

## DECKBLATT

Projekt	PSP-Element		Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	NNNNNNNNNN	NNNNNN	X A A X X	A A	NNNN	NN
EU 268 / 96.80	9K	3322		GHR	RB	0002	03
<b>Titel der Unterlage:</b> "Der Versatz und das Resthohlraumvolumen im Endlager Konrad"					<b>Seite:</b> I		
					<b>Stand:</b> 06. Nov. 1991		
<b>Ersteller:</b> BfS					<b>Textnummer:</b>		

Stempelfeld:

PSP-Element TP *1/2*:

zu Plan-Kapitel: 3.2.5.6/3.9

PL

PL

16.12.91

16.12.91

Freigabe für Behörden

Freigabe im Projekt

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

# Revisionsblatt

BfS

EU 268

Projekt	FSF-Element	Obl. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9K	3322		GHR	RB	0002	00

**Titel der Unterlage:**

"Der Versatz und das Resthohlraumvolumen im  
Endlager Konrad"

**Seite:**

II.

**Stand:**

März 1989

Rev.	Revisionsd. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision
01	30.08.89	SE 1.4	[REDACTED]	alle	S	gesamte Unterlage wurde überarbeitet
02	18.04.91	ET 2.2	[REDACTED]	alle	S	gesamte Unterlage wurde aufgrund der Konzeptänderung der Verfüllung der Resthohlräume in Einlagerungskammern überarbeitet
03	06.11.91	ET 2.2	[REDACTED]	alle	R, V	gesamte Unterlage wurde auf der Basis der Anmerkungen des OBA und TÜV bei einem Fachgespräch am 11.09.1991 überarbeitet

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

Der Versatz und das Resthohlraumvolumen  
im Endlager Konrad



Braunschweig, BfS

November 1991

- I Inhaltsverzeichnis
  
- I Inhaltsverzeichnis
  
- II Abkürzungen/Definition/Erläuterungen von Begriffen
  
- 1 Vorbemerkungen
  
- 2 Aufgabe des Versatzes im Endlager Konrad
  
- 3 Anforderungen an den Versatz
  
- 4 Versatzmaterial
  
- 5 Verfüllen der Hohlräume im Endlager Konrad
  - 5.1 Verfüllen der Resthohlräume in den Einlagerungskammern
  - 5.2 Verfüllen sonstiger Grubenbaue
  
- 6 Restholraumvolumen im verfüllten Endlager Konrad
  - 6.1 Restholraumvolumen in allen Einlagerungskammern unmittelbar nach dem Verfüllen
  - 6.2 Restholraumvolumen in allen verfüllten Einlagerungskammern zu Beginn der Nachbetriebsphase
  - 6.3 Restholraumvolumen in den verfüllten sonstigen Grubenbauen unmittelbar nach dem Verfüllen

- 6.4 Resthohlraumvolumen in den verfüllten sonstigen Grubenbauen zu Beginn der Nachbetriebsphase
- 6.5 Gesamtesthohlraumvolumen im verfüllten Endlager Konrad zu Beginn der Nachbetriebsphase
- 7 Sorbensmassen im Grubengebäude
- 8 Schlußbewertung
- 9 Literaturverzeichnis
- 10 Anhang: Tabellen

## II Abkürzungen und Definiton von Begriffen

### Abkürzungen

$V_O$ :	Auffahrtvolumen von Einlagerungskammern und sonstigen Grubenbauen
$V_G$ :	festes Abfallgebinderolumen
$V_{GB}$ :	Bruttovolumen der Abfallgebinder
$V_{GO}$ :	Resthohlraumvolumen in den Abfallgebinder
$V_V$ :	festes Versatzvolumen
$V_{VO}$ :	Versatzvolumen und Porenvolumen
$V_{VP}$ :	Porenvolumen im Versatz
$V_{VI}$ :	Versatzvolumen in den Einlagerungskammern
$V_{VII}$ :	festes Versatzvolumen in den sonstigen Grubenbauen
$V_{VII}$ "neu":	festes Versatzvolumen in den "neuen" Infrastruktur-strecken
$V_{VII}$ "alt":	festes Versatzvolumen in den "alten" Infrastruktur-strecken
$V_R$ :	Gesamtesthohlraumvolumen im Endlager Konrad zu Beginn der Nachbetriebsphase
$V_{RO}$ :	Resthohlraumvolumen nach Konvergenz

$V_{RI}$ :	verbleibender Hohlraum in den verfüllten Einlagekammern zu Beginn der Nachbetriebsphase
$V_{RII}$ :	verbleibender Hohlraum in den sonstigen Grubenbauen unmittelbar nach dem Verfüllen
$V_{RII}$ "neu":	verbleibender Hohlraum in den "neuen" Infrastrukturestrecken unmittelbar nach dem Verfüllen
$V_{RII}$ "alt":	verbleibender Hohlraum in den "alten" Infrastrukturestrecken unmittelbar nach dem Verfüllen
$V_{RIII}$ :	verbleibender Hohlraum in den sonstigen Grubenbauen (alte und neue Infrastrukturestrecken) zu Beginn der Nachbetriebsphase
$V_{KI}$ :	Konvergenzvolumen der Einlagerungsfelder
$V_{KII}$ :	Konvergenzvolumen der Streckenfelder
$V_{KII}$ "alt":	Konvergenzvolumen in den "alten" Infrastrukturestrecken
$V_A$ :	Auflockerungsvolumen in der Auflockerungszone
$V_F$ :	Festgesteinsvolumen in der Auflockerungszone
$V_{GA}$ :	Gesteinsvolumen in der Auflockerungszone

## Definiton/Erläuterung von Begriffen

Einlagerungshohl-  
raumvolumen

Hohlraum zu dem Zeitpunkt, wie er zur Einlage-  
rung zur Verfügung steht.

effektiver Poren-  
anteil:

$$n = 1 - \frac{S_d}{S_s} \quad (\text{ohne inneres Porenvolumen}),$$

wobei  $S_d$  = Trockendichte

$S_s$  = Korndichte nach DIN 18125, Teil 1

sonstige Gruben-  
baue:

z. B. Rampen und Wettersammelstrecken, ent-  
spricht auch dem häufig gewählten Begriff  
"Infrastrukturstrecken"

Regelquerschnitt der  
Einlagerungskammern und  
Infrastrukturstrecken:

Aus Gründen der technisch bedingten Tole-  
ranzen bei der Auffahrung von Grubenbauen  
wurde im Plan Konrad (z. B. Seite 3.2.3.2-  
3) der Begriff Regelquerschnitt gewählt.

Der Regelquerschnitt von etwa 40 m<sup>2</sup> für  
die Einlagerungskammern soll die vorge-  
sehene Stapelgeometrie der Abfallgebinde  
sicherstellen.

Sollte auf Grund der Konvergenzen eine  
Querschnittsverringerung erfolgen, wird  
entweder noch während der Auffahrung oder  
vor der Einlagerung der Regelquerschnitt  
mit Nachreißarbeiten wieder hergestellt.  
Im zweiten Fall verbleibt das anfallende  
Haufwerk im Kontrollbereich (Plan Konrad  
S.3.4.6-16).

Im Hinblick auf die Hohlraumberechnungen im Endlager wird aus Gründen der Nachvollziehbarkeit und auf der Basis der o.a. Erläuterungen definiert, daß das Auffahrsvolumen der Einlagerungskammern dem Einlagerungsvolumen oder Endlagerhohlraum (Regelquerschnitt, Einlagerungsquerschnitt) entspricht.

Gleiches gilt auch für die Infrastrukturstrrecken. Der Regelquerschnitt der für den Betrieb erforderlichen Infrastrukturstrrecken wird sich während der Betriebsphase auf Grund der Konvergenz verringern. Man muß aber davon ausgehen, daß während der Betriebsphase - falls erforderlich - der Regelquerschnitt ebenfalls wieder hergestellt wird, bevor im Zuge des rückbauartigen Abwerfens diese Grubenbaue verfüllt werden. Erst zu Beginn der Nachbetriebsphase wird aus Gründen der Nachvollziehbarkeit die Verringerung des Resthohlraumvolumens durch Konvergenz kumuliert bei den aktualisierten Berechnungen zum Resthohlraumvolumen unterstellt. Eine differenziertere und auch den tatsächlichen Verhältnissen möglicherweise entsprechendere Betrachtung ist nicht möglich und auch wenig sinnvoll im Hinblick auf die Verwendung der Angaben zum Resthohlraumvolumen im gesamten Grubengebäude zu Beginn der Nachbetriebsphase.

Resthohlraumvolumen:

Das Resthohlraumvolumen im Endlager Konrad setzt sich zusammen aus dem

- unversetzten Volumen (technisch bedingt)

- z.B. in den Infrastrukturstrecken,
- Porenvolumen im Versatz  
(Versatzvolumen x Porosität),
  - Porenvolumen in den Abfallgebinden  
(Abfallvolumen x Porosität) und dem
  - Resthohlraumvolumen in den alten  
Abbauen.

## 1 Vorbemerkungen

Die Aussagen in dieser Unterlage stehen im wesentlichen in bezug zur Langzeitsicherheitsanalyse.

Schwerpunkte der Darstellung sind das Resthohlraumvolumen in den Einlagerungskammern und sonstigen Grubenbauen unmittelbar nach deren Verfüllen, das Resthohlraumvolumen zu Beginn der Nachbetriebsphase des Endlagers - nach derzeitiger Planung etwa im Jahr 2045 und als Ausgangssituation für die Langzeitsicherheitsanalyse - unter Berücksichtigung der Konvergenz und die Sorbensmasse. Die Resthohlräume in den Einlagerungskammern werden mit Pumpversatz (Dickstoff) und die sonstigen Grubenbaue mit aufbereitetem Konrad-Haufwerk verfüllt.

Insgesamt wird auf erläuternde Unterlagen Bezug genommen, die im Laufe der Jahre entstanden sind und einen Bezug zu der Beschreibung der Resthohlraumverhältnisse im Endlager Konrad haben. Die Unterlagen geben den Planungs- und Wissensstand zu den jeweiligen Entstehungszeitpunkten wieder. Auf die unterschiedlichen Angaben zum Resthohlraumvolumen wird - soweit möglich - eingegangen. Im Einzelfall werden die Ansätze zur Berechnung der Resthohlraumvolumina und Sorbensmassen in den verfüllten Einlagerungskammern und Infrastrukturstrecken beschrieben.

Auf versatztechnische Gesichtspunkte wird in dieser Unterlage nur dann eingegangen, wenn es im Zusammenhang mit Betrachtungen zum Resthohlraumvolumen und zur Sorbensmasse erforderlich ist. Ansonsten wird auf die Beschreibungen zum Versatzsystem /1, 2/<sup>1)</sup> hingewiesen.

---

1) Die Zahlen in den Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis

## 2 Aufgabe des Versatzes im Endlager Konrad

In den "Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk" /3/ wird allgemein auf die Aufgabenstellung des Versatzes eingegangen. Demnach soll der Versatz auch die Funktion einer möglichen technischen Barriere übernehmen können und letztendlich auch durch Hohlraumreduzierung zur Stabilitätserhöhung beitragen.

Die Sicherheitskriterien sehen weiterhin vor, daß während oder nach Befüllung eines Einlagerungsraumes mit radioaktiven Abfällen das verbleibende Volumen mit geeignetem Versatzmaterial zu verfüllen ist. Bei anderen untertägigen Hohlräumen des Endlagerbereichs, die außer Betrieb gesetzt werden, ist entsprechend zu verfahren.

## 3 Anforderungen an der Versatz

Aufgrund der speziellen Gegebenheiten im Endlager Konrad werden insbesondere für die Betriebsphase Anforderungen an den Versatz in den Einlagerungskammern gestellt. Der Versatz hat in den Einlagerungskammern und sonstigen Grubenbauen keine tragende Funktion zu erfüllen.

Ebenso wird vom Versatz im verfüllten Endlager Konrad bei der Langzeitsicherheitsanalyse keine strömungshemmende Wirkung mit einem zu erreichen  $K_f$ -Wert gefordert. Es wird allenfalls der durch die Versatzmaßnahmen in den Einlagerungskammern und sonstigen Grubenbauen (Infrastrukturstrecken) erreichbare Zustand berücksichtigt.

Des weiteren gibt es aus Sicht der Langzeitsicherheit keine speziellen Anforderungen an die Sorptionseigenschaften des vorgesehenen Versatzmaterials. Es werden aber die Sorptionseigenschaften des vorgesehenen Versatzmaterials und die damit verbundene Barrierewirkung berücksichtigt.

Im Endlager Konrad wird modellmäßig eine Freisetzung von Radionukliden mit dem Grundwasser in der Nachbetriebsphase unterstellt. Dieses Szenario bedingt, daß keine gesonderten Anforderungen an den Versatz im Hinblick auf die Langzeitsicherheit gestellt werden müssen.

#### 4 Versatzmaterial

Zur Verfüllung des "verbleibenden Volumens" wird das bei der Auffahrung von Grubenbauen gewonnene Haufwerk aus dem Einlagerungshorizont (Erz- und Nebengestein) verwendet. Das Konrad-Haufwerk wird entsprechend seiner Verwendung zum Verfüllen der Resthohlräume in den Einlagerungskammern und sonstigen Grubenbauen so aufbereitet, daß es mit den dafür vorgesehenen Versatztechniken in die Resthohlräume eingebracht werden kann.

### 5 Verfüllen der Hohlräume im Endlager Konrad

#### 5.1 Verfüllen der Resthohlräume in den Einlagerungskammern

Der bei der Stapelung von zylindrischen und rechteckigen Abfallgebinden verbleibende Hohlraum zwischen den Abfallgebinden einerseits und den Abfallgebinden und dem Gebirge andererseits wird mit dem Pumpversatz (Dickstoff) verfüllt.

#### 5.2 Verfüllen sonstiger Grubenbaue

Die sonstigen Grubenbaue (z. B. Rampen und Wetterstrecken) werden durch Versatztransportfahrzeuge (mit Bandschleuder) verfüllt.

Bei einem Schleuderversatzversuch im Ort 202 (etwa 6 m breit und 4,5 m hoch) der Schachtanlage Konrad konnte bis wenige Zentimeter unter der Firste, zum Teil aber auch firstbündig, der Streckenquerschnitt verfüllt werden. In einem Zeitraum von 3 Monaten wurde ein anschließendes Setzen des Versatzmaterials von insgesamt etwa 8 cm, bezogen auf die Gesamthöhe des Schüttkörpers, gemessen, wobei in der letzten Phase ein Setzvorgang kaum noch meßbar war.

Die bei dem Schleuderversatzversuch erhaltenen Versatzdaten wurden für die Betrachtungen zum Resthohlraumvolumen im verfüllten Endlager Konrad (siehe Kapitel 6) zugrunde gelegt. An ungestörten Proben des mit einer Kornverteilung von 0 bis 40 mm verschleuderten Versatzmaterial wurde ein effektives Porenvolumen von im Mittel etwa 40 % ermittelt. Hierbei handelt es sich um eine Porosität, wie sie auch bei Schüttgütern mit einer ähnlichen Kornverteilung festgestellt werden kann.

## 6 Resthohlraumvolumen im verfüllten Endlager Konrad

### 6.1 Resthohlraumvolumen in allen Einlagerungskammern unmittelbar nach dem Verfüllen

Es wird von einer vollständigen Verfüllung des Resthohlraumvolumens in den Einlagerungskammern mit Pumpversatz ausgegangen. Es muß allerdings im Hinblick auf die Sicherheitsanalyse zur Langzeitsicherheit zusätzlich das Resthohlraumvolumen in den Abfallgebänden im Mittel von etwa 21 % /4/ berücksichtigt werden.

Im Plan Konrad (Seite 2 - 4) wird davon ausgegangen, daß das derzeitige Grubengebäude die Auffahrung von etwa 1.100.000 m<sup>3</sup> Endlagerungshohlraum zuläßt und eine etwa 50 %ige Nutzung des Hohlraumes ermöglicht. Daraus ergibt sich ein zu verfüllendes Resthohlraumvolumen von 550.000 m<sup>3</sup>. Dem gegenüber steht der in /7/ dargestellte Kammernutzungsgrad der verschiedenen Gebindetypen, z. B. 50 % bei Container Typ I bis 65 % bei Container V. Legt man auf dieser Basis /7/ einen mittleren Kammernutzungsgrad von etwa 60 % zu Grunde, so ergibt sich demnach ein zu verfüllendes Resthohlraumvolumen von etwa 440.000 m<sup>3</sup>. In /4, S. 21/ wird in den Einlagerungskammern ein Bruttovolumen der Abfallgebände von etwa 650.000 m<sup>3</sup> zu Grunde gelegt. Dies entspricht einem mittleren Kammernutzungsgrad von etwa 59 %. Der Unterschied zu dem o. g. Kammernutzungsgrad wird als vernachlässigbar und sehr geringfügig angesehen. Für die weiteren Betrachtungen bzw. Berechnungen, insbesondere zur Sorbensmasse wird aus konservativen Gründen ein Versatzvolumen in den Resthohlräumen von 450.000 m<sup>3</sup> zu Grunde gelegt.

## 6.2 Resthohlraumvolumen in den verfüllten Einlagerungskammern zu Beginn der Nachbetriebsphase

Hinsichtlich der Sicherheitsanalyse zur Langzeitsicherheit wird das Resthohlraumvolumen in den Abfallgebinden ( $V_{GO}$ ) im Mittel von etwa 21 % berücksichtigt. Ausgehend von einem Bruttovolumen der Abfallgebinde von etwa 650.000  $m^3$  ergibt sich demnach ein Resthohlraumvolumen in den Abfallgebinden von etwa 137.000  $m^3$ .

Untersuchungen /5/ haben ergeben, daß der Pumpversatz mit einer Dichte von 2200  $kg/m^3$  eine Porosität von etwa 30 % ( $n=0,3$ ) hat. Dies entspricht einem Porenresthohlraumvolumen von 135.000  $m^3$ . Eine Verminderung des Resthohlraumes in den Abfallgebinden und in den Poren des Pumpversatzes durch das konvergierende Gebirge bis zum Beginn der Nachbetriebsphase wird nicht unterstellt.

Es muß allerdings im Hinblick auf die zu berücksichtigende Sorbensmasse in der Auflockerungszone (Kapitel 7) dem Sachverhalt Rechnung getragen werden, daß schon kurz nach der Auffahrung der Einlagerungsfelder wesentliche Konvergenzvorgänge ablaufen, die zu einer Auflockerung des umgebenden Gebirges führen. Das bis zum Zeitpunkt der Einlagerung auflaufende Konvergenzvolumen in den Einlagerungsfeldern kann nach /6, S. 18/ überschlägig auf der Basis der logarithmischen Anpassungsfunktion:  $V_K = c \times \ln(t+1)$  mit  $C = 0,03$  (Feld 1,  $C=0,04$ ) berechnet werden. Bei einer unterstellten Standzeit der jeweiligen Einlagerungsfelder im Durchschnitt von ca. 3 Jahren, bevor eingelagert werden kann, errechnet sich ein überschlägiges Konvergenzvolumen ( $V_{KI}$ ) für alle Einlagerungsfelder aufsummiert von ca. 50000  $m^3$ . Dieses Konvergenzvolumen wird bei den Berechnungen zum Resthohlraumvolumen nicht weiter betrachtet, da gemäß den eingangs gemachten Erläuterungen das ursprüngliche Auffahrvolumen - wie unterstellt - mit Nachreißarbeiten erhalten wird.

Das in /6, S. 17/ berechnete Konvergenzvolumen in den Einlagerungsfeldern zu Beginn der Nachbetriebsphase von etwa 90.000  $m^3$  basiert dagegen auf dem "alten" Versatzkonzept "Schleuderversatz in Einlagerungskammern".

Das Resthohlraumvolumen in den verfüllten Einlagerungskammern zu Beginn der Nachbetriebsphase wird ohne Berücksichtigung des Auflockerungsvolumens ( $V_A$ ) wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned}V_{RI} &= V_{GO} + V_{VI} \times n \\V_{RI} &= 137.000 \text{ m}^3 + 450.000 \text{ m}^3 \times 0,3 = 272.000 \text{ m}^3.\end{aligned}$$

Davon abweichend wurde in der Langzeitsicherheitsanalyse zu Beginn der Nachbetriebsphase ein Resthohlraumvolumen in den verfüllten Einlagerungsfeldern von  $366.000 \text{ m}^3$  zugrunde gelegt (Tabelle 1, Anhang). Diese Angabe beruht auf den Resthohlraumverhältnissen, die in /4/ auf der Basis des ursprünglichen Versatzkonzeptes "Schleuderversatz in Einlagerungskammern" zugrunde gelegt wurde.

Das in /4/ bei den Einlagerungsfeldern zusätzlich berücksichtigte, das Resthohlraumvolumen vergrößernde Auflockerungsvolumen ( $V_A$ ) von  $38.000 \text{ m}^3$  wird nunmehr mit ca.  $10.000 \text{ m}^3$  (Tabelle 2, Anhang) berechnet. Hiermit ergibt sich eine vergleichsweise wesentlich geringere Sorbensmasse des Festgesteins in der Auflockerungszone (Kapitel 7).

### 6.3 Resthohlraumvolumen in den sonstigen Grubenbauen unmittelbar nach dem Verfüllen

Die sonstigen Grubenbaue setzen sich zusammen aus den "alten" Infrastrukturstrecken mit einem Auffahrvolumen von etwa  $430.000 \text{ m}^3$  /4/ und den "neuen" Infrastrukturstrecken mit einem Auffahrvolumen nach dem derzeitigen Planungsstand von etwa  $350.000 \text{ m}^3$ . Die Infrastrukturstrecken (Streckenfelder) haben demnach ein Auffahrvolumen von insgesamt etwa  $780.000 \text{ m}^3$  (siehe /6, Anlage Nr.6.3).

Bei den "alten" Infrastrukturstrecken handelt es sich im wesentlichen um solche Grubenbaue, die für den Einlagerungsbetrieb nicht mehr benötigt werden. Das Auffahrvolumen dieser Strecken hat sich im Lauf der Jahre durch Konvergenz ( $V_{KII}$ "alt") verringert, bevor Versatzmaßnahmen durchgeführt werden. Ein Nachreißen dieser Strecken auf das ursprüngliche Auffahrvolumen vor den Versatzmaßnahmen ist nicht vorgesehen. Vor diesem Hintergrund

erfolgte die Berechnung des Resthohlraumvolumens ( $V_{RII}^{alt}$ ) unmittelbar nach dem Verfüllen wie folgt /4, Tabelle 2-4/:

$$V_{RII}^{alt} = V_0 - V_{KII}^{alt} - V_{VII}^{alt}$$

Bei den Berechnungen zum festen Versatzvolumen ( $V_{VII}^{alt}$ ) in den "alten" Infrastrukturstrecken wurde geschätzt, daß etwa 60 % der um 20 % konvergierten älteren Strecken verfüllt werden können und der Versatz eine Porosität von etwa 40 % ( $n=0,4$ ) hat /4/.

$$V_{VII}^{alt} = (V_0 - V_{KII}^{alt}) \times 0,6 \times (1-n)$$

$$V_{VII}^{alt} = (430\ 000\ m^3 - 86\ 000\ m^3) \times 0,6 \times (1-0,4) = 124\ 000\ m^3$$

(Tabelle 1, Anhang)

Das Resthohlraumvolumen ( $V_{RII}^{neu}$ ) in den für den Einlagerungsbetrieb aufgefahreten "neuen" Infrastrukturstrecken setzt sich zusammen aus:

- dem effektiven Porenvolumen im Versatzmaterial mit einem Wert von im Mittel etwa 40 % ( $n = 0,4$ ) und
- dem technisch bedingten Hohlraum im Firstbereich. Hierfür wurde ein realistischer Verfüllungsgrad von ca. 95 % unterstellt, der bei einem in situ-Versuch (siehe Kapitel 5.2) mit einer stationären Schleuderversatzanlage erreicht wurde und als Ausgangszustand im Endlager Konrad anzustreben ist.

Das Resthohlraumvolumen ( $V_{RII}^{neu}$ ) wird wie folgt berechnet:

$$V_{RII}^{neu} = V_0 \times 0,95 \times 0,4 + V_0 \times 0,05$$

$$V_{RII}^{neu} = 350.000\ m^3 \times 0,95 \times 0,4 + 350.000\ m^3 \times 0,05 = 150.000\ m^3$$

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß in Unterlagen geringfügig divergierende Angaben zum Resthohlraumvolumenanteil

gemacht wurden. Im Vergleich zu dem o. a. aktualisierten Resthohlraumvolumenanteil wird in /6/ ein Resthohlraumvolumenanteil von 50 % angenommen. Die Differenz wird im Vergleich zum Gesamthohlraumvolumen im Endlager Konrad als vernachlässigbar angesehen und es werden daher die o.g. Hohlraumangaben zu Grunde gelegt.

#### 6.4 Resthohlraumvolumen in den verfüllten sonstigen Grubenbauen zu Beginn der Nachbetriebsphase

Bei den Berechnungen zum Resthohlraumvolumen zu Beginn der Nachbetriebsphase wird gemäß den vorgenannten Erläuterungen die Konvergenz kumuliert berücksichtigt und abgezogen. In /8/ wurde die Konvergenz in den Streckenfeldern insgesamt nicht berechnet, da dies für die Anfangszeit des Bergbaus wegen der geringen Zahl der Strecken und wegen der geringen Konvergenzraten vertretbar war /6/.

Zu /4, Tabelle 2-4/ wurden die Angaben zum Konvergenzvolumen der Infrastrukturstrecken auf der Basis von bis zu dem Zeitpunkt ermittelten Konvergenzdaten abgeschätzt.

Nach /6 S.17/ wächst das Konvergenzvolumen ( $V_{KII}$ ) in den sonstigen Grubenbauen (Streckenfelder) bis zum Beginn der Nachbetriebsphase auf  $80.000 \text{ m}^3$  an. Das Resthohlraumvolumen in den sonstigen Grubenbauen zu Beginn der Nachbetriebsphase ( $V_{RIII}$ ) wird unter Berücksichtigung des Auflockerungsvolumens (Tabelle 1 u. 2, Anhang) wie folgt berechnet:

$$V_{RIII} = V_0 - V_{VII} - V_{KII} + V_A$$

$$V_{RIII} = 780.000 \text{ m}^3 - 324.000 \text{ m}^3 - 80.000 \text{ m}^3 + 16.000 \text{ m}^3 = 392.000 \text{ m}^3$$

Bei den Angaben zum festen Versatzvolumen ( $V_{VII}$ ) in den sonstigen Grubenbauen wurde angenommen, daß die in /4/ (Tabelle 1, Anhang) gemachten Angaben,  $V_{VII}^{\text{alt}} = 124.000 \text{ m}^3$ , auch unter den aktualisierten Randbedingungen zugrunde gelegt werden können.

Das feste Versatzvolumen ( $V_{VII}$ "neu") in dem neuen Infrastrukturstrecken wird hierbei wie folgt berechnet:

- $V_{VII}$ "neu" =  $V_0 - V_{RII}$ "neu"
- $V_{VII}$ "neu" =  $350.000 \text{ m}^3 - 150.000 \text{ m}^3 = 200.000 \text{ m}^3$  (siehe Tabelle 1, 1. Spalte)

#### 6.5 Gesamtrsthohlraumvolumen im Endlager Konrad zu Beginn der Nachbetriebsphase

Das Gesamtrsthohlraumvolumen im Endlager Konrad zu Beginn der Nachbetriebsphase (im Jahre 2045) ( $V_R$ ) von insgesamt etwa  $1\ 372\ 000 \text{ m}^3$  unter Berücksichtigung des Hohlraumvolumens in der Auflockerungszone ist Tabelle 2 (Anhang) zu entnehmen. Es wird darauf hingewiesen, daß für die Langzeitsicherheitsanalyse das wassergefüllte Porenvolumen im Pumpversatz beim Gesamtrsthohlraumvolumen im Endlager Konrad ebenfalls berücksichtigt werden muß.

#### 7. Sorbensmassen im Grubengebäude

Die Sorbensmasse im Grubengebäude setzt sich zusammen aus:

- der Versatzmasse im Grubengebäude,
- der Zementmasse in den Abfallgebänden und
- der Gesteinsmasse in der Auflockerungszone.

Die Versatzvolumina setzen sich wie folgt zusammen:

- $450.000 \text{ m}^3$  in den Einlagerungskammern (einschließlich dem wassergefüllten Porenvolumen)
- $124.000 \text{ m}^3$  in den "alten" Infrastrukturstrecken und
- $200.000 \text{ m}^3$  in den "neuen" Infrastrukturstrecken.

In /9/ wurde an dem abgebandenen Pumpversatz eine Dichte von etwa  $2.200 \text{ kg/m}^3$  ermittelt, die den Zementanteil und das wassergefüllte Porenvolumen im Pumpversatz berücksichtigt.

In /4/ wurde für den Versatz in den Infrastrukturstrecken eine Gesteinsdichte von  $2.800 \text{ kg/m}^3$  zu Grunde gelegt.

Die Zementmasse ergibt sich aus dem Zementvolumen von 367.000 m<sup>3</sup> bei einer Dichte von 2.500 kg/m<sup>3</sup>/4/. Zur Abschätzung der Gesteinsmasse in der Auflockerungszone wird in Anlehnung an die Gesamtporosität des Gesteins eine effektive Porosität des aufgelockerten Gebirges von 15 % angenommen /4/. Das Festgesteinsvolumen in der Auflockerungszone wird auf der Basis der o.g. Angaben wie folgt berechnet:

$$- \quad V_A = 0,15 \times V_{GA} \quad , \quad V_F = 0,85 \times V_{GA}$$

$$- \quad \text{Daraus folgt: } V_F = \frac{0,85}{0,15} \cdot V_A = \frac{0,85}{0,15} \times 26.000 \text{ m}^3 = 147 \text{ 000 m}^3$$

Für das Festgestein in den Auflockerungszone um die Infrastrukturstrecken und Einlagerungskammern wird eine Dichte von 2.800 kg/m<sup>3</sup> /4/ angenommen.

In Tabelle 3 sind die Angaben zur Sorbensmasse im Grubengebäude zusammengefaßt und die aktualisierten Daten denen aus /4/ gegenübergestellt.

Tabelle 3: Sorbensmassen im Grubengebäude

	Masse in 106 kg	
Einlagerungsfelder	260 <sup>1)</sup>	990
Infrastruktur	1120 <sup>1)</sup>	907
Abfallgebinde	918 <sup>1)</sup>	918
Auflockerungszone	1127 <sup>1)</sup>	412
<hr/>		
Summe	3425 <sup>1)</sup>	3227

1) Sorbensmassen nach /4/

## 8 Schlußbewertung

Die den Sicherheitsanalysen zur Langzeitsicherheit zugrunde gelegten Daten zum Resthohlraumvolumen und zur Sorbensmasse differieren von den in dieser Unterlage genannten Angaben. Dies ist im wesentlichen begründet durch eine zwischenzeitlich erfolgte Konzeptänderung der Verfüllung der Resthohlräume in den Einlagerungskammern und Aktualisierung der Berechnungen zu den Abbaueinwirkungen im Deckgebirge über der Grube Konrad, auf die in dieser Unterlage für die Berechnungen des Resthohlraumvolumens zu Beginn der Nachbetriebsphase im wesentlichen Bezug genommen wird. Zum Zeitpunkt der Durchführung der Langzeitsicherheitsanalyse /4/ lagen diese Eingangsdaten nicht vor.

In den Sicherheitsanalysen zur Langzeitsicherheit sind für das Resthohlraumvolumen ca.  $7,4 \cdot 10^5 \text{ m}^3$  und für die Sorbensmasse  $3,4 \cdot 10^9 \text{ kg}$  verwendet worden. Aus der vorstehend beschriebenen Ableitung ergibt sich ein um ca. 6 % niedrigerer Wert für die Sorbensmasse. Für das Modellvolumen des Grubengebäudes folgt ein um ca. 9 % <sup>?</sup>kleinerer Wert. Diese Änderungen des Modellvolumens und der Sorbensmasse sind sicherheitstechnisch vernachlässigbar.

*7,4 · 10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>  
ohne alte  
Klammern!*

## 9 Literaturverzeichnis

(zitierte Unterlagen)

- /1/ EU Nr. 404 Versatzsystem Systembeschreibung  
Pumpversatz
- /2/ EU Nr. 390 Versatzsystem Systembeschreibung  
Schleuderversatz
- /3/ Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver  
Abfälle in einem Bergwerk, Bundesanzeiger, Jahrgang 35,  
Nr. 2, vom 5. Januar 1983
- /4/ EU Nr. 76.1 Langzeitsicherheitsanalyse des Endlagers  
Konrad: Radionuklid ausbreitung in der  
Nachbetriebsphase
- /5/ EU Nr. 347 Vollversatz in Einlagerungskammern,  
Laborphase II, Versatzeigenschaften  
(Stand: Februar 1990)
- /6/ EU Nr. 244 Abbaueinwirkungen im Deckgebirge über der  
Grube Konrad, Prof. [REDACTED]  
[REDACTED] (1988)
- /7/ EU Nr. 421 Hohlraumnutzung der Einlagerungskammer  
bei verschiedenen Gebindetypen
- /8/ EU Nr. 96.1 Gutachten über Abbaueinwirkungen im  
Deckgebirge der Schachanlage Konrad,  
[REDACTED] (1984)
- /9/ EU Nr. 348 Vollversatz in Einlagerungskammern  
- Technikversuche -

Tabelle 1: geschätzte Hohlraumvolumina im Grubengebäude in m<sup>3</sup> zu Beginn der Nachbetriebsphase /4/ im Jahre 2010

Bereich	Auffahr- volumen V <sub>O</sub>	Konverg.- volumen V <sub>K</sub>	Resthohl- nach Konv. V <sub>RO</sub> =V <sub>O</sub> -V <sub>K</sub>	Auflocker.- volumen V <sub>A</sub> =V <sub>K</sub> x0,2	Gebinde- volumen V <sub>GB</sub>	festes Ge- bindevol. V <sub>G</sub> =(1-n)xV <sub>GB</sub>	Ver- satzvol. V <sub>VO</sub>	Porenvol. im Vers. V <sub>VP</sub> =V <sub>VO</sub> xn	festes Ver- satzvolumen V <sub>V</sub> =(1-n)V <sub>VO</sub>	Resthoh- raumvol V <sub>R</sub> *
Einlager- felder	1128 000	192 000 V <sub>K</sub> =V <sub>O</sub> x0,17	936 000	38 000	650 000	513 500 n=0,21	157 300 <sup>1)</sup>	62 900	94 400 n=0,4	366 000
Infrastrukt. -alt -neu	430 000 475 000	86 000 <sup>2)</sup> 81 000 <sup>5)</sup>	344 000 394 000	17 000 16 000	-- --	-- --	206 400 <sup>3)</sup> 394 000 <sup>6)</sup>	82 600 118 200	123 800 <sup>4)</sup> 276 100 <sup>7)</sup>	237 000 134 000
Zwischen- summe	2033 00	359 000	1674 000	71 000	650 000	513 500	757 700	263 700	494 300	737 000
Alte Ab- baufelde (LHD-Feld+ Spülversatz- feld)	2111 000 /6.S.13/	917 500 <sup>8)</sup>	1193 500	183 500	--	--	928 400 /6.S.13/	278 500	649 900 n=0,3	727 000
Summe	4144 000	1276 500	2867 500	254 500	650 000	513 500	1686 100	542 200	1144 200	1464000

\* V<sub>R</sub> = V<sub>O</sub> - V<sub>K</sub> + V<sub>A</sub> - V<sub>G</sub> - V<sub>V</sub>

- 1 55% des vorhandenen Hohlraums wurden in /4/ als verfüllbar angenommen
- 2 V<sub>K</sub> = V<sub>O</sub> x 0,2
- 3 60% des vorhandenen Hohlraums (V<sub>RO</sub>) wurden als verfüllbar angenommen
- 4 n = 0,4
- 5 V<sub>K</sub> = V<sub>O</sub> x 0,17
- 6 100% des vorhandenen Hohlraums (V<sub>RO</sub>) wurden als verfüllbar angenommen
- 7 n = 0,3
- 8 siehe /8/, Anlage 26 a ohne Feld 4 und 10

Tabelle 2: geschätzte und aktualisierte Hohlraumvolumina im Grubengebäude in m<sup>3</sup> zu Beginn der Nachbetriebsphase im Jahre 2045

Bereich	Auffahr- volumen V <sub>O</sub>	Gebinde- volumen V <sub>CB</sub>	feste Ge- bindevol. V <sub>G</sub> =(1-n)V <sub>BG</sub>	Versatz- volumen V <sub>VO</sub>	Porenvol. im Versatz V <sub>VP</sub> =V <sub>VO</sub> *n	feste Ver- satzvol. V <sub>V</sub> =(1-n)V <sub>VO</sub>	Konverg.- volumen V <sub>K</sub>	Auflock.- volumen V <sub>A</sub> =V <sub>K</sub> *0,2	Resthohl- volumen V <sub>R</sub> *
Einlager- felder	1100 000	650 000	513 000	450 000 n≈0,21	135 000	315 000 n≈0,3	50 000 <sup>1)</sup>	10 000	~282 000
Infrastr. strecken		-	-						
-alt	430 000	-	-	206 400 <sup>2)</sup>	82 500	124 000	80 000	15 000	~392 000
-neu	350 000	-	-	332 500 <sup>3)</sup>	133 000 n≈0,4	200 000	16/		
Zwischen- summe	1880 000	650 000	513 000	988 900	350 500	639 000	80 000	26 000	~674 000
Alte.Ab- baufelder	2111 000	-	-	928 400	278 500 n≈0,3	650 000	940 000 16/	188 000	~709 000
Summe	3991 000	650 000	513 000	1917 000	629 000	1289 000	1020 000	214 000	~1383 000

$$* V_R = V_O - V_G - V_V - V_K + V_A$$

- 1 Das Konvergenzvolumen wird bei den Berechnungen zum Resthohlraumvolumen nicht berücksichtigt.  
 2 siehe Tabelle 1  
 3 95% des vorhandenen Hohlraums werden als verfüllbar angenommen