

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: Standsicherheits und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers: Grubenteil
Südfeld

Autor: DBE

Erscheinungsjahr: 2005

Unterlagen-Nr.: P 215

Revision: 01

Unterlagenteil:



Morsleben	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Inhaltsverzeichnis

	Blatt
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Zusammenfassung	8
1 Aufgabenstellung	9
2 Annahmen und Voraussetzungen für das Rechenmodell	10
2.1 Materialverhalten	12
2.1.1 Mechanisches Verhalten	12
2.1.2 Thermisches Verhalten	15
2.1.3 Thermomechanische Kopplung	15
2.1.4 Hydratationsmodell für Salzbeton M3	16
2.2 Nachweise und Nachweiskriterien für die Bauzustände und den stabilen Endzustand	17
2.3 Berechnungsmethode	18
3 Berechnungsmodell	20
4 Ergebnisse und Bewertung	24
4.1 Bewertung des heutigen Zustandes	25
4.2 Bewertung der Bauzustände	26
4.3 Nachweis des stabilen Endzustandes	30
4.4 Temperaturberechnung	31
5 Verwendete Unterlagen	32
6 Glossar	34
 Verzeichnis der Anhänge	
Anhang 1: Schnitt SF8s - Gegenüberstellung der im Berechnungsmodell verwendeten Hohlraum- und Materialgrenzen mit angenommenen und gemessenen Schnittspuren durch die Abbaue sowie der Geologie des Salzstocks einschließlich Kriechklassen, Anlage 1, und das Deckgebirge	37
Anhang 2: Hohlraumgeometrien und Einteilung in Homogenbereiche im verwendeten Berechnungsmodell	38
Anhang 3: Gesamtverschiebung in vektorieller Darstellung zum Zeitpunkt 01/2001	38
Anhang 4: Betrag der Gesamtverschiebung [m] zum Zeitpunkt 01/2001	39
Anhang 5: Effektive viskoplastische Vergleichsdehnung [-] zum Zeitpunkt 01/2001	39
Anhang 6: Maximale Hauptspannung [MPa] zum Zeitpunkt 01/2001	40
Anhang 7: Minimale Hauptspannung [MPa] zum Zeitpunkt 01/2001	40
Anhang 8: Dilatanzkriterium [-] zum Zeitpunkt 01/2001	41
Anhang 9: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-] zum Zeitpunkt 01/2001	41

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers: Grubenteil Südfeld Blatt 4

Anhang 10:	Fluidkriterium [-] zum Zeitpunkt 01/2001	42
Anhang 11:	Betrag der Gesamtverschiebung [m] zum Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn der Verfüllmaßnahmen	42
Anhang 12:	Dilatanzkriterium [-] zum Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn der Verfüllmaßnahmen	43
Anhang 13:	Neigung [-] seit Beginn der Auffahrung und Schiefstellung pro 100a im Betrachtungszeitraum der Bauzustände [1/100a] an der Tagesoberfläche	43
Anhang 14:	Maximale rechnerische Temperaturänderung [K] am Salzspiegel seit Beginn der Verfüllmaßnahmen im Schnitt SF8s	44
Anhang 15:	Betrag der Gesamtverschiebung [m] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	44
Anhang 16:	Effektive viskoplastische Vergleichsdehnung [-] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	45
Anhang 17:	Firstsenkung [m] und Sohlhebung [m] an ausgewählten Konturstellen des Abbaus 8s/4a-Sohle und des Einlagerungsgrubenbaus 1	45
Anhang 18:	Maximale Hauptspannung [MPa] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	46
Anhang 19:	Minimale Hauptspannung [MPa] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	46
Anhang 20:	Dilatanzkriterium [-] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	47
Anhang 21:	Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	47
Anhang 22:	Fluidkriterium [-] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	48
Anhang 23:	Maximale Hauptspannung [MPa] ca. 2 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	48
Anhang 24:	Minimale Hauptspannung [MPa] ca. 2 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	49
Anhang 25:	Dilatanzkriterium [-] ca. 2 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	49
Anhang 26:	Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-] ca. 2 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	50
Anhang 27:	Fluidkriterium [-] ca. 2 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	50
Anhang 28:	Betrag der Gesamtverschiebung [m] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	51
Anhang 29:	Effektive viskoplastische Vergleichsdehnung [-] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	51
Anhang 30:	Maximale Hauptspannung [MPa] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	52
Anhang 31:	Minimale Hauptspannung [MPa] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	52

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers: Grubenteil Südfeld Blatt 5

Anhang 32: Dilatanzkriterium [-] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	53
Anhang 33: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	53
Anhang 34: Fluidkriterium [-] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	54
Anhang 35: Temperatur [°C] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	54
Anhang 36: Temperatur [°C] ca. 2 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	55
Anhang 37: Temperatur [°C] ca. 15 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	55
Anhang 38: Temperatur [°C] ca. 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue	56
Anhang 39: Zeitabhängiges Temperaturverhalten [°C] der Maximaltemperatur in den einzelnen Betonkörpern der Steinsalzabbaue	56
 Blattzahl dieser Unterlage	 56
 Verzeichnis der Anlagen	 Blattzahl der Anlage
Anlage 1: Sonderschnitt SF8s Geologie Kriechklassen 9M/GB/TY/0016/03	1
 Gesamtblattzahl dieser Unterlage (einschließlich Anlagen)	 57

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Abbildungsverzeichnis

	Blatt
Abbildung 2-1: Westansicht des Südfeldes im Bereich der Abbaureihen 8 nördlich (8n) bis 9 südlich (9s)	10
Abbildung 2-2: Sohlenrisse der Steinsalzabbaue und der Südlichen Richtstrecke mit Schnittspur durch die Abbaureihe 8 südlich des Südfeldes (SF8s)	11
Abbildung 3-1: Diskretisierung und Materialzuordnung in der Umgebung der Steinsalzabbaue	20

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Tabellenverzeichnis

	Blatt
Tabelle 2.1-1: Materialparameter für linear-elastisches Verhalten	12
Tabelle 2.1-2: Zuordnung der Kriechklassen	14
Tabelle 2.1-3: Materialparameter zur Temperaturberechnung	15
Tabelle 2.1-4: Wärmeausdehnungskoeffizient der berücksichtigten Materialien	15
Tabelle 3-1: Berücksichtigte historische Abfolge von Ereignissen der Auffahrung und der Verfüllung im Zeitbereich von 1931 bis 2001	22
Tabelle 3-2: Verfüllreihenfolge und rechnerischer Verfüllgrad der Auffahrungen im Schnitt SF8s /16/, t = 1 entspricht dem Verfüllbeginn im Schnitt SF8s	23

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Stichworte:

Hydratationsmodell, Nachweis der sicheren Bauzustände, Nachweis des stabilen Endzustandes, Salzbeton, Stilllegungskonzept, thermomechanische Berechnung

Zusammenfassung

Im Konzept zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist vorgesehen, die Grubenräume des Südfeldes zu einem abbauspezifischen Anteil mit Salzbeton zu verfüllen.

Zum Nachweis der Sicherheit der Bauzustände während des Verfüllens sowie des stabilen Endzustandes wurden thermomechanische Berechnungen an einem 2D-Modell durchgeführt. Dazu wurde im Zuge einer konservativen Auslegung im Berechnungsmodell der größte Durchbauungsgrad des Feldesteils mit Verfüllgraden zwischen ca. 65 und 85 % für die im Berechnungsschnitt liegenden Abbaue berücksichtigt.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass der Einfluss der Hydratationswärme aus dem eingebrachten Salzbeton auf die Temperatur am Salzspiegel während des Zeitraumes der Bauzustände mit unter 1 K gering ist. Damit ist der Nachweis der Sicherheit der Bauzustände hinsichtlich der Wärmeentwicklung geführt.

Des Weiteren weisen die Berechnungen nach, dass die Senkung und die Neigungsrate an der Tagesoberfläche gering sind sowie dass durch die Verfüllung eine Zustandsverbesserung während der Bauzustände sowohl hinsichtlich der Barrierenintegrität als auch der Tragelemente eintritt.

Die Auswertung des Dilatanz- und des Fluidkriteriums zeigt den Erhalt der vorhandenen Salzbarriere innerhalb des Betrachtungszeitraums von 1000 Jahren. Die Senkung der Tagesoberfläche beträgt auch nach 1000 Jahren deutlich weniger als 1 m. Entsprechend gering ist auch die Neigungsrate aus dieser Senkung. Mit der Zustandsverbesserung in der Salzbarriere vergrößert sich das Sicherheitsmaß dieser Schutzschicht, so dass damit insgesamt der Nachweis des stabilen Endzustandes geführt ist.

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

1 Aufgabenstellung

Zurzeit werden Maßnahmen zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) geplant. Das Stilllegungskonzept beinhaltet die Verfüllung der bestehenden Hohlräume mit einem hydraulisch abbindenden Versatzstoff (Salzbeton M3). Für diese Verfüllmaßnahme ist die Sicherheit der Bauzustände sowie der stabile Endzustand nachzuweisen. Hierfür sind rechnerische Nachweise für die verschiedenen Feldesteile zu führen. Für das Südfeld Bartensleben sind für einen ausgewählten charakteristischen Schnitt thermomechanische 2D-Berechnungen durchzuführen, die das Hydratationsverhalten des Salzbetons M3 und damit die sich beim Abbinden entwickelnde Wärme berücksichtigen.

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

2 Annahmen und Voraussetzungen für das Rechenmodell

Das Verhalten des Südfeldes wird am Beispiel eines repräsentativen, zweidimensionalen Schnittes durch das Südfeld bestimmt. In Abbildung 2-1 ist das Südfeld mit seinen wesentlichen Abbaureihen 8 nördlich (8n) bis 9 südlich (9s) dargestellt. Die Position für den gewählten Schnitt orientiert sich an der Größe des Durchbaungsgrades des Südfeldes sowie der Nähe zum Salzspiegel, Abbildung 2-1. In der Abbaureihe 8s wird der höchste Durchbaungsgrad und die größte Nähe zum Salzspiegel erreicht, so dass der Berechnungsschnitt durch diese Abbaureihe 8s geführt wird. Im Schnitt erstrecken sich die Steinsalzabbaue über einen Teufenbereich von der 5a-Sohle bis hinauf zur 2a-Sohle. Die Lage und Orientierung des Schnittes ist an der größten, mechanisch relevanten Stützweite des in dieser Abbaureihe liegenden Einlagerungsgrubenbaus 1 und der des obersten Abbaus 8s auf der 2a-Sohle ausgerichtet, Abbildung 2-2.

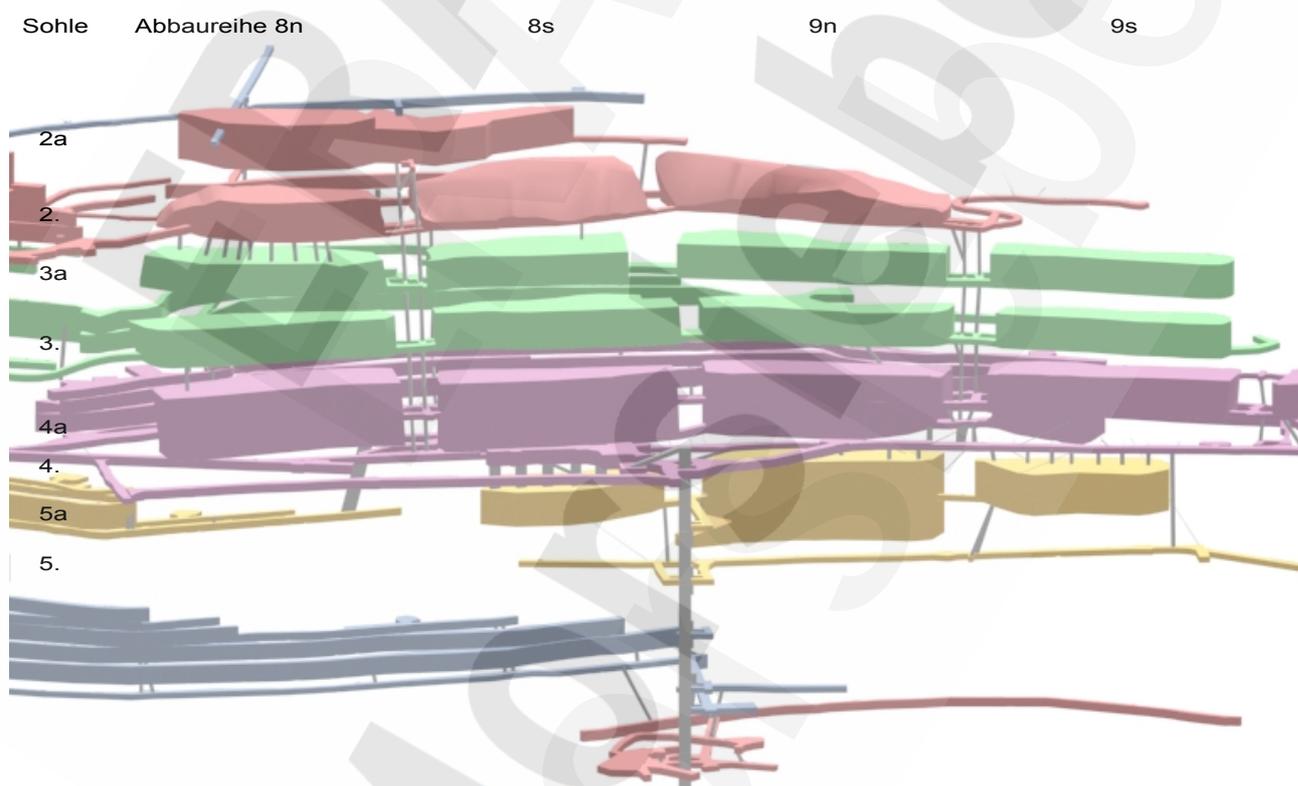


Abbildung 2-1: Westansicht des Südfeldes im Bereich der Abbaureihen 8 nördlich (8n) bis 9 südlich (9s)

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	

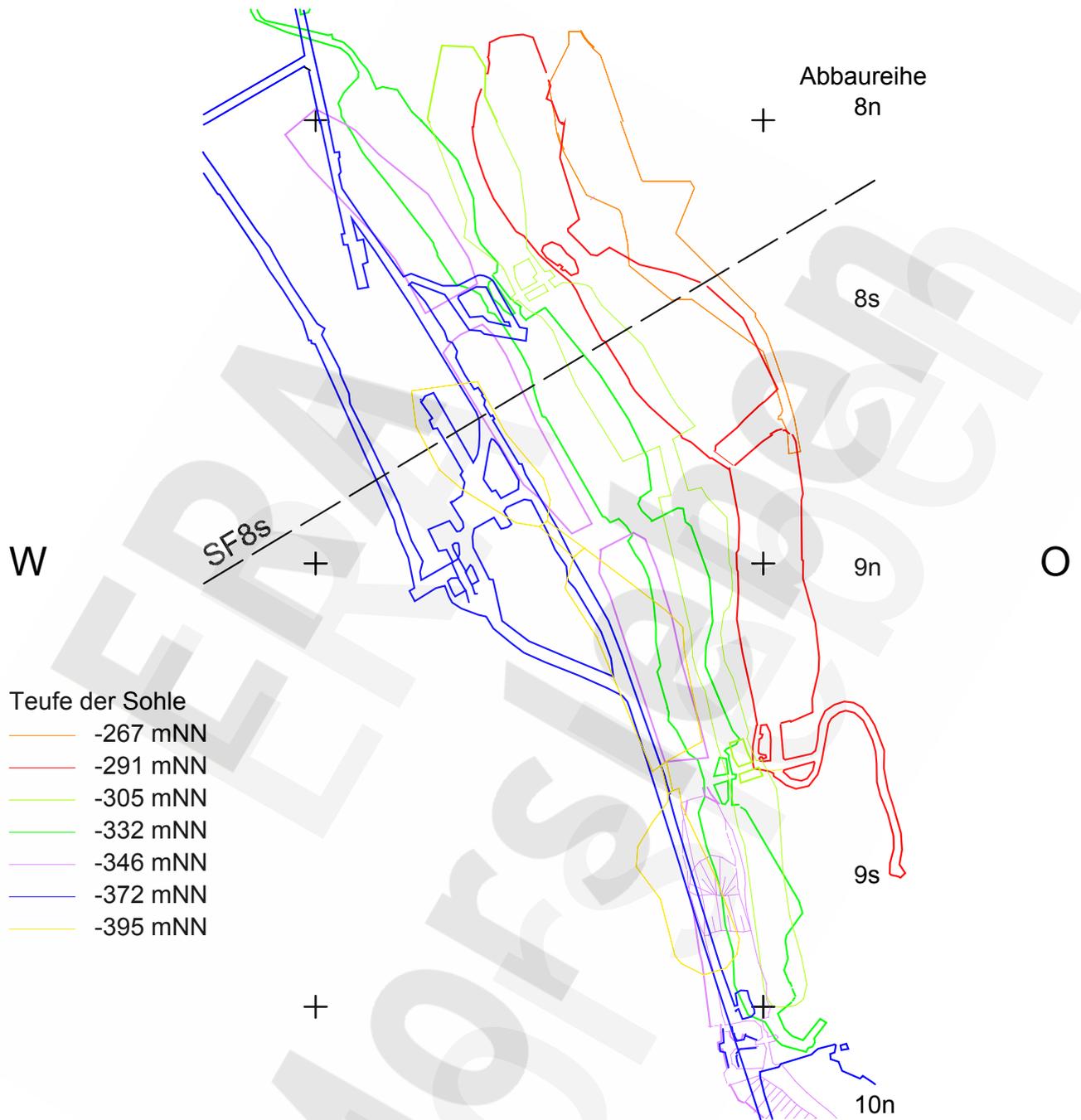


Abbildung 2-2: Sohlenrisse der Steinsalzabbaue und der Südlichen Richtstrecke mit Schnittpur durch die Abbaureihe 8 südlich des Südfeldes (SF8s)

Der Sonderschnitt durch die Abbaureihe 8 südlich des Südfeldes (SF8s) ist in Anhang 1 dargestellt. In dem Sonderschnitt basieren die Hohlraumquerschnitte und die angenommenen Schichtgrenzen der stratigraphischen Einheiten des Salzstocks mit der Zuordnung der Kriechklassen zu den stratigraphischen Einheiten auf Anlage 1. Für das Hutgestein sowie das Deckgebirge wird ein Schnitt durch ein vereinfachtes 3D-Modell des Deckgebirges verwendet.

Morsleben	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

2.1 Materialverhalten

Das Berechnungsgebiet enthält die Materialien Kali- und Steinsalz, Anhydrit, radioaktiver Abfall, Altversatz und Versatz zur Resthohlraumverfüllung in Form von Braunkohlefilterasche und Salzgrus, Hutgestein und Deckgebirge sowie für die Verfüllung Salzbeton M3. Es wird von bereichsweise homogenem und isotropem Verhalten ausgegangen. Die verwendeten Stoffgesetze und Materialparameter für Kali- und Steinsalz, Anhydrit, radioaktiven Abfall, Versatz, Hutgestein und Deckgebirge sind in den Kapiteln 2.1.1, 2.1.2 und 2.1.3 angegeben. In Kapitel 2.1.4 wird das zur Modellierung des thermomechanischen Verhaltens des Salzbetons M3 verwendete Hydratationsmodell zusammenfassend dargestellt.

2.1.1 Mechanisches Verhalten

Für Anhydrit, Deckgebirge und Hutgestein wird ein linear-elastisches Materialverhalten angenommen. Die Materialdaten dazu sind in Tabelle 2.1-1 angegeben. Der üblicherweise für Hauptanhydrit im Fall der Grube Bartensleben in numerischen Berechnungen verwendete Elastizitätsmodul von 30 GPa wird wegen der anzunehmenden Klüftigkeit im Südfeld entsprechend /1/ auf den hier angegebenen Wert abgemindert.

Material	Anfangs-Elastizitätsmodul E_0 / Elastizitätsmodul bei vollständiger Kompaktion E_f / Elastizitätsmodul E [GPa]	Querkontraktion ν [-]
Deckgebirge /1/	5	0,27
Hutgestein /2/	14	0,25
Hauptanhydrit /1/	10	0,27
Kali- und Steinsalz /3/	25	0,27
radioaktiver Abfall, Altversatz und Versatz zur Resthohlraumverfüllung	0,18 - 25	0,27

Tabelle 2.1-1: Materialparameter für linear-elastisches Verhalten

Kali- und Steinsalz, radioaktiver Abfall, Altversatz und Versatz zur Resthohlraumverfüllung des Einlagerungsgrubenbaus 1 weisen elastisch-viskoplastisches Materialverhalten auf. Grundlage der Stoffgesetze zur Beschreibung des elastisch-viskoplastischen Materialverhaltens ist die additive Zerlegung des Verzerrungstensors und des Tensors der Verzerrungsgeschwindigkeiten in einen elastischen und einen viskoplastischen Anteil. Der elastische Anteil der Stoffgesetze wird als linear-elastisch betrachtet, die Materialdaten sind in Tabelle 2.1-1 angegeben. Da radioaktiver Abfall, Altversatz und Versatz zur Resthohlraumverfüllung durch ein porositätsabhängiges Stoffgesetz beschrieben werden, ändert sich der Elastizitätsmodul E in Abhängigkeit von der aktuellen Porosität η zwischen dem Anfangswert E_0 und dem Wert bei vollständiger Kompaktion E_f entsprechend

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

$$E = E_f e^{-c_E \frac{\eta}{1-\eta_0}}$$

wobei sich der Materialparameter c_E aus E_0 , E_f und der in der Berechnung mit 0,315 angenommen Anfangs porosität η_0 ergibt

$$c_E = \left(\frac{1}{\eta_0} - 1 \right) \cdot \ln \left(\frac{E_f}{E_0} \right)$$

Der viskoplastische Anteil des Materialgesetzes für Kali- und Steinsalz wird als stationäres Kriechen nach /4/ modelliert

$$\dot{\epsilon}_{eff}^{cr} = A \cdot e^{\frac{-Q}{R \cdot T}} \left(\frac{\sigma_{eff}}{\sigma_*} \right)^n$$

mit

effektive stationäre Kriechrate $\dot{\epsilon}_{eff}^{cr}$

Effektivspannung nach von Mises σ_{eff}

$$\sigma_{eff} = \sqrt{3I_2^D}, I_2^D = \frac{1}{6} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 \right]$$

Hauptspannungen $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, zweite Invariante des Spannungsdeviators I_2^D

und den Materialparametern /4/

Spannungsexponent n	= 5 [-]
Kriechfaktor A	= 0,18 [1/d]
Aktivierungsenergie Q	= 54 [kJ/mol]

sowie der Gaskonstante $R = 8,314 \cdot 10^{-3}$ kJ/(mol K), der Normierungsspannung $\sigma_* = 1$ MPa und der Temperatur T [K] beschrieben. Um die Kriechfähigkeit der verschiedenen stratigraphischen Einheiten zu berücksichtigen, werden die Vorfaktoren (Kriechklassen) entsprechend /4/ gewählt. Der in Anlage 1 mit BGR-Carnallitit beschriebene Materialbereich wird im Berechnungsmodell nicht gesondert berücksichtigt. Die Zuordnung der Kriechklassen ist in Tabelle 2.1-2 dargestellt.

Morsleben	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Bezeichnung		Kriechklasse	Vorfaktor
z3LS	Liniensalz	5	1
z3OS-BK/BD	Orange- und Bank-/Bändersalz	3	1/4
z2HS2 und z2HS3 (Ost)	Hauptsalz (Ost)	1	1/16
z3AM	Anhydritmittelsalz	0	1/32
z3-z4	Leine-Aller-Folge	2	1/8
z2SF	Hartsalz	0	1/32
z2HS2 und z2HS3 (West)	Hauptsalz (West)	5	1

Tabelle 2.1-2: Zuordnung der Kriechklassen

Das porositätsabhängige Materialgesetz für das viskoplastische Verhalten des radioaktiven Abfalls, des Altversatzes in den Kalilagern und der Restverfüllung in dem Einlagerungsgrubenbau setzt sich nach /5/ additiv aus einem volumetrischen Anteil des Betrages $\dot{\epsilon}_{co}^{vol}$ mit

$$\dot{\epsilon}_{co}^{vol} = B_0 \frac{e^{B_2 \rho_f (1-\eta)}}{\rho_f (1-\eta)} (1 - e^{B_1 \sigma})$$

mit

Materialdichte zum aktuellen Zeitpunkt ρ

Materialdichte bei vollständiger Kompaktion ρ_f

mittlere Spannung $\sigma = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$

und den Materialparametern $B_0 = 3,16 \cdot 10^{17} \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, $B_1 = 0,2605 \text{ 1}/\text{MPa}$ und $B_2 = -0,0234 \text{ 1}/(\text{kg}/\text{m}^3)$ /6/ sowie einem gegenüber der mathematischen Beschreibung des Kali- und Steinsalzes um einen erweiterten Scheranteil für die effektive stationäre porositätsabhängige Kriechrate $\dot{\epsilon}_{eff}^{sh}$ zusammen, wobei die Erweiterung in der für den jeweiligen Zeitpunkt aktuellen Verdichtung F_D besteht,

$$\dot{\epsilon}_{eff}^{sh} = A e^{\frac{Q}{RT}} \left(\frac{1}{F_D} \frac{\sigma_{eff}}{\sigma_*} \right)^n$$

mit

$$F_D = \frac{\rho}{\rho_f} = 1 - \eta$$

und den Materialparametern des festen Salzes. Durch diese Parameterwahl ergibt sich im Endzustand für den Scheranteil das Verhalten des festen Salzes $\dot{\epsilon}_{eff}^{cr} = A \cdot e^{\frac{-Q}{R \cdot T}} \left(\frac{\sigma_{eff}}{\sigma_*} \right)^n$.

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Die Dichte der Materialien wird zu 2200 kg/m³ für das Kali- und Steinsalz, 2700 kg/m³ für den Anhydrit, 2300 kg/m³ für das Deckgebirge und das Hutgestein angesetzt. Für den radioaktiven Abfall, den Altversatz und den Resthohlraumversatz wird die Dichte im Anfangszustand zu 1508 kg/m³ angenommen und im Endzustand analog zum festen Salz zu 2200 kg/m³, so dass sich für diese Materialien eine Anfangsporosität von 0,315 ergibt.

2.1.2 Thermisches Verhalten

Für alle Materialien wird von thermisch isotropem Verhalten ausgegangen. Eine Wärmeübertragung wird in den Berechnungen allein durch die Wärmeleitung berücksichtigt, der Einfluss von Konvektion und Strahlung wird vernachlässigt. Die Materialparameter sind in Tabelle 2.1-3 zusammengestellt, wobei alle Parameter temperaturunabhängig sind.

	volumenspezifische Wärmekapazität c_v [J/(kg K)]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(K m)]
Luft	1010	0,026
Deckgebirge /7/	710	1,8
Hutgestein /7/	710	1,8
Kali- und Steinsalz	855	5,3
Hauptanhydrit	864	5,32
radioaktiver Abfall, Altversatz und Versatz zur Resthohlraumverfüllung	855	0,98

Tabelle 2.1-3: Materialparameter zur Temperaturberechnung

2.1.3 Thermomechanische Kopplung

Die Kopplung zwischen thermischer und mechanischer Berechnung erfolgt über den Wärmeausdehnungskoeffizienten α_T . Dieser ist für die einzelnen Materialien in Tabelle 2.1-4 angegeben.

Material	Wärmeausdehnungskoeffizient α_T [1/K]
Deckgebirge /8/	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Hutgestein /8/	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Kali- und Steinsalz /8/	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Hauptanhydrit /8/	$4,0 \cdot 10^{-5}$
radioaktiver Abfall, Altversatz und Versatz zur Resthohlraumverfüllung	$4,0 \cdot 10^{-5}$

Tabelle 2.1-4: Wärmeausdehnungskoeffizient der berücksichtigten Materialien

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

2.1.4 Hydratationsmodell für Salzbeton M3

Der hydraulisch abbindende Versatz wird mit dem in /9/ dargestellten Hydratationsmodell modelliert. Hierbei hängen die aktuellen thermischen und mechanischen Materialkennwerte Elastizitätsmodul sowie Druck- und Zugfestigkeit vom Abbindeprozess ab, d. h. sie sind über den Hydratationsfortschritt gekoppelt. Der aktuelle Hydratationsgrad α wird auf das wirksame Betonalter t_e bezogen

$$\alpha = e^{-\left(\ln\left(1 + \frac{t_e}{t_1}\right)\right)^b}$$

wobei b und t_1 betonspezifische Konstanten beschreiben. Das wirksame Betonalter t_e ergibt sich aus

$$t_e = \int_{t=0}^t e^{\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T}\right)} dt$$

mit

Aktivierungsenergie E_A = 33500 [J/mol] für $T > 293$ K

Betonreferenztemperatur T_1 = 293 [K] bei der reales und wirksames Betonalter übereinstimmen

Betontemperatur T

In /10/ wird die Identifikation der Parameter beschrieben, die zu folgenden Werten führt

Materialparameter t_1 = 4,2101 [d]

Materialparameter b = -1,1255 [-]

Zugfestigkeit f_{cte} bei $\alpha = 1$ = 2,09 [MPa]

Druckfestigkeit f_{ce} bei $\alpha = 1$ = 42,1 [MPa]

Elastizitätsmodul E_{cte} bei $\alpha = 1$ = 10,7 [GPa]

sowie auf eine auf die Zementmenge $C = 197 \text{ kg/m}^3$ bezogene Wärmemenge $Q_{ce}^{\max} = 482,5 \text{ J/g}$.

Weitere, zur Modellierung benötigte betonspezifische Parameter sind der Mindesthydratationsgrad α_0 sowie die Konstanten a und c . Diese ergeben sich nach /10/ wie folgt

$\alpha_0 = 0,385$ [-]

$a = 0,6667$ [-]

$c = 0,155$ [MPa^{1/3}]

Der Einfluss des Abbindevorgangs auf die Querkontraktionszahl ν wird in den hier vorliegenden Berechnungen wie in /10/ angegeben vernachlässigt. Es gilt $\nu = 0,26$.

Weitere vom Hydratationsgrad unabhängige Materialkennwerte sind entsprechend /10/

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Festmaterialdichte ρ	= 1950 [kg/m ³]
Volumenspezifische Wärmekapazität c_v	= 920 [J/(kg K)]
Wärmeleitfähigkeit λ	= 0,87 [W/(m K)]
Wärmeausdehnungskoeffizient α_T	= 2,6 · 10 ⁻⁵ [1/K]

Das mechanische Verhalten des Salzbetons wird durch einen elastisch-plastischen Ansatz nach Drucker/Prager /11/ approximiert. Die Materialparameter Kohäsion und Winkel der inneren Reibung lassen sich aus den aktuellen Werten der einaxialen Zug- und Druckfestigkeit und damit abhängig vom Hydratationsgrad bestimmen, wobei der Hydratationsprozess in der vorliegenden Berechnung als über die gesamte Berechnungsdauer aktiv angenommen wird.

2.2 Nachweise und Nachweiskriterien für die Bauzustände und den stabilen Endzustand

Zur Bewertung der Bauzustände werden die folgenden, in /12/ dargestellten Nachweise geführt:

- (1) Nachweis der Begrenzung der Senkung der Tagesoberfläche
- (2) Nachweis der Begrenzung der Schiefstellung von Gebäuden auf der Tagesoberfläche
- (3) Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume

Wünschenswert ist darüber hinaus, dass für die Salzbarriere das Dilatanz- oder das Fluidkriterium erfüllt sind. Das Dilatanzkriterium auf Basis der Mikrorissgrenze ist nach /13/ wie folgt formuliert

$$\text{zul. } \frac{\tau}{\sigma_*} \leq -0,01697 \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_*} \right)^2 + 0,8996 \cdot \frac{\sigma}{\sigma_*}$$

mit

$$\text{Oktaederschubspannung } \tau = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

$$\text{mittlere Spannung } \sigma = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

$$\text{Normierungsspannung } \sigma_* = 1 \text{ [MPa]}$$

das Fluidkriterium als

$$\text{zul. } p < \sigma_1$$

mit

kleinste Hauptspannung σ_1

teufenspezifischer Laugendruck $p = 0,012655 \text{ MPa/m} \cdot z_T$, Teufe z_T

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Druck wird hier abweichend von der üblichen Vorzeichenkonvention der Mechanik mit positivem Vorzeichen versehen.

- (4) Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Salzspiegel
- (5) Nachweis der Zustandsverbesserung des Salzes in den Konturbereichen der Grubenräume sowie den Tragelementen der Schweben durch Kontrolle der lokalen Festigkeitskriterien (Kurzzeitbruchfestigkeit, Dilatanzbedingung, Zugspannung (Zugfestigkeit 1 MPa /12/) und Druckspannung (Druckfestigkeit 15 MPa /12/))

Die Kurzzeitbruchfestigkeit wird anhand des folgenden Kriteriums bewertet, /12/,

$$\text{zul. } \frac{\tau}{\sigma_*} \leq b \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_*} \right)^p \cdot \frac{2k}{(1+k)+(1-k) \cdot J_m}$$

mit den Parametern $b = 2,7$, $p = 0,65$ und $k = 0,74$ sowie der vom Lode-Parameter m abhängigen Spannungsinvarianten $J_m = \frac{m \cdot (9 - m^2)}{(3 + m^2)^{3/2}}$. Konservativ wird $m = 1$ gesetzt.

Hinsichtlich der Barrierenintegrität wird der Verzerrungszustand überprüft, wobei das Aversin-Kriterium /12/ zu Grunde gelegt wird, aus dem eine maximal zulässige Vergleichsdehnung von 1 % folgt.

Für den Nachweis des stabilen Endzustandes gelten analoge, aber weniger Nachweiskriterien, da der Einfluss der Hydratationswärme und das Schutzziel Arbeitsschutz nicht mehr betrachtet werden muss. Folgende Nachweise sind zu führen:

- (1) Nachweis der Begrenzung der Verformung an der Tagesoberfläche für den Betrachtungszeitraum
- (2) Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume

Die Grubenräume des Südfeldes sind nicht zutrittsgefährdet, so dass die weiteren, in /12/ genannten Kriterien für zutrittsgefährdete Grubenräume kein Bestandteil des Nachweises sind. Die Zutrittsgefährdung der Grubenräume kann im Südfeld ausgeschlossen werden, da einerseits die geologische Salzbarriere mehr als 60 m beträgt /14/ und andererseits keine Zutrittspfade aus dem Deckgebirge über das Hauptanhydrit bzw. Kalilager existieren.

2.3 Berechnungsmethode

Die Berechnungen werden mit dem Programm FLAC^{3D} 2.2 (Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions) /5/ durchgeführt. Es ist ein Programm auf der Basis der Finite Differenzen Methode

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

(FDM), mit dem thermomechanische Strukturberechnungen durchgeführt werden können. Die Zeitintegration erfolgt über ein explizites Verfahren. Die Diskretisierung wird auf der Basis eines gemischten Verfahrens vorgenommen, so dass unstrukturierte Gitter möglich sind. Im Hinblick auf die Diskretisierung und das resultierende Gleichungssystem ergeben sich zwischen der Finite Elemente Methode (FEM) und der FDM keine Unterschiede, falls bei der FEM ein Elementansatz mit linearer Verschiebungsfunktion gewählt wird.

Für die Temperaturberechnung wird ebenfalls ein linearer Ansatz verwendet. Es wird eine thermo-mechanische Kopplung verwendet, bei der die Zeitschrittweite in der mechanischen Berechnung identisch mit der in der thermischen Berechnung ist, so dass der Berechnungsschritt des mechanischen Zustandes jeweils im Anschluss an den thermischen Berechnungsschritt erfolgt.

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

3 Berechnungsmodell

Zum Nachweis der Standsicherheit der Bauzustände und des stabilen Endzustandes wurde eine Berechnung für ein 2D-Berechnungsmodell durchgeführt. Ausgehend vom Sonderschnitt SF8s, Anhang 1, sind im Berechnungsmodell Vereinfachungen in der Geometrie der Hohlräume und der Geologie vorgenommen. Zum Vergleich mit dem Sonderschnitt SF8s ist in Anhang 2 das Berechnungsmodell mit seinen Materialbereichen dargestellt.

Die Homogenbereiche mit ihren zugeordneten Kriechklassen sind in der unmittelbaren Umgebung um die Steinsalzabbauwerke berücksichtigt. Materialbereiche mit geringer Mächtigkeit in größerem Abstand zu den Steinsalzabbauwerken oder mit fehlender Zuordnung zu einer Kriechklasse werden dem stärker kriechfähigen der beiden angrenzenden Materialien zugeordnet. Auf der östlichen Seite des Hauptanhydrits werden die einzelnen Homogenbereiche mit Ausnahme des Kalilaggers B in einer Kriechklasse zusammengefasst. Ein Ausschnitt aus dem Berechnungsmodell ist in Abbildung 3-1 dargestellt, der neben den nach Kriechklassen zusammengefassten Bereichen auch die Diskretisierung beinhaltet. Der in Abbildung 3-1 dargestellte Bereich zwischen der 2a- und der 4. Sohle beinhaltet den wesentlichen, im Schnitt vorhandenen Bereich der Steinsalzabbauwerke.

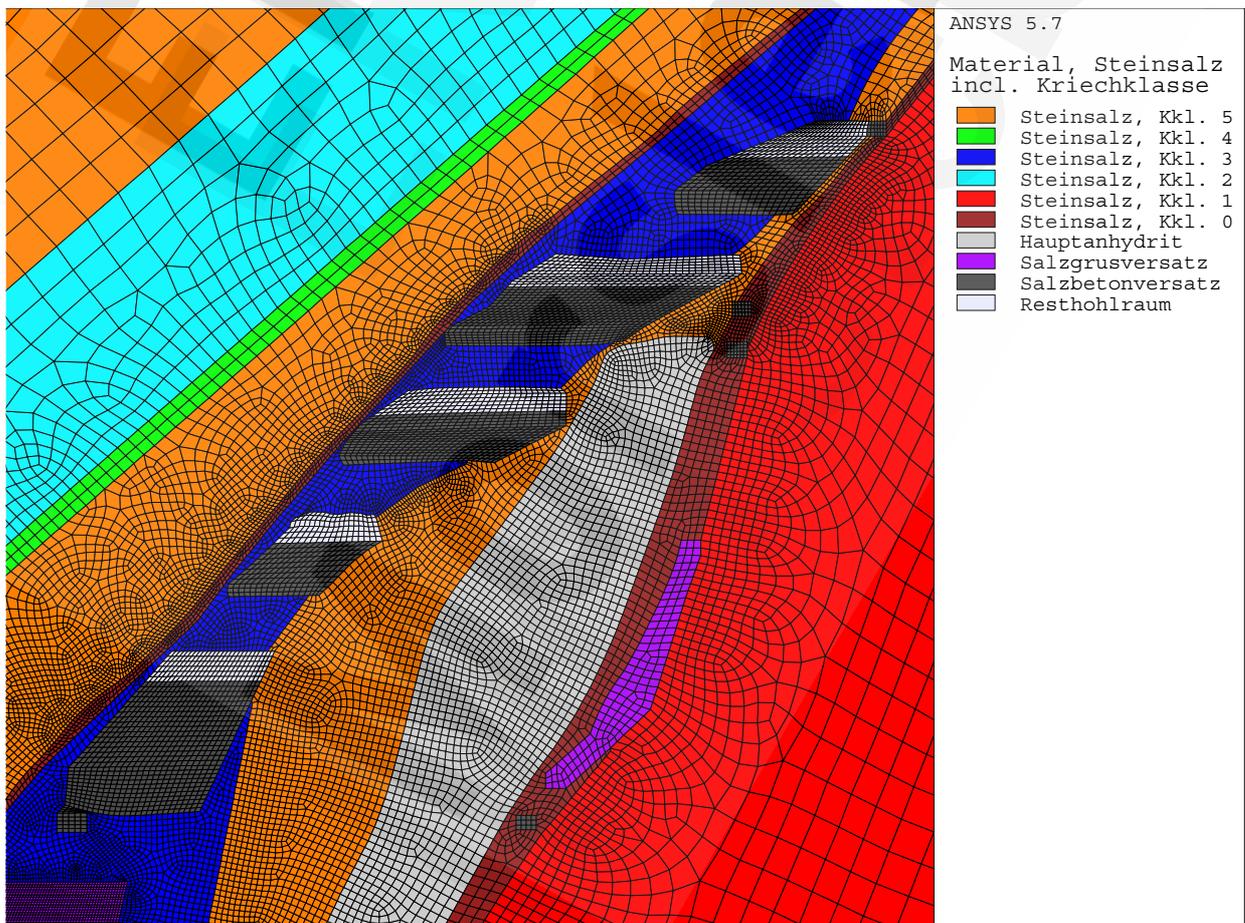


Abbildung 3-1: Diskretisierung und Materialzuordnung in der Umgebung der Steinsalzabbauwerke

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers: Grubenteil Südfeld Blatt 21

Das Deckgebirge wird mit Ausnahme des Hutgesteins zu einem Materialbereich zusammengefasst. Zwischen den Schollen des Hauptanhydrits wird am Übergang zwischen zwei Schollen Steinsalz der Kriechklasse 5 angenommen. Radioaktiver Abfall und Altversatz in dem Einlagerungsgrubenbau 1 wird zu einem Materialbereich zusammengefasst, dem ein porositätsabhängiges elastisch-viskoplastisches Verhalten zugeordnet wird. Das Kalilager wird im Teufenbereich von -365 mNN bis -324 mNN und im Bereich der Teufe von -469 mNN als mit Altversatz versetzt angenommen. Die übrigen Lagerstrecken des Lagers B sowie die Unterwerksbaue werden im Rahmen der Stilllegung mit Salzbeton verfüllt.

Das Berechnungsgebiet erstreckt sich in horizontaler Richtung über eine Breite von ca. 1000 m und in vertikaler Richtung über ca. 930 m, wobei der obere Berechnungsrand der Tagesoberfläche entspricht, Anhang 2. Von den Stößen der Steinsalzabbaue ausgehend beträgt der Abstand zum westlichen Rand ca. 500 m, zum östlichen Rand auf Grund des bis nahezu zur 2. Sohle vorhandenen Hauptanhydrits ca. 340 m. Der untere Berechnungsrand befindet sich in einer Teufe von -800 mNN. Dadurch beträgt der Abstand des unteren Randes zur Sohle des Einlagerungsgrubenbaus 1 ca. 400 m und der zur Mulde des Hauptanhydrits ca. 145 m.

Verschiebungen in Normalenrichtung können auf den seitlichen Rändern und dem unteren Rand nicht auftreten, tangential zu den Rändern sind sie reibungsfrei möglich. Es wird ein lithostatisch isotroper Anfangsspannungszustand angenommen, wobei für die Erdbeschleunigung ein Wert von $9,81 \text{ m/s}^2$ zu Grunde gelegt wird. Die Anfangstemperatur wird im gesamten Berechnungsgebiet mit $21,2 \text{ °C}$ angesetzt. Diese Temperatur entspricht der mittleren Temperatur im Bereich der zu verfüllenden Steinsalzabbaue, wenn ein sich mit der Teufe linear verändernder Temperaturverlauf mit den Parametern $T_0(z = 0 \text{ mNN}) = 17,5 \text{ °C}$ und $dT/dz = -0,012 \text{ °C/m}$ /15/ zu Grunde gelegt wird. Auf den Rändern werden adiabate Randbedingungen angenommen.

Die Berechnung wird auf der Grundlage eines zweidimensionalen Modells unter der Annahme eines ebenen Verzerrungszustandes durchgeführt. Das Berechnungsmodell beinhaltet 40.441 Zonen mit 40.585 Gitterpunkten in der Berechnungsebene.

Auf Grund des spannungsinduzierten Kriechprozesses im Salz wird die Auffahrungsgeschichte der Steinsalzabbaue mit berücksichtigt. Auffahrungen der räumlich entfernt liegenden Abbaue mit untergeordneter Bedeutung wie z. B. die der Kalilager oder die der Unterwerksbaue werden in der Berechnung dem nächstliegenden Ereigniszeitpunkt zugeordnet. Der im Rechenmodell simulierte Ablauf bis zum Beginn der Stilllegung ist in Tabelle 3-1 gegeben.

Morsleben	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers: Grubenteil Südfeld Blatt 22

Modell-zeitpunkt	Name	Bezeichnung	Sohle bzw. Teufe	Ereignis
05/1931	Lager B Lagerstrecke	09YEA32/R001	1. Sohle	Auffahrung
05/1931	Lager B	17YKL33/R005	4. Sohle	Auffahrung
05/1931	Lager B Lagerstrecke	15YKL33/R010	3. Sohle	Auffahrung
05/1931	Lager B Lagerstrecke	12YEA31/R001	2. Sohle	Auffahrung
05/1931	Lager B Lagerstrecke	11YKL33/R005	-284 mNN	Auffahrung
05/1931	Lager B	17YKL33/R005	-365 mNN	Auffahrung
05/1931	Lager B Lagerstrecke	21YER31/R001	6. Sohle	Auffahrung
05/1931	Lager B Abbau	21YKL33/R004	-469 mNN	Auffahrung
05/1931	Lager B Lagerstrecke	16YKL33/R014	-357 mNN	Auffahrung
05/1931	Lager B Lagerstrecke	16YKL33/R004	-351 mNN	Auffahrung
05/1931	Lager B Lagerstrecke	15YKL33/R017	-324 mNN	Auffahrung
05/1931	Lager B Abbau	21YKL33/R007	-461 mNN	Auffahrung
05/1931	1.Südliche Richtstrecke	17YER31/R001	4. Sohle	Auffahrung
05/1931	Lager B Abbau	21YKL33/R010	-454 mNN	Auffahrung
01/1935	Abbau 8s	15YER31/R004	3. Sohle	Auffahrung
01/1935	Lager B		-365 mNN - -324 mNN	Vollverfüllung
01/1935	Lager B	21YKL33/R004	-469 mNN	Vollverfüllung
07/1935	Abbau 8s	16YEA31/R003	4a-Sohle	Auffahrung
07/1935	Schwebe über Südstrecke		4. -4a-Sohle	Auffahrung
12/1939	Abbau 8s	12YER31/R004	2. Sohle	Auffahrung
07/1942	Abbau 8s	13YEA32/R003	3a-Sohle	Auffahrung
12/1943	Einlagerungsgrubenbau 1	18YEA32/R002	5a-Sohle	Auffahrung
12/1949	Umfahrung Südgesenk	22YEF10/R002	7. Sohle	Auffahrung
12/1949	Abbau 8s	10YEA32/R003	2a-Sohle	Auffahrung
12/1949	Lager B	22YER31/R001	7. Sohle	Auffahrung
12/1949	Südliche Richtstrecke	19YER31/R001	5. Sohle	Auffahrung
01/1976	Versturzstrecke	17YEA33/R001	4. Sohle	Auffahrung
02/1991	Einlagerungsgrubenbau 1	18YEA32/R002	5a-Sohle	53 % Teilverfüllung
02/1991	Wetterstrecke	17YEA34/R001	4. Sohle	Auffahrung
01/2001	Einlagerungsgrubenbau 1	18YEA32/R002	5a-Sohle	Resthohlraumverfüllung

Tabelle 3-1: Berücksichtigte historische Abfolge von Ereignissen der Auffahrung und der Verfüllung im Zeitbereich von 1931 bis 2001

Die zeitliche Abfolge der Verfüllung im Rahmen der Stilllegung wird auf der Basis einer täglichen Verfüllmenge von 970 m³ Beton je Verfüllrohrleitung bei maximal zwei Verfüllrohrleitungen modelliert, wobei jeweils ein Rohr pro Steinsalzabbau zur Verfügung steht. Die Verfülldauer berücksichtigt einen 3-Schicht-Betrieb in einer 5-Tage-Woche. Es wird eine mittlere Einbringtemperatur von 30°C berücksichtigt. Die Verfüllgrade der Steinsalzabbaue sind durch /16/ vorgegeben. Angaben zur zeitlichen Reihenfolge der Verfüllung und zum Verfüllgrad sind in Tabelle 3-2 zusammengefasst. Als Berechnungszeitpunkt für den Beginn der Verfüllung im Schnitt SF8s wurde 7/2008 angenommen.

Morsleben	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Verschiebt sich der Zeitpunkt für den Beginn der Verfüllung, führt das zu keinen signifikanten Änderungen in der Bewertung der Berechnungsergebnisse. Der Einfluss von Abweichungen vom Verfüllplan auf die Bewertung der Berechnungsergebnisse wird in Kapitel 4.2 diskutiert.

Hohlraum	Verfüllbeginn t [d]	Verfülldauer in Arbeitstagen	Verfüllgrad [%]
Strecken der 4. Sohle	1	1	100
Kalilager 4. Sohle	15	1	100
Abbau 8s/4a-Sohle	402	44	85
Abbau 8s/3. Sohle	844	17	67
Abbau 8s/3a-Sohle	1097	25	68
Kalilager 2. Sohle	1097	1	100
Kalilager -284 mNN	1097	1	100
Abbau 8s/2. Sohle	1237	35	65
Abbau 8s/2a-Sohle	1314	12	70
Kalilager 1. Sohle	1953	1	100

Tabelle 3-2: Verfüllreihenfolge und rechnerischer Verfüllgrad der Auffahrungen im Schnitt SF8s /16/, t = 1 entspricht dem Verfüllbeginn im Schnitt SF8s

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

4 Ergebnisse und Bewertung

Zur Bewertung des aktuellen Zustandes, der Standsicherheit und Integrität während der Bauzustände sowie für den stabilen Endzustand sind die Berechnungsergebnisse für verschiedene Zeitpunkte vor und nach der Verfüllung wie folgt dargestellt:

Für den Zeitpunkt 01/2001 werden in Anhang 3 bis Anhang 5 das vektorielle Verschiebungsfeld, der Betrag der Gesamtverschiebung und die viskoplastische Vergleichsdehnung dargestellt, in Anhang 6 und Anhang 7 die maximale und die minimale Hauptspannung sowie in Anhang 8 bis Anhang 10 die Auswertung der spannungsbasierten Kriterien zur Dilatanz und zur Kurzzeitbruchfestigkeit sowie die des Fluidkriteriums. Die Weiterentwicklung des Verschiebungszustandes bis zum rechnerischen Beginn der Verfüllung im Berechnungsschnitt in 07/2008 ist in Anhang 11 mit dem Gesamtverschiebungsbetrag dargestellt und in Anhang 12 ist der Ausnutzungsgrad angegeben, der aus dem Dilatanzkriterium resultiert.

Für die Bauzustände wird der Nachweis des Schutzes der Tagesoberfläche an Hand der Neigung für zwei ausgewählte Zeitpunkte in Anhang 13 gezeigt und der Nachweis der geringfügigen Temperaturerhöhung am Salzspiegel durch die zeitliche Entwicklung der stärksten Erwärmung an Salzspiegel in Anhang 14. Für die weiteren Nachweise wird in Anhang 15 bis Anhang 22 der Zustand unmittelbar nach dem rechnerischen Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbau in 02/2012 mit dem Gesamtverschiebungsbetrag, der viskoplastischen Vergleichsdehnung, der zeitlichen Entwicklung der Konturverschiebung zweier Abbaue und der maximalen sowie der minimalen Hauptspannung dargestellt, des Weiteren werden die Ausnutzungsgrade gezeigt, die aus dem Dilatanz-, dem Kurzzeitbruchfestigkeits- sowie dem Fluidkriterium resultieren. In Anhang 23 bis Anhang 27 wird der Zustand für den Berechnungszeitpunkt zwei Jahre nach Abschluss der Verfüllung mit der maximalen sowie der minimalen Hauptspannung gezeigt sowie die aktuellen Werte des Dilatanz-, des Kurzzeitbruchfestigkeits- und des Fluidkriteriums.

Der stabile Endzustand wird an Hand des Zustandes 1000 a nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbau nachgewiesen. Dazu werden in Anhang 28 bis Anhang 34 der Gesamtverschiebungsbetrag, die viskoplastische Vergleichsdehnung, maximale und minimale Hauptspannung sowie die Werte des Dilatanz-, des Kurzzeitbruchfestigkeits- und des Fluidkriteriums dargestellt.

Die Entwicklung der Temperatur ist zu einzelnen Zeitpunkten in Anhang 35 bis Anhang 38 dargestellt, dieses sind der Zustand unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbau sowie der Zustand für die Berechnungszeitpunkte 2, 15 und 50 a nach Abschluss der Verfüllung. Zur Darstellung der wärmeproduzierenden Bereiche ist in Anhang 39 die zeitliche Entwicklung der maximalen Betonkerntemperatur innerhalb der Steinsalzabbau gezeigt.

Innerhalb der Darstellungen wird, soweit nicht durch die Begriffsbestimmung vorgegeben, die in der Mechanik übliche Vorzeichenkonvention verwendet, d. h. dass es sich bei Werten mit positivem Vorzeichen um Zugspannungen bzw. Streckungen handelt und bei Werten mit negativem Vorzeichen um Druckspannungen bzw. Stauchungen.

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

4.1 Bewertung des heutigen Zustandes

Für den Zustand zum Berechnungszeitpunkt 1/2001 und weiter bis zum Beginn der Verfüllmaßnahme wird das Verschiebungsfeld durch die Auflast des Gebirges bestimmt, Anhang 3 und Anhang 4. Es ergeben sich die größten Verschiebungen mit ca. 0,5 m am westlichen Stoß des Abbaus 8s/4a-Sohle. Gegenüber den Verschiebungen an den westlichen Stößen und Firsten der Steinsalzabbau sind die Verschiebungen an den östlichen Stößen und Sohlen durch die blockierende Wirkung des Hauptanhydrits um bis zu einer Größenordnung geringer. In den einzelnen Schweben existiert jeweils ein eng begrenzter Bereich, in dem sich die Bewegungsrichtung aus der Firstsenkung des tiefer liegenden Abbaus auf der westlichen Seite in die Sohlhebung des darüber liegenden Abbaus auf der östlichen Seite umkehrt. In diesen Bereichen der Bewegungsumkehr akkumulieren die Verzerungen, Anhang 5. In den Schweben zwischen der 5a-Sohle und der 3a-Sohle treten rechnerisch Scherbänder auf, in denen durchgängig Werte der viskoplastischen Vergleichsdehnung von mehr als 4 % vorliegen und als Maximalwerte lokal ca. 8 % erreicht werden. Oberhalb der 3a-Sohle werden durchgängig Werte von ca. 2 % erreicht, lokal maximal bis zu 4 %. Der Abbau 8s/2a-Sohle grenzt unmittelbar an das Kalilager B. Hier werden firstnah Vergleichsdehnungen von bis zu ca. 4 % erreicht. Innerhalb der Salzbarriere beträgt die viskoplastische Vergleichsdehnung ca. 0,2 %, nur oberhalb des westlichen Stoßes des Abbaus 8s/2a-Sohle ergibt sich am Übergang zwischen z3-z4 und dem östlich dazu liegenden z2HS eine schmale Zone mit Werten bis zu 0,4 %. Die Vergleichsdehnung in der Salzbarriere liegt damit deutlich unter 1 %.

Die maximale Hauptspannung, Anhang 6, weist Zugspannungen im konturnahen Bereich um die Steinsalzabbau aus. Werte signifikant über 1 MPa werden östlich des Stoßes der Südlichen Richtstrecke/4. Sohle erreicht, in der Schweben zwischen 5a- und 4. Sohle sowie in der Schweben zwischen 2.- und 2a-Sohle. Dabei werden rechnerisch Maximalwerte von über 4 MPa erreicht. Ebenso treten Zugspannungen zwischen den offenstehenden Kalilagern der 2. Sohle auf sowie wegen der fehlenden Kriechfähigkeit des Hauptanhydrits an der Westflanke des zwischen der 4a-Sohle und der 3. Sohle verfüllten Lagerteils. In der Salzbarriere gibt es oberhalb der Abbaue einen nahezu entlasteten Bereich, vereinzelt werden von vorhandenen Schichtgrenzen ausgehend Zugspannungen bis zu ca. 0,5 MPa erreicht. Im Hauptanhydrit treten maximale Zugspannungen von bis zu ca. 4 MPa auf.

Im Fall der Schweben weist auch die minimale Hauptspannung in Sohle und Firste konturnah nahezu entlastete Zonen und im geringen Umfang auch Zugspannungen aus, Anhang 7. Gleichzeitig ergeben sich am Übergang vom westlichen Stoß zur Sohle und vom östlichen Stoß zur Firste Zonen mit hoher Druckspannung, die durch weitgehend mit den Scherbändern übereinstimmende Bänder mit etwas niedrigeren Druckspannungen verbunden sind. Rechnerisch beträgt die maximale Druckspannung ca. 16 MPa. Mit 18 MPa etwas höher fällt die maximale Druckspannung im Kalilager B auf Höhe der 1. Sohle aus. Hier wird die Druckspannung auf Grund der konturnahen Lage zur Auffahrung und der geringen Kriechfähigkeit des Kalilagern erreicht. Vergleichbar hohe Spannungen werden an der westlichen Kontur des Einlagerungsgrubenbaus 1, an der das Kalilager A ansteht, erreicht. Im Hauptanhydrit werden lokal maximale Druckspannungen von ca. 18 MPa erreicht.

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Mit Hilfe des spannungsbezogenen Dilatanzkriteriums werden beanspruchte Bereiche ausgewiesen, Anhang 8. Diese Bereiche stimmen weitgehend mit denen überein, in denen auch Zugspannungen auftreten, Anhang 6. Das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium weist in den mit Zugspannungen über 2 MPa belasteten Bereichen östlich des Stoßes der Südlichen Richtstrecke/4. Sohle sowie in der Schwebe zwischen der 2. und der 2a-Sohle einen Ausnutzungsgrad von 1 aus, Anhang 9.

Zusammenfassend wird im konturnahen Bereich und hier besonders in den Schweben vereinzelt sowohl vom Dehnungs- als auch vom Spannungszustand ein hoch beanspruchter Zustand ausgewiesen, der z. T. auch mit Befund festgestellt wurde /17/. Die Schweben weisen durchgängig dilatante Bereiche aus. Auf Grund der ebenfalls ausgewiesenen Verzerrungsgrößen von mehr als 2 – 3 % ist von einem fortgeschrittenen Schädigungszustand auszugehen. Die Schweben befinden sich im Kriechbruchzustand. Im Fall der Schwebe zwischen dem Einlagerungsgrubenbau 1 und der 4. bzw. 4a-Sohle ist mit der Verfüllung des Einlagerungsgrubenbaus vorsorglich bereits eine zusätzliche Stützmaßnahme unternommen worden.

Hinsichtlich der Barrierenintegrität lässt sich festhalten, dass die Salzbarriere entlang der Schichtgrenzen eine Dicke von ca. 160 m aufweist und rein vertikal eine Dicke von ca. 100 m und damit größer als 60 m ist. Die Barrierenintegrität ist demnach durch das Abstandskriterium nachgewiesen und wird durch die Einhaltung des Dilatanzkriteriums in hinreichend großen Bereichen untermauert. Das Fluidkriterium ist ein zum Dilatanzkriterium alternatives Kriterium zur Bewertung der Barriere. Es weist in weiten Bereichen einem Ausnutzungsgrad über 1 aus, Anhang 10, jedoch ist es im vorliegenden Fall für die Beurteilung von Standsicherheit und Barriere nicht relevant.

Bis zum Beginn der Verfüllmaßnahmen im Berechnungsschnitt des Südfeldes nehmen die Deformationen auf Grund der Kriechfähigkeit des Salzes zu, Anhang 11, Änderungen im Spannungszustand treten nur in geringem Umfang auf, Anhang 12.

4.2 Bewertung der Bauzustände

Die im Berechnungsmodell berücksichtigte Verfüllung des Südfeldes erstreckt sich auf einen Zeitraum von ca. 5,3 Jahren, Tabelle 3-2. Die Verfüllung der Steinsalzabbauende endet planmäßig nach ca. 3,6 Jahren. Mit einem zeitlichen Abstand von mehr als 1,5 Jahren dazu wird lediglich noch das Kalilager B der 1. Sohle verfüllt, einer Auffahrung mit geringen Querschnittabmessungen und einem geringen Wärmeeintrag in das betrachtete Gesamtsystem. Die Bewertung der Bauzustände beschränkt sich daher auf den Zeitraum bis zum Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbauende.

Nachweis der Begrenzung der Senkung der Tagesoberfläche: Rechnerisch beträgt die maximale Senkung an der Tagesoberfläche zum Zeitpunkt 01.01.2001 ca. 16,6 cm und nimmt bis zum Beginn der Verfüllung um ca. 1 cm zu. Die maximale Senkung hat sich bis zum Abschluss der Verfüllmaßnahme nur noch geringfügig erhöht und beträgt zu diesem Zeitpunkt rechnerisch ca. 17,9 cm. Nach weiteren 50 a wird eine maximale Senkung an der Tagesoberfläche von ca. 19,1 cm erreicht, so dass durch die Verfüllmaßnahme insgesamt eine signifikante Stabilisierung des Grubengebäudes

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

festzustellen ist. Der Schutz der Tagesoberfläche ist bei einer maximal zulässigen Senkung von 1 m zu jedem Zeitpunkt sicher gewährleistet.

Nachweis der Begrenzung der Schiefstellung von Gebäuden auf der Tagesoberfläche: Für Punkte an der Tagesoberfläche, die oberhalb der Abbaureihe und zum östlichen Berechnungsrand hin liegen, ist in Anhang 13 für zwei Zeitpunkte die Neigung gegenüber dem Anfangszustand und die daraus abzuleitende Rate dargestellt. Die maximale Neigungsrate zwischen den beiden Zeitpunkten bezogen auf eine Gebäudelebensdauer von 100 a beträgt ca. 0,006 %/100 a. Bei einer zulässigen Neigungsrate von 1 m/300 m pro 100 a entsprechend 0,33 %/100 a ist der Schutz der Gebäude gegen Schiefstellung an der Tagesoberfläche sicher gewährleistet.

Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume: Dieser Nachweis ist bereits auf Grund der in /12/ angegebenen Sicherheitsabstände geführt, da bei einer erforderlichen Mindestdicke der ungestörten Salzbarriere von 60 m eine ausreichend dicke Salzbarriere bei einer dilatanzfreien und verzerrungsarmen Salzdicke von ca. 90 m senkrecht zum Deckgebirge und von ca. 120 m entlang der Schichten sicher gegeben ist. Des Weiteren ergibt sich mit dem Wärmeeintrag eine kontinuierliche Zustandsverbesserung in der Salzbarriere. Sie wirkt sich zunächst in der Umgebung der frühzeitig verfüllten Abbaue aus, Anhang 20. Im Hinblick auf den Verzerrungszustand setzt sich die Deformation zwar fort, die Änderung gegenüber dem aktuellen Zustand ist aber auf Grund des geringen zeitlichen Abstandes klein. Innerhalb der Salzbarriere beträgt die viskoplastische Vergleichsdehnung weiterhin ca. 0,2 % mit Ausnahme der oberhalb des westlichen Stoßes des Abbaus 8s/2a-Sohle am Übergang zwischen z3-z4 und dem östlich dazu liegenden z2HS vorhandenen schmalen Zone mit Werten bis zu 0,4 %.

Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Salzspiegel: Durch den großen Abstand zwischen dem Salzspiegel und den zu verfüllenden Abbauen tritt die Temperaturänderung am Salzspiegel zeitlich verzögert ein. Deshalb ist die größte Temperaturänderung am Salzspiegel für einen Betrachtungszeitraum von 50 a nach Beginn der Verfüllung in Anhang 14 dargestellt. Die Zeitspanne für die Bauzustände umfasst dabei nur einen Zeitraum von insgesamt ca. 5 Jahren und zwar den zwischen 07/2008 und 02/2012. Innerhalb des Zeitraumes der Bauzustände steigt die Temperatur am Salzspiegel durch den großen Abstand zum Salzspiegel nicht, innerhalb des Betrachtungszeitraumes von 50 a steigt die Temperatur rechnerisch um ca. 0,3 K, die maximale Temperaturerhöhung ca. 0,4 K und wird ca. 90 a nach Beginn der Verfüllung erreicht. Bei einer zulässigen Temperaturerhöhung am Salzspiegel von 1 K während der Bauzustände ist die Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung bei einer maximal auftretenden Temperaturänderung von 0,4 K selbst über einen Zeitraum von mehreren 100 Jahren sicher gegeben.

Nachweis der Zustandsverbesserung des Salzes in den Konturbereichen der Grubenräume sowie in den Tragelementen der Schweben: Für den Nachweis der Zustandsverbesserung des Salzes in den Konturbereichen sowie in den Tragelementen sind drei Effekte zu berücksichtigen: Mit der auflaufenden Konvergenz in den verfüllten Abbauen übernimmt das Verfüllmaterial eine mittragende Funktion und aus dem Hydratationsprozess resultiert sowohl ein instationäres Temperaturfeld als auch eine über der Zeit zunehmende Festigkeit des Verfüllmaterials.

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Im konturnahen Bereich wirkt sich der Wärmeeintrag während der Zeitdauer der Bauzustände günstig aus, indem mit dem Wärmeeintrag beginnend zusätzlich zum ursprünglich vorhandenen Spannungszustand ein Druckspannungszustand aus der thermischen Expansion überlagert wird, Anhang 18 und Anhang 23. Die in den Schweben vorhandenen Zugspannungen werden in der Folgezeit nach der Verfüllung nahezu vollständig abgebaut. Gleichzeitig tritt kurzzeitig lokal in der Konturnähe der verfüllten Steinsalzabbaue, speziell in den Scherbändern und den Kalilagern A und B, eine deutliche Erhöhung der Druckspannungen von mehr als 15 MPa auf, Anhang 19 und Anhang 24. Die Entwicklung des Ausnutzungsgrades im Dilatanz- und im Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium korreliert in erster Linie mit der aus der maximalen Hauptspannung, insofern ergibt sich eine Verbesserung in den Konturbereichen und Schweben. Innerhalb der Salzbarriere ergibt sich im Anschluss an die Verfüllung eine kontinuierliche Verbesserung, Anhang 20 und Anhang 25 für das Dilatanzkriterium sowie Anhang 21 und Anhang 26 für das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium, die sich auch in der Folgezeit fortsetzt. Konturnah ergibt sich durch die thermische Expansion bis zum Zeitpunkt von ca. 120 d nach Abschluss der jeweiligen Verfüllung der Steinsalzabbaue eine Verbesserung, in der Folgezeit bilden sich durch die thermische Kontraktion in den Schweben und an den Stößen der Abbaue wieder vergrößerte dilatante Zonen und Zonen mit Zugspannungen aus. Das Verhalten in diesen Zonen ist für den Nachweis ohne Bedeutung, weil zu diesem Betrachtungszeitpunkt die Arbeiten bereits abgeschlossen sind und keine Anforderungen mehr an den Arbeitsschutz bestehen.

Insgesamt lässt sich zum Nachweis der Zustandsverbesserung feststellen, dass die Verfüllung zu einer Verbesserung des aktuellen Zustandes führt. Mit der thermischen Expansion stellt sich eine Zustandsverbesserung des Spannungszustandes ein, wobei sich temporär in Verbindung mit der Abkühlung des Betons lokal um die verfüllten Steinsalzabbaue Zugspannungen und dilatante Zonen ausbilden. Diese treten jedoch erst im Anschluss an die Verfüllung des jeweiligen Abbaus auf, so dass die Arbeitssicherheit nicht beeinträchtigt ist.

Zusammenfassende Bewertung: Entsprechend den dargestellten Ergebnissen ist der Nachweis der Sicherheit der Bauzustände für das Südfeld am Beispiel des Schnittes SF8s geführt.

Ergänzende Bemerkungen zu Abweichungen in der Verfüllplanung: Dem Vorgegangenen liegt die Verfüllplanung entsprechend /16/ zu Grunde. Änderungen in der zeitlichen Abfolge der Verfüllung wirken sich wie folgt aus: Verschiebt sich der Zeitpunkt für den Beginn der Verfüllung, führt das zu keinen signifikanten Änderungen in der Bewertung der Berechnungsergebnisse. Der Kriechprozess im Salz wird sich weiter fortsetzen, so dass die Verschiebungen und Verzerrungen langsam zunehmen werden. Damit nimmt auch die Schädigung weiter zu. Eine verkürzte Verfülldauer in einem technisch realisierbaren Rahmen führt ebenso zu keiner geänderten Bewertung. Bei einer angenommenen Verfülldauer für die Steinsalzabbaue von ca. 2,5 Jahren und einer Zeitdauer von ca. 100 bis 150 d bis zum Erreichen der maximalen Betonkerntemperatur ist eine kürzere als die angenommene Verfülldauer nicht signifikant, da die Wärmeleitung im Steinsalz und in der aus der Teilverfüllung der Steinsalzabbaue folgenden Luftschicht oberhalb der einzelnen Versatzkörper gering ist. Bei den gegebenen Abmessungen wird die Maximaltemperatur in den einzelnen Betonkörpern unabhängig von den umgebenden Abbauen erreicht. Da durch die verkürzte Verfülldauer die eingebracht-

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

te thermische Leistung erhöht wird, ist konturnah mit etwas größeren Spannungsspitzen im Druckbereich während der thermischen Expansion und im Zugbereich während der thermischen Kontraktion zu rechnen. Zu dem Zeitpunkt, in dem diese Spannungsspitzen auftreten, sind die jeweiligen Verfüllarbeiten bereits abgeschlossen, so dass keine Auswirkungen auf den Arbeitsschutz bestehen. Die Barrierenintegrität bleibt ebenso gewährleistet wie die Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Salzspiegel, da die Gesamtwärmemenge unabhängig von der Verfülldauer ist. Die mit der Verlängerung der Verfülldauer einhergehende verringerte Wärmeleistung wirkt sich positiv auf die thermisch bedingten konturnahen Zwänge aus. Im Hinblick auf die maximale Betonkerntemperatur, die Barrierenintegrität und die Temperaturerhöhung am Salzspiegel gilt das o.g.. Wird von der Verfüllreihenfolge in der Form abgewichen, dass zunächst ein höher liegender Abbau verfüllt wird und danach ein tiefer liegender, führt eine Zeitspanne von 100 bis 150 d zwischen den Verfüllungen der beiden Abbaue, dass ist die Zeitdauer für die konturnahe thermische Expansion, zu einem überdrückten Spannungszustand in der Schwebe zwischen beiden Abbaue. Eine über diese Zeitspanne hinausgehende Verzögerung in der Verfüllung muss separat betrachtet werden, d. h., es müssen ggf. organisatorische Maßnahmen ergriffen werden. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Verfülldauer und die Verfüllreihenfolge sich nur lokal auswirken. Wird berücksichtigt, dass die Verfüllung von einer neu aufzufahrenden Strecke erfolgt, die sich außerhalb dieses lokalen Einflussbereiches befindet, wirken sich solche Änderungen in der Verfüllplanung nicht auf den Arbeitsschutz während der Phase der Bauzustände aus.

Ergänzende Bemerkungen zum Einfluss des Versatzmaterials: Im Hinblick auf die auflaufende Konvergenz setzt sich der Deformationsprozess im Salz fort, Anhang 15 und Anhang 16, wird jedoch durch die Verfüllung deutlich verzögert, Anhang 17. In Anhang 17 ist die zeitliche Entwicklung der Verschiebung in vertikaler Richtung am Beispiel des mit Beton verfüllten Abbaus 8s/4a-Sohle und des im Berechnungsmodell seit Beginn des Jahres 2001 mit Salzgrus vollständig versetzten Einlagerungsgrubenbaus 1 an ausgewählten Konturpunkten, die beim ersten Drittel (l.), in der Mitte (m.) und beim zweiten Drittel (r.) der First- bzw. Sohlbreite des jeweiligen Abbaus lagen, im Zeitraum von 1981 bis 2066 dargestellt. Die Stützwirkung des Salzgrusversatzes im Einlagerungsgrubenbau 1 setzt wegen seiner guten Kompaktierbarkeit vergleichsweise langsam ein, so dass bis zum Beginn der Betonverfüllung näherungsweise von einer jeweils konstanten Verschiebungsrate in den einzelnen Konturpunkten ausgegangen werden kann. Nachdem die transienten Vorgänge aus der Verfüllung mit Salzbeton abgeklungen sind, stellt sich wieder eine nahezu konstante Verschiebungsrate ein, die jedoch gegenüber dem Zustand vor der Verfüllung auf einem deutlich niedrigeren Niveau liegt. Die Firstsenkungsrate der verfüllten Steinsalzabbaue und die des Einlagerungsgrubenbaus 1 reduziert sich durch den relativ festen Betonkörper des jeweils darüber liegenden Abbaus um bis zu einer Größenordnung. Die Sohlhebungsrate des Einlagerungsgrubenbaus 1 wird dagegen nur etwa halbiert. Ursache ist der von der Verfüllmaßnahme nur gering beeinflusste Spannungszustand im Bereich dieser Sohle. Die gute Kompaktierbarkeit des Salzgrus im Einlagerungsgrubenbau 1 bzw. das unverfüllte Volumen in den Steinsalzabbaue in Verbindung mit dem sehr viel steiferen Betonkörper führt dazu, dass sich die Sohle der Steinsalzabbaue in Richtung des jeweils darunter liegenden Abbaus senkt. Diese Ergebnisse gelten auch bei einer Resthohlraumverfüllung mit Braunkohlenfilterasche.

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

4.3 Nachweis des stabilen Endzustandes

Der Nachweis des stabilen Endzustandes erfolgt auf der Basis der Ergebnisse für den Zeitpunkt des Berechnungsendes, das sind ca. 1000 a nach der Verfüllung.

Nachweis der Begrenzung der Senkung der Tagesoberfläche und der Begrenzung der Schiefstellung von Gebäuden auf der Tagesoberfläche: Die verbleibenden Resthohlräume der teilverfüllten Abbaue schließen sich vorzugsweise, indem sich die Firste senkt, Anhang 28. Dabei bleibt die abschirmende Wirkung aus der versetzten Anordnung der oben liegenden Abbaue auf die darunter liegenden Abbaue erhalten. Aus der Konvergenz aller vorhandenen Resthohlräume ergibt sich an der Tagesoberfläche rechnerisch eine maximale Senkung von 0,31 m. Damit ist die Senkung in den 1000 a nach Abschluss der Verfüllung nahezu genau so groß, wie in dem etwa 80jährigen Zeitraum der Auffahrung bis zum Beginn der Verfüllung. Die Neigungsrate ist bereits zu Beginn des verfüllten Zustandes auf einem Wert, der zwei Größenordnungen unter dem zulässigen Grenzwert liegt. Die Konvergenz in den Resthohlräumen führt zu einer weiteren Verzögerung. Der Schutz der Tagesoberfläche und der Gebäude auf der Tagesoberfläche ist bei einer zulässigen Senkung von 1 m und einer zulässigen Neigungsrate von 1 m/300 m pro 100 a entsprechend 0,33 %/100 a im stabilen Endzustand sicher gewährleistet.

Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume: Dieser Nachweis ist auf Grund der in /12/ angegebenen Sicherheitsabstände geführt, da bei einer erforderlichen Mindestdicke der ungestörten Salzbarriere von 60 m eine ausreichend dicke Salzbarriere bei einer dilatanzfreien und verzerrungsarmen Salzdicke von ca. 90 m senkrecht zum Deckgebirge und von ca. 120 m entlang der Schichten sicher gegeben ist. Des Weiteren hat die Kriechfähigkeit des Salzes dazu geführt, dass sich Spannungsspitzen im Salz weitgehend abgebaut haben. Innerhalb des Salzes treten nur noch konturnah Zugspannungen auf und hier in erster Linie in den Schweben oberhalb der 3a-Sohle sowie an den östlichen Stößen der Abbaue, die nahe am Hauptanhydrit liegen. In der Salzbarriere existieren keine Zugspannungen mehr, Anhang 30. Im Hinblick auf die minimale Hauptspannung haben sich besonders im Beton und dem Hauptanhydrit Druckspannungen aufgebaut, Anhang 31. Die Ausnutzungsgrade des Dilatanz- und des Kurzzeitbruchfestigkeitskriteriums zeigen in Übereinstimmung mit der maximalen Hauptspannung innerhalb der Schweben sowie zwischen den Abbauen und dem Hauptanhydrit beanspruchte Bereiche, Anhang 32 und Anhang 33. Da für die Konturbereiche rechnerisch keine Langzeitstandsicherheit gezeigt werden kann, muss von Verbrüchen in diesen Bereichen ausgegangen werden. Aufgrund des vorhandenen Verfüllgrades ist aber trotzdem die Barrierenintegrität gewährleistet, da von einem Totlaufen der Brüche ausgegangen werden kann. Im Hinblick auf die Barrierenintegrität sind die Spannungsdifferenzen so weit abgebaut, dass vom Dilatanzkriterium im konturfernen Bereich nur Werte bis zu ca. 0,5 erreicht werden. Das Fluidkriterium weist auch nach 1000 a noch Bereiche mit einem Ausnutzungsgrad von über 1 aus, Anhang 34. Davon ist jedoch weder die globale Standortsicherheit noch die Barrierenintegrität beeinträchtigt, da die Dilatanzbedingung im Hinblick auf die Barrierenintegrität erfüllt ist.

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Zusammenfassende Bewertung: Entsprechend den dargestellten Ergebnissen ist der Nachweis des stabilen Endzustandes für den Schnitt SF8s geführt.

4.4 Temperaturberechnung

Mit dem Einbringen des Betonversatzes im Zuge der Verfüllung stellt sich im Betonkörper innerhalb weniger Tage ein deutlicher Temperaturanstieg ein, Anhang 35. Zum in Anhang 35 dargestellten Zeitpunkt ist die unterste Schicht des rechnerisch in acht Schichten verfüllten Abbaus 8s/2a-Sohle durch die Lage der Wochenenden 15 d alt und die oberste Schicht gerade frisch eingebracht. Die wesentliche Temperaturerhöhung erfolgt im Betonkörper, außerhalb des Körpers und damit im Salz kommt es nur im unmittelbaren Konturbereich zu Temperaturerhöhungen von mehr als 10 K. Von einem Band entlang der östlichen Seite der Abbaue abgesehen, kommt es bereits wenige Meter von den Abbauen entfernt nur zu einer geringen Erhöhung von weniger als 5 K. Auch wenn sich die Betonkörper bereits wieder abkühlen, steigt die Temperatur im Salz und damit zunächst auch in den Schweben, Anhang 36. Anschließend kühlt sich auch der konturnahe Bereich ab, lediglich im konturfernen Bereich steigt die Temperatur durch die Homogenisierung der zusätzlich eingebrachten thermischen Energie im gesamten Gebirge weiter an, Anhang 37 und Anhang 38. Zum Zeitpunkt des Berechnungsendes beträgt die Temperaturerhöhung gegenüber dem Ausgangszustand und vor dem Hintergrund der adiabaten Randbedingungen rechnerisch maximal 0,14 K.

Das Temperaturmaximum im einzelnen Betonkörper stellt sich ca. 100 bis 150 d nach Beginn dessen Verfüllung ein, Anhang 39. Es wird eine Temperaturdifferenz im Betonkern gegenüber der Verfülltemperatur (30 °C) von ca. 45 K erreicht. An der freien Betonoberfläche wird durch die wärmeisolierende Wirkung der Luft rechnerisch ein Temperaturanstieg auf über 50 °C erst nach Abschluss der jeweiligen Verfüllung des einzelnen Abbaus erreicht, der Maximalwert der Temperatur an der Oberfläche des einzelnen Abbaus beträgt rechnerisch mehr als 75 °C.

Am Salzspiegel ergibt sich ein Temperaturanstieg, der maximal 0,4 K beträgt, Anhang 14. Der Zeitpunkt der maximalen Erwärmung am Salzspiegel wird ca. 90 a nach Beginn der Verfüllung erreicht. Im Anschluss daran nimmt die Temperatur am Salzspiegel durch die fortschreitende Wärmeverteilung wieder ab, so dass rechnerisch nach 1000 Jahren nur noch rechnerisch maximal 0,13 K Temperaturanstieg verbleiben. Anzumerken ist, dass ein zweidimensionales Berechnungsmodell verwendetet wurde, das keine Möglichkeit beinhaltet, die Wärme großräumig in Axialrichtung der Abbaue abfließen zu lassen, und auch innerhalb der Berechnungsebene von adiabaten Randbedingungen ausgegangen wurde. Beides sind im Hinblick auf die Wärmeausbreitung sehr konservative Approximationen /6/.

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

5 Verwendete Unterlagen

- /1/ BGR: Gebirgsmechanische Beurteilung der Standsicherheit von Abbauen im Südfeld der Grube Bartensleben während der Betriebsphase. - Bericht zum AP 9M66630011. - Archiv-Nr. 114 778. Hannover: BGR, 1996
- /2/ Klein, Stadic, Gärtner: Standsicherheitsnachweis für Schacht Bartensleben und Schacht Marie. – Abschlussbericht U461 M4. DMT, 1999
- /3/ BGR: Thermomechanisches Verhalten von Salzgesteinen. - Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben BMBF Förderkennzeichen 02 E 85420. - Archiv-Nr. 114 805. Hannover: BGR, 1996
- /4/ BGR: ERA Morsleben - Gebirgsmechanische und geotechnische Untersuchungen im Labor und in situ - Ingenieurgeologische Erkundung von Homogenbereichen. - Abschlußbericht zum AP 9M21310015. - Archiv-Nr. 117 213. Hannover: BGR, 1998
- /5/ Itasca: FLAC Fast Lagrangian Analysis of Continua, Theory and Background. Minneapolis: Itasca Consulting Group, 1998
- /6/ Bechthold, W.; Rothfuchs, T., et al.: Backfilling and Sealing of Underground Repositories for Radioactive Waste in Salt (BAMBUS Project). - Final Report. European Commission EUR 19124 EN, Luxembourg: European Communities, 1999
- /7/ Gröber, Erk, Grigull: Grundgesetze der Wärmeübertragung. New York: Springer, 1988
- /8/ BGR: Geotechnische Erkundung und Standsicherheitskriterien. In: Salzmechanik X. Hannover: BGR, 1989
- /9/ Onken, Rostasy: Wirksame Betonzugfestigkeit im Bauwerk bei früh einsetzendem Temperaturzwang. - Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 449, 1995
- /10/ DBE: Salzbeton - Zusammenstellung der Eigenschaften und Materialkennwerte (Referenzmaterial M3). Stand 13.01.2006
- /11/ Zienkiewicz, O. C.; Taylor, R. L.: The Finite Element Method. Vol. 2: Solid and Fluid Mechanics, Dynamics and Non-Linearity. London: McGraw-Hill, 1991
- /12/ DBE: Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die Maßnahmen der Stilllegung (Stand sicherheit und Integrität). Stand 15.12.2005

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

- /13/ Cristescu, N.D.; Hunsche, U.: Time Effects in Rock Mechanics, In: Desai, C.S.; Krempl, E. (Hrsg.): Wiley Series in Materials, Modelling and Computation. Chichester: John Wiley & Sons, 1998
- /14/ BGR: Projekt ERA Morsleben: Szenarienanalyse - Geologische Langzeitbewertung und Ermittlung der Zuflusszenarien ohne technische Maßnahmen. Hannover: BGR, 1999
- /15/ BGR: Untertägige Temperaturmessungen im Rahmen der geowissenschaftlichen Standorterkundung des Endlagers für radioaktive Abfälle in Morsleben. – Abschlussbericht. Archiv-Nr. 116 704. Hannover: BGR, 1998
- /16/ DBE: Verfüllplanung zur Stilllegung des ERAM nach Durchführung der bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahmen im Zentralteil - Konzeptplanung. Stand 15.12.2005
- /17/ DBE: Geomechanische Betriebsüberwachung 2004 – Südfeld. Stand 20.04.2005

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

6 Glossar

- Abbau:** Bezeichnung für einen durch bergmännische Tätigkeiten bei der Gewinnung von Kali- oder Steinsalz hergestellten Hohlraum
- Abfall, radioaktiver:** Radioaktive Stoffe im Sinne des § 2 Abs. 1 und 2 des Atomgesetzes, die nach § 9a Abs. 1 Nr. 2 des Atomgesetzes geordnet beseitigt werden müssen
- adiabatisch:** Ohne Wärmeaustausch mit der Umgebung
- Altversatz:** Versatz, der gegenüber dem Betrachtungszeitpunkt vor langer Zeit in den Hohlräumen eingebracht wurde und dadurch dem Einfluss der Gebirgskonvergenz ausgesetzt sein kann
- Auffahren (Auffahrung):** Herstellen einer söhlichen oder geneigten Strecke oder eines anderen Grubenbaus
- Ausnutzungsgrad:** Relatives Bewertungsmaß in Bezug auf einen Grenzzustand
- Bauzustand:** Zustand, der während der Baumaßnahme temporär auftritt
- Deckgebirge:** Die Lagerstätte überdeckende Gebirgsschichten
- Dilatanzkriterium:** Grenzbedingung für das Auftreten von mikroskopischen Rissen, die zur Volumenvergrößerung und über Risswachstum innerhalb eines langen Zeitraums zum Versagensfall Bruch führen
- Einlagerungsgrubenbau:** einzelner Grubenbau, in den radioaktive Abfälle und betriebliche radioaktive Abfälle eingebracht werden/wurden, oder auch zu diesem benachbarter Grubenbau
- elastoplastisch:** Materialverhalten mit reversiblen, elastischen und irreversiblen, plastischen Anteilen
- Endzustand, stabiler:** Zustand eines (Trag)systems, in dem sich sein Zustand im Betrachtungszeitraum nicht mehr verschlechtert
- Firste:** Obere Grenzfläche eines Grubenbaus
- Hydratationsgrad:** Verhältnis von hydratisierten zu hydratisierbaren Bindemittelanteilen

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	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	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

Hydratationsmodell: Mathematische Beschreibung des Abbindevorganges von Bindemittelsystemen im Hinblick auf die Materialeigenschaften E-Modul, Druckfestigkeit und Zugfestigkeit in Abhängigkeit der Temperaturentwicklung

Hydratationswärme: Wärme, die als Folge exothermer Mineralreaktionen der Bindemittel (z. B. Zement, Flugasche) mit der Anmischflüssigkeit freigesetzt wird

isotrop: Stoffeigenschaft, bei der alle Raumrichtungen gleiche physikalische Eigenschaften aufweisen; Gegenteil: anisotrop

Kontur: Umriß(linie)

Kurzzeitbruchfestigkeit: Festigkeit gegenüber Bruch im Kurzzeitversuch

lithostatisch: Unter Einfluss der ruhenden Gebirgslast

Porosität: Das Gesamtvolumen eines Gesteins setzt sich aus dem Volumen der festen Bestandteile und dem Volumen der Hohlräume oder Poren im Gestein zusammen. Die Gesamtporosität ist definiert als das Verhältnis von Porenvolumen zu dem Gesamtvolumen des Gesteins. Die effektive Porosität ist definiert als das Verhältnis des für die Durchströmung nutzbaren Porenvolumens zu dem Gesamtvolumen des Gesteins

Salzbeton: Baustoff, bestehend aus den Grundbestandteilen Zement, Betonzusatzstoff, Salzzuschlag sowie Wasser oder Salzlösungen als Anmachflüssigkeit

Scherband: Lokalisierte Zone großer Verzerrung, die überwiegend durch Schubbeanspruchung erzeugt wird

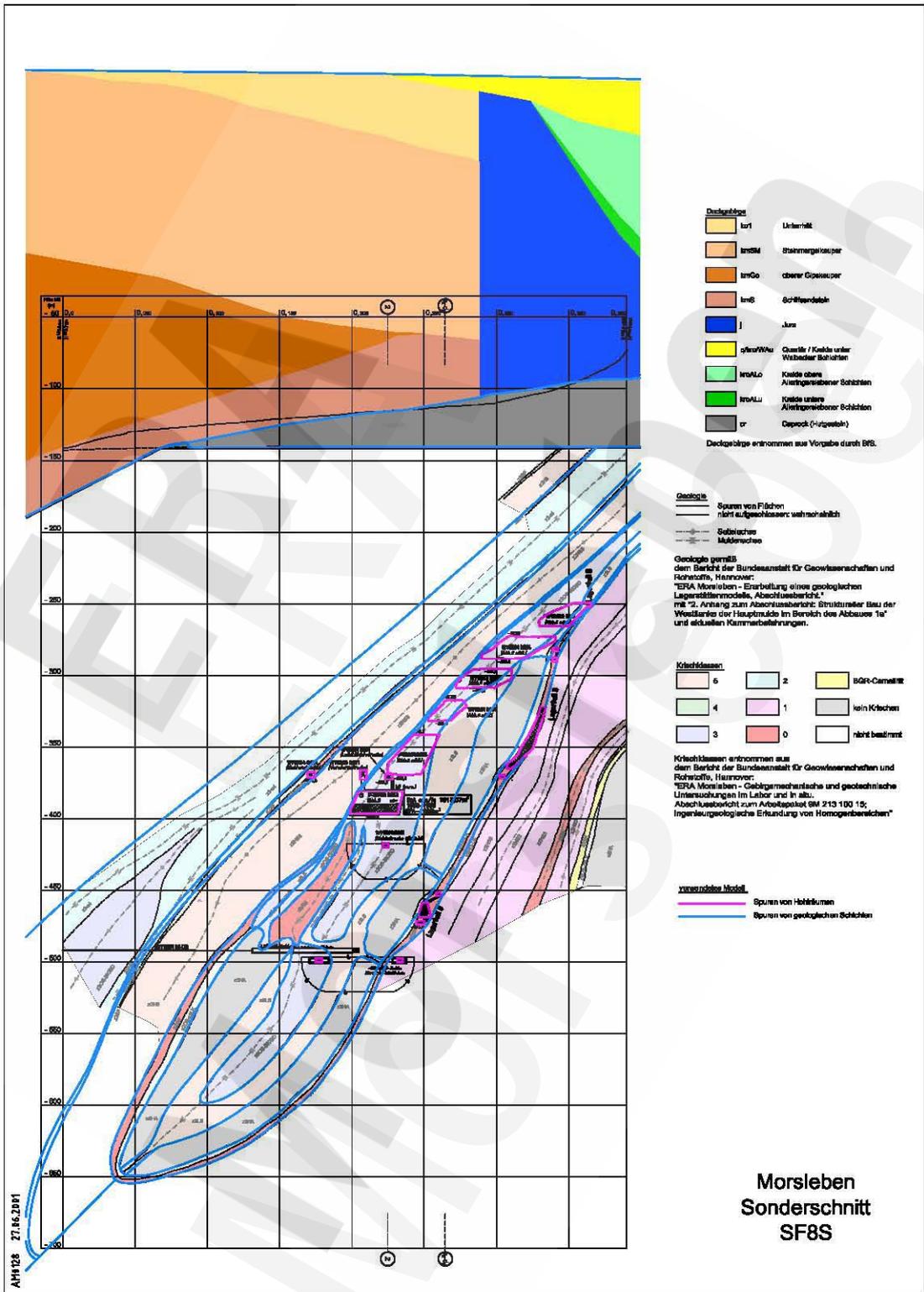
Sohle: Untere Grenzfläche eines Grubenbaus

Tensor: Mathematische Form (Multilinearform) zur Beschreibung des physikalischen Zustandes oder der physikalischen Eigenschaft eines Raumpunktes: Z. B. ist Temperatur als skalare Größe ein Tensor nullter Stufe, Verschiebung als vektorielle Größe ein Tensor erster Stufe, Spannung und Verzerrung sind Tensoren zweiter Stufe und ein mechanisches Stoffgesetz ein Tensor vierter Stufe

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

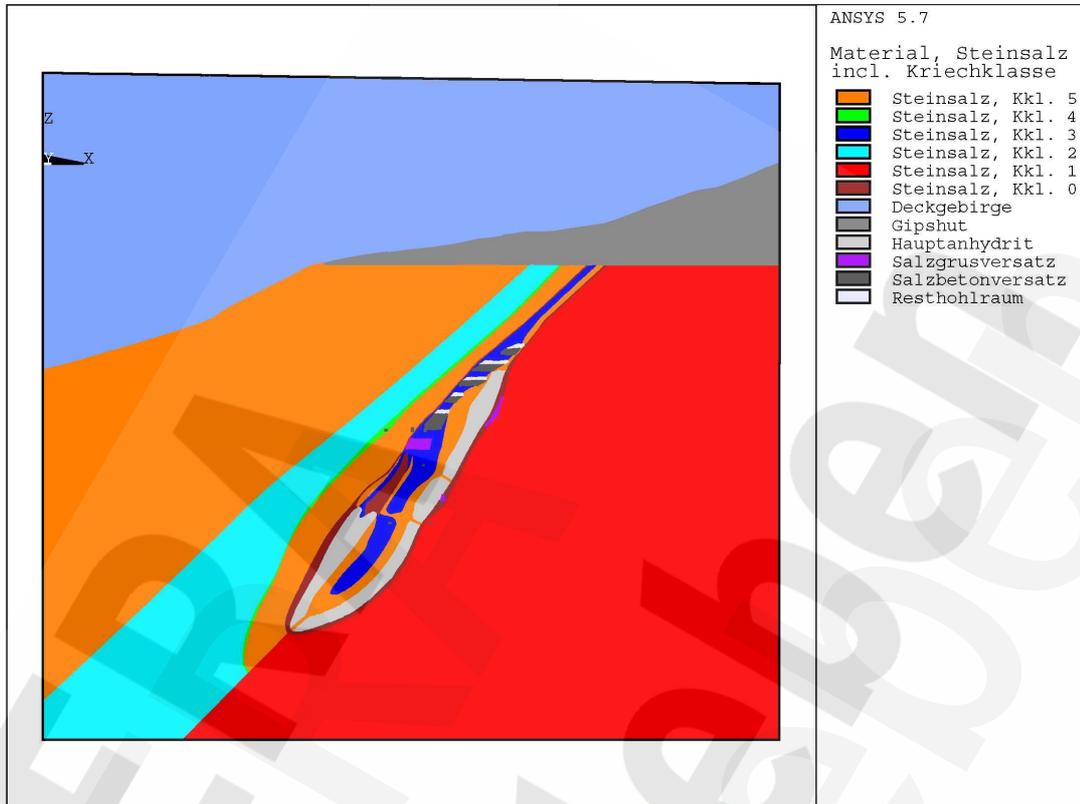
- Teufe:** Tiefenlage unter der Tagesoberfläche
- Unterwerksbau:** Abbau unterhalb der tiefsten an einen Schacht angeschlossenen Fördersohle
- Versatz:** 1. Material für die Verfüllung oder Stützung von Grubenbauen
- Verzerrung:** Änderung von Längen- und Winkelgrößen eines Körpers in Folge von Formänderungen des Körpers
- Viskoplastizität:** Verhalten eines Stoffes, bei dem das plastische Verhalten von der Zeit abhängt

Anhang

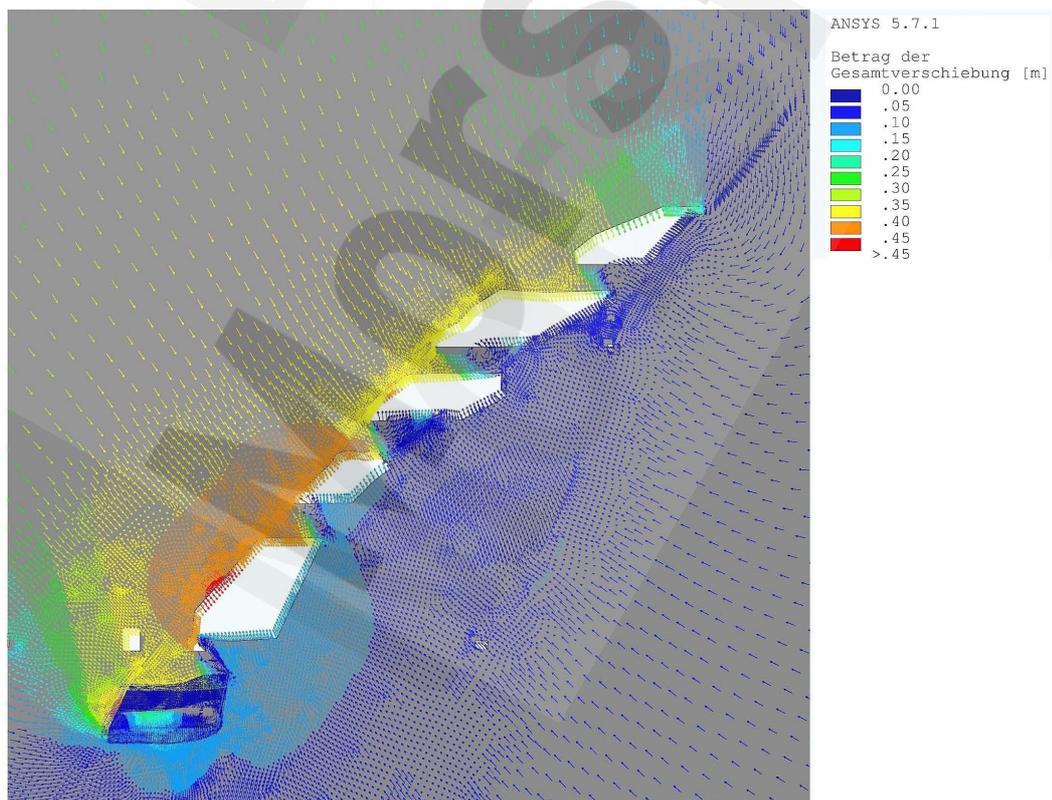


Anhang 1: Schnitt SF8s - Gegenüberstellung der im Berechnungsmodell verwendeten Hohlraum- und Materialgrenzen mit angenommenen und gemessenen Schnittspuren durch die Abbaue sowie der Geologie des Salzstocks einschließlich Kriechklassen, Anlage 1, und das Deckgebirge

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	

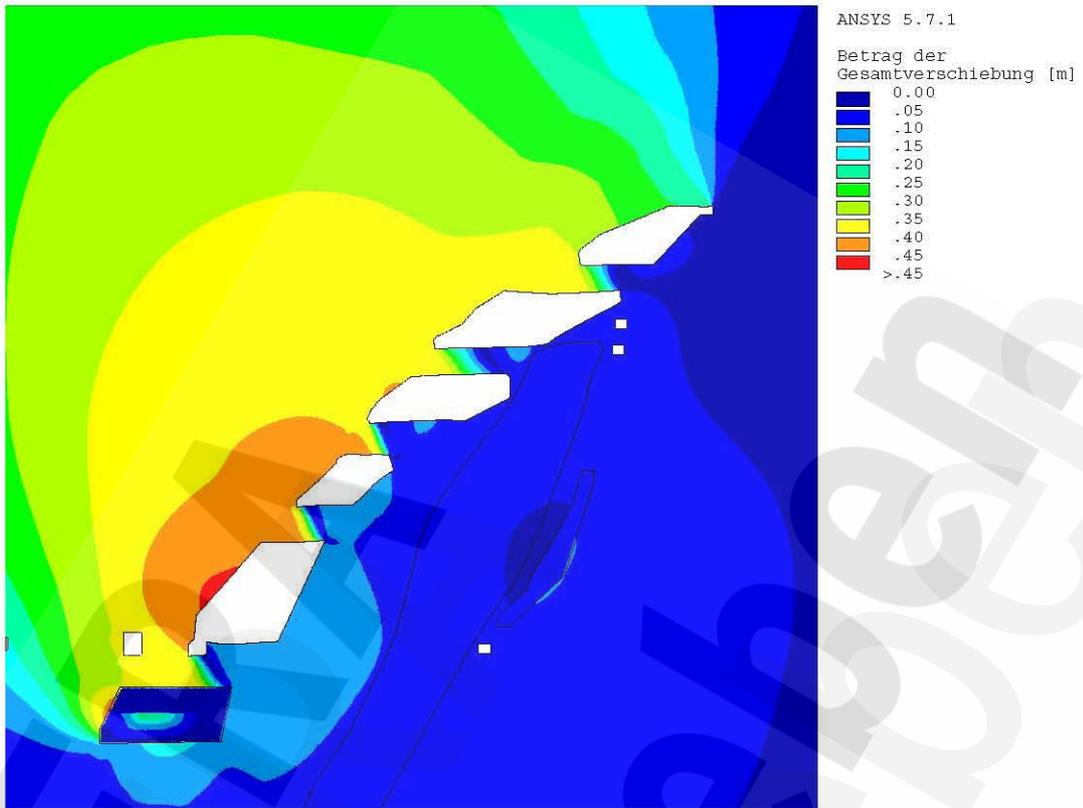


Anhang 2: Hohlraumgeometrien und Einteilung in Homogenbereiche im verwendeten Berechnungsmodell

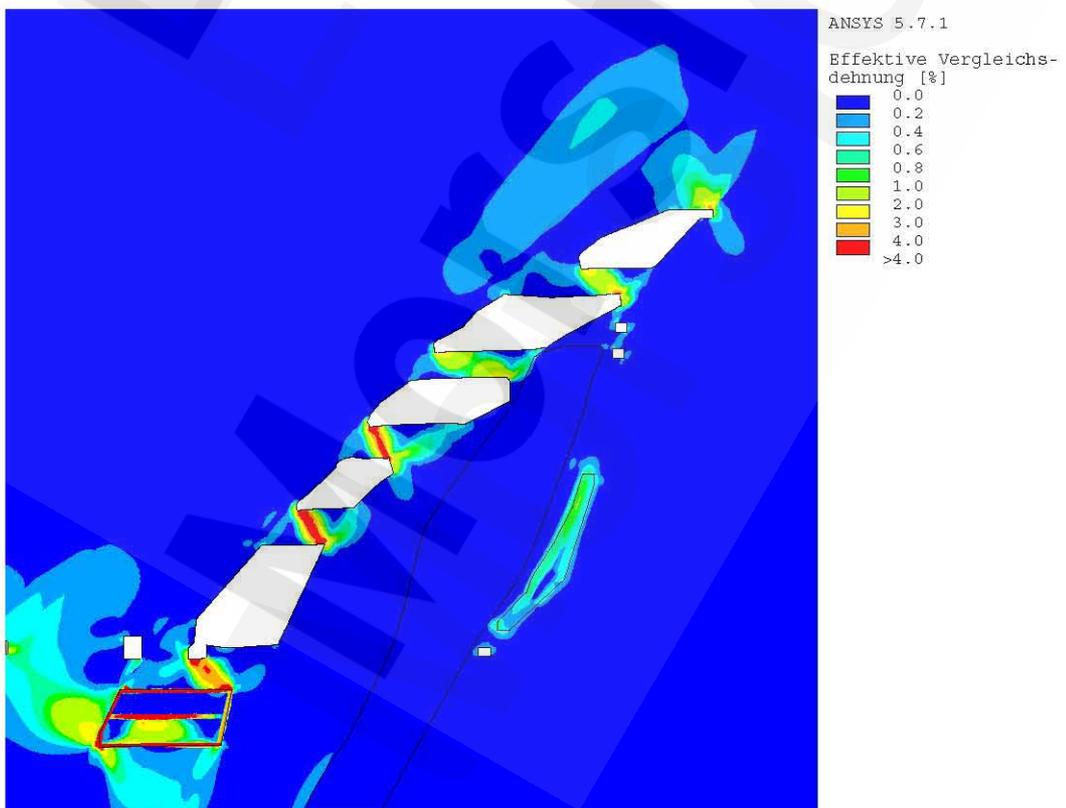


Anhang 3: Gesamtverschiebung in vektorieller Darstellung zum Zeitpunkt 01/2001

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01

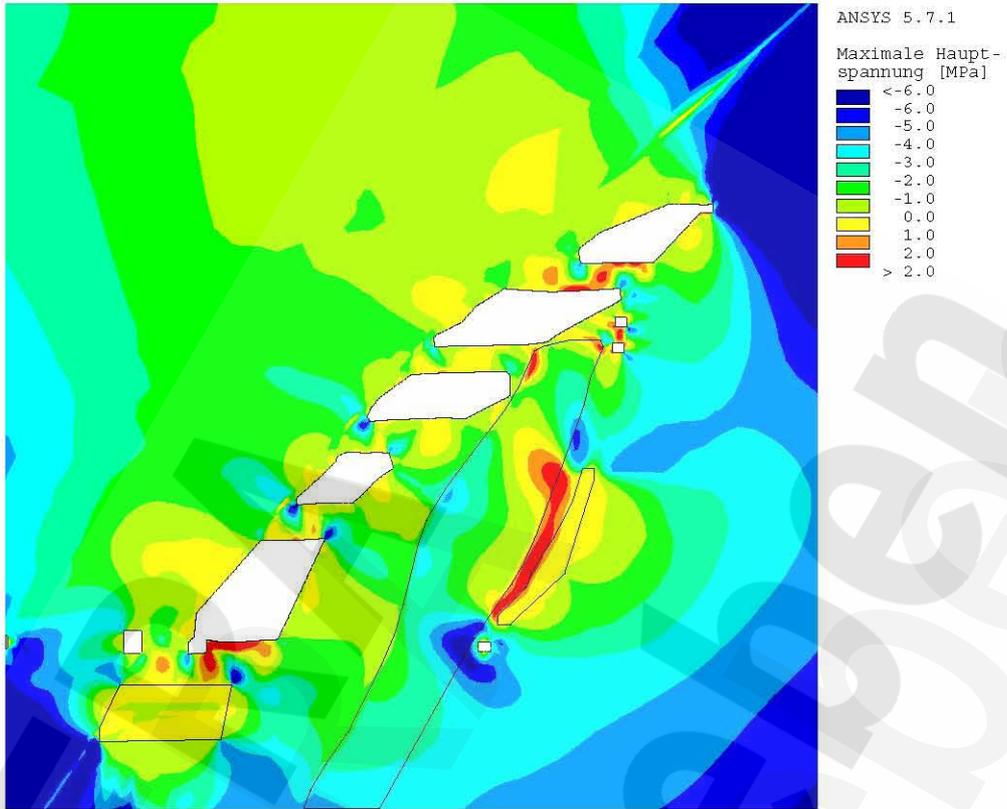


Anhang 4: Betrag der Gesamtverschiebung [m] zum Zeitpunkt 01/2001

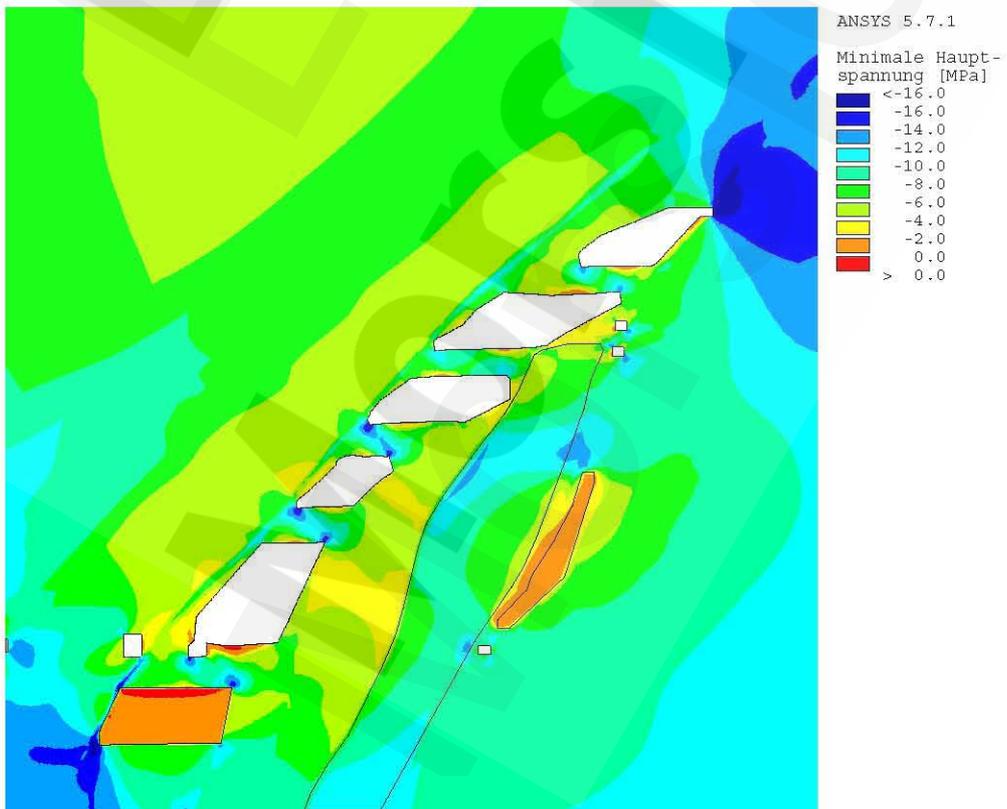


Anhang 5: Effektive viskoplastische Vergleichsdehnung [-] zum Zeitpunkt 01/2001

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	

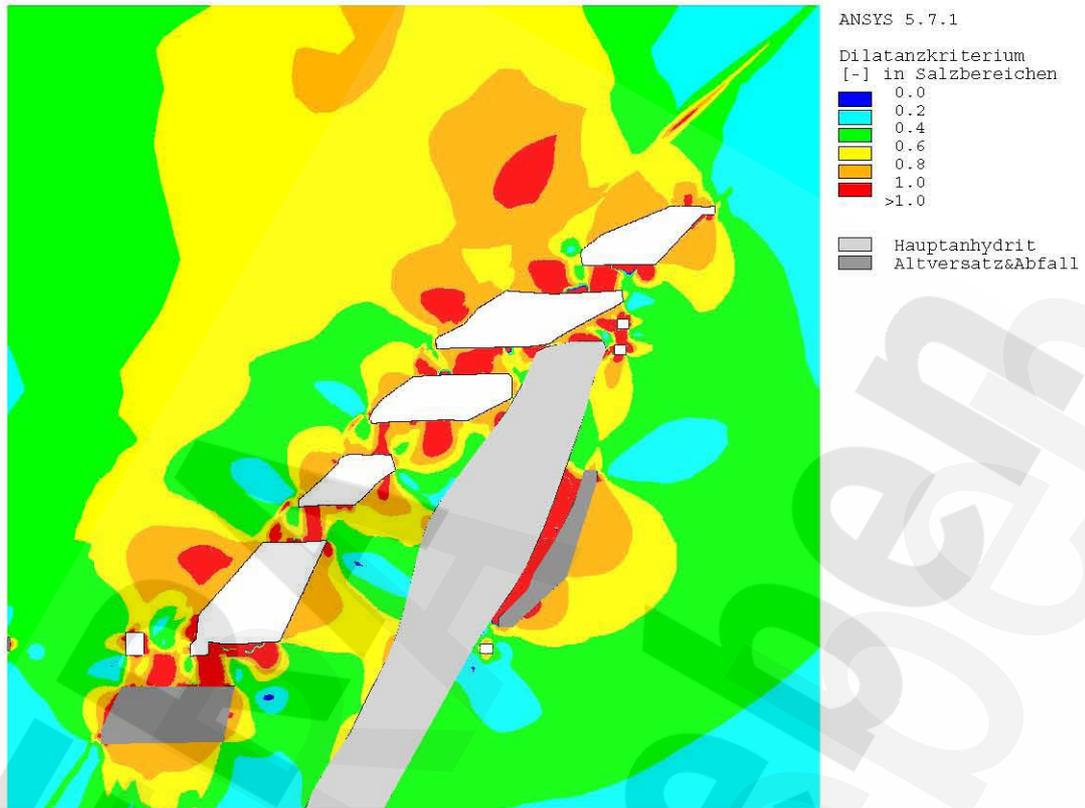


Anhang 6: Maximale Hauptspannung [MPa] zum Zeitpunkt 01/2001

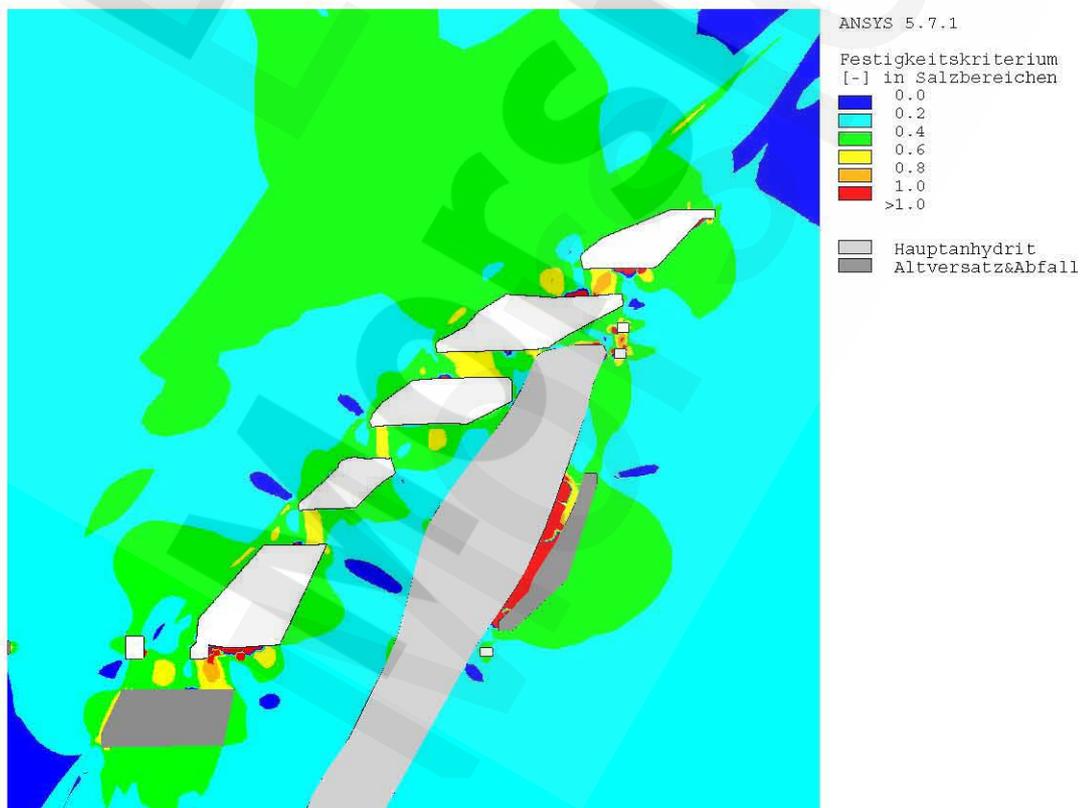


Anhang 7: Minimale Hauptspannung [MPa] zum Zeitpunkt 01/2001

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	DBE



Anhang 8: Dilatanzkriterium [-] zum Zeitpunkt 01/2001

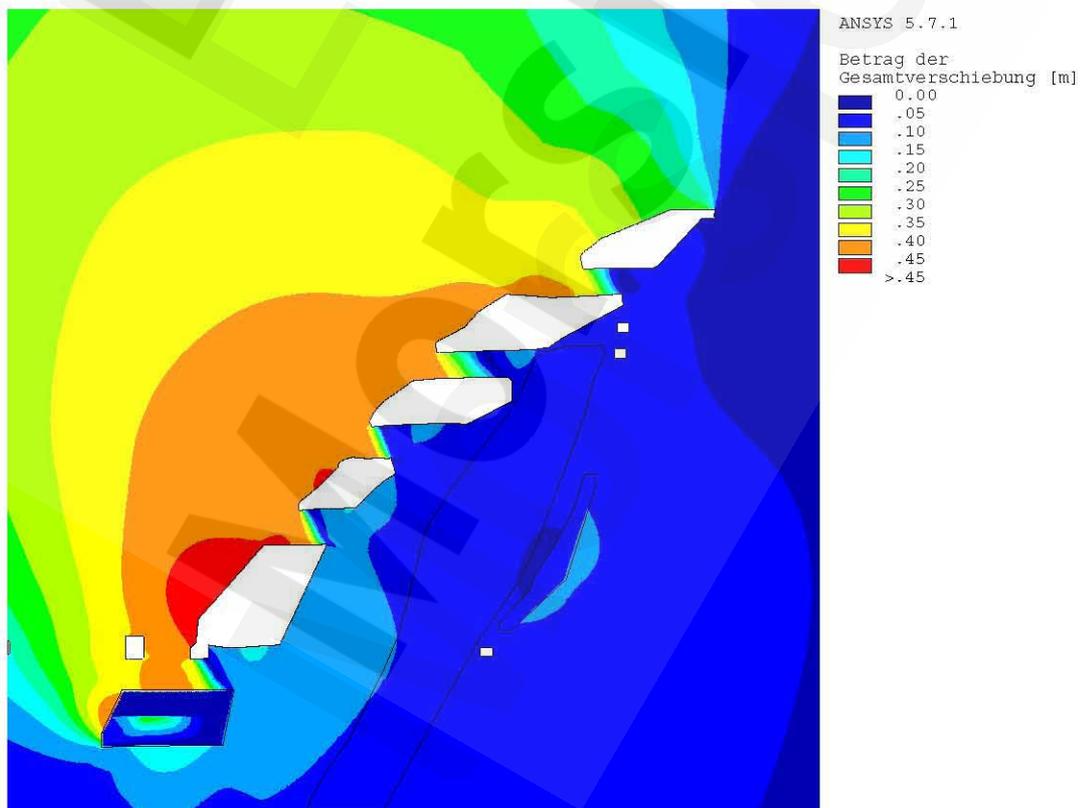


Anhang 9: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-] zum Zeitpunkt 01/2001

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	

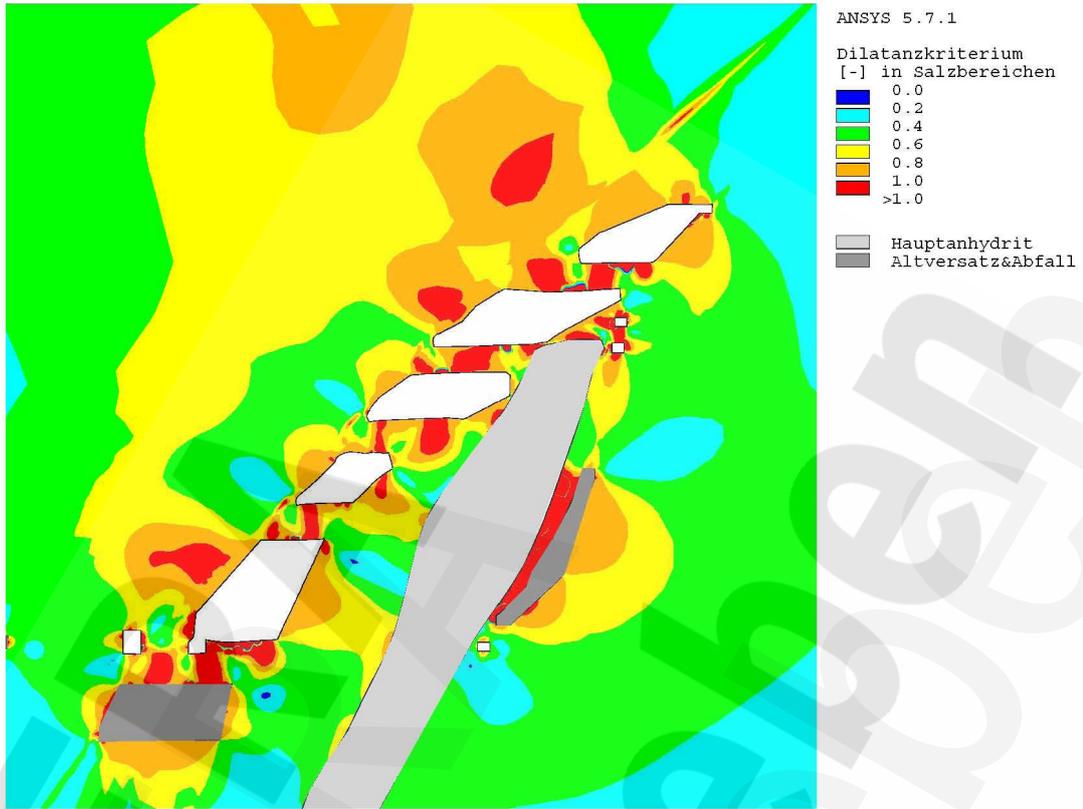


Anhang 10: Fluidkriterium [-] zum Zeitpunkt 01/2001

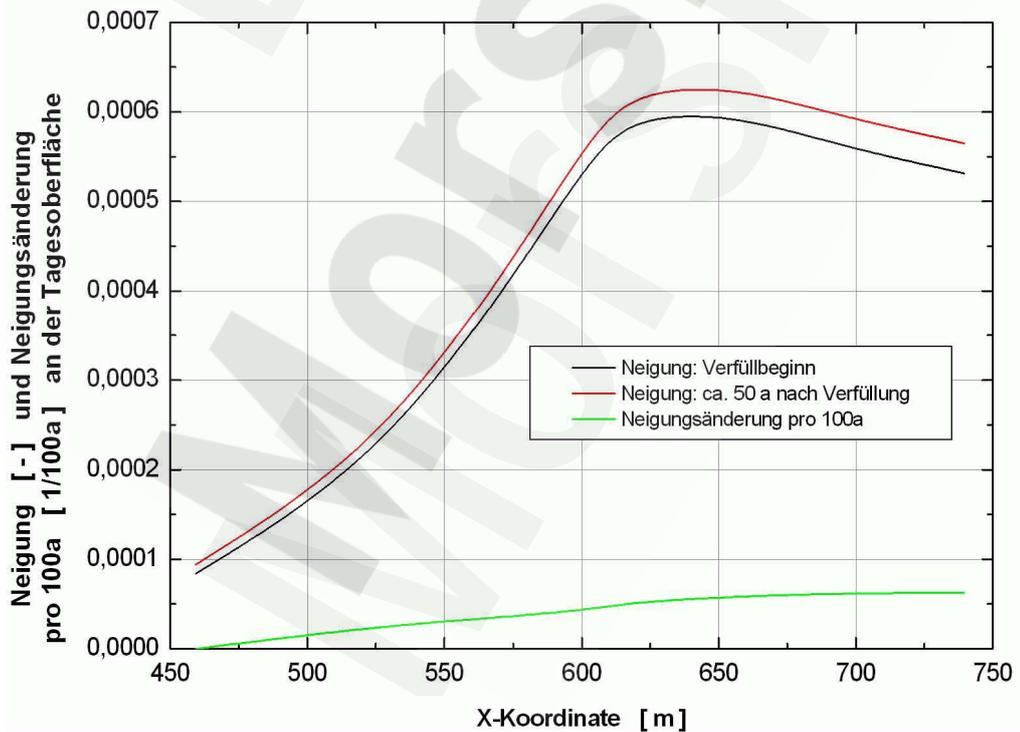


Anhang 11: Betrag der Gesamtverschiebung [m] zum Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn der Verfüllmaßnahmen

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	

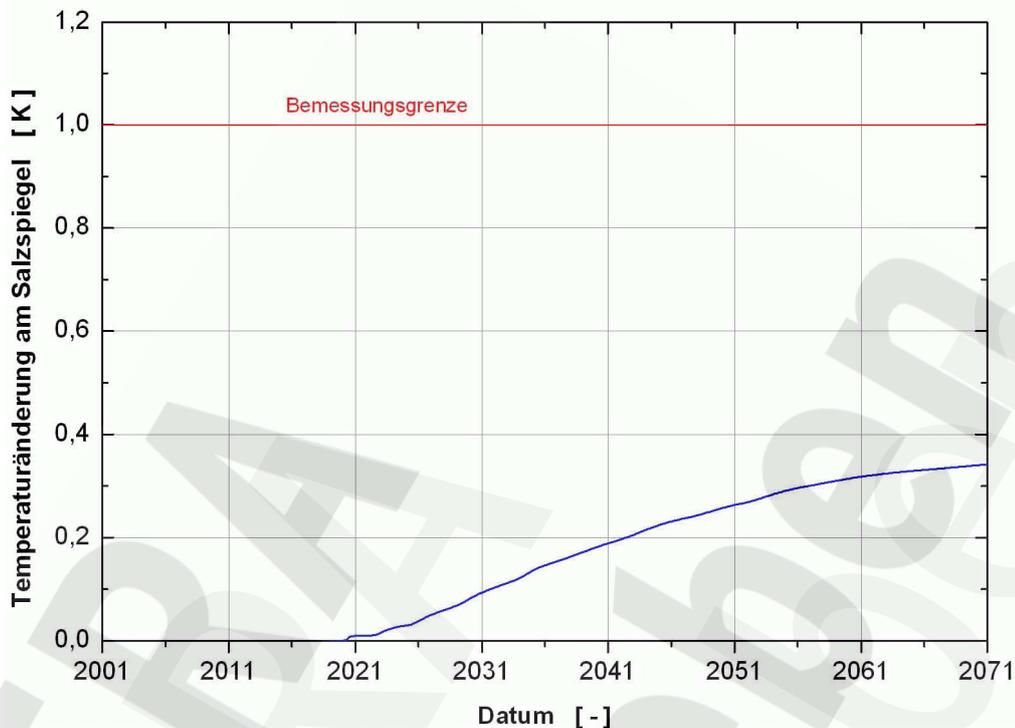


Anhang 12: Dilatanzkriterium [-] zum Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn der Verfüllmaßnahmen

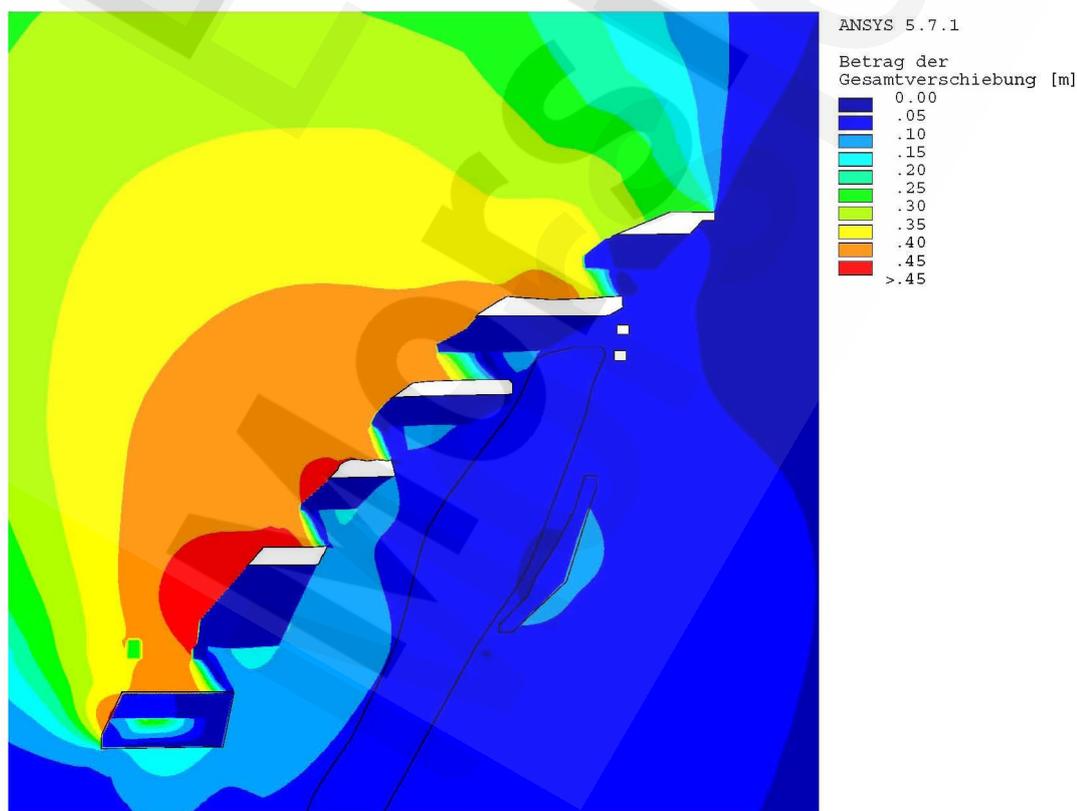


Anhang 13: Neigung [-] seit Beginn der Auffahrung und Schiefstellung pro 100a im Betrachtungszeitraum der Bauzustände [1/100a] an der Tagesoberfläche

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
	N A A N	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NN A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	NNNN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	

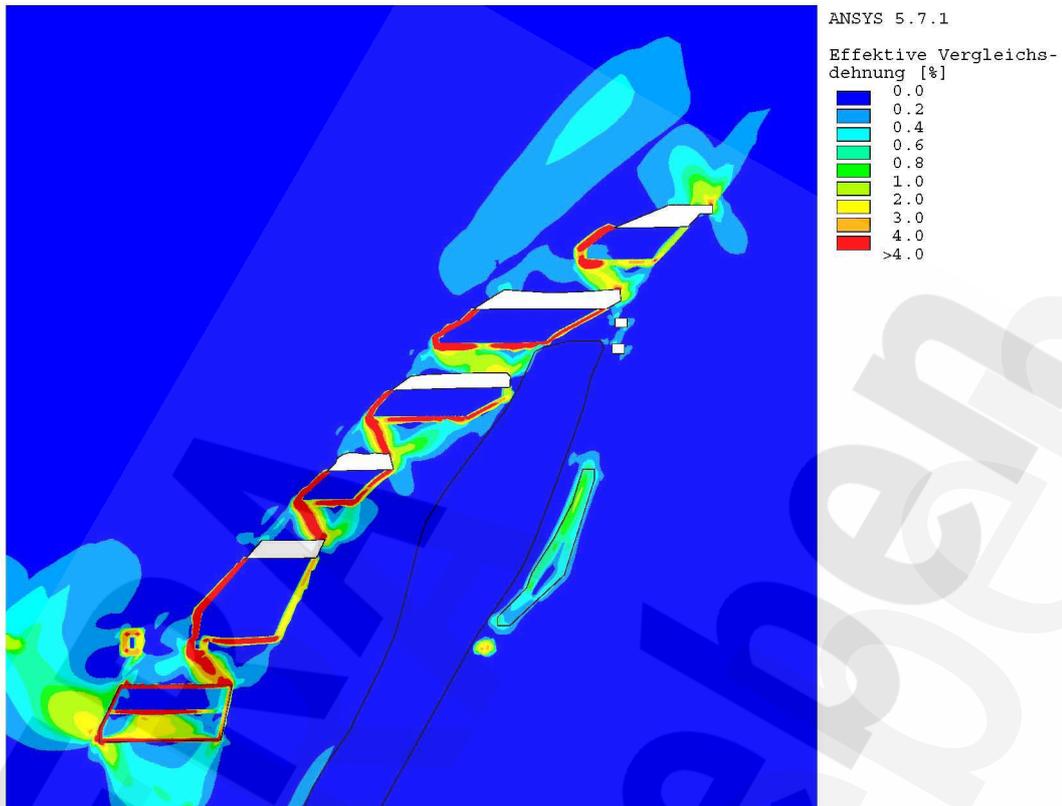


Anhang 14: Maximale rechnerische Temperaturänderung [K] am Salzspiegel seit Beginn der Verfüllmaßnahmen im Schnitt SF8s

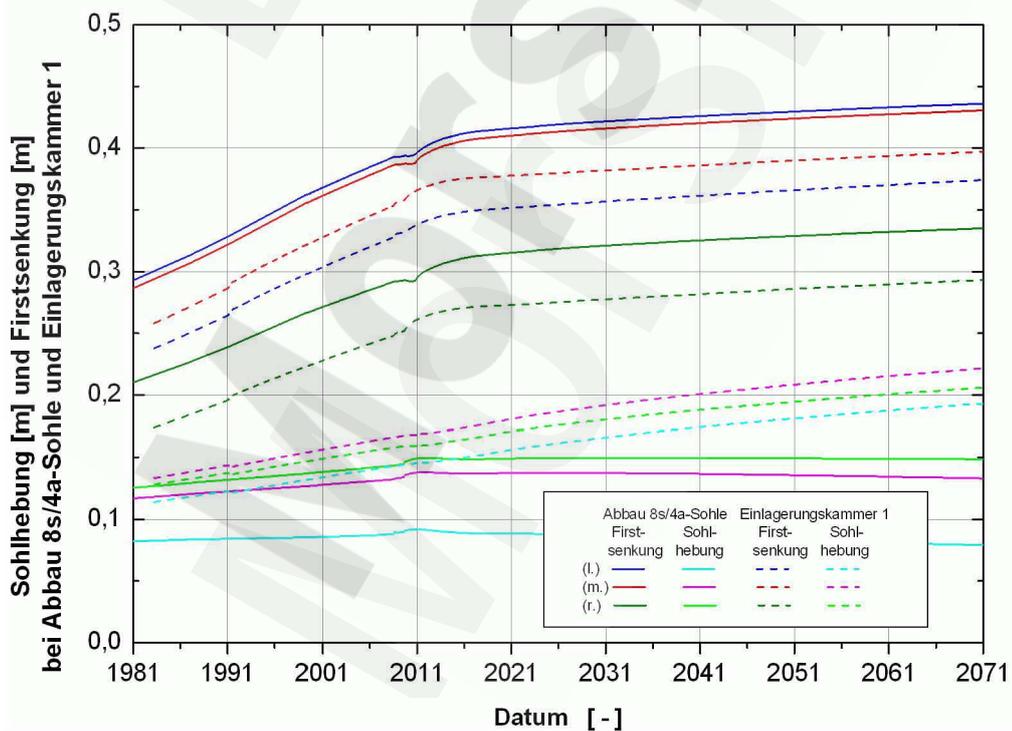


Anhang 15: Betrag der Gesamtverschiebung [m] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbau

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	

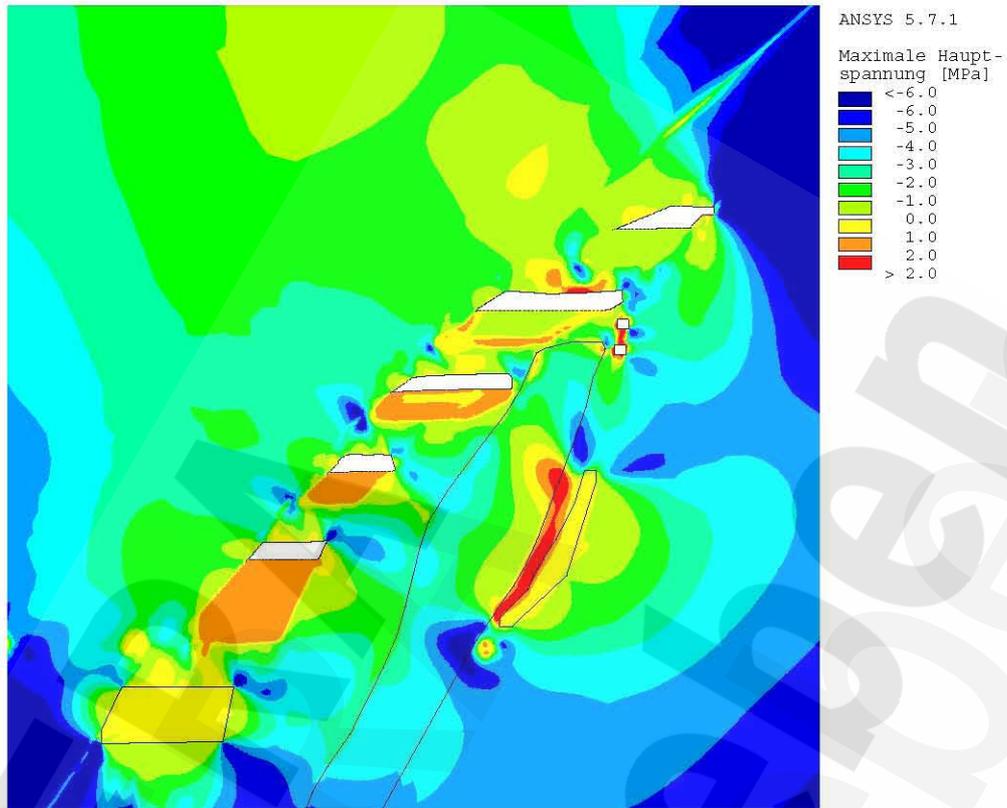


Anhang 16: Effektive viskoplastische Vergleichsdehnung [-] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbau

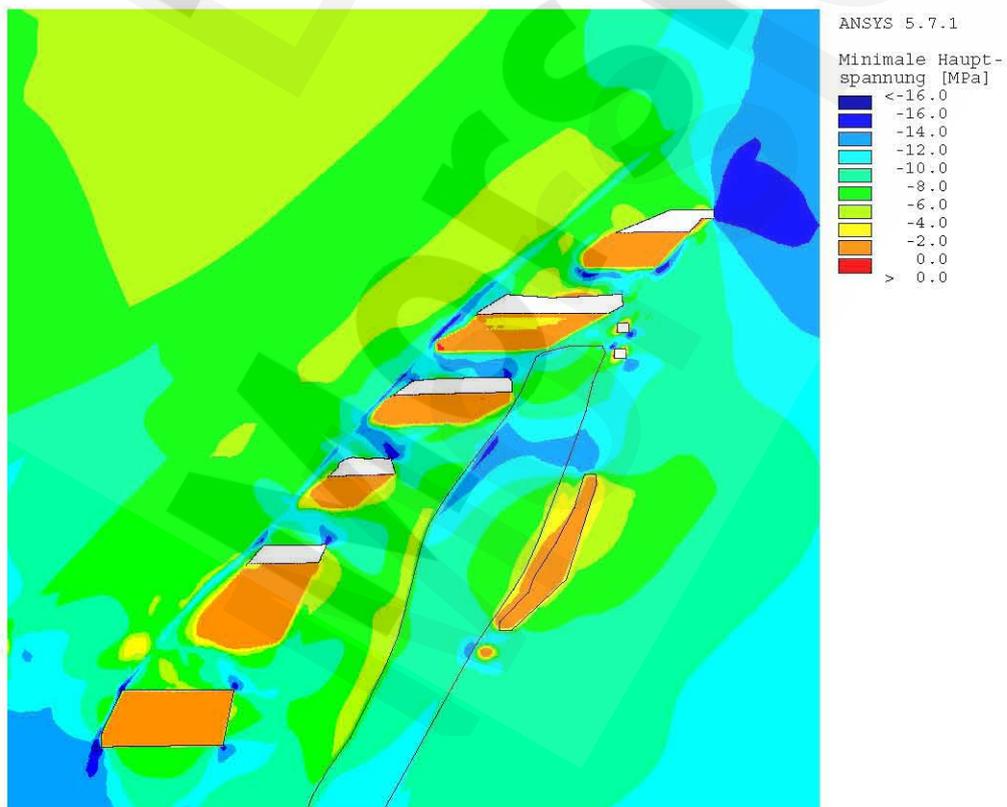


Anhang 17: Firstsenkung [m] und Sohlhebung [m] an ausgewählten Konturstellen des Abbaus 8s/4a-Sohle und des Einlagerungsgrubenbaus 1

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	X.AXXX	AA	NNNN	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01

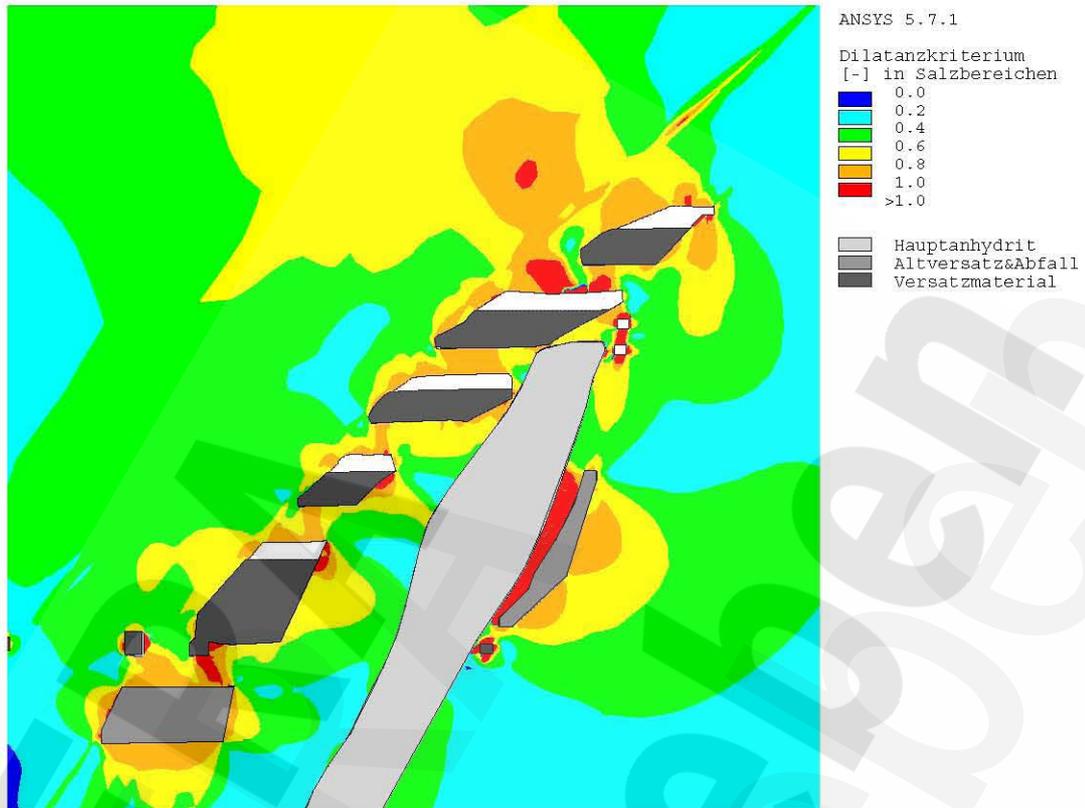


Anhang 18: Maximale Hauptspannung [MPa] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

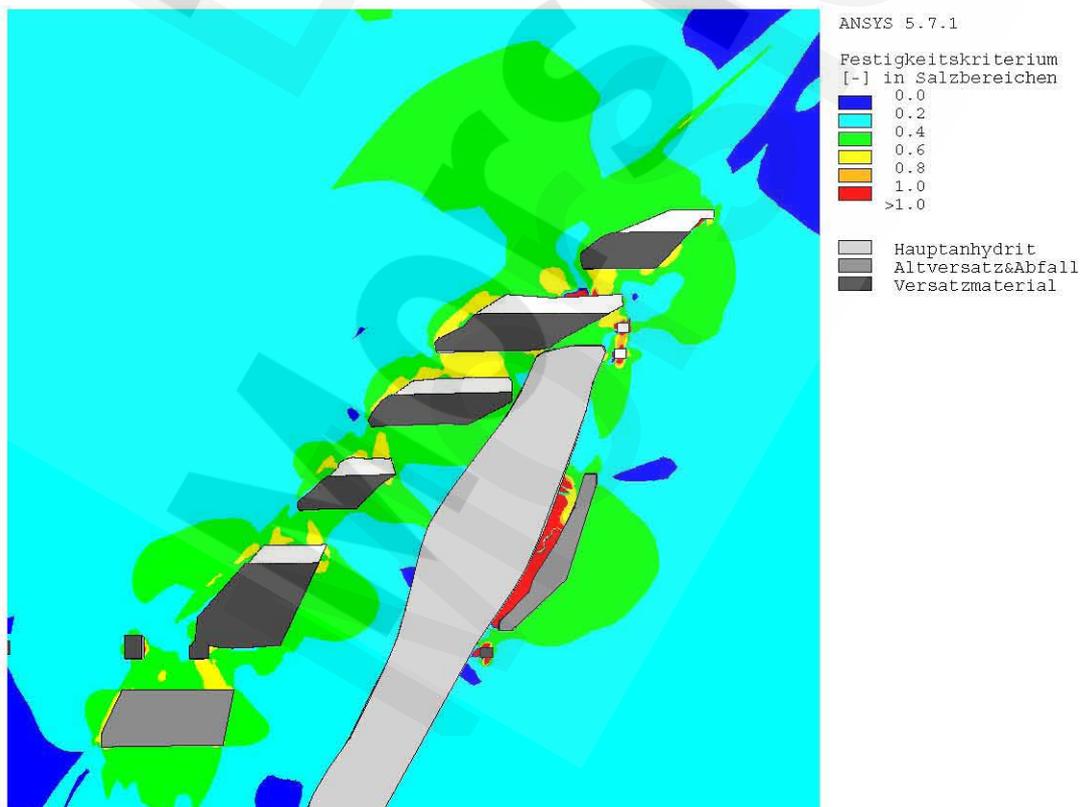


Anhang 19: Minimale Hauptspannung [MPa] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	



Anhang 20: Dilatanzkriterium [-] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

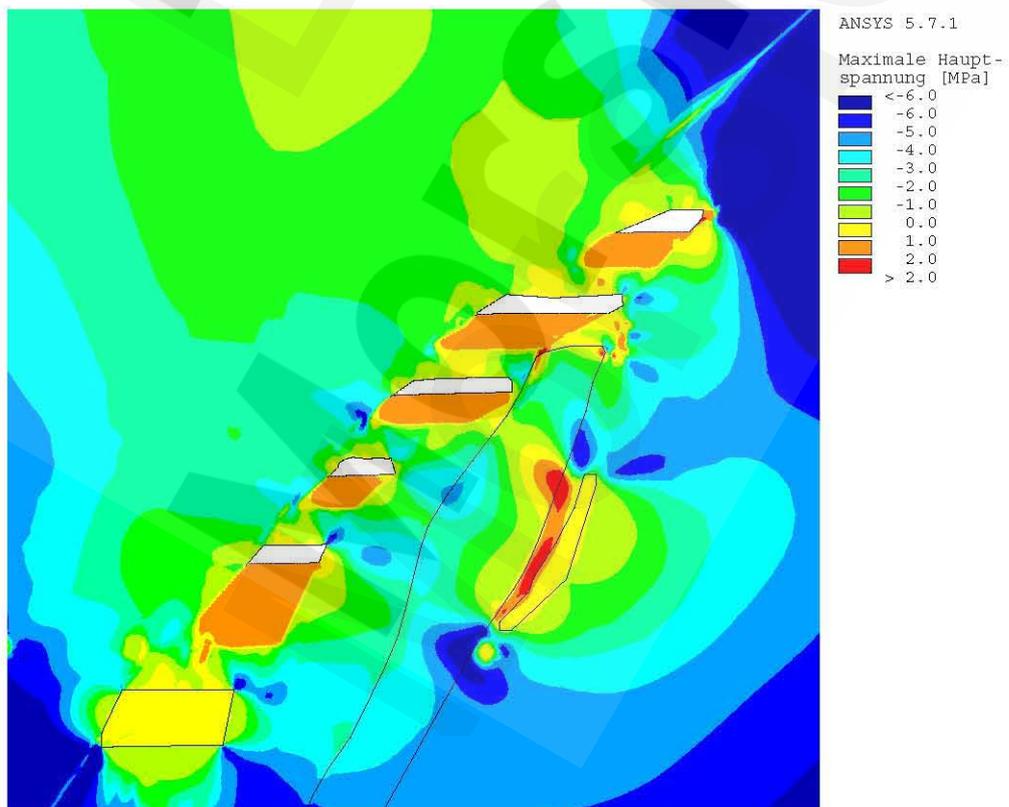


Anhang 21: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	

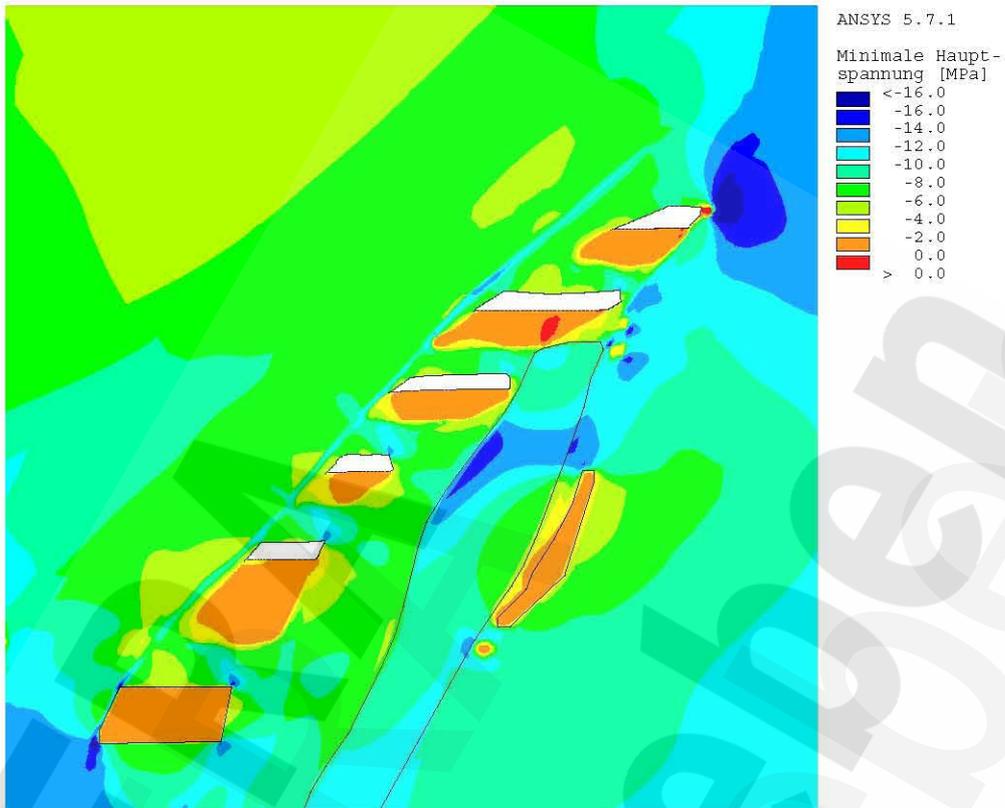


Anhang 22: Fluidkriterium [-] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

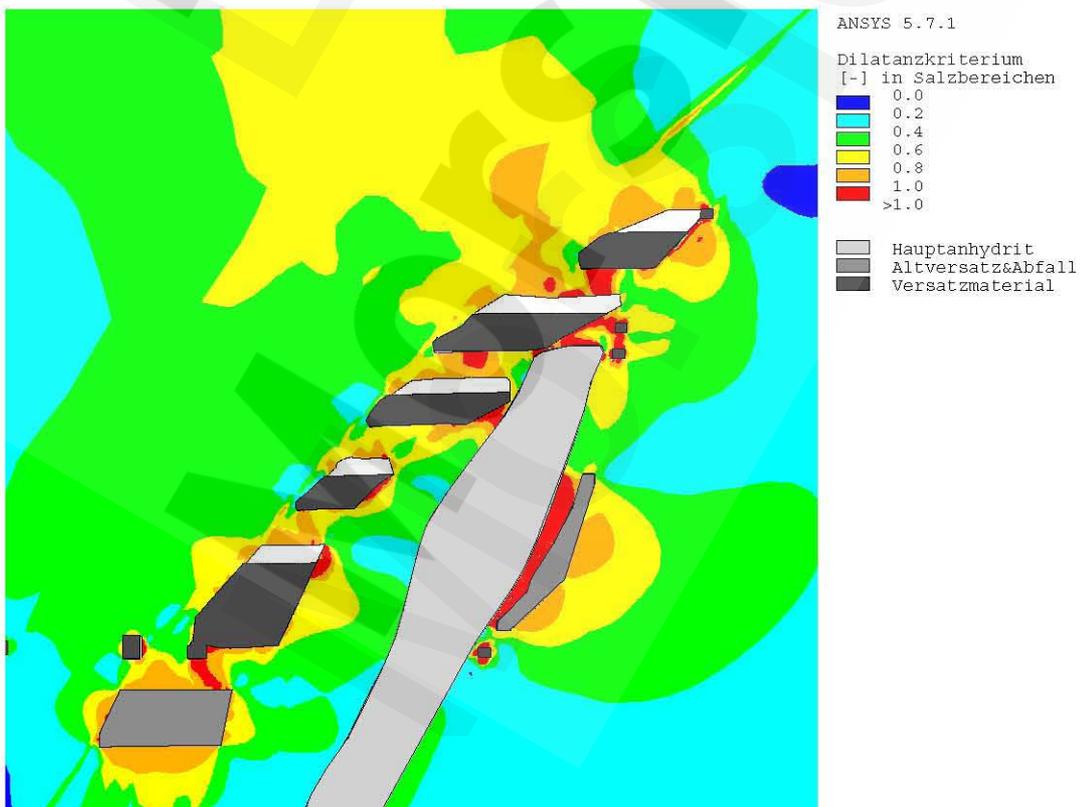


Anhang 23: Maximale Hauptspannung [MPa] ca. 2 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	X.AXXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	

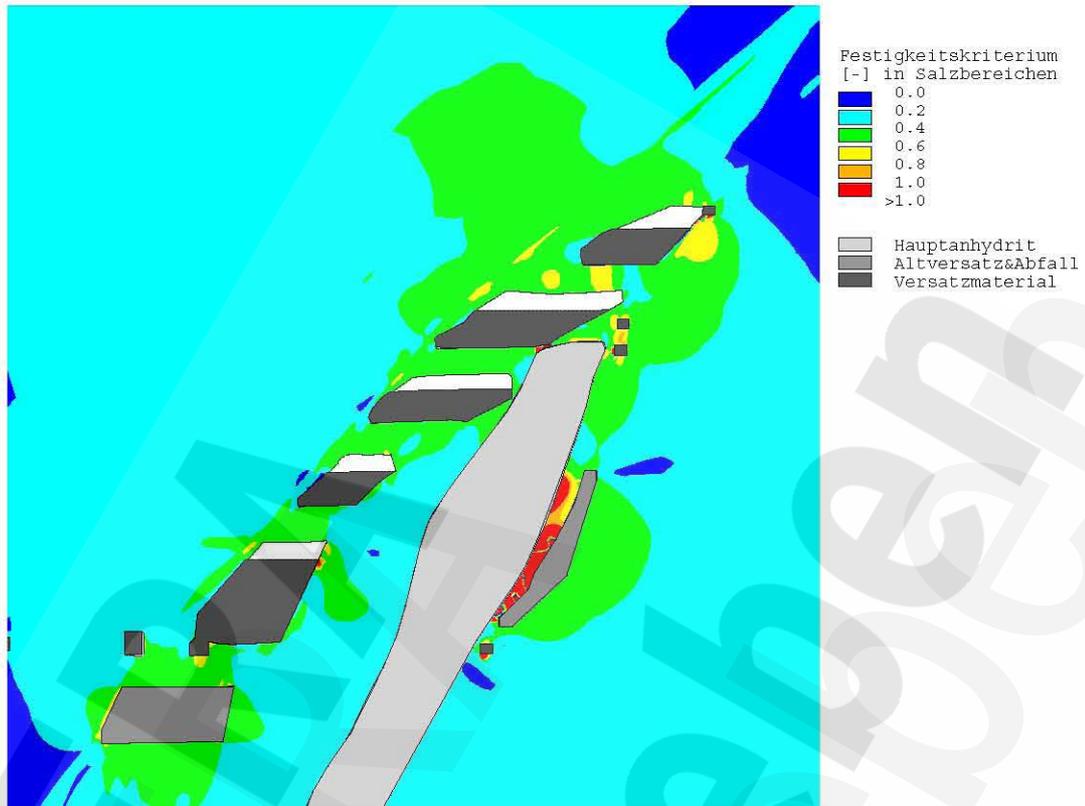


Anhang 24: Minimale Hauptspannung [MPa] ca. 2 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue



Anhang 25: Dilatanzkriterium [-] ca. 2 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01

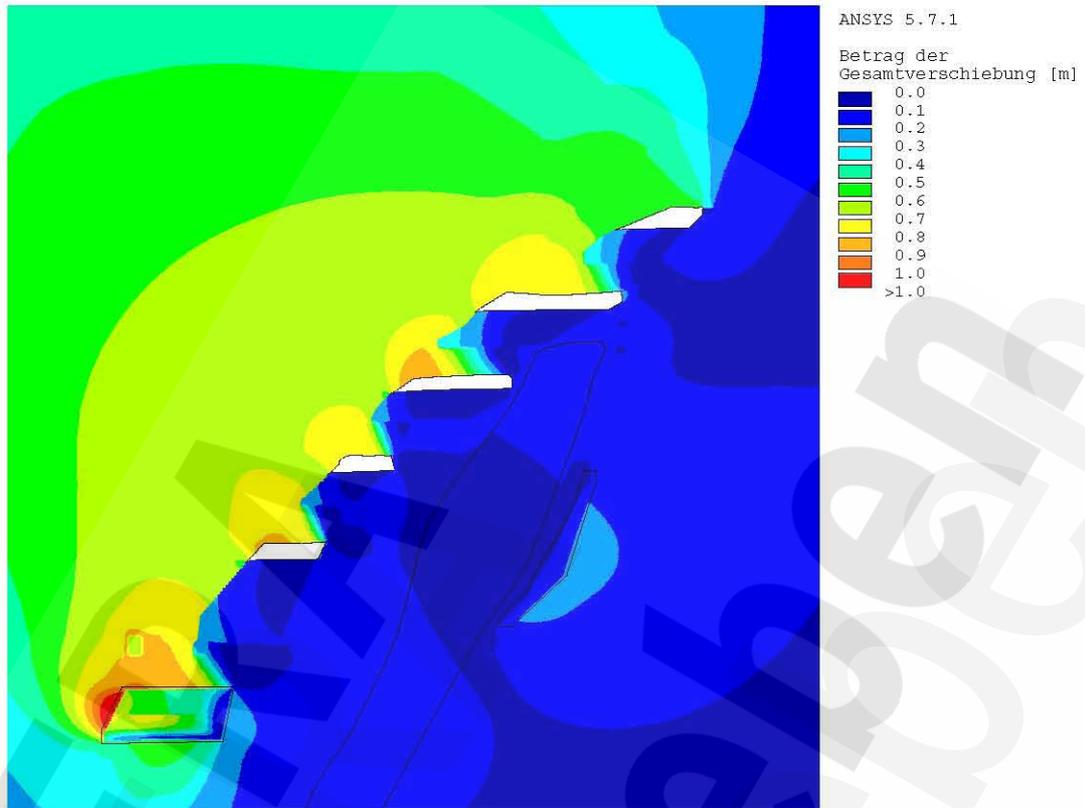


Anhang 26: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-] ca. 2 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbau

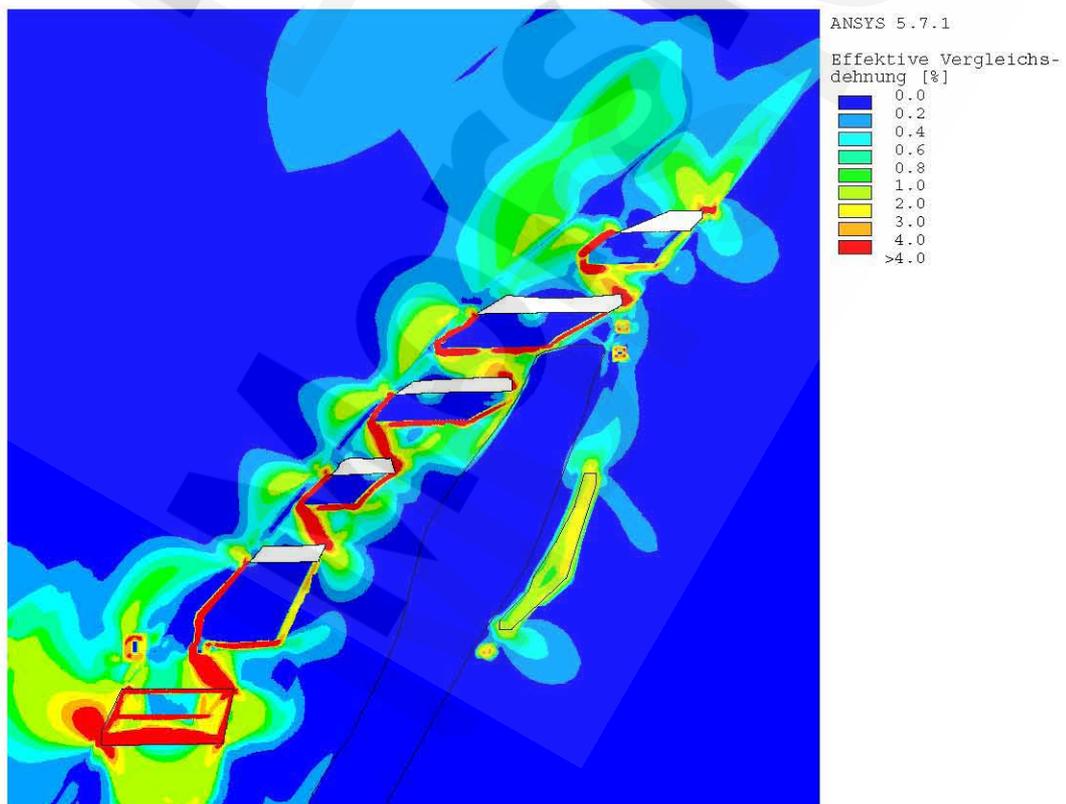


Anhang 27: Fluidkriterium [-] ca. 2 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbau

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	X.AXXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	

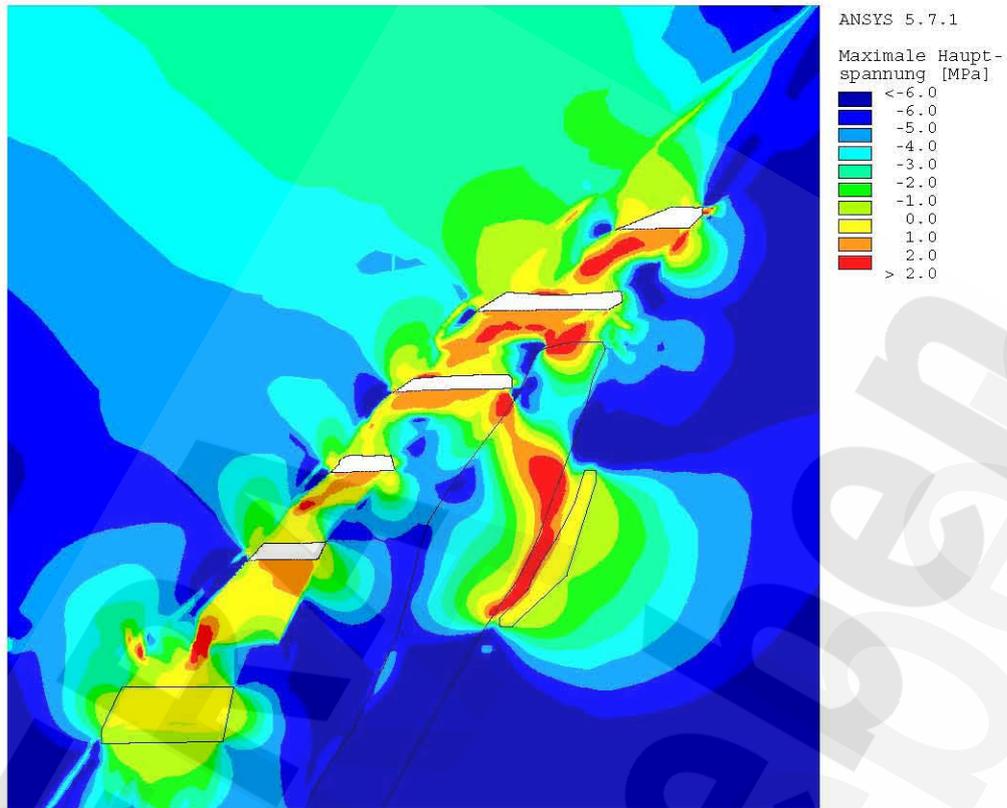


Anhang 28: Betrag der Gesamtverschiebung [m] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

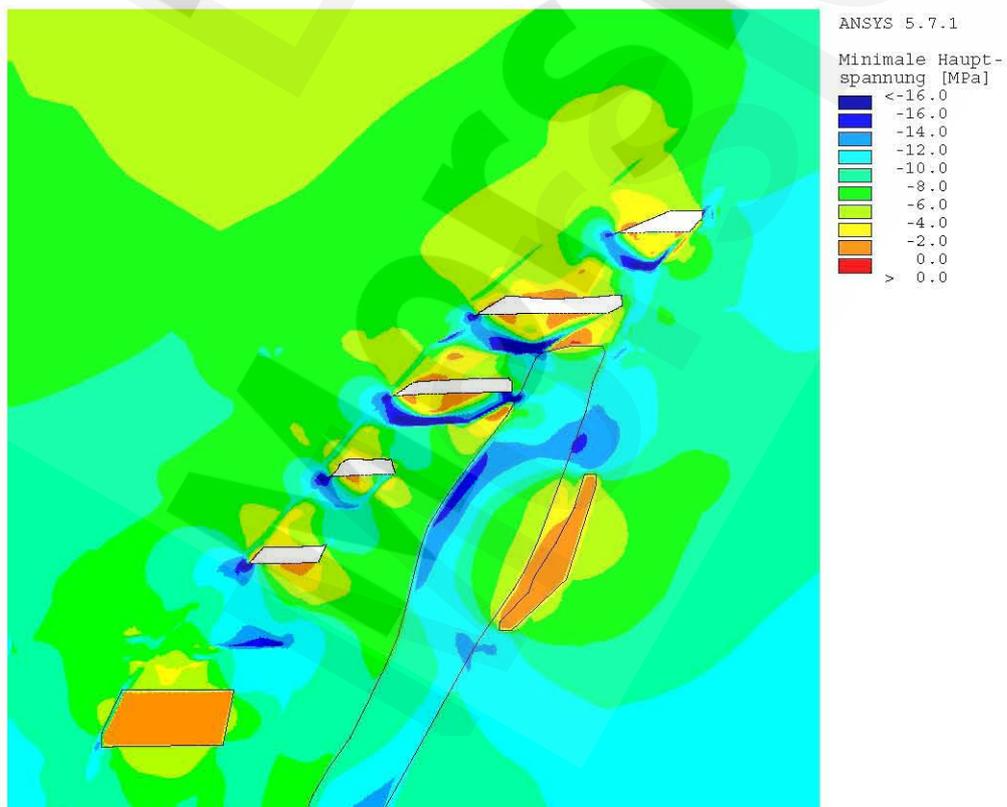


Anhang 29: Effektive viskoplastische Vergleichsdehnung [-] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	X.AA.XX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011					GC	LD	0011	01	

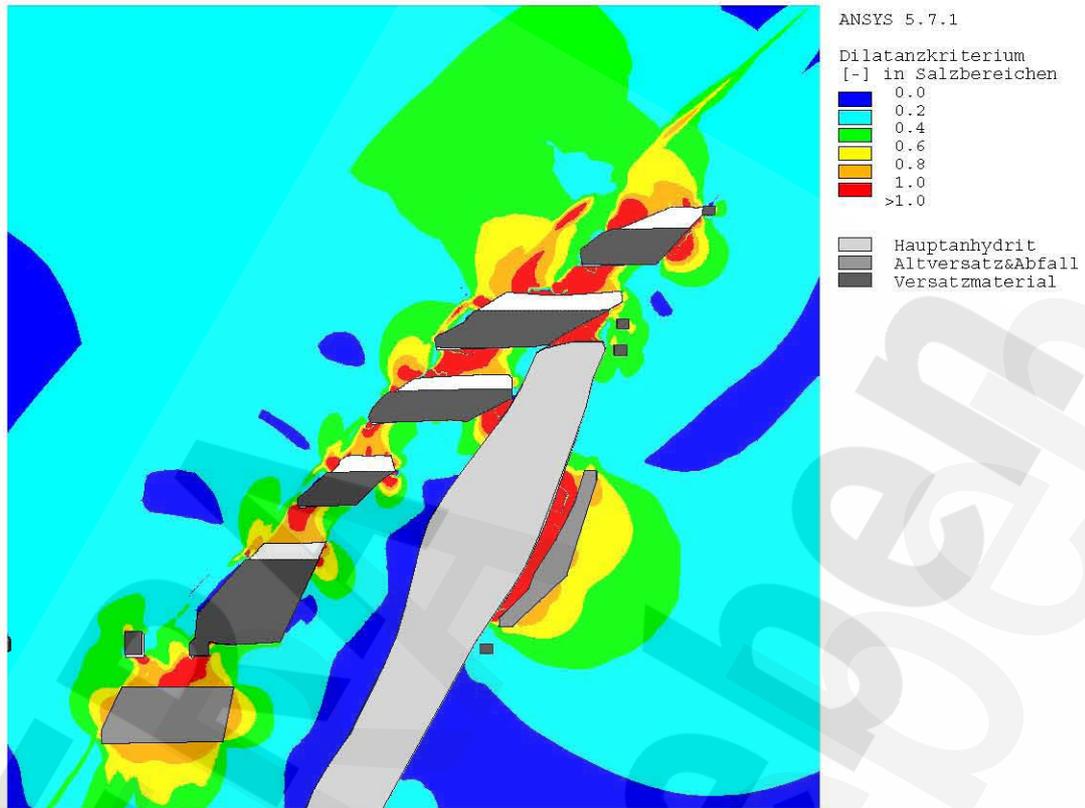


Anhang 30: Maximale Hauptspannung [MPa] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

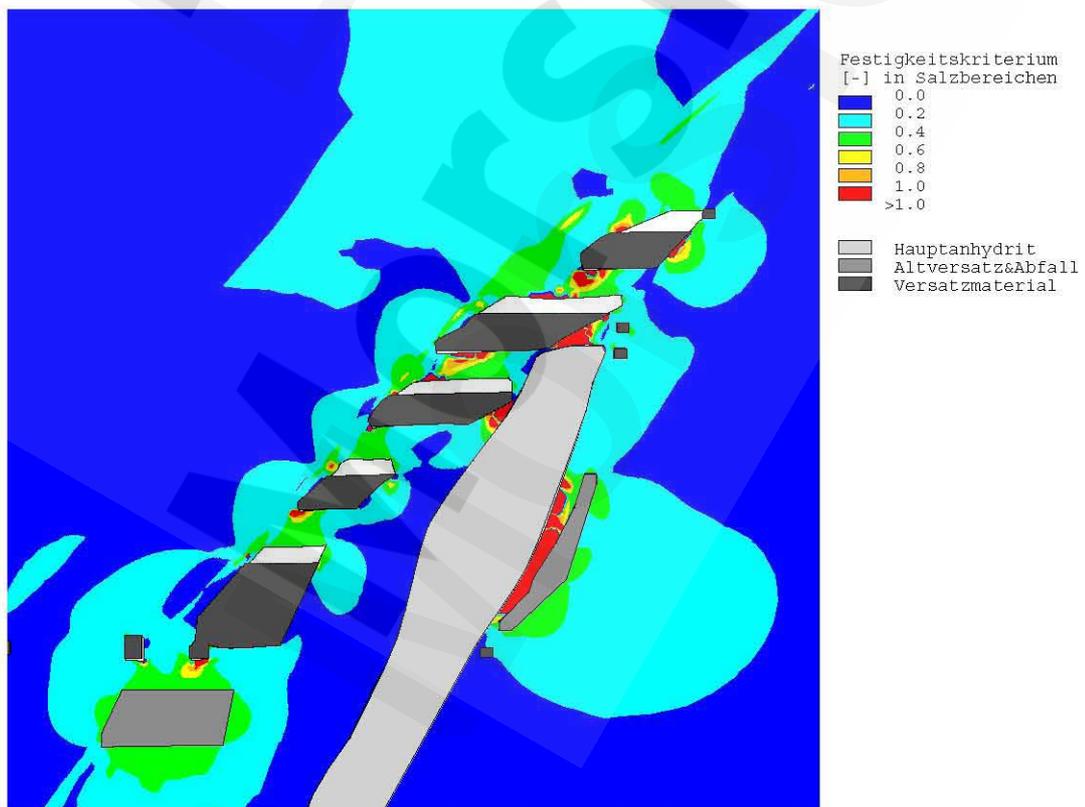


Anhang 31: Minimale Hauptspannung [MPa] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	DBE



Anhang 32: Dilatanzkriterium [-] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

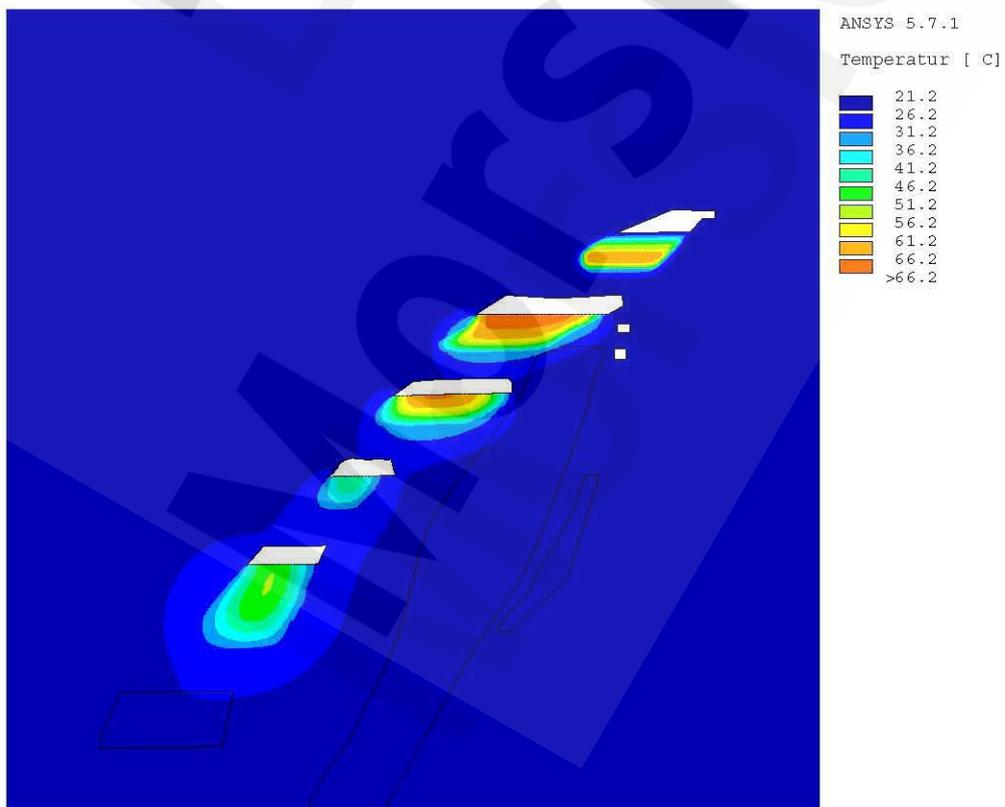


Anhang 33: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	

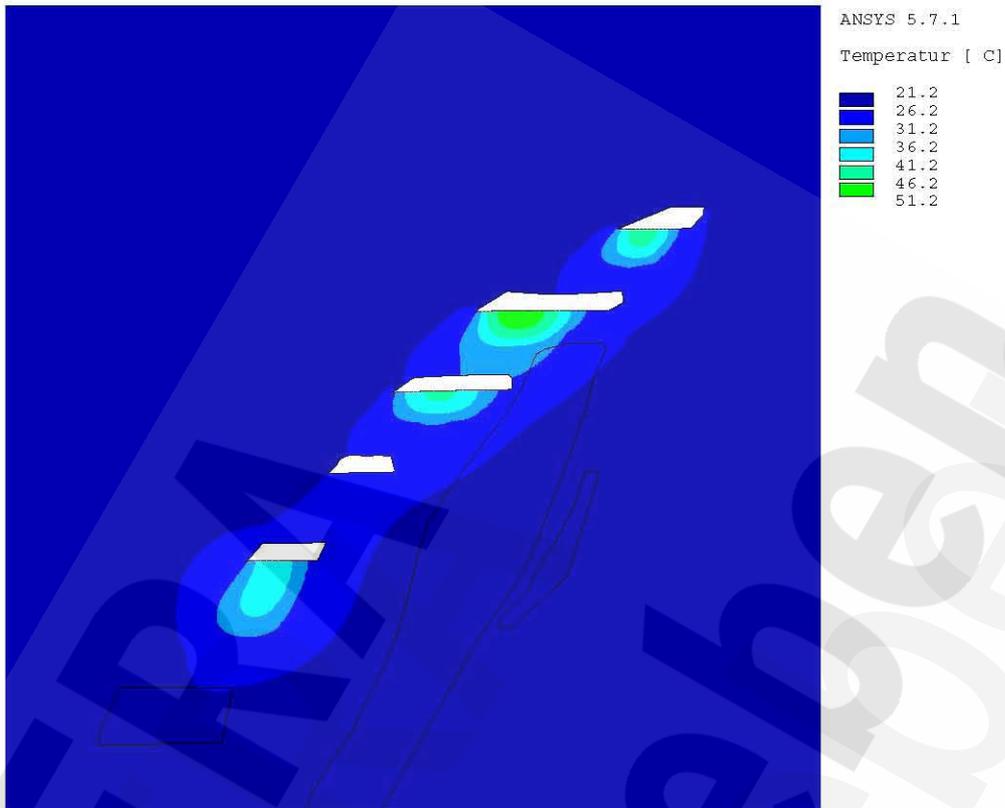


Anhang 34: Fluidkriterium [-] ca. 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

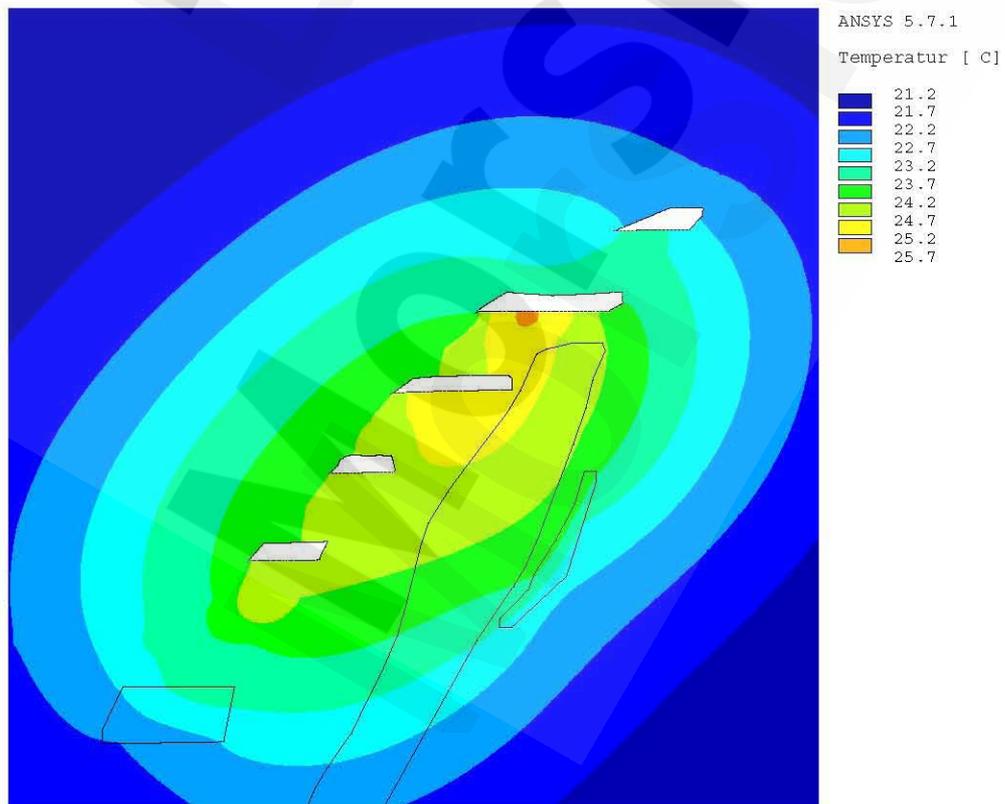


Anhang 35: Temperatur [°C] unmittelbar nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	X.AXXX	AA	NNNN	NN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	

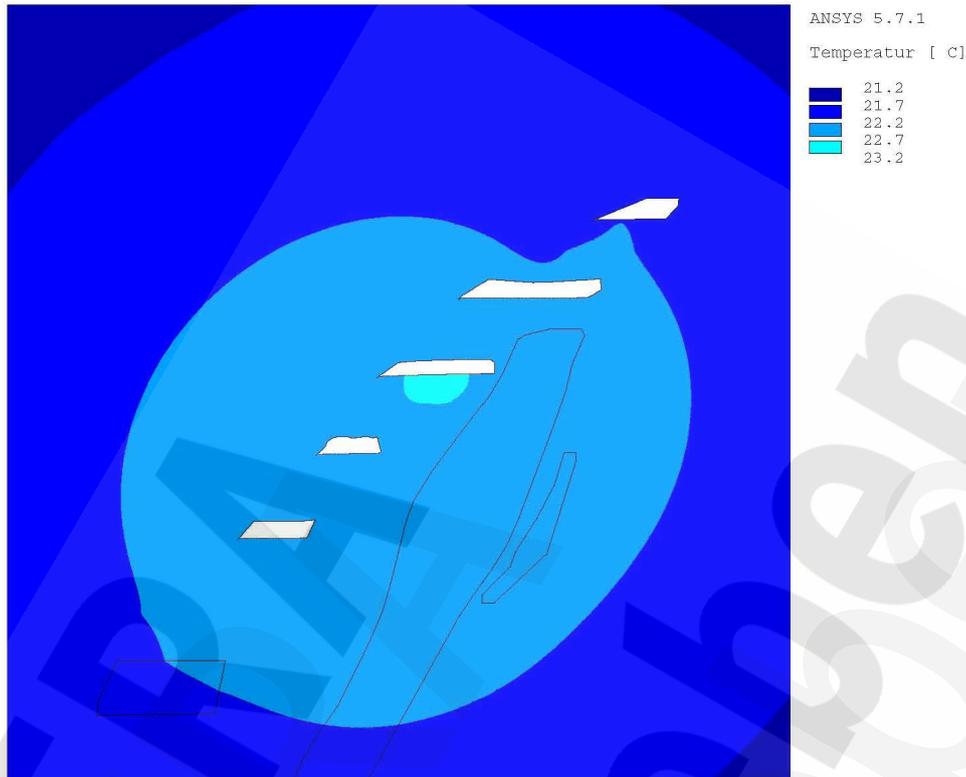


Anhang 36: Temperatur [°C] ca. 2 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

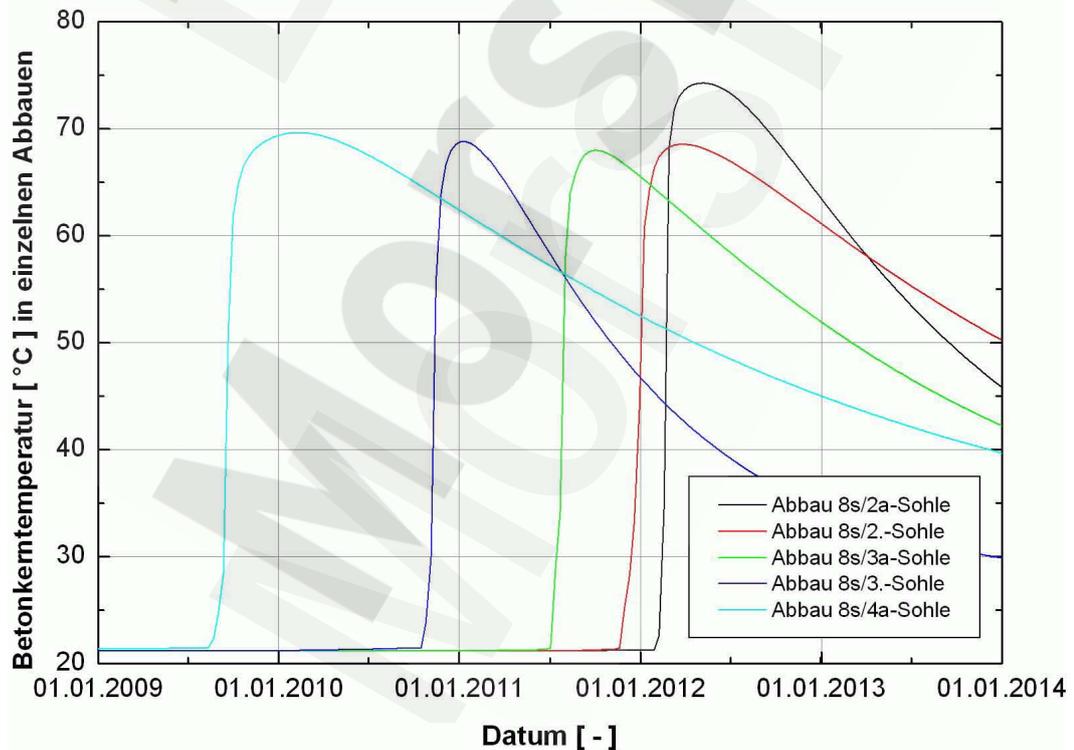


Anhang 37: Temperatur [°C] ca. 15 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbaue

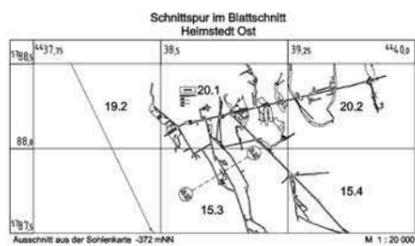
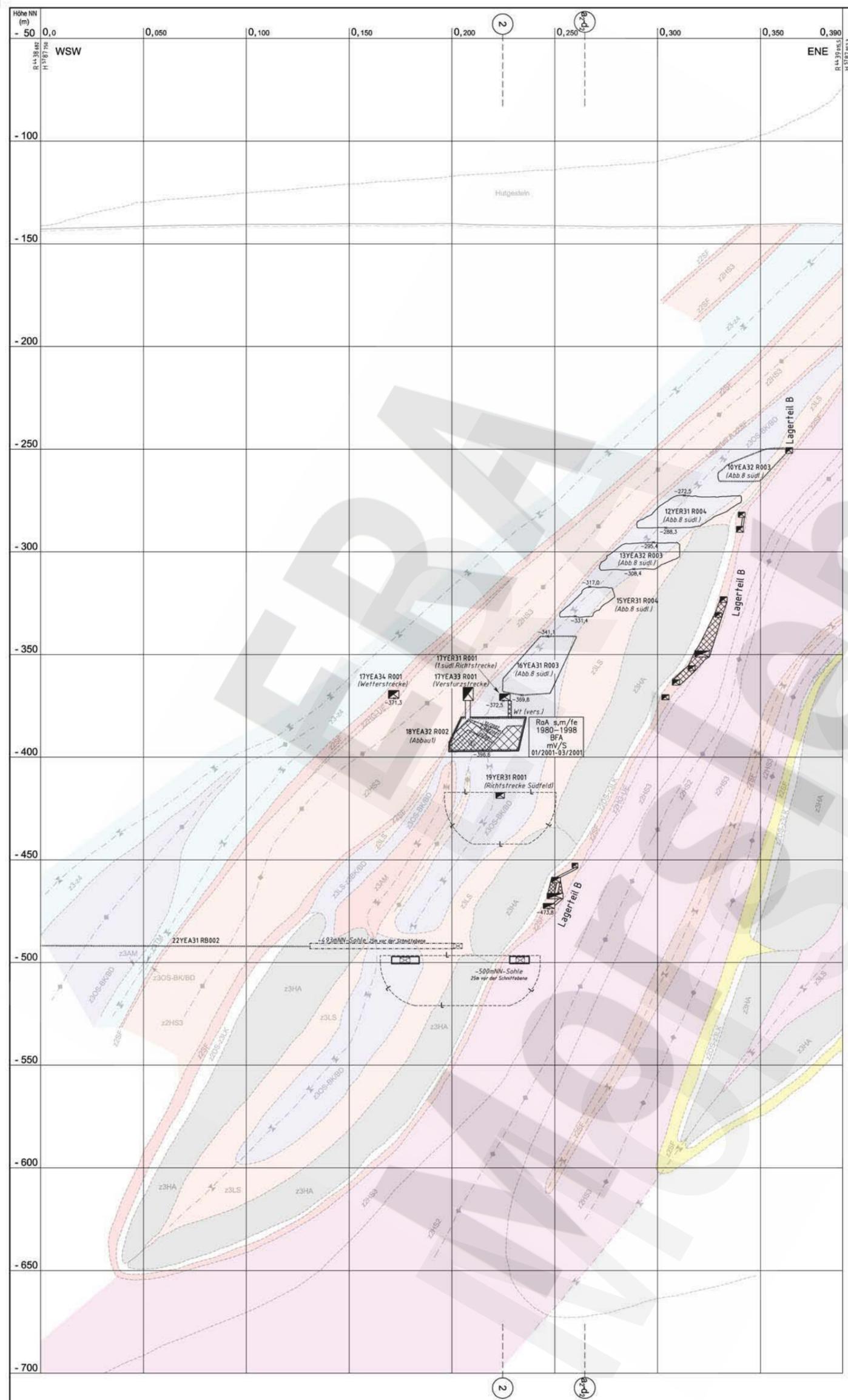
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	DBE
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	
Morsleben	9M	22341011				GC	LD	0011	01	



Anhang 38: Temperatur [°C] ca. 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung der Steinsalzabbau



Anhang 39: Zeitabhängiges Temperaturverhalten [°C] der Maximaltemperatur in den einzelnen Betonkörpern der Steinsalzabbau



- 1 Einlagerungsstand nicht vermessen
- BFA Braunkohlenfilterrosche
- m/V/S mechanisch eingebrachter Versatz / Salz

Geologie
 --- Spuren von Flächen nicht aufgeschlossen: wahrscheinlich
 --- Sattelachse
 --- Muldenachse

Geologie gemäß dem Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover: "ERA Morsleben - Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells, Abschlussbericht" mit "2. Anhang zum Abschlussbericht: Strukturierter Bau der Hauptmulde im Bereich des Abbaus 1" und aktuellen Kammerbefahrungen.

Kriechklassen	5	4	3	2	1	0	BGR-Carnallit	kein Kriechen	nicht bestimmt
[Color swatch]									

Kriechklassen entnommen aus dem Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover: "ERA Morsleben - Geomechanische und geotechnische Untersuchungen in Labor und in situ. Abschlussbericht zum Arbeitspaket 16/11/98 76", Ingenieurgeologische Erkundung von Homogenbereichen"

4.4.0.1007 Kriechklassen							
gez.	25.02.00		03	25.10.00	FARBBEREICH Z30A	AK	
bearb.	25.02.00		02	19.07.01	Anpassung an Erweiterung	AK	
gepr.	10.03.00		01	16.03.01	Anpassung an Erweiterung	AK	
Datum	Name / Unterschrift	Rev.	Stand	Änderung			gepr.

4.4.0.1004 Geologie							
gez.	21.02.00						
bearb.	25.02.00						
gepr.	08.03.00		01	10.07.01	kurzierter Bereich und Erweiterung		
Datum	Name / Unterschrift	Rev.	Stand	Änderung			gepr.

4.3.5.1057 Sonderschnitt SF8S							
gez.	02.02.00						
bearb.	10.02.00		02	02.07.01	Nachfrage Versatz	sv	
gepr.	02.03.00		01	02.08.00	Blattschnitt	sv	
Datum	Name / Unterschrift	Rev.	Stand	Änderung			gepr.

Freigabe	Freigabe DBE
Datum / Unterschrift	

Basistext:			
Bundesamt für Strahlenschutz			
Projekt: Morsleben			
Datum	Name / Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Freund
gez.	Deckrissverfahren 1.0		
bearb.			
gepr.			
CAD-Nr.	39305400	Titel: Sonderschnitt SF8S	
DiskID	11193326	Geologie	
WF-Nr.		Kriechklassen	
Maßstab	1 : 1000		
Blattgröße	620 X 690		
Blatt 1 von 1 Blatt			
Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor:			
Projekt	PSP (Projekt)	Objekt-Kennz.	Funktion
9 M	A A N N A	A A N N A	A A N N A
Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA
A A N N A	A A N N A	A A N N A	A A N N A
			Rev.
			G B T Y 0 0 1 6 0 3
DBE Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE)			

Hinweis zum PDF-Dokument:
 Die vorliegende PDF-Ausgabe des Dokuments kann im Maßstab und in der Farbwiedergabe von der Originalausgabe abweichen.