



Bundesamt für Strahlenschutz

Deckblatt

OZ: SE 4.2 -9A 23431000

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Titel der Unterlage:

STUDIE ZUR EIGNUNGSFÄHIGKEIT UND ZUM ENTWICKLUNGSBEDARF VON GERÄTSCHAFTEN / WERKZEUGEN FÜR DEN EINSATZ IN DER SCHACHTANLAGE ASSE II
2. ZWISCHENBERICHT - VORVERSUCHE MIT VERSATZMATERIAL UND VERSUCHSREIHEN ZUM LÖSEN UND FREILEGEN VON GEBINDEN

Ersteller:

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person:

Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person:

Freigabe im Projekt/Betrieb:

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	NNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Titel der Unterlage:

STUDIE ZUR EIGNUNGSFÄHIGKEIT UND ZUM ENTWICKLUNGSBEDARF VON GERÄTSCHAFTEN / WERKZEUGEN FÜR DEN EINSATZ IN DER SCHACHTANLAGE ASSE II
2. ZWISCHENBERICHT - VORVERSUCHE MIT VERSATZMATERIAL UND VERSUCHSREIHEN ZUM LÖSEN UND FREILEGEN VON GEBINDEN

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer (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



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 1 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

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 Schachtanlage Asse II

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



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 2 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Karlsruher Institut für Technologie



Impressum:

Auftraggeber: Bundesamt für Strahlenschutz
Willy-Brandt-Str. 5
38226 Salzgitter
Telefon: 030 18333-0
Telefax: 030 18333-1885
E-Mail: epost@bfs.de
Internet: www.bfs.de

Ersteller:

Internet: www.tmb.kit.edu

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

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



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 3 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 09.09.2013
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		

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



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 4 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

KURZFASSUNG

Autoren:

Titel: Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II - Vorversuche
Arbeitspaket 2a

Stand: 09.09.2013

Im Rahmen der Studie werden die Eignungsfähigkeit und der Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II (im Nachfolgenden kurz „Asse“ genannt) in mehreren Arbeitspaketen untersucht.

In diesem Zwischenbericht werden die Ergebnisse des Arbeitspaketes 2a (AP2a) dargestellt. Hier wurde die grundsätzliche Eignung von ausgewählten Standardwerkzeugen für das Freilegen und Lösen von Gebinden aus dem Versatzmaterial Salzgrus untersucht.

In Absprache mit dem BfS wurden hierzu zwei grundlegende Versuchsreihen durchgeführt.

Zum einen wurden mehrere Gebinde in einem Steinsalzbeton, dessen Druckfestigkeit mindestens der angenommenen Druckfestigkeit des Salzgruses in der Asse [1] entspricht, eingebunden. Anhand von Versuchen wurde in verschiedenen Messreihen die grundsätzliche Eignung unterschiedlicher Werkzeuge (Baggerlöffel, Reißzahn, Hydraulikmeißel, Hydraulikfräse mit Querschneidkopf und Spaltgerät) zum Freilegen und Lösen der Gebinde getestet und einige als grundsätzlich geeignet identifiziert. Zum Ausheben der freigelegten Gebinde wurde die Eignung eines speziell konzipierten Nukleargreifers untersucht.

Zum anderen wurden in einer zweiten Versuchsreihe Gebinde aus mechanisch verdichtetem Salzgrus herausgezogen und die dafür notwendigen Zugkräfte ermittelt. Hierbei erfolgte das Herausziehen mittels mechanischen Anschlagseilen und Vakuumhebern. Dabei war der Vakuumheber nur bedingt geeignet.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 5 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG	4
INHALTSVERZEICHNIS	5
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	7
TABELLENVERZEICHNIS	11
ANHANGSVERZEICHNIS	12
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	13
SYMBOL- UND EINHEITENVERZEICHNIS	14
1 EINLEITUNG	16
1.1 AUSGANGSLAGE	16
1.2 ÜBERSICHT DER ARBEITSPAKETE	17
1.3 ZIELSETZUNG DES ARBEITSPAKETES 2A	18
1.4 ABGRENZUNG	18
1.5 VORGEHENSWEISE	19
2 VORUNTERSUCHUNGEN MIT STEINSALZ	20
2.1 EINSATZ VON STEINSALZ IN DER ASSE	20
2.2 ERHÄRTUNGSVERSUCHE MIT STEINSALZ	21
2.2.1 Wassergehalt	21
2.2.2 Mahlfeinheit	22
2.2.3 Erhärtungsverhalten unter Wärmezufuhr	22
2.3 STEINSALZBETON	23
2.3.1 Erhärtungsversuche mit Steinsalzbeton	24
2.3.2 Untersuchungen zu Druckfestigkeit und Porosität von Steinsalzbeton	25
2.4 ZUSAMMENFASSUNG DER VORUNTERSUCHUNGEN MIT SALZ, FESTLEGUNG STEINSALZBETONPARAMETER	28
3 VERSUCHE ZUM FREILEGEN UND LÖSEN VON GEBINDEN	31
3.1 DARSTELLUNG UND ERLÄUTERUNG DES VERSUCHSAUFBAUS	31
3.1.1 Aufbau Versuchscontainer	31
3.1.2 Das Trägergerät	35
3.1.3 Messtechnik am Trägergerät und Dokumentation	37
3.2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	39
3.2.1 Versuche mit dem Baggerlöffel	40
3.2.2 Versuche mit dem Reißzahn	45
3.2.3 Versuche mit der Hydraulikfräse	49
3.2.4 Versuche mit dem Hydraulikmeißel	56
3.2.5 Versuche mit dem Spaltgerät	62
3.2.6 Versuche mit dem Nukleargreifer	67



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 6 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

3.3	VERSUCHSERGEBNISSE UND ZUSAMMENFASSUNG	67
4	ZUGVERSUCHE MIT GEBINDEN.....	69
4.1	DARSTELLUNG UND ERLÄUTERUNG DES VERSUCHSAUFBAUS.....	69
4.1.1	Aufbau Versuchscontainer	69
4.1.2	Untersuchungen zur Salzverdichtung	72
4.1.3	Messtechnik am Versuchsstand und Dokumentation.....	74
4.1.4	Salzsondierung am Versuchsstand.....	74
4.2	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	76
4.2.1	Zugversuche mit Lasthaken	78
4.2.2	Zugversuche mit Vakuumheber	79
4.3	VERSUCHSERGEBNISSE UND ZUSAMMENFASSUNG	81
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	90
6	AUSBLICK UND WEITERES VORGEHEN.....	93
	LITERATURVERZEICHNIS.....	95
	GLOSSAR.....	97
	ANHANG	98

Gesamtseitenzahl: 97

Seitenzahl inklusive Anhang: 116

Stichworte: Asse, Rückholung, Werkzeuge, Gerätschaften, Steinsalzbeton



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 7 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 09.09.2013
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Untersuchung der Auswirkung des Wasseranteils auf die Verfestigung von Salzgrus.	22
Abbildung 2: Eingesetzter Backenbrecher zum Zermahlen von Salzgrus (links), Wärmelampen zum Beschleunigen des Verfestigungsvorgangs von Salzgrus (rechts).....	23
Abbildung 3: Prüfgerät zur Untersuchung der Druckfestigkeit, Hersteller Toni Technik Baustoffprüfsysteme GmbH, Typ 2031.	25
Abbildung 4: Prüfwürfel aus Steinsalzbeton der Mischungen M1, M2 und M3 (v. l. n. r.).....	26
Abbildung 5: Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Abbindezeit bei Steinsalzbetonen mit W/Z-Werten zwischen 0,38 und 0,73.	27
Abbildung 6: Regressionsanalyse zur Bestimmung des W/Z-Wertes für eine Festigkeit von ca. 15 MPa.	29
Abbildung 7: Versuchscontainer (Abrollcontainer des Herstellers MONZA CZ. s.r.o).	32
Abbildung 8: Fässer des Herstellers Eisenwerk Bassum m.b.H. vom Typ EB1-A200.....	32
Abbildung 9: Auflagerungssituation der stehenden Gebinde im Versuchscontainer.	33
Abbildung 10: Auflagerungssituation der liegenden Gebinde im Versuchscontainer.	33
Abbildung 11: Versuchscontainer mit aufgelagerten Gebinden vor der Betonage.	34
Abbildung 12: Versuchscontainer mit aufgelagerten Gebinden während der Betonage.	34
Abbildung 13: Transmix der Firma Perfekt Estrich-Bodenbau GmbH.....	34
Abbildung 14: Befüllen des Transmixes mit Steinsalz.....	34
Abbildung 15: Trägergerät Hitachi ZX85US-3.	36
Abbildung 16: Wirkungsbereich des Trägergeräts.	36
Abbildung 17: Eingesetzte Messtechnik am Trägergerät.	37
Abbildung 18: Druckmessumformer des Herstellers Hydac International GmbH vom Typ HDA 4745-A-600-000 am Trägergerät.	38
Abbildung 19: Anbaupunkte der Druckmessumformer und Winkelpotentiometer am Trägergerät.....	38
Abbildung 20: Winkelpotentiometer des Herstellers Megatron Elektronik GmbH & Co. KG vom Typ MP20 am Trägergerät.....	39
Abbildung 21: Eingesetzter Baggerlöffel des Herstellers Lehnhoff Hartstahl GmbH & Co. KG vom Typ CTL5.....	40
Abbildung 22: Baggerlöffel – Prinzipskizze zu den durchgeführten Scher- und Schürfversuchen.	41
Abbildung 23: Scherversuch mit dem Baggerlöffel – Kraftverlauf im Löffelzylinder beim „Drücken“.	42
Abbildung 24: Scherversuch mit dem Baggerlöffel – Kraftverlauf im Löffelzylinder beim „Schlagen“.	43
Abbildung 25: Einschlagpunkte der Löffelzähne im Steinsalzbeton beim „Schlagen“.	43
Abbildung 26: Einschlagtiefe der Löffelzähne im Steinsalzbeton beim „Schlagen“.	43
Abbildung 27: Schürfversuche mit dem Löffel – Kraftverlauf im Löffelzylinder beim Schürfen.	44
Abbildung 28: Schürfspur des Löffels im Steinsalzbeton.	45
Abbildung 29: Eindringtiefe der Löffelzähne im Steinsalzbeton.	45
Abbildung 30: Eingesetzter Reißzahn des Herstellers Baumgärtner Stahlbau GmbH.	46



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 8 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Abbildung 31: Verschiedene Reißzahnspitzen.....	46
Abbildung 32: Reißzahn – Prinzipskizze zu den durchgeführten Scher- und Schürfversuchen.....	46
Abbildung 33: Scherversuch am Steinsalzbeton mit dem Reißzahn.....	47
Abbildung 34: Eindringtiefe im Steinsalzbeton bei schlagender Bearbeitung.....	47
Abbildung 35: Scherversuch mit dem Reißzahn – Kraftverlauf im Löffelzylinder beim „Drücken“.....	47
Abbildung 36: Scherversuch mit dem Reißzahn – Kraftverlauf im Löffelzylinder beim „Schlagen“.....	48
Abbildung 37: Schürfspuren des Reißzahns im Steinsalzbeton.....	48
Abbildung 38: Reißzahn - Schürftiefe von ca. 11 cm im Steinsalzbeton.....	48
Abbildung 39: Schürfversuch mit Reißzahn – zeitlicher Kraftverlauf im Löffelzylinder.....	49
Abbildung 40: Eingesetzte Fräse mit Querschneidkopf des Herstellers Simex s.r.l. vom Typ TF400.....	50
Abbildung 41: Referenzversuche mit der Hydraulikfräse in Beton.....	51
Abbildung 42: Hydraulikfräse – Bruchstücke aus dem Beton.....	51
Abbildung 43: Durchflussmenge und Hydraulikdruck beim Fräsen auf Beton der Festigkeitsklasse C30/37.....	52
Abbildung 44: Fräsversuche in Steinsalzbeton.....	52
Abbildung 45: Fräsbild in Steinsalzbeton.....	52
Abbildung 46: Durchflussmenge und Hydraulikdruck beim Fräsen in Steinsalzbeton.....	53
Abbildung 47: Steinsalzbetonblock vor dem Fräsen.....	54
Abbildung 48: Fräsversuch am Steinsalzbeton.....	54
Abbildung 49: Seitenansicht der teilweise durch das Fräsen freigelegten Gebinde.....	54
Abbildung 50: Draufsicht auf die teilweise durch das Fräsen freigelegten Gebinde.....	54
Abbildung 51: Frässpuren auf dem Gebindedeckel.....	55
Abbildung 52: Beschädigungen am Gebindedeckel.....	55
Abbildung 53: Staubentwicklung beim Fräsen in Beton.....	55
Abbildung 54: Staubentwicklung beim Fräsen in Steinsalzbeton.....	55
Abbildung 55: Eingesetzter Hydraulikmeißel der Firma İnan Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş. Typ MTB 40.....	56
Abbildung 56: Vertikale Meißelposition am Betonblock.....	57
Abbildung 57: Horizontale Meißelposition am Betonblock.....	57
Abbildung 58: Hydraulikmeißel – keilförmig herausgelöstes Betonstück.....	57
Abbildung 59: Meißelversuch mit dem Spitzmeißel am Beton.....	58
Abbildung 60: Eindringtiefe des Spitzmeißels im Beton.....	58
Abbildung 61: Flachmeißel am Steinsalzbetonblock, 30 cm zur Abbruchkante.....	59
Abbildung 62: Mit Flachmeißel gelöstes Bruchstück aus dem Steinsalzbeton.....	59
Abbildung 63: Flachmeißel am Steinsalzbetonblock, 90 cm zur Abbruchkante.....	59
Abbildung 64: Mit Flachmeißel erzeugter Ausbruch aus dem Steinsalzbetonblock.....	59
Abbildung 65: Ansatzpunkte im Steinsalzbetonblock für Test mit Spitzmeißel.....	60
Abbildung 66: Mit Spitzmeißel erzeugter Abtrag aus dem Steinsalzbetonblock.....	60



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 9 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 09.09.2013
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	

Abbildung 67: Durch Flachmeißelversuch erzeugte Bruchstücke aus Steinsalzbeton.	61
Abbildung 68: Flachmeißel – Herauslösen der Gebinde aus dem Steinsalzbeton.	61
Abbildung 69: Hydraulikmeißel – „Abschälen“ des Steinsalzbetons vom eingeschlossenen Gebinde.	61
Abbildung 70: Staubentwicklung beim Meißeln in Steinsalzbeton.	61
Abbildung 71: Eingesetztes Spaltgerät des Herstellers Darda GmbH vom Typ C 12 W mit Hydraulikaggregat.	62
Abbildung 72: Lage und Winkel der Bohrlöcher im Steinsalzbetonblock.	63
Abbildung 73: Abtragsergebnis des Spaltgeräts nach dem ersten Spaltvorgang.	64
Abbildung 74: Abtragsergebnis des Spaltgeräts nach dem zweiten Spaltvorgang.	64
Abbildung 75: Durch den zweiten Spaltvorgang erzeugtes Bruchstück aus dem Steinsalzbeton.	64
Abbildung 76: Abtragsergebnis des Spaltgeräts nach dem dritten Spaltvorgang.	64
Abbildung 77: Durch den dritten Spaltvorgang erzeugtes Bruchstück aus dem Steinsalzbeton.	65
Abbildung 78: Abtragsergebnis des Spaltgeräts nach dem vierten Spaltvorgang.	65
Abbildung 79: Spaltversuche 1 bis 4 – Hydraulikdruck in Abhängigkeit der Zeit.	65
Abbildung 80: Für die Spaltversuche vorbereitete Bohrlöcher im Steinsalzbeton.	66
Abbildung 81: Einsatz des Spaltgeräts am Steinsalzbeton sowie erste Rissbildung.	66
Abbildung 82: Verlauf der durch den Spaltversuch erzeugten Bruchkanten des Steinsalzbetons.	66
Abbildung 83: Durch den Spaltversuch erzeugter Gesamtabbruch aus dem Steinsalzbeton.	66
Abbildung 84: Eingesetzter Nukleargreifer des Herstellers Kinshofer GmbH.	67
Abbildung 85: Versuchscontainer mit Kammerabtrennung für Löseversuche.	70
Abbildung 86: A-Bock auf Versuchscontainer für die Löseversuche positioniert.	70
Abbildung 87: A-Bock inklusive Flaschenzug.	70
Abbildung 88: Schematischer Aufbau des Versuchstandes der Zugversuche.	71
Abbildung 89: Vorbereitung der Gebinde für die Zugversuche.	72
Abbildung 90: Trockendichte von Salzgrus in Abhängigkeit des Wassergehaltes (zur Bestimmung der maximalen Trockendichte).	73
Abbildung 91: Verdichtungsgrad von Salzgrus in Abhängigkeit vom Wassergehalt.	73
Abbildung 92: Kraftsensor über Lastösen am Gebinde fixiert.	74
Abbildung 93: Eingesetzte Flügelsonde inklusive Zubehör.	75
Abbildung 94: Rammsonde beim Einsatz.	75
Abbildung 95: Zur Salzverdichtung eingesetzter Vibrationsstampfer.	76
Abbildung 96: Zur Salzverdichtung eingesetzte Rüttelplatte.	76
Abbildung 97: Für Zugversuche liegend eingebautes Gebinde.	77
Abbildung 98: Für Zugversuche stehend eingebautes Gebinde.	77
Abbildung 99: Fotostrecke beim Ziehen liegend eingebrachter Gebinde.	79
Abbildung 100: Fotostrecke beim Ziehen stehend eingebrachter Gebinde.	79
Abbildung 101: Ergebnisse der Rammsondierung für Zugversuch 1 und Zugversuch 4.	82



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 10 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Abbildung 102: Ergebnisse der Flügelsondierung für Zugversuch 1 und Zugversuch 4.	82
Abbildung 103: Ergebnisse der Rammsondierung für Zugversuch 2 und Zugversuch 7.....	83
Abbildung 104: Ergebnisse der Flügelsondierung für Zugversuch 2 und Zugversuch 7.	83
Abbildung 105: Siebanalyse der Salzmatrix zur Bestimmung der Korngrößenverteilung.....	84
Abbildung 106: Zugkraftverlauf eines liegend eingebrachten Gebindes mit Lasthaken.	85
Abbildung 107: Zugkraftverlauf eines stehend eingebrachten Gebindes mit Lasthaken.	86
Abbildung 108: Zugkraftverlauf der liegend eingebrachten Gebinde mit Lasthaken.	86
Abbildung 109: Zugkraftverlauf der stehend eingebrachten Gebinde mit Lasthaken.	87
Abbildung 110: Zugkraftverlauf der liegend eingebrachten Gebinde mit Vakuumheber.....	88



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 11 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Zusammensetzung des verwendeten Salzgruses aus dem Salzbergwerk Heilbronn (gemäß Anhang 1).....	21
Tabelle 2: Sieblinie und Durchgang des verwendeten Salzgruses.	21
Tabelle 3: Untersuchung unterschiedlicher W/Z-Werte der hergestellten Steinsalzbetonmischungen.	24
Tabelle 4: Ermittelte Druckfestigkeiten und mittlere Rohdichte der hergestellten Steinsalzbetonmischungen.	26
Tabelle 5: Gemessene Materialkennwerte unterschiedlicher Steinsalzbetone.....	28
Tabelle 6: Produktdaten der eingesetzten Versuchscontainer.....	31
Tabelle 7: Produktdaten des eingesetzten Trägergeräts – Hitachi Ltd., ZX85US-3.	35
Tabelle 8: Produktdaten der eingesetzten Hydraulikfräse – Simex s.r.l., Typ TF400.	49
Tabelle 9: Produktdaten des eingesetzten Hydraulikmeißels, İnan Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş., Typ MTB 40	56
Tabelle 10: Produktdaten des eingesetzten Spaltgeräts – Darda, Typ C 12 W	62
Tabelle 11: Versuche mit Spaltgerät – Spaltkraft und Größe der herausgelösten Steinsalzbetonstücke.	64
Tabelle 12: Parameter für Zugversuche mit Lasthaken.	78
Tabelle 13: Gebogener Vakuumheber (links) und flacher Vakuumheber (rechts).....	81
Tabelle 14: Zugversuche – Übersicht Messwerte für stehend eingebrachte Gebinde.	87
Tabelle 15: Zugversuche – Übersicht Messwerte für liegend eingebrachte Gebinde.....	88



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 12 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

ANHANGSVERZEICHNIS

Anhang 1	Herstellerangabe zu Salzgrus
Anhang 2	
Anhang 2.1	Prüfbericht 1 (18.09.2012)
Anhang 2.2	Prüfbericht 2 (31.10.2012)
Anhang 2.3	Prüfbericht 3 (31.12.2012)
Anhang 3	Porositätsbestimmung
Anhang 4	Gesamtübersicht Versuchsaufbau
Anhang 5	Positionen der Gebinde im Container für Löseversuche
Anhang 6	Abfallbehälter 200 l

 Bundesamt für Strahlenschutz				Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II – Vorversuche		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 13 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AP	Arbeitspaket
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMU-IP	Druckmessumformer – Installationspunkt
DMU-MS	Druckmessumformer – Messstelle
DPL	Leichte Rammsonde (dynamic probing light)
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
LAW	Schwachradioaktive Abfälle (low active waste)
Ltd.	Gesellschaft mit beschränkter Haftung (limited)
MAW	Mittelradioaktive Abfälle (medium active waste)
RGK	Raumgewichtsklasse
SE	Europäische Gesellschaft (Societas Europaea)
s.r.l.	Gesellschaft mit beschränkter Haftung (sociedad de responsabilidad limitada)
s.r.o.	Gesellschaft mit beschränkter Haftung (spoločnosť s ručením obmedzeným)
TMRK	Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen
WPM	Winkelpotentiometer
W/Z-Wert	Wasser/Zement-Wert



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 14 von 116
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

SYMBOL- UND EINHEITENVERZEICHNIS

Symbol

A	mm ²	Fläche
c _{iv}	kN/m ²	Scherwiderstand von Salzgrus
d _{FL}	cm	Flügelbreite der Flügelsonde
f _c	N/mm ² bzw. MPa	Einaxiale Druckfestigkeit
F _{max}	N	Maximalkraft
F _R	N	Resultierende Kraft
F _{Zyl_L}	N	Zylinderkraft Löffel
l ₁	mm	Abstand zwischen Gelenkpunkten P ₁ und P ₂
l ₂	mm	Abstand zwischen Gelenkpunkt P ₂ und Werkzeugspitze
m _F	kg	Trockenmasse
M _{max}	kNm	Maximales Drehmoment
P ₁	-	Gelenkpunkt des Baggerauslegers
P ₂	-	Gelenkpunkt des Baggerauslegers
P _{hyd}	kW	Hydraulische Leistung
p _{hyd}	bar	Hydraulischer Druck
V	m ³ bzw. l	Volumen
V _F	m ³ bzw. l	Feststoffvolumen
V _P	m ³ bzw. l	Porenvolumen
Ṡ _{hyd}	l/min	Hydraulischer Durchfluss
α	°	Winkel
ε	-	Porosität
ρ _F	kg/m ³	Feststoffdichte
ρ _R	kg/m ³	Trockenrohddichte



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 15 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Einheit/Konstante

bar	Druck
cm	Zentimeter
d	Tag
g	Gramm
Hz	Hertz
kg	Kilogramm
kN	Kilonewton
l	Liter
m	Meter
min	Minute
mm	Millimeter
MPa	Megapascal
N	Newton
s	Sekunde
t	Tonne
W	Watt
π	3,14159..., Pi (mathematische Konstante)



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 16 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

1 EINLEITUNG

1.1 AUSGANGSLAGE

Die Schachanlage Asse II (im Folgenden kurz „Asse“ genannt) 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 schwachradioaktiver Abfälle (low active waste – LAW) und mittelradioaktiver Abfälle (medium active waste – MAW) auf drei unterschiedlichen Sohlen in insgesamt 13 Kammern eingelagert [2].

Infolge des hohen Durchbauungsgrades an der Südflanke der Schachanlage Asse II konnte das angrenzende Nebengebirge um mehrere Meter in das Grubengebäude hinein konvergieren [3]. Diese Konvergenzbewegungen führten zu einer Verletzung der Barrierenintegrität, sodass seit 1988 Lösungen aus dem Deckgebirge an der Südflanke zutreten. Derzeit beträgt die gefasste Lösungsmenge etwa 12 m³ pro Tag. Von 1995 bis Anfang 2004 wurden zur Stabilisierung der Südflanke die bis dahin noch offenen Hohlräume mit Salzgrus verfüllt. Da der Salzgrus über einen nicht unerheblichen Porenraum verfügt und zusammengedrückt wird, halten die Verformungen weiterhin an. Aufgrund der anhaltenden Verformungen rutscht das Deckgebirge nach und es besteht jederzeit die Möglichkeit, dass sich Lage und Menge 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. Allerdings bestehen bei der Option der Rückholung noch Wissenslücken und Unsicherheiten, die die Machbarkeit der Rückholung in Frage stellen können. 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 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 [2].

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



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 17 von 116
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

1.2 ÜBERSICHT DER ARBEITSPAKETE

Arbeitspaket 1: Feststellung der am Markt vorhandenen Rückbau-/Rückholtechniken

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

Arbeitspaket 2: Erstellung und Vorstellung eines Zwischenberichts

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

Arbeitspaket 2a: Vorversuche mit Versatzmaterial und Versuchsreihen zum Freilegen und Lösen von Gebinden

In diesem Arbeitspaket wurden erste Vorversuche mit Salz durchgeführt. Innerhalb dieser Versuchsreihen wurden einige der im Rahmen der Recherche in Arbeitspaket 1 identifizierten Geräte und Werkzeuge auf deren grundsätzliche Eignung beim Freilegen und Lösen von Gebinden erprobt. Die Ergebnisse werden in diesem Zwischenbericht dargestellt.

Arbeitspaket 3a: Studie zum Sondervorschlag „Schildvortrieb mit Teilflächenabbau“

Zur Untersuchung der Eignung eines „Schildvortriebs mit Teilflächenabbau“ für die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Asse wird eine Machbarkeitsstudie durchgeführt.

Arbeitspaket 3: Prüfung, welche der vorhandenen Techniken für die Rückholung der Abfälle aus der Asse geeignet sind

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

Arbeitspaket 4: Erstellung und Vorstellung eines Zwischenberichts

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

Arbeitspaket 5: Identifizierung notwendiger Entwicklungsbedarfe

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



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 18 von 116
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Arbeitspaket 6: Erstellung und Vorstellung eines Zwischenberichts

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

Arbeitspaket 7: Erstellung und Vorstellung eines Abschlussberichts

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

Arbeitspaket 8: Technikumsversuche mit am Markt vorhandenen Rückbau-/Rückhol-techniken (optional)

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

Arbeitspaket 9: Berichtserstellung inklusive Versuchsdokumentation (optional)

Die Ergebnisse der Technikumsversuche werden in Form eines Versuchsberichtes dargestellt.

1.3 ZIELSETZUNG DES ARBEITSPAKETES 2A

Im Zuge einer ersten praktischen Prüfung werden ausgewählte Werkzeuge auf deren grundsätzliche Eignung bei den Verfahrensschritten Freilegen und Lösen von Gebinden aus Steinsalzbeton untersucht. Des Weiteren wird die notwendige Zugkraft beim Herausziehen von Gebinden aus verdichtetem Salzgrus untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse stellen eine Basis für die weiterführenden Arbeitspakete bezüglich Eignungsfähigkeit und etwaiger Entwicklungsbedarfe von Gerätschaften und Werkzeugen dar.

1.4 ABGRENZUNG

Im hier vorgestellten Arbeitspaket 2a wird die grundsätzliche Eignung vorausgewählter Gerätschaften und Werkzeuge zur Rückholung von radioaktiven Abfällen untersucht. Der Fokus liegt auf dem Verfahrensschritt des Freilegens und Lösens von im verfestigten Salzgrus eingeschlossenen Gebinden. Angrenzende Themenbereiche wie z. B. Aspekte des Strahlenschutzes, der Fernhandlung etc. bleiben zunächst noch unberücksichtigt. Eine detaillierte Bewertung der Maschinenteknik und die Identifikation etwaiger Entwicklungsbedarfe sind Teil der Arbeitspakete 3 und 5.

Innerhalb des vorliegenden Arbeitspaketes werden ausschließlich die Werkzeuge Baggerlöffel, Reißzahn, Hydraulikmeißel, Hydraulikfräse mit Querschneidkopf, hydraulisches Spaltgerät und Nukleargreifer am verfestigten Salzgrus (hier: Steinsalzbeton) untersucht. Am mechanisch verdichteten Salzgrus kommen Lasthaken und Vakuumheber zum Einsatz.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 19 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

1.5 VORGEHENSWEISE

In einem ersten Schritt wurde ein Ersatzmaterial entwickelt, dessen Eigenschaften denen von verfestigtem Salzgrus ähnlich sind [1], [4]. Dies wurde durch Zumischung von entsprechenden Mengen an Zement und Wasser zum Salzgrus (Steinsalzbeton) erreicht. In Kapitel 2 werden die Entwicklungsarbeiten bis hin zur Herstellung der erforderlichen Mengen dieses Steinsalzbetons aufgezeigt.

Kapitel 3 befasst sich mit dem Aufbau eines Versuchsstandes und der Durchführung praxisnaher Untersuchungen vorausgewählter Werkzeuge zum Freilegen und Lösen von im Steinsalzbeton eingeschlossener Gebinde. Es handelt sich um Werkzeuge, die während der Marktrecherche in AP1 identifiziert wurden und grundsätzlich geeignet erscheinen. Die Ergebnisse der Versuchsreihe werden in Kapitel 3.3 zusammenfassend dargestellt.

Abschließend wird in Kapitel 4 die erforderliche Zugkraft beim Lösen eines unbeschädigten Gebindes für verschiedene Einlagerungssituationen aus verdichtetem, nicht verfestigtem Salzgrus untersucht. In diese Versuchsreihe sind Versuche zur Bergung mittels Lasthaken und Vakuumheber integriert. Die Versuchsergebnisse werden in Unterkapitel 4.3 zusammenfassend dargestellt.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 20 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

2 VORUNTERSUCHUNGEN MIT STEINSALZ

Ziel dieses Arbeitspaketes ist die Untersuchung von ausgewählten Werkzeugen aus dem Arbeitspaket 1 im Hinblick auf den Verfahrensschritt „Freilegen und Lösen“ von im verfestigten Salzgrus eingeschlossenen Gebinden. Es sind die Charakteristika der einzelnen Werkzeuge zu ermitteln, wie beispielsweise die am Bearbeitungswerkzeug auftretenden Kräfte, das Bearbeitungsergebnis und die entsprechende Abtragsleistung. Zudem wird die grundsätzliche Eignung dieser Werkzeuge zum Freilegen und Lösen von Gebinden untersucht. Hierzu ist es notwendig, das lockere Salzgrus so zu modifizieren und zu verfestigen, dass die Druckfestigkeit mindestens der angenommenen Druckfestigkeit des Versatzmaterials in der Asse entspricht. Die dort eingelagerten Gebinde sind seit über 30 Jahren großteils in Salzgrus eingebettet. Es ist nach derzeitigem Kenntnisstand davon auszugehen, dass es zwischenzeitlich zu einer Verfestigung des Salzgruses gekommen ist und die Gebinde dadurch von einer festen Salzgrusmatrix umgeben sind. Um diesen Zustand nachzubilden, werden im Rahmen des Arbeitspaketes 2a zunächst Untersuchungen durchgeführt, mit dem Ziel, eine beschleunigte Verfestigung von gebrochenem Steinsalz (Salzgrus) herbeizuführen. Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse vorgestellt.

2.1 EINSATZ VON STEINSALZ IN DER ASSE

Um die Hohlräume in den Einlagerungskammern aufzufüllen und zu verschließen, wurde in der Asse insbesondere das Versatzmaterial Salzgrus verwendet. Zum einen hat der Salzgrus die Aufgabe, eine geotechnische Barriere zur langfristig sicheren Abdichtung der radioaktiven Abfälle zu bilden. Zum anderen soll durch die Reduzierung des Hohlraumanteils innerhalb des Salzstockes, die Betriebssicherheit mit der beginnenden Versatzphase erhöht werden. Die vom umgebenden Gebirge wirkenden Kräfte sollen durch das Versatzmaterial aufgenommen werden. In der Asse wurde der Salzgrus lagenweise auf die Gebinde eingebracht und verdichtet. Der Salzgrus bildet eine feste Matrix, welche die Gebinde dicht umschließt und somit eine geologische Barriere gegenüber der Umgebung bildet [5].

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wird von einem bereits verfestigten Zustand des Salzgruses in der Asse ausgegangen. Die eingelagerten Gebinde sind großteils in dieser festen Matrix eingebettet. Gemäß IFG-Bericht zur Tragfähigkeit des Gesamtsystems der Schachtanlage Asse [1] und der Dokumentation zur Verfüllung der Abbaue an der Südflanke der Schachtanlage Asse II [4] muss beim verfestigten Salzgrus von einer Druckfestigkeit von 5 – 10 MPa und einer Porosität von 0,15 – 0,23 ausgegangen werden. Um den Salzgrus, der die Gebinde in der Asse umgibt, nachzubilden, wurde vom KIT feinkörniger Salzgrus aus dem Salzbergwerk Heilbronn bezogen. Nachfolgende Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung gemäß Anhang 1, Tabelle 2 die ermittelte Sieblinie des Salzgruses.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II – Vorversuche			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 21 von 116	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013	

Tabelle 1: Zusammensetzung des verwendeten Salzgruses aus dem Salzbergwerk Heilbronn (gemäß Anhang 1).

Natriumchlorid	anhaftende Feuchte	Korngröße	Schüttdichte		
ca. 98 %	ca. 0,2 %	0 mm - 5 mm	1,2 g/cm ³		
Korngröße und Verteilung in Masseprozent					
3,15 mm - 5 mm	1,6 mm - 3,15 mm	800 µm - 1,6 mm	160 µm - 800 µm	125 µm - 160 µm	<125µm
17,8 %	50,7 %	22,9 %	6,4 %	0,6 %	1,6 %

Tabelle 2: Sieblinie und Durchgang des verwendeten Salzgruses.

Bestimmung der Sieblinie [mm] und des Durchgangs [%]									
mm	0,18	0,25	0,315	0,4	0,5	1	2	3	5
%	2,3	5,9	9,8	12,9	16,4	35,3	76,8	99	100

2.2 ERHÄRTUNGSVERSUCHE MIT STEINSALZ

Der zum Verfüllen der Einlagerungskammern in der Asse verwendete Salzgrus wurde im Laufe der Jahrzehnte durch den Druck des umgebenden Gebirges verdichtet. Dabei änderte sich der Porenraum und damit die Durchlässigkeit des Versatzmaterials. Einsetzende Kristallisationsvorgänge führten schließlich zu einer Verfestigung. Grundsätzlich werden als Ursache der Verfestigung zwei Mechanismen unterschieden [6]. Zum einen kommt es durch die Verdunstung des Wassers aus einer Salzlösung zur Bildung von Mikrokristallen zwischen den Salzkörnern, was zu einer Verbindung der einzelnen Salzkörner untereinander führt. Zum anderen kann eine intensive Pressung von Salzkörnern, durch von außen aufgebracht Druck, zu einer Verformung und damit zu einer Verbindung der Körner untereinander führen [6]. Im Rahmen von Voruntersuchungen wurde in kleinmaßstäblichen Versuchen geprüft, ob die Einflussfaktoren, wie beispielsweise der Wassergehalt, die Mahlfineinheit oder auch eine Wärmezufuhr, zum Verfestigen des Salzgruses führen können. Im Folgenden werden die Untersuchungsergebnisse zusammengefasst.

2.2.1 Wassergehalt

Zur Untersuchung der Auswirkung des Wassergehaltes wurde jeweils die gleiche Menge an Salzgrus mit unterschiedlichen Anteilen Leitungswasser versetzt und an der Luft getrocknet. Es sollte ermittelt werden, ob es durch die Kristallisation in der Salzlösung, hervorgerufen durch die Verdunstung des Wassers, zu einer Verbindung der einzelnen Salzkörner kommt. Hierzu wurde jeweils einer Masse von 500 g Salzgrus eine den unterschiedlichen Masseprozenten entsprechende Menge an Wasser mithilfe einer Sprühnebelpestole hinzugefügt und die beiden Stoffe vermischt. Die Untersuchungen wurden in offenen Kunststoffbehältern durchgeführt.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 22 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013



Abbildung 1: Untersuchung der Auswirkung des Wasseranteils auf die Verfestigung von Salzgrus.

Der Wasseranteil in Massenprozent wurde von 2 bis 16 % in Schritten von 2 % verändert. Bei einem Masseanteil von 12 % Wasser kam es zu einer leichten Trennung des Wassers vom Salzgrus (Abbildung 1). Eine deutliche Übersättigung des Salzgruses lag ab 14 % Wasseranteil vor. Das Gemisch (Wasser und Salzgrus) wurde über einen Zeitraum von drei Wochen auf Verfestigung untersucht. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die eingetretene Kristallisation durch das Verdunsten des Wassers nicht zu der gewünschten Verfestigung des Salzgruses geführt hat. Der Salzgrus war auch nach der Prüfzeit von drei Wochen im rieselfähigen Zustand.

2.2.2 Mahlfeinheit

Im nächsten Schritt wurde untersucht, ob durch kleinere Salzkörner eine Verfestigung durch Kristallisation erreicht werden kann. Die oben beschriebenen Versuche wurden wiederholt, nachdem die Korngröße des Salzgruses verändert wurde.

Der Salzgrus wurde mithilfe eines Backenbrechers gemahlen (Abbildung 2, links). Die ursprüngliche maximale Korngröße von 5 mm wurde somit auf maximal 2 mm reduziert. Um eine große Verdunstungsfläche zu erhalten, wurde für die Salzmischung ein Mörtelkübel mit einem Fassungsvermögen von 50 l verwendet. Der Salzgrus wurde zunächst gemahlen und anschließend lagenweise in den Mörtelkübel eingebracht. Jede Lage wurde mithilfe einer Sprühnebelpistole gleichmäßig mit einem feinen Wassersprühnebel befeuchtet. Zudem wurde zum Vergleich ein Mörtelkübel mit angefeuchtetem Salzgrus ursprünglicher Korngröße vorbereitet.

Als Ergebnis aus diesen Versuchen kann festgehalten werden, dass die große Verdunstungsfläche sowie die geringere Korngröße des Salzgruses an der Oberfläche zur Bildung einer dünnen Salzkruste geführt haben. Eine verfestigte und tragfähige Gesamtstruktur des restlichen Salzgruses unter der Oberfläche, konnte jedoch innerhalb der Versuchsdauer von drei Wochen nicht erreicht werden.

2.2.3 Erhärtungsverhalten unter Wärmezufuhr

Es kann zur Kristallisation einer Salzlösung kommen, sobald das vorhandene Wasser ausreichend verdunsten kann. Zudem hat sich gezeigt, dass feinkörniger Salzgrus eine bessere Grundlage zur Kristallisation bietet. Um den Verdunstungsvorgang zu beschleunigen, wurden die Trocknungsversuche mithilfe von Wärme unterstützt. Hierzu wurden in Mörtelkübeln gemahlener (0 - 2 mm) und nicht gemahlener Salzgrus (0 - 5 mm) mit Wärmelampen einer Leistung von 75 W, wie in Abbildung 2 rechts dargestellt, bestrahlt.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 23 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Die zugeführte Wärme hat sowohl zu einer Verfestigung der Oberfläche beim gemahlenen (0 - 2 mm) als auch beim nicht gemahlene Salzgrus (0 - 5 mm) geführt. Die Kruste, die sich dabei mit einer Dicke von ca. 20 mm gebildet hatte, verhinderte bzw. verlangsamte jedoch die weitere Verdunstung des Wassers im restlichen Salzgrus. Ein Durchstoßen dieser verfestigten Schicht ergab, dass sich der noch feuchte Salzgrus unterhalb der Kruste weiterhin in einem rieselfähigen Zustand befand.



Abbildung 2: Eingesetzter Backenbrecher zum Zermahlen von Salzgrus (links), Wärmelampen zum Beschleunigen des Verfestigungsvorgangs von Salzgrus (rechts).

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Verfestigung der obersten Schicht (ca. 20 mm) erst nach einer Zeitdauer von sechs Wochen stattfindet. Die an der Oberfläche verfestigte Schicht verhindert bzw. verzögert eine weitere Verfestigung der tieferen Schichten. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine Verfestigung von feuchtem Salzgrus, alleine durch Kristallisationsvorgänge, innerhalb des Zeitrahmens, welcher für das AP2a zur Verfügung stand, nicht zum gewünschten Ergebnis geführt hat. Die eingangs erwähnte Möglichkeit einer Verfestigung durch hohen Druck, wurde im Rahmen dieser Studie nicht untersucht. Zwar haben Untersuchungen gezeigt, dass eine Verfestigung unter Laborbedingungen unter sehr hohem Druck (ca. 100 bar) und in kleinerem Maßstab möglich ist, jedoch konnte dieser Zustand bei den geplanten großmaßstäblichen Versuchen mit einer benötigten Menge von ca. 35 m³ bei einer Fläche von ca. 15 m² nicht realisiert werden [7].

2.3 STEINSALZBETON

Um eine schnelle Verfestigung des Salzgruses zu erreichen, wurden Versuche unter Beimischung von Zement durchgeführt. Ein Gemisch aus Zement, Wasser und Gesteinszuschlägen wird als Beton bezeichnet. Da es sich bei Steinsalz ebenfalls um ein Gestein handelt, kann in diesem Kontext eine Mischung aus Zement, Wasser und Salzgrus als Steinsalzbeton bezeichnet werden. Als Ausgangspunkt für die Steinsalzbetonherstellung wurde ein Volumenverhältnis von Zuschlag : Zement : Wasser von 70 : 18 : 12 gewählt. Die sich nach der Verfestigung einstellende Festigkeit des Betons wird vorwiegend durch den sogenannten Wasserzementwert (W/Z-Wert)



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 24 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

bestimmt; dem Verhältnis des der Mischung zugefügten Wassers zu der Menge an beigemischem Zement. Um den Einfluss des W/Z-Wertes auf den Steinsalzbeton untersuchen zu können, wurden verschiedene Mischungen mit unterschiedlichen W/Z-Werten hergestellt.

Da in Bezug auf die momentane Einlagerungssituation in der Asse lediglich Annahmen zur anzu-treffenden Festigkeit der Salzgrusmatrix getroffen werden können, wurde auf Seiten des KIT eine Zielfestigkeit des Steinsalzbetons von 15 MPa festgelegt. Diese Festigkeit liegt über den zuvor genannten Annahmen bezüglich der Festigkeitswerte (5 – 10 MPa) des in der Asse vorhandenen Versatzmaterials. Somit können die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführten Versuche und daraus resultierende Aussagen zur grundsätzlichen Anwendbarkeit der ausgewählten Maschinenteknik mit einer entsprechenden Sicherheit zur grundsätzlichen Eignung in der Asse getroffen werden.

2.3.1 Erhärtungsversuche mit Steinsalzbeton

Die ersten Erhärtungsversuche unter Beimischung von Zement haben bereits nach einem Tag zu einer Verfestigung des Salzgruses geführt. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurden unterschiedliche Mischungen hergestellt und die jeweiligen einachsigen Druckfestigkeiten ermittelt. In nachfolgender Tabelle 3 sind die untersuchten Mischungen aufgeführt. Die Mischungen P1 und P2 wurden als Voruntersuchung durchgeführt. Zusätzlich wurden die Mischungen M1, M2 und M3 im Rahmen der zweiten Druckfestigkeitsprüfung hergestellt, um die Grenzen der erreichbaren Festigkeiten von Steinsalzbeton näher zu untersuchen.

Tabelle 3: Untersuchung unterschiedlicher W/Z-Werte der hergestellten Steinsalzbetonmischungen.

Parameter	P 1	P 2	M 1	M 2	M 3
Salz: [Vol.-%] / [Masse-%]	70 / 71,5	70 / 71,6	70 / 69,8	70 / 70,6	70 / 70,9
Zement: [Vol.-%] / [Masse-%]	18 / 18,3	16 / 16,4	20 / 21,9	20 / 20,2	22 / 22,3
Wasser: [Vol.-%] / [Masse-%]	12 / 10,2	14 / 12,0	10 / 8,3	10 / 9,2	8 / 6,8
Anzahl der angefertigten Proben:	3	3	9	9	9
W/Z-Wert: [Masse-%]	0,56	0,73	0,38	0,46	0,30

Die unterschiedlichen Mischungen wurden mithilfe eines Trommelmischers hergestellt. Die Masse des schnellhärtenden Zements der Festigkeitsklasse 32,5R wurde mit einer Waage ermittelt und mit dem Salzgrus mit maximaler Korngröße von 5 mm vermischt. Anschließend wurde die entsprechende Masse an Wasser hinzugefügt. Nach Verfüllen des Gemisches in würfelförmige Schalungen mit Kantenlängen von jeweils 200 mm wurden die Proben mithilfe eines Rütteltischs verdichtet. Um einen anfänglichen Feuchtigkeitsverlust zu vermeiden, wurden die mit Steinsalzbeton gefüllten Schalungen mit Folien abgedeckt. Die so hergestellten Probewürfel wurden unter gleichen Randbedingungen abgedrückt. Daher wurden die Proben nach dem Verfestigen in einer Klimakammer bei einem Normklima (23°C, 50 % Luftfeuchtigkeit), gemäß DIN 50014 [8], gelagert. Nach jeweils 7, 14 sowie 28 Tagen wurde die einachsige Druckfestigkeit ermittelt. Die Normfestigkeit von Betonen ist gemäß DIN EN 206-1 [9] nach 28 Tagen erreicht. Nach diesem Zeitpunkt verläuft der weitere Anstieg der Festigkeit nur noch sehr langsam.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 25 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

2.3.2 Untersuchungen zu Druckfestigkeit und Porosität von Steinsalz- beton

Zur Prüfung der einachsigen Druckfestigkeit wurde das in Abbildung 3 dargestellte Prüfgerät zur Druckfestigkeitsmessung des Herstellers Toni Technik Baustoffprüfssysteme GmbH, Typ 2031 eingesetzt. Vor jeder Prüfung wurden die Probengeometrie sowie die Probenmasse und damit die Rohdichte der Proben bestimmt. Nach dem Einspannen der Proben in die Prüfmaschine wurde mit einer Prüfgeschwindigkeit von ca. 0,6 MPa/s beziehungsweise einer Laststeigerungsrate von 13,5 kN/s bis zum Versagen der Würfel abgedrückt. Auf diese Weise wurde der Maximalwert der eingebrachten Druckkraft F_{max} beim Versagen der Probewürfel ermittelt. Der entsprechende Wert der Druckfestigkeit f_c gemäß Gleichung (1) in N/mm² bzw. MPa wurde anschließend mit den zuvor ermittelten Geometriewerten für die Fläche A berechnet.

$$f_c = \frac{F_{max}}{A} \quad (1)$$



Abbildung 3: Prüfgerät zur Untersuchung der Druckfestigkeit, Hersteller Toni Technik Baustoffprüfssysteme GmbH, Typ 2031.

Die erste Prüfserie mit sechs Proben (P1 und P2) wurde einfach geprüft, während die zweite Prüfserie mit 27 Proben (M1, M2 und M3) jeweils dreimal durchgeführt wurde. Die Mittelwerte der erzielten Druckfestigkeiten sind in nachfolgender Tabelle 4 zusammengefasst.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 26 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Tabelle 4: Ermittelte Druckfestigkeiten und mittlere Rohdichte der hergestellten Steinsalzbetonmischungen.

Parameter	P1	P2	M1	M2	M3
W/Z-Wert: [Masse-%]	0,56	0,73	0,38	0,46	0,30
Druckfestigkeit nach 7 Tagen: [MPa]	5,7	2,3	19,7	8,3	7,9
Druckfestigkeit nach 14 Tagen: [MPa]	7,9	3,0	21,2	11,0	9,6
Druckfestigkeit nach 28 Tagen: [MPa]	11,5	4,2	28,3	13,5	14,9
Mittlere Rohdichte über alle Tage: [kg/m ³]	1.964	1.922	2.023	1.999	1.713

Die Ergebnisse zeigen einen Zuwachs der Festigkeit mit fortschreitender Zeit. Ohne Berücksichtigung der Mischung M3 ist festzustellen, dass mit steigendem W/Z-Wert die Druckfestigkeit abnimmt. Die Mischung M3 wurde nicht weiter berücksichtigt, da die Werte dieser Probe gemäß den Prüfberichten (Anhang 2) einer großen Streuung der Festigkeitswerte unterlagen. Aufgrund des kleinen W/Z-Wertes konnte bei der Herstellung dieser Probe keine ausreichende Vermischung und Verdichtung der einzelnen Bestandteile erreicht werden. Dementsprechend ist die Probe, wie in Abbildung 4 rechts gezeigt, mit vielen Porenräumen versehen, was die Reduzierung der Festigkeit zur Folge hat.



Abbildung 4: Prüfwürfel aus Steinsalzbeton der Mischungen M1, M2 und M3 (v. l. n. r.).

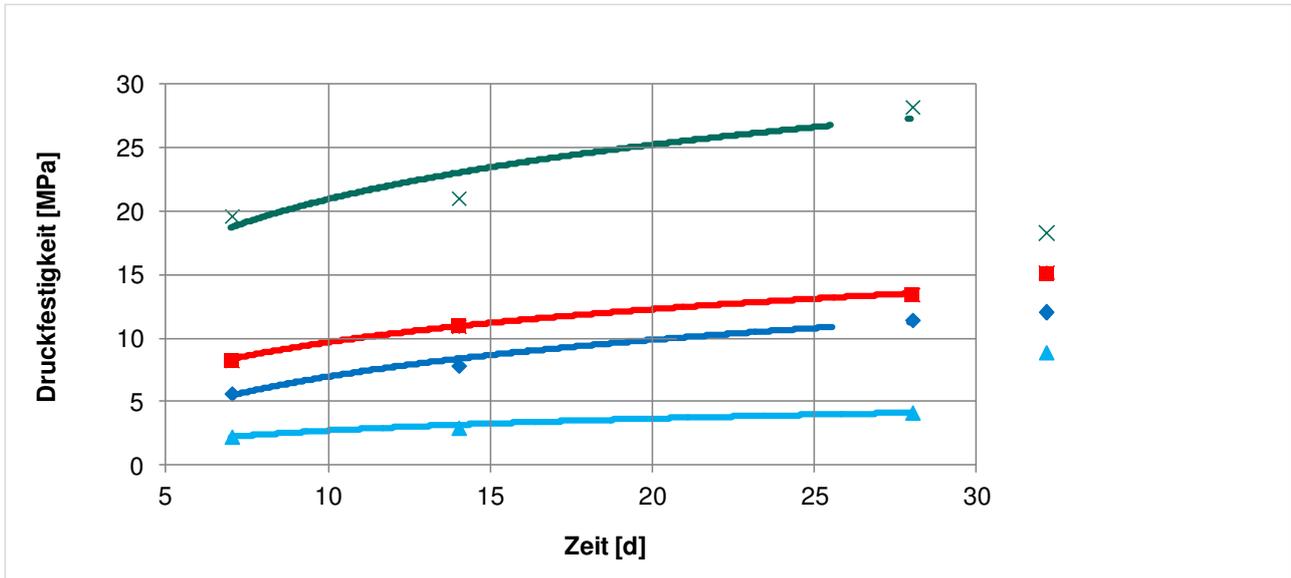
Zusammenfassend sind die Ergebnisse der Druckfestigkeitsuntersuchungen in nachfolgender Abbildung 5 dargestellt.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 27 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Die gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass die gesuchte Festigkeit von 15 MPa bei einem W/Z-Wert zwischen 0,38 bis 0,56 erreicht wird.

Eine weitere Kenngröße zur Charakterisierung von Steinsalzbeton stellt die Porosität ε dar. Die Porosität ist gemäß Gleichung (2) definiert als das Verhältnis des Porenvolumens V_P (Gesamtvolumen V abzüglich Feststoffvolumen V_F) zum Gesamtvolumen V , beziehungsweise über die dargestellte Beziehung zwischen der Trockenrohddichte ρ_R und der Feststoffdichte ρ_F eines Stoffes. Somit lässt sich die Porosität über die Messung der Trockenrohddichte ρ_R und der Feststoffdichte ρ_F bestimmen. Die Porosität ε wird im weiteren Verlauf als prozentuale Größe dargestellt. Die Beziehungen zu Feststoffdichte und Trockenrohddichte sind in Gleichung (3) aufgeführt.

$$\varepsilon = \frac{V_P}{V} = \frac{V - V_F}{V} = 1 - \frac{V_F}{V} = 1 - \frac{\rho_R}{\rho_F} \quad (2)$$

$$\rho_F = \frac{m_F}{V_F} \quad (3)$$

$$\rho_R = \frac{m_F}{V} = \frac{m_F}{V_F + V_P} \quad (4)$$

Die Trockenrohddichte ρ_R ist gemäß Gleichung (4) definiert als das Verhältnis der Trockenmasse m_F zum Gesamtvolumen V eines Stoffes [10]. Um die Trockenmasse m_F zu bestimmen, wurde der Prüfkörper aus Steinsalzbeton für 24 Stunden auf eine Temperatur von ca. 105 °C erhitzt und



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 28 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

anschließend gewogen. Dieses Vorgehen wurde wiederholt, bis der Massenunterschied zwischen zwei Trocknungsvorgängen nur noch 0,1 % betrug. Das Wasser im Prüfkörper war dann nahezu vollständig verdampft und der Prüfkörper konnte als massekonstant angenommen werden. Mit dem zuvor bestimmten Gesamtvolumen V des Prüfkörpers konnte die Trockenrohichte der Prüfkörper bestimmt werden.

Für die Ermittlung der Feststoffdichte ρ_F wurde das Verfahren der Gaspyknometrie herangezogen [11]. Bei diesem Verfahren wird das zu prüfende Material porenfrei zerkleinert und in einer luftdichten Kammer positioniert. Anschließend wird die Kammer mit einem Messgas geflutet. Hierbei wirkt das Feststoffvolumen V_F des Prüfkörpers gasverdrängend, während das übrige Kammervolumen ungehindert mit Gas aufgefüllt werden kann. Durch Messen des Drucks in der Prüfkammer und gemäß der idealen Gasgleichung kann das Feststoffvolumen V_F des Prüfstoﬀs ermittelt werden. Mithilfe der zuvor durch Wägung gemessenen Masse m_F des Prüfstoﬀs und des Volumenwertes V_F , kann die Feststoffdichte ρ_F als Quotient dieser beiden Größen, gemäß Gleichung (3), bestimmt werden.

Bei der Feststoffdichte handelt es sich um die Dichte der festen Bestandteile im Steinsalzbeton. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Bestandteile Salzgrus und Zement im porenfrei gemahlene Zustand vernachlässigbar geringe Unterschiede bezüglich der Feststoffdichten aufweisen. Aus diesem Grund wurden lediglich die Feststoffdichten für die Mischungen P1 und M1 exemplarisch untersucht – diese waren nach Anwendung des beschriebenen Verfahrens nahezu identisch (Tabelle 5).

Die Mischung P2 wies eine zu geringe und damit unbrauchbare Druckfestigkeit auf (Abbildung 5) und wurde daher bei den Porositätsuntersuchungen nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle 5 aufgeführt. Für die Mischungen P1, M1 und M2 wurde eine Porosität zwischen etwa 0,1 und 0,2 ermittelt. Es wird deutlich, dass die Porosität mit größerem W/Z-Wert und einer zugleich geringeren Festigkeit zunimmt.

Tabelle 5: Gemessene Materialkennwerte unterschiedlicher Steinsalzbetone.

Parameter	P1	M1	M2
W/Z-Wert: [Masse-%]	0,56	0,38	0,46
Trockenmasse [kg]	15,444	16,024	15,439
Trockenrohichte [kg/m ³]	1.889	2.003	1.930
Feststoffdichte [kg/m ³]	2.217	2.218	2.218
Porosität	0,148	0,097	0,130

2.4 ZUSAMMENFASSUNG DER VORUNTERSUCHUNGEN MIT SALZ, FESTLEGUNG STEINSALZBETONPARAMETER

Ziel der Voruntersuchungen war es, eine beschleunigte Verfestigung des Versatzmaterials Salzgrus zu erreichen. Hierzu wurden Laboruntersuchungen mit Salzgrus durchgeführt und die Einflussfaktoren Wassergehalt, Mahlfeinheit und Wärmezufuhr untersucht. Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass nur eine oberflächliche Verfestigung des



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 29 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Salzgruses möglich war. Eine durchgehende Verfestigung konnte während der Versuchsdauer nicht beobachtet werden.

Es wurde daraufhin geprüft, ob eine Verfestigung von Salzgrus unter Beimischung von Zement und Wasser herbeigeführt werden kann. Der hergestellte Steinsalzbeton hatte bereits nach einem Tag eine durchgehende Verfestigung gezeigt. Die durchgeführten Druckfestigkeitsuntersuchungen ergaben, dass die Endfestigkeit nach 28 Tagen sehr stark vom gewählten W/Z-Wert abhingen. Es wurden daher Mischungen mit unterschiedlichen W/Z-Werten hergestellt und somit der für die erforderliche Druckfestigkeit von 15 MPa entsprechende W/Z-Wert eingegrenzt (Abbildung 5).

Zur Ermittlung des gesuchten W/Z-Wertes für die erforderliche Druckfestigkeit von 15 MPa wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Hierzu wurden, wie in Abbildung 6 ersichtlich, die W/Z-Werte den entsprechenden Druckfestigkeitswerten gegenüber gestellt. Die Beziehung zwischen diesen zwei Größen konnte mit einer exponentiellen Regressionsfunktion wiedergegeben werden. Aus dem Verlauf des Regressionsgraphen wurde der gesuchte W/Z-Wert mit 0,48 für die erforderliche Festigkeit von 15 MPa ermittelt.

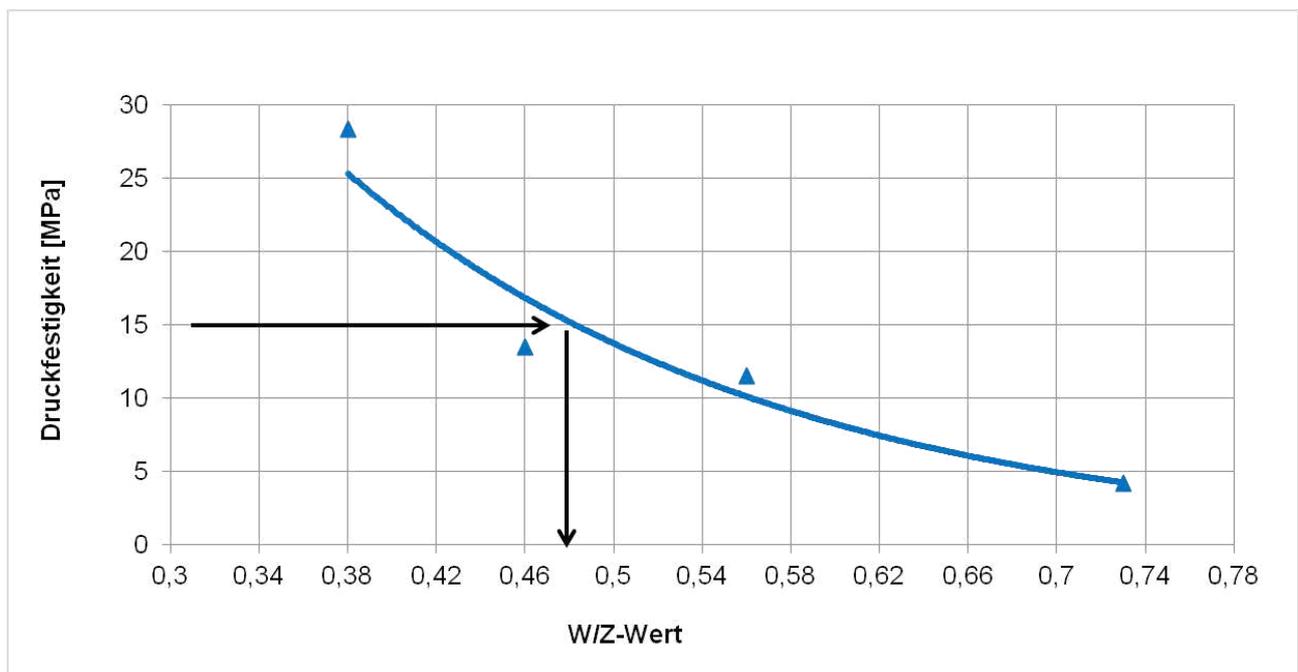


Abbildung 6: Regressionsanalyse zur Bestimmung des W/Z-Wertes für eine Festigkeit von ca. 15 MPa.

Für die im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Löseversuche wurden große Mengen (ca. 35 m³) Steinsalzbeton benötigt. Diese Menge konnte mithilfe eines mobilen Mischgeräts – einem sogenannten Transmix – hergestellt werden. Beim Transmix wird das zu verarbeitende Material in der Regel chargenweise hergestellt und jeweils mit Druckluft zum Einbauort transportiert.

Während der Herstellung des Steinsalzbetons wurden aus der Mischung Probewürfel gefertigt und nach 28 Tagen auf Druckfestigkeit überprüft. Die Ergebnisse zeigten eine mittlere Druckfestigkeit



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 30 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

von 18,8 MPa. Gemäß der Gleichungen (2) und (3) und der im Anhang 3 dargestellten Werte zur Trockenrohddichte wurde eine mittlere Porosität von 0,155 erzielt.

Die Abweichung bezüglich der erzielten Druckfestigkeit im großmaßstäblichen Versuch war auf die maschinelle Herstellung rückführbar. Die unter Laborbedingungen erreichbaren Genauigkeiten (z. B. W/Z-Wert = 0,48) konnten bei der großmaßstäblichen Herstellung des Mischgutes nicht mit vergleichbarer Genauigkeit umgesetzt werden. Die erzielte Porosität lag innerhalb der angestrebten Grenzen von 0,15 - 0,23 gemäß [4]. Somit wurden die Zielwerte bezüglich einachsiger Druckfestigkeit und Porosität erreicht. Für die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen kann deshalb in guter Näherung davon ausgegangen werden, dass die mechanischen Kennwerte des Steinsalzbetons den Zuständen des verfestigten Salzgruses in den Einlagerungskammern der Schachtanlage Asse II entsprechen.

Insgesamt wurden ca. 40 m³ Steinsalzbeton hergestellt. Diese Menge beinhaltet neben dem Material für den Versuchsaufbau auch das Material für die Herstellung der Probekörper, herstellungsbedingte Verluste (z. B. in Rohrleitungen) und einen Block (ca. 2 m³) für etwaige Vergleichsuntersuchungen.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 31 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

3 VERSUCHE ZUM FREILEGEN UND LÖSEN VON GEBINDEN

Aus den potentiell geeigneten Gerätschaften und Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II [12] wurde im Rahmen der „Vorversuche zur Maschinentechnik“, innerhalb der Versuchsreihe zum Freilegen und Lösen von Gebinden, eine Auswahl von Werkzeugen näher untersucht, um erste Erkenntnisse über die Eignungsfähigkeit der Maschinentechnik in der Praxis zu erhalten.

Die Auswahl der zu testenden Gerätschaften und Werkzeuge wurde basierend auf dem 1. Zwischenbericht als Entscheidungsgrundlage identifiziert und festgelegt. Bei den ausgewählten Geräten handelt es sich neben einem Hydraulikbagger mit Kettenfahrwerk als Trägergerät um die Anbauwerkzeuge: Baggerlöffel, Reißzahn, Anbaufräse, Meißel und Nukleargreifer. Darüber hinaus wurde ein handgeführtes Spaltgerät untersucht.

Es wurde ein Versuchsstand errichtet, der es ermöglicht, stehende und liegende Gebinde in Steinsalzbeton einzubetten. Der gesamte Versuchsaufbau ist in Anhang 4 dargestellt und in diesem Kapitel näher beschrieben.

3.1 DARSTELLUNG UND ERLÄUTERUNG DES VERSUCHSAUFBAUS

Der für den Versuchsteil zum Freilegen und Lösen von Gebinden gewählte Versuchsaufbau für die „Vorversuche zur Maschinentechnik“ bestand aus einem Versuchscontainer, in dem acht Gebinde in etwa 35 m³ Steinsalzbeton eingeschlossen wurden. Die Löseversuche wurden mit einem Hydraulikbagger und verschiedenen Anbauwerkzeugen, sowie einem handgeführten Spaltgerät durchgeführt.

3.1.1 Aufbau Versuchscontainer

Zur Aufnahme der Gebinde sowie des Steinsalzbetons wurde ein Abrollcontainer des Herstellers MONZA CZ. s.r.o. (Tabelle 6) gewählt, der nach oben hin offen war und sich auf einer Stirnseite über zwei Stahltüren öffnen ließ (Abbildung 7). Das Stahlblech des Containers war sowohl an den Seitenwänden als auch am Boden mit Profilstahl verstärkt.

Tabelle 6: Produktdaten der eingesetzten Versuchscontainer.

Höhe	2,40 m
Länge	6,50 m
Breite	2,35 m
Schwenk- und Öffnungswinkel der Türen	270°
Containervolumen	36,66 m ³
Eigengewicht	2,9 t
Stahlblech Container-Seitenwand	3 mm stark, Güte St 37-2
Stahlblech Container-Boden	4 mm stark, Güte St 37-2



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 32 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Abbildung 7: Versuchscontainer (Abrollcontainer des Herstellers MONZA CZ. s.r.o).

Insgesamt wurden im Versuchscontainer acht neue Fässer des Herstellers Eisenwerk Bassum m.b.H. vom Typ EB1-A200 mit einem Fassungsvermögen von jeweils 200 l platziert. Entsprechend ihrer Bauart waren diese Fässer mit den in der Schachtanlage Asse II eingelagerten Gebinden vergleichbar. Um ein Aufschwimmen während der Befüllung des Versuchscontainers mit Steinsalzbeton zu verhindern, wurden die Fässer vor ihrem Einbau vollständig mit Sand gefüllt. Die Gesamtmasse eines Gebindes betrug 300 kg. Abbildung 8 zeigt einige der verwendeten Fässer zum Zeitpunkt der Anlieferung.



Abbildung 8: Fässer des Herstellers Eisenwerk Bassum m.b.H. vom Typ EB1-A200.

Die Platzierung der Gebinde wurde so gewählt, dass jeweils vier in vertikaler Ausrichtung (stehend) und vier in horizontaler Ausrichtung (liegend) eingebaut wurden. Um die eingebauten Gebinde vollständig mit dem verwendeten Steinsalzbeton umschließen zu können, wurde mithilfe entsprechender Abstandhalter ein Mindestabstand von ca. 200 mm zum Containerboden



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 33 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

eingehalten. Auf diese wurden die Gebinde gestellt bzw. gelegt (Abbildung 9 und Abbildung 10). Hinsichtlich der einzelnen Positionen der Gebinde innerhalb des Versuchscontainers wurden die Gebinde sowohl mit größtmöglichem Abstand zu den begrenzenden Containerwänden als auch mit größtmöglichem Abstand der Gebinde untereinander eingebaut. Durch diese Einbausituation wurde gewährleistet, dass jedes Gebinde vollständig von Steinsalzbeton umgeben war. Die Einsatzmöglichkeit der Werkzeuge wurde dadurch nicht eingeschränkt. Die Angaben und Maße zur genauen Lage eines jeden Gebindes innerhalb des Versuchscontainers sind in Anhang 5 wiedergegeben.



Abbildung 9: Auflagerungssituation der stehenden Gebinde im Versuchscontainer.

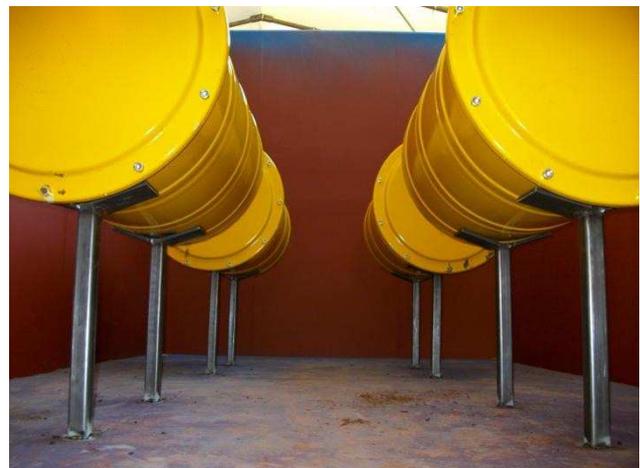


Abbildung 10: Auflagerungssituation der liegenden Gebinde im Versuchscontainer.

Nach erfolgtem Einbau der Gebinde an den jeweiligen Positionen (Abbildung 11) wurde der Versuchscontainer mit Steinsalzbeton verfüllt (Abbildung 12). Die genaue Zusammensetzung sowie die Eigenschaften des Steinsalzbetons sind in Kapitel 2.3 beschrieben.

Die Herstellung des Steinsalzbetons erfolgte vor Ort mit entsprechender Maschinenteknik. Hinsichtlich der erforderlichen Zusammensetzung des Steinsalzbetons, mit einer Mindestdruckfestigkeit von 15 MPa, waren die Ergebnisse aus den Voruntersuchungen mit Salzgrus und die daraus resultierenden Steinsalzbetonparameter maßgebend (Kapitel 2.4).



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 34 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Abbildung 11: Versuchscontainer mit aufgelagerten Gebinden vor der Betonage.

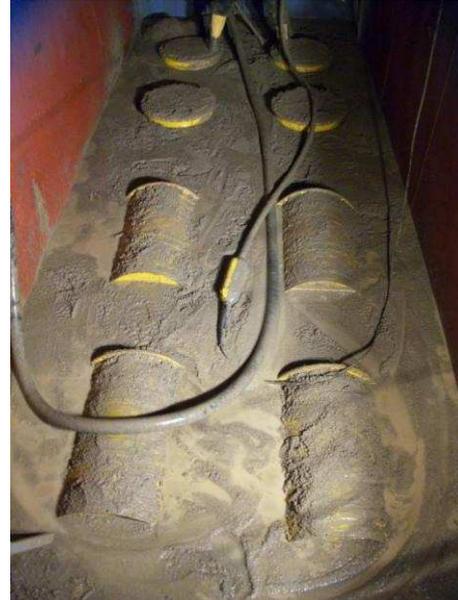


Abbildung 12: Versuchscontainer mit aufgelagerten Gebinden während der Betonage.

Die Herstellung erfolgte mittels eines Transmixes, einem mobilen Mischgerät der Firma Perfekt Estrich-Bodenbau GmbH (Abbildung 13 und Abbildung 14).



Abbildung 13: Transmix der Firma Perfekt Estrich-Bodenbau GmbH.



Abbildung 14: Befüllen des Transmixes mit Steinsalz.

Dieses Gerät eignet sich für die Herstellung von größeren Mengen an Estrich und wurde im vorliegenden Fall für die Herstellung von ca. 40 m³ Steinsalzbeton, der direkt vor Ort angemischt wurde, genutzt. Der Transmix ist ein Auflieger, auf dem zwei getrennte Kammern zur Aufnahme der beiden Mischgüter Steinsalz und Zement verbaut sind. Des Weiteren verfügt dieser Auflieger über eine Mischkammer, in der die beiden Mischgüter und das Wasser miteinander vermischt



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 35 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

werden. Die Mischzeit für eine Menge von ca. 0,2 m³ beträgt zwei Minuten. Das fertige Gemisch wird anschließend mittels Druckluft aus der Mischkammer über einen Schlauch zum Einbauort gefördert.

Der Steinsalzbeton wurde gemäß DIN 1045-2 [13] in weicher Konsistenz hergestellt und im Versuchscontainer verbaut, sowie unter Verwendung eines Innenrüttlers mit 57 mm Durchmesser und integriertem Umformer vom Typ IRFU57/230 des Herstellers Wacker Neuson SE verdichtet. Während des Einbaus wurden aus verschiedenen Chargen mehrere Steinsalzbetonproben entnommen, die nach einer Verfestigungszeit von 28 Tagen auf ihre Druckfestigkeit hin überprüft wurden. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die festgelegte Mindestdruckfestigkeit von 15 MPa mit den erzielten 18,8 MPa erreicht wurde.

3.1.2 Das Trägergerät

Als Trägergerät für die eingesetzten Anbauwerkzeuge wurde ein Hydraulikbagger des Herstellers Hitachi Ltd., Typ ZX85US-3 eingesetzt (Tabelle 7 und Abbildung 15). Dieser besaß eine Werkzeugaufnahme mit Schnellwechselfunktion.

Tabelle 7: Produktdaten des eingesetzten Trägergeräts – Hitachi Ltd., ZX85US-3.

Hersteller	Hitachi Ltd.
Typ	ZX85US-3
Art	Hydraulikbagger
Fahrwerk	Kette
Leistung laut Hersteller	39,4 kW (53,6 PS)
Standardanbaugerät	Tieflöffel (Ladevolumen 0,3 m ³)
Eigengewicht	8.000 kg
Tragfähigkeit bei größter Ausladung	1.020 kg



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 36 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Abbildung 15: Trägergerät Hitachi ZX85US-3 [14].

Mit einer Reichweite von maximal 6.760 mm (Abbildung 16) war das Trägergerät zudem ausreichend groß dimensioniert, um den gesamten Innenbereich des Versuchscontainers bearbeiten zu können.

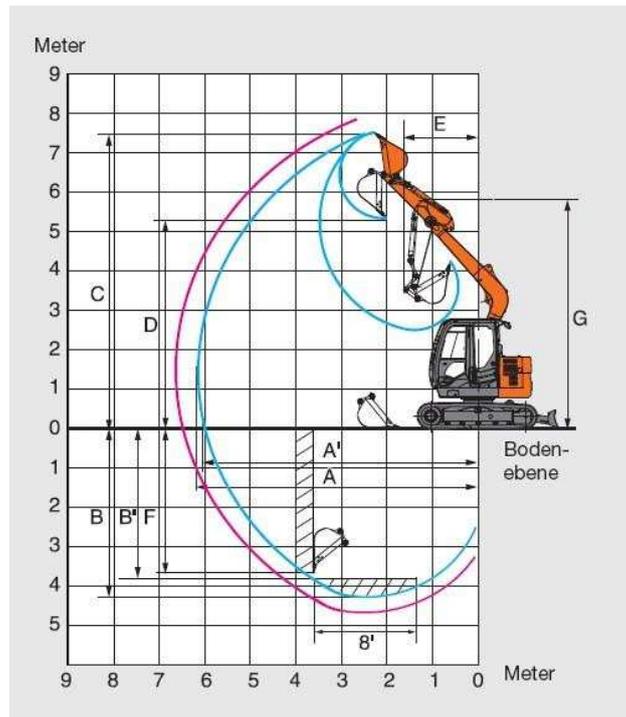


Abbildung 16: Wirkungsbereich des Trägergeräts [15].



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 37 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Für die Versuchsdurchführung wurde die Kurzheckversion des Baggers gewählt, welche beim Drehen des Oberwagens die Kette nicht überschreitet. Somit konnte das Gerät auch innerhalb des Versuchscontainers auf beengtem Raum eingesetzt werden.

3.1.3 Messtechnik am Trägergerät und Dokumentation

Zu Analyse- und Auswertungszwecken wurde entsprechende Messtechnik eingesetzt. Diese bestand aus verschiedenen Komponenten, die am Trägergerät sowie direkt an den Anbauwerkzeugen verbaut wurden.

Die Ergebnisse der jeweiligen Messungen werden in den Unterkapiteln zu Kapitel 3.2 vorgestellt und näher erläutert.

Der Gesamtaufbau der Messtechnik (Abbildung 17) bestand aus einem Mesrechner, einer Messkarte, sowie einer Hutschiene mit Verteilerklemmen, auf denen die unterschiedlichen Sensorsignale aufgelegt und mit den Eingängen der Messkarte verbunden wurden. Die Sensoren bestanden – je nach durchgeführter Messung – aus bis zu fünf Druckmessumformern, sowie Drehwinkelpotentiometern und einem Durchflusssensor.

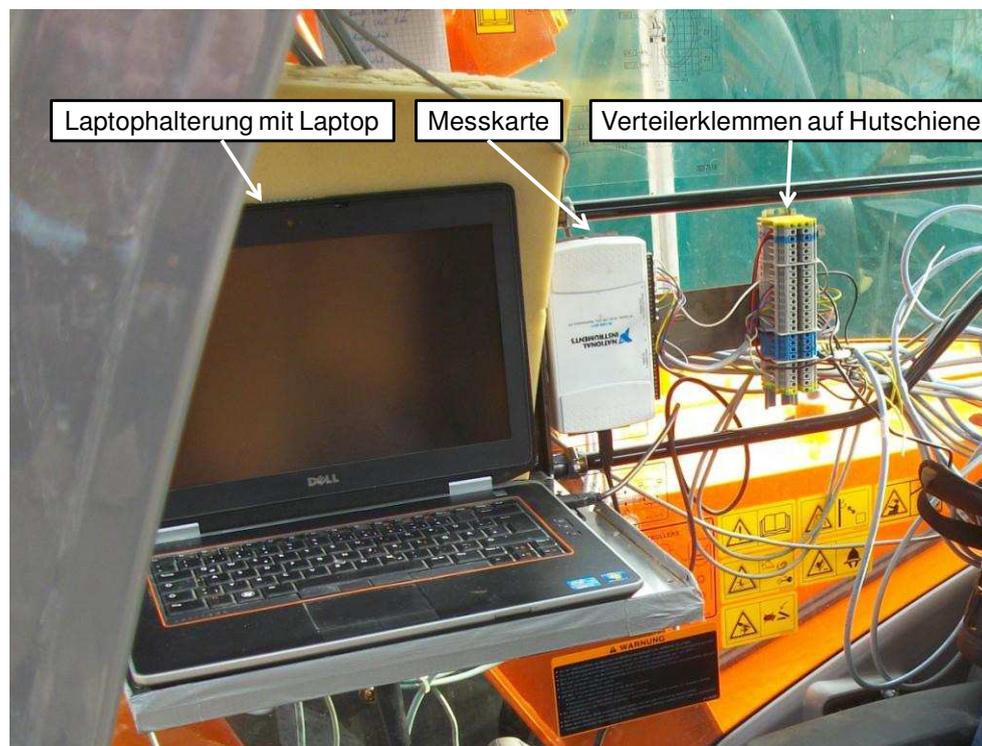


Abbildung 17: Eingesetzte Messtechnik am Trägergerät.

Die an den Anbauwerkzeugen zur Verfügung stehende Arbeitsleistung ist abhängig von Druck und Durchflussmenge der Hydraulikflüssigkeit. Zur Messung der Drücke in den Hydraulikleitungen wurden Druckmessumformer des Herstellers Hydac International GmbH vom Typ HDA 4745-A-600-000 (Abbildung 18) eingesetzt. Diese verfügten über einen Messbereich von 0 bis 600 bar.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 38 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Abbildung 18: Druckmessumformer des Herstellers Hydac International GmbH vom Typ HDA 4745-A-600-000 am Trägergerät.

Die Druckmessumformer wurden an verschiedenen Punkten installiert (Abbildung 19). Darüber hinaus ist in Abbildung 19 dargestellt, auf welche Messstelle sich die Messung des jeweiligen Umformers bezieht. Die Installationspunkte sind mit dem Kürzel DMU-IP bezeichnet, die Messpunkte mit dem Kürzel DMU-MS.

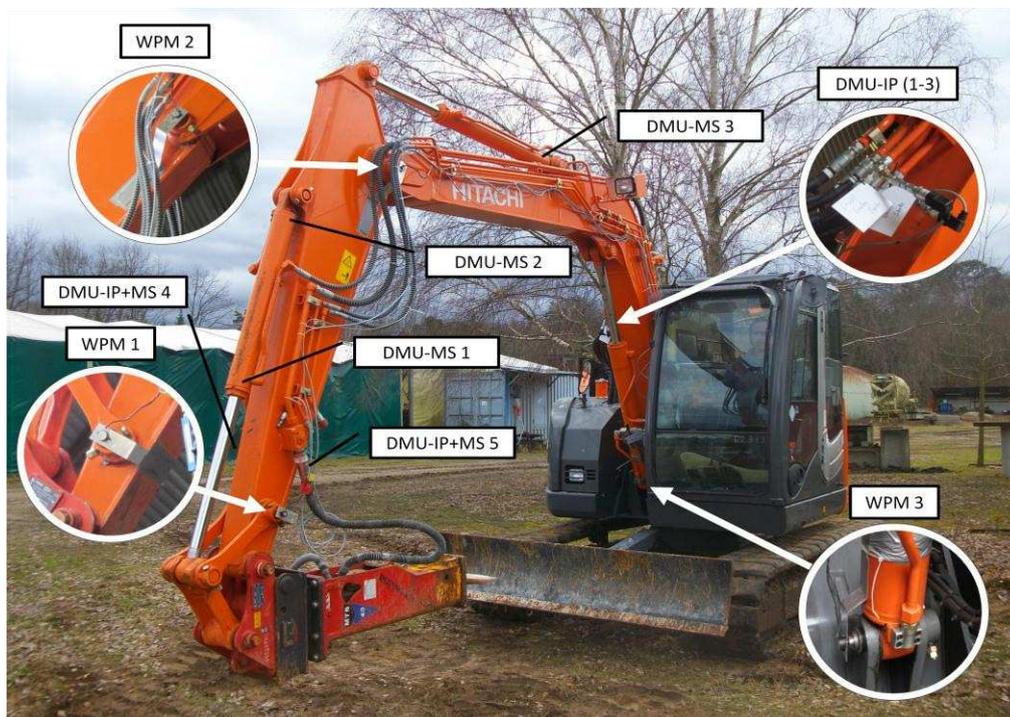


Abbildung 19: Anbaupunkte der Druckmessumformer und Winkelpotentiometer am Trägergerät.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II – Vorversuche			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 39 von 116	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013	

Zur Erfassung der jeweiligen Drehwinkel wurden Winkelpotentiometer des Herstellers Megatron Elektronik GmbH & Co. KG vom Typ MP20 (Abbildung 20) eingesetzt, um die ausgeführten Baggerbewegungen während der Versuchsdurchführung besser nachvollziehen zu können. Die Winkelpotentiometer waren jeweils an den Gelenkpunkten zwischen Baggerlöffel und kurzem Stiel, zwischen kurzem Stiel und Monoblockausleger, sowie zwischen Monoblockausleger und Oberwagen angebaut. Alle Winkelpotentiometer sind in der Abbildung 19 mit dem Kürzel WPM angegeben.

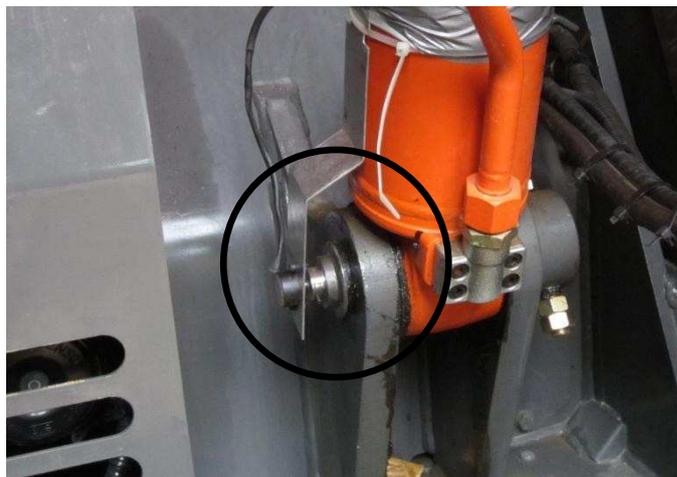


Abbildung 20: Winkelpotentiometer des Herstellers Megatron Elektronik GmbH & Co. KG vom Typ MP20 am Trägergerät.

Die Durchflussmenge des Hydrauliköls wurde mithilfe eines Durchflusssensors (Kapitel 3.2.3) gemessen. Hierbei kam eine Turbine des Typs RE 4 des Herstellers Hydrotechnik GmbH zum Einsatz. Die Aufnahme der Messwerte erfolgte mit einem zugehörigen mobilen Messgerät, Typ MultiHandy 2020.

Um – über die Erfassung der Sensordaten hinaus – die Durchführung der einzelnen Versuche dokumentieren und auswerten zu können, wurden diese zusätzlich mit einer Digitalfilmkamera sowie einer Digitalkleinbildkamera aufgezeichnet. Die erstellten Abbildungen sowie das aufgezeichnete Videomaterial sind diesem Bericht auf einer CD als Anlage beigefügt.

3.2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Im Zuge der Versuchsdurchführung wurden die ausgewählten Geräte und Werkzeuge auf ihre Eignung hinsichtlich des Freilegens und Lösens von Gebinden untersucht. Die nachfolgenden Unterkapitel enthalten die jeweiligen Ergebnisse und Erkenntnisse, die im Rahmen der einzelnen Versuche gewonnen wurden. Auf eine Bewertung der einzelnen Geräte und Werkzeuge wird an dieser Stelle verzichtet. Diese wird Gegenstand des Arbeitspaketes 3 der Gesamtstudie sein. Es werden zunächst die einzelnen Beobachtungen und Erfahrungen zusammengetragen, die während der Durchführung der Versuche gemacht wurden. Diese werden zur besseren Verdeutlichung mittels der gewonnenen Messdaten sowie der Aufzeichnungen und Abbildungen genauer beschrieben und dargestellt.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 40 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

3.2.1 Versuche mit dem Baggerlöffel

Es wurde ein zur Leistungs- bzw. Gewichtsklasse des Trägergeräts passender Baggerlöffel gewählt. Im Detail handelte sich um einen Tieflöffel vom Typ CTL5 des Herstellers Lehnhoff Hartstahl GmbH & Co. KG (Abbildung 21). Der Baggerlöffel hatte eine Breite von 800 mm, ein Fassungsvermögen von ca. 0,3 m³, besitzt ein Eigengewicht von ca. 220 kg, und war mit insgesamt 5 Zähnen des Typs 411F ausgerüstet.



Abbildung 21: Eingesetzter Baggerlöffel des Herstellers Lehnhoff Hartstahl GmbH & Co. KG vom Typ CTL5.

Die Versuche mit dem Baggerlöffel wurden in zwei unterschiedlichen Versuchsdurchführungen, den Scher- und den Schürfversuchen, ausgeführt, die zu verschiedenartigen Materialbeanspruchungen führten. Bei den Scherversuchen blieb die Position des Auslegers unverändert und die Zähne des Baggerlöffels wurden durch den Löffelzylinder mit einer konstanten Kraft auf die Oberfläche des Steinsalzbetons gedrückt. Als maßgebliche, die Materialbeanspruchung hervorrufoende Kraft war dabei die wirkende Normalkraft F_N anzusehen. Eine geringe Tangentialkraftkomponente ergab sich aus der in Abbildung 22 ersichtlichen Kinematik.

Bei den Schürfversuchen erfolgte eine Bewegung über 80 cm entlang der Oberfläche des Steinsalzbetons, während die Baggerlöffelzähne mittels des Löffelzylinders auf den Steinsalzbeton gedrückt wurden. Zur Erzeugung der Bewegung wurden der Stiel- und der Auslegerzylinder verwendet. Die Bewegung führte zum Aufbau einer zusätzlichen Tangentialkraftkomponente F_T und erzeugte hierdurch eine zusätzliche Scherbeanspruchung des Steinsalzbetons in Oberflächennähe.

Über das in Abbildung 22 dargestellte kinematische Modellsystem ließ sich aus der bestimmten Zylinderkraft F_{Zyl} die resultierende Kraft F_R des Werkzeuges auf den Steinsalzbeton errechnen.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 41 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

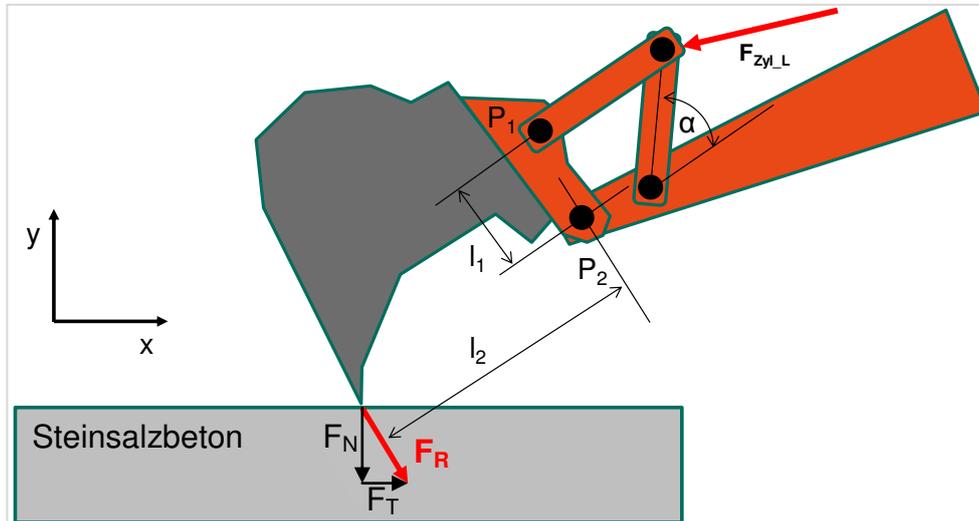


Abbildung 22: Baggerlöffel – Prinzipskizze zu den durchgeführten Scher- und Schürfversuchen.

Baggerlöffel – Versuchsteil 1: Scherversuche in Steinsalzbeton (Drücken/Schlagen)

Bei den Scherversuchen mit dem Baggerlöffel wurden die Löffelzähne in einem Abstand von ca. 30 cm zur vorderen Kante des im Versuchscontainer eingebauten Steinsalzbetons positioniert und mit maximal zur Verfügung stehender Zylinderkraft F_{Zyl_L} auf diesen gedrückt. Dabei wurde durch Messung des Zylinderdrucks die wirkende Zylinderkraft F_{Zyl_L} bestimmt. Abbildung 23 zeigt den zeitlichen Verlauf der Zylinderkraft bei zwei Versuchen. Es wurden Maximaldrücke von 140 bar gemessen, was einer maximalen Löffelzylinderkraft F_{Zyl_L} von 18 kN entsprach. Die mit dem Baggerlöffel auf den Steinsalzbeton maximal übertragene Kraft F_R berechnete sich mit Hilfe des kinematischen Modells in Abbildung 22 zu ca. 6 kN. Diese Kraft war nicht ausreichend, um in den Steinsalzbeton einzudringen.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 42 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

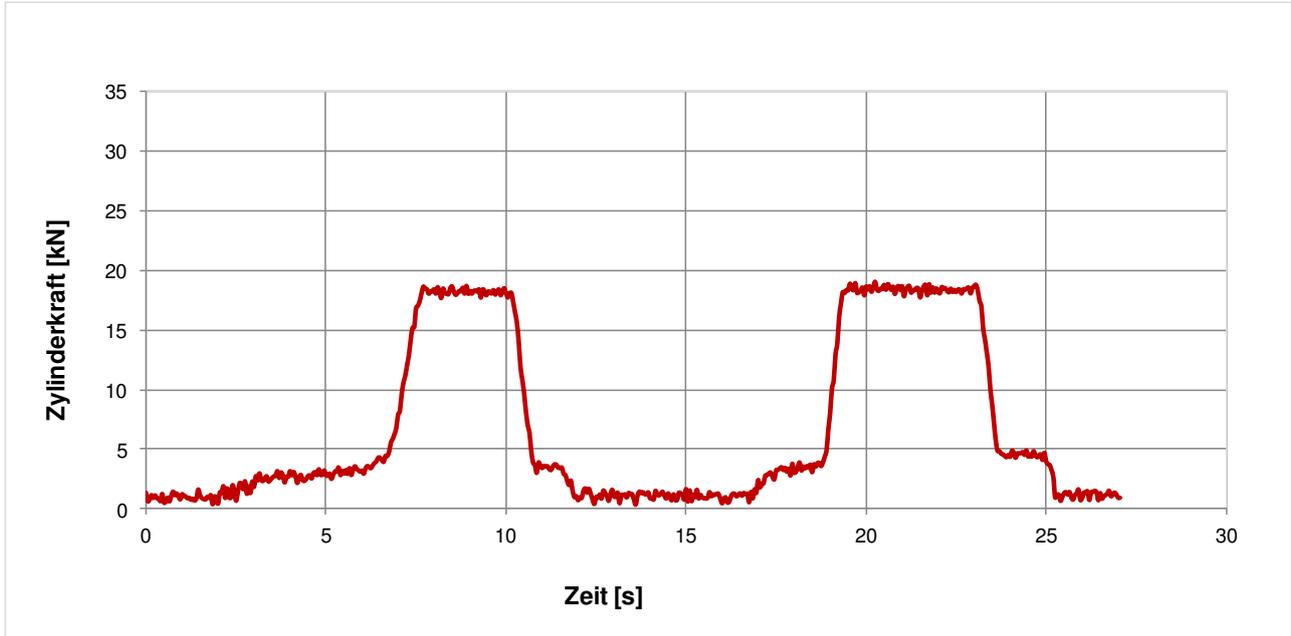


Abbildung 23: Scherversuch mit dem Baggerlöffel – Kraftverlauf im Löffelzylinder beim „Drücken“.

Im weiteren Versuchsverlauf wurden die Zähne des Baggerlöffels, in gleicher Position wie zuvor beschrieben, mit dem gesamten Ausleger auf den Steinsalzbeton geschlagen. Dabei wurde ein Druck von maximal 265 bar im Löffelzylinder gemessen, was einer maximalen Löffelzylinderkraft F_{Zyl_L} von ca. 34 kN entsprach. Die in den Steinsalzbeton eingeleitete maximale resultierende Kraft F_R wurde zu ca. 11,5 kN errechnet. Der zeitliche Verlauf der Zylinderkraft F_{Zyl_L} für vier Schläge ist in Abbildung 24 dargestellt. Nach viermaligem Schlagen wurde eine Eindringtiefe der Baggerlöffelzähne von maximal 4 cm gemessen. Abbildung 25 und Abbildung 26 zeigen die entsprechende Bilddokumentation zu den Scherversuchen mit geschlagenem Baggerlöffel.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 43 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

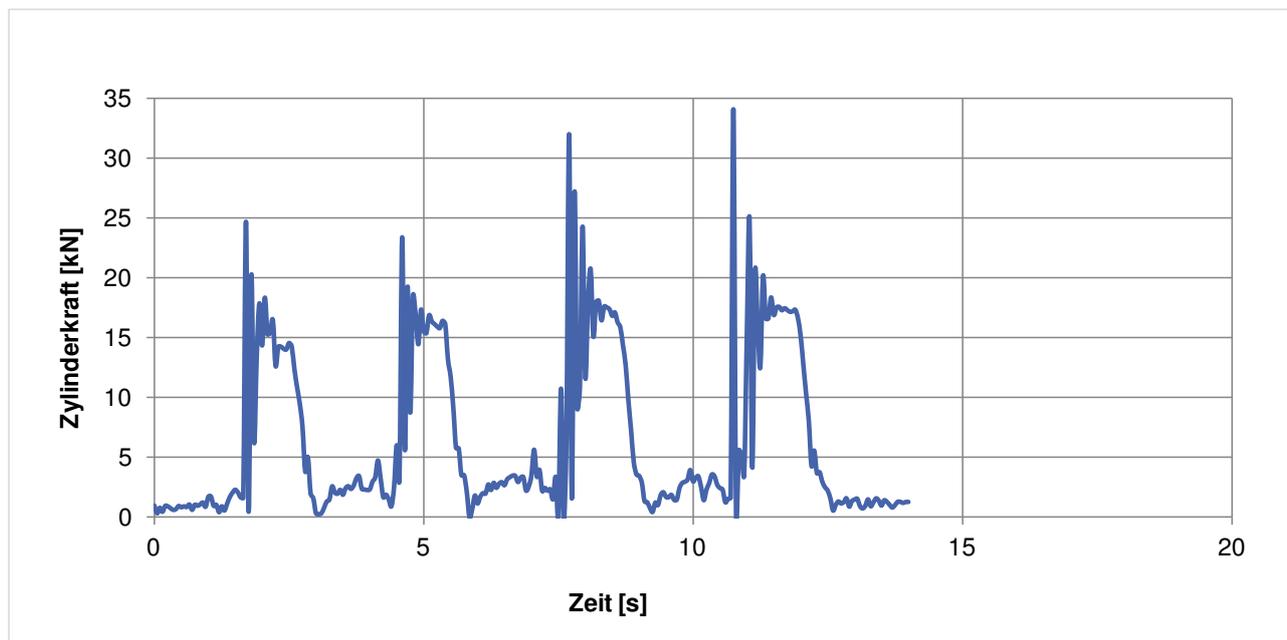


Abbildung 24: Scherversuch mit dem Baggerlöffel – Kraftverlauf im Löffelzylinder beim „Schlagen“.



Abbildung 25: Einschlagpunkte der Löffelzähne im Steinsalzbeton beim „Schlagen“.



Abbildung 26: Einschlagtiefe der Löffelzähne im Steinsalzbeton beim „Schlagen“.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 44 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Baggerlöffel – Versuchsteil 2: Schürfversuche in Steinsalzbeton

Bei den Schürfversuchen wurde der Baggerlöffel mit den Zähnen auf dem Steinsalzbeton aufgesetzt und etwa 80 cm unter Aufbringung der maximalen statischen Kraft des Löffelzylinders in x-Richtung (Abbildung 22) über die Oberfläche des Steinsalzbetons gezogen. Dieser Vorgang wurde insgesamt viermal an derselben Stelle wiederholt. Es wurde ein Löffelzylinderdruck von maximal ca. 140 bar gemessen, was einer maximalen Zylinderkraft $F_{Zyl,L}$ von ca. 18 kN entsprach. Der zeitliche Verlauf der Zylinderkraft ist in Abbildung 27 dargestellt. Für die in den Steinsalzbeton eingeleitete maximale resultierende Kraft F_R errechnete sich ein Wert von ca. 6 kN.

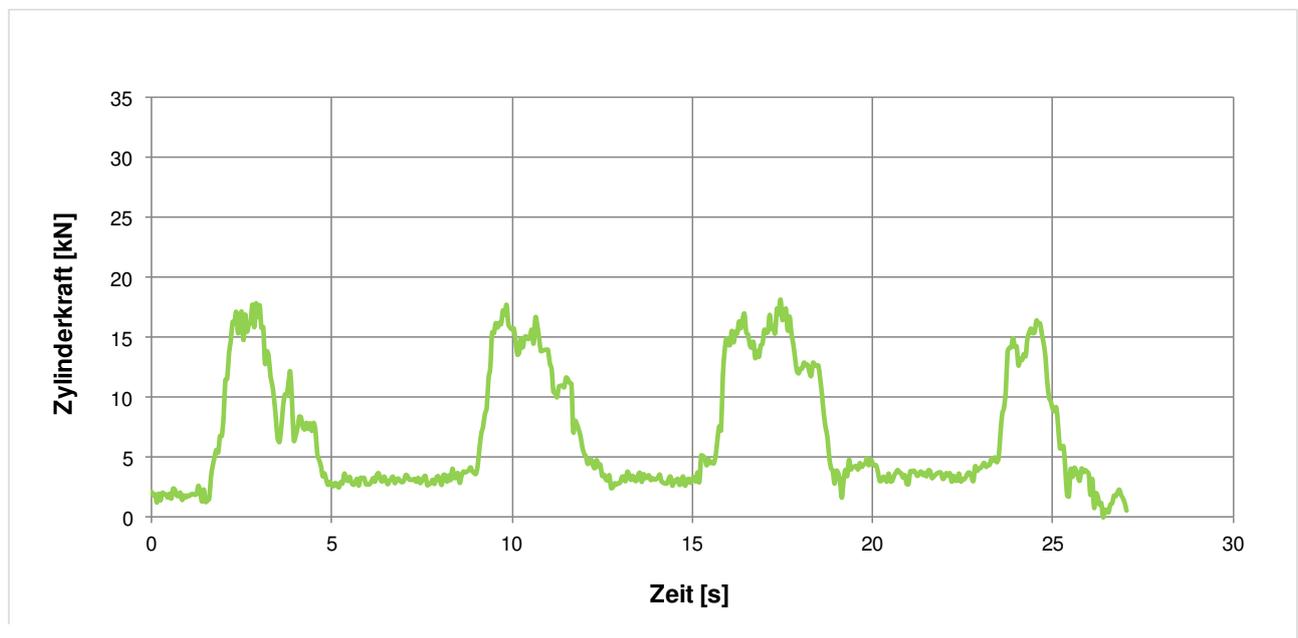


Abbildung 27: Schürfversuche mit dem Löffel – Kraftverlauf im Löffelzylinder beim Schürfen.

Die Zähne des Baggerlöffels drangen auf der Länge von ca. 80 cm an der tiefsten Stelle um ca. 2,5 cm in den Steinsalzbeton ein. Das Ergebnis dieser schürfenden Bearbeitung ist in Abbildung 28 und Abbildung 29 dargestellt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich der Steinsalzbeton mit einem Baggerlöffel bei oben beschriebener Krafteinleitung F_R weder bei Scher- noch bei Schürfversuchen aufbrechen oder abscheren ließ. Auch bei schlagender Bearbeitung war nach mehreren Schlägen lediglich eine sehr geringe Eindringtiefe der Baggerlöffelzähne zu erkennen.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 45 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Abbildung 28: Schürfspur des Löffels im Steinsalzbeton.



Abbildung 29: Eindringtiefe der Löffelzähne im Steinsalzbeton.

3.2.2 Versuche mit dem Reißzahn

Für diese Versuche wurde ein Reißzahn des Herstellers Baumgärtner Stahlbau GmbH (Abbildung 30, Abbildung 31), ausgelegt für Trägergeräte mit einer Masse von 6 - 9 t, mit auswechselbaren Reißzahnspitzen eingesetzt. Da lediglich die prinzipielle Einsatzmöglichkeit eines Reißzahns am Steinsalzbeton untersucht werden sollte, wurde im Rahmen der Versuchsdurchführung ausschließlich eine Reißzahnspitze mit flacher Schneide verwendet. Mit dem Reißzahn wurden in Analogie zu den Versuchen mit dem Baggerlöffel sowohl Scher- als auch Schürfvorsuche durchgeführt und somit verschiedenartige Materialbeanspruchungen hervorgerufen.

Bei den Scherversuchen blieb die Position des Auslegers unverändert und die Reißzahnspitze wurde durch den Löffelzylinder mit einer konstanten Kraft auf die Oberfläche des Steinsalzbetons gedrückt. Als maßgebliche, die Materialbeanspruchung hervorrufende Kraft war dabei die wirkende Normalkraft F_N anzusehen. Eine geringe Tangentialkraftkomponente ergab sich aus der in Abbildung 32 ersichtlichen Kinematik.

Bei den Schürfvorsuchen erfolgte eine Bewegung über 80 cm entlang der Oberfläche des Steinsalzbetons, während die Reißzahnspitze mittels des Löffelzylinders auf den Steinsalzbeton gedrückt wurde. Zur Erzeugung der Bewegung wurden der Stiel- und der Auslegerzylinder verwendet. Die Bewegung führte zum Aufbau einer zusätzlichen Tangentialkraftkomponente F_T und erzeugte eine zusätzliche Scherbeanspruchung des Steinsalzbetons in Oberflächennähe.

Über das in Abbildung 32 dargestellte kinematische Modellsystem ließ sich aus der bestimmten Zylinderkraft F_{Zyl_L} die resultierende Kraft F_R des Werkzeuges auf den Steinsalzbeton errechnen.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 46 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Abbildung 30: Eingesetzter Reißzahn des Herstellers Baumgärtner Stahlbau GmbH.



Abbildung 31: Verschiedene Reißzahnspitzen.

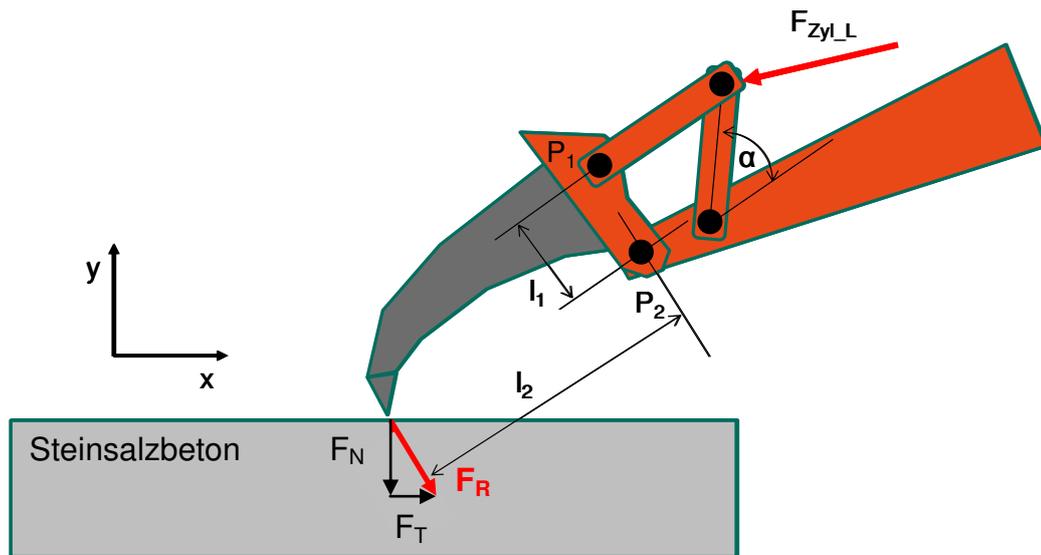


Abbildung 32: Reißzahn – Prinzipskizze zu den durchgeführten Scher- und Schürfversuchen.

Reißzahn – Versuchsteil 1: Scherversuche in Steinsalzbeton (Drücken/Schlagen)

Beim Scherversuch wurde der Reißzahn im Abstand von ca. 30 cm hinter der Abbruchkante des Steinsalzbetonblockes positioniert (Abbildung 33) und mit der maximal zur Verfügung stehenden Kraft des Löffelzylinders auf den Steinsalzbeton gedrückt.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 47 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 09.09.2013
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	



Abbildung 33: Scherversuch am Steinsalzbeton mit dem Reißzahn.



Abbildung 34: Eindringtiefe im Steinsalzbeton bei schlagender Bearbeitung.

Die maximale Zylinderkraft F_{Zyl_L} betrug beim Scherversuch „Drücken“ ca. 18 kN. Der zeitliche Verlauf der Zylinderkraft ist in Abbildung 35 dargestellt. Mit dem in Abbildung 32 dargestellten kinematischen Modellsystem wurde eine maximale resultierende Kraft F_R von ca. 5 kN errechnet. Ein Eindringen des Reißzahns in den Steinsalzbeton war bei dieser Kraft gering.



Abbildung 35: Scherversuch mit dem Reißzahn – Kraftverlauf im Löffelzylinder beim „Drücken“.

Im weiteren Versuchsverlauf wurde die Spitze des Reißzahns mittels des gesamten Auslegers mit vier Schlägen an gleicher Position in den Steinsalzbeton geschlagen. Es wurde dabei eine maximale Zylinderkraft F_{Zyl_L} von ca. 27 kN (entsprechend einem Löffelzylinderdruck von ca. 210 bar) ermittelt. Der zeitliche Verlauf der Zylinderkraft ist in Abbildung 36 dargestellt. Die in den Steinsalzbeton eingeleitete maximale resultierende Kraft F_R wurde zu ca. 7,5 kN errechnet. Die



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 48 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

dabei festgestellte Eindringtiefe des Reißzahns in den Steinsalzbeton betrug ca. 9 cm. Das Bearbeitungsergebnis geht aus Abbildung 34 hervor.

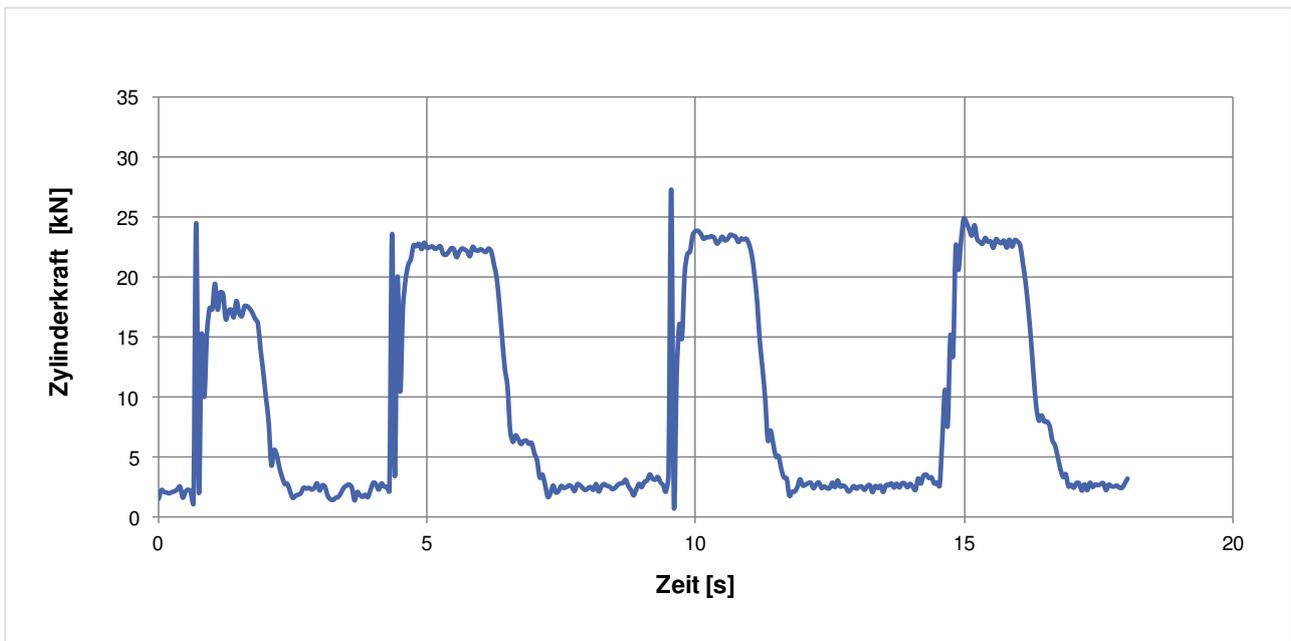


Abbildung 36: Scherversuch mit dem Reißzahn – Kraftverlauf im Löffelzylinder beim „Schlagen“.

Reißzahn – Versuchsteil 2: Schürfversuche in Steinsalzbeton

Bei den Schürfversuchen wurde der Reißzahn auf dem Steinsalzbetonblock aufgesetzt und auf einer Länge von ca. 80 cm mit der maximalen Zylinderkraft $F_{Zyl,L}$ über die Oberfläche des Steinsalzbetons gezogen. Dabei wurde ein hydraulischer Druck im Löffelzylinder von ca. 220 bar gemessen, was einer Zylinderkraft von ca. 28,5 kN entsprach (Abbildung 39). Die dabei in den Steinsalzbeton eingeleitete maximale resultierende Kraft F_R wurde zu ca. 8 kN errechnet.

Bei diesem Versuch drang der Reißzahn an der tiefsten Stelle um ca. 11 cm in den Steinsalzbeton ein (Abbildung 37 und Abbildung 38).



Abbildung 37: Schürfspuren des Reißzahns im Steinsalzbeton.



Abbildung 38: Reißzahn - Schürftiefe von ca. 11 cm im Steinsalzbeton.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 49 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

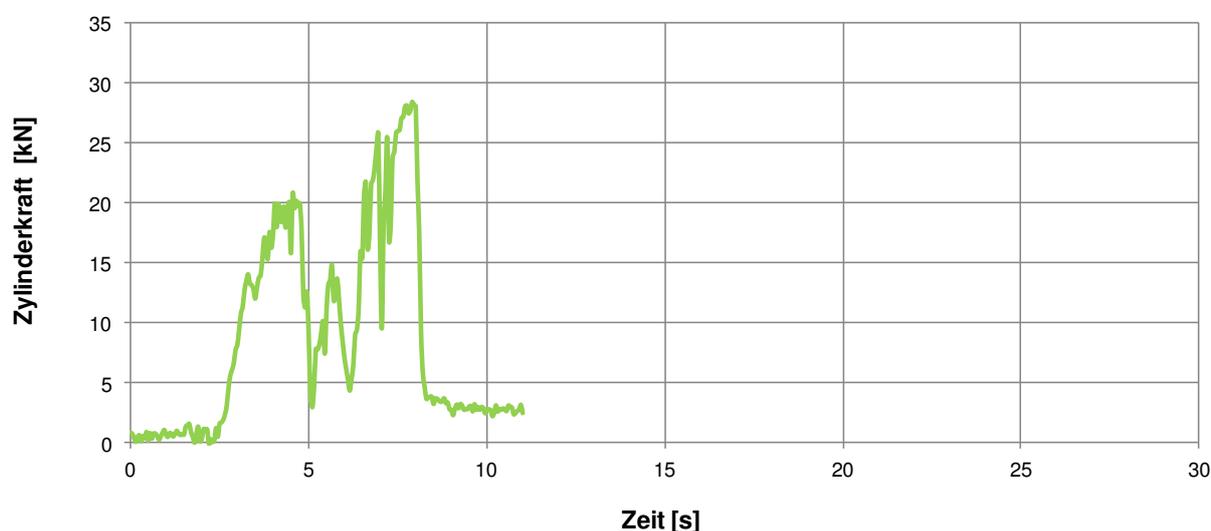


Abbildung 39: Schürfversuch mit Reißzahn – zeitlicher Kraftverlauf im Löffelzylinder.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich der Steinsalzbeton mit einem Reißzahn bei oben beschriebener Krafteinleitung durch Scher- und Schürfversuche nur geringfügig aufbrechen ließ. Bei schlagender Bearbeitung war nach mehreren Schlägen eine Eindringtiefe des Reißzahns von ca. 11 cm zu erkennen.

3.2.3 Versuche mit der Hydraulikfräse

Es wurde eine Hydraulikfräse des Herstellers Simex s.r.l. vom Typ TF400 (Tabelle 8) verwendet.

Tabelle 8: Produktdaten der eingesetzten Hydraulikfräse – Simex s.r.l., Typ TF400 [16].

Hersteller	Simex s.r.l.
Typ	TF400
Art	Hydraulikfräse
Durchmesser	450 mm
Schnittbreite	625 mm
Leistung Hydraulikmotor maximal	37 kW
Schneidkraft maximal	20,3 kN
Fräskopfdrehzahl	125 – 160 U/min
Öldurchflussmenge	65 – 120 l/min
Eigengewicht	483 kg
Hydraulikdruck	150 – 350 bar



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 50 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Bei der Hydraulikfräse (Abbildung 40) handelte es sich um eine Fräse mit Querschneidkopf, die sich unter anderem zum Abtrag von Beton und Felsgestein sowie gewachsenem Salz eignet [16, 17]. Während der Fräsversuche wurden der Hydraulikdruck in der Zu- und der Rücklaufleitung und der Durchfluss des Hydrauliköls in der Zuleitung gemessen.

Zunächst wurden Referenzfräsversuche an Beton der Festigkeitsklasse C 30/37 mit dem Ziel durchgeführt, eine Vergleichsbasis zu bekannten Versuchen an Beton [18] herzustellen, sowie die Funktion der verwendeten Messtechnik zu überprüfen. Im Anschluss daran erfolgten die Fräsversuche an Steinsalzbeton.



Abbildung 40: Eingesetzte Fräse mit Querschneidkopf des Herstellers Simex s.r.l. vom Typ TF400.

Hydraulikfräse – Versuchsteil 1: Fräsversuche in Beton

In diesem Versuchsteil wurde die Hydraulikfräse über eine liegend gelagerte Betonplatte geführt. Abbildung 41 zeigt den Versuchsaufbau.

Es wurden plattenförmige Stücke unterschiedlicher Größe aus dem Beton herausgebrochen (Abbildung 42). Bei der Bearbeitung des Betons bildete sich eine große Menge an Staub. Die Fräse drang im Laufe der Fräsvorgänge nur gering in das Betonbauteil ein. Da sich die Fräse immer wieder mit dem Betonbauteil verhakte, kam es zu einer ungleichmäßigen, schlagenden Bearbeitung der Oberfläche. Das Verhalten der Fräse während der Bearbeitung ist aus der entsprechenden Videodokumentation zu den einzelnen Versuchsteilen ersichtlich.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 51 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Abbildung 41: Referenzversuche mit der Hydraulikfräse in Beton.



Abbildung 42: Hydraulikfräse – Bruchstücke aus dem Beton.

In der Abbildung 43 werden die Messwerte für den Hydraulikdruck p_{hyd} im Zulauf und die Durchflussmenge \dot{V}_{hyd} einer Messreihe beim Bearbeiten des Betons exemplarisch dargestellt. Während sich der Durchfluss im Bereich von 40 bis 70 l/min bewegte, lag der Hydraulikdruck bei 100 bis 200 bar. Die große Schwankungsbreite des Hydraulikdrucks ist vermutlich auf die Inhomogenität des Betons, verursacht durch grobkörnige Zuschlagsstoffe zurückzuführen.

Durch die Berechnung der hydraulischen Leistung P_{hyd} gemäß

$$P_{hyd} = p_{hyd} \cdot \dot{V}_{hyd} \quad (5)$$

ergab sich für die Leistungsaufnahme der hydraulischen Fräse unter Verwendung des hydraulischen Drucks in der Zuleitung bei der Bearbeitung von Beton ein Mittelwert von ca. 12,5 kW.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 52 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

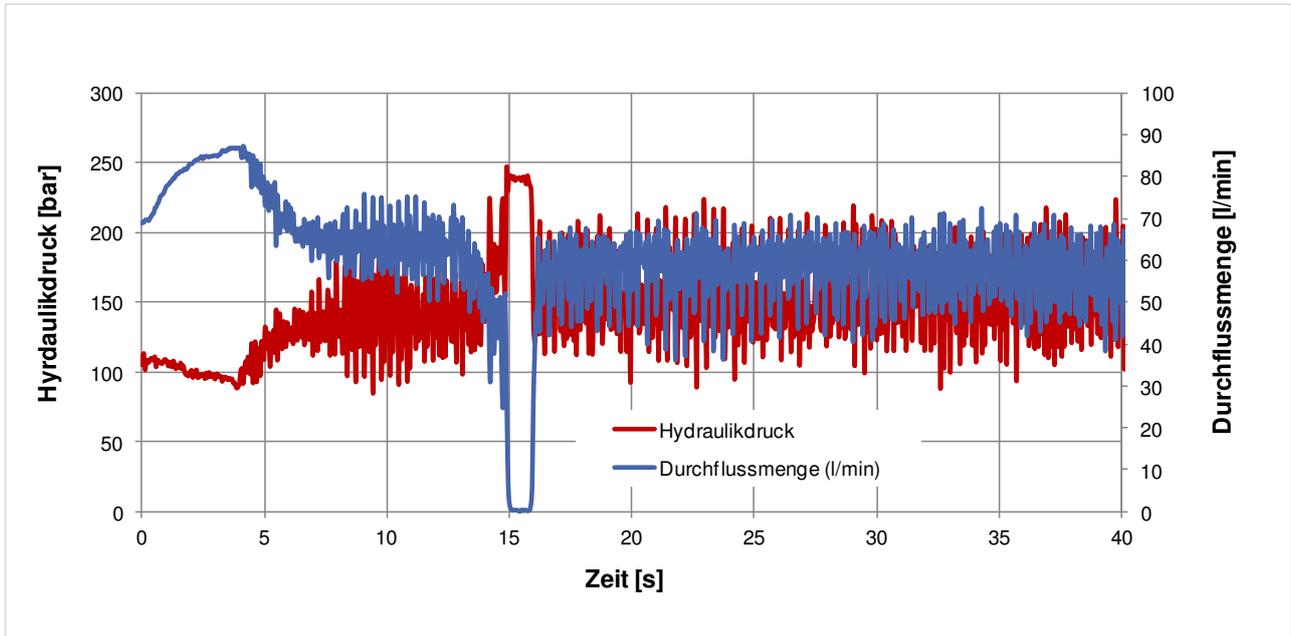


Abbildung 43: Durchflussmenge und Hydraulikdruck beim Fräsen auf Beton der Festigkeitsklasse C30/37.

Hydraulikfräse – Versuchsteil 2.1: Einzelne Fräsversuche in Steinsalzbeton

Im Versuchsteil 2 wurde der Steinsalzbeton im Versuchscontainer mit der Hydraulikfräse bearbeitet. Zudem erfolgte ein Langzeitversuch über 45 Minuten, zur Überprüfung des Verhaltens der Fräse im Dauerbetrieb und um Erkenntnisse über die Abtragsleistung dieses Werkzeuges zu gewinnen. Abbildung 44 zeigt die Arbeitsweise bei der Durchführung der Einzelversuche. In Abbildung 45 sind das Fräsbild sowie Teile des herausgebrochenen Materials wiedergeben. Dabei handelte es sich zumeist um feinkörnigen Staub.



Abbildung 44: Fräsversuche in Steinsalzbeton.



Abbildung 45: Fräsbild in Steinsalzbeton.

Im direkten Vergleich zu Beton war die Abtragsleistung bzw. die Zerkleinerungswirkung beim Bearbeiten des Steinsalzbetons deutlich höher. Aufgrund der geringeren Inhomogenität im



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 53 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Vergleich zum Normalbeton ließ sich der Steinsalzbeton gleichmäßig bearbeiten, was auch durch die geringen Öldruckschwankungen abgebildet wurde. Ein Verzahnen der Fräse mit dem Steinsalzbeton führte nur selten zum Blockieren der Fräse, vielmehr zu einem Herausbrechen größerer Steinsalzbetonmengen und somit insgesamt zu einem vergleichsweise höheren Gesamtabtrag. Die herausgebrochenen Stücke waren zumeist feinkörnig und überwiegend von gleicher Größe. Das ausgebrochene Material war vergleichbar mit feinem Schüttgut, welches über einen hohen Anteil an feinkörnigen Bestandteilen verfügte.

Die gemessenen Hydraulikdrücke bewegten sich zwischen 70 und 140 bar und lagen damit deutlich unter denen der Versuche an Beton. Für die Durchflussmenge wurden Werte zwischen 70 und 90 l/min registriert. In Abbildung 46 ist die zeitliche Abhängigkeit von Hydraulikdruck und Durchflussmenge dargestellt. Bei der Bearbeitung von Steinsalzbeton ergab sich gemäß Gleichung (5) eine mittlere Leistungsaufnahme der Fräse von 10,80 kW.

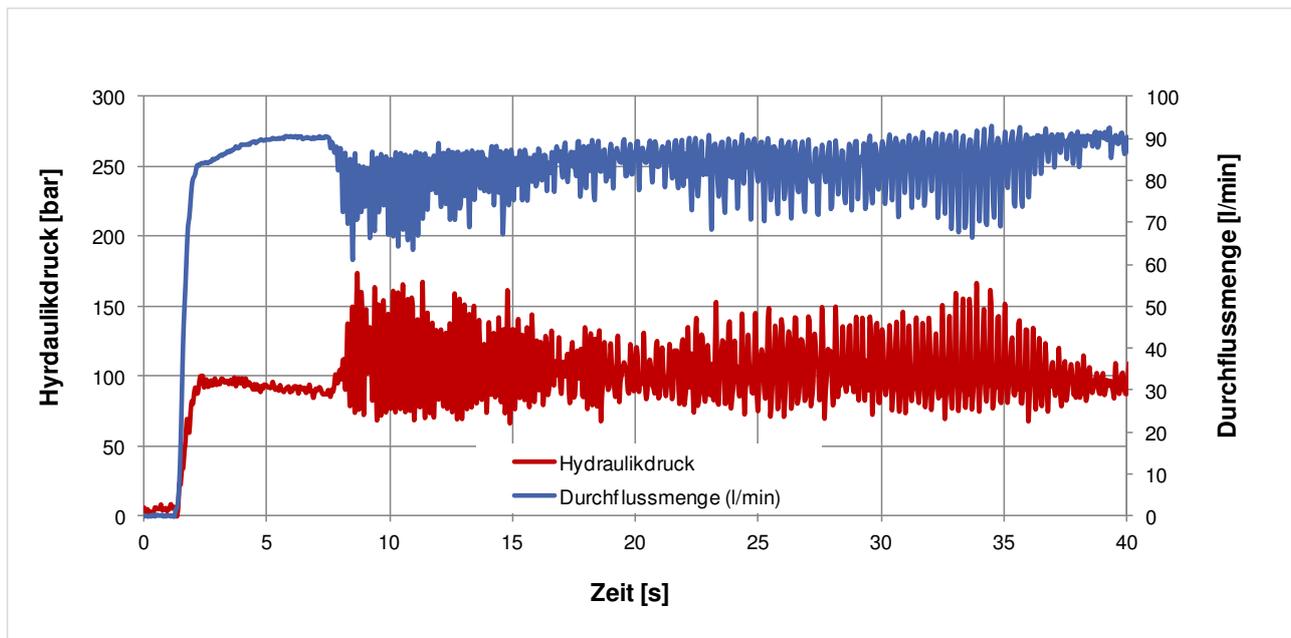


Abbildung 46: Durchflussmenge und Hydraulikdruck beim Fräsen in Steinsalzbeton.

Hydraulikfräse – Versuchsteil 2.2: Langzeitfräsversuch in Steinsalzbeton

Im Rahmen des Langzeitversuches (Abbildung 47 bis Abbildung 50) wurde über einen Zeitraum von 45 Minuten ein Steinsalzbetonvolumen von ca. 1 m³ abgefräst. Dies entsprach einer durchschnittlichen Abtragsleistung von ca. 1,3 m³ pro Stunde.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 54 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Abbildung 47: Steinsalzbetonblock vor dem Fräsen.



Abbildung 48: Fräsversuch am Steinsalzbeton.



Abbildung 49: Seitenansicht der teilweise durch das Fräsen freigelegten Gebinde.



Abbildung 50: Draufsicht auf die teilweise durch das Fräsen freigelegten Gebinde.

Wie Abbildung 49 und Abbildung 50 entnommen werden kann, konnte mit der Fräse sehr dicht an die Gebinde herangearbeitet werden. Trotz unmittelbarer Bearbeitung vor den Gebinden, konnte kein Abplatzen des Steinsalzbetons von der Gebindeoberfläche festgestellt werden.

Noch bevor erste Teile der Gebinde im Steinsalzbeton sichtbar freigelegt wurden, kam es zu einem Kontakt zwischen der Fräse und den Gebinden. Anhand der Druckverläufe konnte nicht auf einen Kontakt zwischen Fräse und Gebinde geschlossen werden, da sowohl wechselnde Vortriebsgeschwindigkeiten als auch Unregelmäßigkeiten im Steinsalzbeton zu einer Druckschwankung im System führten. Abbildung 51 und Abbildung 52 zeigen die Beschädigungen, die von der Fräse an den Deckeln der betroffenen Gebinde hinterlassen wurden.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 55 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Abbildung 51: Frässpuren auf dem Gebindedeckel.



Abbildung 52: Beschädigungen am Gebindedeckel.

Abschließend ist für sämtliche Fräsversuche festzuhalten, dass eine deutliche Staumentwicklung erkennbar war, die eine ähnliche Ausprägung zeigte, wie bei der Bearbeitung des Betons (Abbildung 53 und Abbildung 54). In beiden Fällen war die Staumentwicklung insbesondere auf die hohe Mahlfeinheit des herausgefrästen Materials zurückzuführen.



Abbildung 53: Staumentwicklung beim Fräsen in Beton.



Abbildung 54: Staumentwicklung beim Fräsen in Steinsalzbeton.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich der Steinsalzbeton mit einer Hydraulikfräse bearbeiten ließ und darin eingeschlossene Gebinde freigelegt werden konnten.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 56 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

3.2.4 Versuche mit dem Hydraulikmeißel

Es wurde ein Hydraulikmeißel der Firma İnan Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş. vom Typ MTB 40 getestet (Tabelle 9 und Abbildung 55).

Tabelle 9: Produktdaten des eingesetzten Hydraulikmeißels, İnan Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş., Typ MTB 40 [19].

Hersteller	İnan Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Typ	MTB 40
Art	Hydraulikmeißel
Länge (abhängig vom Meißeltyp)	1.148 mm – 1.587 mm
Trägergeräte	4 – 10 Tonnen
Schlagenergie	980 Joule
Schläge pro Minute	450 – 1.000
Öldurchflussmenge	45 – 100 l/min
Eigengewicht	460 kg



Abbildung 55: Eingesetzter Hydraulikmeißel der Firma İnan Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş. Typ MTB 40.

Mit dem Hydraulikmeißel (ausgerüstet mit Flach- und Spitzmeißel) wurden Vorversuche an Beton, sowie Versuche an Steinsalzbeton durchgeführt.

Hydraulikmeißel – Versuchsteil 1.1: Meißelversuche in Beton mit Flachmeißel

Zunächst wurden mit dem Hydraulikmeißel Referenzversuche an einem Block aus Beton durchgeführt. Dabei wurde im ersten Schritt (Versuchsteil 1.1) ein Flachmeißel mit einer Spatenbreite von 220 mm eingesetzt. Zwei Meißelversuche in horizontaler Arbeitsrichtung (Abbildung 57), sowie zwei Meißelversuche in vertikaler Arbeitsrichtung (Abbildung 56) wurden durchgeführt. Um eine einheitliche Ausgangslage zu schaffen, wurde bei allen Versuchen der



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 57 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Meißel mit der Schneide direkt am Betonblock angesetzt, bevor die Hydraulik des Trägergeräts zum Betrieb des Meißels aktiviert und der Meißel in den Betonblock getrieben wurde.

Erst nach mehreren Meißelschlägen kam es zu einer Rissbildung im Gefüge des Betons. Beim vertikalen Meißelversuch, mit 20 cm Abstand zur Vorderkante des Betonblockes, wurde nach mehreren Schlägen über einen Zeitraum von ca. 20 Sekunden ein ca. 30 cm x 50 cm großes Betonstück, mit einer keilförmig zulaufenden Dicke von ca. 1 bis 20 cm, aus dem Block gelöst (Abbildung 58). In einem weiteren vertikalen Meißelversuch, mit einem Abstand von 40 cm zur Vorderkante des Betonblockes wurde nach einem Eintrag von mehreren Schlägen über einen Zeitraum von ca. 25 Sekunden keine signifikante Rissbildung hervorgerufen und somit auch keine Zerkleinerung des Betons erzielt. Bei der Bearbeitung des Betonblockes in horizontaler Richtung zeigte sich ein vergleichbares Bild.



Abbildung 56: Vertikale Meißelposition am Betonblock.



Abbildung 57: Horizontale Meißelposition am Betonblock.



Abbildung 58: Hydraulikmeißel – keilförmig herausgelöstes Betonstück.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 58 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Hydraulikmeißel – Versuchsteil 1.2: Meißelversuche in Beton mit Spitzmeißel

Die Bearbeitung des Betonblockes mit dem Spitzmeißel führte zur Bildung von kegelförmigen Vertiefungen mit einer Tiefe von bis zu 6 cm. Ein Zerkleinern des Betonblockes war auf diese Weise nicht möglich. Die Abbildung 59 und Abbildung 60 zeigen beispielhaft Versuche mit dem Spitzmeißel.



Abbildung 59: Meißelversuch mit dem Spitzmeißel am Beton.



Abbildung 60: Eindringtiefe des Spitzmeißels im Beton.

Hydraulikmeißel – Versuchsteil 2.1: Meißelversuche in Steinsalzbeton mit Flachmeißel

Im Versuchsteil 2.1 wurden die Versuche mit dem Flachmeißel, die zuvor am Block aus Beton durchgeführt wurden, in gleicher Art und Weise am Steinsalzbeton vorgenommen. Dabei zeigte sich, dass die Abtragsleistung am Steinsalzbeton höher war. Schon nach wenigen Schlägen drang der Meißel in den Steinsalzbeton wesentlich tiefer ein und es konnten größere Bruchstücke (Abbildung 61 bis Abbildung 64) herausgelöst werden.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 59 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013



Abbildung 61: Flachmeißel am Steinsalzbetonblock, 30 cm zur Abbruchkante.



Abbildung 62: Mit Flachmeißel gelöstes Bruchstück aus dem Steinsalzbeton.



Abbildung 63: Flachmeißel am Steinsalzbetonblock, 90 cm zur Abbruchkante.



Abbildung 64: Mit Flachmeißel erzeugter Ausbruch aus dem Steinsalzbetonblock.

Hydraulikmeißel – Versuchsteil 2.2: Meißelversuche in Steinsalzbeton mit Spitzmeißel

Mit dem Spitzmeißel wurden Versuche am Steinsalzbeton durchgeführt. Im Vergleich zum Beton ließ sich der Spitzmeißel deutlich besser in den Steinsalzbeton hineintreiben. Der hierbei erzielte Abtrag war allerdings geringer als der Abtrag, der mit dem Flachmeißel erzeugt wurde. Abbildung 65 zeigt die angezeichneten Ansatzpunkte für den Spitzmeißel. Diese waren ca. 30 cm von der Abbruchkante entfernt angeordnet. Abbildung 66 zeigt eines der Bruchstücke, die mit dem Spitzmeißel im Steinsalzbeton erzeugt werden konnten.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 60 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Abbildung 65: Ansatzpunkte im Steinsalzbetonblock für Test mit Spitzmeißel.



Abbildung 66: Mit Spitzmeißel erzeugter Abtrag aus dem Steinsalzbetonblock.

Während der weiteren Meißelversuche mit dem Spitzmeißel hat sich gezeigt, dass entlang der Abbruchkante (ca. 5 - 10 cm) ein Abtrag des Steinsalzbetons erreicht werden konnte, während weiter entfernt von der Abbruchkante (ca. 20 - 30 cm) der Spitzmeißel lediglich in den Steinsalzbeton eindrang, ohne Abtrag zu erzeugen.

Hydraulikmeißel – Versuchsteil 2.3: Langzeitversuche in Steinsalzbeton mit Flachmeißel

Mit dem Hydraulikmeißel wurde ebenfalls ein Langzeitversuch durchgeführt. Aufgrund der besseren Abtragsleistung wurde in dem Langzeitversuch ausschließlich mit dem Flachmeißel gearbeitet, wobei ein vorab definierter Bereich innerhalb des Versuchscontainers mit einem Volumen von ca. 3 m³ abgetragen wurde. Für den Abtrag des zuvor genannten Steinsalzbetonvolumens wurden 50 Minuten benötigt. Daraus ergab sich eine durchschnittliche Abtragsleistung von ca. 3,5 m³ pro Stunde.

Mit dem Flachmeißel ließen sich große Bruchstücke aus dem Steinsalzbeton herauslösen (Abbildung 67), was in ähnlicher Weise auch in den Einzelversuchen festgestellt wurde. Die Bruchstücke hatten maximale Abmessungen von ca. 800 mm x 450 mm x 200 mm (Länge x Breite x Höhe). Mit dem Flachmeißel konnte der Steinsalzbeton recht genau abgetragen werden. Zugleich war es möglich, sich relativ genau mit dem Meißel an die eingeschlossenen Gebinde heranzuarbeiten. Der Steinsalzbeton ließ sich von den Gebindeoberflächen einfach entfernen (Abbildung 68). Ein direkter Verbund zwischen den eingeschlossenen Gebinden und dem eingebauten Steinsalzbeton wurde nicht festgestellt. Lediglich im Randbereich der Gebinde, an den Falzstellen sowie am Boden der Gebinde gab es partiell einen kleinflächigen Verbund zum Steinsalzbeton.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 61 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013



Abbildung 67: Durch Flachmeißelversuch erzeugte Bruchstücke aus Steinsalzbeton.



Abbildung 68: Flachmeißel – Herauslösen der Gebinde aus dem Steinsalzbeton.

Im Verlauf der Versuchsdurchführung zeigte sich, dass der Meißel nach dem Freilegen der Gebinde dazu eingesetzt werden konnte, diese aus dem gelockerten Steinsalzbeton herauszuschieben. Darüber hinaus ließen sich die Gebinde mit dem Meißel für Manipulationswerkzeuge (z.B. Nukleargreifer) zurechtlegen, so dass dieser die Gebinde aufnehmen konnte.

Abschließend ist noch festzuhalten, dass während der Langzeitversuche mit dem Flachmeißel eine relativ geringe Staubentwicklung beobachtet wurde. Staub entstand lediglich direkt nach dem Ansetzen des Meißels, wenn dieser in den Steinsalzbeton getrieben wurde. Sobald sich im Steinsalzgefüge ein Riss bildete, trieb der Meißel den Steinsalzbeton an der Bruchstelle ohne nennenswerte Staubentwicklung auseinander. Das Ausmaß der Staubentwicklung im Meißelbetrieb ist beispielhaft in Abbildung 69 und Abbildung 70 zu erkennen.

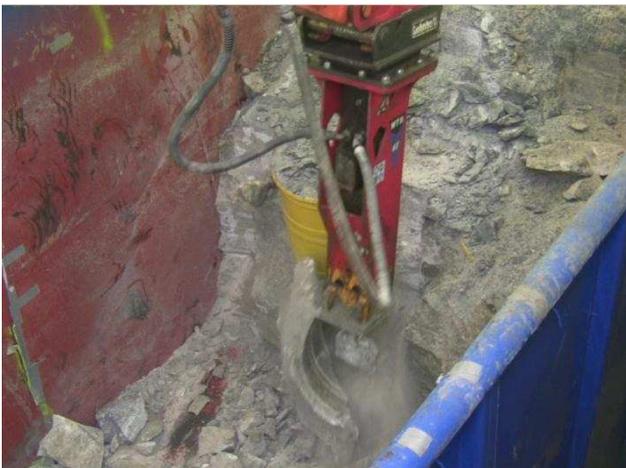


Abbildung 69: Hydraulikmeißel – „Abschälen“ des Steinsalzbetons vom eingeschlossenen Gebinde.



Abbildung 70: Staubentwicklung beim Meißeln in Steinsalzbeton.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II – Vorversuche		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 62 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

3.2.5 Versuche mit dem Spaltgerät

Es wurde ein handgeführtes Spaltgerät des Herstellers Darda GmbH vom Typ C 12 W (Tabelle 10 und Abbildung 71) getestet.

Tabelle 10: Produktdaten des eingesetzten Spaltgeräts – Darda, Typ C 12 W [20].

Hersteller	Darda
Typ	C 12 W
Art	Spaltgerät
Länge Spaltzylinder	1.250 mm
Länge Spalteinsatz	340 mm
Spaltkraft	3.150 kN (321 Tonnen)
Eigengewicht	31 kg

Dabei handelte es sich um ein hydraulisch betriebenes Werkzeug, das zum Aufbrechen von Betonbauteilen entwickelt wurde. Als Anbauwerkzeug für Abbruchroboter und Hydraulikbagger in der Gewichtsklasse 4 – 7 t befand sich dieses Werkzeug zum Zeitpunkt der Berichtserstellung herstellerseitig in der Erprobung. Zur Untersuchung der grundsätzlichen Eignung war ein handgeführtes Werkzeug ausreichend.



Abbildung 71: Eingesetztes Spaltgerät des Herstellers Darda GmbH vom Typ C 12 W mit Hydraulikaggregat.

Um Material mit dem verwendeten Spaltgerät bearbeiten zu können, musste zuvor an entsprechender Stelle eine Bohrung mit einem Durchmesser von 45 mm bis maximal 48 mm und einer Mindesttiefe von 550 mm gesetzt werden. In diese Bohrung wurde das Spaltgerät eingeführt.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 63 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Durch hydraulischen Druck bewegte sich der Spaltkeil zwischen die beiden Druckstücke und presste diese nach außen gegen die Bohrlochinnenwand. Bei Überschreiten der Materialzugfestigkeiten kam es zum Brechen des Steinsalzbetons. Durch die Ausrichtung der Bohrlöcher konnte die Bruchrichtung grob vorbestimmt werden.

Mit dem Spaltgerät wurden zwei Versuche durchgeführt. Im ersten Versuch wurde die Stirnseite des Steinsalzbetons bearbeitet, um einen Vortrieb in horizontaler Richtung zu erzielen. Der Versuchsablauf, sowie die entsprechenden Ergebnisse dieses Versuches, sind im nachfolgenden Versuchsteil 1.1 genauer beschrieben.

Im zweiten Versuch wurde der vertikale Einsatz des Spaltgeräts getestet. Die entsprechenden Details zu diesem Versuch sind im nachfolgenden Versuchsteil 1.2 beschrieben.

Spaltgerät – Versuchsteil 1.1: Horizontaler Arbeitsvortrieb

Im Versuchsteil „Horizontaler Vortrieb“ wurde mit dem Spaltgerät an der Stirnseite der Steinsalzbetonstruktur gearbeitet. Ziel war es, die Eignung des Spaltgerätes zur Zerkleinerung von Steinsalzbetonstrukturen zu überprüfen..

An der Stirnseite des Steinsalzbetonblockes wurden vier schräg aufeinander zulaufende Bohrungen angeordnet (Abbildung 72), so dass die durch das Spaltgerät eingetragene Kraft in Richtung der freien Stirnseite des Steinsalzbetonblockes wirken konnte. Die Lage jeder Bohrung wurde anhand von Fluchtstäben sichtbar gemacht (Abbildung 72).

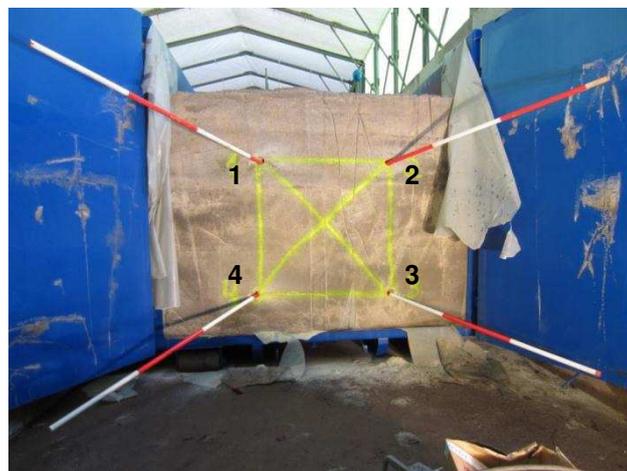


Abbildung 72: Lage und Winkel der Bohrlöcher im Steinsalzbetonblock.

Das Spaltgerät wurde nacheinander in den einzelnen Bohrlochern angesetzt. Durch kontinuierliches Erhöhen des Hydraulikdrucks bis zum Brechen des Materials lösten sich unterschiedlich große Steinsalzbetonstücke (Tabelle 11 und Abbildung 73 bis Abbildung 78).



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 64 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Tabelle 11: Versuche mit Spaltgerät – Spaltkraft und Größe der herausgelösten Steinsalzbetonstücke.

Bohrloch / Versuch	maximale Spaltkraft [kN]	Größe des herausgelösten Steinsalzbetonstücks, Länge x Breite x Höhe [mm]
1	ca. 1.960	1.600 x 1.150 x 250
2	ca. 1.280	600 x 450 x 180
3	ca. 1.670	850 x 650 x 150
4	ca. 3.050	400 x 200 x 10

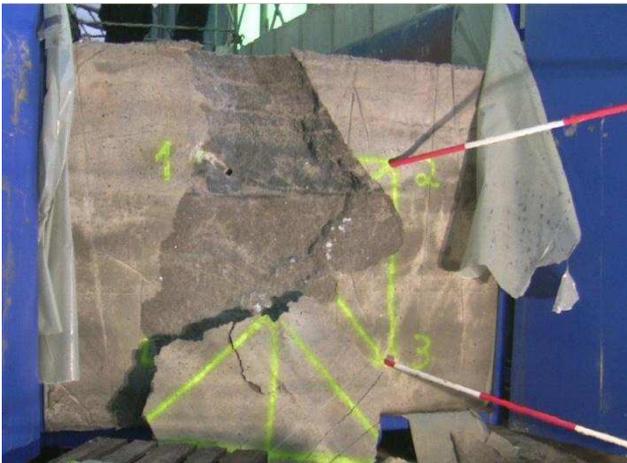


Abbildung 73: Abtragsergebnis des Spaltgeräts nach dem ersten Spaltvorgang.



Abbildung 74: Abtragsergebnis des Spaltgeräts nach dem zweiten Spaltvorgang.



Abbildung 75: Durch den zweiten Spaltvorgang erzeugtes Bruchstück aus dem Steinsalzbeton.

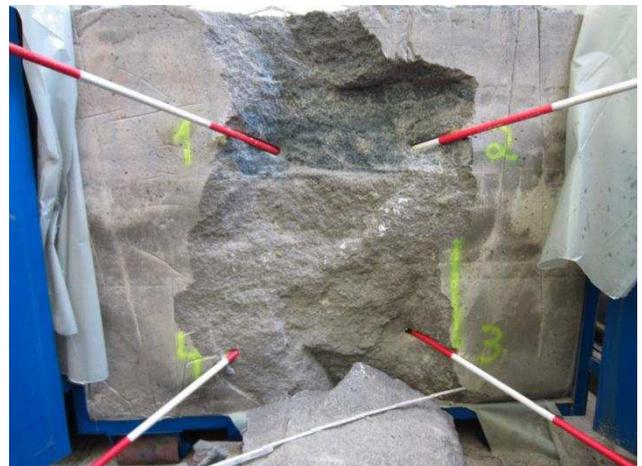


Abbildung 76: Abtragsergebnis des Spaltgeräts nach dem dritten Spaltvorgang.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 65 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Abbildung 77: Durch den dritten Spaltvorgang erzeugtes Bruchstück aus dem Steinsalzbeton.



Abbildung 78: Abtragsergebnis des Spaltgeräts nach dem vierten Spaltvorgang.

Insgesamt wurde somit in 2,5 Stunden ein Steinsalzbetonvolumen von ca. $0,25 \text{ m}^3$ aus dem Steinsalzbetonblock herausgebrochen, was einer theoretischen Leistung von ca. $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ entsprach. Dabei wurden für jede Bohrung etwa 0,5 Stunden aufgewendet sowie zwischen 5 und 10 Minuten für den eigentlichen Spaltvorgang.

Die Bearbeitung des Steinsalzbetonblockes mit dem Spaltgerät erfolgte unter minimaler Staubentwicklung, beim Bohren entstand allerdings Staub.

In Abbildung 79 ist der zeitliche Verlauf des Hydraulikdrucks abgebildet, der während der Arbeiten mit dem Spaltgerät gemessen wurde.

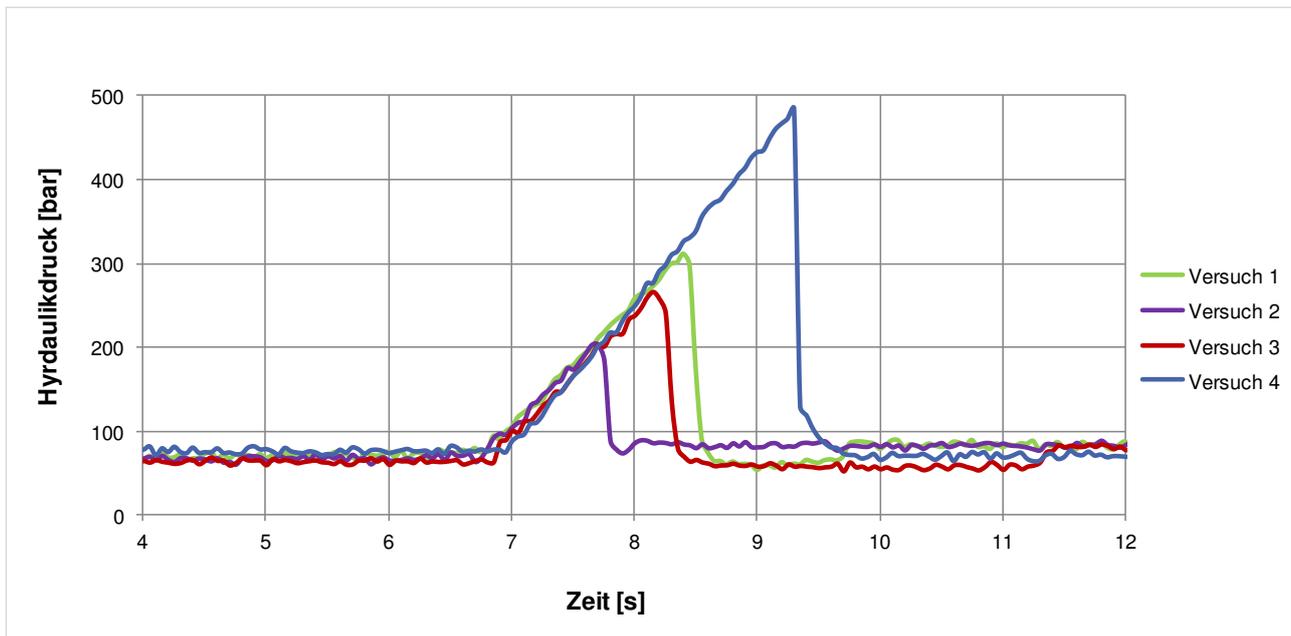


Abbildung 79: Spaltversuche 1 bis 4 – Hydraulikdruck in Abhängigkeit der Zeit.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 66 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Spaltgerät – Versuchsteil 1.2: Vertikaler Arbeitsvortrieb

Neben dem horizontalen Arbeitsvortrieb des Spaltgeräts wurde der vertikale Arbeitsvortrieb untersucht. Zu diesem Zweck wurden zwei vertikal verlaufende Bohrlöcher sowie ein schräg verlaufendes Bohrloch in den Steinsalzbetonblock gesetzt. Abbildung 80 zeigt die Lage der drei Bohrlöcher und Abbildung 81 den Einsatz des Spaltgeräts sowie erste Risse, die durch den Spaltvorgang erzeugt wurden.

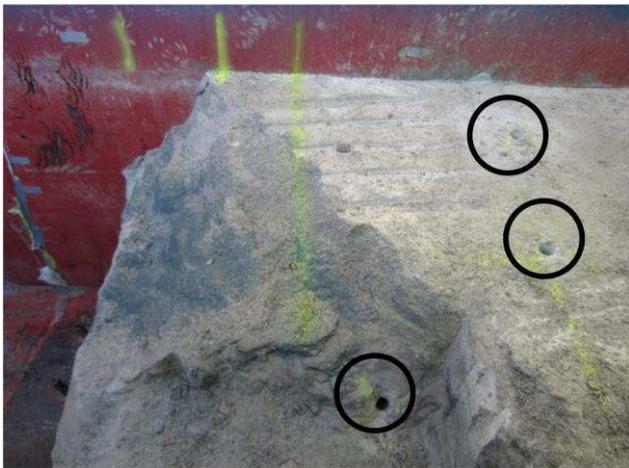


Abbildung 80: Für die Spaltversuche vorbereitete Bohrlöcher im Steinsalzbeton.



Abbildung 81: Einsatz des Spaltgeräts am Steinsalzbeton sowie erste Rissbildung.

Entsprechend der Tiefe der Bohrlöcher sowie der Lage der Bohrungen lösten sich in dem vorgesehenen Bereich mehrere Bruchstücke aus dem Steinsalzbetonblock. Abbildung 82 zeigt die Verläufe der Bruchkanten nach Einsatz des Spaltgeräts und die Abbildung 83 den Steinsalzbetonblock nach Abtrag der abgelösten Bruchstücke. Insgesamt wurde in 4 Stunden und 12 Minuten, mit einer Abtragsleistung von ca. 0,09 m³/h, ein Steinsalzbetonvolumen von etwa 0,36 m³ aus dem Steinsalzbetonblock herausgebrochen. Dabei wurde für jede Bohrung etwa 1 Stunde und 15 Minuten aufgewendet sowie zwischen 5 und 10 Minuten für den eigentlichen Spaltvorgang.



Abbildung 82: Verlauf der durch den Spaltversuch erzeugten Bruchkanten des Steinsalzbetons.



Abbildung 83: Durch den Spaltversuch erzeugter Gesamtabbruch aus dem Steinsalzbeton.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 67 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Abschließend konnte hinsichtlich des Spaltgeräts festgehalten werden, dass nahezu ohne Erschütterungen Teile aus dem Steinsalzbeton herausgelöst werden konnten. Die dabei verursachte Staubentwicklung war im direkten Vergleich zur Fräse bzw. zum Hydraulikmeißel äußerst gering. Im Hinblick auf die Abtraggenauigkeit war deutlich geworden, dass sich die Rissbildung innerhalb des Steinsalzbetongefüges, in Folge des vorgenommenen Kräfteintrages, nur grob steuern ließ.

3.2.6 Versuche mit dem Nukleargreifer

Um die freigelegten Gebinde zu greifen und zu verladen, wurde ein Nukleargreifer (Abbildung 84) des Herstellers Kinshofer GmbH eingesetzt. Dieser war speziell auf die Geometrie der 200 l-Gebinde angepasst. Der Greifer bestand aus zwei Backen, die hydraulisch bewegt wurden. Der eigentliche Greifkörper war mit einem Rotator ausgestattet, womit der Greifer endlos gedreht werden konnte. Mit diesem Rotatorbauteil wurde der Greifer an die Werkzeugaufnahme des Trägergeräts montiert. Einen weiteren Freiheitsgrad erhielt der Greifer über den Schwenkzylinder des Trägergeräts, wodurch er sich vor- und zurückschwenken ließ. Dadurch konnten mit dem Nukleargreifer Gebinde in beliebiger Lage aus dem Salzgrus gegriffen und verladen werden.



Abbildung 84: Eingesetzter Nukleargreifer des Herstellers Kinshofer GmbH.

Entscheidend für das sichere Greifen der Gebinde war, dass die Mantelfläche der Gebinde grob freiliegen musste. Sofern die Flächen noch großflächig mit Steinsalzbeton bedeckt waren, konnten die Gebinde nicht gegriffen werden. In diesem Fall war zunächst ein weiteres Freilegen bzw. Freiziehen der Gebinde erforderlich.

3.3 VERSUCHSERGEBNISSE UND ZUSAMMENFASSUNG

Hinsichtlich der durchgeführten Löseversuche ließ sich festhalten, dass eine Bearbeitung von Steinsalzbeton mit den eingesetzten Gerätschaften und Werkzeugen möglich war.

Nachdem Baggerlöffel und Reißzahn im Hinblick auf ihre Eignung zum Freilegen und Lösen von Gebinden untersucht wurden, folgten die Versuche mit den Hydraulikmeißeln und der Hydraulik-



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 68 von 116
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

fräse. Über die Baggeranbauwerkzeuge hinaus, wurde ein handgeführtes Spaltgerät getestet. Abschließend erfolgte der Einsatz eines Nukleargreifers zum Greifen und Anheben der im Versuchscontainer freigelegten und gelösten Gebinde.

Eine Bearbeitungsmöglichkeit mit dem Baggerlöffel und mit dem Reißzahn war nur in geringem Maße gegeben. Der Steinsalzbeton konnte mit dem Baggerlöffel bzw. mit dem Reißzahn nur an der Oberfläche bearbeitet werden. Bei den durchgeführten Schürfversuchen drangen beide Werkzeuge mit bis zu maximal 11 cm Eindringtiefe nur sehr gering in den Steinsalzbeton ein.

Mit dem Hydraulikmeißel und der Hydraulikfräse mit Querschneidkopf war die Bearbeitung des Steinsalzbetons möglich.

Insbesondere mit dem Hydraulikmeißel wurde in kurzer Zeit ein hoher Abtrag erzielt. Das Werkzeug erlaubte einen bedarfsgenauen Abtrag des Steinsalzbetons bei zugleich geringer Staubentwicklung. Die durchschnittliche Leistung bei Langzeitversuchen lag bei 3,5 m³/h. Es konnten im Vergleich zur Fräse überwiegend große Bruchstücke aus dem Steinsalzbeton herausgebrochen werden. Im Bereich der eingeschlossenen Gebinde ließ sich der Steinsalzbeton in wenigen Arbeitsschritten großflächig von der Oberfläche der Gebinde lösen. Darüber hinaus ließen sich die freigelegten und gelösten Gebinde mit dem Hydraulikmeißel aus dem Salzgrus freiziehen und für den Greifer positionieren.

Mit der Hydraulikfräse wurde ein Abtrag von 1,5 m³/h erzielt. Während der Versuche wurde eine deutliche Staubentwicklung beobachtet. Dies war insbesondere darin begründet, dass die Fräse einen Abtrag mit – im Vergleich zum Hydraulikmeißel – relativ kleinen und sehr feinkörnigen Bruchstücken produzierte. Der Abtrag mittels Hydraulikfräse ließ sich bedarfsgenau steuern und das Freilegen der eingeschlossenen Gebinde war gleichermaßen möglich. Allerdings konnte mit der Fräse nur schichtweise Material abgetragen werden.

Bei Versuchen mit dem handgeführten Spaltgerät war es möglich, Bruchstücke aus der Steinsalzbetonmatrix herauszulösen. Ein Freilegen bzw. Lösen von Gebinden wurde nicht gezeigt. Aufgrund der Notwendigkeit einer Bohrung zum Ansetzen des Spaltgerätes, kann dessen Eignung zum Freilegen und Lösen, als eingeschränkt angesehen werden.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 69 von 116
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

4 ZUGVERSUCHE MIT GEBINDEN

Im Zuge einer Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Asse muss von freiliegenden Gebinden, welche ohne besondere Maßnahmen in Bezug auf Freilegen und Lösen geborgen werden können, bis hin zu Gebinden, die sich fest eingeschlossen im verfestigten Salzgrus befinden, ausgegangen werden. Im 1. Zwischenbericht zu Arbeitspaket 1 wurden in Kapitel 8 unterschiedliche Einlagerungssituationen diskutiert.

Im Rahmen der „Vorversuche zur Maschinenteknik“ wurde innerhalb der Versuchsreihe „Zugversuche mit Gebinden“ eine Einlagerungssituation simuliert, bei der die Gebinde fest im Salzgrus eingebunden waren. Die mechanische Verdichtung des befeuchteten Salzgruses erfolgte lagenweise um die einzubettenden Gebinde.

Mit Hilfe dieser Versuchsreihe sollte eine Aussage zur notwendigen Zugkraft gegeben werden, mit der stehend und liegend gelagerte Gebinde aus dem Salzgrus des Versuchsaufbaus gelöst bzw. gezogen werden können.

Es kamen zwei Verfahren zum Einsatz: Die Gebinde wurden mittels Lasthaken und mithilfe eines Vakuumhebers aus dem verdichteten Salzgrus gezogen. Es wurden sowohl stehend als auch liegend eingebrachte Gebinde berücksichtigt. In diesem Kapitel wird der Aufbau des Versuchsstandes beschrieben. Eine Gesamtübersicht über den Versuchsaufbau ist in Anhang 4 dargestellt.

4.1 DARSTELLUNG UND ERLÄUTERUNG DES VERSUCHSAUFBAUS

Der für die Versuchsreihe „Zugversuche mit Gebinden“ gewählte Aufbau setzte sich zusammen aus einem Versuchscontainer, der in zwei Kammern unterteilt werden konnte, sowie einer Zugvorrichtung bestehend aus Flaschenzug, A-Bock zur Aufnahme von Zugkräften und einer Seilwinde in Hubwindenbauweise.

4.1.1 Aufbau Versuchscontainer

Zur Aufnahme der Gebinde sowie des Salzgruses wurde ein Abrollcontainer gewählt, welcher im Originalzustand identisch mit dem bereits in Kapitel 3 beschriebenen Abrollcontainer war. Abbildung 85 zeigt den in der Versuchsrinne positionierten Container inklusive Kammerabtrennungen, wie er für die Durchführung der Zugversuche eingesetzt wurde. In die Kammern wurden die Gebinde sowie der Salzgrus eingebracht. Dadurch konnte ein paralleler Aufbau zweier unterschiedlicher Zugversuche realisiert werden. Mit den Abmessungen des Containers ergeben sich Kammervolumina von $2,40 \text{ m} \times 2,00 \text{ m} \times 2,35 \text{ m} = 11,28 \text{ m}^3$ (Höhe x Länge x Breite) für Kammer 1 bzw. $2,40 \text{ m} \times 1,60 \text{ m} \times 2,35 \text{ m} = 9,02 \text{ m}^3$ für Kammer 2.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 70 von 116
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013



Abbildung 85: Versuchscontainer mit Kammerabtrennung für Löseversuche.

Zur Aufnahme und Weiterleitung der eingebrachten Zugkräfte wurde ein A-Bock, bestehend aus einer Profilstahlkonstruktion, angefertigt (Abbildung 86 und Abbildung 87). Der horizontal verlaufende Doppel-T-Träger, das durch Biegemomente und Querkräfte am stärksten beanspruchte Bauteil des A-Bocks, wurde für eine mittig angreifende Maximalbelastung von ca. 72 kN ausgelegt. Die Konstruktion war den Abmessungen des Containers in der Breite angepasst. Durch entsprechende Rollkörper im Lagerschuh des A-Bocks konnte die Konstruktion auf der gewölbten Kante der Containerwand horizontal verschoben werden. Versplintete Stahlbolzen dienten der Fixierung des Lagerschuhs und somit der gesamten Konstruktion während der Zugversuche. Die Außenwände des Abrollcontainers wurden mit Gewindestangen vorgespannt, um ein mögliches Ausbeulen der Containerwände zu verhindern. Auch bei gefülltem Container war dadurch ein einfaches Verschieben der Profilstahlkonstruktion gewährleistet.



Abbildung 86: A-Bock auf Versuchscontainer für die Löseversuche positioniert.



Abbildung 87: A-Bock inklusive Flaschenzug.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 71 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Im Verlauf der Konstruktionsphase konnten die notwendigen Zugkräfte zum Lösen der Gebinde nur schwer abgeschätzt werden. Aus diesem Grund wurde ein Flaschenzug in das System integriert. Abbildung 87 zeigt den aus drei Seilrollen bestehenden Flaschenzug. Das Zugseil läuft von der fest montierten oberen Seilrolle ab, was einer dreifachen Übersetzung gleichkommt. Dies hatte sowohl den Vorteil einer Entlastung der Seilwinde, als auch einer Reduzierung der Zuggeschwindigkeit. Es wurde mit kleiner Zuggeschwindigkeit gearbeitet, um Massenträgheitseffekte zu minimieren.

Die erforderliche Zugleistung zum Lösen der Gebinde wurde von einer 15 kW Hubseilwinde der Firma SEW Eurodrive bereitgestellt. Mit Hilfe eines Frequenzumrichters der Firma Stöwer Antriebstechnik GmbH vom Typ WJ200-150 HFE konnte die Zuggeschwindigkeit am Gebinde in einem Bereich von 0,005 m/s bis 0,435 m/s stufenlos variiert werden. Die Zugkraft wurde von einem Rundlitzendrahtseil, mit einem Durchmesser von 16 mm auf das Gebinde übertragen.

Abbildung 88 zeigt den schematischen Aufbau des Versuchstandes. Der Übersichtlichkeit halber ist der Container transparent dargestellt.

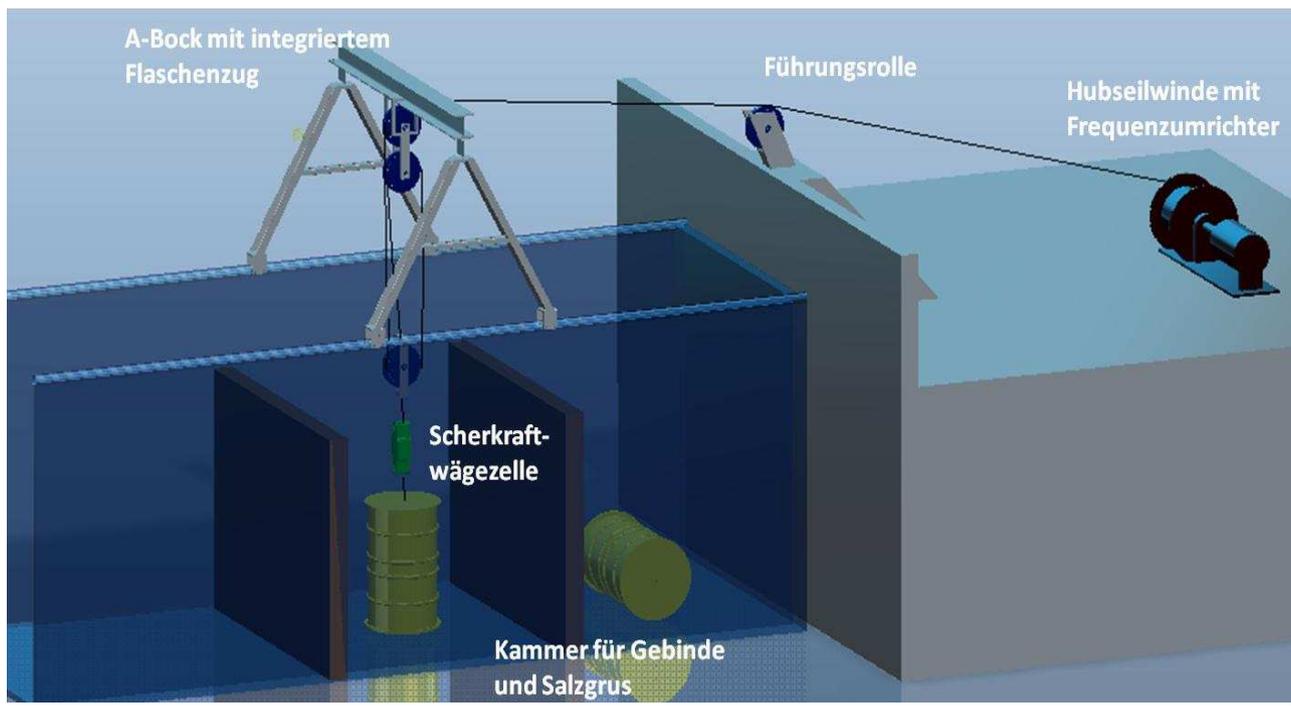


Abbildung 88: Schematischer Aufbau des Versuchstandes der Zugversuche.

Für die Zugversuche wurden, ähnlich einem Großteil der in der Asse eingelagerten Gebinde [2], Fässer vom Typ EB1-A200 mit einem Fassungsvermögen von 200 l und den Abmessungen 884 mm x 626 mm (Gesamthöhe x Außendurchmesser) verwendet. In Anhang 6 ist eine technische Zeichnung der Fässer abgebildet.

Vor Versuchsbeginn mussten die Gebinde für die Zugversuche vorbereitet werden. Zum einen wurden Anschlagpunkte für das Ziehen von stehend und liegend angeordneten Gebinden angebracht. Diese bestanden aus Bewehrungsstahl und waren an mehreren Punkten fest mit der Wandung der Fässer verschweißt. Für eine gleichmäßige Kraftübertragung der aufgebracht



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 72 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Zugkräfte, wurden die Fässer vollständig ausbetoniert. Mit Hilfe einer Kranwaage wurde das Gewicht der ausbetonierten Fässer inklusive der Anschlagpunkte auf 500 kg (+/- 1 %) eingestellt. Abbildung 89 zeigt die vorbereitenden Maßnahmen vom Anbringen der Anschlagpunkte bis zum ausbetonierten Gebinde.



Abbildung 89: Vorbereitung der Gebinde für die Zugversuche.

4.1.2 Untersuchungen zur Salzverdichtung

Aus den in Kapitel 2 beschriebenen Voruntersuchungen wurde bereits die Erkenntnis gewonnen, dass sich trockener Salzgrus mechanisch nur wenig verdichten ließ. Am zuvor beschriebenen Versuchsstand wurde diese Erkenntnis durch mechanische Verdichtungsversuche mittels Rüttelstampfer und Rüttelplatte bestätigt. Aus der Bodenmechanik ist bekannt, dass die Möglichkeit der mechanischen Verdichtung von körnigen Materialien durch Zufuhr von Wasser entscheidend verändert werden kann. Aus diesem Grund wurden Proctorversuche nach DIN 18127 [21] durchgeführt. Zweck des Proctorversuches ist es, die erreichbare maximale Trockendichte beim Einbringen einer genau definierten Verdichtungsenergie in Abhängigkeit des Wassergehaltes zu bestimmen.

Der Feuchtegehalt des angelieferten Salzes wurde zu 0,2 bis 0,4 % bei einer Schüttdichte von 1,16 g/cm³ ermittelt. Innerhalb der Versuche zur Proctordichte wurden insgesamt fünf Salzproben mit unterschiedlichem Wassergehalt von 0,4 bis 10,4 % untersucht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 90 dargestellt.

Die Verdichtungsmöglichkeit von Salzgrus stieg mit zunehmendem Wassergehalt bis zu einem Maximum kontinuierlich an. Das Diagramm zur Proctorkurve zeigt ein Maximum der Trockendichte bei einem Wassergehalt von etwa 8 %. Bei diesem Wassergehalt ließ sich demnach das Material Salzgrus optimal verdichten. Dieser Wassergehalt wurde als Zielwert des Feuchtegehaltes, bei der die mechanische Verdichtungsenergie durch Rüttelstampfer und Rüttelplatte in das Salzgrus einbracht werden sollte, festgelegt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 73 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

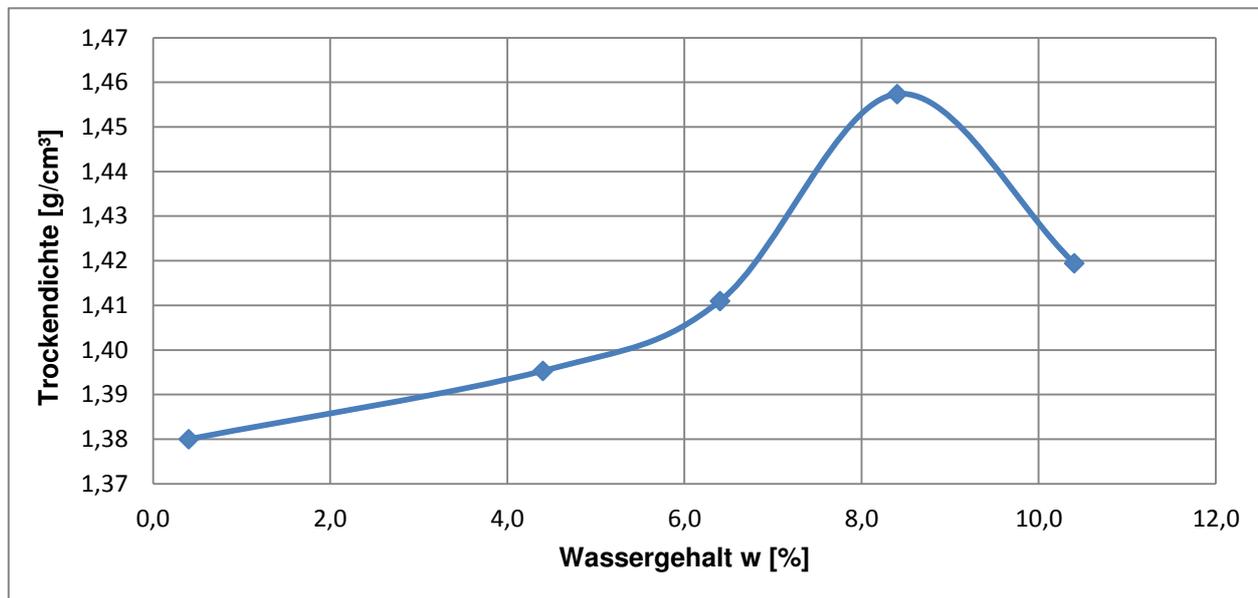


Abbildung 90: Trockendichte von Salzgrus in Abhängigkeit des Wassergehaltes (zur Bestimmung der maximalen Trockendichte).

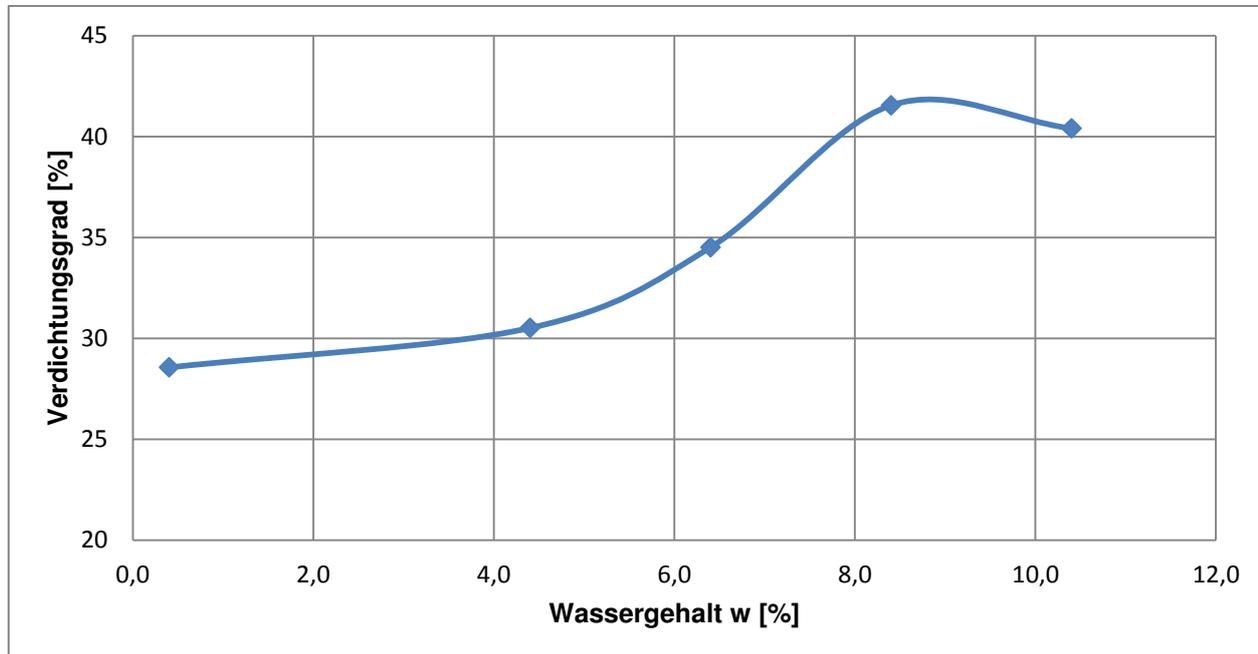


Abbildung 91: Verdichtungsgrad von Salzgrus in Abhängigkeit vom Wassergehalt.

Abbildung 91 zeigt den Verdichtungsgrad von Salzgrus in Abhängigkeit des Wassergehaltes. Dieser Verdichtungsgrad ist hierbei der Quotient aus der im Proctorversuch erreichten Trockendichten und der Dichte der trockenen Salzgrusschüttung. Es war deutlich ein Anstieg der Verdichtungsmöglichkeit mit steigendem Wassergehalt erkennbar.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 74 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

4.1.3 Messtechnik am Versuchsstand und Dokumentation

Zur Aufnahme von Zugkraftkurven wurde eine Scherkraftwägezelle der Firma HKM Messtechnik GmbH vom Typ SW5.0 eingesetzt. Über schwenkbare Lastösen war der Kraftsensor direkt an den zu ziehenden Gebinden positioniert (Abbildung 92).

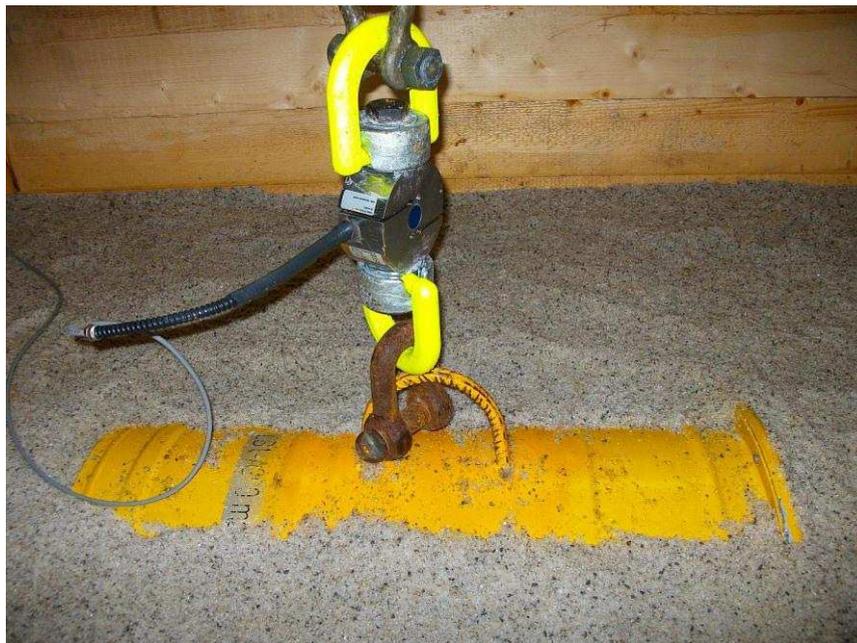


Abbildung 92: Kraftsensor über Lastösen am Gebinde fixiert.

Die Scherkraftwägezelle war für eine Maximalbelastung von 50 kN ausgelegt. Der Hersteller gibt eine Fehlertoleranz kleiner 0,25 % an.

Um die einzelnen Versuche über die Erfassung der Sensordaten hinaus schlüssig dokumentieren und auswerten zu können, wurden diese zusätzlich mit einer Digitalfilmkamera sowie einer Digitalkleinbildkamera aufgezeichnet. Die erstellten Abbildungen sowie das aufgezeichnete Videomaterial sind als Anlage auf einer CD beigefügt.

4.1.4 Salzsondierung am Versuchsstand

Um eine Reproduzierbarkeit der Zugversuche zu gewährleisten und etwaige Auswirkungen unterschiedlicher Einbausituationen auf die Zugkraftkurven beschreiben zu können, wurde das Salz nach dem Einbau auf seine Beschaffenheit untersucht. Zwei Verfahren aus dem Bereich der geotechnischen Erkundung und Untersuchung kamen zum Einsatz. Die beiden Verfahren werden an dieser Stelle kurz vorgestellt. Für weiterführende Informationen wird auf die jeweiligen DIN-Normen verwiesen.

Flügelcherversuche in Anlehnung an DIN 4094-4 [22]

Die Flügelsonde wird zur Messung der Scherfestigkeit von weichen, feinkörnigen Böden eingesetzt. Eine Flügelsonde besteht aus einem Stab mit überkreuz stehenden Flügeln am unteren



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 75 von 116
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Ende. Die Flügelbreite d_{FL} im vorliegenden Versuch betrug 50 mm, die Flügelhöhe 100 mm. Die Flügelsonde wird langsam und gleichmäßig gedreht, wobei der Drehwiderstand mit einem Drehmomentmessgerät bestimmt wird. Maßgebend ist das maximal auftretende Moment M_{Max} , welches beim erstmaligen Abscheren des kompaktierten Salzes auftritt. Der maximale Scherwiderstand c_{fv} [kN/m^2] berechnet sich wie folgt:

$$c_{fv} = \frac{6 \cdot M_{max}}{7 \cdot \pi \cdot d_{FL}^3} \quad (6)$$

Der Scherwiderstand des verdichteten Salzes wurde für Eindringtiefen von 100, 150, 200 und 250 mm bestimmt. Aufgrund des mit steigender Tiefe sehr schnell ansteigenden Scherwiderstandes, konnten keine größeren Eindringtiefen realisiert werden. Für jede Eindringtiefe wurde dieser Versuch zweimal durchgeführt und der Mittelwert gebildet. Die Ergebnisse werden in Unterkapitel 4.3 diskutiert. Die verwendete Flügelsonde ist in Abbildung 93 dargestellt.

Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2 [23]

Unter Rammsondierung versteht man die Feststellung des Eindringwiderstandes durch das lotrechte Einrammen einer Sonde in den Untergrund. Das Einrammen der am Gestänge befestigten Sondenspitze erfolgt durch ein Fallgewicht, dem sogenannten Rammhären, bei gleichbleibender Fallhöhe. Für eine definierte Eindringtiefe wird die notwendige Schlagzahl ermittelt, aus welcher sich Rückschlüsse auf die Lagerungsdichte ziehen lassen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine „leichte Rammsonde“ (DPL; englisch: dynamic probing light) (Abbildung 94) verwendet. Das Fallgewicht hat eine Masse von 10 kg, die Sondenspitze einen Durchmesser von 34 mm. Dokumentiert wurde die für eine Eindringtiefe von jeweils 10 cm benötigte Schlagzahl. Die Lagerungsdichte über die gesamte Tiefe des kompaktierten Salzgruses konnte somit beschrieben werden. Dieser Versuch wurde pro Zugversuch zweimal durchgeführt. Aus den ermittelten Schlagzahlen wurde der Mittelwert gebildet.



Abbildung 93: Eingesetzte Flügelsonde inklusive Zubehör.



Abbildung 94: Rammsonde beim Einsatz.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 76 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Des Weiteren wurden während der Zugversuche die aktuellen Witterungsverhältnisse (Luftfeuchte und Temperatur) dokumentiert. Nach absolviertem Versuch wurde zudem eine Probe des kompaktierten Salzes entnommen und im Labor hinsichtlich Feuchtegehalt (Tabelle 12) und Korngrößenverteilung (Abbildung 105) untersucht.

4.2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Zugversuche der im Salzgrus eingebrachten Gebinde gliederten sich prinzipiell in zwei Messreihen. Zum einen sollten die Gebinde mit einem konventionellen Lasthaken gezogen werden (Kapitel 4.2.1), zum anderen kam ein am TMRK entwickelter Vakuumheber zum Einsatz (Kapitel 4.2.2). Darüber hinaus blieben die in den folgenden Abschnitten erläuterten Versuchsparameter identisch.

Beim Aufbau der Versuche war darauf zu achten, dass die Gebinde lotrecht unter der Zugvorrichtung im Container platziert wurden, um keine ungewollten Querkräfte in das System einzuleiten. Von Interesse war ausschließlich die senkrechte Kraftkomponente, die zum Lösen der Gebinde aufgebracht werden musste. Nach erfolgter Positionierung wurde das Salz den Proctorversuchen entsprechend angefeuchtet und schichtweise in die jeweilige Containerkammer eingebaut. Die Schichthöhe betrug zwischen 15 und 20 cm. Zum Verdichten des Salzgruses diente ein Vibrationsstampfer des Herstellers Bomag vom Typ BT 60/4 (Abbildung 95). Der 62 kg schwere Stampfer arbeitete bei einer Frequenz von 10 bis 12 Hz mit einer Schlagkraft von 13,5 kN [24]. Der Vibrationsstampfer wurde eingesetzt, bis keine spürbare Verdichtung mehr erkennbar war. Zum Glätten der Salzoberfläche wurde eine elektrisch betriebene Rüttelplatte (Abbildung 96) verwendet. Die dadurch eingebrachte Verdichtungsarbeit war im Vergleich zum Stampfer gering. Die Vorgänge zum schichtweisen Verdichten des Salzes wurden bis zum Erreichen der Oberkante der Gebinde wiederholt.



Abbildung 95: Zur Salzverdichtung eingesetzter Vibrationsstampfer.



Abbildung 96: Zur Salzverdichtung eingesetzte Rüttelplatte .



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 77 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Nachfolgend ist die Einbausituation für liegend (Abbildung 97) und stehend (Abbildung 98) gelagerte Gebinde vor den Zugversuchen dargestellt. Nach Abschluss der Verdichtungsarbeiten wurde die Zugvorrichtung positioniert und durch Stahlbolzen am Container fixiert.



Abbildung 97: Für Zugversuche liegend eingebautes Gebinde.



Abbildung 98: Für Zugversuche stehend eingebautes Gebinde.

Aufgrund der umfangreichen Vorbereitung eines Zugversuches (zu verdichten waren bei einem stehenden Gebinde ca. 5,5 m³ und bei einem liegenden Gebinde ca. 3 m³ Salzgrus) konnte der Gebinde- bzw. Salzeinbau und die Aufnahme von Zugkraftkurven beim Lösen der Gebinde nicht an einem Tag stattfinden. Zwischen Einbau und Zugversuch lag stets eine Zeitdifferenz von mindestens zwei Tagen. Dies hatte den Vorteil einer gegebenenfalls weiteren Verdichtung durch Setzung als auch einer Abtrocknung des angefeuchteten und verdichteten Salzgrus. Die jeweiligen Daten werden anhand Tabelle 12 ersichtlich.

Die Sondierung des verdichteten Salzes wurde unmittelbar vor den einzelnen Zugversuchen durchgeführt. Nach Inbetriebnahme der Seilwinde und Aufbau der Messtechnik, bestehend aus Kraftsensor, Messkarte und Messrechner, waren die Vorbereitungen für die Messreihe mit Lasthaken abgeschlossen.

Die Zugversuche wurden bei konstanter Zuggeschwindigkeit durchgeführt. Vorzugweise sollte die Geschwindigkeit beim Ziehen der Gebinde so klein wie möglich gehalten werden. Für den jeweils ersten Versuch, eines stehend bzw. eines liegend gelagerten Gebindes, wurde die Zuggeschwindigkeit am Gebinde mithilfe eines Umrichters auf 5,12 cm/s eingestellt. Für die restlichen Versuche wurde aufgrund einer erkannten Zugkraftreserve eine Zuggeschwindigkeit am Gebinde von 2,56 cm/s gewählt. Ein Versuch war beendet, sobald das Gebinde komplett vom Salz getrennt wurde.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 78 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Nach erfolgtem Zugversuch wurde eine Probe des Salzes aus der Umgebung des zuvor eingebetteten Gebindes entnommen und zu Analysezwecken bezüglich Wassergehalt und Korngrößenverteilung ins Labor verbracht.

4.2.1 Zugversuche mit Lasthaken

Für die Zugversuche mit Lasthaken wurde mittels Lastaufnahmemittel ein Formschluss zwischen Gebinde und Kraftsensor erzeugt. Die Versuche mit Lasthaken wurden für liegend und stehend gelagerte Gebinde jeweils viermal durchgeführt. In Tabelle 12 sind die Parameter zu den einzelnen Versuchen aufgeführt.

Bedingt durch den Versuchsablauf war es für die Zugversuche Nr. 1 und Nr. 2 möglich, die Trockendichte des Salzes zu bestimmen, da zu diesem Zeitpunkt die verbaute Masse an Salz im Container bekannt war. Die Trockendichte am verdichteten Salz wurde zu 1,46 g/cm³ für Zugversuch Nr. 1 bzw. 1,45 g/cm³ für Zugversuch Nr. 2 ermittelt. Die im Labor erzielte Proctordichte konnte demnach auch am Versuchsstand nahezu vollständig erreicht werden. Die Feuchtdichten zum Zeitpunkt der Zugversuche Nr. 1 und Nr. 2 lagen etwa bei 1,49 g/cm.

Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Werte näherungsweise für alle Zugversuche erreicht wurden, da das Verfahren zum Salzeinbau im Laufe dieser Versuchsreihe nicht verändert wurde.

Tabelle 12: Parameter für Zugversuche mit Lasthaken.

Nr.	Fass-anordnung	Kammer	Trocken-dichte Salz [g/cm ³]	Feuchte-gehalt Salz [%]	Zug-geschwindigkeit [cm/s]	Außen-temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Salzeinbau am	Zugversuch am
1	stehend	1	1,46	1,68	5,12	5	60	22./23.11.12	30.11.12
2	liegend	2	1,45	2,31	5,12	4	75	03.12.12	05.12.12
3	liegend	1	-	2,54	2,56	1	95	09.12.12	11.12.12
4	stehend	2	-	3,24	2,56	1	95	09./10.12.12	11.12.12
5	liegend	1	-	3,50	2,56	7	85	13.12.12	18.12.12
6	stehend	2	-	2,70	2,56	7	85	13.12.12	18.12.12
7	liegend	2	-	2,71	2,56	9	60	20.12.12	07.01.13
8	stehend	1	-	2,58	2,56	-1	90	23.01.13	25.01.13

Abbildung 99 und Abbildung 100 verdeutlichen anhand von Fotostrecken die Zugversuche für liegend und stehend eingebaute Gebinde. Je nach Frequenz am Windenumrichter dauerten die Versuche zwischen 40 und 80 Sekunden.

Die Salzanhaftungen am Gebinde während und nach den Versuchen waren relativ gering. Lediglich an den liegend eingebrachten Gebinden konnte eine geringe Salzanhaftung im oberen Drittel festgestellt werden.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 79 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

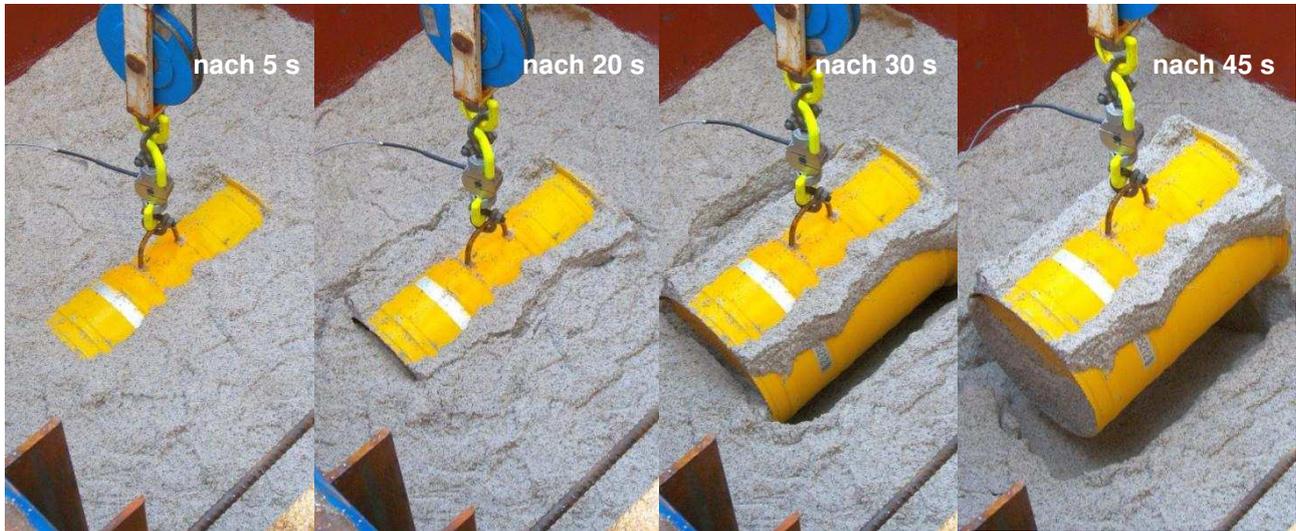


Abbildung 99: Fotostrecke beim Ziehen liegend eingebrachter Gebinde.

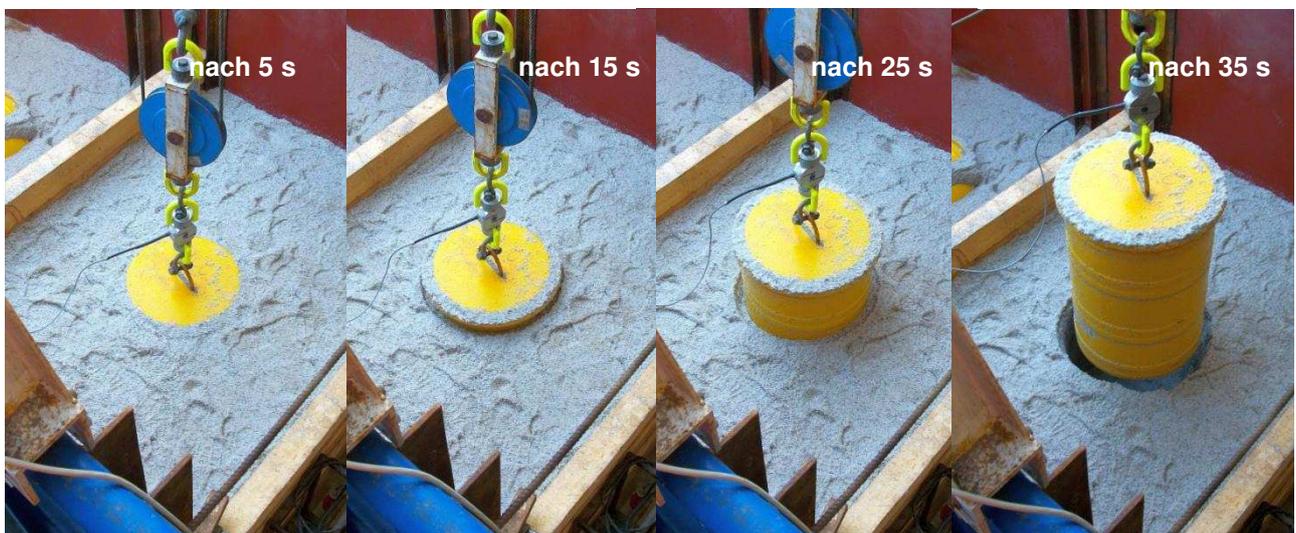


Abbildung 100: Fotostrecke beim Ziehen stehend eingebrachter Gebinde.

4.2.2 Zugversuche mit Vakuumheber

Im Rahmen dieser Testreihen wurden Zugversuche mit Vakuumhebern durchgeführt. Da die Zugversuche mit Lasthaken im vorherigen Abschnitt bereits detailliert erläutert wurden, wird an dieser Stelle nur die grundsätzliche Wirkungsweise eines Vakuumhebers dargestellt.

Vakuumheber werden in der Praxis auch häufig als Sauggreifer bezeichnet. Ihr Einsatzgebiet liegt beispielsweise in der Fertigungstechnik und der Montage. Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten resultieren aus der guten Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Oberflächen, Geometrien und Materialien. Zudem sind Vakuumheber einfach aufgebaut. Das Grundprinzip, nach dem mit Vakuumhebern Objekte bewegt werden können, besteht in einer Druckdifferenz



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 80 von 116
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

zwischen dem Umgebungsdruck und dem in einer evakuierten Kammer herrschenden Vakuum [25].

Der Einsatz eines Vakuumhebers bei der Rückholung der Gebinde bietet folgende Vorteile gegenüber herkömmlichen Greifgeräten. Nach Positionieren des Vakuumhebers saugt sich dieser an dem zu hebenden Objekt fest. Dadurch werden, anders als im Vergleich zu herkömmlichen Greifzangen, keine seitlichen Kräfte in die Gebinde eingebracht. Liegt eine tragfähige Gebindestruktur vor, so kann der Vakuumheber das Gebinde im nächsten Schritt aus dem Salzgrus herausziehen. Das anschließende Ablösen des Vakuumhebers geschieht hierbei schnell und zuverlässig durch Abschalten der Vakuumeinheit. Der Kontakt zwischen dem Vakuumheber und dem Gebinde erfolgt über die elastische Abdichtung. Diese besteht in der Regel aus einem weichen Werkstoff wie zum Beispiel Schwammgummi und ermöglicht damit ein schonendes Greifen der Gebinde. Je nach eingesetzter Dichtung und Vakuumeinheit kann ein Vakuumheber an unterschiedliche Gegebenheiten angepasst werden. Sowohl glatte Stahloberflächen als auch relativ raue Betonoberflächen können mithilfe eines Vakuumhebers angesaugt werden.

Für die Versuche mit dem Vakuumheber wurden die eingangs beschriebenen Einlagerungssituationen (liegendes und stehendes Gebinde) berücksichtigt. Folgende Randbedingungen wurden festgelegt: Ein liegendes Gebinde sollte bis zu einem Drittel freigelegt sein, sodass genügend Fläche für den Vakuumheber zur Verfügung steht. Für ein stehend gelagertes Gebinde sollte die Stirnseite des Gebindes komplett freigelegt sein.

Die zur Verfügung stehende Ansaugfläche und der erreichbare Unterdruck begrenzen die Maximalkraft des Vakuumhebers. Der Gebindegeometrie entsprechend, wurden eine flache sowie eine gebogene Vakuumsaugplatte konstruiert. Die flache Saugplatte hatte einen Durchmesser von 500 mm und besaß bei einer Druckdifferenz von 0,8 bar eine Tragkraft von 0,8 t. Die gebogene Saugplatte für liegend eingebaute Gebinde konnte bei einer Länge von 600 mm eine Last von ca. 1 t aufnehmen. Als Dichtungsmaterial wurde für beide Saugplatten Schwammgummi des Typs RGK 500 des Herstellers Bosig verwendet. Das Schwammgummi wurde quadratisch zugeschnitten und weist eine Kantenlänge von 20 mm auf.

Zur Erzeugung des Vakuums wurde die Vakuumeinheit Kappa Levator des Herstellers WIMAG eingesetzt. Diese konnte mithilfe einer Drehschieberpumpe einen minimalen Absolutdruck von 0,1 bar erzeugen.

Die verwendeten Gebinde konnten gemäß den Angaben in Tabelle 13 mit beiden Vakuumsaugplatten freistehend gehoben werden. Waren die Gebinde jedoch im Salzgrus eingebettet, so war die erforderliche Zugkraft zum Anheben der Gebinde aufgrund diverser Reibungseinflüsse wesentlich größer.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 81 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Tabelle 13: Gebogener Vakuumheber (links) und flacher Vakuumheber (rechts).

	
Länge: 600 mm	Durchmesser: 500 mm
Breite: 400 mm	-
Dicke Stahlblech: 4 mm	Dicke Stahlblech: 5 mm
Fläche: 0,24 m ²	Fläche: 0,19 m ²
Tragkraft (Sicherheitsfaktor 2 und 0,8 bar): 1 t	Tragkraft (Sicherheitsfaktor 2 und 0,8 bar): 0,8 t

4.3 VERSUCHSERGEBNISSE UND ZUSAMMENFASSUNG

Vor Versuchsbeginn wurde eine Sondierung des Salzes gemäß Unterkapitel 4.1.4 durchgeführt. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Salzsondierung für Zugversuch 1 und Zugversuch 4 der stehend gelagerten Gebinde bzw. Zugversuch 2 und Zugversuch 7 der liegend eingebrachten Gebinde diskutiert und anhand Abbildung 101 bis Abbildung 104 dargestellt. Die genannten Versuche wiesen die jeweils größten bzw. kleinsten Maximalkräfte beim Lösen aus dem verdichteten Salzgrus auf.



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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 82 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

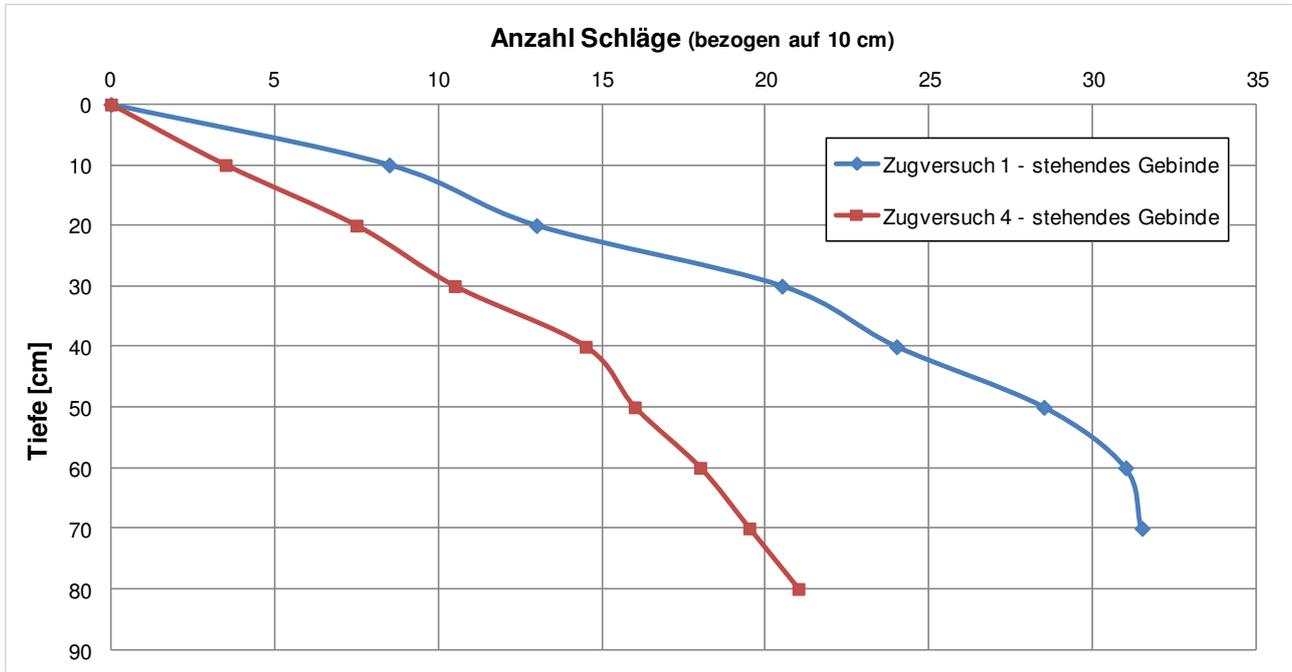


Abbildung 101: Ergebnisse der Rammsondierung für Zugversuch 1 und Zugversuch 4.

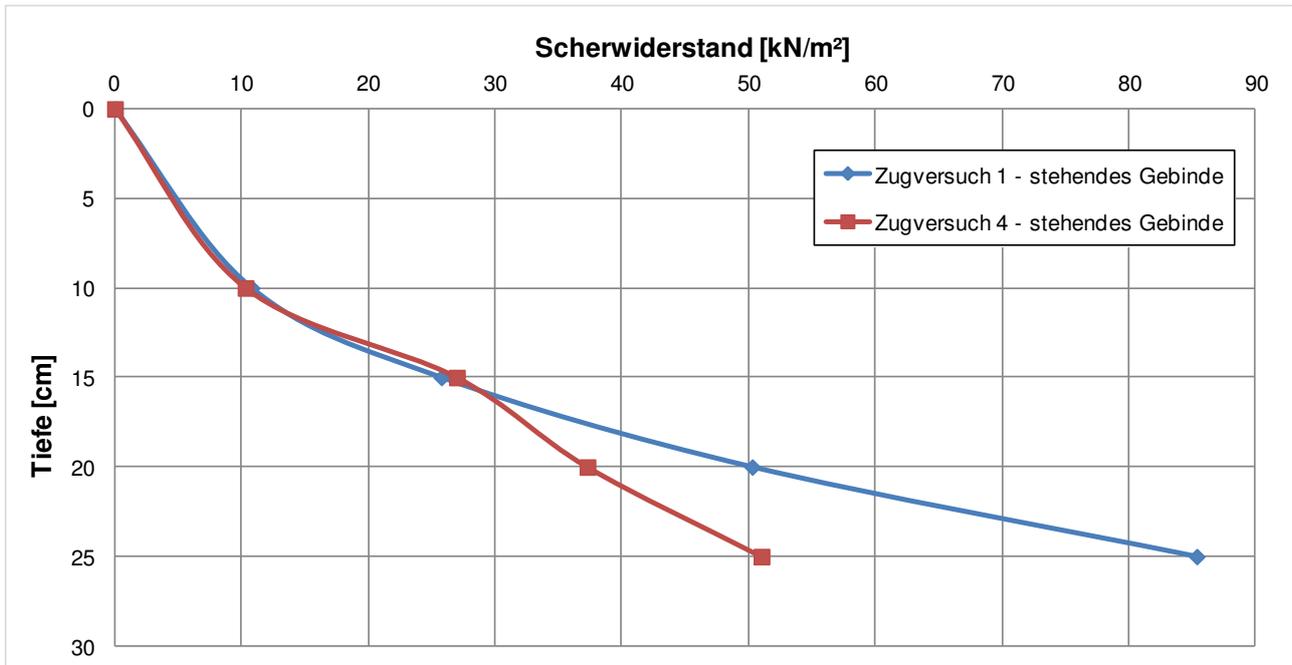


Abbildung 102: Ergebnisse der Flügelsondierung für Zugversuch 1 und Zugversuch 4.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 83 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013



Abbildung 103: Ergebnisse der Rammsondierung für Zugversuch 2 und Zugversuch 7.

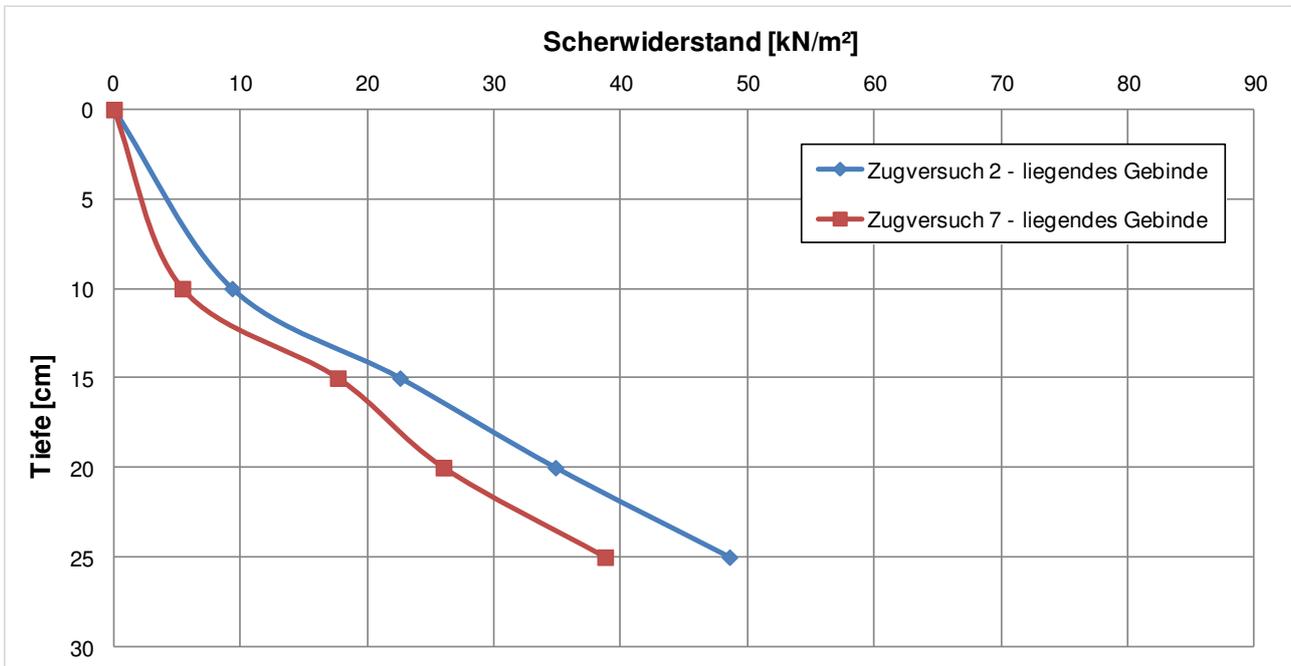


Abbildung 104: Ergebnisse der Flügelsondierung für Zugversuch 2 und Zugversuch 7.

Die Diagramme zur Salzsondierung zeigen für alle dargestellten Fälle erwartungsgemäß eine Zunahme der Lagerungsdichte sowie der Scherfestigkeit des Salzes mit steigender Tiefe. Vergleicht man die Ergebnisse der einzelnen Sondierungen untereinander, können wesentliche Abweichungen sowohl der Lagerungsdichte als auch der Scherfestigkeit ausgemacht werden.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 84 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Wurden beispielsweise für den Zugversuch 1 noch 174 Schläge für das Durchstoßen der gesamten Salzschrift registriert, so waren beim Zugversuch 4 lediglich 111 Schläge notwendig (Abbildung 101). Ähnlich verhielt sich die Situation bezogen auf die Scherfestigkeit des Salzes. In 25 cm Tiefe wurde beim Zugversuch 1 eine Scherfestigkeit des Salzes von 86 kN/m² gemessen. Im Vergleich dazu waren es bei Zugversuch 4 lediglich 51,5 kN/m² (Abbildung 102). Analog dazu stellten sich die Ergebnisse der Salzsondierung bei den liegend eingebauten Gebinden dar.

Die Auswertung zur Salzsondierung verdeutlicht, dass trotz gleicher Einbauverfahren die Beschaffenheit des Salzes unterschiedlich war. Zurückzuführen war dies unter anderem auf die äußeren Witterungsbedingungen wie Temperatur und Luftfeuchte. Das eingebaute und verdichtete Salz konnte nicht unter gleichen Bedingungen abtrocknen. Es war davon auszugehen, dass die Dauer zwischen Salzeinbau und Zugversuch sich ebenfalls auf die Beschaffenheit des Salzes auswirkte. Nach langer „Lagerzeit“ konnten stets hohe Werte für die Lagerungsdichte und Scherfestigkeit registriert werden. Dies könnte durch eine mit der Zeit voranschreitende, allerdings noch nicht sichtbare, Rekristallisation der Salzkörner untereinander ausgelöst werden.

Es ist davon auszugehen, dass die Korngrößenverteilung des verwendeten Salzes ebenfalls Einfluss auf die Reibung zwischen Salzmatrix und Gebindeoberfläche nimmt. Im Rahmen der Versuche wurde nach dem Salzeinbau eine Siebanalyse zur Korngrößenbestimmung nach DIN 66165–1 [27] durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung 105 dargestellt. Im Verlaufe der Zugversuche konnte keine wesentliche Änderung der Korngrößenverteilung festgestellt werden. Es fand demnach keine oder kaum Kornzertrümmerung im Zuge der Verdichtungsarbeiten am Salzgrus statt.

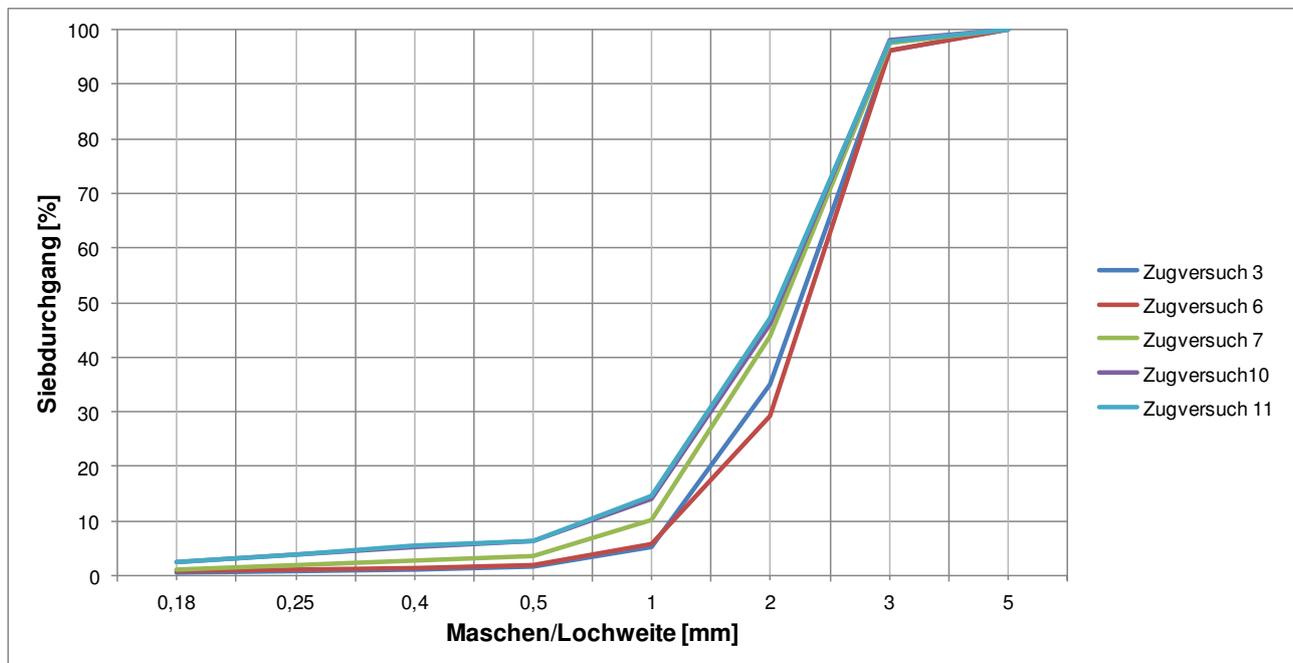


Abbildung 105: Siebanalyse der Salzmatrix zur Bestimmung der Korngrößenverteilung.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 85 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Beim Löseprozess stieg die Zugkraft zu Beginn schnell bis zu einem ausgeprägten Maximum an. Der Zugkraftverlauf über die Messzeit wird nachfolgend für je ein liegend und ein stehend eingebautes Gebinde dargestellt (Abbildung 106 und Abbildung 108). Für stehend eingebaute Gebinde wurden dabei Maximalkräfte von bis zu 33,2 kN registriert, was eine Zugkraftherhöhung um den Faktor 6,77 gegenüber der Gewichtskraft des Gebindes bedeutet. Für liegend gelagerte Gebinde war der gemessene Maximalwert geringer. Die Reibkräfte an der unteren Mantelhälfte des liegend eingebrachten Gebindes wirken sich kaum aus. Zudem hatten die Sicken am Gebinde bei liegender Anordnung kaum einen Einfluss. Es wurden Maximalkräfte von 13,7 kN gemessen, was einer Zugkraftherhöhung gegenüber der Gewichtskraft um den Faktor 2,8 entsprach.

Erst nach Erreichen der Maximalkraft war eine Bewegung der Gebinde zu verzeichnen. Die Zugkraft fiel mit fortschreitender Messdauer bis auf den Wert der Eigengewichtskraft ab. Unstetigkeiten und Sprünge im Zugkraftverlauf konnten durch Verkanten der Gebinde, Aufreißen der Salzmatrix bzw. durch Lösen anhaftender Salzmassen an der Gebindeoberfläche erklärt werden.

In Abbildung 108 und Abbildung 109 werden die Zugkraftverläufe aller Messreihen für die jeweils stehend und liegend eingebrachten Gebinde gegenübergestellt. Aufgrund verschiedener Zuggeschwindigkeiten wurden zur besseren Vergleichbarkeit die Zugkraftkurven nicht über die Messzeit, sondern über den Zugweg normiert dargestellt.

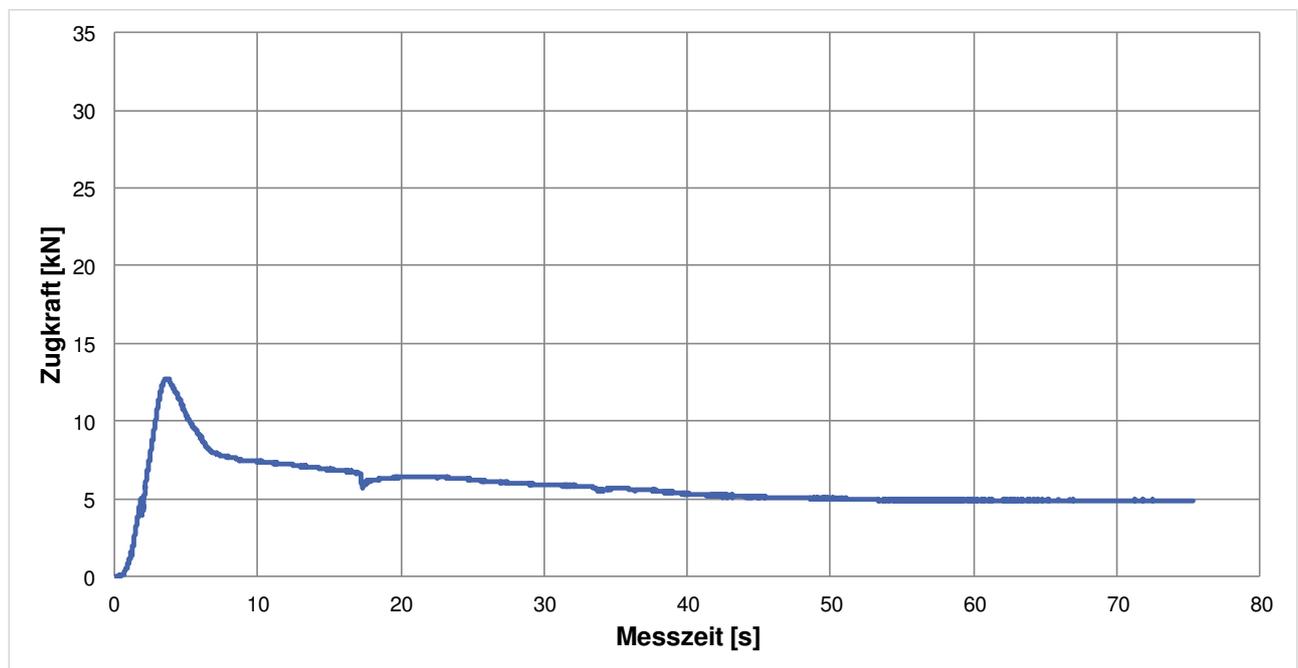


Abbildung 106: Zugkraftverlauf eines liegend eingebrachten Gebindes mit Lasthaken.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 86 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

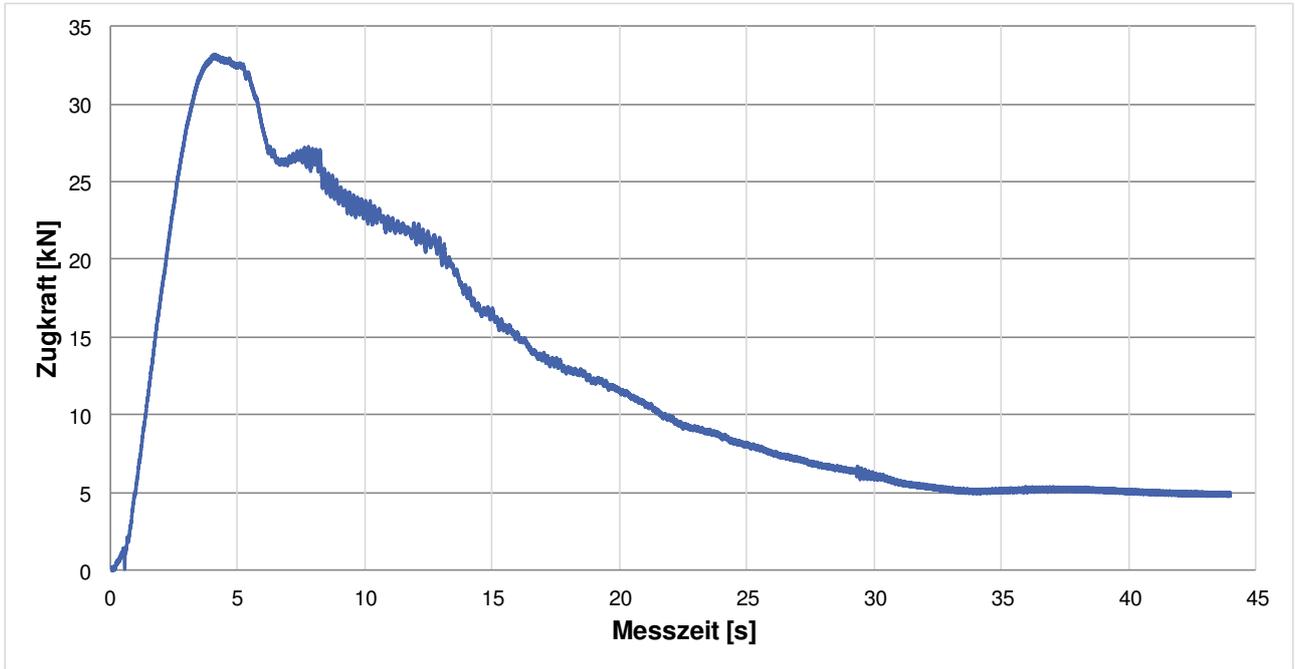


Abbildung 107: Zugkraftverlauf eines stehend eingebrachten Gebindes mit Lasthaken.

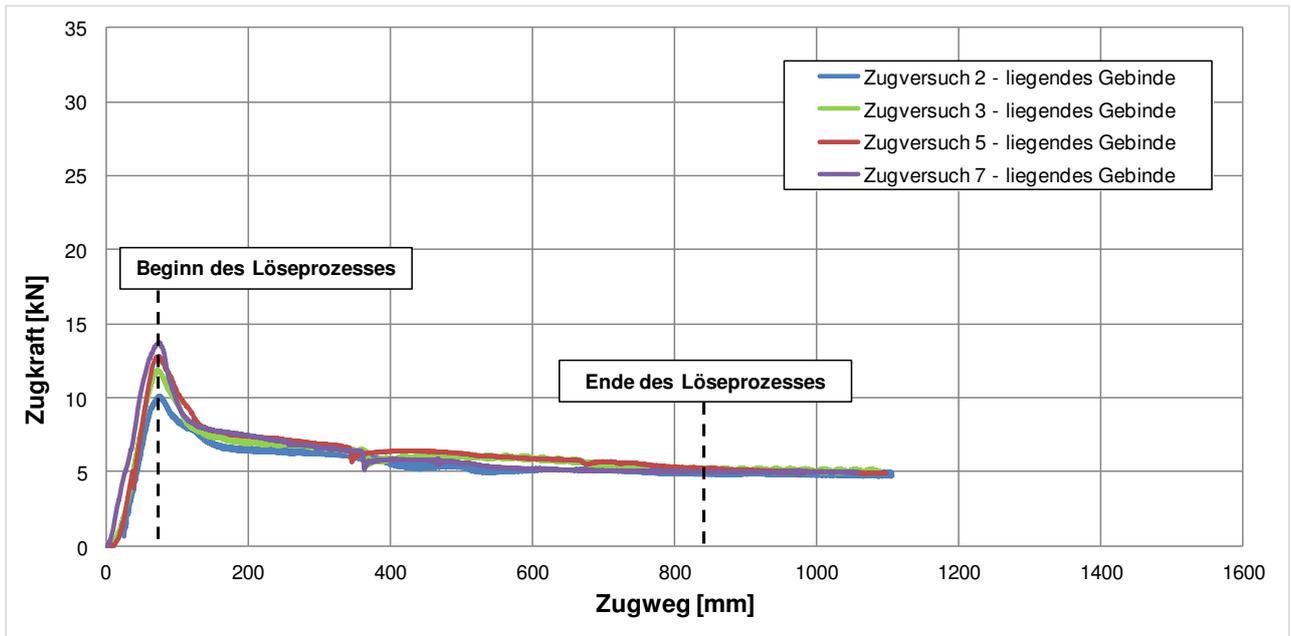


Abbildung 108: Zugkraftverlauf der liegend eingebrachten Gebinde mit Lasthaken.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 87 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

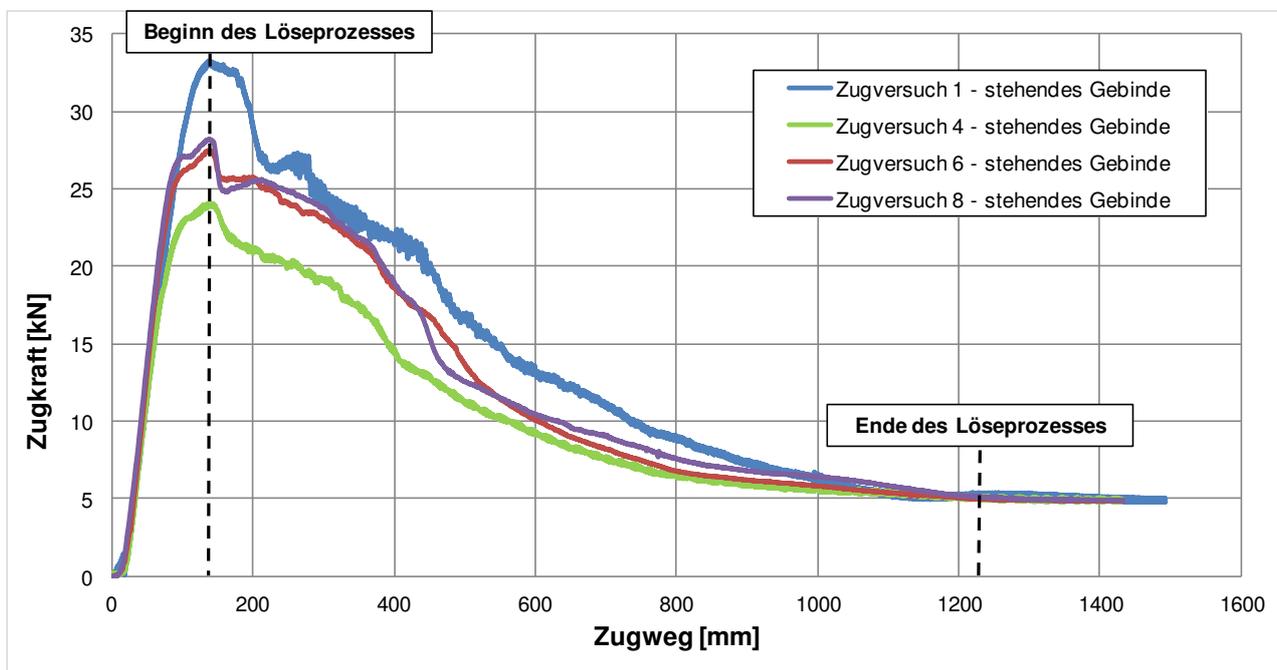


Abbildung 109: Zugkraftverlauf der stehend eingebrachten Gebinde mit Lasthaken.

Es konnten keine wesentlichen Unterschiede im qualitativen Verlauf der Zugkraft in Abhängigkeit des Zugwegs festgestellt werden. Im Gegensatz dazu wichen die gemessenen Maximalwerte erheblich voneinander ab (Tabelle 14 und Tabelle 15). Dieser Sachverhalt kann vermutlich durch eine unterschiedliche Versuchsvorbereitung (z.B. Verdichtung, Zeitspanne zwischen Verdichtung und Versuchsdurchführung) erklärt werden.

Eine Übersicht der Zugversuche mit Lasthaken bieten folgende Tabelle 14 und Tabelle 15.

Tabelle 14: Zugversuche – Übersicht Messwerte für stehend eingebrachte Gebinde.

Versuch Nr.	Kammer	Maximalkraft [N]	Faktor Zugkraft-erhöhung	Dauer [Tage] Salzeinbau / Zugversuch	Wassergehalt [%]	Lagerungsdichte gemäß Rammsondierung	Scherkraftfestigkeit gemäß Flügelsondierung
1	1	33.207	6,77	7	1,68	hoch	hoch
4	2	24.035	4,9	2	3,24	niedrig	niedrig
6	2	27.493	5,61	5	2,70	mittel	mittel
8	1	28.240	5,76	3	2,58	mittel	mittel



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 88 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Tabelle 15: Zugversuche – Übersicht Messwerte für liegend eingebrachte Gebinde.

Versuch Nr.	Kammer	Maximalkraft [N]	Faktor Zugkraft-erhöhung	Dauer [Tage] Salzeinbau / Zugversuch	Wasser-gehalt [%]	Lagerungsdichte gemäß Rammsondierung	Scherkraftfestigkeit gemäß Flügelsondierung
2	2	10.117	2,06	2	2,31	niedrig	niedrig
3	1	11.846	2,42	2	2,54	mittel	mittel
5	1	12.753	2,60	5	3,50	mittel	mittel
7	2	13.734	2,80	18	2,71	hoch	hoch

Es besteht durchaus die Möglichkeit, dass die gewählte Größe der Containerkammer ebenfalls Auswirkungen auf den Zugkraftverlauf hatte. Von Pfahlgründungen ist bekannt, dass das Tragverhalten von Einzelpfählen und Pfahlgruppen unter anderem von einem sich im Erdreich ausbildenden Reibungskegel abhängig ist [26]. Ein solcher Reibungskegel bildet sich beim Ziehen der Gebinde innerhalb der Salzmatrix in umgekehrter Richtung aus. Sollten die Containerkammern zu klein gewählt worden sein, müssten die Maximalkräfte größer angenommen werden. Dieser Effekt konnte im beschriebenen Versuchsaufbau nicht untersucht werden.

Auch mit dem Vakuumheber konnten bei allen drei durchgeführten Versuchen die liegend gelagerten Gebinde aus dem verdichteten Salzgrus gezogen werden. In der nachfolgenden Abbildung 110 ist der Kraftverlauf beim Ziehen der liegenden Gebinde aus dem verdichteten Salzgrus mittels Vakuumheber aufgeführt. Der Kraftverlauf war dabei vergleichbar mit den Verläufen der Zugversuche mit Lasthaken.

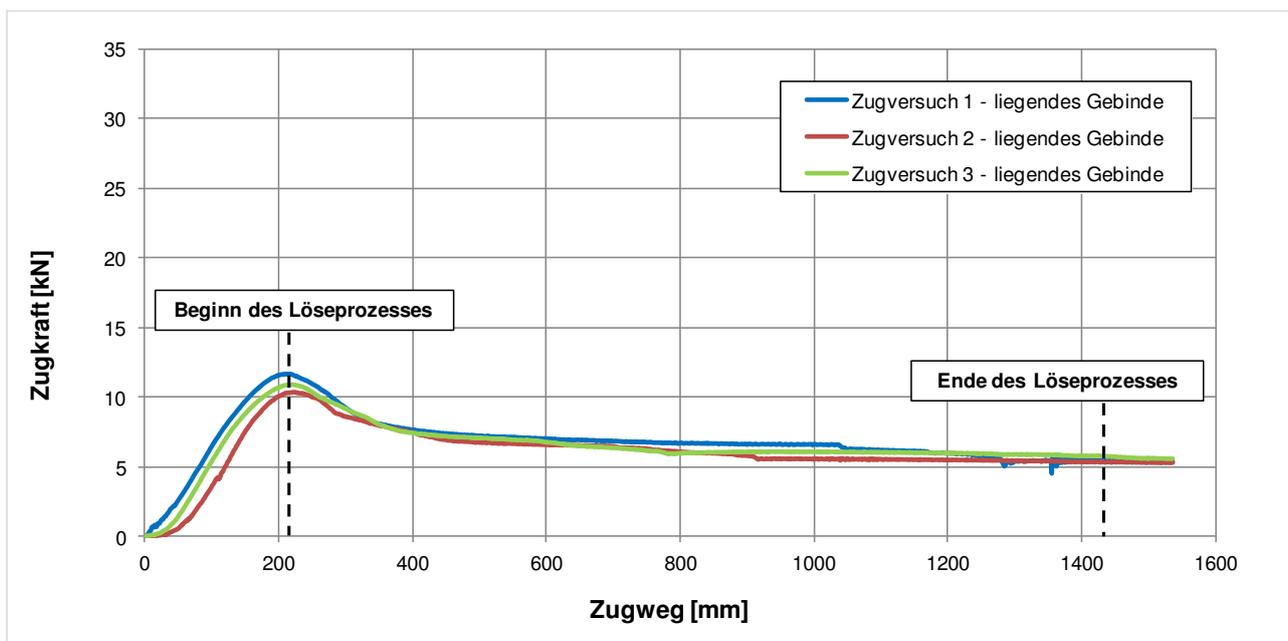


Abbildung 110: Zugkraftverlauf der liegend eingebrachten Gebinde mit Vakuumheber.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 89 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Die stehend im Salzgrus eingebrachten Gebinde konnten mit dem Vakuumheber nicht gezogen werden. Die zur Verfügung stehende Stirnfläche der Gebinde war zu klein, um die benötigte Kraft, resultierend aus Eigengewicht, Mantelreibung, Einfluss der Sicken und Reibungseinflüsse innerhalb der Salzgrusmatrix zusammensetzt, durch den Vakuumheber aufzunehmen.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Vakuumheber prinzipiell als Hebegeräte für Gebinde eingesetzt werden können. Dabei war die maximale Tragkraft von der zur Verfügung stehenden Gebindeoberfläche abhängig. Unter den beschriebenen Einbaurandbedingungen konnte ein stirnseitig ansetzender Vakuumheber nicht die erforderliche Zugkraft aufbringen. Für liegend eingebaute Gebinde war die aufgebrachte Zugkraft ausreichend. Waren die Gebinde vollständig freigelegt, so konnte sowohl ein stirnseitig als auch ein seitlich an der Mantelfläche angesetzter Vakuumheber die benötigten Kräfte aufbringen, um die Gebinde mit einem Eigengewicht von ca. 500 kg anzuheben.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 90 von 116
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

5 ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Zwischenbericht wurde die grundsätzliche Eignung von ausgewählten Werkzeugen aus dem ersten Arbeitspaket für das Freilegen und Lösen von Gebinden aus dem Versatzmaterial Salzgrus untersucht. Die entsprechenden Versuche wurden unter Berücksichtigung zweier möglicher Einlagerungsszenarien durchgeführt. Zum einen wurde der Zustand von unbeschädigten Gebinden berücksichtigt, die fest im Versatzmaterial eingeschlossen waren. Zum anderen wurde der Zustand von unbeschädigten Gebinden berücksichtigt, die in nur mechanisch verdichtetem Versatzmaterial eingeschlossen waren.

Um diese beiden Szenarien nachbilden zu können, wurden zunächst diverse Voruntersuchungen mit dem Versatzmaterial Salzgrus durchgeführt. Ziel war es, in einem für die Versuchsdurchführung angemessenen Zeitrahmen die voraussichtliche Festigkeit des Versatzmaterials der Einlagerungskammern der Schachtanlage Asse II nachbilden zu können. In Einzelversuchen wurde gezeigt, dass nur durch Beimischen von Zement eine schnelle Verfestigung des Salzgruses herbeigeführt werden kann. Der dabei hergestellte Modellstoff Steinsalzbeton wurde in einem weiteren Schritt näher untersucht und schließlich hinsichtlich der Zielfestigkeit, die der angenommenen Festigkeit des Versatzmaterials in den Einlagerungskammern der Asse entspricht, angepasst. Gemäß den Ergebnissen aus den Druckversuchen wurde bei einem W/Z-Wert von 0,48 die Zielfestigkeit von 15 MPa erreicht.

Ein idealisierter Einlagerungszustand in den Einlagerungskammern wurde beispielhaft in einem 36 m³ fassenden Container nachgebildet. Hierzu wurden vier Gebinde stehend und vier liegend in einem Container positioniert, welcher anschließend mit Steinsalzbeton verfüllt wurde. Anschließend wurden Versuche zum Freilegen und Lösen der Gebinde mithilfe der vorab ausgewählten Werkzeuge durchgeführt. Parallel dazu wurden in einem zweiten Container Gebinde in mechanisch verdichtetem Salzgrus eingebettet. Anschließend wurden diese Gebinde aus dem Salzgrus herausgezogen und die dafür erforderlichen Kräfte ermittelt.

Es wurden die Anbauwerkzeuge Baggerlöffel, Reißzahn, Hydraulikmeißel und Hydraulikfräse mit Querschneidkopf sowie ein Nukleargreifer und ein Vakuumheber getestet. Darüber hinaus wurde ein handgeführtes Spaltgerät eingesetzt und die jeweiligen Charakteristika der einzelnen Werkzeuge in Bezug auf den Einsatz in Steinsalzbeton näher untersucht.

Hinsichtlich der Versuche zum Freilegen und Lösen von unbeschädigten Gebinden aus verfestigtem Steinsalzbeton konnte grundsätzlich festgehalten werden, dass sich der Steinsalzbeton mit dem Baggerlöffel und dem Reißzahn nur sehr eingeschränkt bearbeiten ließ. Ein Aufbrechen der Steinsalzbetonstruktur war unter den gegebenen Randbedingungen des eingesetzten Trägergeräts kaum möglich. Ebenso führten die Versuche zum Abscheren von Steinsalzbetonteilen nicht zum gewünschten Erfolg. Allerdings eigneten sich Baggerlöffel und Reißzahn zum Bewegen des bereits gelösten Materials.

Anders stellt sich die Eignung bei der getesteten Fräse und dem getesteten Hydraulikmeißel dar. Mit beiden Geräten lässt sich der Steinsalzbeton bearbeiten. Während bei der Hydraulikfräse die herausgebrochenen Stücke feinkörnig und von überwiegend gleicher Größe waren, war es mit dem Hydraulikmeißel möglich, wesentlich größere Stücke herauszubrechen. Beim Vergleich von Flachmeißel mit Spitzmeißel zeigte sich, dass mit dem Flachmeißel deutlich effizienter gearbeitet werden konnte. Da sowohl mit dem Hydraulikmeißel als auch mit der Hydraulikfräse ein recht hoher Abtrag erzielt werden konnte, wurden mit beiden Geräten Versuche über eine Zeitdauer von



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 91 von 116
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

etwa 45 bis 50 min durchgeführt und die jeweilige Abtragsleistung ermittelt. Diese lag beim Hydraulikmeißel bei 3,5 m³/h und bei der Fräse bei 1,3 m³/h. Bei beiden Werkzeugen war es zu einer Staubentwicklung bei der Bearbeitung des Steinsalzbetons gekommen. Diese war bei der Fräse deutlich höher, da der Steinsalzbeton zermahlen wurde und somit relativ kleine und feinkörnige Bruchstücke erzeugt wurden.

Die Versuche mit dem Nukleargreifer haben gezeigt, dass dieser grundsätzlich geeignet war, um die freigelegten und gelösten Gebinde zu greifen und anzuheben. Einschränkungen gab es lediglich für den Fall, dass die Gebinde nicht ausreichend freigelegt wurden, so dass die Zangen des Greifers das Gebinde nicht sicher umschließen konnten. Ein Greifen der Gebinde war erst nach Entfernen von anhaftendem Material möglich. Anhand des integrierten Rotators ließ sich der Greifer in unterschiedliche Positionen bewegen, um Gebinde in unterschiedlichen Lagen aufgreifen zu können.

Über die bereits genannten Anbaugeräte hinaus, wurde ein manuell geführtes Spaltgerät getestet. Die Bearbeitung basierte auf einem Verfahrensprinzip, bei dem im Vergleich zu Fräse und Meißel die Krafteinleitung nicht oberflächlich, sondern innerhalb des Steinsalzbetons stattfand. Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass das Spaltgerät ein erschütterungs- sowie staubarmes Herausbrechen von großen Stücken aus dem Steinsalzgefüge ermöglichte.

Zu den Zugversuchen in mechanisch verdichtetem Steinsalz kann zusammengefasst werden, dass der Einfluss von Mantelreibung bzw. von Reibungseinflüssen innerhalb des Salzgruses im Vergleich zum Eigengewicht der Gebinde sehr hoch war. Die erforderliche Kraft beim Herausziehen eines Gebindes aus dem losen aber verdichteten Salzgrus betrug ein Vielfaches des Eigengewichts dieses Gebindes. Es wurden Maximalwerte für stehend eingeschlossene Gebinde bis Faktor 6,8, bei liegend gelagerten Gebinden bis Faktor 2,8 des jeweiligen Eigengewichtes gemessen.

Über die Zugversuche mit Lasthaken hinaus, wurde die Eignung eines Vakuumhebers als Anschlagmittel zum Herausziehen der Gebinde aus dem Salzgrus untersucht. Bei den Zugversuchen hat sich gezeigt, dass bei stehenden Gebinden die Angriffsfläche für den Vakuumheber nicht ausreicht, um das Gebinde aus dem losen aber verdichteten Salzgrus herauszuziehen. Anders verhielt es sich bei den liegenden Gebinden, deren Mantelfläche zu einem Teil freiliegen musste, um den Vakuumheber seitlich am Gebinde ansaugen zu können. In diesem Fall war die Reibung auf die Mantelfläche klein und die zur Verfügung stehende Angriffsfläche des liegenden Gebindes ausreichend groß, um das Gebinde aus dem Salzgrus zu ziehen.

Im Rahmen des Arbeitspaketes 2a wurde die grundsätzliche Eignung vorab bestimmter Werkzeuge untersucht, insgesamt jedoch keine Bewertung der Werkzeuge vorgenommen. Dies wird Gegenstand des Arbeitspaketes 3 der Studie sein.

Die in diesem Bericht genannten Werte zu Kraftmessung, Leistung und Korngrößen sind zunächst nur auf die Situation des künstlich hergestellten Steinsalzbetons und die Gegebenheiten auf dem Versuchsgelände TMRK zu beziehen. Eine Übertragung, insbesondere der ermittelten Leistungswerte von Fräse und Hydraulikmeißel auf die Situation in der Schachtanlage Asse II, ist ohne weitere Anpassung an die besonderen Gegebenheiten in der Asse nicht möglich. Es kann nur die Aussage gemacht werden, dass Steinsalzbeton mit einer Druckfestigkeit von 18,8 MPa



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 92 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

grundsätzlich mit den Werkzeugen Hydraulikmeißel, Hydraulikfräse und Spaltgerät zerkleinert werden kann.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 93 von 116
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

6 AUSBLICK UND WEITERES VORGEHEN

Im Rahmen der in diesem Bericht vorgestellten Versuche wurde für ausgewählte Werkzeuge deren grundsätzliche Eignung zum Freilegen und Lösen von Gebinden im größeren Maßstab untersucht. Hierfür wurde Steinsalzbeton hergestellt, dessen Druckfestigkeit mindestens der angenommenen Druckfestigkeit des Salzgruses in der Asse entsprach. Die Untersuchungen haben Erkenntnisse darüber geliefert, unter welchen Anforderungen und Randbedingungen die untersuchten Werkzeuge eingesetzt werden müssen. Zudem wurde durch die Ermittlung der Charakteristika der getesteten Werkzeuge eine Grundlage geschaffen, um diese und auch weitere Werkzeuge untereinander vergleichen zu können.

In den nachfolgenden Arbeitspaketen werden unter anderem basierend auf den Erkenntnissen aus AP 2a sowie im Hinblick auf die verfügbaren Gerätschaften und Werkzeuge, detaillierte Anforderungen hergeleitet und Einsatzrandbedingungen für Rückholtechniken definiert. Es werden die in Arbeitspaket 1 ermittelten Gerätschaften und Werkzeuge analysiert und hinsichtlich der festgelegten Kriterien bewertet, um so das Potenzial der jeweiligen Gerätschaft bzw. des jeweiligen Werkzeuges für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II zu ermitteln. Aus diesen Ergebnissen soll in einem weiteren Arbeitspaket (AP 5) der notwendige Entwicklungsbedarf der Gerätschaften und Werkzeuge abgeleitet werden.

Neben den Erkenntnissen, die im Arbeitspaket 2a anhand der Untersuchung entsprechender Werkzeuge gewonnen wurden, zeigten sich weitere Aspekte, die bei der Rückholung der Gebinde zu berücksichtigen sind. Diese sind sinnvollerweise in den AP 8 und 9 näher zu untersuchen. Ziel muss es sein, ein umfassendes Gesamtkonzept hinsichtlich der erforderlichen Maschinenteknik ableiten und entwickeln zu können.

Im Zuge der durchgeführten Versuche zeigte sich, dass der Einsatz einer Fräse beim Bearbeiten des nachgebildeten Versatzmaterials zu einer unkontrollierten Staubentwicklung führte. Frühere Untersuchungen am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (KIT-TMB) haben aufgezeigt, dass durch Abkapselung der Fräse und Einbau einer integrierten Absaugung, eine wesentliche Reduzierung der Staubemission möglich ist [28]. Hierzu sind weitere Testreihen erforderlich, um die Staubentwicklung zu klassifizieren und existierende Absaug- bzw. Einkapselungstechniken auf ihre Machbarkeit hin zu untersuchen und den gegebenenfalls erforderlichen Weiterentwicklungsbedarf aufzuzeigen.

Es besteht die Möglichkeit, dass durch Werkzeuge, wie Fräse oder Hydraulikmeißel, Erschütterungen in das Versatzmaterial eingebracht werden können, die dann unter Umständen sowohl problematisch für die eingeschlossenen Gebinde, als auch für das umgebende Gebirge sein können. Es ist daher notwendig zu prüfen, inwieweit eine Tiefenwirkung des Werkzeuges gegeben ist und welchen Einfluss der Wirkungsbereich der Werkzeuge auf die eingeschlossenen Gebinde bzw. das angrenzende Gebirge nimmt.

Außer den bereits genannten Punkten wurde festgestellt, dass ein direkter Kontakt des Bearbeitungswerkzeuges zu einer Beschädigung der Gebinde führen kann. Daher ist die Kenntnis über die genaue Lage und Ausrichtung der einzelnen Gebinde unabdingbar für eine sichere und effektive Rückholung. Es empfiehlt sich daher, die Machbarkeit und Einsatzmöglichkeiten sowie die Verfügbarkeit von geeigneten Detektionssystemen für das Auffinden von Gebinden im Versatzmaterial näher zu untersuchen. Beispielsweise existieren auf dem Markt Systeme, die z.B.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 94 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

mittels Radar oder Ultraschall arbeiten, welche jedoch im Hinblick auf ihre Eignung für diese spezielle Aufgabe noch geprüft werden müssen.

Ein weiterer Punkt ist, dass Einflussfaktoren bezüglich Lage und Zustand der Gebinde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nur in begrenztem Maße berücksichtigt werden konnten. Für die Versuche wurden bisher nur intakte Gebinde in definierter Anordnung verwendet. Es ist jedoch davon auszugehen, dass es aufgrund der ungeordneten Einlagerung der Gebinde und des Versatzes im Gebirge der Schachtanlage Asse II zu einem Verzahnen der Gebinde untereinander gekommen ist. Des Weiteren kann Feuchtigkeit zu Korrosion geführt haben, so dass die eingelagerten Gebinde entsprechend beschädigt wurden. Basierend auf den bereits gewonnenen Erkenntnissen in Bezug auf die Bergung eingeschlossener Gebinde, ist zum Freilegen und Lösen beschädigter und miteinander verzahnter Gebinde eine umfangreichere Vorgehensweise erforderlich, als dies bei den hier durchgeführten Versuchen der Fall war. Hierzu ist es sinnvoll, den oben beschriebenen Zustand nachzubilden und diesbezüglich weitere Untersuchungen durchzuführen. Beispielsweise könnten Gebinde künstlich gealtert, geschädigt und ineinander verkeilt werden, um anschließend entsprechende Erkenntnisse über die erforderliche Maschinenteknik erlangen zu können. Weiterhin sollten unterschiedliche Gebindearten, wie beispielsweise Gebinde mit verlorener Betonabschirmung, in zukünftige Untersuchungen mit eingebunden werden.

Abschließend ist noch zu erwähnen, dass im Rahmen der Zugversuche festgestellt wurde, dass die Reibungseinflüsse in verdichtetem aber nicht verfestigtem Salzgrus sehr groß sind. Da ein Auflockern des Versatzmaterials zu einer Reduzierung der Reibung und damit zur Reduzierung der erforderlichen Kräfte beim Herausziehen der Gebinde führt, empfiehlt es sich daher zu prüfen, ob eine Reduzierung der Reibungseinflüsse, durch beispielsweise den Eintrag von Vibrationen am Gebinde, technisch möglich ist. Hierbei besteht die Herausforderung, die Technik so einzusetzen, dass der Eintrag der Vibrationen ohne einen negativen Einfluss auf das jeweilige Gebinde bzw. auf das angrenzende Gebirge erfolgt.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II – Vorversuche			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 95 von 116	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013	

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Institut für Gebirgsmechanik GmbH: Tragfähigkeitsanalyse des Gesamtsystems der Schachtanlage Asse in der Betriebsphase, Leipzig. Okt. 2006
- [2] DMT GmbH & Co. KG, TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG: Beurteilung der Möglichkeit einer Rückholung der LAW-Abfälle aus der Schachtanlage Asse. 2009
- [3] DBE Technology GmbH: Sachstandbeschreibung; Beschreibung des Grubengebäudes und der Tagesanlagen der Schachtanlage Asse II. 2009
- [4] Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung: Dokumentation zur Verfüllung der Abbaue an der Südflanke der Schachtanlage Asse. Sept. 2007
- [5] Bundesamt für Strahlenschutz, Andreas Förster: Sag mir, wo du stehst, ASSE Einblicke Nr. 11, Salzgitter. Dez. 2010
- [6] Erzmetall Heft 3/2003, Christiane Tänzer: Gefüge- und Strukturuntersuchungen an Steinsalz-Versatzmaterial, ISSN 0044-2658
- [7] BGR Bericht, Dieter Stührenberg: Kompaktions- und Permeabilitätsverhalten von Salzgrus und Salzgrus-Bentonit-Gemischen als Versatzmaterial in einem Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar. 2012
- [8] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Normalklimate für Vorbehandlung und/oder Prüfung – Festlegungen, Ref. Nr. DIN 50014
- [9] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung, Ref. Nr. EN 206-1:2000/A2:2005 (D)
- [10] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Bestimmung der Dichte fester Stoffe, Ref. Nr. DIN 66137-1:2003-11
- [11] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Bestimmung der Dichte fester Stoffe – Teil 2: Gaspiknometrie, Ref. Nr. DIN 66137-2:2004-12
- [12] Bundesamt für Strahlenschutz: 1. Zwischenbericht – Marktrecherche möglicher Bergungstechnologien, Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachtanlage Asse II, Salzgitter. Juli 2012
- [13] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Ref. Nr. DIN 1045-2 D
- [14] Hitachi Ltd.: Hitachi Construction Machinery Europe. Abgerufen am 1. Februar 2013 von <http://www.hcme.com/de/content/view/full/2466>
- [15] Hitachi Ltd.: Hitachi Construction Machinery Europe. Abgerufen am 1. Februar 2013 von http://www.hcme.com/var/hcme_en/storage/original/application/d85e6f9cc4085d9031b59be82a05ebfa.pdf
- [16] SIMEX s.r.l., Produktdatenblatt: TF 200 – TF 3000



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 96 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

- [17] Erkat Spezialmaschinen und Service GmbH. Abgerufen am 20. Februar 2013 von <http://www.erkat.de/de/applications/>
- [18] Westermann, J. K., Universität Karlsruhe: Betonbearbeitung mit hydraulischen Anbaufräsen, Karlsruhe, 2009
- [19] İnan Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş., Produktblatt: MTB 40, Stand 2010
- [20] Darda GmbH, Produktdatenblatt: Darda Spaltgerät C2 – C12
- [21] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch: Ref. Nr. DIN 18127
- [22] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Baugrund und Felduntersuchungen, Flügelscherversuche: Ref. Nr. DIN 4094-4
- [23] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen, Rammsondierungen: Ref. Nr. DIN EN ISO 22476-2
- [24] Bomag Fayat Group, Produktdatenblatt: Stampfer BT60/4, BT 65/4, Auflage 2012
- [25] Gentes, S. et. al., Karlsruher Institut für Technologie, Abschlussbericht VaRoME, Karlsruhe. Dez. 2012
- [26] Erban, P.-J., FH Köln, Geotechnik II, Pfahlgründungen, Köln. Oktober 2002
- [27] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Partikelgrößenanalyse – Siebanalyse, Ref. Nr. DIN 66165 – 1
- [28] Gentes, S., Universität Karlsruhe: Weiterentwicklung von Standardbaumaschinen zur Rettung Verschütteter, Karlsruhe, Mai 2003



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Seite: 97 von 116
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

GLOSSAR

- Beton:** Gemisch aus Zement, Gesteinskörnern und Anmachwasser.
- Einlagerungskammer:** Planmäßig bergmännisch hergestellter Hohlraum, in dem radioaktive Abfälle eingelagert sind.
- Feststoffdichte:** Dichte eines Stoffes bezogen auf das Volumen des Feststoffanteils.
- Feuchtdichte:** Masse einer feuchten Probe bezogen auf ihr Volumen.
- Frequenzumrichter:** Elektrisches Bauteil zur Veränderung von Frequenz und Amplitude einer Wechselspannung.
- Gebinde:** Einheit aus eingelagertem Stoff mit Fixierungsmittel und Behälter.
- Konvergenz:** Lateinisch convergere (= sich zueinander neigen); Natürlicher Prozess der Volumenreduzierung von untertägigen Hohlräumen infolge Verformung bzw. Auflockerung aufgrund des Gebirgsdrucks.
- Korrosion:** Chemische Reaktion eines Werkstoffs mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffs bewirkt.
- Löffelzylinder:** Hydraulikzylinder, der den Baggerlöffel bewegt. Dieser Zylinder ist am kurzen Stiel des Baggers verbaut.
- Porosität:** Verhältnis von Hohlraumvolumen zu Gesamtvolumen eines Stoffes.
- Proctordichte:** Höchste, unter definierter Arbeit, erreichbare Dichte.
- Regressionsanalyse:** Analyseverfahren zur Herleitung von Zusammenhängen auf Basis gemessener Daten.
- Rohdichte:** Dichte eines Stoffes basierend auf dem Volumen einschließlich der Porenräume.
- Salzgrus:** Feinkörniges Salzgesteinsmaterial.
- Scherwiderstand:** Widerstand eines Körpers gegenüber tangentialen Scherkräften.
- Schildvortrieb:** Durch ein Schild geschützte Tunnelbohrmaschine.
- Schüttdichte:** Masse einer Schüttung bezogen auf ihr Schüttvolumen.
- Spaltkraft:** Die beim Spaltvorgang in der Bohrung wirkende Kraft.
- Steinsalzbeton:** Beton aus den Bestandteilen Salzgrus, Zement und Wasser.
- Transmix:** Mobiles Misch- und Fördersystem auf LKW-Anhänger zum Herstellen und Fördern von Gemischen aus meist drei verschiedenen Ausgangsstoffen.
- Trockenrohndichte:** Masse einer trockenen Probe bezogen auf ihr Volumen.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 98 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

ANHANG

Anhang 1	Herstellerangabe zu Salzgrus
Anhang 2	
Anhang 2.1	Prüfbericht 1 (18.09.2012)
Anhang 2.2	Prüfbericht 2 (31.10.2012)
Anhang 2.3	Prüfbericht 3 (31.12.2012)
Anhang 3	Porositätsbestimmung
Anhang 4	Gesamtübersicht Versuchsaufbau
Anhang 5	Positionen der Gebinde im Container für Löseversuche
Anhang 6	Abfallbehälter 200 l



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 99 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Anhang 1 – Herstellerangabe zu Salzgrus

AGROLAB
Laborgruppe
www.agrolab.de



AWV- Dr. Busse GmbH

Jöbñitzer Str. 113, 08525 Plauen, Germany
 Telefon +49 (0)03741 / 55076 0, Telefax: +49 (0)03741 / 523550
 E-Mail: awv@agrolab.de

AWV Jöbñitzer Str.113, 08525 Plauen

SÜDWESTDEUTSCHE SALZWERKE AG
 SALZGRUND 67
 74076 HEILBRONN

Datum: 04.05.2012
 Kundennr.: 27010578

Seite 1 von 3

PRÜFBERICHT - A

Auftragsnr. 188960

Auftrag
 Probenahme
 Probeneingang
 Probenehmer
 Probenbezeichnung

Bestellnr. 1087647 v. 20.04.2012
20.04.2012
24.04.2012
AUFTRAGGEBER
W-Auftausalz

Bemerkung: Gesamtübersicht

Analysennummer		217390		
		W-Auftausalz		
Untersuchungsparameter	Einheit			
Aussehen	-	gebrochene Kristalle		
Farbe	-	weiß mit grauen Bestandteilen		
Geruch	-	ohne		
Trockensubstanz	%	99,8		
Wassergehalt	%	0,2		
Korngrößenverteilung				
> 8 mm	% TS	0		
5 - 8 mm	% TS	0		
3,15-5 mm	% TS	17,8		
1,6 - 3,15 mm	% TS	50,7		
800 µm - 1,6 mm	% TS	22,9		
160 µm - 800 µm	% TS	6,4		
125 µm - 160 µm	% TS	0,6		
<125µm	%TS	1,6		
Ferrocyanid (Fe(CN) ₆ ⁴⁻) (Anti-back E535)	mg/kg TS	53		



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 100 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

AGROLAB
Laborgruppe
www.agrolab.de



AWV- Dr. Busse GmbH

Jößnitzer Str. 113, 08525 Plauen, Germany
Telefon +49 (0)03741 / 55076 0, Telefax: +49 (0)03741 / 523550
E-Mail: awv@agrolab.de

Datum: 04.05.2012
Kundennr. 27010578
Seite 2 von 3

Antiback E535 berechnet als Natriumferrocyanid (Na ₄ Fe(CN) ₆ * 10 H ₂ O)	mg/kg TS	121		
Wasserunlöslicher Rückstand	% TS	1,59		
Säureunlöslicher Rückstand	% TS	1,44		
Ca	% TS	0,10		
SO ₄	% TS	0,18		
Natriumchloridgehalt	% TS	98,1		
Hydrophobierende Bestandteile		ohne		
pH-Wert (10%-ige Lösung)		7,3		
Schwermetalle (10%-ige Lösung mit HNO ₃ auf pH 4 eingestellt)				
Arsen	mg/L	<0,1		
Blei	mg/L	<0,05		
Cadmium	mg/L	<0,005		
Chrom gesamt	mg/L	<0,1		
Kupfer	mg/L	<0,05		
Nickel	mg/L	0,340		
Quecksilber	mg/L	<0,001		
Zink	mg/L	<1		

*Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.n. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Stoff ist bei nebenstehender Nachweisgrenze nicht nachzuweisen.
Das Zeichen "<...(+)" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Stoff wurde im Bereich zwischen Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze qualitativ nachgewiesen.
Die tatsächliche Nachweis- oder Bestimmungsgrenze kann in Einzelfällen (z.B. Matrixeffekte, zu geringes Probenvolumen) vom angegebenen Wert des Verfahrens abweichen.*

Die untersuchte Probe „W-Auftausalz“ entspricht hinsichtlich der untersuchten Parameter den Anforderungen der „Technischen Lieferbedingungen und Richtlinien der Streustoffe des Winterdienstes“ (TL Streu).

AWV- Dr. Busse GmbH, D. Kucharski Tel. 03741/55076 12
Kundenbetreuung

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Der Prüfzeitraum entspricht dem Zeitraum zwischen dem Eingangsdatum und dem Befunddatum. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 101 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

AWV- Dr. Busse GmbH

AGROLAB
Laborgruppe
www.agrolab.de



Jößnitzer Str. 113, 08525 Plauen, Germany
Telefon +49 (0)03741 / 55076 0, Telefax: +49 (0)03741 / 523550
E-Mail: awv@agrolab.de

Datum: 04.05.2012
Kundennr. 27010578
Seite 3 von 3

Anhang Prüfverfahren

Labornummer: 188960 - 217390

Parameter	Prüfverfahren
Aussehen	Standardverfahrensvorschrift
Farbe	DIN EN ISO 7887 (C1)
Geruch	DEV B1/2
Sulfat	DIN EN ISO 10304-1 (D19)
Trockenrückstand	DIN 38414 S2
Wassergehalt	DIN 38414 S2
pH-Wert	DIN 38404-C5
Arsen	DIN EN ISO 11885
Blei	DIN EN ISO 11885
Cadmium	DIN EN ISO 11885
Calcium	DIN EN ISO 11885 (E22)
Chrom gesamt	DIN EN ISO 11885
Kupfer	DIN EN ISO 11885
Nickel	DIN EN ISO 11885
Quecksilber	DIN EN 1483-E12-4
Zink	DIN EN ISO 11885
Siebfraktionen	Standardverfahrensvorschrift
Natriumchloridgehalt	berechnet
Natriumferrocyanid (Antiback)	Standardverfahrensvorschrift
Wasserunlöslicher Rückstand	Standardverfahrensvorschrift
Säureunlöslicher Rückstand	Standardverfahrensvorschrift



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 102 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Anhang 2.1 – Prüfbericht 1



Prüfbericht

Betreff: Steinsalz-Betone
Festigkeitsprüfungen an angelieferten Würfeln a = 200 mm

Auftraggeber: Institut für Technologie und Management im Baubetrieb
Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen
Gothard-Franz-Straße 3
76131 Karlsruhe

Berichtsnummer: 12 20 79 0424/1 Berichtsdatum: 18.09.2012
Textseiten: 5
Anlagen: -

Bearbeiter/in:
Durchwahl:
E-Mail:

Ausfertigungen: 2fach: Institut für Technologie und Management im Baubetrieb
1fach: MPA Karlsruhe

Notifizierte Stelle 0754 nach BauPG
Anerkannte Stelle BWU01 nach LBO



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 103 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 2 von 5 Seiten
zum Prüfbericht Nr. 12 20 79 0424/1
vom 18.09.2012

1 Auftrag

Mit Schreiben des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb, Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen, Herrn Dipl.-Ing. A. Aminy, vom 11.06.2012 wurde die Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) beauftragt, die Druckfestigkeit von Würfeln aus Steinsalz-Beton zu bestimmen.

2 Normen und Grundlagen

- [1] DIN EN 12390-3:2009-07 Prüfung von Festbeton. Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern
- [2] DIN EN 206-1:2001-07 Beton - Teil 1: Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000 mit DIN EN 206-1/A1:2004-10 und DIN EN 206-1/A2:2005-09
- [3] DIN 1045-2:2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

3 Prüfmaterial und Prüfumfang

Im Zeitraum von 24.07. bis 17.08.2012 erhielt die MPA Karlsruhe vom Auftraggeber insgesamt 9 Würfel, an denen die Druckfestigkeit zu vorgegebenen Terminen zu bestimmen war (Prüfserie 1).

In einer zweiten Prüferie sollte die Druckfestigkeit von drei verschiedenen Mischungen im Alter von 7, 14 und 28 Tagen bestimmt werden. Dazu wurden im Zeitraum vom 03.08. bis 06.08.2012 je Mischung neun Würfel angeliefert und die Prüftermine vorgegeben.

Die Würfel besaßen eine Kantenlänge von 200 mm.

4 Prüfkörperherstellung und Lagerung

Sämtliche Würfel für die Druckfestigkeitsprüfungen wurden vom Auftraggeber hergestellt, gelagert und angeliefert.

Während des Zeitraumes von der Anlieferung bis zum Prüftermin lagerten die Würfel in der Prüfhalle bei ca. 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte.

5 Prüfungen und Ergebnisse

In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen nach [1] an den neun Würfeln der Prüferie 1 zusammengestellt.

Die Tabellen 2.1, 2.2 und 2.3 enthalten die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen nach [1] an den Würfeln der drei verschiedenen Mischungszusammensetzungen in jeweils drei Altersstufen (Prüfserie 2).

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 104 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 3 von 5 Seiten
zum Prüfbericht Nr. 12 20 79 0424/1
vom 18.09.2012

Tabelle 1: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen an Würfeln der Prüfsérie 1

Würfel Nr.	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse [kg]	Höchst-kraft [kN]	Roh-dichte [kg/m³]	Festigkeit $f_{c,200}$ [mm]	Festigkeit $f_{c,150}^{1)}$ [mm]
Herstellung: 17.07.2012*				Prüftermin: 24.07.2012				
1	200	198	200	15,829	227,2	1999	5,7	6,0
Herstellung: 17.07.2012*				Prüftermin: 26.07.2012				
2	200	200	200	16,108	687,0	2014	17,2	18,1
Herstellung: 17.07.2012*				Prüftermin: 27.07.2012				
3	200	196	200	15,048	91,1	1919	2,3	2,4
Herstellung: 24.07.2012*				Prüftermin: 31.07.2012				
4	201	196	201	15,610	310,4	1971	7,9	8,3
Herstellung: 24.07.2012*				Prüftermin: 02.08.2012				
5	200	198	200	15,957	940,0	2015	23,7	25,0
Herstellung: 24.07.2012*				Prüftermin: 03.08.2012				
6	200	198	200	15,201	120,0	1919	3,0	3,2
Herstellung: 31.07.2012*				Prüftermin: 14.08.2012				
7	200	199	200	15,310	458,0	1923	11,5	12,1
Herstellung: 31.07.2012*				Prüftermin: 16.08.2012				
8	200	198	200	16,003	1102,0	2021	27,8	29,3
Herstellung: 31.07.2012*				Prüftermin: 17.08.2012				
9	200	197	200	15,191	165,9	1928	4,2	4,4

¹⁾ Umrechnung auf den Standardprüfkörper mit a = 150 mm: $f_{c,200} = f_{c,150} \cdot 0,95$

Tabelle 2.1: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen an Würfeln der **Mischung 1** vom 30.07.2012

Würfel Nr.	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse [kg]	Höchst-kraft [kN]	Roh-dichte [kg/m³]	Festigkeit $f_{c,200}$ [mm]	Festigkeit $f_{c,150}^{1)}$ [mm]
Betonalter: 7 Tage								
1/1	200	195	200	15,930	765,0	2042	19,6	20,6
1/2	200	200	200	16,240	847,0	2030	21,2	22,3
1/3	200	200	200	16,090	733,0	2011	18,3	19,3
Mittel	-	-	-	-	-	2028	19,7	20,7
Betonalter: 14 Tage								
1/4	200	203	200	16,540	873,0	2037	21,5	22,6
1/5	200	201	200	16,290	624,0	2026	15,5	16,3
1/6	200	198	200	16,110	1038,0	2034	26,2	27,6
Mittel	-	-	-	-	-	2032	21,1	22,2
Betonalter: 28 Tage								
1/7	200	200	200	16,130	1032,0	2016	25,8	27,2
1/8	200	200	200	16,060	1212,0	2008	30,3	31,9
1/9	200	202	200	16,210	1167,0	2006	28,9	30,4
Mittel	-	-	-	-	-	2010	28,3	29,8

¹⁾ Umrechnung auf den Standardprüfkörper mit a = 150 mm: $f_{c,200} = f_{c,150} \cdot 0,95$

* Entgegen der Angabe im Prüfbericht wurden die Würfel 1, 4 und 7 am 17.07.2012, die Würfel 2, 5 und 8 am 19.07.2012 und die Würfel 3, 6 und 9 am 20.07.2012 hergestellt.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 105 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 4 von 5 Seiten
zum Prüfbericht Nr. 12 20 79 0424/1
vom 18.09.2012

Tabelle 2.2: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen an Würfeln der **Mischung 2** vom 31.07.2012

Würfel Nr.	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse [kg]	Höchst- kraft [kN]	Roh- dichte [kg/m³]	Festigkeit $f_{c,200}$ [mm]	Festigkeit $f_{c,150}^{1)}$ [mm]
Betonalter: 7 Tage								
2/1	200	200	200	15,990	349,6	1999	8,7	9,2
2/2	200	201	200	16,105	347,5	2003	8,6	9,1
2/3	200	201	200	16,040	303,2	1995	7,5	7,9
Mittel	-	-	-	-	-	1999	8,3	8,7
Betonalter: 14 Tage								
2/4	200	202	200	16,090	476,0	1991	11,8	12,4
2/5	200	202	200	16,190	380,0	2004	9,4	9,9
2/6	200	200	200	15,830	476,0	1979	11,9	12,5
Mittel	-	-	-	-	-	1991	11,0	11,6
Betonalter: 28 Tage								
2/7	200	199	200	15,882	503,0	1995	12,6	13,3
2/8	200	199	200	16,075	516,0	2019	13,0	13,6
2/9	200	200	200	16,044	592,0	2006	14,8	15,6
Mittel	-	-	-	-	-	2007	13,5	14,2

¹⁾ Umrechnung auf den Standardprüfkörper mit $a = 150 \text{ mm}$: $f_{c,200} = f_{c,150} \cdot 0,95$

Tabelle 2.3: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen an Würfeln der **Mischung 3** vom 31.07.2012

Würfel Nr.	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse [kg]	Höchst- kraft [kN]	Roh- dichte [kg/m³]	Festigkeit $f_{c,200}$ [mm]	Festigkeit $f_{c,150}^{1)}$ [mm]
Betonalter: 7 Tage								
3/1	200	201	200	12,938	240,6	1609	6,0	6,3
3/2	200	202	200	15,369	517,0	1902	12,8	13,5
3/3	200	201	200	12,556	194,7	1562	4,8	5,1
Mittel	-	-	-	-	-	1691	7,9	8,3
Betonalter: 14 Tage								
3/4	200	201	200	13,503	352,6	1679	8,8	9,2
3/5	200	200	200	12,561	232,1	1570	5,8	6,1
3/6	200	202	200	14,819	577,0	1834	14,3	15,0
Mittel	-	-	-	-	-	1695	9,6	10,1
Betonalter: 28 Tage								
3/7	200	200	200	12,556	274,9	1570	6,9	7,2
3/8	200	202	200	16,197	1081,0	2005	26,8	28,2
3/9	200	202	200	13,638	452,0	1688	11,2	11,8
Mittel	-	-	-	-	-	1754	14,9	15,7

¹⁾ Umrechnung auf den Standardprüfkörper mit $a = 150 \text{ mm}$: $f_{c,200} = f_{c,150} \cdot 0,95$



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 106 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 5 von 5 Seiten
zum Prüfbericht Nr. 12 20 79 0424/1
vom 18.09.2012

6 Zusammenfassung

Im Auftrag des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb, Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen, Herrn Dipl.-Ing. A. Aminy, bestimmte die Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) die Druckfestigkeit von Würfeln aus Steinsalz-Beton.

Die Ergebnisse der Festigkeitsprüfungen sind im Abschnitt 5 des Prüfberichtes zusammengestellt.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 107 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Anhang 2.2 – Prüfbericht 2



Prüfbericht

Betreff: Steinsalz-Betone
Festigkeit und Porosität

Auftraggeber: Institut für Technologie und Management im Baubetrieb
Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen
Gothard-Franz-Straße 3
76131 Karlsruhe

Berichtsnummer: 12 20 79 0424/2 Berichtsdatum: 31.10.2012
Textseiten: 3
Anlagen: -

Bearbeiter/in:
Durchwahl:
E-Mail:

Ausfertigungen: 2fach: Institut für Technologie und Management im Baubetrieb
1fach: MPA Karlsruhe

Notifizierte Stelle 0754 nach BauPG
Anerkannte Stelle BWU01 nach LBO



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 108 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 09.09.2013
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 2 von 3 Seiten
zum Prüfbericht Nr. 12 20 79 0424/2
vom 31.10.2012

1 Auftrag

Mit Schreiben des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb, Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen, Herrn Dipl.-Ing. A. Aminy, vom 11.06.2012 wurde die Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) beauftragt, die Druckfestigkeit und Porosität von Würfeln aus Steinsalz-Beton zu bestimmen.

2 Normen und Grundlagen

- [1] DIN EN 12390-3:2009-07 Prüfung von Festbeton. Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern
- [2] DIN EN ISO 12570:2000-04 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Feuchtegehaltes durch Trocknen bei erhöhter Temperatur
- [3] DIN 66137-1:2003-11 Bestimmung der Dichte fester Stoffe - Teil 1: Grundlagen
- [4] DIN 66137-2:2004-12 Bestimmung der Dichte fester Stoffe - Teil 2: Gaspyknometrie

3 Prüfmaterial und Prüfumfang

Am 06.09.2012 erhielt die MPA Karlsruhe vom Auftraggeber insgesamt 6 Würfel, an denen die Druckfestigkeit zu vorgegebenen Terminen zu bestimmen war. Die Würfel besaßen eine Kantenlänge von 200 mm.

Die Trockenrohddichte wurde an drei Würfeln aus dem ersten Prüfauftrag (vgl. Prüfbericht Nr. 12 20 79 0424/1 vom 18.09.2012) und an den Würfeln Nr. 4, 5 und 6 (Anlieferung am 06.09.2012) bestimmt. Für die Bestimmung der Feststoffdichte (Reindichte) diente je ein Würfel dieser beiden Serien. Aus der Trockenrohddichte und der Feststoffdichte wurde die Porosität berechnet.

4 Prüfkörperherstellung und Lagerung

Sämtliche Würfel wurden vom Auftraggeber hergestellt, gelagert und angeliefert.

Während des Zeitraumes von der Anlieferung bis zum Prüftermin lagerten die Würfel in der Prüfhalle bei ca. 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte.

5 Prüfungen und Ergebnisse

In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen nach [1] an den Würfeln zusammengestellt.

Die Tabelle 2 enthält die Ergebnisse der Porositätsbestimmung nach [3].

Zur Bestimmung der Trockenrohddichte nach [2] wurden die vermessenen und geprüften Würfel bei einer Temperatur von 105±2 °C getrocknet.

Die Bestimmung der Feststoffdichte (Reindichte) erfolgte nach [4] mittels Helium-Pyknometer. Dazu wurde jeweils aus dem mittleren Bereich eines Würfels Probenmaterial entnommen (ca. 1 kg Beton), analysenfein gemahlen (Korngröße < 0,09 mm) und anschließend bei 105±2 °C getrocknet. Aus dieser Masse wurden die Messproben (jeweils ca. 6 g) entnommen.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 109 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		Stand: 09.09.2013

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 3 von 3 Seiten
zum Prüfbericht Nr. 12 20 79 0424/2
vom 31.10.2012

Tabelle 1: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen an Würfeln, hergestellt am 30.08.2012

Würfel Nr.	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse [kg]	Höchst- kraft [kN]	Roh- dichte [kg/m³]	Festigkeit $f_{c,200}$ [N/mm²]	Festigkeit $f_{c,150}^{1)}$ [N/mm²]
Betonalter: 18 Tage								
1	202	202	201	15,727	429	1918	10,5	11,1
2	200	202	200	15,553	397	1925	9,8	10,3
3	201	202	201	15,488	448	1898	11,0	11,6
Mittel	-	-	-	-	-	1913	10,5	11,0
Betonalter: 28 Tage								
4	201	202	201	15,773	524	1933	12,9	13,6
5	200	203	200	15,761	519	1941	12,8	13,5
6	202	202	202	15,859	567	1924	13,9	14,6
Mittel	-	-	-	-	-	1933	13,2	13,9

¹⁾ Umrechnung auf den Standardprüfkörper mit a = 150 mm: $f_{c,200} = f_{c,150} \cdot 0,95$

Tabelle 2: Ergebnisse der Porositätsbestimmung

Würfel Nr.	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Trocken- masse [kg]	Trocken- roh-dichte [kg/m³]	Feststoff- dichte [kg/m³]	Porosität [Vol.-%]
1	200	200	200	16,024	2003	-	9,7
2	200	200	200	15,439	1930	2218	13,0
3	200	200	200	14,301	1788	-	19,4
Mittel	-	-	-	-	-	-	-
4	201	202	201	15,452	1893	2217	14,6
5	200	203	200	15,431	1900	-	14,3
6	202	202	202	15,450	1874	-	15,5
Mittel	-	-	-	-	1889	-	14,8

6 Zusammenfassung

Im Auftrag des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb, Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen, Herrn Dipl.-Ing. A. Aminy, bestimmte die Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) die Druckfestigkeit und die Porosität von Würfeln aus Steinsalz-Beton.

Die Ergebnisse sind im Abschnitt 5 des Prüfberichtes zusammengestellt.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 110 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Anhang 2.3 – Prüfbericht 3



Prüfbericht

Betreff: Steinsalz-Betone
Festigkeit

Auftraggeber: Institut für Technologie und Management im Baubetrieb
Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen
Gotthard-Franz-Straße 3
76131 Karlsruhe

Berichtsnummer: 12 20 79 0424/3 Berichtsdatum: 13.12.2012
Textseiten: 3
Anlagen: -

Bearbeiter/in:
Durchwahl:
E-Mail:

Ausfertigungen: 2fach: Institut für Technologie und Management im Baubetrieb
1fach: MPA Karlsruhe

Notifizierte Stelle 0754 nach BauPG
Anerkannte Stelle BWU01 nach LBO

Postanschrift: Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe
KIT-Campus Süd, 76128 Karlsruhe
Lieferanschrift: Gotthard-Franz-Straße 2 - 76131 Karlsruhe, Gebäude 50.32

Telefon: +49 721 608-46504
Telefax: +49 721 608-47796
Internet: www.mpa-karlsruhe.de

Der Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Veröffentlichung und auszugsweise Wiedergabe bedarf der schriftlichen Genehmigung der MPA.



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 111 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 2 von 3 Seiten
zum Prüfbericht Nr. 12 20 79 0424/3
vom 13.12.2012

1 Auftrag

Mit Schreiben des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb, Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen, Herrn Dipl.-Ing. A. Aminy, vom 07.11.2012 wurde die Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) beauftragt, die Druckfestigkeit von Würfeln aus Steinsalz-Beton zu bestimmen.

2 Normen und Grundlagen

[1] DIN EN 12390-3:2009-07 Prüfung von Festbeton. Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern

3 Prüfmaterial und Prüfumfang

Am 12.11.2012 erhielt die MPA Karlsruhe vom Auftraggeber insgesamt 12 Würfel, an denen die Druckfestigkeit zu vorgegebenen Terminen (Betonalter von 7, 14 und 28 Tagen) zu bestimmen war. Die Würfel besaßen eine Kantenlänge von 200 mm.

Nach Angabe des Auftraggebers handelt es sich um Proben, die aus unterschiedlichen Chargen entnommen wurden. Der Wasserzementwert beträgt bei allen Betonen ca. 0,56.

4 Prüfkörperherstellung und Lagerung

Sämtliche Würfel wurden vom Auftraggeber hergestellt, bis zum 12.11.2012 gelagert und angeliefert.

Während des Zeitraumes von der Anlieferung bis zum Prüftermin lagerten die Würfel in der Prüfhalle bei ca. 23 °C, 50 % rel. Luftfeuchte.

5 Prüfungen und Ergebnisse

In den Tabellen 1 und 2 sind die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen nach [1] an den Würfeln zusammengestellt.

Tabelle 1: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen an Würfeln, hergestellt am 05.11.2012

Würfel Nr.	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse [kg]	Höchst-kraft [kN]	Roh-dichte [kg/m ³]	Festigkeit $f_{c,200}$ [N/mm ²]	Festigkeit $f_{c,150}^{1)}$ [N/mm ²]
Betonalter: 7 Tage								
1/1	201	201	200	15,335	386	1898	9,6	10,1
2/1	201	200	202	15,479	414	1906	10,3	10,8
Betonalter: 14 Tage								
1/2	201	202	201	15,446	498	1893	12,3	12,9
2/2	201	199	201	15,590	551	1939	13,8	14,5
Betonalter: 28 Tage								
1/3	201	201	201	15,313	641	1886	15,9	16,7
2/3	201	202	201	15,769	694	1932	17,1	18,0

¹⁾ Umrechnung auf den Standardprüfkörper mit $a = 150$ mm: $f_{c,200} = f_{c,150} \cdot 0,95$



Bundesamt für Strahlenschutz

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 112 von 116
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 09.09.2013
9A	23431000	GHB	RA	0012	00		

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
MPA Karlsruhe

Seite 3 von 3 Seiten
zum Prüfbericht Nr. 12 20 79 0424/3
vom 13.12.2012

Tabelle 2: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen an Würfeln, hergestellt am 06.11.2012

Würfel Nr.	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse [kg]	Höchst-kraft [kN]	Roh-dichte [kg/m ³]	Festigkeit $f_{c,200}$ [N/mm ²]	Festigkeit $f_{c,150}$ ¹⁾ [N/mm ²]
Betonalter: 7 Tage								
3/1	200	199	201	15,252	470	1907	11,8	12,4
4/1	200	201	201	15,391	405	1905	10,1	10,6
Betonalter: 14 Tage								
3/2	201	201	200	15,397	590	1906	14,6	15,4
4/2	200	201	200	15,021	549	1868	13,7	14,4
Betonalter: 28 Tage								
3/3	200	200	201	15,343	850	1908	21,3	22,4
4/3	201	199	201	15,416	847	1917	21,2	22,3

¹⁾ Umrechnung auf den Standardprüfkörper mit $a = 150 \text{ mm}$: $f_{c,200} = f_{c,150} \cdot 0,95$

6 Zusammenfassung

Im Auftrag des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb, Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen, Herrn Dipl.-Ing. A. Aminy, bestimmte die Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) die Druckfestigkeit von Würfeln aus Steinsalz-Beton.

Die Ergebnisse sind im Abschnitt 5 des Prüfberichtes zusammengestellt.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Studie zur Eignungsfähigkeit und zum Entwicklungsbedarf von Gerätschaften / Werkzeugen für den Einsatz in der Schachanlage Asse II – Vorversuche			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 113 von 116	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23431000	GHB	RA	0012	00	Stand: 09.09.2013	

Anhang 3 – Porositätsbestimmung

Ergebnisse der Porositätsbestimmung an Steinsalzbeton, hergestellt am 06.11.2012:

Würfel Nr.	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Trockenmasse [kg]	Trockenrohddichte [kg/m ³]	Porosität [Vol.-%]
1	102	102	101	2,045	1.946	12,3
2	102	102	102	1,961	1.848	16,7
3	103	101	102	1,945	1.833	17,4
Mittelwert					1.875	15,5

Feststoffdichte Steinsalzbeton gemäß Anhang 2: $\rho_F = 2.218 \text{ kg/m}^3$

Formel zur Berechnung der Porosität ε :

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_R}{\rho_F}$$

ρ_R = Trockenrohddichte

ρ_F = Feststoffdichte

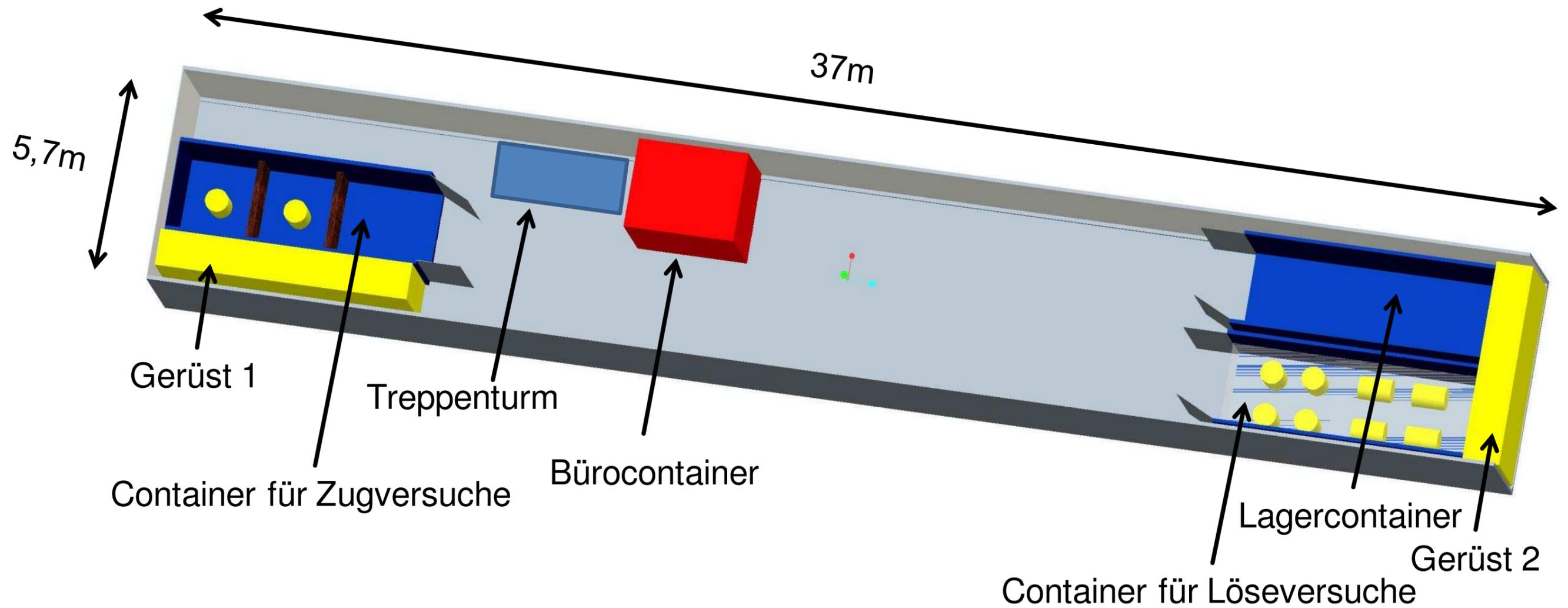
Nebenrechnung:

$$\text{Würfel Nr.1: } \varepsilon_1 = 1 - \frac{1946}{2218} = 0,123 \quad \rightarrow 12,3\%$$

$$\text{Würfel Nr.2: } \varepsilon_2 = 1 - \frac{1848}{2218} = 0,167 \quad \rightarrow 16,7\%$$

$$\text{Würfel Nr.3: } \varepsilon_3 = 1 - \frac{1833}{2218} = 0,174 \quad \rightarrow 17,4\%$$

Durchgeführt von: Dipl.-Ing. Akramullah Aminy



Alle Maßangaben in mm

