leipzig (2006): Dreidimensionale gebirgsmechanische Modellrechnungen zur Standsicherheitsanalyse des Bergwerkes Asse; Stand: 03.11.2006. S. 147; Datei: 3D-Analyse-IfG.pdf
- [33] IFG Institut für Gebirgsmechanik Leipzig (2006): Tragfähigkeitsanalyse des Gesamtsystems der Schachanlage Asse in der Betriebsphase; Stand: 06.10.2006; S. 225; Datei: 06\_tragfaehigkeitsanalyse\_asse\_betriebsphase.pdf
- [34] IFG Institut für Gebirgsmechanik Leipzig (2006): Gebirgsmechanische Langzeitprognose für die Schachanlage Asse; Stand: 01.11.2006; S. 225; Datei: Gebirgsmechanische Langzeitprognose für die Schacht-anlage Asse, IfG, Stand2003.pdf
- [35] IFG Institut für Gebirgsmechanik Leipzig (2007): Gebirgsmechanische Zustandsanalyse des Tragsystems der Schachanlage Asse II- Kurzbericht; Stand: 09.11.2007; S. 30; Datei: Gebirgsmechanische Zustandsanalyse des Tragsystems der Schachanlage Asse 2.pdf
- [36] IFG Institut für Gebirgsmechanik Leipzig (2009): Stellungnahme zur gebirgsmechanischen Beanspruchung des Abschlussbauwerkes der Einlagerungskammer 4 auf der 750-m-Sohle bei einer dynamischen Luftdruckbelastung infolge eines Firstfalls; Stand: 22.01.2009; S. 37; Datei: 2009-01\_IfG\_Kammer-vier\_Studie.pdf
- [37] Schachanlage ASSE (2013): Geologischer Sohlenriß 725 m; Reg. Nr.: geo725-4T-05; Stand: 19.03.2013, Datei: Geologie 725-m-Sohle.pdf
- [38] Schachanlage ASSE (2013): Geologischer Sohlenriß 750 m; Reg. Nr.: geo725-4T-06; Stand: 19.03.2013, Datei: Geologie 750-m-Sohle.pdf
- [39] Schachanlage ASSE (2013): Seigerriß u. Längsschnitt; Reg. Nr.: Schnitt1j-126, Schrank: 1; Fach: 1, Zeichn. Nr.: 2; Stand: 19.03.2013, Datei: Schnitt 1.pdf
- [40] Schachanlage ASSE (2012): Titelblatt Geologie; Schrank: 1; Fach: 1; Stand: 23.03.2012, Datei: 01Titelblatt Geologie mit Legende.pdf



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 144 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 13.05.2015
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	

- [41] Schachanlage ASSE (2013): Schnitt 2; Reg. Nr.: Schnitt2-31, Schrank: 1; Fach: 1, Zeichn. Nr.: 4; Stand: 19.03.2013, Datei: 05Schnitt2.pdf
- [42] Schachanlage ASSE (2013): Schnitt 14; Reg. Nr.: Schnitt14-08, Schrank: 1; Fach: 1, Zeichn. Nr.: 6; Stand: 19.03.2013, Datei: 05Schnitt14.pdf
- [43] Schachanlage ASSE (2013): Schnitt 22; Reg. Nr.: Schnitt22-08, Schrank: 1; Fach: 1, Zeichn. Nr.: 7; Stand: 19.03.2013, Datei: 05Schnitt22.pdf
- [44] GSF – TAYLOR T. (2003): Die Hydrogeologie im Deckgebirge der Schachanlage Asse; Stand: 23.04.2003; HAG-Datei: T. Taylor\_Hydrogeologie Deckgebirge Schachanlage Asse.pdf; Quelle: <http://www.asse-archiv.de/asse-archiv/veranstaltungen/index.html>, Zugriff am 05.12.2013
- [45] GSF – HENSEL G. (2002): Der Salzlösungszutritt in die Schachanlage Asse; Stand: 05.12.2013; HAG-Datei: G. Hensel\_Salzlösungszutritt in die Schachanlage Asse.pdf; Quelle: <http://www.asse-archiv.de/asse-archiv/veranstaltungen/index.html>, Zugriff am 05.12.2013
- [46] GSF – Marggraf G. (2004): Geochemische Prozesse in den Einlagerungskammern; Stand: 11.11.2004; HAG-Datei: G. Marggraf\_6\_Geochemische Prozesse in den Einlagerungskammern.pdf; Quelle: <http://www.asse-archiv.de/asse-archiv/veranstaltungen/index.html>, Zugriff am 05.12.2013
- [47] GSF – TAYLOR T. (2004): Hydrogeologische Prozesse im Deckgebirge; Stand: 11.11.2004; HAG-Datei: T. Taylor\_sichere Schließung der Schachanlage Asse\_hydrogeolog. Prozesse im Deckgebirge.pdf; Quelle: <http://www.asse-archiv.de/asse-archiv/veranstaltungen/index.html>, Zugriff am 05.12.2013
- [48] GSF – MEYER H. (2006): Radiologische Umgebungsüberwachung der Schachanlage Asse; Stand: 11.05.2006; HAG-Datei: Meyer-Info-9\_radiologische Umgebungsüberwachung der Schachanlage Asse.pdf; Quelle: <http://www.asse-archiv.de/asse-archiv/veranstaltungen/index.html>, Zugriff am 05.12.2013
- [49] GSF – THOLEN M. (2002): Materialien in den eingelagerten radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse; Stand: 24.10.2002; HAG-Datei: M. Tholen\_Materialien in den eingelagerten radioaktiven Kammern der Schachanlage Asse.pdf; Quelle: <http://www.asse-archiv.de/asse-archiv/veranstaltungen/index.html>, Zugriff am 05.12.2013
- [50] GSF – HENSEL G. (2003): Schließungskonzept für die Schachanlage Asse und der Stand des Projektes Langzeitsicherheit; Stand: 04.11.2003; HAG-Datei: G. Hensel\_Schließungskonzept Asse und Stand der Langzeitsicherheit.pdf; Quelle: <http://www.asse-archiv.de/asse-archiv/veranstaltungen/index.html>, Zugriff am 05.12.2013
- [51] [http://gsb.download.bva.bund.de/BFS/ASSE/Optionenvergleich/start\\_optionenvergleich\\_1-5.swf](http://gsb.download.bva.bund.de/BFS/ASSE/Optionenvergleich/start_optionenvergleich_1-5.swf), Zugriff am 05.12.2013
- [52] JÜRGENS H. (1979): Atommülldeponie Salzbergwerk Asse II, Gefährdung der Biosphäre durch mangelnde Standsicherheit und das Ersaufen des Grubengebäudes, Stand: März 2013, HAG-Datei: h-h-juergens-jan-79.pdf; Quelle: <http://www.asse2.de/>, Zugriff am 05.12.2013



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 145 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

- [53] JÜRGENS H. (1981): Schotter in die Asse statt Atommüll, Stand: Nov. 1981, HAG-Datei: h-h-juergens-schotter-nov-81.pdf; Quelle: <http://www.asse2.de/>, Zugriff am 05.12.2013
- [54] KOLYMBAS D. (2005): Tunnelling and Tunnel Mechanics, A Rational Approach to Tunneling, 2005, S. 187 ff.
- [55] BFS / IFG (2009): Gebirgsmechanische Zustandsanalyse und Prognose auf der Basis von Standortdaten sowie 3D-Modellrechnungen; Stand: 11.03.2009; S. 41; Datei: 2009-03\_ifg\_Bericht.pdf, Bundesamt für Strahlenschutz
- [56] BFS (2013): 2. Zwischenbericht – Vorversuche mit Versatzmaterial und Versuchsreihen zum Freilegen und Lösen von Gebinden, Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachanlage Asse II. Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, September 2013
- [57] DAUB (2010): Empfehlung zur Auswahl und Bewertung von Tunnelvortriebsmaschinen. – Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e.V. (DAUB)
- [58] IFG Institut für Gebirgsmechanik - D. Weise, P. Kamlot, D. Brückner (2012): Bericht zu Laboruntersuchungen an Sorelbetonproben der Charge 60; Stand: 08.05.2012
- [59] TÜV NORD (2010): Sicherheits- und Störfallanalyse. – TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG im Auftrag der DMT GmbH & Co. KG
- [60] BFS (2013): Laugenverzeichnis als Teil des Risswerks der Schachanlage ASSE. Bundesamt für Strahlenschutz
- [61] ASSE (2014): Jahresbericht „Salzlösungsmonitoring 2012“, Stand: 28.02.2014, Asse GmbH
- [62] ASSE (2013): Geotechnisches, geophysikalisches Monitoringprogramm und Baustoffuntersuchung – Jahresbericht 2012 des Teilbereiches Standortüberwachung, Stand: 25.11.2013, Asse GmbH

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 146 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

## GLOSSAR

<b>Abbau</b>	Bergmännisch aufgefahrener Hohlraum
<b>Abbaukammer</b>	beim Schildvortrieb diejenige Kammer in welche Material vom Abbau hinein fällt
<b>Abfall, radioaktiver:</b>	Radioaktive Stoffe im Sinne des § 2 Abs. 1 und 2 des Atomgesetzes [4], die nach § 9a Abs. 1 Nr. 2 des Atomgesetzes geordnet beseitigt werden müssen
<b>Abfallgebinde:</b>	Endzulagernde Einheit aus Abfallprodukt und Abfallbehälter
<b>Abteufen:</b>	Herstellung von lotrechten Schächten
<b>Abwetter:</b>	Wetterstrom hinter einem untertägigen Betriebspunkt bis zum Ausziehschacht
<b>Anhydrit:</b>	Mineral aus der Mineralklasse der Sulfate
<b>Ausbruchkubatur:</b>	Volumen des ausgebrochenen oder geförderten Materials
<b>AÜL</b>	Ein auslegungsüberschreitender Lösungszutritt ist ein Ereignis bei dem der Betrieb nicht dauerhaft fortgeführt werden kann. Damit ist ein auslegungsüberschreitender Lösungszutritt ein Zutritt, gegen den die Anlage nicht ausgelegt ist bzw. nicht ausgelegt werden kann.
<b>Bewetterung:</b>	Bergmännischer Begriff für Belüftung und Ventilation
<b>Carnallit:</b>	Salzmineral, löslich und wasserhaltig
<b>Deckgebirge:</b>	Geologischer Begriff für Gesteinskomplex, der sich vom älteren Grundgebirge und von dessen Entstehungsart unterscheidet. Das Deckgebirge überlagert das Grundgebirge
<b>Dosis:</b>	Strahlenenergie, die bei der Wechselwirkung einer ionisierenden Strahlung mit Materie an diese abgegeben wird
<b>Dosisleistung:</b>	Verhältnis von Dosis zu Leistung
<b>Einlagerungsbereich:</b>	Umfasst die Einlagerungskammern, die Zugänge zu den Einlagerungskammern sowie die Verbindungen zum restlichen Grubengebäude
<b>Einlagerungskammer (ELK):</b>	Bergmännisch aufgefahrener Hohlraum, in welchem radioaktive Abfallgebände eingelagert wurden
<b>Extrudierbeton:</b>	Beton, welcher kontinuierlich durch Herauspressen hergestellt wird
<b>Firste:</b>	Obere Grenze eines Grubenbaus
<b>Gebinde:</b>	Behälter, gefüllt mit radioaktivem Abfall



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 147 von 148
9A	23431000	GHB	RA	0027	00	Stand: 13.05.2015

<b>Gebirge:</b>	Geologischer Begriff für Gesteinseinheit
<b>Gebirgsdruck:</b>	Spannung im Gebirge oder um einen Hohlraum
<b>Grubengebäude:</b>	Bergmännisch hergestellte Hohlräume unter Tage
<b>Grundgebirge:</b>	Wird von Deckgebirge überlagert
<b>Konvergenz:</b>	Volumenreduzierung von Hohlräumen oder Tunnel infolge Gebirgsverformungen
<b>Lex Asse:</b>	Gesetz zur Beschleunigung der Rückholung radioaktiver Abfälle und der Stilllegung der Schachtanlage Asse II, in Kraft getreten am 24. April 2013 als § 57b AtG
<b>Lutte:</b>	Rohrleitungsstück für Belüftungszwecke
<b>Ortsbrust:</b>	Die vorderste Stelle eines Stollens oder Tunnels, an der der Vortrieb stattfindet
<b>Ortsdosis:</b>	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort
<b>Pfeiler:</b>	Bergmännischer Begriff für vertikales Stützelement zwischen Gruben Hohlräumen
<b>Radioaktivität:</b>	Eigenschaft von instabilen Atomkernen sich in andere Atomkerne umzuwandeln und dabei ionisierende Strahlung abzugeben
<b>Rötanhydrit:</b>	Anhydrit aus der unteren Stufe des Buntsandsteins, vor ca. 251 Millionen Jahren entstanden
<b>Rötaquitard</b>	Gesteinsschicht, welche einen gering wasserdurchlässigen Leiter darstellt.
<b>Rückholung:</b>	Maßnahme in der Schachtanlage Asse II, um die eingelagerten radioaktiven Abfälle zurückzuholen
<b>Salzspiegel:</b>	Obere Grenzfläche von Salzstrukturen entstand durch flächenhafte Lösung des Salzgesteins
<b>Schildvortrieb:</b>	Bauverfahren aus dem Tunnelbau bei der einen Tunnelbohrmaschine zum Einsatz kommt
<b>Schutterung:</b>	Abförderung von Material
<b>Schutzfluid:</b>	Lösung, welche das Salzgestein vor Zersetzung schützt und Setzungsstabilisierend wirkt
<b>Schwebe:</b>	Bergmännischer Begriff für horizontale Gebirgsschicht, welche zwei übereinander gelegene Grubenbaue trennt
<b>Sohle:</b>	Bergmännischer Begriff für auf einem horizontalen Niveau befindliche Grubenbaue



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 148 von 148
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0027	00		Stand: 13.05.2015

- Sorelbeton:** Baustoff, welcher als Säure-Base-Zement-Gemisch erhärtet. Das Gemisch setzt sich unter anderem aus Magnesiumoxid, Steinsalz und Lösung zusammen
- Steinsalz:** Salzmineral
- Störfall:** Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs einer Anlage oder Maschine
- Strahlenschutz:** Voraussetzungen und Maßnahmen zum Schutz vor schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlen
- Strecke:** Bergmännischer Begriff für Tunnel
- Teilflächenabbau:** Bauverfahren aus dem Tunnelbau bei der einen Tunnelbohrmaschine mit teilflächigem Abbau zum Einsatz kommt
- Überschnitt:** Vergrößerter Ausbruch
- Verfüllen:** Einbringen von Material in einen Hohlraum
- Versatz:** Material, mit dem die Hohlräume aus Stabilisierungsgründen verfüllt werden
- Verschlussbauwerk:** Bauwerk um den Zugang zu den Einlagerungskammern mit zum Teil unterschiedlichen Materialien zu verschließen
- Vorpfänden:** Sicherungsmaßnahme im Stollen-/Tunnelbau
- Vortrieb:** Erstellung einer Strecke oder eines Tunnels
- Wetter:** Bergmännischer Begriff für sich durch untertägige Grubenbaue bewegend Luftströme
- Zutrittsstelle:** Position und Lage, an welcher Wasser oder Lösung im Grubengebäude zufließt