

# Deckblatt



BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 1
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000				GB	RZ	0012	00	Stand: 25.09.2023

Titel der Unterlage:

HOHLRAUMBILANZ 2022 FÜR DIE SCHACHTANLAGE ASSE II UND KALKULATION DER VOLUMINA ZUR UMSETZUNG DER MAßNAHMEN ZUR KONSEQUENZENMINIMIERUNG (NOTFALLPLANUNG)

Ersteller/Unterschrift:

Prüfer/Unterschrift:

Stempelfeld:

bergrechtlich  
verantwortliche Person:

atomrechtlich  
verantwortliche Person:

Bereichsleitung:

Freigabe zur Anwendung:

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

# Revisionsblatt



BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 2
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000				GB	RZ	0012	00	Stand: 25.09.2023

Titel der Unterlage:

HOHLRAUMBILANZ 2022 FÜR DIE SCHACHTANLAGE ASSE II UND KALKULATION DER VOLUMINA ZUR UMSETZUNG DER MAßNAHMEN ZUR KONSEQUENZENMINIMIERUNG (NOTFALLPLANUNG)

Rev.	Rev.-Stand Datum	Verantwortliche Stelle	Revidierte Blätter	Kat.*	Erläuterung der Revision
00	25.09.2023	TEK-GI.5/2			Ersterstellung

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



Stand: 25.09.2023 Blatt: 1

<b>DECKBLATT</b>	Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNA AANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
	9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00

Kurztitel der Unterlage:  
Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Ersteller / Unterschrift: [Redacted] Prüfer / Unterschrift: [Redacted]

Titel der Unterlage:  
**Hohlraumbilanz 2022  
für die Schachtanlage Asse II  
und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur  
Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)**

Freigabevermerk:

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	
9A	64332000			
Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	GB	RZ	0012	00

Freigabedurchlauf

Fachbereich: TEK-GI.5	Stabsstelle Qualitätssicherung:	Endfreigabe:
Datum: 04.01.2024	Datum: 17. JAN. 2024	Datum: 22. JAN. 2024
Name: [Redacted]	Name: [Redacted]	Name: [Redacted]

<b>REVISIONSBLATT</b>	Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
	9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00

Kurztitel der Unterlage:

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Rev	Revisionsstand Datum	Verantwortl. Stelle	revidierte Blätter	Kat. *)	Erläuterung der Revision
00	25.09.2023	TEK-GI.5/2		–	Ersterstellung

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

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 3

## Inhaltsverzeichnis

Blatt

Deckblatt	1
Revisionsblatt	2a
Inhaltsverzeichnis	3
1 Einleitung	6
2 Hohlraumbilanzen des Grubengebäudes bis zum Jahr 2022	7
2.1 Hohlraumberechnung der Burbach-Kaliwerke AG aus dem Jahre 1962	7
2.2 Hohlraumabschätzung des Instituts für Tieflagerung (IfT) von 1974	7
2.3 Hohlraumbilanz der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF) von 1982	7
2.4 Hohlraumbilanz 2005 - nach Verfüllung des Baufeldes an der Südflanke mit Salzversatz	8
2.5 Hohlraumbilanz der Asse-GmbH 2009 - zu Beginn der Firstspaltverfüllung	8
2.6 Hohlraumbilanzen seit 2012 zur Planung der Vorsorge- und Notfallmaßnahmen	9
3 Bilanzierung der Hohlraumvolumina	10
3.1 Vorgehensweise	10
3.1.1 Hohlraumvolumina	10
3.1.2 Versatzparameter	12
3.2 Wertung der Genauigkeit und Belastbarkeit der Bilanzierung	12
4 Hohlraumbilanz im Jahr 2022	14
4.1 Grubengebäude der Schachtanlage Asse II	14
4.2 Baufeld an der Südflanke im Leine-Steinsalz (Na3)	14
4.3 Baufeld im Sattelkern im Staßfurt-Steinsalz (Na2)	16
4.4 Baufeld an der Nordflanke im Carnallit (K2C)	16
4.5 Tiefenaufschluss (Bereich des Grubengebäudes unterhalb der 775-m-Sohle)	17
4.6 Wendelstrecke	18
4.7 Seigere Grubenbaue	19
5 Sohlenbezogene Bilanzierung der Hohlraum- und Versatzparameter	20
6 Bilanzierung der Neuauffahrungen seit 1989	22
7 Bilanzierung der einzubringenden Verfüllmaterialien für die Vorsorge- und Notfallmaßnahmen	24
7.1 Vorsorgemaßnahmen	24
7.2 Notfallmaßnahmen	26
8 Literaturverzeichnis	28

## Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1:	Infografik zur Hohlraumbilanz 2022	31
Anhang 2:	Hohlraumbilanz der Schachtanlage Asse für das Jahr 2022 (Verfüllstatus bis 30.05.2023 berücksichtigt)	32
Anhang 3:	Sohlenbezogene Übersicht zur Volumen- und Porenraumabschätzung für das Baufeld im Sattelkern im Jahr 2022	33
Anhang 4:	Sohlen- und teufenbezogene Übersicht zur Volumen- und Porenraumabschätzung für das Carnallitbaufeld im Jahr 2022	34
Anhang 5:	Verlauf des Pegelstandes innerhalb des Tiefenaufschluss bis zum 31.12.2022	35

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	
Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)									Blatt: 4

Anhang 6:	Abschätzung der im Rahmen der Vorsorgemaßnahmen eingebrachten Sorel- betonmenge sowie des fluidzugänglichen Poren- und Hohlraumes im Gruben- gebäude für das Jahr 2022 . . . . .	36
Anhang 7:	Volumenabschätzung der 490-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	37
Anhang 8:	Volumenabschätzung der 511-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	38
Anhang 9:	Volumenabschätzung der 532-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	39
Anhang 10:	Volumenabschätzung der 553-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	40
Anhang 11:	Volumenabschätzung der 574-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	41
Anhang 12:	Volumenabschätzung der 595-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	42
Anhang 13:	Volumenabschätzung der 616-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	43
Anhang 14:	Volumenabschätzung der 637-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	44
Anhang 15:	Volumenabschätzung der 658-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	45
Anhang 16:	Volumenabschätzung der 679-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	46
Anhang 17:	Volumenabschätzung der 700-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	47
Anhang 18:	Volumenabschätzung der 725-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	48
Anhang 19:	Volumenabschätzung der 750-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	49
Anhang 20:	Volumenabschätzung der 775-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	50
Anhang 21:	Volumenabschätzung der 800-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	51
Anhang 22:	Volumenabschätzung der 825-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	52
Anhang 23:	Volumenabschätzung der 850-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	53
Anhang 24:	Volumenabschätzung der 875-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	54
Anhang 25:	Volumenabschätzung der 900-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	55
Anhang 26:	Volumenabschätzung der 925-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	56
Anhang 27:	Volumenabschätzung der 950-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	57
Anhang 28:	Volumenabschätzung der 975-m-Sohle mit Stand 31.12.2022 . . . . .	58

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Übersicht der Ergebnisse der Hohlraumbilanzen des gesamten Grubengebäudes zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung) der vergangenen Jahre. . . . .	9
Tabelle 4.1:	Übersicht der Hohlraumvolumina aufgeteilt auf die Baufelder und noch einzubrin- genden Sorelbetonmengen (Stand: 12/2022) . . . . .	15
Tabelle 5.1:	Hohlraumbilanz mit Stand 12/2022 und Daten zu den bisher eingebrachten Ver- satzmaterialien mit Stand 30.05.2023 aufgelistet nach Sohlen. . . . .	21
Tabelle 7.1:	Summe der im Rahmen der Notfallvorsorge benötigten Verfüllmaterialien auf 1.000 m <sup>3</sup> gerundet (Stand: 12/2022) . . . . .	25

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	
Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)									Blatt: 5

Tabelle 7.2: Summe der im Notfall benötigten Verfüllmaterialien auf 1.000 m<sup>3</sup> gerundet (Stand: 12/2022) . . . . . 27

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 3.1: Beanspruchung des Tragsystems und Berechnung des Hohlraumes in deformierten Abbauen im Leinesteinsalz . . . . . 11

Abbildung 6.1: Vergleich der jährlichen Volumina der Neuauffahrungen seit 1989 und der seit 2005 eingebrachten Sorelbetonmenge . . . . . 23

**Anzahl der Blätter dieses Dokumentes: . . . . . 58**

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 6

## 1 Einleitung

Da es in der Schachanlage Asse II jederzeit zu einer auslegungsüberschreitenden Entwicklung des Lösungszutritts (AÜL) kommen kann, sind Maßnahmen zur Minimierung der sich hieraus ergebenden Konsequenzen umzusetzen [1], [2]. Als Grundlage für die technische, logistische und kaufmännische Planung der zur Notfallvorsorge umzusetzenden Maßnahmen sollen die Volumina der in der Schachanlage Asse II im Jahre 2022 vorhandenen Hohlräume und der bislang eingebrachten Versatzmaterialien bilanziert werden. Grundlage für die Berechnungen sind die bis zum 31.12.2022 unter Berücksichtigung der ablaufenden Konvergenz- und Verformungsprozesse noch vorhandenen, offenen bzw. unverfüllten Volumina der Grubenbaue sowie die bis zum 30.05.2023 dokumentierten Volumina der eingebrachten Versatzmaterialien. Daher erfolgt in diesem Bericht eine Differenzierung nach Gesamthohlraumvolumina und Resthohlräumen, die mit Sorelbetonsuspensionen oder vergleichbarem Verfüllmaterial verfüllt werden sollen, sowie nach dem verfügbaren Porenraum, der im Notfall mit  $MgCl_2$ -Lösung zu füllen ist (Notfallmaßnahme: Gegenflutung) [2], [3]. Weiterhin werden die nach Umsetzung der Vorsorgemaßnahmen zum weiteren Betrieb des Bergwerkes (geplante Offenhaltung) noch zur Verfügung stehenden bzw. nutzbaren Infrastrukturräume, die erst bei einer auslegungsüberschreitenden Entwicklung des Salzlösungszutritts (Notfall) mit Sorelbeton zu verfüllen sind, in der Bilanz dargestellt.

Auf der Schachanlage Asse II wurden zur Mineralgewinnung drei Baufelder in der Zeit von 1906 bis 1964 mit einem Hohlraumvolumen von ca. 5 Mio.  $m^3$  aufgefahren. An der Nordflanke wurde von 1909 bis etwa 1925 im Teuffenniveau zwischen 710 m und 750 m Carnallit (Carnallitbaufeld) abgebaut. Bereits während der Gewinnung wurde ein Großteil der Hohlräume im Carnallitbaufeld mit Rückständen aus der Salzaufbereitung versetzt. Von 1916 bis 1964 wurde an der Südflanke des Asse-Salzsattels von der 750-m- bis zur 490-m-Sohle Leine-Steinsalz (Jüngeres Steinsalz; Na3) gewonnen. Der Abbau des Staßfurt-Steinsalzes (Älteres Steinsalz; Na2) fand von 1934 bis 1962 im Zentralteil des Salzsattels (Sattelkern) von der 775-m- bis zur 725-m-Sohle statt. Eine exakte Dokumentation der aufgefahrenen Hohlräume während der Gewinnungsphase hat nicht stattgefunden. Der Bereich unterhalb des Gewinnungsbergwerkes (unterhalb der 775-m-Sohle) wurde im Jahr 1987 zu Forschungszwecken neu aufgefahren und bildet den Bereich des Tiefenaufschlusses. Der Tiefenaufschluss ist bereits seit 2014 bis zur 850-m-Sohle vollständig mit Salzversatz, Sorelbeton und Schotter verfüllt.

Aufgrund der geringen Dimensionierung der Tragelemente und einer langen offenen Standzeit kommt es zu einer fortschreitenden Schädigung des Tragsystems. Um dieser Schädigung entgegenzuwirken werden seit Anfang der 1980er Jahre die offenen Hohlräume des Grubengebäudes zur Stabilisierung und als Vorsorgemaßnahmen mit Salzversatz, Sorelbeton und teilweise Schotter verfüllt. Da die Abbaue weitgehend versetzt und damit nicht mehr zugänglich sind, wurden für die Ermittlung der Volumina des überwiegenden Teils der Abbaue – soweit keine aktuelleren Daten vorlagen – die Maße aus dem Risswerk oder die geförderten Rohsalzmengen zugrunde gelegt.

Im Folgenden werden im Kapitel 2 die in der Vergangenheit erstellten Hohlraumberechnungen vorgestellt, da sie eine wesentliche Grundlage für die aktuelle Bilanzierung darstellen. In Kapitel 4 ff. werden auf Grundlage der vorliegenden Standortdaten die Hohlraum- und Porenraumvolumina für das Jahr 2022 bilanziert sowie die für den Offenhaltungsbetrieb geplanten bzw. nicht zur vorsorglichen Verfüllung vorgesehenen Infrastrukturräume ausgewiesen. Abschließend wird im Kapitel 7 der Bedarf an Verfüllbaustoffen und Gegenflutungslösung ( $MgCl_2$ -Lösung) zur Umsetzung der Vorsorge- und Notfallmaßnahmen abgeschätzt. Hierbei werden erforderliche Nachschnittarbeiten insbesondere zur Errichtung von Strömungsbarrieren, geplante Neuauffahrungen von Grubenbauen und notwendige Aufwältigungsarbeiten teilweise berücksichtigt, soweit eine Kalkulation und Zuordnung bereits möglich ist.

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 7

## 2 Hohlraumbilanzen des Grubengebäudes bis zum Jahr 2022

### 2.1 Hohlraumberechnung der Burbach-Kaliwerke AG aus dem Jahre 1962

Eine erste zusammenfassende Hohlraumberechnung im Anschluss an die Gewinnungszeit im Steinsalz ließ der damalige Unternehmer der Schachanlage Asse II, die Burbach AG, durch den Markscheider Neuwirth im Oktober 1962 durchführen [4]. Die Hohlraumermittlung für die Steinsalzabbaue erfolgte durch Planimetrieren der Grundflächen im Risswerk und Festlegen einer regelmäßigen Abbauhöhe. Demnach wurde im Jahr 1962 von einem gesamten Hohlraumvolumen des Grubengebäudes von ca. 3.650.000 m<sup>3</sup> ausgegangen. Diese Angabe beinhaltet jedoch nicht das bereits in der Gewinnungsphase versetzte Carnallitbaufeld sowie die Abbaue 1, 1a, 1b, 1c, 2, 3a und 5 auf der 775-m-Sohle und die Abbaue 3 und 4 der 725-m-Sohle, die mit einem Volumen von ca. 171.000 m<sup>3</sup> als versetzt betrachtet wurden.

### 2.2 Hohlraumabschätzung des Instituts für Tief Lagerung (IfT) von 1974

Im Rahmen der Bewertung der Standsicherheit des Salzbergwerkes Asse II als Endlager für radioaktive Abfälle wurden im Jahr 1974 die Abbaue im Jüngeren (Leine-Steinsalz) und Älteren Steinsalz (Staßfurt-Steinsalz) abgeschätzt [5]. Die Hohlraumermittlung für die Steinsalzabbaue erfolgte durch Planimetrieren der Grundflächen im Risswerk und Festlegen einer standortspezifischen Abbauhöhe. Die 131 Abbaue im jüngeren Steinsalz umfassten ein Gesamtvolumen von ca. 3,6 Mio. m<sup>3</sup>, wobei der nachträgliche Pfeiler- und Schwebenabbau berücksichtigt wurde. Für die Abbaue im älteren Steinsalz auf der 725-m-, 750-m- und 775-m-Sohle wurde ein Gesamtvolumen von 462.000 m<sup>3</sup> abgeschätzt. Eine Abschätzung für das Carnallitbaufeld erfolgte nicht.

### 2.3 Hohlraumbilanz der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF) von 1982

Im Jahr 1982 wurde durch die GSF erneut eine Hohlraumbilanz erstellt [6]. Als Grundlage dienten wiederum die planimetrierten Grundflächen, welche entsprechend der Hohlraumberechnung von Neuwirth dem damaligen Risswerk entnommen wurden. Für die Abbauhöhen wurden erneut die Regelmäße angesetzt. Ergänzt wurden die rein geometrischen Daten durch Erkenntnisse aus Befahrungen der Abbaue. So wurde das geschätzte Volumen von Sohlenaufwölbungen oder Abschalungen infolge von Konvergenz sowie von Resthaufwerk, Trichtermengen um Rolllöcher und Versatz von dem geometrisch berechneten Hohlraum abgezogen. Für Abbaue, die nicht befahrbar waren, wurden entsprechend der Erkenntnisse aus benachbarten Abbauen Annahmen getroffen.

Mit dieser Vorgehensweise ergab sich für die Abbaue im Baufeld an der Südflanke (Leine-Steinsalz) ein ursprünglich erstellter Hohlraum von ca. 3.352.000 m<sup>3</sup>, von dem ca. 395.000 m<sup>3</sup> bereits verfüllt waren. Dies entsprach einem noch offenen Hohlraum von ca. 2.957.000 m<sup>3</sup> (ca. 88 % des Gesamtvolumens). Im Sattelnern (Staßfurt-Steinsalz) wurden Grubenbaue mit einem Volumen von ca. 442.000 m<sup>3</sup> aufgefahren, von denen ca. 329.000 m<sup>3</sup> bereits verfüllt waren. Auf Strecken und seigere Grubenbaue entfielen ca. 155.000 m<sup>3</sup> offener Hohlraum. Aus den 25 Abbauen des Carnallitbaufeldes wurden insgesamt ca. 904.000 m<sup>3</sup> Carnallit gewonnen, wovon im Jahr 1926 bereits 820.000 m<sup>3</sup> versetzt waren. Bis ins Jahr 1938 wurden durch weitere Versatarbeiten zusätzlich ca. 20.000 m<sup>3</sup> Schüttmaterial eingebracht. Der noch offene Hohlraum im Firstbereich der Abbaukammern wurde auf ca. 65.000 m<sup>3</sup> geschätzt.

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 8

Insgesamt ergab sich damit für das Jahr 1982 ein Gesamtvolumen aller Grubenbaue der Schachanlage Asse II von 4.853.000 m<sup>3</sup>, von dem 1.564.000 m<sup>3</sup> bzw. 33 % versetzt und ca. 3.134.000 m<sup>3</sup> bzw. 67 % unverfüllt waren. Eine Berücksichtigung von Konvergenzprozessen erfolgte zu diesem Zeitpunkt nicht.

## 2.4 Hohlraumbilanz 2005 - nach Verfüllung des Baufeldes an der Südflanke mit Salzversatz

Zur Stabilisierung des Tragsystems des Grubengebäudes wurde in den 1990er Jahren entschieden, dass die noch nicht versetzten Abbaue an der Südflanke (oberhalb der 725-m-Sohle) mit Salz der Halde Ronnenberg zu versetzen sind. Zur Ermittlung der anzuliefernden Salzmengen und zur Berechnung der Einbaudichte wurde vor Verfüllung der Abbaue der zur Verfügung stehende Hohlraum marktscheiderisch bestimmt [7]. In der Zeit von 1995 bis 2005 wurde, nachdem die Abbaue durch Richtstrecken im Firstniveau – sogenannte Abbaubegleitstrecken – zugänglich gemacht worden waren, der vorhandene Hohlraum in den Abbauen, soweit möglich, vermessen (vgl. auch Abschnitt 3.1.1 auf Blatt 10 und Abbildung 3.1 auf Blatt 11). Erstmals wurden bei der Bestimmung der Hohlraumvolumina auch Konvergenzprozesse mitberücksichtigt.

Aufgrund der andauernden Konvergenzprozesse und den damit verbundenen Auflockerungen und Schädigungen bis hin zu Schwebendurchbrüchen betragen die vorgefundenen Hohlraumvolumina der Abbaue im Baufeld an der Südflanke oberhalb der 616-m-Sohle ca. 1.334.550 m<sup>3</sup>, welches etwa 87 % des 1982 ermittelten Volumens entsprach [6]. Dieser Prozentsatz wurde für die nicht mehr zugänglichen Abbaue festgelegt. Bis zum Jahr 2004 wurden ca. 2.219.000 t Salzversatz in die Abbaue eingebracht, die ein Gesamtvolumen von 1.747.000 m<sup>3</sup> füllten. Für die Abbaue im Sattelkern (Staßfurtsalz-Steinsalz) basierten die Hohlraumvolumina auf den Angaben aus dem Risswerk. Das Hohlraumvolumen wurde mit 75 % des ursprünglichen in den Jahren 1934 bis 1962 aufgefahrenen Volumens angesetzt und betrug somit ca. 322.000 m<sup>3</sup>. Das ursprünglich erstellte Volumen der Abbaue im Carnallitit wurde durch Planimetrieren der Zwischensohle A bis E aus dem Risswerk mit ca. 1.027.400 m<sup>3</sup> neu ermittelt. Insgesamt weist diese Bilanz für das Jahr 2005 ein Gesamtvolumen aller offenen und bereits verfüllten Grubenbaue der Schachanlage Asse II von ca. 4.680.000 m<sup>3</sup> aus.

Auf dieser Grundlage wurde für die von GSF bzw. vom Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (HMGU) initiierten gebirgsmechanischen und bergschadenkundlichen Berechnungen sowie für die Modellrechnungen zum Schadstofftransport bei planmäßiger Schließung mit Einbringung eines Schutzfluids eine entsprechende Volumenbilanz erstellt. Auf Grundlage der Hohlraumbilanzierung und der Angaben aus der Einbringung des Salzversatzes und einer durchschnittlichen Porosität im Salzversatz von 36 % standen im Jahr 2005 ca. 1.550.000 m<sup>3</sup> Porenraum zur Verfügung, der mit einem Schutzfluid befüllbar war.

## 2.5 Hohlraumbilanz der Asse-GmbH 2009 - zu Beginn der Firstspaltverfüllung

Im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) erstellte die Asse-GmbH eine weitere Hohlraumbilanz im Jahr 2009, in der als Grundlage für die zu planende Stilllegung und für die zu erstellende Notfallplanung alle noch mit Sorelbeton verfüllbaren Resthohlräume und der im Salzversatz verbleibende Porenraum ausgewiesen wurden [8]. Die Bilanzierung erfolgte auf Grundlage des aktuellen Standes des Risswerkes, der vorliegenden Standortdaten und den Angaben aus den oben dargestellten älteren Bilanzierungen. Für Dezember 2009 wurde das Volumen aller Grubenbaue mit insgesamt ca. 4.700.000 m<sup>3</sup> angegeben. Hiervon waren ca. 3.981.000 m<sup>3</sup> mit Salzgrus, ca. 13.000 m<sup>3</sup> mit Schotter und ca. 90.000 m<sup>3</sup> mit Sorelbeton verfüllt. Damit waren zu dem Zeitpunkt ca. 87 % des Gesamthohlraumes des Grubengebäudes verfüllt. Etwa 640.000 m<sup>3</sup> an Resthohlräumen hätten demnach im Zuge der

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	
Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)									Blatt: 9

Stilllegung noch mit Sorelbeton verfüllt werden müssen. Der Porenraum im Salz- und Schotterversatz wurde mit 1.331.000 m<sup>3</sup> bilanziert.

## 2.6 Hohlraumbilanzen seit 2012 zur Planung der Vorsorge- und Notfallmaßnahmen

Im Jahre 2010 wurden vom BfS und darauf aufbauend von der Asse-GmbH Planungen zur Minimierung der Konsequenzen eines auslegungsüberschreitenden Lösungszutritts vorgelegt [1], [9], [2], [3]. Demnach waren große Teile der bis dahin nicht verfüllten Grubenbaue und Resthohlräume schnellstmöglich zur Stabilisierung des Grubengebäudes und zum Schutz der Einlagerungskammern (ELK) mit Sorelbeton zu verfüllen. Weiterhin sind Vorbereitungen für eine im Notfall durchzuführende Gegenflutung mit einer MgCl<sub>2</sub>-dominierten Lösung in die vorhandenen Porenräume zu treffen. Zur Kalkulation der Ressourcen zur Umsetzung dieser Maßnahmen diente die im Abschnitt 2.5 dargestellte Volumenbilanzierung aus dem Jahre 2009, die entsprechend dem Baufortschritt und den Standortdaten fortgeschrieben wurde.

Aufgrund einer Neubewertung des Zustandes der Infrastrukturräume [10] und einer Aktualisierung der Gefährdungsanalyse [11] sowie zur Spezifizierung der nach Umsetzung der Vorsorgemaßnahmen noch für die weitere Offenhaltung zur Verfügung stehenden Grubenbaue wurde für das Jahr 2012 eine aktualisierte Bilanzierung vorgenommen. Als Grundlagen dienten die bis 2005 vermessenen und im Risswerk ausgewiesenen Volumina der Grubenbaue. Aus dem bekannten Grundriss und der Kontur der Firste wurde das Volumen des Abbaus berechnet. Dabei wurde als Sohlenhöhe entweder der am tiefsten gelegene Sohlenpunkt messtechnisch ermittelt oder eine repräsentative Sohlenhöhe aus dem Sohlenniveau benachbarter Abbaue abgeleitet. Für die nicht mehr zugänglichen Abbaue wurde weiterhin ein Prozentsatz von 87 % des Hohlraumvolumens nach Kunze [6] verwendet. Von 2005 bis 2012 wurden aufgrund der messtechnisch erfassten Verformungs- und Verschiebungsraten sohlenbezogene repräsentative Volumenkonvergenzraten abgeleitet und bei den für 2012 angegebenen Volumina berücksichtigt.

Seit dem Jahr 2012 wird die Hohlraumbilanz in einem 2-jährigen Turnus aktualisiert. Dabei wird die Berücksichtigung der Volumenkonvergenzraten für die entsprechenden Jahre weiterhin fortgeführt und Neuvermessungen von noch zugänglichen bzw. nachgeschnittenen oder neu aufgefahrenen Grubenbauen kontinuierlich eingearbeitet.

In Tabelle 2.1 sind die wesentlichen Ergebnisse der Hohlraumbilanzen der letzten Jahre zusammengefasst.

Tabelle 2.1: Übersicht der Ergebnisse der Hohlraumbilanzen des gesamten Grubengebäudes zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung) der vergangenen Jahre.

Jahr	Hohlraum [m <sup>3</sup> ]	versetzter Hohlraum			Hohlraum unverfüllt [m <sup>3</sup> ]	Porosität im Versatz [%]	Porenraum im Versatz [m <sup>3</sup> ]
		Salzversatz [m <sup>3</sup> ]	Sorelbeton [m <sup>3</sup> ]	Schotter [m <sup>3</sup> ]			
2012	4.685.628	3.949.831	141.956	13.452	598.937	33	1.307.635
2014	4.683.493	3.940.421	217.000	12.282	513.790	32	1.283.212
2016	4.681.878	3.912.378	289.772	12.282	467.447	32	1.259.168
2018	4.693.849	3.901.369	354.812	12.282	425.385	30	1.183.977
2020	4.689.908	3.880.683	407.196	12.282	389.747	30	1.144.656

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 10

### 3 Bilanzierung der Hohlraumvolumina

#### 3.1 Vorgehensweise

Im Rahmen einer planmäßigen Aktualisierung der Datengrundlagen wurde 2022 eine Neubilanzierung der Hohlraumvolumina unter Berücksichtigung aktueller Standortdaten und Planungen zur Umsetzung der Vorsorgemaßnahmen vorgenommen. Das grundsätzliche Vorgehen wurde hierbei gegenüber der vorherigen Hohlraumbilanzen seit 2012 nicht geändert.

Für die Bestimmung der Parameter wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

1. **Hohlraumbilanz:** Da die Abbaue in der Schachtanlage Asse II weitgehend verfüllt sind und noch vorhandene Resthohlräume in der Regel aus arbeitssicherheitlichen Gründen nicht betreten werden können, wurde das Volumen der Grubenbaue auf Grundlage vorhandener Hohlraumbilanzen unter Berücksichtigung der aus den Standortdaten ableitbaren Volumenkonvergenzraten bilanziert. Zusätzlich wurden aktuelle Hohlraumvermessungen – soweit vorhanden – berücksichtigt.
2. **Versatzparameter:** Auf Grundlage der so bestimmten Hohlraumvolumina, der Dokumentation der eingebrachten Versatzmengen und geotechnischer Versatzuntersuchungen sowie der seit der Versatzeinbringung bis 2022 abgelaufenen Verformungen, werden Parameter wie durchschnittliche Dichte, Porosität und Porenraum im Versatz sowie der vorhandene und mit Sorelbleton verfüllbare Resthohlraum bilanziert (s. Anhang 2 bis Anhang 6).
3. **Berücksichtigung abgeschlossener, laufender bzw. geplanter Auffahrungen und Aufwältigungen:** Im Zuge der betrieblichen Arbeiten zur Fertigstellung der neuen Kavernenstrecken auf der 825-m-Sohle, der Erkundung der Wetterstrecken zum Schacht 2 auf der 700-m-Sohle sowie der Sanierung der Infrastrukturräume im zentralen Bereich der 490-m-Sohle wurden im Berichtszeitraum Grubenräume zur Schaffung der erforderlichen Infrastruktur neu aufgefahren, Strecken aus arbeitssicherheitlichen Gründen nachgeschnitten und bereits versetzte Streckenabschnitte aufgewältigt. Diese Auffahrungen sind in Kapitel 6 bilanziert und werden den Verfüllmaßnahmen gegenübergestellt.

##### 3.1.1 Hohlraumvolumina

Als Datengrundlage der Hohlraumvolumina dienen die markscheiderischen Vermessungen und Berechnungen der Grubenbaue. Für die Bestimmung des Abbau- und Firstspaltvolumens sowie des Porenraumes in den von 1995 bis 2004 versetzten Abbauen im Baufeld an der Südflanke wurden zunächst die Abbaue betrachtet, in denen vor der Verfüllung eine Neuaufnahme (Vermessung) durch die Markscheiderei erfolgte. Entsprechend Abbildung 3.1 wurde die Berechnung für den bis dahin nicht versetzten Hohlraum durchgeführt. Der bei der Steinsalzgewinnung ursprünglich angelegte Abbau (schwarz) hat sich aufgrund der Konvergenz stark verändert. Durch die dominierende Verschiebung von Süden nach Norden liegt der Südstoß heute bis zu 6 m weiter nördlich und die Abbausohle hat sich im Süden gegenüber dem nördlichen Teil gesenkt. Die horizontale Stauchung der Tragelemente (Pfeiler und Schweben) und damit auch der Abbaue hat zu Sohlenaufwölbungen und Schwebenbrüchen geführt (grün). Da die Sohlenaufwölbungen aufgelockertes Gestein darstellen, wurde bei der Ermittlung des leeren Hohlraumes die Sohlenaufwölbung nicht berücksichtigt (rot). Aus dem bekannten Grundriss und der Kontur der Firste wurde nun das Volumen des Abbaus berechnet. Dabei wurde als Sohlenhöhe entweder der am tiefsten gelegene Sohlenpunkt messtechnisch ermittelt oder eine repräsentative Sohlenhöhe aus dem Sohlenniveau benachbarter Abbaue abgeleitet.

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

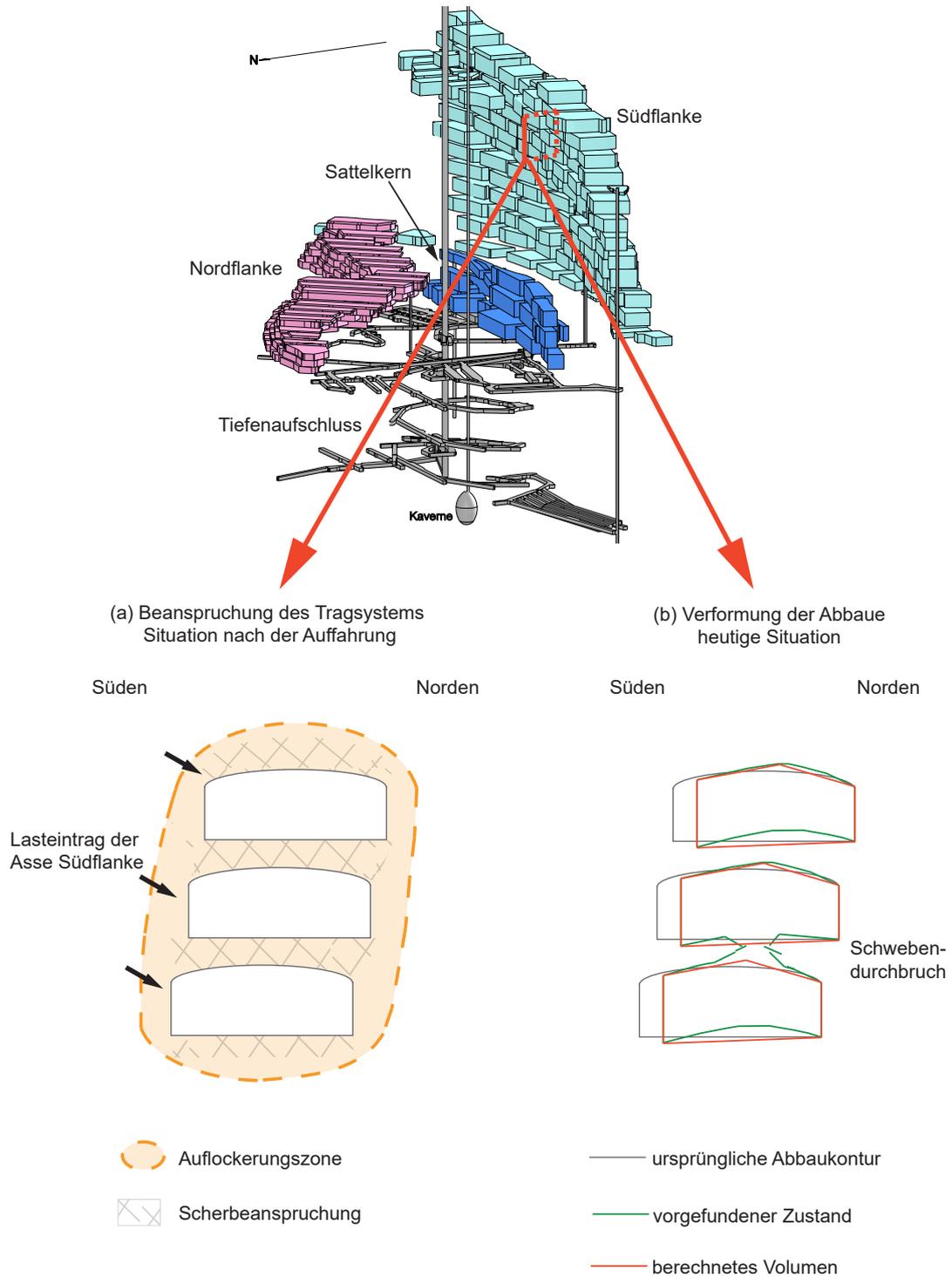


Abbildung 3.1: Beanspruchung des Tragsystems und Berechnung des Hohlraumes in deformierten Abbauen im Leinesteinsalz

Weil nicht alle Abbaue vor der Verfüllung mit Salzversatz neu vermessen werden konnten, wurde für diese Abbaue ein Erfahrungswert für die Ermittlung des Volumens der Grubenbaue wie folgt festgelegt. Bei der Berechnung wurden die Abbaue oberhalb der 616-m-Sohle berücksichtigt, weil unterhalb bereits ein erheblicher Teil der Abbaue mit Salz aus Streckenauffahrungen verfüllt worden war. Das von Kunze [6] angegebene Volumen für die Abbaue oberhalb der 616-m-Sohle betrug 1.529.010 m<sup>3</sup>.

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 12

Die Neuvermessung bzw. –berechnung ergab für dieselben Abbaue ein Volumen von 1.323.981 m<sup>3</sup>. Dieser neue Wert entspricht 87 % des Volumens nach [6]. Dieser Prozentsatz wurde auch für die nicht zugänglichen Abbaue festgelegt und bezog sich auf das im Jahre 2005 vorhandene Volumen. Von 2005 bis 2022 wurden aufgrund der messtechnisch erfassten Verformungs- und Verschiebungsraten sohlenbezogene repräsentative Volumenkonvergenzraten abgeleitet und bei den für 2022 angegebenen Hohlraumvolumina von konvergenzaktiven Hohlräumen berücksichtigt. Dazu zählen noch offene Hohlräume und Hohlräume, die mit Salzversatz versetzt sind. Die Erfahrungen bei der Einbringung einer Schottersäule zur Erstellung der Schachtverschlüsse in den Schächten des Kalibergbaues zeigen, dass mit Schotter verfüllte Hohlräume als nahezu setzungsstabil und somit als nicht konvergierender Hohlraum anzusetzen sind.

Zusätzlich werden, bei Neuauffahrungen und Nachschnitten sowie teilweise auch bei Erkundungen, seit 2007 Hohlräume messtechnisch mittels Laserscanner ermittelt und das aktualisierte Hohlraumvolumen dem entsprechenden Grubenbau neu zugeordnet. Für Grubenbaue, die nicht mehr zugänglich sind und auch nicht messtechnisch erfasst werden können, wird in einigen Fällen auch das bei der Verfüllung verwendete Volumen an Sorelsuspension angewendet.

### 3.1.2 Versatzparameter

Datengrundlage für die Versatzparameter sind die dokumentierten Volumina an Salzversatz und die der Verfüllung von Hohlräumen mit Sorelbeton ermittelten Resthohlräume. Die Abbaue im Baufeld an der Südflanke wurden im Zeitraum 1995 bis 2004 mit Blasversatz verfüllt. Zur Staubbindung wurde beim Verblasen des getrockneten Versatzes von der Halde Ronnenberg etwa 500 m<sup>3</sup> Zutrittslösung je Abbau zugesetzt, woraus sich ein Betrag von etwa 1 Gew.% ergibt. Die dabei dokumentierten verwendeten Mengen an Salzgrus der Halde Ronnenberg in Verbindung mit der Einbaudichte ergeben das tatsächlich versetzte Volumen des Salzversatzes (s. Abschnitt 4.2). Die sich aus den Volumina und der Einbaudichte sowie der Korndichte des Salzversatzes ergebenden Porositäten bilden die Grundlage für die Berechnungen der aktuell bilanzierten Porositäten im Salzversatz. Für diese Berechnung werden zusätzlich die abgeleiteten Konvergenz- und Verformungsparameter sowie die Dauer seit Ende der Einbringung für jeden Abbau verwendet. Hierzu wird ein Konvergenzansatz verwendet, der die Konvergenzrate, also die relative Abnahme des Hohlraumvolumens pro Zeiteinheit, in vereinfachter Weise linear darstellt. Die Daten wurden durch geotechnische Messungen im Salzversatz in einigen Bereichen verifiziert [12], [13], [14], [15].

Weiterführend wurde ein von der Porosität abhängiger funktionaler Zusammenhang zwischen Porosität und Permeabilität bestimmt [16]. Auf dieser Grundlage ergibt sich für die entsprechenden, mit Salzgrus verfüllten Bereiche, je nach Kompaktionsgrad bzw. Porosität eine entsprechende Permeabilität. Für typische Bereiche ergibt sich z. B. bei einer Porosität von 0,27 eine Permeabilität von  $2,96 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$ .

### 3.2 Wertung der Genauigkeit und Belastbarkeit der Bilanzierung

Da die Grubenbaue überwiegend versetzt sind und daher nicht neu vermessen werden konnten, handelt es sich bei diesen Volumenangaben um plausible Schätzungen auf Grundlage des Risswerkes. Genauer sind die Angaben, die auf markscheiderischen Messungen zur Erfassung des zu verfüllenden Hohlraumes insbesondere im oberen Baufeld an der Südflanke beruhen. Weil sich jedoch zum Zeitpunkt der Aufnahme bereits Sohlenaufwölbungen, Abschaltungen und Firstfälle gebildet hatten, mussten für die Berechnung des Leervolumens auch hier Annahmen getroffen werden unter Berücksichtigung vorliegender Monitoringergebnisse zu den abgelaufenen Verformungen. Eine wesentliche Annahme

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	
Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)									Blatt: 13

besteht darin, dass das Haufwerk auf der Sohle den gleichen Porenraum hat wie der später eingebrachte Versatz.

Weiterhin konnten die Veränderungen, die sich durch die Entfestigung bzw. den Bruch der Schweben ergaben, nur vereinfacht erfasst werden. Dies kann in einigen Abbauen zu erheblichen Abweichungen bei den abbaubezogenen Parametern, insbesondere beim Verfüllgrad und damit bei der einbringbaren Sorelbetonmenge, führen. Der Einfluss auf die integralen Werte ist entsprechend den vorliegenden Erfahrungen aus der Firstspaltverfüllung jedoch als relativ gering zu bewerten. Daher ist unter Berücksichtigung der überwiegend indirekten und mit Ungewissheiten behafteten Ableitung der Volumenangaben eine Genauigkeit der integralen Hohlraumangaben von  $\pm 10\%$  anzusetzen.

Die eingebrachten Volumina an Sorelbeton werden über die Qualitätssicherungs- und Mengenerfassungsanlage (QMA) dokumentiert. Da mit Stand 30.05.2023 bereits ca. 63 % der Verfüllmaßnahmen umgesetzt sind, beziehen sich die Unsicherheiten im Wesentlichen auf die noch ausstehenden Verfüllmaßnahmen. Aus der Erfahrung beim Einbringen des Sorelbetons ergibt sich, dass der Fehler im Volumen beim Einbringen technisch bedingt ca.  $\pm 7\%$  beträgt. Deshalb ergeben sich Abweichungen in der eingebrachten Sorelbetonmenge zwischen der Hohlraumbilanz und der QMA. In der Hohlraumbilanz wird bei der Verfüllung eines Bereiches, in dem ein Laserscan existiert, das daraus ermittelte Volumen als verfüllt angesehen. Für Bereiche, in denen ein Laserscan nicht möglich ist, wird als Volumen die eingebrachte Menge der QMA angewendet.

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 14

## 4 Hohlraumbilanz im Jahr 2022

### 4.1 Grubengebäude der Schachtanlage Asse II

Auf Grundlage der in Kapitel 3 dargestellten Vorgehensweise und Datengrundlage zur Berechnung der Hohlraumvolumina ergibt sich für das Jahr 2022 ein Gesamtvolumen des Grubengebäudes der Schachtanlage Asse II von ca. 4.676.000 m<sup>3</sup>. Im Rahmen der Stabilisierungs- und Vorsorgemaßnahmen wurden ca. 3.855.000 m<sup>3</sup> Salzversatz, ca. 431.400 m<sup>3</sup> Sorelbeton und ca. 12.360 m<sup>3</sup> Schotter eingebracht. Der noch offene Hohlraum beträgt ca. 378.900 m<sup>3</sup>. Nach Beendigung der Stabilisierungs- und Vorsorgemaßnahmen sollen noch ca. 131.700 m<sup>3</sup> Hohlraum offen gehalten werden. Dies beinhaltet auch zukünftige Auffahrungen, die sich aus planungstechnischen oder betrieblichen Gründen ergeben (s. Kapitel 6). Die Porosität im Salzversatz beträgt im Jahr 2022 integral ca. 29 %, daraus ergibt sich ein Porenvolumen von ca. 1.116.000 m<sup>3</sup>.

Eine Übersicht zu den Hohlraumvolumina des Grubengebäudes für die einzelnen Baufelder ist in Tabelle 4.1 zusammengestellt. In Anhang 1 sind die Ergebnisse zur Hohlraumbilanz grafisch dargestellt. Im folgenden werden die Hohlraumvolumina für die einzelnen Baufelder im Detail beschrieben und auf die Historie der Einbringung der Versatzmaterialien eingegangen. Die vollständige Hohlraumbilanz aufgeteilt nach Sohle, Wendelstrecke, seigere Grubenbaue und Carnallitit-Baufeld ist in Anhang 2 aufgelistet.

### 4.2 Baufeld an der Südflanke im Leine-Steinsalz (Na3)

Das Baufeld an der Südflanke stellt das größte Abbauvolumen im gesamten Grubengebäude dar und ist damit aufgrund der Lage und Größe für das gebirgsmechanische Verhalten von größter Bedeutung. Insgesamt betrug das im Leine-Steinsalz an der Südflanke aufgefahrene Hohlraumvolumen aller Abbaue ca. 3.352.000 m<sup>3</sup> [6]. Diese Hohlräume werden seit Beginn der 1960er Jahre zunächst mit Salzversatz und seit 2009, die im Firstbereich entstandenen Firstspalte, mit Sorelbeton versetzt. Bis 1982 wurden, aufgrund von Sanierungsarbeiten und im Rahmen der Einlagerung radioaktiver Abfälle, das bei Aufwältigungsarbeiten anfallende Salzhaufwerk vorzugsweise in die Abbaue auf der 750-m- und 775-m-Sohle mit einem Volumen von ca. 395.000 m<sup>3</sup> eingebracht [6]. Aus der Dokumentation der eingebrachten Versatzmenge in Tonnen (berechnet aus dem hierfür aufgefahrenen Hohlraumvolumen und der Korndichte) ergab sich der damit verfüllte Hohlraum in m<sup>3</sup>. Aus diesen Parametern ergab sich die mittlere Schüttdichte, woraus sich eine anfängliche Porosität für diese Bereiche von ca. 33 % bestimmen lässt.

Von 1984 bis 1992 wurden die vier Großabbaue im Westflügel des Baufeldes auf der 658-m- und 679-m-Sohle sowie Teile der Doppelabbaue auf der 700-m-Sohle und die Abbaue auf der 725-m-Sohle versetzt. Das Abbauvolumen betrug ca. 480.000 m<sup>3</sup>. In dieses wurden ca. 700.800 t Eigenversatz aus den Streckenauffahrungen unterhalb der 775-m-Sohle mit einer Einbaudichte von durchschnittlich 1,46 g/cm<sup>3</sup> bzw. 33 % Porosität eingebracht [17], [18]. Bei dieser Einbauporosität betrug 1994 das Porenvolumen für diese Bereiche etwa 158.400 m<sup>3</sup>. Unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Konvergenzrate im Zeitraum 1994 bis 2022 von 0,3 %/a ergibt sich für 2022 ein Hohlraumvolumen von ca. 440.000 m<sup>3</sup> sowie eine Versatzdichte von ca. 1,59 g/cm<sup>3</sup>. Der Porenraum beträgt demnach im Jahr 2022 noch ca. 128.000 m<sup>3</sup> bei einer durchschnittlichen Porosität von ca. 29 %.

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 15

Tabelle 4.1: Übersicht der Hohlraumvolumina aufgeteilt auf die Baufelder und noch einzubringenden Sorelbetonmengen (Stand: 12/2022)

Baufeld	Gesamt- volumen [m <sup>3</sup> ]	versetzter Hohlraum			offener Hohlraum [m <sup>3</sup> ]	Verfüll- grad [%]	Poro- sität [%]	Poren- raum [m <sup>3</sup> ]
		Sorelbeton [m <sup>3</sup> ]	Salz [m <sup>3</sup> ]	Schotter [m <sup>3</sup> ]				
<b>Tiefenaufschluss</b>	254.904	95.573	80.685	12.098	66.548	73,9	22,8	21.187
<b>Carnallitbaufeld</b>	950.745	2.625	944.553	–	3.567	99,6	22,0	181.315
<b>Sattelkern</b>	413.951	84.852	288.849	258	40.124	90,3	24,7	71.384
<b>Südflanke</b>	2.932.208	214.023	2.540.133	–	179.011	93,9	33,1	841.608
<b>seigere Grubenbaue</b>	44.388	17.747	690	–	25.951	41,5	30,1	208
<b>Wendelstrecke</b>	80.248	16.599	–	–	63.649	20,7	–	–
<b>Summe</b>	4.676.444	431.419	3.854.910	12.356	378.850	91,9	28,8	1.115.702

Bis 2004 wurde im Baufeld an der Südflanke von der 700-m- bis zur 490-m-Sohle in die noch offenen Abbaue und teilweise in die neu aufgefahrenen Strecken Salzgrus eingebracht. Demnach wurde ein Abbauvolumen von ca. 1.702.000 m<sup>3</sup> mit insgesamt ca. 2.083.000 t Salzgrus von der Halde Ronnenberg und Eigensalz aus der Auffahrung der Abbaubegleitstrecken verfüllt [18]. Da die mit geotechnischen Untersuchungen bestimmte Einbaudichte des Versatzes durchschnittlich 1,27 t/m<sup>3</sup> betrug, füllte der Salzversatz einen Hohlraum von ca. 1.641.000 m<sup>3</sup>. Die durchschnittliche Korndichte des Salzgruses wurde entsprechend DIN 18124 mit 2,17 t/m<sup>3</sup> bestimmt [19]. Dies ergab eine integrale Porosität im Versatz von durchschnittlich ca. 41 % und demnach ein Porenvolumen von ca. 668.000 m<sup>3</sup> [18], [7]. Zusätzlich wurde in Teile der Abbaubegleitstrecken von der 490-m- bis zur 700-m-Sohle in ca. 170.000 m<sup>3</sup> offenen Hohlraum ca. 57.000 t Salzgrus eingebracht, der ein Volumen von ca. 45.000 m<sup>3</sup> füllte.

Seit 2009 werden die noch verbliebenen Hohlräume im Firstbereich der Abbaue sukzessive mit Sorelbeton nachverfüllt (Firstspaltverfüllung). Aus den vorliegenden Erfahrungen bei der Firstspaltverfüllung – von 12/2009 bis 05/2023 wurden in etwa 89 % der Abbaue die Firstspalte mit ca. 82.000 m<sup>3</sup> (inkl. Zugänge der Abbaue) Sorelbeton verfüllt – ergibt sich, dass mit der Firstspaltverfüllung eine hinreichende und firstbündige Verfüllung der verbleibenden Resthohlräume in den Abbauen erreicht wird. Dennoch kann es aufgrund der Verformung durch den weiter anhaltenden Gebirgsdruck zur Bildung neuer Hohlräume in den Firstbereichen kommen (z. B. Abbau 4/490-4/511 oder Abbau 2/511-2/532).

Bei der Firstspaltverfüllung werden in etwa 4 % des Hohlraumvolumens der Abbaue Sorelbeton eingebracht. Demnach sind die Abbaue zu ca. 96 % mit Salzgrus verfüllt. Im Berichtszeitraum wurden die Firstspalte der Abbaue 2 auf der 574-m- und 595-m-Sohle sowie der Abbau 4 auf der 595-m-Sohle verfüllt. Für die abschließenden Verfüllungen der noch ausstehenden Firstspalte in den Abbauen im Westflügel (Abbaureihen 2 bis 4) stehen noch ca. 10.000 m<sup>3</sup> offener Hohlraum zur Verfügung. Dies beinhaltet nicht die Abbaue, die noch als Infrastrukturräume (vor allem auf der 490-m-Sohle und dem Abbau 2/511) genutzt werden sollen.

Im Jahr 2022 beträgt das Hohlraumvolumen des Baufeldes an der Südflanke ca. 2.932.000 m<sup>3</sup> wovon ca. 2.540.000 m<sup>3</sup> mit Salzgrus und ca. 214.000 m<sup>3</sup> mit Sorelbeton verfüllt sind. Das unverfüllte Hohlraumvolumen beträgt ca. 179.000 m<sup>3</sup>. Die Porosität im Salzversatz beträgt 2022 integral ca. 33 %. Im Zuge der Resthohlraumverfüllung der Nebenabbaue auf der 532-m-Sohle wurde die Porosität auf Grundlage von Salzkernen aus dem Versatz des Abbaues 8/532 neu bewertet [14]. Der Salzversatz hat eine Korndichte von 2,20 t/m<sup>3</sup> bei einem Porenvolumen von ca. 39,8 %. Damit entspricht nach etwa 15 Jahren die Porosität im Firstniveau weiterhin ungefähr der Einbauporosität Ende 2005. Es ist allerdings davon auszugehen, dass der Salzversatz im zentralen Bereich und im Sohlenniveau des Abbaues bereits deutlich konsolidierter ist und der Porenanteil dort niedriger liegt. Für das Jahr 2022 wird für die

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 16

532-m-Sohle eine integrale Porosität von ca. 34 % angesetzt. Insgesamt ergibt sich somit im Baufeld an der Südflanke ein gesamter Porenanteil von ca. 841.600 m<sup>3</sup>.

### 4.3 Baufeld im Sattelkern im Staßfurt-Steinsalz (Na2)

Die Volumenangaben für die Abbaue im Staßfurt-Steinsalz basieren unter Berücksichtigung der laufenden Verformungs- und Konvergenzprozesse auf den Angaben aus dem Risswerk. Das zur Salzgewinnung erstellte Volumen der von 1934 bis 1962 aufgefahrenen Abbaue im Staßfurt-Steinsalz betrug ca. 442.000 m<sup>3</sup> [6]. Für das Jahr 2022 ergibt sich ein Gesamtvolumen des Baufeldes von ca. 414.000 m<sup>3</sup>, wovon ca. 288.800 m<sup>3</sup> mit Salzversatz, ca. 84.850 m<sup>3</sup> mit Sorelbeton und ca. 258 m<sup>3</sup> mit Schotter verfüllt sind (vgl. Anhang 3 und Tabelle 4.1). Eine Abschätzung der bisherigen Volumenkonvergenz wurde auf Grundlage der vorliegenden Daten des Geomonitoring Asse vorgenommen. Für die vor 1962 mit Eigenversatz und Pudersalz verfüllten Abbaue der 775-m-Sohle wird eine Porosität von derzeit ca. 23 % angesetzt [20]. Weiterhin wurde am Kernmaterial die Porosität bestimmt und bei der Bilanzierung berücksichtigt. Die Abbaue auf der 750-m- und 725-m-Sohle wurden in den 1970er bis 1990er Jahren weitgehend mit Eigenversatz und radioaktiven Abfällen verfüllt. Für die mit Salz versetzten Abbaue auf der 750-m- und 725-m-Sohle wird analog zu den Abbauen im Baufeld an der Südflanke von einer Porosität von 26 % ausgegangen (s. Abschnitt 4.2). Für die ELK 2/750 (Na2) und 7/725 (Na2) wurde eine differenzierte Betrachtung der Volumina, Porositäten und Versatzmaterialien vorgenommen und entsprechend berücksichtigt [21]. Insgesamt ergibt sich ein Porenvolumen im Salzversatz von ca. 71.380 m<sup>3</sup>.

Im Jahre 2012 und 2013 wurden die Firstspalte in den 9 Abbauen auf der 775-m-Sohle mit insgesamt ca. 17.000 m<sup>3</sup> vollständig mit Sorelbeton nachverfüllt. Im Abbau 1/775 wurde durch Injektionsmaßnahmen in den Jahren 2013 bis 2015 und 2021 der Porenraum um ca. 200 m<sup>3</sup> reduziert [22]. Die derzeit noch nicht versetzten Strecken und Resthohlräume in den Abbauen auf der 725-m- bis zur 775-m-Sohle sollen im Zuge der Vorsorgemaßnahmen mit ca. 40.120 m<sup>3</sup> Sorelbeton verfüllt werden.

### 4.4 Baufeld an der Nordflanke im Carnallitit (K2C)

Das im Zuge der Gewinnungsarbeiten erstellte Volumen der Abbaue im Carnallititbaufeld wurde durch Planimetrieren der Zwischensohlen A bis E im Bereich von der 750-m- bis zur 725-m-Sohle aus dem Risswerk ermittelt [7]. Eine Abschätzung der Volumenkonvergenz ist für das Carnallititbaufeld anhand von visuellen Beobachtungen bzw. von Nivellements im Hauptquerschlag nach Norden möglich. Demnach hat sich von 1920 bis 2002 die 750-m-Sohle im Carnallititbaufeld um ca. 2 m bzw. durchschnittlich 24 mm/a gehoben [8]. Die Grundfläche der Abbaue betrug nach der Auffahrung im Jahr 1920 maximal ca. 33.100 m<sup>2</sup>. Unter der Berücksichtigung einer jährlichen Volumenkonvergenz von ca. 0,1 %/a seit Ende der Auffahrung bis zum Jahr 2022 hat sich das ursprüngliche Hohlraumvolumen der Abbaue von 1.027.000 m<sup>3</sup> um ca. 82.100 m<sup>3</sup> auf ca. 944.600 m<sup>3</sup> reduziert (vgl. Anhang 4). Bereits zur Gewinnungszeit wurde ein Großteil der Abbaue mit feuchten Rückständen aus der Salzaufbereitung versetzt.

Eventuell noch vorhandene Firstspalte und Resthohlräume werden gegenwärtig im Zuge der Umsetzung der Vorsorgemaßnahmen erkundet und mit Sorelbeton nachverfüllt. Bisher wurden die Firstspalte in 6 Abbauen (1 westl., 2 östl., 3 östl., 4 östl., 5 östl. und 12 östl.) mit einem Gesamtvolumen von ca. 2.625 m<sup>3</sup> im Firstbereich der 725-m-Sohle betoniert. Aufgrund der bisher vorliegenden Informationen wird in den restlichen Abbauen von einem Resthohlraumvolumen von ca. 3.567 m<sup>3</sup> im Firstbereich des

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	
Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)									Blatt: 17

Carnallitbaufeldes ausgegangen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass das Resthohlraumvolumen mit den Erkundungsergebnissen in Zukunft angepasst werden muss.

Die Porosität im Versatz wurde aufgrund von geotechnischen Untersuchungen und unter Berücksichtigung der Volumenkonvergenz mit durchschnittlich 16 bis 20 % auf den unteren Teilsohlen und im Bereich der oberen drei Teilsohlen von 25 bis 31 % angegeben [8], [12]. Im Zuge von Aufwältigungsarbeiten in den Firstbereichen der Abbaue Anfang der 2000er Jahre wurden noch unverfüllte Hohlräume von ca. 20.000 m<sup>3</sup> festgestellt. In diese wurde teilweise Salzversatz eingebracht. Hierfür wurde eine Porosität von 33 % angenommen. Im Jahr 2005 ergab sich auf Grundlage geotechnischer Messungen eine mittlere Dichte im Salzversatz von 1,71 t/m<sup>3</sup>. Aufgrund dieser Angaben und unter Berücksichtigung der laufenden Volumenkonvergenz ergibt sich für 2022 eine mittlere Porosität im Salzversatz von ca. 22 % und ein Porenraum von ca. 181.300 m<sup>3</sup> (vgl. Anhang 4). In den Jahren 2014 bis 2016 wurden Erkundungsbohrungen bis in den Sohlenbereich der Zugänge zu den Abbauen im Carnallitbaufeld erstellt, hierbei wurden anstehende Salzlösungen aufgefunden und zum Teil abgepumpt. Es ist jedoch weiterhin von einer weitgehenden Sättigung des Porenraumes im Versatz mit MgCl<sub>2</sub>-Lösung im Sohlbereich der 750-m-Sohle auszugehen. Die planimetrische Grundfläche der Abbaue auf der 750-m-Sohle beträgt ca. 32.000 m<sup>2</sup>. Unter Berücksichtigung der abgelaufenen Verformungsprozesse ergibt sich für das Jahr 2022 zwischen der 750-m- und der A-Sohle (742,5 bis 735 m Teufe) ein Hohlraumvolumen von ca. 226.000 m<sup>3</sup> und eine mittlere Porosität von ca. 15 %. Auf Basis dieser Bilanzierung stehen im unteren Bereich des Carnallit-Baufeldes auf der 750-m-Sohle ca. 32.700 m<sup>3</sup> Porenraum für Lösung zur Verfügung.

#### 4.5 Tiefenaufschluss (Bereich des Grubengebäudes unterhalb der 775-m-Sohle)

Um das Bergwerk für weitere Forschungszwecke nutzen zu können, wurden zwischen 1984 und 1996 unterhalb der 775-m-Sohle Versuchsfelder angelegt (Tiefenaufschluss). Die Forschungsarbeiten dort endeten 1995 und seit Anfang der 2000er Jahre werden die Hohlräume sukzessive verfüllt. Für den gesamten Tiefenaufschluss ergibt sich für das Jahr 2022, bei einer durchschnittlichen Konvergenzrate von 0,6 %/a, ein Hohlraumvolumen von ca. 254.900 m<sup>3</sup>. Der unverfüllte Resthohlraum im Tiefenaufschluss beträgt ca. 66.550 m<sup>3</sup>. Teile des Tiefenaufschlusses (insbesondere die 800-m-Sohle sowie unterhalb der 825-m-Sohle) sind bereits mit ca. 80.690 m<sup>3</sup> Salzgrus, ca. 95.570 m<sup>3</sup> Sorelbeton und ca. 12.100 m<sup>3</sup> Hartgesteinschotter versetzt (vgl. Anhang 2). Die Porosität in den mit Salzgrus versetzten Bereichen beträgt integral 23 %, was einem Porenraum von ca. 21.190 m<sup>3</sup> entspricht.

Im Berichtszeitraum wurden die neuen Kavernenstrecken auf der 825-m-Sohle fertiggestellt (s. Anhang 22 und Kapitel 6 auf Blatt 22). Diese verbleiben bis zum Notfall mit 9.700 m<sup>3</sup> unverfüllt.

Im Zeitraum von April 2004 bis Dezember 2007 wurden, im Anschluss an die Verfüllung der untersten Sohlen des Tiefenaufschlusses, MgCl<sub>2</sub>-dominierte Lösungen in den Porenraum des Salzversatzes eingebracht. Dabei wurden ca. 8.900 m<sup>3</sup> MgCl<sub>2</sub>-dominierte Lösung in die 975-m-Sohle sowie ca. 3.100 m<sup>3</sup> MgCl<sub>2</sub>-dominierte Lösung in die die Kaverne auf der 975-m-Sohle eingeleitet. Die eingeleitete MgCl<sub>2</sub>-dominierte Lösung hat den Porenraum in den mit Salz versetzten Bereichen auf der 975-m-Sohle, der mit Schotter verfüllten Kaverne und der angeschlossenen Wendelstrecke gefüllt. In der trockenen Verfüllungsphase war ein linearer Konvergenzverlauf mit einer konstanten Konvergenzrate von 0,6 %/a zu beobachten. Aufgrund der eingeleiteten MgCl<sub>2</sub>-dominierten Lösung kam es zu einer flächigen Durchfeuchtung des Bereiches und somit zu einer Zunahme der Volumenkonvergenzrate.

Seit Anfang 2004 wird der Pegelstand über fest installierte Porenwasserdruckgeber und Lichtlotmessungen in Bohrungen von der 800-m-Sohle in die Wetterstrecke zum Blindschacht 1 auf der 975-m-Sohle und in den Blindschacht 1 im Bereich von ca. 925 m Teufe gemessen. Im Anhang 5 ist der Verlauf

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 18

des Pegelstandes auf Grundlage der geotechnischen Messungen dargestellt. Die ermittelten Werte sind in sich konsistent und zeigen, dass sich der Pegelstand im Tiefenaufschluss über den gesamten Bereich auf dem gleichen Niveau befindet. Mit Stand Ende 2022 liegt der aktuelle Pegelstand bei ca. 889 m Teufe. Da der Pegelstand direkte Auswirkungen auf die Berechnung des Hohlraum- und Porenvolumens sowie die im Notfall einzubringende Gegenflutungslösungsmenge hat, werden im Folgenden die Beobachtung des Lösungspegels und seine Auswirkungen detailliert vorgestellt.

Auf Grundlage der Messergebnisse des Verlaufes des Pegelstandes ergeben sich die in Anhang 5 dargestellten Anstiegsphasen, die konsistent mit der Geometrie des Grubengebäudes auf den untersten Sohlen ist. Mit Beginn der Einleitungsphase kam es zu einer Verteilung der Lösung innerhalb des Porenraums auf der 975-m-Sohle, sodass Anfang 2007 der Porenraum über die gesamte Fläche auf der 975-m-Sohle mit Lösung gesättigt war. In Phase ① war ab Anfang 2007 eine Anstiegsgeschwindigkeit von ca. 7 m/a zu beobachten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Anstieg der Lösung in der Wendelstrecke zwischen der 975-m- und der 925-m-Sohle stattgefunden hat und hier relativ wenig Porenvolumen pro Meter Teufe zur Verfügung steht. Da es keine direkte Verbindung zwischen der 975-m- und der 950-m-Sohle gibt, erreichte der Lösungspegel im Jahr 2009 ein Niveau, ab welcher die Lösung in Phase ② von der 925-m-Sohle über die Verbindungsstrecke hinunter zur 950-m-Sohle abfloss. Dadurch ist ab diesem Zeitpunkt bis Mitte 2015 ein Rückgang der Anstiegsgeschwindigkeit auf ca. 0,6 m/a zu beobachten. Seit Mitte 2017 kam es dann erneut zu einer Zunahme der Anstiegsgeschwindigkeit der Lösung auf ca. 4,8 m/a und zur Phase ③. In dieser Phase steigt der Lösungspegel die Wendelstrecke von der 925-m- zur 900-m-Sohle hinauf. Auf Basis des derzeitigen Pegelstandes ist der fluidzugängliche Porenraum der Wendelstrecke zur 900-m-Sohle zu ca. 50 % mit Lösung gefüllt (s. Anhang 26). Damit sind rechnerisch mit Stand 2022 die insgesamt ca. 12.500 m<sup>3</sup> fluidzugänglicher Porenraum fast vollständig mit Lösung gefüllt.

Auf Basis der Beobachtung des Pegelstandes werden für den Tiefenaufschluss die Versatz- und Verformungsparameter kontinuierlich angepasst. Für das Jahr 2022 ergeben sich die in Tabelle 5.1 und Anhang 6 aufgelisteten Parameter. Ausgehend von der Hohlraumbilanz aus dem Jahre 2009 und unter Berücksichtigung der Versatz- und Verformungsparameter hat sich für die 925-m- bis 975-m-Sohle der Hohlraum von ca. 66.300 m<sup>3</sup> auf ca. 61.200 m<sup>3</sup> verkleinert (Stand: 31.12.2022) [8].

## 4.6 Wendelstrecke

Die Wendelstrecke stellt als einzige durchgehend befahrbare Verbindung von der 490-m- zur 850-m-Sohle eine für den Betrieb in der Offenthaltungsphase des Bergwerkes wesentliche Infrastrukturkomponente dar und wird oberhalb der 800-m-Sohle in diesem Bericht gesondert dargestellt. Ausgehend von der 750-m-Sohle wurde von März 1970 bis Dezember 1978 der Wendelstreckenabschnitt zur 800-m-Sohle aufgefahren. Im Zeitraum von September 1972 bis Januar 1975 erfolgte der Streckenvortrieb von der 750-m- zur 490-m-Sohle. Ab April 1974 wurde die Wendelstrecke im Gegenortbetrieb, d. h. von der 490-m-Sohle abwärts, aufgefahren. Der Durchschlag wurde im Januar 1975 nördlich des Abbaus 8 auf der 595-m-Sohle erreicht. Im Zeitraum von September 1983 bis Februar 1984 erfolgte die Auffahrung von der 800-m- zur 850-m-Sohle. Die Wendelstrecke unterhalb der 775-m-Sohle wird in diesem Bericht dem Tiefenaufschluss zugeordnet.

Das Gesamtvolumen der Wendelstrecke von der 490-m- bis zur 775-m-Sohle beträgt im Jahr 2022 ca. 80.250 m<sup>3</sup>. Aufgrund der teilweise hohen Schädigung wurden bereits einzelne Bereiche der Wendelstrecke auf der 637-m- und der 775-m-Sohle mit Sorelbeton verfüllt und durch Umfahrungen mit einem Volumen von ca. 7.000 m<sup>3</sup> neu an die bestehende Wendelstrecke angebunden. Weitere Bereiche der

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	
Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)									Blatt: 19

Wendelstrecke zeigen ebenfalls Schädigung auf und werden laufend saniert. Dazu werden die geschädigten Bereiche abgetragen und durch Stützbauwerke aus Sorelbeton verfüllt. Insgesamt wurden bislang ca. 16.600 m<sup>3</sup> Sorelbeton in die Wendelstrecke eingebracht.

Es ist geplant, einen neuen Wendelstreckenabschnitt von der 679-m- zur 700-m-Sohle mit ca. 9.170 m<sup>3</sup> aufzufahren. Davon werden ca. 3.850 m<sup>3</sup> zur Fluiddruckentlastung des Carnallitbaufeldes und der Abbaue im Sattelkern mit Quarzit-Kies verfüllt. Weitere Hohlräume werden im Notfall verfüllt und bleiben somit zunächst unverfüllt.

Im Jahr 2022 sind von der 490-m- bis zur 775-m-Sohle noch ca. 63.650 m<sup>3</sup> offener Hohlraum vorhanden. Nach Abschluss der Vorsorgemaßnahmen und unter Berücksichtigung der geplanten Auffahrungen werden in der Wendelstrecke noch insgesamt ca. 43.000 m<sup>3</sup> Hohlraum oberhalb der 700-m-Sohle unverfüllt bleiben.

#### 4.7 Seigere Grubenbaue

Als seigere Grubenbaue werden sowohl die Tages- und Blindschächte, Rolllöcher, Kipplöcher und weitere vertikale Verbindungen im Grubengebäude zusammengefasst. Das Gesamtvolumen dieser Grubenbaue für 2022 beträgt ca. 44.390 m<sup>3</sup>, wovon bereits ca. 690 m<sup>3</sup> mit Salzversatz und 17.750 m<sup>3</sup> mit Sorelbeton verfüllt wurden. Der offene Hohlraum beträgt ca. 25.950 m<sup>3</sup>.

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 20

## 5 Sohlenbezogene Bilanzierung der Hohlraum- und Versatzparameter

Die für das Jahr 2022 aktualisierten Volumenabschätzungen sind als grundrissliche Darstellungen von der 490-m-Sohle bis zur 975-m-Sohle in den Anhängen 7 bis 28 enthalten.

In Tabelle 5.1 sind sohlenbezogen die in Kapitel 4 dargelegten Hohlraumvolumina zusammen mit den Porositäten und den Porenraumvolumina zusammengestellt (vgl. auch Anhang 2, 3 und 4). Die angegebenen Sorelbetonvolumina beinhalten alle technisch erreichbaren und mit Sorelbeton oder vergleichbaren Baustoffen (z. B. Brucitmörtel) verfüllten Firstspalte und Resthohlräume. Dies beinhaltet die von 2005 bis zum 31.12.2022 bereits mit Sorelbeton verfüllten Volumina von ca. 431.400 m<sup>3</sup>. Darunter wurden im Zuge der Vorsorgemaßnahmen ca. 128.000 m<sup>3</sup> für den Bau von geotechnischen Bauwerken (Strömungsbarrieren, Widerlager und stützender Versatz) und ca. 303.400 m<sup>3</sup> als Resthohlraumverfüllung in die Grubenbaue eingebracht. Die im Jahr 2022 noch offenen Hohlräume von ca. 378.900 m<sup>3</sup> beinhalten die unverfüllten Resthohlräume, die noch im Rahmen der Vorsorge- und Notfallmaßnahmen zu verfüllen sind.

Zusätzlich wurden in einige Bohrungen ca. 241 m<sup>3</sup> Injektionsmörtel (Sorelbeton A1, IM-Asse-1, MFBBa bzw. IM-4) eingebracht. Insgesamt wird das Hohlraumvolumen von Bohrungen im Grubengebäude auf ca. 1.300 m<sup>3</sup> abgeschätzt. Da diese nur einen geringen Anteil am Gesamtvolumen des Grubengebäudes haben und teilweise nicht eindeutig einer Sohle zuzuordnen sind, werden diese Volumina nur teilweise in der Dokumentation der Verfüllvolumina berücksichtigt.

Basis für die Berechnung der in Tabelle 5.1 angegebenen Porositäten sind die mittleren sohlenspezifischen Konvergenzraten (seit Ende der Versatzeinbringung des jeweiligen Grubenbaus bis zum Jahr 2022) aus den messtechnisch erfassten Pfeilerstauchungen und Konvergenzen sowie untertägige Lage- und Höhenänderungen [11]. Die Eigenkompaktion des Salzversatzes ist bei einer Anfangsporosität von >33 % im Salzversatz indirekt über das eingebrachte Volumen im Zuge der Firstspaltverfüllung berücksichtigt. Für den Salzversatz mit einer Anfangsporosität von <33 % kann die Eigenkompaktion vernachlässigt werden und wird daher nicht berücksichtigt. Dabei ergibt sich für das Jahr 2022 eine integrale Porosität im Salzversatz von ca. 29 %.

Die nach Umsetzung der Vorsorgemaßnahmen noch unverfüllten Grubenbaue von ca. 131.700 m<sup>3</sup> sind im Wesentlichen die dann noch benötigten Infrastrukturräume, die Tagesschächte und die Wendelstrecke. Hierbei wurden die im Jahre 2013 aktualisierte Bewertung des Zustandes der untertägigen Infrastrukturräume und die aktuelle Einschätzung des zukünftigen Bedarfes berücksichtigt [23] (vgl. Anhang 2).

Aus der zunehmenden Schädigung der Tragelemente, insbesondere im Bereich der Infrastrukturräume, ergab sich die Notwendigkeit, weitere Verfüllmaßnahmen zur Stabilisierung vorzusehen. Aus den laufenden Monitoringprogrammen der Infrastrukturbereiche am oberen Baufeldrand, der Wendelstrecke, dem Bereich um die Baustoffanlage auf der 700-m-Sohle sowie auf der 750-m-Sohle sind entsprechende Empfehlungen abgeleitet worden [24]. Die sich hieraus ergebenden Verfüllmaßnahmen sind entsprechend dem derzeitigen Planungsstand in der Bilanzierung berücksichtigt.

Im Grubengebäude ist außerdem Salzhautwerk (Stein- und Mischsalz) zur Baustoffproduktion magaziniert, deren Volumina im Folgenden aufgeführt werden, aber nicht in den Berechnungen der Versatzparameter und Hohlraumvolumina berücksichtigt sind. Zum Berichtsstand 31.12.2022 lagern ca. 6.750 m<sup>3</sup> Salz vorwiegend auf der 800-m-Sohle in der nördlichen und südlichen Strecke des HAW-Versuchsfeldes sowie vor dem MAW-Feld. Weitere Salzlagerorte sind die Bunkerstrecken auf der 700-m-Sohle und die Wendelstrecke auf der 679-m-, 616-m- und 725-m-Sohle.

Projekt NAAN	PSP Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd. Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die SchachanlageASSE II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 21

Tabelle 5.1: Hohlraumbilanz mit Stand 12/2022 und Daten zu den bisher eingebrachten Versatzmaterialien mit Stand 30.05.2023 aufgelistet nach Sohlen.

Sohle	Gesamt- volumen [m <sup>3</sup> ]	versetzter Hohlraum			offener Hohlraum [m <sup>3</sup> ]	Porosi- tät [%]	Poren- raum [m <sup>3</sup> ]
		Sorel- beton [m <sup>3</sup> ]	Salz [m <sup>3</sup> ]	Schotter [m <sup>3</sup> ]			
490-m-Sohle	146.091	9.974	75.720	–	60.397	29,0	21.944
511-m-Sohle	253.388	15.267	215.115	–	23.006	37,2	80.077
532-m-Sohle	381.076	46.190	329.264	–	5.622	34,0	111.805
553-m-Sohle	237.524	6.099	216.912	–	14.513	36,8	79.787
574-m-Sohle	243.069	17.344	214.344	–	11.381	34,8	74.529
595-m-Sohle	272.244	18.512	248.188	–	5.544	31,9	79.070
616-m-Sohle	227.749	16.062	205.145	–	6.542	34,9	71.557
637-m-Sohle	230.538	19.431	202.119	–	8.988	32,9	66.456
658-m-Sohle	225.565	10.246	209.136	–	6.183	35,6	74.527
679-m-Sohle	227.877	10.039	212.095	–	5.743	36,4	77.228
700-m-Sohle	249.780	20.160	179.773	–	50.807	24,6	44.224
725-m-Sohle	196.732	10.999	164.903	–	20.830	26,0	42.875
750-m-Sohle	346.160	74.300	220.494	–	51.498	26,0	57.328
775-m-Sohle	187.342	40.851	135.774	258	10.459	23,2	31.585
800-m-Sohle	107.583	41.981	14.629	74	50.899	26,2	3.857
825-m-Sohle	25.611	8.561	497	–	16.553	21,5	107
850-m-Sohle	34.843	28.210	5.999	266	368	22,2	1.419
875-m-Sohle	12.257	11.369	258	630	–	24,6	271
900-m-Sohle	14.715	–	14.526	189	–	24,0	3.549
925-m-Sohle	13.488	4.480	8.192	816	–	20,8	1.973
950-m-Sohle	19.644	972	17.420	1.252	–	18,6	3.653
975-m-Sohle	28.035	–	19.164	8.871	–	17,9	6.358
Carnallititbaufeld	950.745	2.625	944.553	–	3.567	22,0	181.315
seigere Grubenbaue	44.388	17.747	690	–	25.951	30,2	208
<b>Gesamtvolumen</b>	<b>4.676.444</b>	<b>431.419</b>	<b>3.854.910</b>	<b>12.356</b>	<b>378.850</b>	<b>28,8</b>	<b>1.115.703</b>

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 22

## 6 Bilanzierung der Neuauffahrungen seit 1989

Um eine qualitätsgerechte Verfüllung zu gewährleisten sowie zur Instandhaltung der Infrastrukturbereiche in der Schachanlage Asse II, sind im entsprechenden Rahmen Hohlraumvergrößerungen bzw. Neuauffahrungen unumgänglich. Dabei handelt es sich vor allem um für den weiteren Offenhaltungsbetrieb notwendige Neuauffahrungen bzw. Erweiterungen von Strecken und Nachschnitte aufgrund von bergsmechanischen Gegebenheiten oder zur qualitätsgerechten Verfüllung einzelner Grubenbaue. Die Auffahrungen im Grubengebäude werden seit 1989 vermessen und dokumentiert. Von 1989 bis zum Berichtsstand 31.12.2022 wurde im Grubengebäude ein Hohlraumvolumen von ca. 431.000 m<sup>3</sup> neu aufgefahren.

Im Berichtszeitraum seit 2020 verteilen sich die neu erstellten Hohlraumvolumina wie folgt:

- Auffahrung der Kavernenstrecken auf der 825-m-Sohle mit weiteren ca. 5.900 m<sup>3</sup> auf insgesamt ca. 15.000 m<sup>3</sup>, wovon ca. 5.400 m<sup>3</sup> mit Sorelbeton verfüllt wurden
- Nachschnitarbeiten für die mittlerweile fertiggestellte Strömungsbarriere im Querschlag nach Norden auf der 725-m-Sohle (652 m<sup>3</sup>)
- Nachschnitarbeiten für die Erstellung der Strömungsbarriere im Querschlag zum Abbau 7/700 auf der 700-m-Sohle, in der Strecke zum Kipploch, an der ALF II auf der 490-m-Sohle sowie am westlichen Blindschacht auf der 750-m-Sohle (ca. 2.400 m<sup>3</sup>)
- Nachschnitt für die Wendelstreckensanierung von der 595-m- bis zur 750-m-Sohle (ca. 930 m<sup>3</sup>).
- Auffahrungen von ca. 560 m<sup>3</sup> für Bohrnischen

Einige Grubenbereiche (z. B. für die Errichtung von Strömungsbarrieren) müssen auch zukünftig vor der Verfüllung nachgeschnitten werden und somit kann sich das zur Verfüllung erforderliche Baustoffvolumen entsprechend vergrößern. Für die Errichtung von Strömungsbarrieren muss für eine anforderungsgerechte Ausführung die Auflockerungszone vor der Betonage entfernt werden. Aus der Erfahrung der bisherigen Erstellung der Strömungsbarrieren ergibt sich, dass je nach Standort konturnahe Gebirgsbereiche mit einer Mächtigkeit von 0,5 bis 1,5 m entfernt werden. Dabei wird das Hohlraumvolumen vor und nach dem Nachschnitt per Laserscan dokumentiert und die Veränderung des Hohlraumvolumens dem entsprechenden Grubenbau neu zugeordnet. Insgesamt hat sich das Hohlraumvolumen in den Grubenbauen für die Errichtung von Strömungsbarrieren seit der Vermessung aus dem Jahr 2005 bis zum Jahr 2022 im Mittel um ca. 25 % vergrößert. Das aufgefahrte Hohlraumvolumen für diese Bereiche hat allerdings nur einen geringen Anteil am Gesamthohlraumvolumen bzw. dem noch offenen Hohlraum und ist von den jeweiligen Standortbedingungen abhängig. Somit wird dieses Volumen nicht in den Hohlraumvolumina für das Jahr 2022 dargestellt.

Größere Auffahrungen hingegen, die sich zum Berichtsstand bereits in der Genehmigungs-/Ausführungsplanung oder in der Erstellung befinden, werden in diesem Bericht bereits berücksichtigt:

- Erstellung der neuen Wendelstrecke von der 679-m- zur 700-m-Sohle mit insgesamt ca. 11.600 m<sup>3</sup>
- Streckenerweiterung für die Verfüllung mit Sorelbeton A0 auf der 825-m-Sohle (ca. 1.400 m<sup>3</sup>)
- Aufwältigung der alten Wetterstrecken zum Schacht 2 auf der 700-m-Sohle (ca. 1.000 m<sup>3</sup>)
- Auffahrung eines Bohrortes auf der 595-m-Sohle (ca. 1.700 m<sup>3</sup>)
- Auffahrung zur Erkundung des Pfeilerbereiches zwischen ELK 11/750 und 12/750 und für den Bau von geotechnischen Bauwerken im Pfeilerbereich auf der 750-m-Sohle (ca. 300 m<sup>3</sup>)

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 23

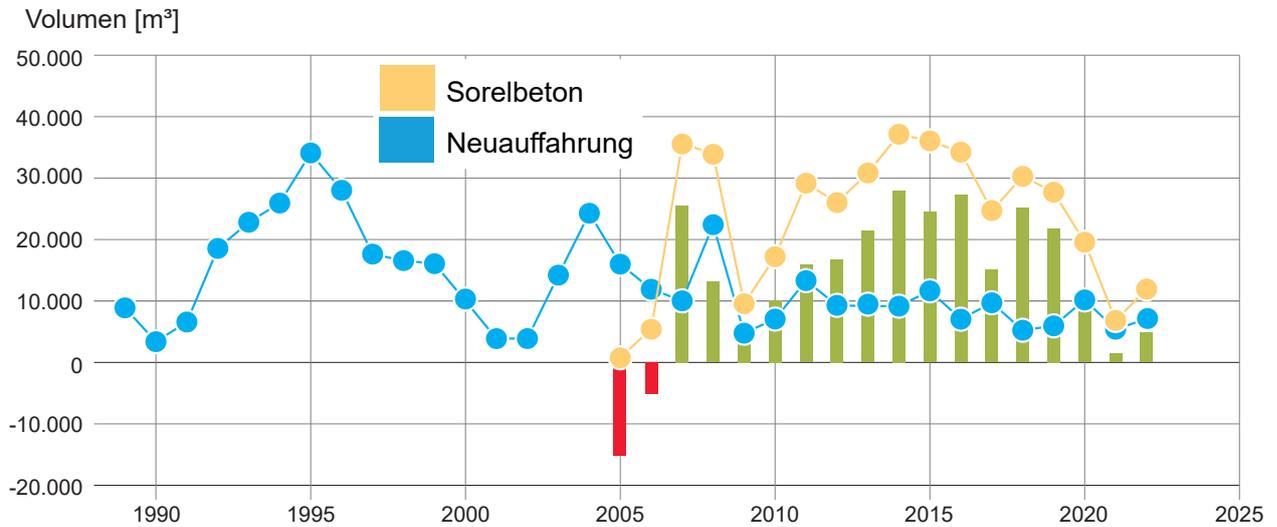


Abbildung 6.1: Vergleich der jährlichen Volumina der Neuauffahrungen seit 1989 und der seit 2005 eingebrachten Sorelbetonmenge

Von 2021 bis 2022 wurde Salzversatz, der z. B. bei Streckenaufwältigungen anfällt und nicht zur Sorelbetonproduktion geeignet ist, ausgefördert und zur Verwertung abgegeben. Dies ist in der Bilanz entsprechend berücksichtigt.

In Abbildung 6.1 sind die Neuauffahrungen seit 1989 und die eingebrachte Sorelbetonmenge seit 2005 gegenübergestellt. Insgesamt wurden seit Beginn 2005 ca. 431.400 m<sup>3</sup> Sorelbeton eingebracht und im gleichen Zeitraum ca. 176.000 m<sup>3</sup> neuer Hohlraum geschaffen.

Um der fortlaufenden gebirgsmechanischen Schädigung entgegenzuwirken und die Vorsorgemaßnahmen als Vorbereitung auf die Rückholung der radioaktiven Abfälle zügig abschließen zu können, werden Neuauffahrungen auf das geringste notwendige Volumen begrenzt.

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 24

## 7 Bilanzierung der einzubringenden Verfüllmaterialien für die Vorsorge- und Notfallmaßnahmen

Die in Kapitel 4 dargestellte Bilanzierung ergibt auf die Baufelder bezogen die in Tabelle 4.1 angegebenen Volumenangaben und Porositäten. Zur weiteren Planung der Vorsorge- und Notfallmaßnahmen werden im Folgenden die noch benötigten Verfüllvolumina für die Umsetzung aus den Hohlraumvolumina bilanziert und eine Prognose für die folgenden Jahre bis zum geplanten Abschluss beider Maßnahmen gegeben. Dabei stellen die in den Anhängen 7 bis 28 gezeigten grundrisslichen Darstellungen den aktuellen Fortschritt der Vorsorgemaßnahmen und Planungsstand zum Berichtsstand dar. Es ist davon auszugehen, dass bis zur vollständigen Umsetzung weitere Maßnahmen umzusetzen oder bei entsprechenden Erkundungsergebnissen einige Maßnahmen nicht umsetzbar sind (z. B. konvergierte Bereiche im Grubengebäude), die aufgrund des derzeitigen Planungsstands noch nicht vollständig berücksichtigt sind. Die zu verfüllenden Hohlraumvolumina sind dann entsprechend anzupassen.

### 7.1 Vorsorgemaßnahmen

Bei den im Rahmen der Notfallvorsorge durchzuführenden Maßnahmen sind noch ca. 255.000 m<sup>3</sup> Hohlraum mit Sorelbeton zu verfüllen (s. Tabelle 7.1). Dies beinhaltet alle noch als offen angesehenen Hohlraumvolumina, die bis zu einem vollständigen Rückzug ins Firstniveau der 700-m-Sohle und für die weiteren Verfüllungen oberhalb der 700-m-Sohle benötigt werden. Hierbei werden in diesem Bericht auch das nördliche und südliche HAW-Feld auf der 800-m-Sohle berücksichtigt, wobei sich diese Maßnahmen im Rahmen der Vorsorgemaßnahmen noch in genehmigungsrechtlicher Prüfung befinden. Insgesamt sind seit Beginn der Arbeiten der Notfallvorsorge ca. 63 % der Verfüllmaßnahmen abgeschlossen (s. Anhang 1). Es ist zu anmerken, dass zusätzliche Neuauffahrungen im Bereich des Tragsystems den erreichten Stabilisierungseffekt reduzieren und in der Regel im Rahmen der Vorsorgemaßnahmen als zusätzliches Betonvolumen zu berücksichtigen sind. Das zu verfüllende Hohlraumvolumen beinhaltet keine Hohlraumvergrößerungen durch Nachschnitte, die zur Firstsicherung oder zur qualitätsgerechten Verfüllung bzw. Abdichtung notwendig sind.

Da jedoch im Nahbereich der LAW-ELK auf der 750-m- bis 700-m-Sohle im größeren Umfang Streckenabschnitte abzudichten sind und bei den vorlaufend durchzuführenden Konturerweiterungen erhebliche Mengen an Salzgrus anfallen werden, ist dies bei der Baustofflogistik noch zu berücksichtigen. Hierbei ist weiterhin zu beachten, dass sich die zur Verfügung stehenden Lagerflächen sukzessive verkleinern und damit eine laufende Verarbeitung des anfallenden Salzes oder eine externe Abgabe gewährleistet werden muss. Das im Grubengebäude anfallende Mischsalz aus Halit, Carnallit und Polyhalit kann je nach Anforderungen an die zu verfüllenden Grubenbaue und entsprechenden Vorgaben zum Mischungsverhältnis ebenfalls zu Sorelbeton verarbeitet werden. Auch die im Grubengebäude insbesondere im Carnallitbaufeld gefasste, MgCl<sub>2</sub>-dominierte Lösung eignet sich aufgrund der chemischen Zusammensetzung zur Sorelbetonproduktion.

Für die Verfüllung unterhalb der 800-m-Sohle werden ca. 44.000 m<sup>3</sup> Sorelbeton für die Resthohlräume und ca. 15.000 m<sup>3</sup> zum Bau von geotechnischen Bauwerken benötigt. Hier werden die Verfüllmaßnahmen in den Schächten unterhalb der 775-m-Sohle mitberücksichtigt. Für die Verwertung von Sorelbeton A0 steht die Wendelstrecke auf der 825-m-Sohle zur Verfügung. Zusätzlich werden ca. 5.000 m<sup>3</sup> für die Verfüllung der seigeren Bauwerke im Tiefenaufschluss benötigt.

Für die Abdichtung und Stabilisierung der LAW-Einlagerungsbereiche, deren Nebenabbau und Strecken, sind noch ca. 55.000 m<sup>3</sup> Sorelbeton notwendig. Für die Erstellung der geotechnischen Bauwerke

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 25

auf der 700-m-Sohle werden noch ca. ca. 21.000 m<sup>3</sup> Sorelbeton benötigt. Dagegen ist die Abdichtung und Stabilisierung des MAW-Bereiches auf der 532-m-Sohle nahezu abgeschlossen. Für die Verfüllung der seigeren Bauwerke werden in diesem Bereich weitere 2.000 m<sup>3</sup> Sorelbeton benötigt. Insgesamt sind ca. 56 % der Verfüllmengen für die geotechnischen Bauwerke eingebracht. Für die Resthohlraumverfüllung bis ins Firstniveau der 700-m-Sohle werden noch ca. 36.000 m<sup>3</sup> benötigt.

Die Verfüllung der Firstspalte ist zu ca. 89 % abgeschlossen und in den Abbauen und Abbauzugängen im Baufeld an der Südflanke oberhalb der 700-m-Sohle stehen nur noch ca. 10.000 m<sup>3</sup> Hohlraum zur Verfügung. Dies beinhaltet vorwiegend die Abbaureihen 2 und 4 unterhalb der 595-m-Sohle, die Abbaue in der Abbaureihe 3 sowie die Abbaubegleitstrecken. Da viele Abbaue nicht mehr zugänglich sind, beruht das angegebene Volumen für die Firstspaltverfüllung auf Schätzungen der Firstspalte vorwiegend nach der Verfüllung der Abbaue mit Salzversatz. Aus der Erfahrung der Firstspaltverfüllung bis zum Berichtsstand ergibt sich statistisch, dass das tatsächlich eingebrachte Sorelbetonvolumen um ca. 2 % unter dem geschätzten Volumen liegt. Dies ist bei der weiteren Planung zu berücksichtigen. Für weitere Resthohlräume (z. B. Abbaubegleitstrecken) oberhalb der 700-m-Sohle werden zusätzlich noch ca. 67.000 m<sup>3</sup> Sorelbeton benötigt.

Zusätzlich wird für die Druckentlastung des Carnallit-Baufeldes hin zum Baufeld an der Südflanke auf der 700-m-Sohle die Einbringung von ca. 5.000 m<sup>3</sup> Quarzitkies in ausgewählte Strecken oder Bohrungen notwendig sein.

Tabelle 7.1: Summe der im Rahmen der Notfallvorsorge benötigten Verfüllmaterialien auf 1.000 m<sup>3</sup> gerundet (Stand: 12/2022)

Massnahme	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Material
<b>Verfüllung des Tiefenaufschlusses</b>		
Resthohlraumverfüllung unterhalb der 775-m-Sohle	44.000	Sorelbeton A1/A0
Erstellung von geotechnischen Bauwerken unterhalb der 775-m-Sohle	15.000	Sorelbeton A1
<b>Verfüllung der Blindschächte</b>		
	5.000	Sorelbeton A1
<b>Verfüllungen bis zum Firstniveau der 700-m-Sohle</b>		
Resthohlraumverfüllung bis zur 700-m-Sohle	36.000	Sorelbeton A1
geotechnische Bauwerke im Nahbereich der LAW Kammern	55.000	Sorelbeton A1
geotechnische Bauwerke auf der 700-m-Sohle	21.000	Sorelbeton A1
Verfüllung der Blindschächte	2.000	Sorelbeton A1
<b>Verfüllungen oberhalb der 700-m-Sohle</b>		
Firstspaltverfüllung in den Abbauen in der Südflanke	10.000	Sorelbeton A1
Resthohlraumverfüllung oberhalb der 700-m-Sohle	67.000	Sorelbeton A1
geotechnische Bauwerke im MAW-Bereich	–	
Verfüllung der Blindschächte	182	Sorelbeton A1
Erstellung von geotechnischen Bauwerken	56	Sorelbeton A1
<b>Verfüllung Tagesschächte bis zur 800-m-Sohle</b>		
	–	Sorelbeton A1
<b>Verfüllung Tagesschächte von der 800-m- bis zur 700-m-Sohle</b>		
	114	Sorelbeton A1
<b>Erstellung von Entlastungspfaden</b>		
	5.000	Quarzit-Kies
Summe der noch vorsorglich einzubringenden Mengen		
	255.000	Sorelbeton A1/A0
	5.000	Quarzit-Kies

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 26

Nach Abschluss der Vorsorgemaßnahmen werden im Grubengebäude noch ca. 131.700 m<sup>3</sup> unverfüllte Grubenbaue verbleiben, die im Zuge der Notfallmaßnahmen verfüllt werden müssen. Diese sind in den grundrisslichen Darstellungen als geplante Offenhaltung beschrieben. Dabei handelt es sich um die Grubenbaue, die nach dem Abschluss der Vorsorgemaßnahmen für einen weiteren Betrieb mindestens noch unverfüllt bleiben werden (z. B. Lösungsmanagement). Zusätzlich ist die qualitätsgerechte Verfüllung der Bohrungen im Grubengebäude erforderlich. Nach derzeitigem Stand wird dieses Volumen mit ca. 1.300 m<sup>3</sup> abgeschätzt.

## 7.2 Notfallmaßnahmen

Im Falle eines Notfalls aufgrund eines AÜLs werden die Notfallmaßnahmen eingeleitet. Dabei werden prioritär die Resthohlräume in den ELK und die Tagesschächte bis in den Bereich der Schachtverschlüsse mit Sorelbeton bzw. Brucitmörtel verfüllt werden (s. Tabelle 7.2). Zusätzlich ist geplant, die noch offenen Infrastrukturbereiche von der 700-m- bis zur 490-m-Sohle zu verfüllen. Da die Wendelstrecke von der 700-m- bis zur 490-m-Sohle zum Teil im Carnallitit steht und weil sie unverfüllt einen schnellen und wenig verdünnten Transport von Schadstoffen aus den ELK nach oben begünstigen würde, ist geplant, auch diesen Bereich im Notfall mit Sorelbeton zu verfüllen.

Für alle Notfallmaßnahmen müssen zum Berichtsstand ca. 132.000 m<sup>3</sup> Hohlraum verfüllt werden. Da im Notfall nicht gesichert ist, dass diese Maßnahmen technisch noch anforderungsgerecht umzusetzen sind, sollte – wenn betrieblich möglich – eine vorgezogene Verfüllung in Betracht gezogen werden. Die benötigten Baustoffmengen wären dann entsprechend im Rahmen der Vorsorgemaßnahmen zu berücksichtigen.

Weiterhin sind im Anschluss bzw. zum Teil zeitgleich mit dem Fortschritt der Verfüllmaßnahmen im Notfall die Porenräume im Salzversatz und die noch offenen Hohlräume mit Gegenflutungslösung aufzufüllen (s. Anhang 6). Aufgrund der anstehenden Carnallititgesteine ist hierfür eine MgCl<sub>2</sub>-dominierte Lösung erforderlich, die ein hinreichend geringes Umlösepotential gegenüber dem anstehenden Carnallitit und den geotechnischen Bauwerken aufweist. Aufgrund der Charakteristika des Grubengebäudes (u.a. Lage der Einlagerungskammern, Durchbauungsgrad), der technischen Möglichkeiten sowie der Abhängigkeiten zu anderen Notfallmaßnahmen ist geplant, die Gegenflutung in mehrere Phasen zu unterteilen. Das Volumen eines technisch bedingten Luftpolsters unterhalb der Schachtverschlüsse und das Volumen der MgCl<sub>2</sub>-Lösung im Tiefenaufschluss werden hierbei berücksichtigt (s. Tabelle 7.2 und Anhang 6).

In der ersten Phase werden die untersten Bereiche des Grubengebäudes bis in ein Niveau von ca. 775 m Teufe geflutet. Hier stehen derzeit ca. 33.000 m<sup>3</sup> Hohl- und Porenraum zur Verfügung. Für die erste Phase sind die technischen Voraussetzungen bereits geschaffen und der Bereich bis zur 900-m-Sohle ist bereits mit ca. 12.000 m<sup>3</sup> Lösung gefüllt (s. Abschnitt 4.5).

In der zweiten Phase werden die Grubenbaue im Baufeld an der Südflanke, im Sattelkern und im Carnallititbau Feld in einer Teufe von ca. 775 m bis ca. 690 m geflutet. Für diese Phase stehen ca. 317.000 m<sup>3</sup> Hohl- und Porenraum zur Verfügung, die entsprechend mit Gegenflutungslösung geflutet werden müssen. Eine Berücksichtigung des Volumens der auf der untersten Sohle des Carnallititbau Feldes angetroffenen Lösung findet dabei nicht statt (s. Abschnitt 4.4).

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 27

Tabelle 7.2: Summe der im Notfall benötigten Verfüllmaterialien auf 1.000 m<sup>3</sup> gerundet (Stand: 12/2022)

Massnahme	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Material
Verfüllung der Kavernenstrecken auf der 825-m-Sohle	10.000	Sorelbeton
Verfüllung der Resthohlräume in den LAW-Kammern	12.000	Sorelbeton
Verfüllung der Resthohlräume in der MAW-Kammer	5.000	Sorelbeton
Verfüllung der verbleibenden Infrastrukturräumen	37.000	Sorelbeton
Verfüllung der Wendelstrecke von der 700-m- zur 511-m-Sohle	49.000	Sorelbeton
Verschluss der Tagesschächte Schacht 2 und 4	19.000	Sorelbeton
<b>Einbringung der Gegenflutungslösung</b>		
a) Gegenflutung bis ca. 775 m Teufe	33.000	MgCl <sub>2</sub> -dominierte Lösung
b) Gegenflutung bis ca. 690 m Teufe	317.000	MgCl <sub>2</sub> -dominierte Lösung
c) Gegenflutung bis Grubenhöchste	802.000	MgCl <sub>2</sub> -dominierte Lösung
<b>Summe der im Notfall einzubringenden Mengen</b>		
	132.000	Sorelbeton
	1.151.000	MgCl <sub>2</sub> -dominierte Lösung

In der dritten Phase wird die Flutung des Baufeldes an der Südflanke bis ins Grubenhöchste durchgeführt. Dafür werden insgesamt ca. 802.000 m<sup>3</sup> Gegenflutungslösung benötigt. Derzeitig kann es noch zu unterschiedlichen Ausführungsplanungen im Grubenhöchsten geben, über die noch abhängig von der technischen Realisierbarkeit und einer möglichen Optimierung zu entscheiden ist. Die benötigte Menge an Gegenflutungslösung ist davon nur geringfügig betroffen. Bei einer zunehmenden Durchfeuchtung des Grubengebäudes durch die Gegenflutung ist mit einer starken Zunahme der Konvergenzrate zu rechnen [25], sodass es zu einem erheblichen, konvergenzbedingten Lösungsanstieg analog zum Tiefenaufschluss kommen wird. Weiterführend ist zur Stabilisierung des Grubengebäudes während der Gegenflutung in der dritten Phase ein pneumatischer Stützdruck (mittels Druckluft) notwendig, weil im oberen Teil des Baufeldes in der Südflanke der Flüssigkeitsinnendruck erst spät wirksam sein wird und hier eine zusätzliche Stützung nur pneumatisch erzielt werden kann.

Insgesamt werden mit Abschluss der Vorsorgemaßnahmen ca. 1.151.000 m<sup>3</sup> Lösung für die Gegenflutung im Grubengebäude benötigt. Die hier dargestellte Menge an Gegenflutungslösung bezieht sich auf eine vollständige Umsetzung aller Vorsorgemaßnahmen. Die während der Vorsorgemaßnahmen eingebrachten Verfüllmaterialien und sowie die konvergenzbedingte Porenraumabnahme sind ebenfalls berücksichtigt. Nicht berücksichtigt ist die Zunahme der Konvergenz im Zuge der großflächigen Durchfeuchtung durch die Einbringung der Gegenflutungslösung.

Die Entwicklung des Lösungszutrittes im Falle eines Notfalls bleibt dennoch weiterhin nicht prognostizierbar. Die Erfahrung aus anderen Bergwerken zeigt, dass es zu einer Eskalation in Bezug des Lösungszutrittes kommen kann. Unter solchen Umständen kann es sein, dass nicht alle Vorsorgemaßnahmen abgeschlossen werden können. In diesem Fall würde zu dem Porenraum auch der nicht verfüllte Hohlraum mit Gegenflutungslösung zu füllen sein.

In Anhang 1 ist zusätzlich die benötigte Menge an Gegenflutungslösung zum Berichtsstand darstellt. Mit derzeitigem Stand müssen im Notfall alle noch zur Verfügung stehenden Hohlräume und der Porenraum mit Gegenflutungslösung geflutet werden. Zu diesem Zeitpunkt werden ca. 1,4 Mio. m<sup>3</sup> Gegenflutungslösung benötigt.

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 28

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt für Strahlenschutz  
Einschätzung der möglichen Entwicklung des Lösungszutritts während der Betriebsphase der Schachanlage Asse II  
Stand: 12.06.2009  
BfS-KZL: 9A/64222000/HGH/RB/0001/00
- [2] Asse-GmbH  
Notfallplanung zur Minimierung der Konsequenzen eines auslegungsüberschreitenden Lösungszutritts  
Stand: 23.02.2010  
BfS-KZL: 9A/34000000/EBM/RB/0003/00  
Asse-GmbH-KZL: 9A/23700000/BAU/GH/BZ/0003/00
- [3] Asse-GmbH  
Notfallplanung – Entscheidungskriterien zur qualitätsgerechten Umsetzung der Maßnahmen  
Stand: 16.08.2010  
BfS-KZL: 9A/34000000/EBM/RE/0002/00  
Asse-GmbH-KZL: 9A/23700000/BAU/GH/BZ/0005/00
- [4] Burbach-Kaliwerke AG: Neuwirth  
Hohlraumberechnung der Markscheiderei  
Stand: 29.10.1962
- [5] Institut für Tieflagerung  
Zur Standsicherheit des Salzbergwerkes Asse II als Endlager für radioaktive Abfälle (GSF-Bericht T 51)  
Stand: 01.01.1974
- [6] Institut für Tieflagerung  
Die Erfassung der Grubenhohlräume auf der Schachanlage Asse II, Hohlraumbilanz von 1982 (Abteilungsbericht 17/85)  
Stand: 1982
- [7] GSF  
Ermittlung des Volumens der Resthohlräume für das Einbringen eines Schutzfluides (Rev. 03)  
Stand: 24.03.2006  
GSF-KZL: 9/77733/LZS/EA/BW/0004/03
- [8] Asse-GmbH  
Bilanzierung des Volumens der Resthohlräume in der Schachanlage Asse II für das Einbringen von Sorelbeton und des im Salzversatz verbleibenden Porenraums  
Stand: 10.12.2009  
Asse-GmbH-KZL: 9A/64140000/MAR/GB/BW/0001/00
- [9] Bundesamt für Strahlenschutz  
Notfallplanung für das Endlager Asse  
Stand: 28.02.2010  
BfS-KZL: 9A/34000000/EBM/RB/0002/01  
Asse-GmbH-KZL: 9A/34000000/SON/NC/LA/0001/00

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 29

- [10] Asse-GmbH  
 Notfallplanung - Zustand der Infrastrukturräume unter Tage und zukünftiger Bedarf  
 Stand: 12.12.2011  
 BfS-KZL: 9A/34000000/EBM/RB/0006/00  
 Asse-GmbH-KZL: 9A/44000000/IAA/GJ/BY/0001/00
- [11] Asse-GmbH  
 Zusammenstellung potenzieller Gefährdungen im Grubengebäude der Schachanlage Asse aus bergbausicherheitlicher und radiologischer Sicht  
 Stand: 30.03.2012  
 BfS-KZL: 9A/66000000/NB/RE/0002/00  
 Asse-GmbH-KZL: 9A/24113000/SB/GH/BZ/0001/00
- [12] IBeWa - Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser- und Deponietechnik  
 Permeabilitäts- und Porositätsuntersuchungen an Versatzmaterialien  
 Stand: 01.05.2005  
 GSF-KZL: 9/77733/LZS/EG/BZ/0315/00
- [13] GRS. Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz. 2009. URL: <https://www.grs.de/sites/default/files/publications/GRS-254.pdf> (abgerufen am 25. 09. 2023).
- [14] BGE mbH  
 Geologischer Standortbericht - Geologische Situation am Baugrund der Strömungsbarrieren SB-532-1, SB-532-2, SB-532-3 und SB-532-4 vor dem Nachschnitt  
 Stand: 18.09.2019  
 BGE-Asse-KZL: 9A/64221000/BSB/-/-/HA/BN/0024/00
- [15] BGE mbH  
 Untersuchungen des langzeitigen Versatzdruckverhaltens von Ronnenbergversatz  
 Stand: 14.02.2022  
 BGE-SZ-KZL: 9A/2351000/-/-/-/GC/TA/0001/00
- [16] GRS. Ableitung von Permeabilitäts- Porositätsrelationen für Salzgrus. 1999. URL: <https://www.grs.de/sites/default/files/publications/GRS-148.pdf> (abgerufen am 25. 09. 2023).
- [17] GSF  
 Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der gebirgsmechanischen Vorgänge im Grubengebäude der Schachanlage Asse  
 Stand: 1991  
 GSF-KZL: 9/77733/LZS/EG/BZ/0308/00
- [18] GSF  
 Verfüllung der Abbaue an der Südflanke  
 Stand: 26.07.2007  
 GSF-KZL: 13/77742/SFV/CC/BW/0001/00
- [19] DIN 18124:2011-04 Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korndichte - Kapillarypknometer, Weithalsypknometer, Gasypknometer. Deutsches Institut für Normung e. V., 1. Apr. 2011.
- [20] Institut für Gebirgsmechanik GmbH  
 Bestimmung der Porosität und Permeabilität von injiziertem Versatzmaterial aus dem Abbau 1/775 der Schachanlage Asse  
 Stand: 26.06.2017  
 Asse-GmbH-KZL: 9A/44214000/SFE/GH/BN/0001/00

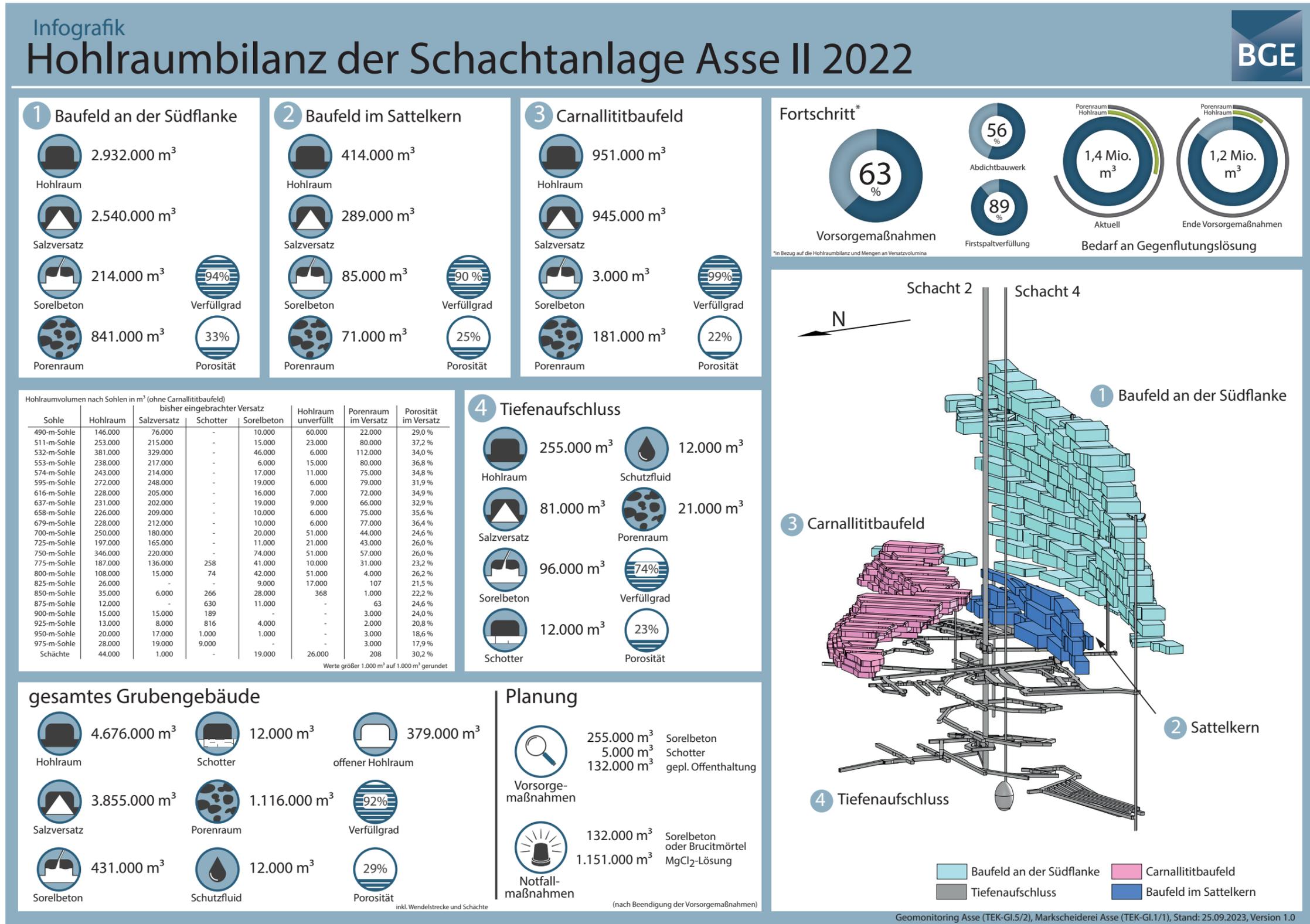
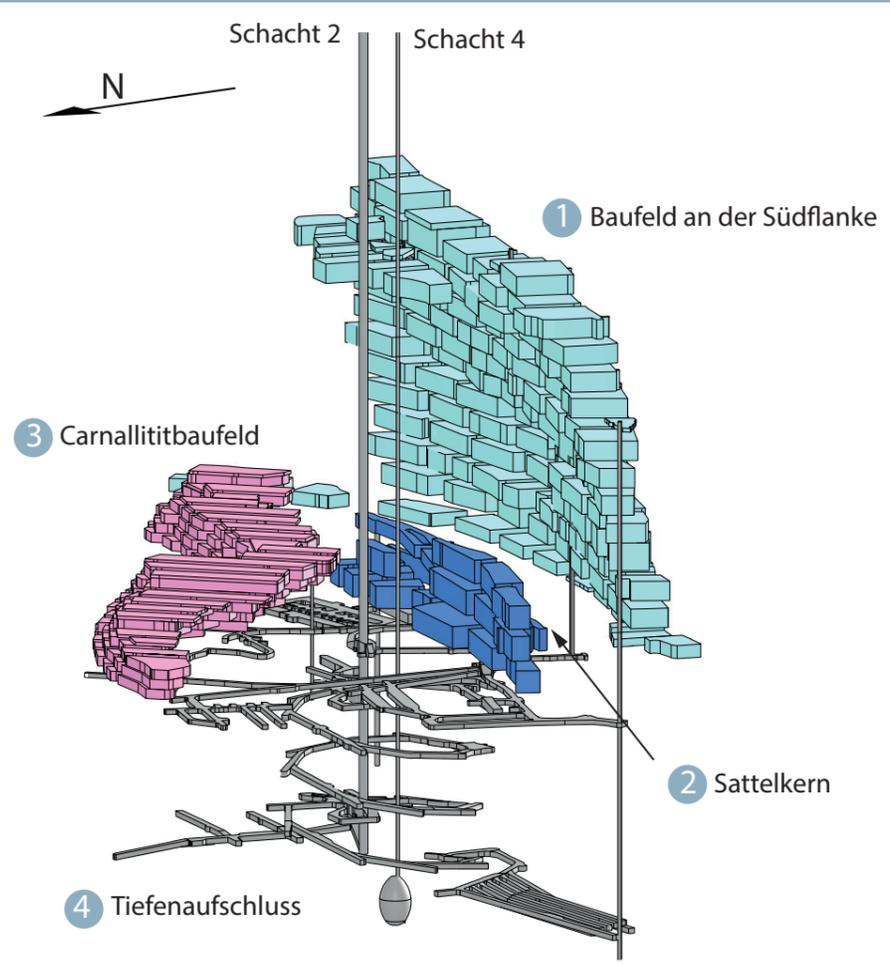
Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 30

- [21] Asse-GmbH  
 Beschreibung der Lagerbereiche der Abfälle  
 Stand: 27.03.2009  
 BfS-KZL: 9A/13500000/BE/RA/0001/00  
 Asse-GmbH-KZL: 14/77756/RHV/RB/BW/0001/03
- [22] DBE Technology GmbH  
 Injektionen im Salzversatz - Befunde der Untersuchungen im Abbau 1/775  
 Stand: 08.02.2017  
 Asse-GmbH-KZL: 9A/44214000/SFE/GH/BT/0001/00
- [23] Asse-GmbH  
 Notfallplanung - Zustand der Infrastrukturräume unter Tage und zukünftiger Bedarf  
 Stand: 14.06.2013  
 BfS-KZL: 9A/34000000/EBM/RB/0006/01  
 Asse-GmbH-KZL: 9A/44000000/IAA/GJ/BY/0001/01
- [24] BGE mbH  
 Geotechnisches, geophysikalisches, geochemisches Monitoring und Baustoffuntersuchungen –  
 Jahresbericht 2022 Geomonitoring Asse  
 Stand: 31.03.2023  
 BGE-SZ-KZL: 9A/64300000/-/-/-/GC/PF/0019/00  
 BGE-Asse-KZL: 9A/64300000/GMÜ/-/-/-/GC/BT/0030/00
- [25] Institut für Gebirgsmechanik GmbH  
 Untersuchung der Versatzsackung bzw. des Tragwiderstandsverlustes bei Einleitung einer MgCl<sup>2</sup>-  
 Lösung gemäß Notfallkonzept  
 Stand: 03.06.2013  
 BfS-KZL: 9A/64330000/GCA/RA/0001/00

### Anhang 1: Infografik zur Hohlraumbilanz 2022

Schacht 2    Schacht 4

N

1 Baufeld an der Südflanke

3 Carnallitbaufeld

2 Sattelkern

4 Tiefenaufschluss

 Baufeld an der Südflanke

 Carnallitbaufeld

 Tiefenaufschluss

 Baufeld im Sattelkern

Geomonitoring Asse (TEK-GI.5/2), Markscheiderei Asse (TEK-GI.1/1), Stand: 25.09.2023, Version 1.0

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 32

## Anhang 2: Hohlraumbilanz der Schachanlage Asse für das Jahr 2022 (Verfüllstatus bis 30.05.2023 berücksichtigt)

Sohle	Bereich/ Abkürzung	Gesamt- volumen [m <sup>3</sup> ]	versetzter Hohlraum			offener Hohlraum [m <sup>3</sup> ]	geplanter Versatz <sup>(1)</sup>			gepl. Offent- haltung <sup>(3)</sup> [m <sup>3</sup> ]	Neu- aufführung [m <sup>3</sup> ]
			Sorelbeton <sup>(2)</sup> [m <sup>3</sup> ]	Salz [m <sup>3</sup> ]	Schotter [m <sup>3</sup> ]		Sorelbeton [m <sup>3</sup> ]	Salz [m <sup>3</sup> ]	Schotter [m <sup>3</sup> ]		
490-m-Sohle	Sohle	143.558	9.974	75.720	-	57.864	30.403	-	-	27.460	-
490-m-Sohle	Wendel	2.533	-	-	-	2.533	-	-	-	2.533	-
511-m-Sohle	Sohle	249.942	15.267	215.115	-	19.560	14.441	-	-	5.119	-
511-m-Sohle	Wendel	3.446	-	-	-	3.446	-	-	-	3.446	-
532-m-Sohle	Sohle	376.027	46.190	329.264	-	573	573	-	-	-	-
532-m-Sohle	Wendel	5.049	-	-	-	5.049	-	-	-	5.049	-
553-m-Sohle	Sohle	236.143	6.099	216.912	-	13.132	12.275	-	-	857	-
553-m-Sohle	Wendel	1.381	-	-	-	1.381	-	-	-	1.381	-
574-m-Sohle	Sohle	236.831	17.344	214.344	-	7.863	7.863	-	-	-	-
574-m-Sohle	Wendel	6.238	-	-	-	3.518	184	-	-	3.334	-
595-m-Sohle	Sohle	267.058	18.456	248.188	-	414	2.114	-	-	-	1.700
595-m-Sohle	Wendel	5.186	56	-	-	5.130	89	-	-	5.041	-
616-m-Sohle	Sohle	221.883	15.147	205.145	-	1.591	1.591	-	-	-	-
616-m-Sohle	Wendel	5.866	915	-	-	4.951	144	-	-	4.807	-
637-m-Sohle	Sohle	220.487	14.350	202.119	-	4.018	4.018	-	-	-	-
637-m-Sohle	Wendel	10.051	5.081	-	-	4.970	1.007	-	-	3.963	-
658-m-Sohle	Sohle	222.190	10.246	209.136	-	2.808	2.085	-	-	723	-
658-m-Sohle	Wendel	3.375	-	-	-	3.375	-	-	-	3.375	-
679-m-Sohle	Sohle	222.848	10.039	212.095	-	714	431	283	-	-	-
679-m-Sohle	Wendel	5.029	-	-	-	5.029	-	-	-	7.229	2.200
700-m-Sohle	Sohle	244.830	19.985	179.773	-	46.032	35.678	-	5.650	7.891	2.400
700-m-Sohle	Wendel	4.950	175	-	-	4.775	2.395	-	-	8.563	6.970
725-m-Sohle	Sohle	190.972	10.442	164.903	-	15.627	13.755	81	-	1.791	-
725-m-Sohle	Wendel	5.760	557	-	-	5.203	5.203	-	-	-	-
750-m-Sohle	Sohle	342.017	74.300	220.494	-	47.355	36.520	376	-	10.620	161
750-m-Sohle	Wendel	4.143	-	-	-	4.143	4.143	-	-	-	-
775-m-Sohle	Sohle	175.992	37.473	135.774	258	2.487	2.487	-	-	-	-
775-m-Sohle	Wendel	11.350	3.378	-	-	7.972	7.972	-	-	-	-
800-m-Sohle	Sohle	104.610	41.787	14.629	74	48.120	48.120	-	-	-	-
800-m-Sohle	Wendel	2.973	194	-	-	2.779	2.779	-	-	-	-
825-m-Sohle	Sohle	18.239	8.010	497	-	9.732	-	-	-	9.732	-
825-m-Sohle	Wendel	7.372	551	-	-	6.821	8.181	-	-	-	1.360
850-m-Sohle	Sohle	27.605	21.058	5.913	266	368	368	-	-	-	-
850-m-Sohle	Wendel	7.238	7.152	86	-	-	-	-	-	-	-
875-m-Sohle	Sohle	2.976	2.976	-	-	-	-	-	-	-	-
875-m-Sohle	Wendel	9.281	8.393	258	630	-	-	-	-	-	-
900-m-Sohle	Sohle	9.778	-	9.589	189	-	-	-	-	-	-
900-m-Sohle	Wendel	4.937	-	4.937	-	-	-	-	-	-	-
925-m-Sohle	Sohle	6.758	4.410	2.348	-	-	-	-	-	-	-
925-m-Sohle	Wendel	6.730	70	5.844	816	-	-	-	-	-	-
950-m-Sohle	Sohle	11.356	972	9.687	697	-	-	-	-	-	-
950-m-Sohle	Wendel	8.288	-	7.733	555	-	-	-	-	-	-
975-m-Sohle	Sohle	24.781	-	16.422	8.359	-	-	-	-	-	-
975-m-Sohle	Wendel	3.254	-	2.742	512	-	-	-	-	-	-

<b>Carnallitbaufeld</b>	Carn	950.745	2.625	944.553	-	3.567	3.567	-	-	-	-
<b>seigere Grubenbaue</b>	SG	44.388	17.747	690	-	25.951	6.902	241	-	18.808	-
<b>Summe Sohle</b>	Sohle	3.556.881	384.525	2.888.067	9.843	278.257	212.722	740	5.650	64.193	4.261
<b>Summe Wendel</b>	Wendel	124.430	26.522	21.600	2.513	71.075	32.097	-	-	48.721	10.530
<b>Gesamtvolumen</b>	Gesamt	4.676.444	431.419	3.854.910	12.356	378.850	255.288	981	5.650	131.722	14.791

(1) inkl. der zu versetzenden Hohlraumvolumina nach geplanter Neuaufführung.

(2) Beim Status der Sorelbetoneinbringung sind die bis zum 30.05.2023 versetzten Grubenbaue berücksichtigt.

(3) Inkl. der noch ausstehenden Volumina aus den bereits geplanten Aufführungen. Hohlraum wird im Notfall verfüllt.

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	
Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)									Blatt: 33

### Anhang 3: Sohlenbezogene Übersicht zur Volumen- und Porenraumabschätzung für das Baufeld im Sattelkern im Jahr 2022

Sohle	Gesamt- volumen [m <sup>3</sup> ]	versetzter Hohlraum			offener Hohlraum [m <sup>3</sup> ]	Poro- sität [%]	Poren- raum [m <sup>3</sup> ]
		Sorel- beton [m <sup>3</sup> ]	Salz [m <sup>3</sup> ]	Schotter [m <sup>3</sup> ]			
725-m-Sohle	51.674	3.110	42.564	0	6.000	26,0	11.067
750-m-Sohle	186.285	44.269	110.511	0	31.637	26,0	28.733
775-m-Sohle	175.992	37.473	135.774	258	2.487	23,2	31.585
<b>Summe</b>	413.951	84.852	288.849	258	40.124	24,7	71.384

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 34

#### Anhang 4: Sohlen- und teufenbezogene Übersicht zur Volumen- und Porenraumabschätzung für das Carnallitbaufeld im Jahr 2022

Sohle	Teufe	Jahr 1920		Porosität <sup>(1)</sup> [%]	Jahr 2022		
		Grundfläche planimetriert [m <sup>2</sup> ]	versetztes Volumen [m <sup>3</sup> ]		versetztes Volumen [m <sup>3</sup> ]	Porosität [%]	Poren- raum [m <sup>3</sup> ]
<b>750-m-Sohle<sup>(2)</sup></b>	750 bis 742,5 m	32.189	244.969	16,0	225.360	14,2	32.001
<b>A-Sohle</b>	742,5 bis 735 m	33.135	247.776	18,0	227.940	16,2	36.926
<b>B-Sohle</b>	735 bis 727,5 m	28.745	218.415	20,0	200.931	18,2	36.569
	Summe	94.069	711.160	18,0	654.231	16,2	105.497

<b>C-Sohle</b>	727,5 bis 720 m	23.888	178.978	25,0	164.648	23,2	38.198
<b>D-Sohle</b>	720 bis 712,5 m	9.292	69.691	31,0	64.111	29,2	18.720
<b>Firstbereich</b>	bis Abbaufirste	30.577	66.920	33,0	61.563	30,7	18.900
	Summe	63.757	315.589	29,7	290.322	27,7	75.819

	<b>Gesamtvolumen</b>	157.826	1.026.749	23,8	944.553	22,0	181.315
--	----------------------	---------	-----------	------	---------	------	---------

<sup>(1)</sup> Porosität für die einzelnen Teilbereich unter Berücksichtigungen von [12], [8]

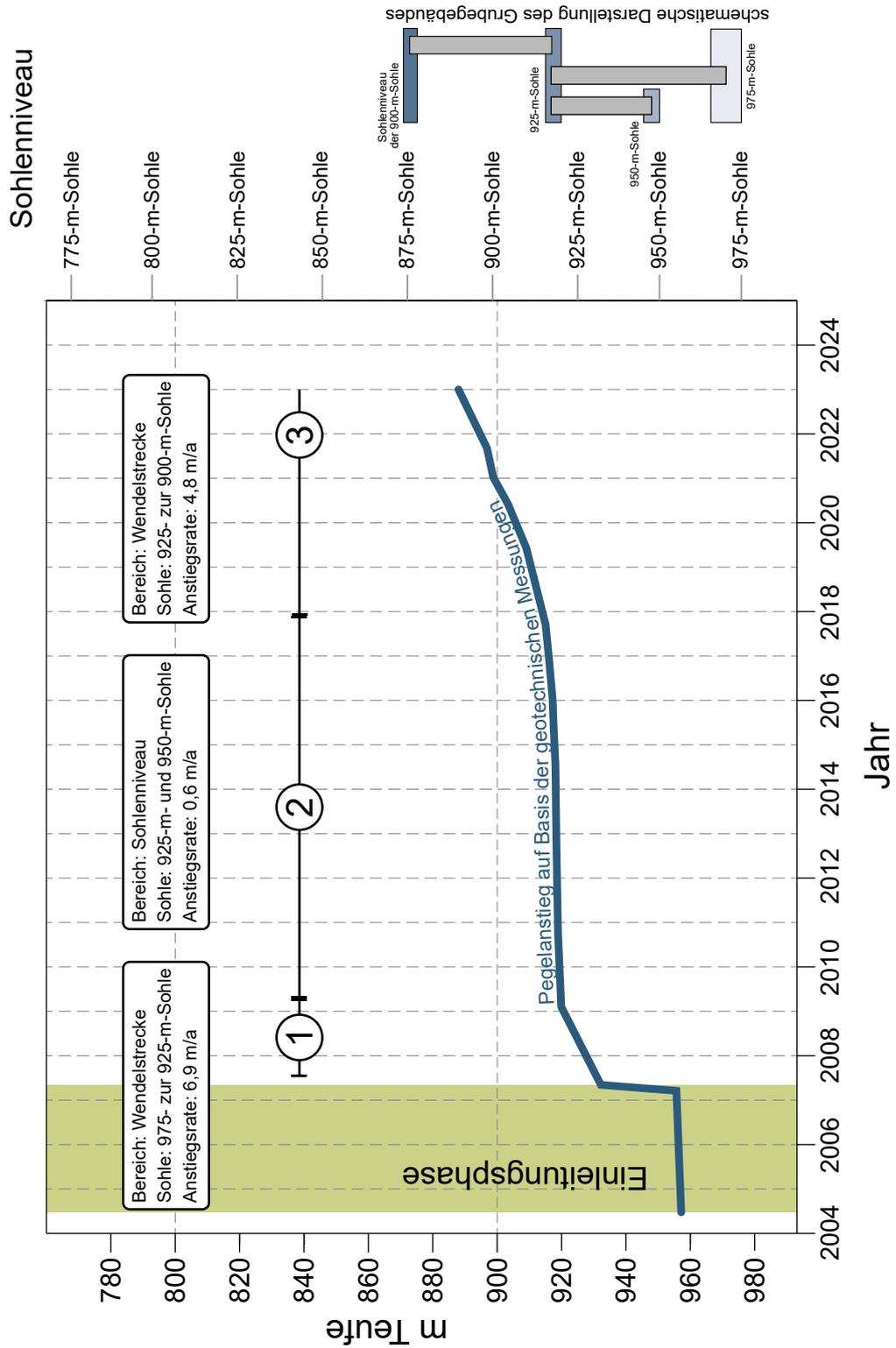
<sup>(2)</sup> 658 m<sup>3</sup> wurden abgezogen und der 750-m-Sohle zugeordnet.

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00


**BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG**

**Blatt: 35**

### Anhang 5: Verlauf des Pegelstandes innerhalb des Tiefenausschluss bis zum 31.12.2022



Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00	

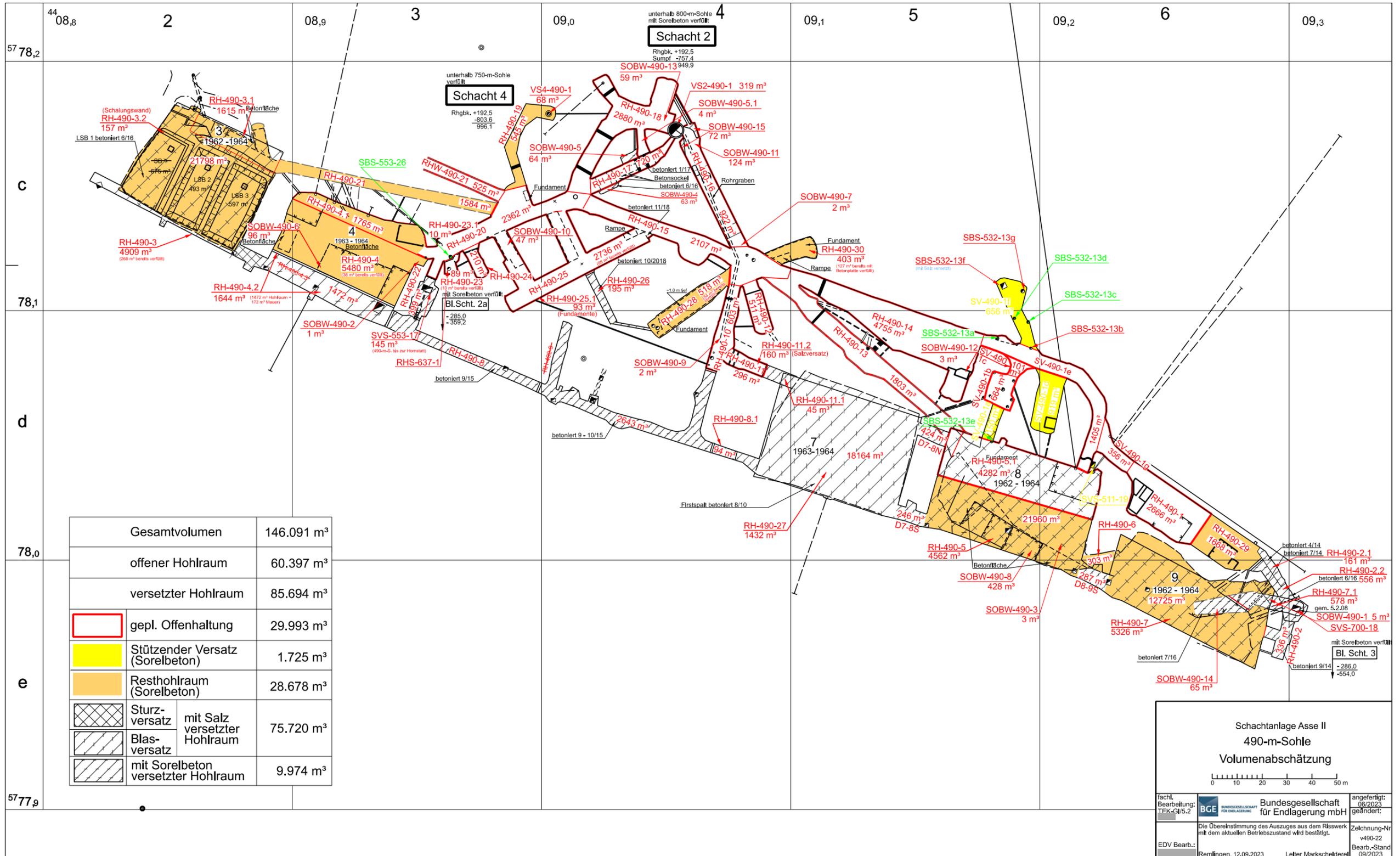
Hohlraumbilanz 2022 für die Schachanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

Blatt: 36

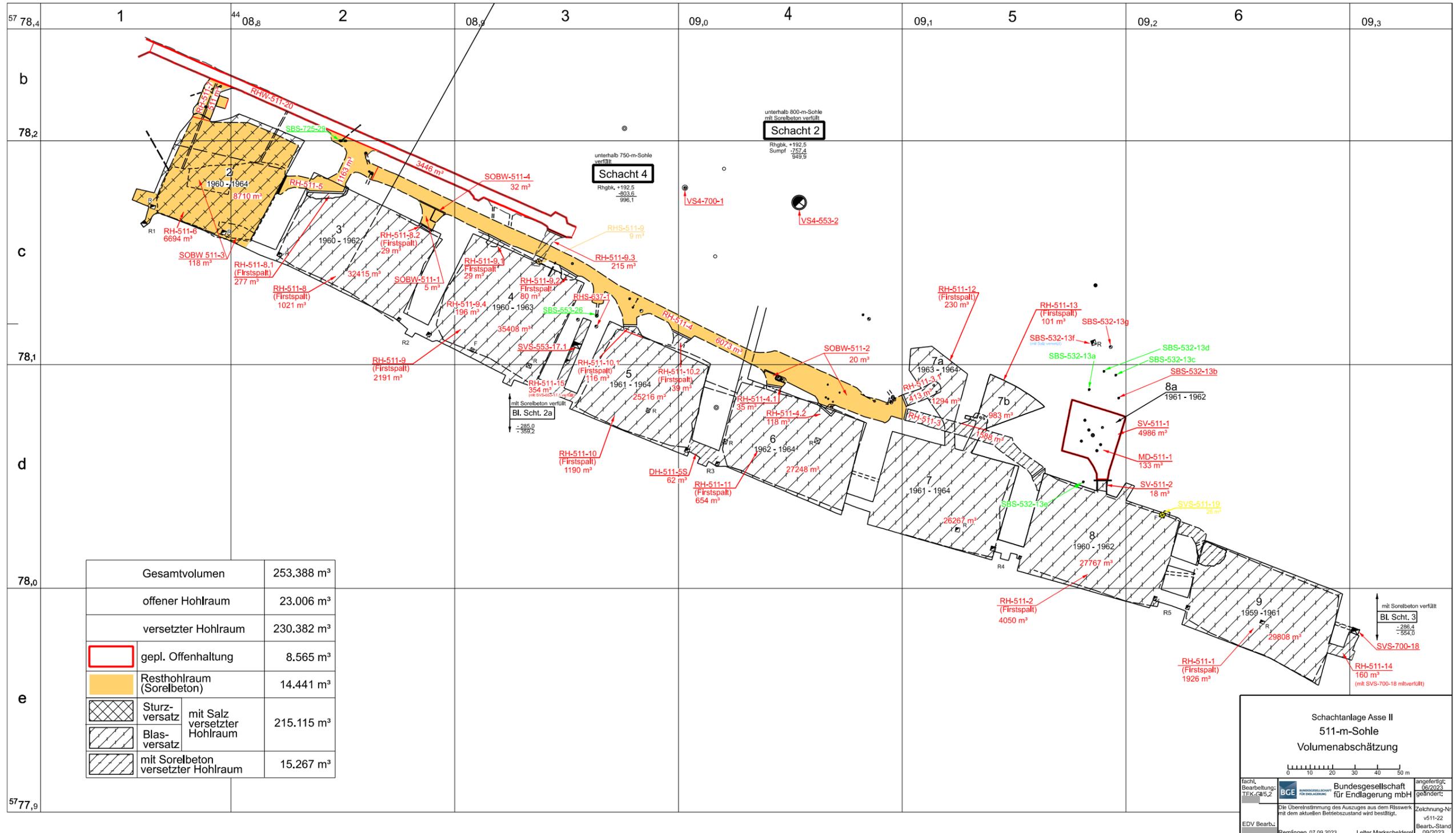
### Anhang 6: Abschätzung der im Rahmen der Vorsorgemaßnahmen eingebrachten Sorelbetonmenge sowie des fluidzugänglichen Poren- und Hohlraumes im Grubengebäude für das Jahr 2022

Sohle	Gesamt- volumen [m³]	nicht konver- gierendes Volumen		konvergenzaktives Volumen		Porosität [%]	Konvergenzrate [%/a]	Porenraum		
		Sorelbeton [m³]	Schotter [m³]	Hohlraum [m³]	Salz [m³]			Summe [m³]	Salz- versatz [m³]	Fluid zugänglich [m³]
490-m-Sohle	146.091	9.974	-	60.397	75.720	136.117	29,0	0,10	21.944	21.944
511-m-Sohle	253.388	15.267	-	23.006	215.115	238.121	37,2	0,20	80.077	80.077
532-m-Sohle	381.076	46.190	-	5.622	329.264	334.886	34,0	0,25	111.805	111.805
553-m-Sohle	237.524	6.099	-	14.513	216.912	231.425	36,8	0,30	79.787	79.787
574-m-Sohle	243.069	17.344	-	11.381	214.344	225.725	34,8	0,30	74.529	74.529
595-m-Sohle	272.244	18.512	-	5.544	248.188	253.732	31,9	0,30	79.070	79.070
616-m-Sohle	227.749	16.062	-	6.542	205.145	211.687	34,9	0,25	71.557	71.557
637-m-Sohle	230.538	19.431	-	8.988	202.119	211.107	32,9	0,25	66.456	66.456
658-m-Sohle	225.565	10.246	-	6.183	209.136	215.319	35,6	0,20	74.527	74.527
679-m-Sohle	227.877	10.039	-	5.743	212.095	217.838	36,4	0,20	77.228	77.228
700-m-Sohle	249.780	20.160	-	50.807	179.773	230.580	24,6	0,20	44.224	44.224
725-m-Sohle	196.732	10.999	-	20.830	164.903	185.733	26,0	0,20	42.875	42.875
750-m-Sohle	346.160	74.300	-	51.498	220.494	271.992	26,0	0,20	57.328	57.328
775-m-Sohle	187.342	40.851	258	10.459	135.774	146.233	23,2	0,30	31.500	31.585
800-m-Sohle	107.583	41.981	74	50.899	14.629	65.528	26,2	0,40	3.833	3.857
825-m-Sohle	25.611	8.561	-	16.553	497	17.050	21,5	0,50	107	107
850-m-Sohle	34.843	28.210	266	368	5.999	6.367	22,2	0,60	1.332	1.420
875-m-Sohle	12.257	11.369	630	-	258	258	24,6	0,60	63	271
900-m-Sohle	14.715	-	189	-	14.526	14.526	24,0	0,60	3.486	3.549
925-m-Sohle	13.488	4.480	816	-	8.192	8.192	20,8	0,70	1.704	1.973
950-m-Sohle	19.644	972	1.252	-	17.420	17.420	18,6	0,70	3.240	3.653
975-m-Sohle	28.035	-	8.871	-	19.164	19.164	17,9	0,70	3.430	6.358
Carn-BF	950.745	2.625	-	3.567	944.553	948.120	22,0	0,10	181.315	181.315
Schächte	44.388	17.747	-	25.951	690	26.641	30,2	0,30	208	208
Summe	4.676.444	431.419	12.356	378.850	3.854.910	4.233.761	28,8	0,22	1.111.624	1.115.703
				senkungswirksames Hohlraumvolumen in m³		3.909.174	senkungswirksames Porenvolumen in m³		1.110.806	

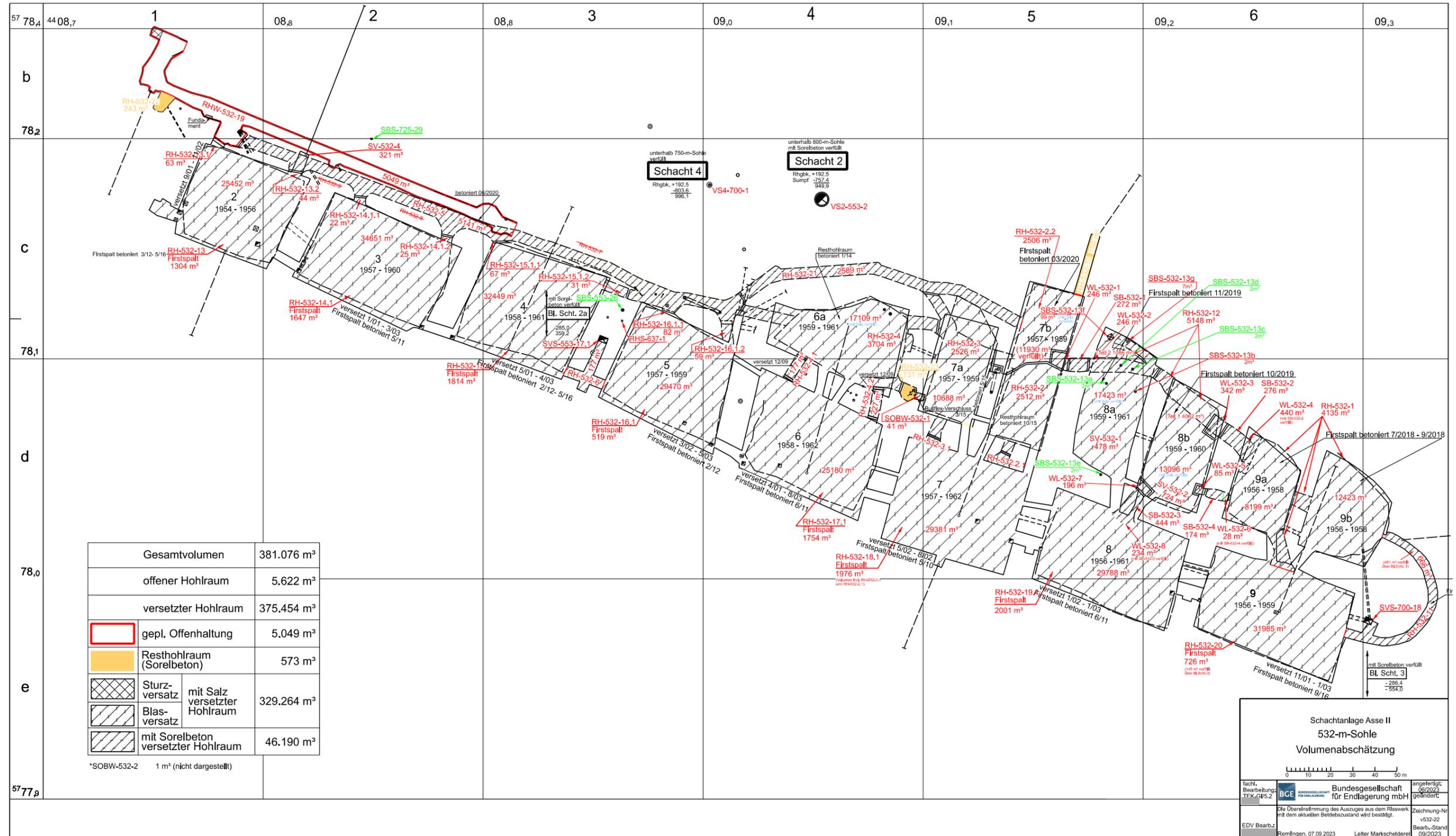
**Anhang 7: Volumenabschätzung der 490-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



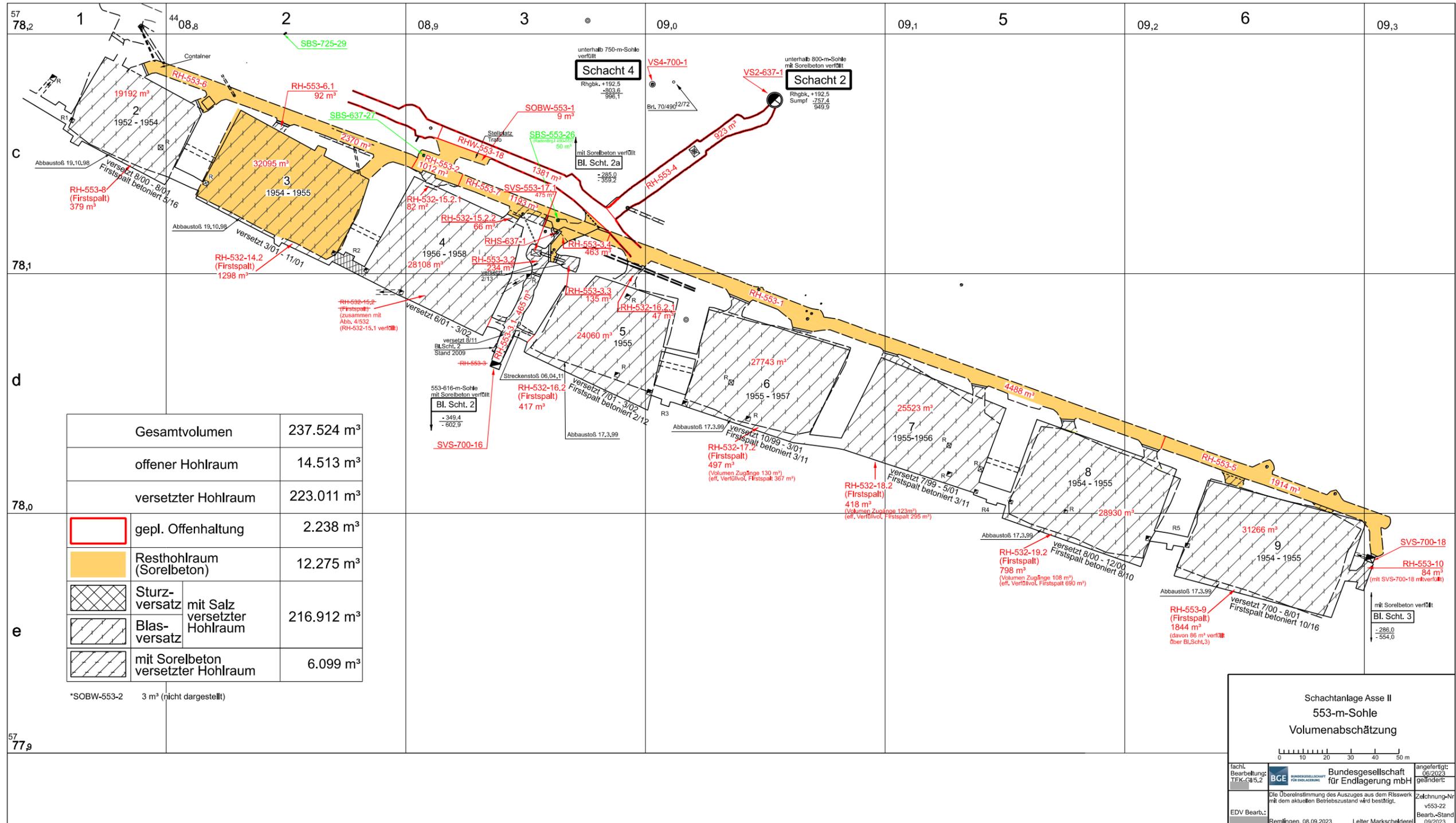
### Anhang 8: Volumenabschätzung der 511-m-Sohle mit Stand 31.12.2022



### Anhang 9: Volumenabschätzung der 532-m-Sohle mit Stand 31.12.2022



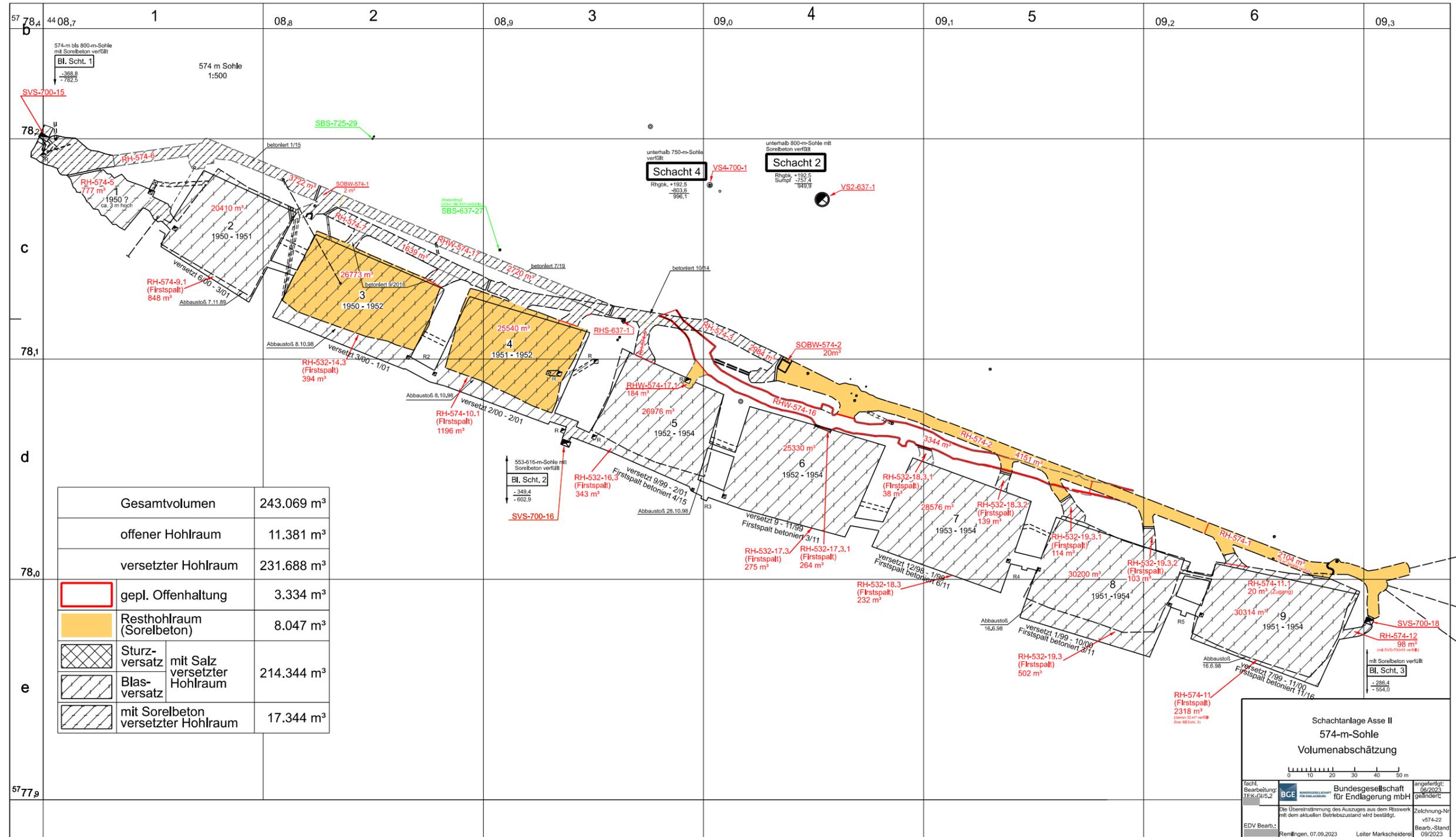
### Anhang 10: Volumenabschätzung der 553-m-Sohle mit Stand 31.12.2022



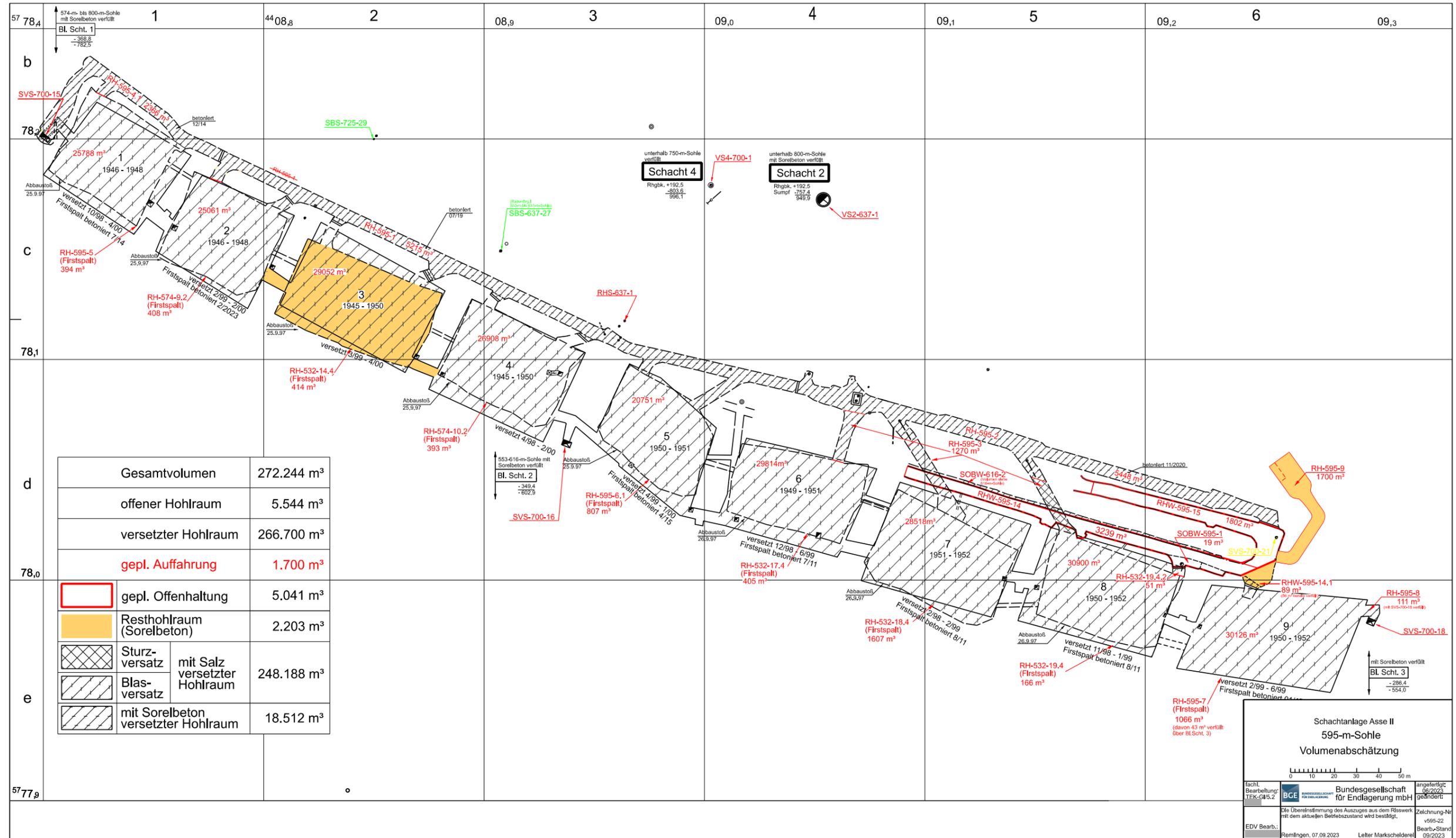
Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

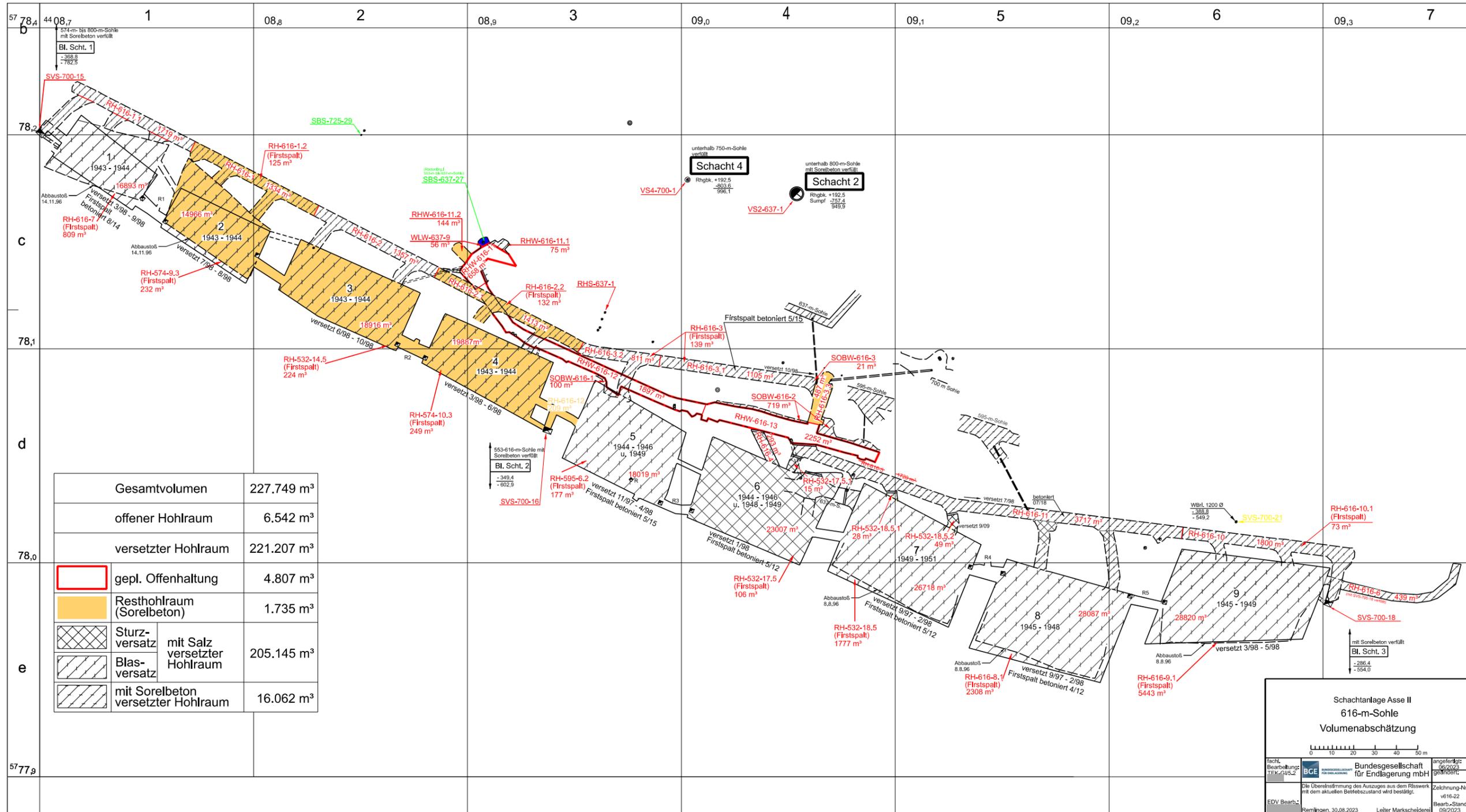
**Anhang 11: Volumenabschätzung der 574-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



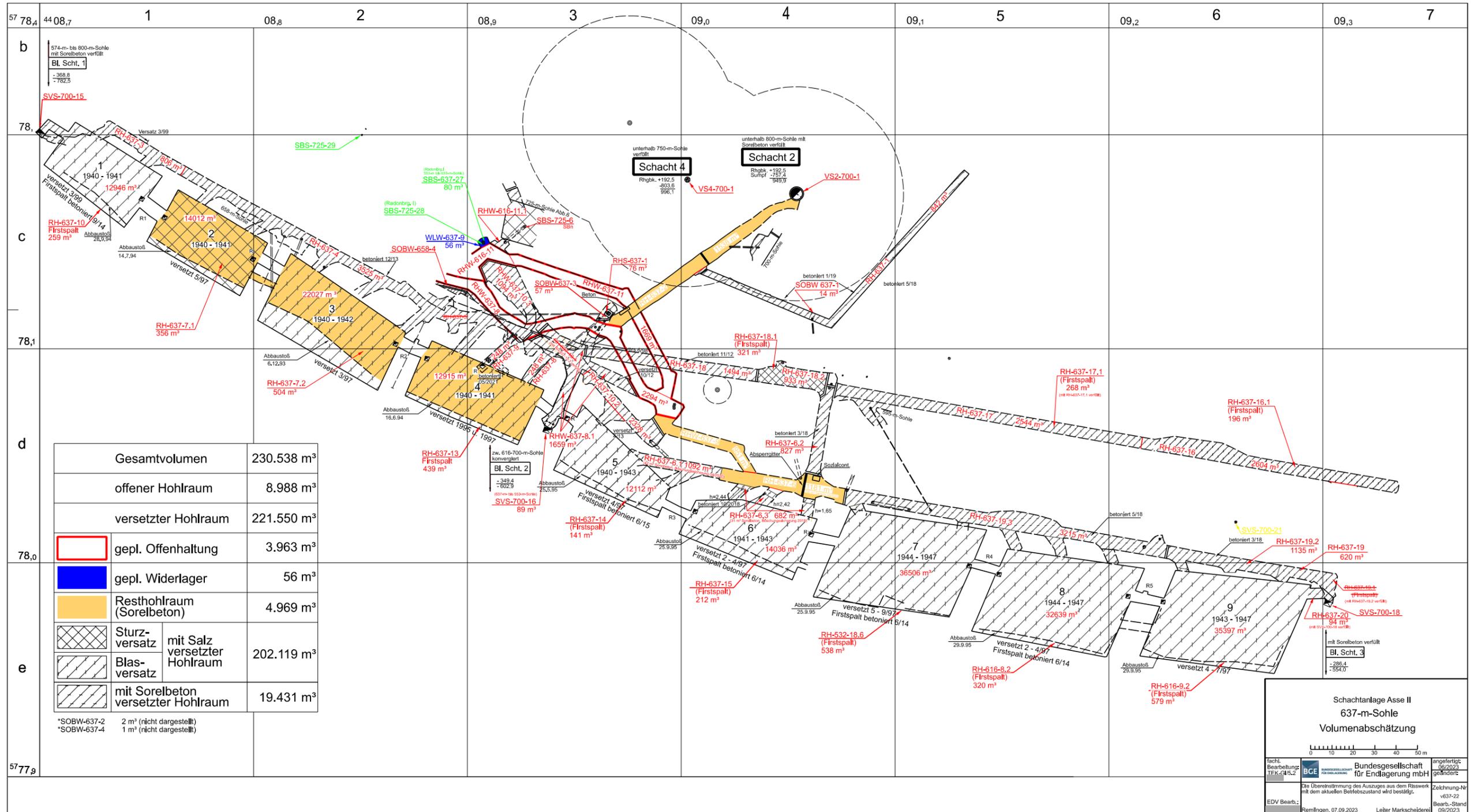
### Anhang 12: Volumenabschätzung der 595-m-Sohle mit Stand 31.12.2022



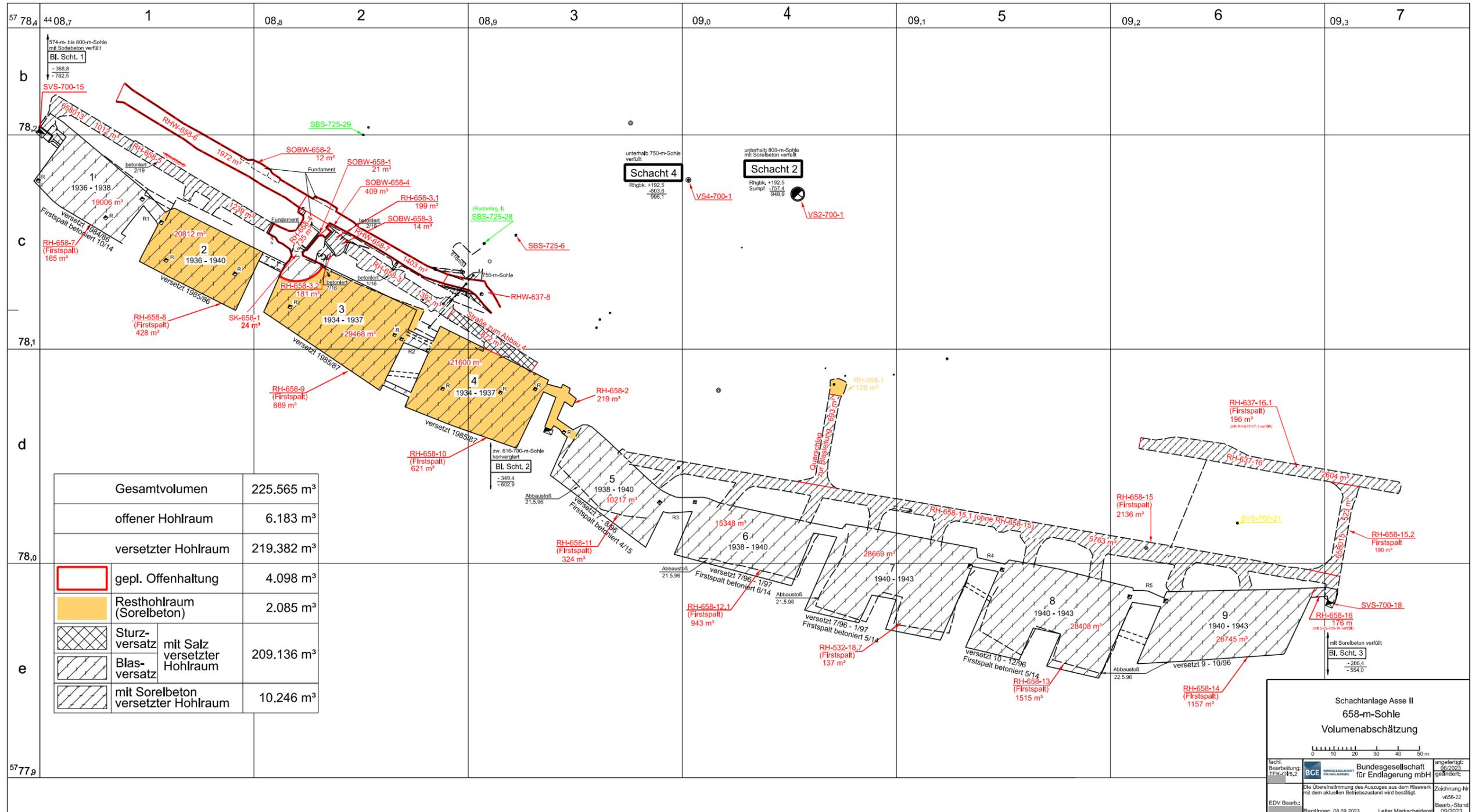
### Anhang 13: Volumenabschätzung der 616-m-Sohle mit Stand 31.12.2022



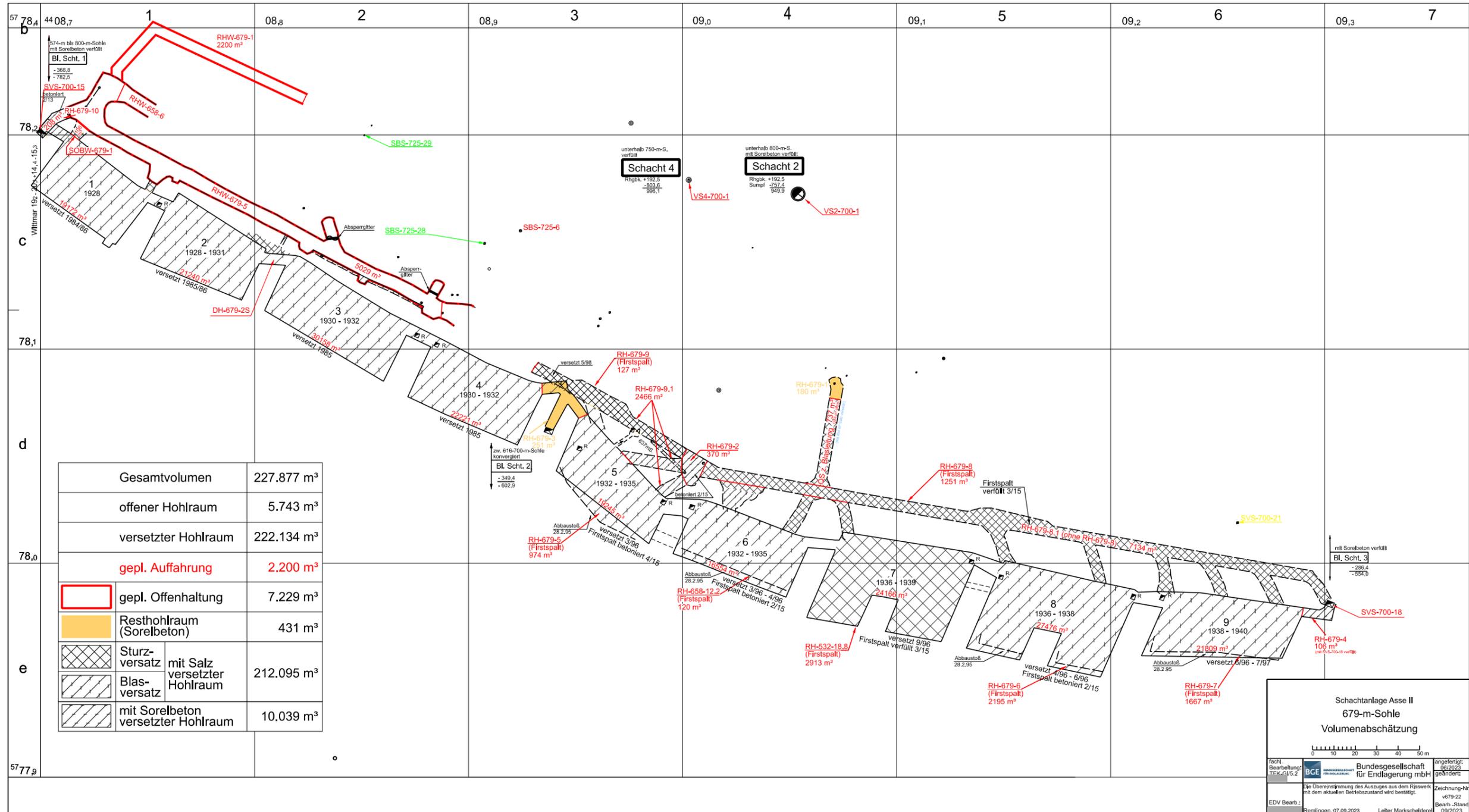
### Anhang 14: Volumenabschätzung der 637-m-Sohle mit Stand 31.12.2022



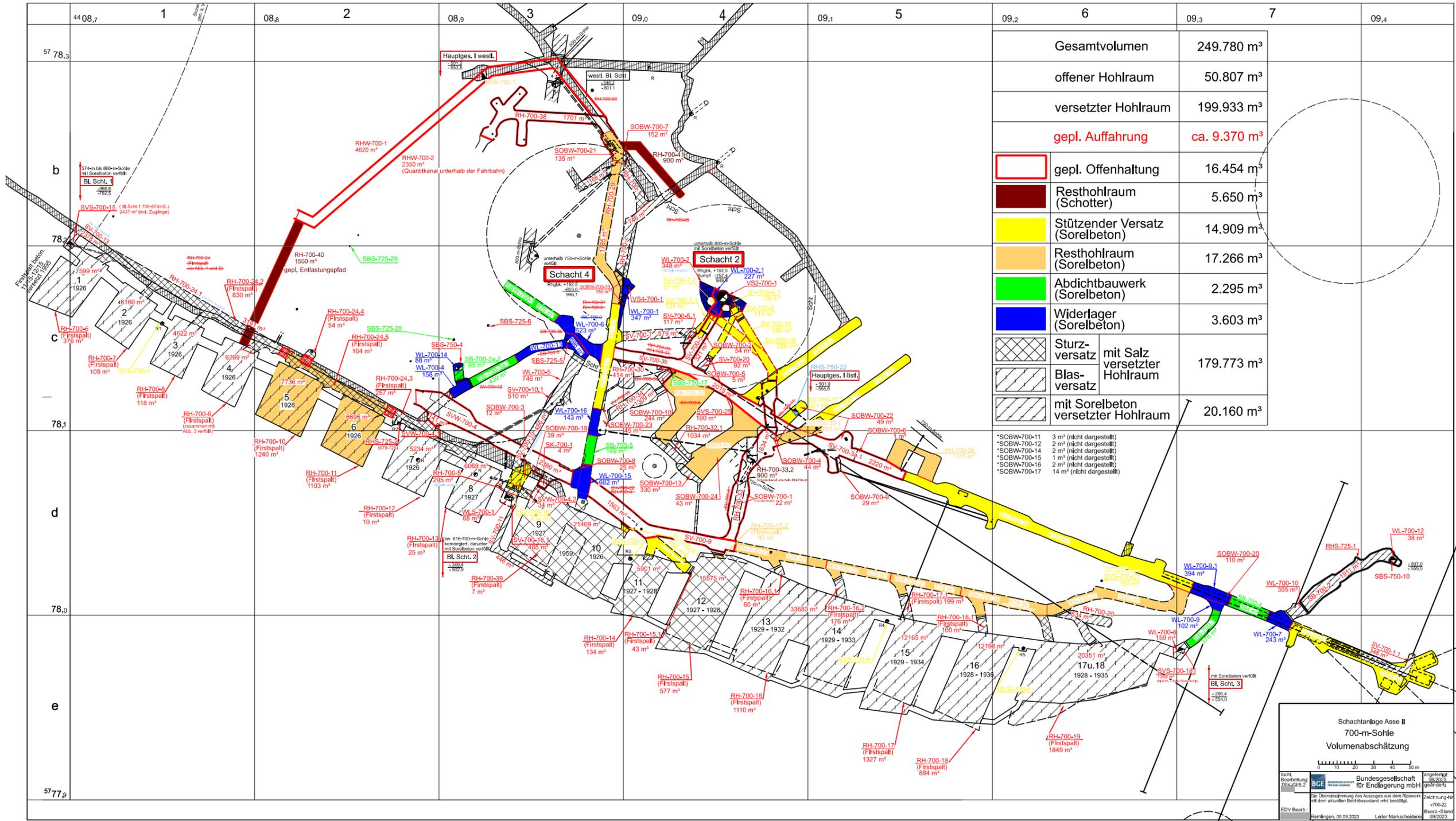
### Anhang 15: Volumenabschätzung der 658-m-Sohle mit Stand 31.12.2022



### Anhang 16: Volumenabschätzung der 679-m-Sohle mit Stand 31.12.2022



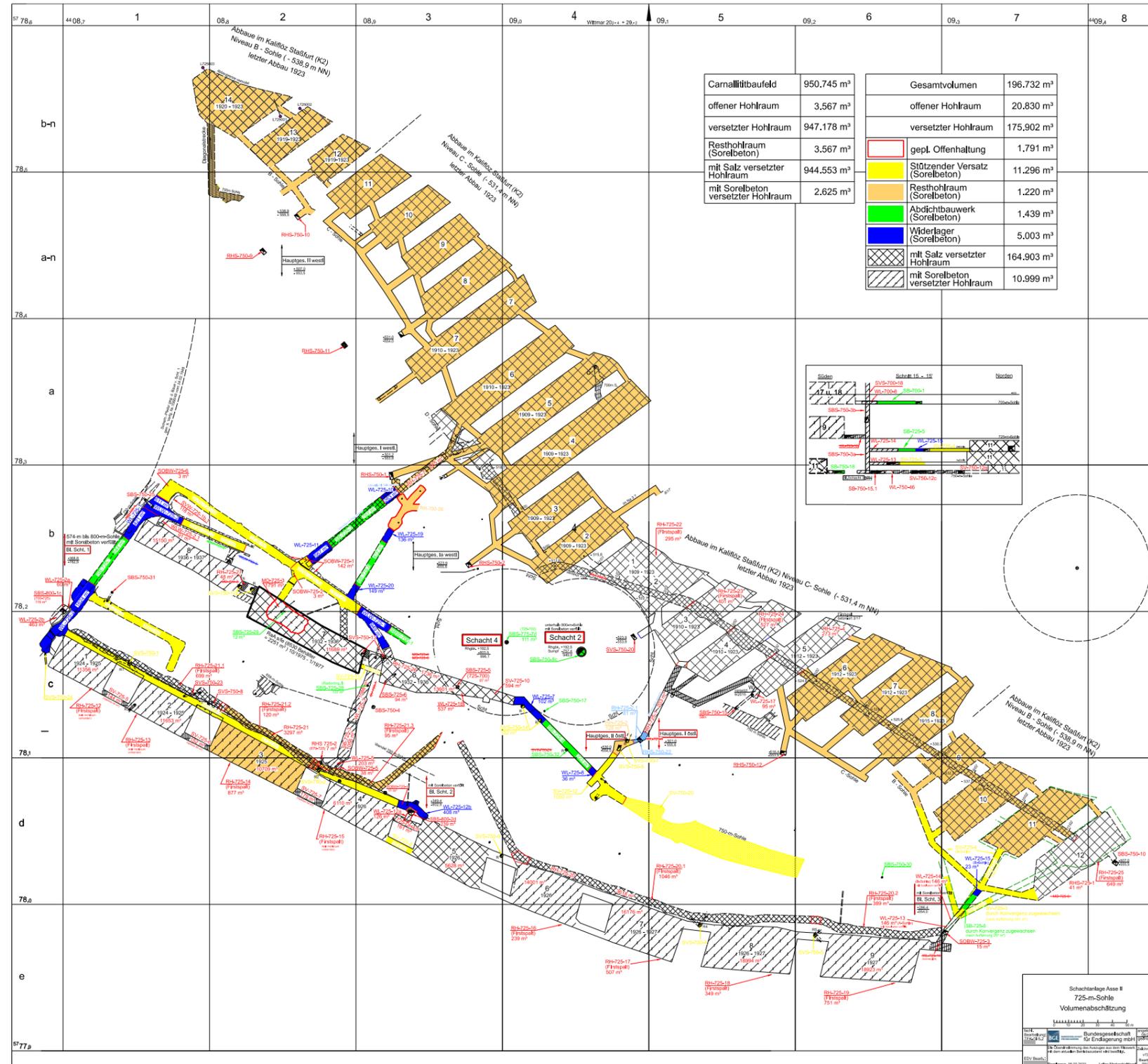
**Anhang 17: Volumenabschätzung der 700-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00

Hohlraumbilanz 2022 für die SchachtanlageASSE II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

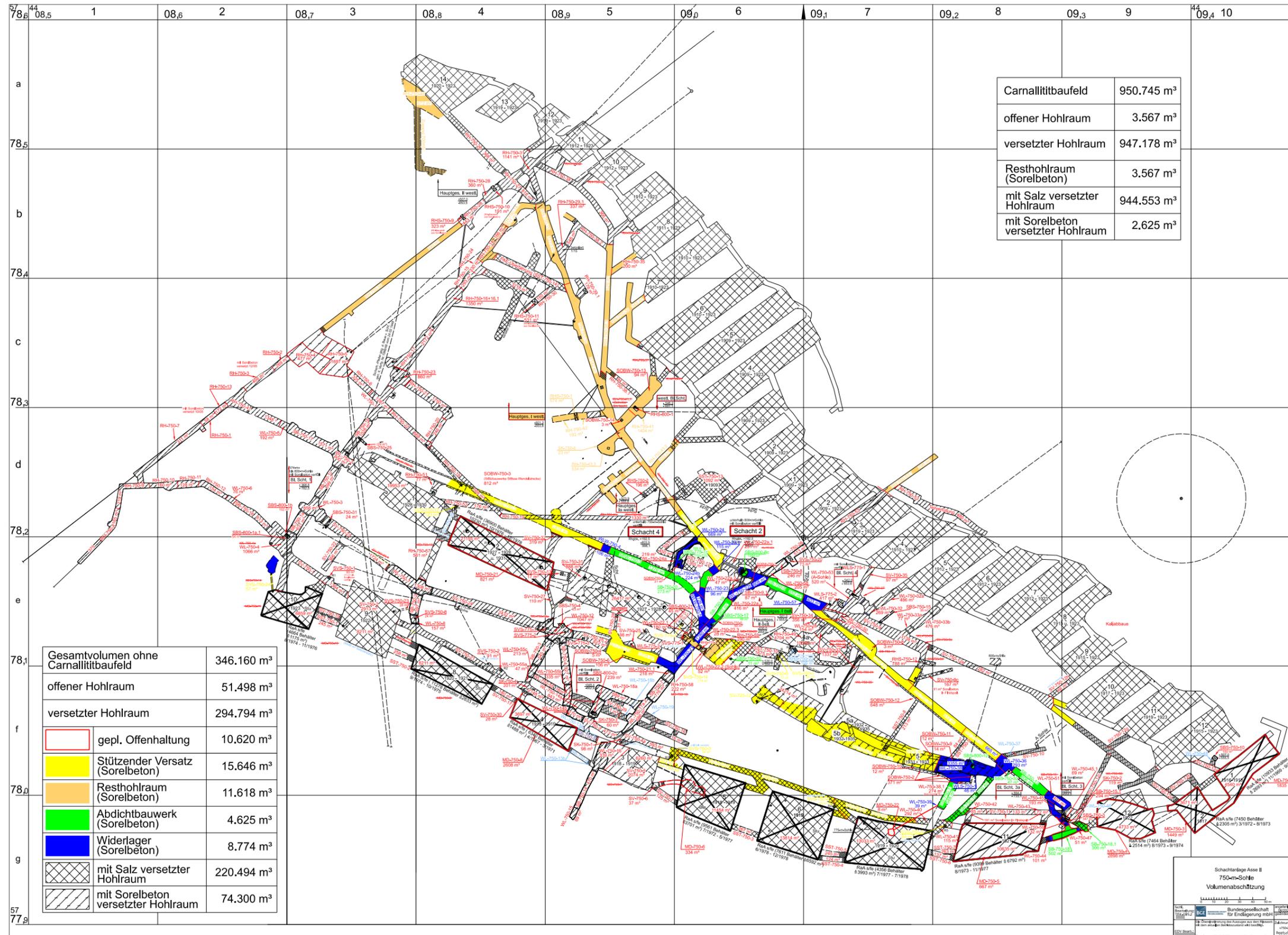
**Anhang 18: Volumenabschätzung der 725-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



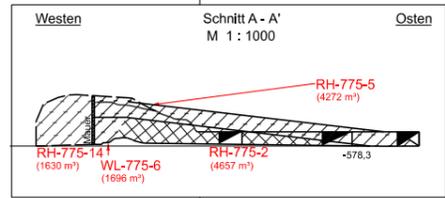
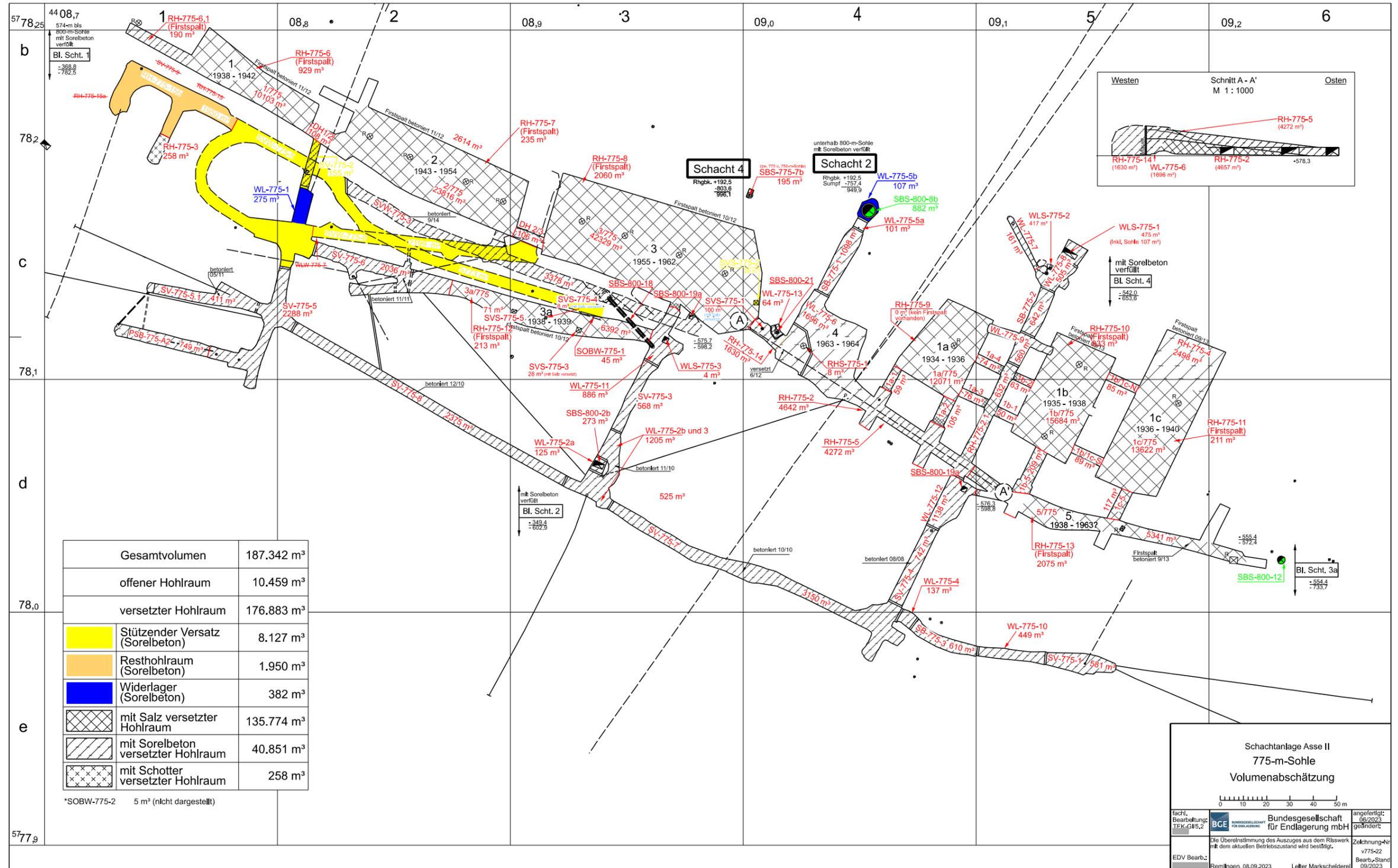
Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00

Hohlraumbilanz 2022 für die SchachtanlageASSE II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

**Anhang 19: Volumenabschätzung der 750-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



**Anhang 20: Volumenabschätzung der 775-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



SchachtanlageASSE II  
775-m-Sohle  
Volumenabschätzung

0 10 20 30 40 50 m

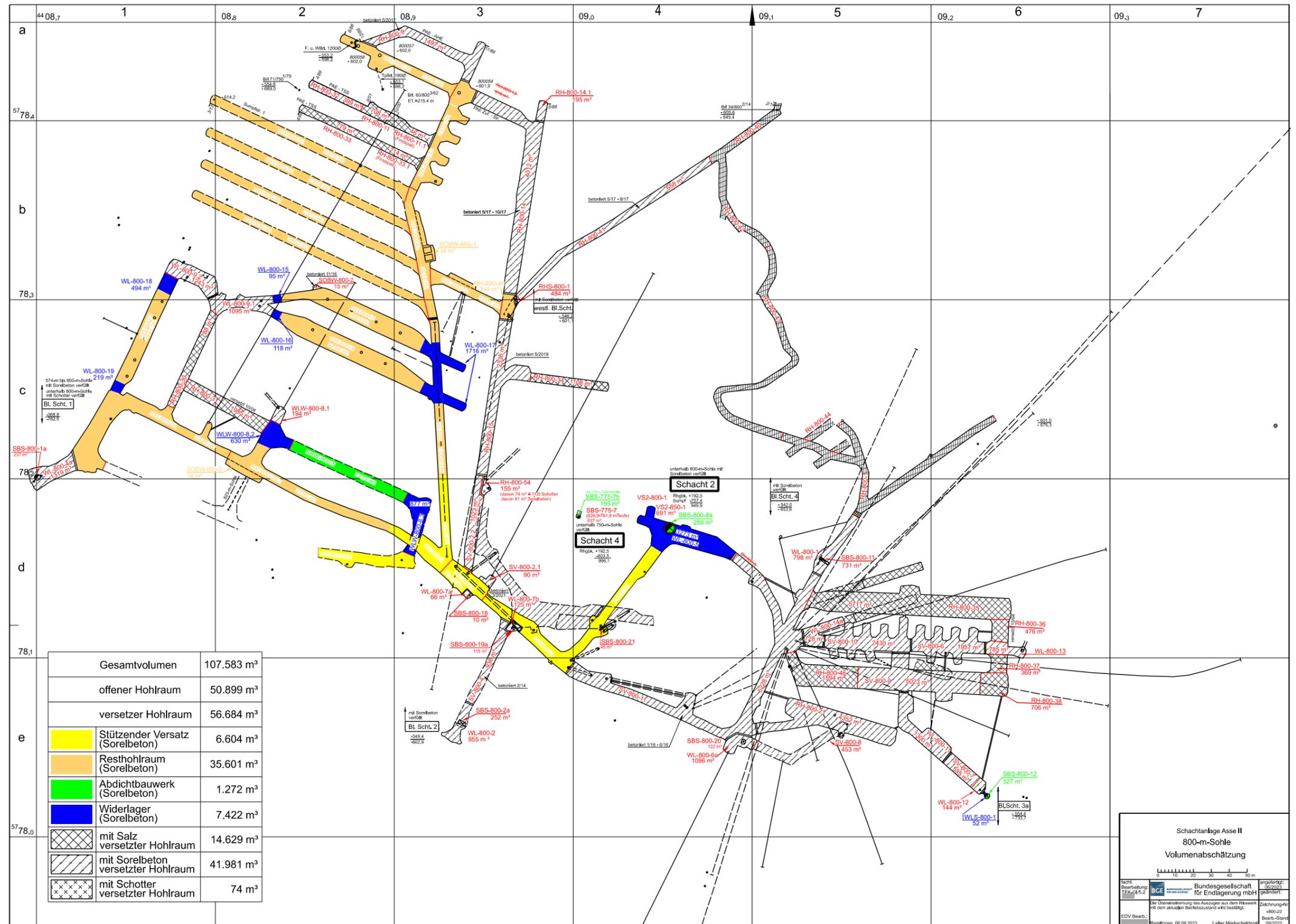
fachl. Bearbeitung: TEK-G15,2  
BCE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH  
anfertigt: 06/2023  
geändert:

Die Übereinstimmung des Auszuges aus dem Risswerk mit dem aktuellen Betriebszustand wird bestätigt.  
Zerknung-Nr.: v775-22  
EDV Bearb.: Remlingen, 08.09.2023  
Lester Märkschelderelei  
Bearb./Stand: 09/2023

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

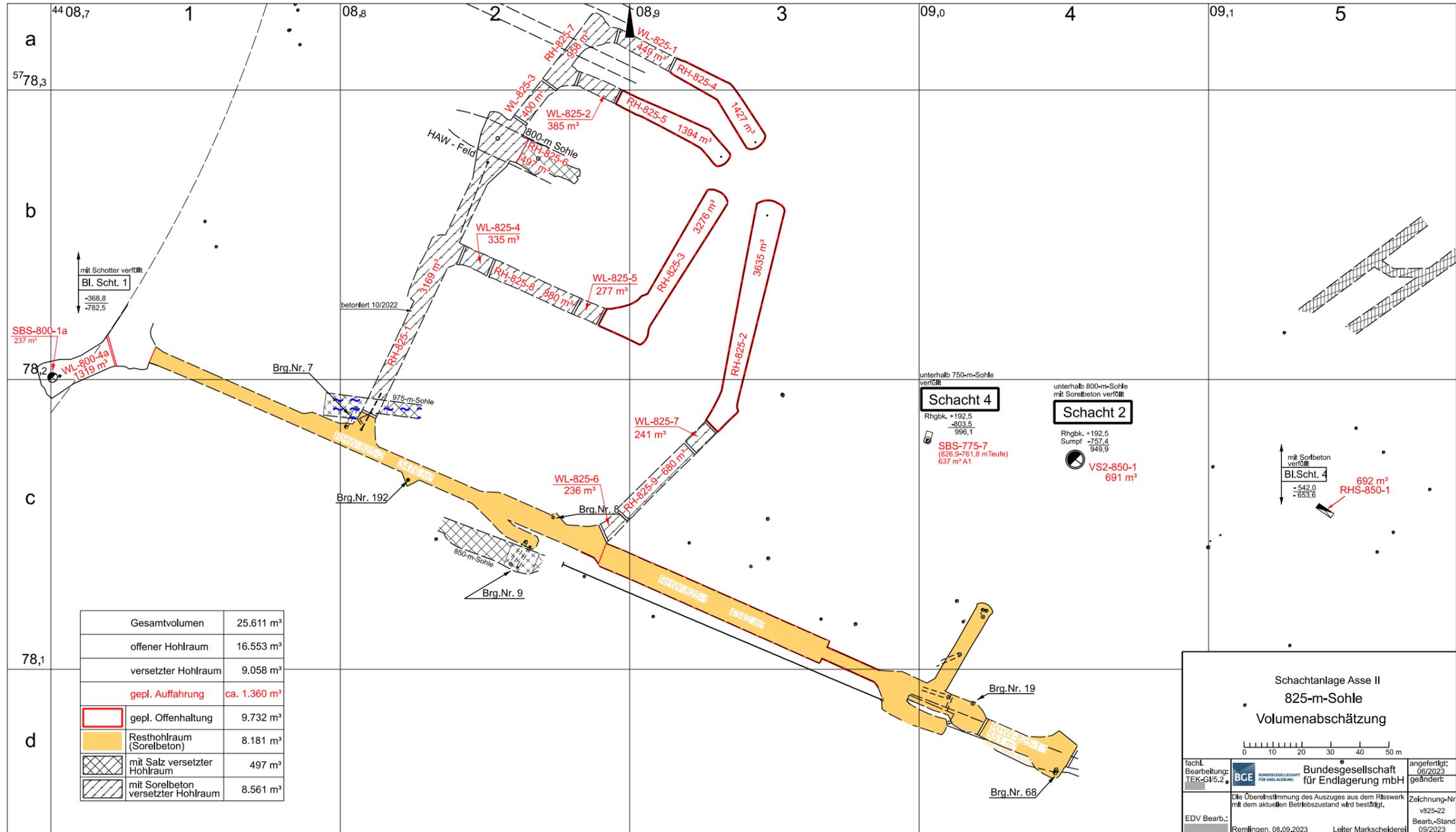
**Anhang 21: Volumenabschätzung der 800-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00

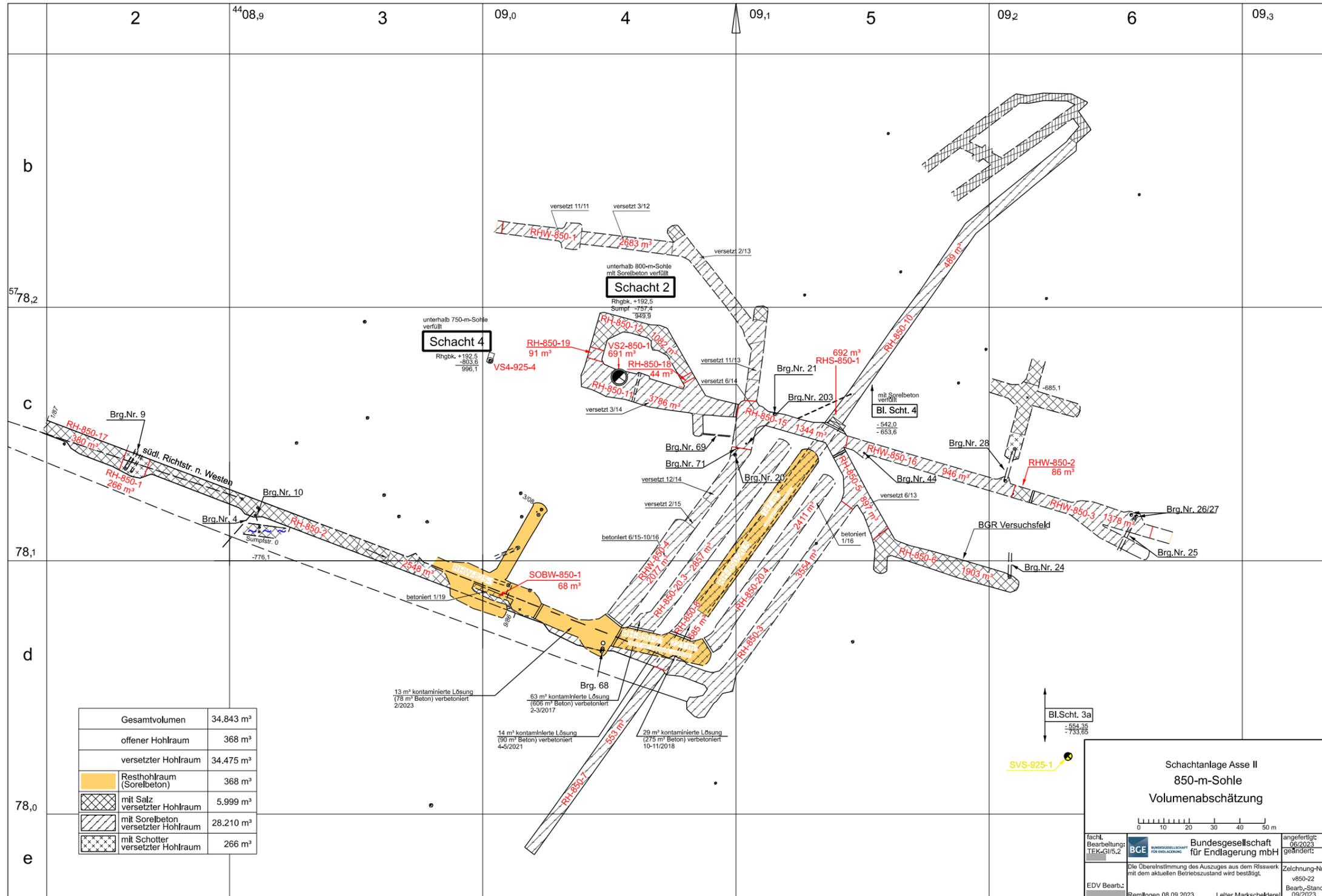
Hohlraumbilanz 2022 für die SchachtanlageASSE II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

**Anhang 22: Volumenabschätzung der 825-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00

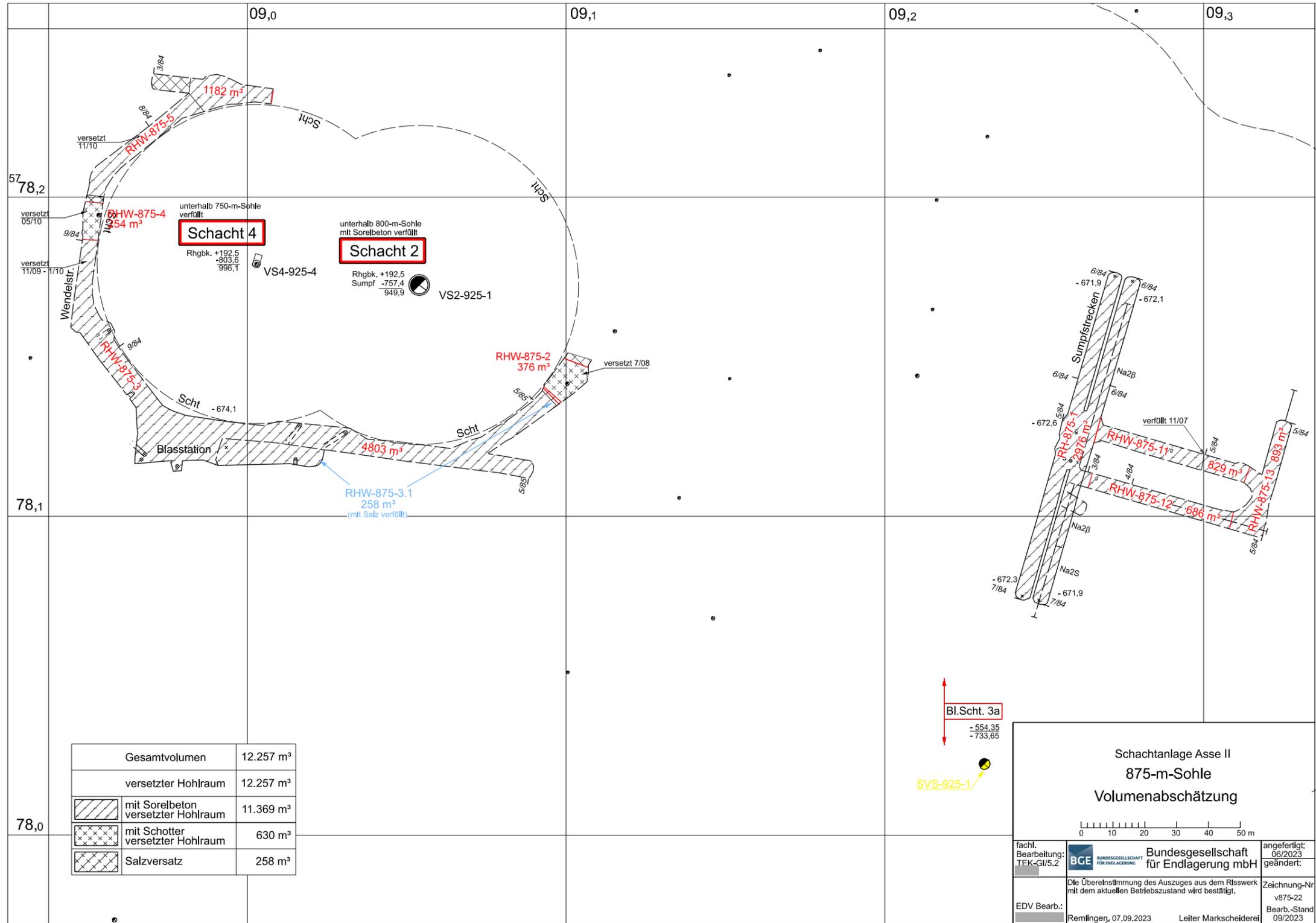
**Anhang 23: Volumenabschätzung der 850-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

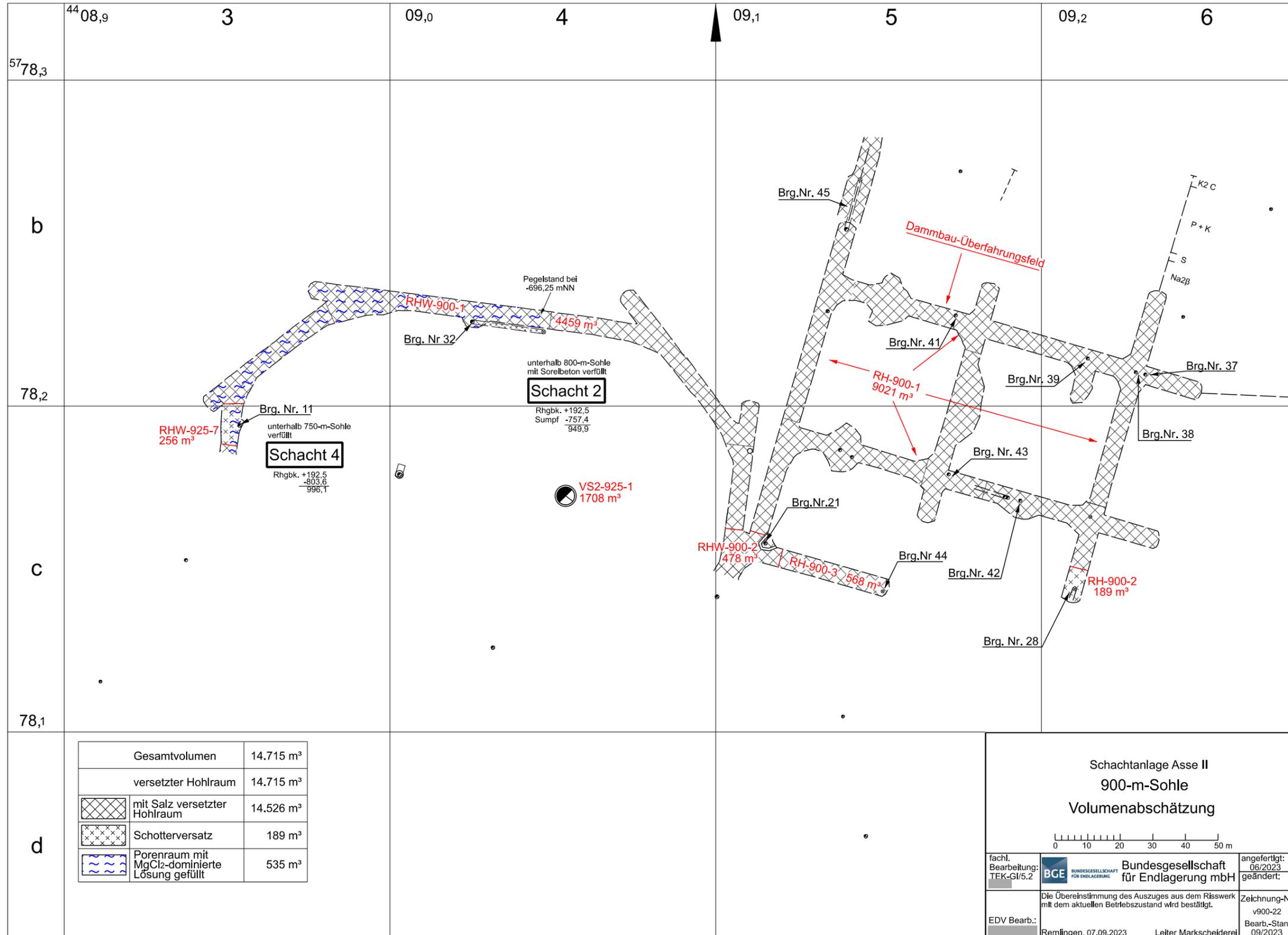
**Anhang 24: Volumenabschätzung der 875-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



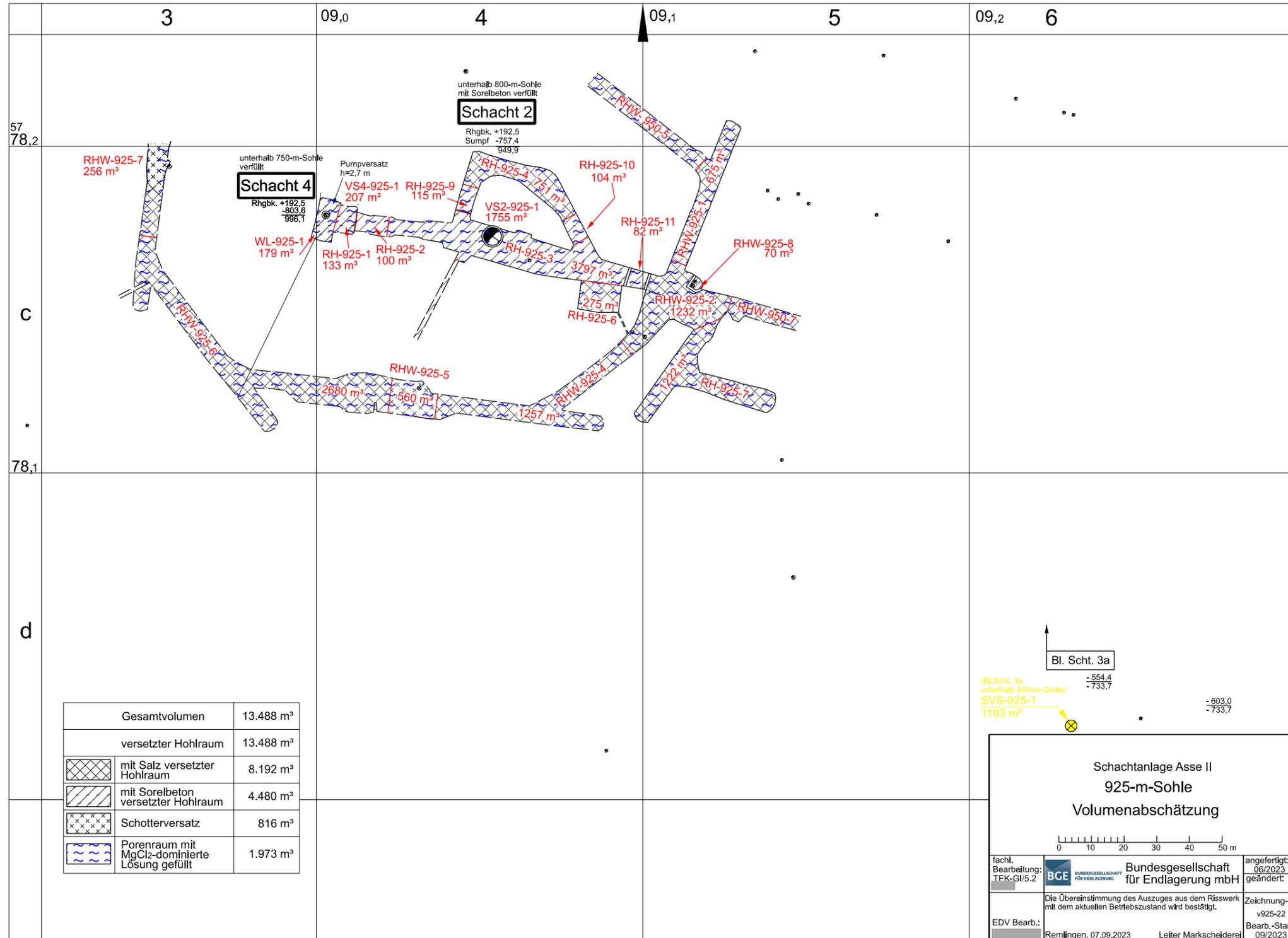
Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

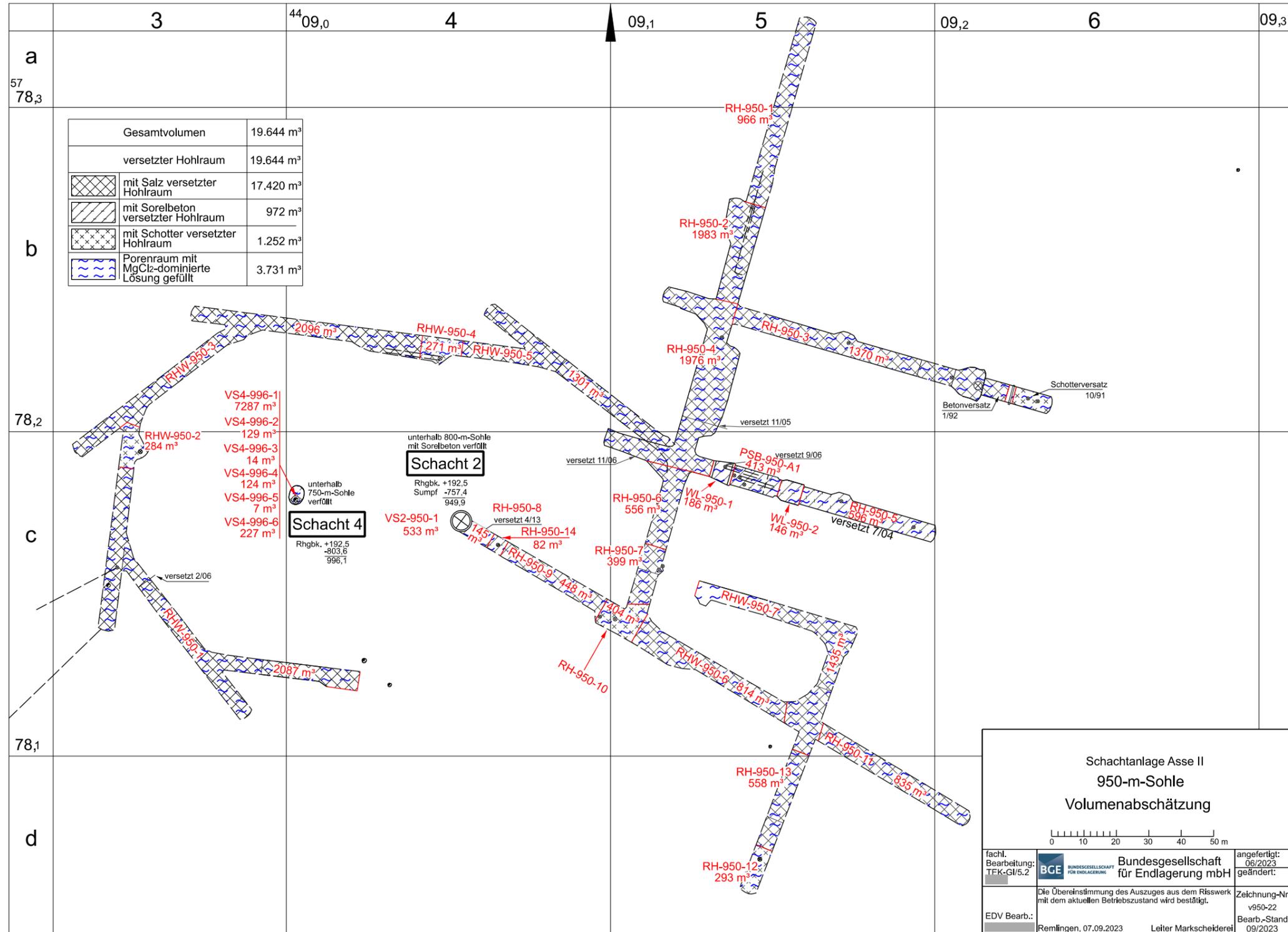
**Anhang 25: Volumenabschätzung der 900-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



**Anhang 26: Volumenabschätzung der 925-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



**Anhang 27: Volumenabschätzung der 950-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**



Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	64332000	BAU			GH	BZ	0007	00

Hohlraumbilanz 2022 für die Schachtanlage Asse II und Kalkulation der Volumina zur Umsetzung der Maßnahmen zur Konsequenzenminimierung (Notfallplanung)

**Anhang 28: Volumenabschätzung der 975-m-Sohle mit Stand 31.12.2022**

