

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: Standsicherheits und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers: Zentralteil
Bartensleben

Autor: DBE

Erscheinungsjahr: 2006a

Unterlagen-Nr.: P 243

Revision: 01

Unterlagenteil:



	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	0010	01	

Standsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 3

Inhaltsverzeichnis

	Blatt
Verzeichnis der Anlagen	10
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	12
Zusammenfassung	13
1 Aufgabenstellung	14
2 Annahmen und Voraussetzungen für die Rechenmodelle	15
2.1 Materialverhalten	16
2.1.1 Mechanisches Verhalten	16
2.1.2 Thermisches Verhalten	17
2.1.3 Thermomechanische Kopplung	18
2.1.4 Hydratationsmodell für Salzbeton	18
2.2 Nachweise und Nachweiskriterien für die Standsicherheit der Bauzustände und den stabilen Endzustand	21
2.3 Berechnungsmethode	23
3 Berechnungsmodelle	24
3.1 3D-Modell ZTN-3.1	26
3.2 3D-Modell ZTS-3.1	27
3.3 3D-Modell ZT-3.3	28
3.4 Belastungsgeschichte und Verfüllreihenfolge	29
4 Ergebnisse und Bewertung	33
4.1 Modell ZTN-3.1	34
4.2 Modell ZTS-3.1	39
4.3 Modell ZT-3.3	43
4.4 Temperaturberechnungen	46
4.5 Ergänzende Untersuchungen zum Einfluss des Feuchtekriechens	48
4.6 Berücksichtigung einer geringeren Firstanbindung	49
4.7 Zusammenfassende Bewertung	50
5 Literatur	51
6 Glossar	53

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	0010	01	

Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 4

Verzeichnis der Anhänge

	Blatt
Anhang 1: 3D-Modell ZTN-3.1, Vernetzung des gesamten Berechnungsgebiets	55
Anhang 2: 3D-Modell ZTN-3.1, Darstellung der Kriechklassen	55
Anhang 3: 3D-Modell ZTS-3.1, Vernetzung des gesamten Berechnungsgebiets	56
Anhang 4: 3D-Modell ZTS-3.1, Darstellung der Kriechklassen	56
Anhang 5: 3D-Modell ZT-3.3, Vernetzung des gesamten Berechnungsgebiets	57
Anhang 6: 3D-Modell ZT-3.3, Darstellung der Kriechklassen	57
Anhang 7: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006	58
Anhang 8: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006	58
Anhang 9: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006, Längsschnitt durch die Schweben über Abbau 3n, 3. Sohle	59
Anhang 10: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006, Längsschnitt durch die Schweben über Abbau 3n, 3. Sohle	59
Anhang 11: Vergleichsdehnung [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006	60
Anhang 12: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006	60
Anhang 13: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006	61
Anhang 14: Fluidkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006	61
Anhang 15: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ	62
Anhang 16: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ	62
Anhang 17: Vergleichsdehnung [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ	63
Anhang 18: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ	63
Anhang 19: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ	64
Anhang 20: Fluidkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ	64
Anhang 21: Temperatur [K], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 11/2006, nach Verfüllung des Abbaus 3n, 3a-Sohle	65
Anhang 22: Temperatur [K], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ	65

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	0010	01	

Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 5

Anhang 23:	Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1	66
Anhang 24:	Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1	66
Anhang 25:	Vergleichsdehnung [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1	67
Anhang 26:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1	67
Anhang 27:	Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1	68
Anhang 28:	Fluidkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1	68
Anhang 29:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1	69
Anhang 30:	Fluidkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1	69
Anhang 31:	Temperatur [K], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2013, nach Verfüllung des Abbaus 4n, 3./4a-Sohle	70
Anhang 32:	Temperatur [K], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung und Auswertepunkte am Salzspiegel und an der obersten Anhydritscholle	70
Anhang 33:	Temperaturverlauf [K], Modell ZTN-3.1, Auswertung an der obersten Anhydritscholle und am Salzspiegel	71
Anhang 34:	Temperatur [K], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung	71
Anhang 35:	Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1 (2D-Modell)	72
Anhang 36:	Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1 (2D-Modell)	72
Anhang 37:	Vergleichsdehnung [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1 (2D-Modell)	73
Anhang 38:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1 (2D-Modell)	73

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	0010	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 6

Anhang 39:	Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1 (2D-Modell)	74
Anhang 40:	Fluidkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1 (2D-Modell)	74
Anhang 41:	Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005	75
Anhang 42:	Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005	75
Anhang 43:	Vergleichsdehnung [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005	76
Anhang 44:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005	76
Anhang 45:	Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005	77
Anhang 46:	Fluidkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005	77
Anhang 47:	Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ	78
Anhang 48:	Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ	78
Anhang 49:	Vergleichsdehnung [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ	79
Anhang 50:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ	79
Anhang 51:	Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ	80
Anhang 52:	Fluidkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ	80
Anhang 53:	Temperatur [K], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 11/2006, nach Verfüllung des Abbaus 3s, 3. Sohle	81
Anhang 54:	Temperatur [K], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ	81
Anhang 55:	Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1	82
Anhang 56:	Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1	82
Anhang 57:	Vergleichsdehnung [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1	83
Anhang 58:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1	83

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	0010	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 7

Anhang 59:	Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1	84
Anhang 60:	Fluidkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1	84
Anhang 61:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2025, ca. 7,5 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1	85
Anhang 62:	Fluidkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2025, ca. 7,5 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1	85
Anhang 63:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1	86
Anhang 64:	Fluidkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1	86
Anhang 65:	Temperatur [K], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2013, nach Verfüllung des Abbaus 4s, 3./4a-Sohle	87
Anhang 66:	Temperatur [K], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung und Auswertepunkte am Salzspiegel und an der obersten Anhydritscholle	87
Anhang 67:	Temperaturverlauf [K], Modell ZTS-3.1, Auswertung an der obersten Anhydritscholle und am Salzspiegel	88
Anhang 68:	Temperatur [K], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung	88
Anhang 69:	Festigkeitskriterium [-] an der obersten Anhydritscholle, Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005	89
Anhang 70:	Festigkeitskriterium [-] an der obersten Anhydritscholle, Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ	89
Anhang 71:	Festigkeitskriterium [-] an der obersten Anhydritscholle, Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1	90
Anhang 72:	Festigkeitskriterium [-] an der obersten Anhydritscholle, Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1	90
Anhang 73:	Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1 (2D-Modell)	91
Anhang 74:	Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1 (2D-Modell)	91
Anhang 75:	Vergleichsdehnung [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1 (2D-Modell)	92

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	0010	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 8

Anhang 76:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1 (2D-Modell)	92
Anhang 77:	Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1 (2D-Modell)	93
Anhang 78:	Fluidkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1 (2D-Modell)	93
Anhang 79:	Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 09/2003	94
Anhang 80:	Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 09/2003	94
Anhang 81:	Vergleichsdehnung [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 09/2003	95
Anhang 82:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 09/2003	95
Anhang 83:	Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 09/2003	96
Anhang 84:	Fluidkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 09/2003	96
Anhang 85:	Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ	97
Anhang 86:	Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ	97
Anhang 87:	Vergleichsdehnung [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ	98
Anhang 88:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ	98
Anhang 89:	Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ	99
Anhang 90:	Fluidkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ	99
Anhang 91:	Temperatur [K], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ	100
Anhang 92:	Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3	100
Anhang 93:	Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3	101
Anhang 94:	Vergleichsdehnung [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3	101
Anhang 95:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3	102

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	0010	01	

Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 9

Anhang 96:	Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3	102
Anhang 97:	Fluidkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3	103
Anhang 98:	Temperatur [K], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung	103
Anhang 99:	Temperatur [K], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung	104
Anhang 100:	Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3 (2D-Modell)	104
Anhang 101:	Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3 (2D-Modell)	105
Anhang 102:	Vergleichsdehnung [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3 (2D Modell)	105
Anhang 103:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3 (2D Modell)	106
Anhang 104:	Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3 (2D-Modell)	106
Anhang 105:	Fluidkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3 (2D-Modell)	107
Anhang 106:	Bereiche mit Ansatz von Feuchtekriechen, verwendete Kriechfaktoren AF, Modell ZTN-3.1	107
Anhang 107:	Maximale Hauptspannung [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, mit Feuchtekriechen	108
Anhang 108:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, mit Feuchtekriechen	108
Anhang 109:	Bereiche mit Ansatz von Feuchtekriechen, verwendete Kriechfaktoren AF, Modell ZTS-3.1	109
Anhang 110:	Maximale Hauptspannung [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, mit Feuchtekriechen	109
Anhang 111:	Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, mit Feuchtekriechen	110
Anhang 112:	Bereiche mit Ansatz von Feuchtekriechen, verwendete Kriechfaktoren AF, Modell ZT-3.3	110
Anhang 113:	Maximale Hauptspannung [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, mit Feuchtekriechen	111

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22341011					GC	LD	0010	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 10

Anhang 114: Dilatanzkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017,
mit Feuchtekriechen

111

Blattzahl dieser Unterlage: 111 Blatt

Verzeichnis der Anlagen

Blattzahl der Anlage

- | | | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Anlage 1: | Sonderschnitt ZTN-3.1, Geologie und Kriechklassen, FEM-Modellierung
Dok.-Kennz. 9M/GC/TY/0005/00 | 1 |
| Anlage 2: | Sonderschnitt ZTS-3.1, Geologie und Kriechklassen, FEM-Modellierung
Dok.-Kennz. 9M/GC/TY/0004/00 | 1 |
| Anlage 3: | Sonderschnitt ZT-3.3, Geologie und Kriechklassen, FEM-Modellierung
Dok.-Kennz. 9M/GC/TY/0006/00 | 1 |

Gesamtblattzahl dieser Unterlage mit Anlagen: 114 Blatt

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22341011					GC	LD	0010	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 11

Abbildungsverzeichnis

Blatt

Abbildung 2-1: Lage der charakteristischen Schnitte Zentralteil ERAM (Darstellung auf der 3a-Sohle)	15
Abbildung 3-1: Schematische Darstellung der 3D-Modellierung (Grundriss)	25
Abbildung 3.1-1: Diskretisierung im Bereich der Abbaue 2n und 3n, 3a-Sohle	27
Abbildung 3.2-1: Diskretisierung im Bereich der Abbaue 2s und 3s, 3a-Sohle	28
Abbildung 3.3-1: Diskretisierung im Bereich des Abbaus 1an, 3a-Sohle	29

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22341011					GC	LD	0010	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 12

Tabellenverzeichnis

	Blatt
Tabelle 2.1-1: Parameter für linear elastisches Materialverhalten	16
Tabelle 2.1-2: Materialparameter zur Temperaturberechnung	18
Tabelle 2.1-3: Wärmeausdehnungskoeffizient der berücksichtigten Materialien nach /9/ (für Altversatz wird 1/10 des dort angegebenen Steinsalz-Wertes gesetzt)	18
Tabelle 3-1: Zuordnung der Kriechklassen	26
Tabelle 3.4-1: Verfüllreihenfolge Modell ZTN-3.1	31
Tabelle 3.4-2: Verfüllreihenfolge Modell ZTS-3.1	31
Tabelle 3.4-3: Verfüllreihenfolge Modell ZT-3.3	32

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	0010	01	

Stichworte:

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

Zusammenfassung

Im Konzept zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist vorgesehen, nahezu alle Grubenbaue mit Salzbeton zu verfüllen.

Zum Nachweis der Sicherheit der Bauzustände sowie des stabilen Endzustands für den Zentralteil wurden thermomechanische Berechnungen für 3D-Modelle, die charakteristische Bereiche des Zentralteils berücksichtigen, durchgeführt.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass der Einfluss der Hydratationswärme des eingebrachten Salzbetons auf die Temperatur am Salzspiegel und an den obersten Anhydritschollen geringfügig ist. Damit ist der Nachweis der Sicherheit der Bauzustände hinsichtlich der Wärmeentwicklung geführt.

Zudem zeigen die Berechnungen, dass durch die Verfüllung eine Zustandsverbesserung sowohl hinsichtlich der Barrierenintegrität als auch bezüglich der Tragelemente Schweben und Pfeiler eintritt. Lokal treten zum Abschluss der Stilllegung und wenige Jahre danach auch geringe Zustandsverschlechterungen im Bereich der Salzbarriere infolge der vorlaufenden bGZ auf. Diese sind jedoch nur temporär. Aufgrund der vorlaufenden bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahme im Zentralteil (bGZ) verläuft die Verfüllung im Zentralteil nicht vollständig von unten nach oben. Während der Bauzustände der bGZ bis zum Abschluss der Stilllegung treten rechnerisch in einigen Tragelementen Zustandsverschlechterungen auf. Hier ist der Nachweis der sicheren Bauzustände in Verbindung mit einem geotechnischen Überwachungskonzept und dem Konzept von Vorsorgemaßnahmen zu führen.

Hinsichtlich des stabilen Endzustands kann für alle Modelle eine ausreichende Integrität der Salzbarriere ausgewiesen werden. Überschreitungen des Dilatanzkriteriums treten nur noch in Konturbereichen der Resthohlräume auf. Sollte es hier zu Verbrüchen kommen, ist der stabile Endzustand aufgrund des ausreichenden Verfüllgrades gewährleistet. Die Senkung der Tagesoberfläche kommt durch das geringe Volumen der Resthohlräume fast zum Stillstand. Der Nachweis des stabilen Endzustands ist also geführt.

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22341011					GC	LD	0010	01	

1 Aufgabenstellung

Zur Zeit werden Maßnahmen zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) geplant. Das Konzept zur Stilllegung 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 den Zentralteil Bartensleben sind für die ausgewählten charakteristischen Schnitte thermomechanische 3D-Berechnungen durchzuführen, die das Hydratationsverhalten des Salzbetons M3 und damit die sich beim Abbinden entwickelnde Wärme berücksichtigen. Zudem sind die Verfüllmaßnahmen der bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahme im Zentralteil (bGZ) zu berücksichtigen.

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22341011					GC	LD	0010	01

2 Annahmen und Voraussetzungen für die Rechenmodelle

In Abbildung 2-1 ist die Lage der charakteristischen Schnitte ZTN-3.1, ZTS-3.1, ZT-3.3 und ZT-1.4 für die thermomechanischen Berechnungen für den Zentralteil des ERAM nach /1/ dargestellt. Für diese charakteristischen Schnitte wurden Sonderschnittrisse (Anlage 1 – Anlage 3, /2/) erstellt. Diesen Sonderschnittrissen wurde die Lage der Hohlräume sowie die Geologie und die Kriechklassen der Steinsalze entnommen.

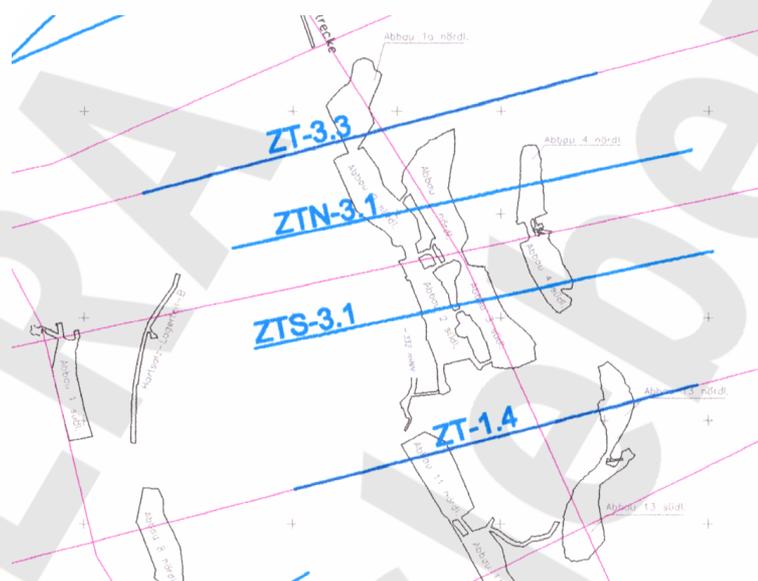


Abbildung 2-1: Lage der charakteristischen Schnitte Zentralteil ERAM (Darstellung auf der 3a-Sohle)

Das Deckgebirge wird als homogene Schicht modelliert. Die Ergebnisse im Bereich der Abbaue des zu untersuchenden Hohlräumensystems werden auf Grund des ausreichenden Abstands zum Deckgebirge von dieser Vereinfachung nicht beeinflusst.

Die Temperatur wird im gesamten Berechnungsausschnitt mit 23°C (296 K) teufenunabhängig vorausgesetzt, der Bewitterungseinfluss wird vernachlässigt.

Zur Berechnung wird die Methode der Finiten Differenzen, Programmpaket FLAC3D /3/ Version 2.2 mit dem Präprozessor ANSYSPrepPost /4/, verwendet. Die Vorzeichenkonvention entspricht der in der Technischen Mechanik üblichen, d. h. Druck ist durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet.

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22341011					GC	LD	0010	01	

2.1 Materialverhalten

Das Berechnungsgebiet enthält die Materialien Steinsalz, Anhydrit, Altversatz (Salzgrus), Hutgestein und Deckgebirge und für die Verfüllung Salzbeton M2 (bGZ) bzw. M3 (Stilllegung). Es wird von bereichsweise homogenem und isotropem Verhalten ausgegangen. Die verwendeten Stoffgesetze und Materialparameter für Steinsalz, Anhydrit, Altversatz und Deckgebirge sind in den Abschnitten 2.1.1, 2.1.2 und 2.1.3 angegeben. In Abschnitt 2.1.4 wird das zur Modellierung des thermomechanischen Verhaltens des Salzbetons verwendete Hydratationsmodell zusammenfassend sowie die Parameter für den Salzbeton M2 bzw. M3 dargestellt.

2.1.1 Mechanisches Verhalten

Für Anhydrit, Altversatz, Deckgebirge und Hutgestein wird linear elastisches Materialverhalten angenommen. Die Materialdaten sind in Tabelle 2.1-1 angegeben.

Steinsalz weist elastisch-viskoplastisches Materialverhalten auf. Für die hier durchgeführte geometrisch lineare Berechnung kann von einer additiven Zerlegung des Verzerrungstensors und des Tensors der Verzerrungsgeschwindigkeiten in einen elastischen und einen viskoplastischen Anteil

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_e + \dot{\epsilon}_v$$

ausgegangen werden. Der elastische Anteil des Stoffgesetzes wird als linear elastisch betrachtet, die Materialdaten nach /5/ sind in Tabelle 2.1-1 angegeben.

Material	Elastizitätsmodul E	Querkontraktionszahl ν
Deckgebirge und Hutgestein	10 GPa	0,27
Anhydrit	30 GPa	0,27
Steinsalz und Carnallitit	25 GPa	0,27
Altversatz	60 MPa	0,27

Tabelle 2.1-1: Parameter für linear elastisches Materialverhalten

Der viskoplastische Anteil wird als stationäres Kriechen modelliert, wobei das Materialgesetz für Steinsalz nach /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	
9M	22341011					GC	LD	0010	01	

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

mit

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

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

und den Parametern /6/

- Spannungsexponent n = 5
- Kriechfaktor A = 0,18 [1/d]
- Aktivierungsenergie Q = 54 [kJ/mol]
- Gaskonstante R = 8,314*10⁻³ [kJ/mol K]
- Normierungsspannung σ_* = 1 [MPa]

und der Temperatur T [K] angesetzt wird. Um unterschiedliche Kriechfähigkeit der verschiedenen stratigraphischen Einheiten zu berücksichtigen, werden unterschiedliche Vorfaktoren (Kriechklassen) gewählt, wie in /6/ empfohlen. Eine Volumenvergrößerung durch Auflockerung nach Überschreiten der Dilatanzgrenze (siehe Abschnitt 2.2) wird in dieser Berechnung nicht berücksichtigt.

Nach /6/ wird für Bereiche des Kalilagers Staßfurt ein Stoffgesetz für Carnallit

$$\dot{\epsilon}_{eff, Carn}^{cr} = A \cdot e^{\frac{-Q}{R \cdot T}} \cdot \left(\frac{\sigma_{eff}}{\sigma_*} \right)^n + C \cdot \left(\frac{\sigma_{eff}}{\sigma_*} \right)^2$$

mit C = 4,5 · 10⁻⁷ [1/d] und den oben für das Stoffgesetz für Steinsalz angegebenen Parametern angesetzt.

Die Dichte der Materialien wird zu 2,2 g/cm³ für das Steinsalz, 2,5 g/cm³ für den Anhydrit, 1,2 g/cm³ für den Altversatz und 2,2 g/cm³ für das Deckgebirge und das Hutgestein angesetzt.

2.1.2 Thermisches Verhalten

Für alle Materialien wird von thermisch isotropem Verhalten ausgegangen. Wärmeübertragung wird in den Berechnungen durch Wärmeleitung berücksichtigt, der Einfluss von Konvek-

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	0010	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 18

tion und Strahlung wird vernachlässigt. Die Materialparameter sind in Tabelle 2.1-2 zusammengestellt. Alle Parameter sind temperaturunabhängig.

Material	Spezifische Wärmekapazität c [J/(kgK)]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)]
Deckgebirge und Hutgestein nach /7/	710	1,8
Anhydrit	864	5,32
Steinsalz	855	5,3
Altversatz	1840	0,52
Carnallit nach /8/	855	1,5

Tabelle 2.1-2: Materialparameter zur Temperaturberechnung

2.1.3 Thermomechanische Kopplung

Die Kopplung der thermischen und der mechanischen Berechnung erfolgt über den Wärmeausdehnungskoeffizienten α_T . Dieser ist für die einzelnen Materialien in Tabelle 2.1-3 angegeben.

Material	Wärmeausdehnungskoeffizient α_T [1/K]
Deckgebirge und Hutgestein	$5 \cdot 10^{-6}$
Anhydrit	$4 \cdot 10^{-5}$
Steinsalz und Carnallit	$4 \cdot 10^{-5}$
Altversatz	$4 \cdot 10^{-6}$

Tabelle 2.1-3: Wärmeausdehnungskoeffizient der berücksichtigten Materialien nach /9/ (für Altversatz wird 1/10 des dort angegebenen Steinsalz-Wertes gesetzt)

2.1.4 Hydratationsmodell für Salzbeton

Der hydraulisch abbindende Versatz wird mit dem in /10/ dargestellten Hydratationsmodell modelliert. Hierbei hängen die aktuellen thermischen und mechanischen Materialkennwerte Elastizitätsmodul, Druck- und Zugfestigkeit vom Abbindeprozess ab, d. h. sie sind über den Hydratationsfortschritt gekoppelt. Der aktuelle Hydratationsgrad α wird bezogen auf das wirksame Betonalter t_e durch

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	0010	01	

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

mit den betonspezifischen Konstanten b und t_1 beschrieben. Das wirksame Betonalter ergibt sich aus

$$t_e = \int_0^t \exp\left(\frac{E_A}{R} \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{T}\right]\right) dt$$

mit

T Betontemperatur [K]

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

R universelle Gaskonstante 8,314 [J/mol K]

Im Rahmen der bGZ wird Salzbeton entsprechend dem Referenzmaterial M2, für die Stilllegung Salzbeton M3 verwendet.

In /11/ bzw. /12/ wird die Identifikation der Parameter für den Salzbeton M2 bzw. M3 beschrieben.

Salzbeton M2

$$t_1 = 3,2872 \text{ [d]}$$

$$b = -1,3425$$

$$\text{Zugfestigkeit bei } \alpha = 1 : 2,95 \text{ [MPa]}$$

$$\text{Druckfestigkeit bei } \alpha = 1 : 46,8 \text{ [MPa]}$$

$$\text{Elastizitätsmodul bei } \alpha = 1 : 15,35 \text{ [GPa]}$$

Die Werte für einen Hydratationsgrad $\alpha=1$ sind theoretische Endwerte, sie werden rechnerisch nicht erreicht.

Zudem wurde in /11/ eine auf die Zementmenge von 328 kg/m^3 bezogene Wärmemenge Q_{ce}^{\max} von $3,295 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ ermittelt. Weiter zur Modellierung benötigte betonspezifische Parameter sind der Mindesthydratationsgrad α_0 sowie die Konstanten a und c. Diese werden nach /11/ mit

$$\alpha_0 = 0,263 \text{ [-]}$$

$$a = 0,6667 \text{ [-]}$$

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	0010	01	

Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 20

$$c = 0,2037 \text{ [MPa}^{1/3}\text{]}$$

angesetzt.

Der Einfluss des Abbindevorganges auf die Querkontraktionszahl ν wird in den hier vorliegenden Berechnungen, wie in /11/ angegeben, vernachlässigt. Es gilt $\nu = 0,33$.

Weitere vom Hydratationsgrad unabhängige Materialkennwerte sind /11/

Festmaterialdichte	ρ	=	1980 [kg/m ³]
Spezifische Wärmekapazität	c_p	=	930 [J/kgK]
Wärmeleitfähigkeit	λ	=	1,14 [W/mK]
Wärmeausdehnungskoeffizient	α_T	=	$4 \cdot 10^{-5}$ [1/K]

Salzbeton M3

$$t_1 = 4,2101 \text{ [d]}$$

$$b = -1,1255$$

$$\text{Zugfestigkeit bei } \alpha = 1 : \quad 2,09 \text{ [MPa]}$$

$$\text{Druckfestigkeit bei } \alpha = 1 : \quad 42,1 \text{ [MPa]}$$

$$\text{Elastizitätsmodul bei } \alpha = 1 : \quad 10,7 \text{ [GPa]}$$

Die Werte für einen Hydratationsgrad $\alpha=1$ sind theoretische Endwerte, sie werden rechnerisch nicht erreicht.

Zudem wurde in /12/ eine auf die Zementmenge von 197 kg/m³ bezogene Wärmemenge Q_{ce}^{\max} von $4,825 \cdot 10^5$ J/kg ermittelt. Weitere zur Modellierung benötigte betonspezifische Parameter sind der Mindesthydratationsgrad α_0 sowie die Konstanten a und c. Diese werden nach /12/ mit

$$\alpha_0 = 0,385 \text{ [-]}$$

$$a = 0,6667 \text{ [-]}$$

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

angesetzt.

Der Einfluss des Abbindevorganges auf die Querkontraktionszahl ν wird in den hier vorliegenden Berechnungen wie in /12/ angegeben vernachlässigt. Es gilt $\nu = 0,26$.

Weitere vom Hydratationsgrad unabhängige Materialkennwerte sind nach /12/

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	0010	01	

Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 21

Festmaterialdichte	ρ	=	1950 [kg/m ³]
Spezifische Wärmekapazität	c_p	=	920 [J/kg K]
Wärmeleitfähigkeit	λ	=	0,87 [W/m K]
Wärmeausdehnungskoeffizient	α_T	=	$2,6 \cdot 10^{-5}$ [1/K]

Das mechanische Verhalten des Salzbetons wird durch einen elastoplastischen Ansatz nach Drucker/Prager /13/ approximiert. Die Materialparameter Kohäsion und Winkel der inneren Reibung lassen sich aus den Werten der einaxialen Zug- und Druckfestigkeit (also abhängig vom Hydratationsgrad) bestimmen.

2.2 Nachweise und Nachweiskriterien für die Standsicherheit der Bauzustände und den stabilen Endzustand

In /14/ sind die anzuwendenden Nachweise und Sicherheitsnachweiskriterien für die Maßnahmen der Stilllegung des ERAM dargestellt.

Für die Bauzustände sind dies

- (1) Nachweis der Begrenzung der Senkung der Tagesoberfläche
- (2) Nachweis der Begrenzung der Schiefstellung von Gebäuden auf der Tagesoberfläche, sofern Gebäude vorhanden
- (3) Nachweis des Erhalts der vorhandenen Barrierenintegrität für zutrittsgefährdete Grubenräume

Die Sicherheit der Salzbarriere wird mit dem Dilatanzkriterium auf Basis der Mikrorissgrenze nach /15/

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

mit

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

$$\text{Oktaedernormalspannung (mittlere Spannung): } \sigma = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \text{ [MPa]}$$

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

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	0010	01	

oder dem Fluidkriterium

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

mit

σ_1 : kleinste Hauptspannung

p : teufenspezifischer Laugendruck

mit $p = 0,012655 \text{ MPa/m} \cdot z_T$ (z_T : Teufe)
bewertet.

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

- (4) Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume
Für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume ist eine ausreichend dicke Salzbarriere aufgrund des Abstand zum Salzspiegel bzw. zum Anhydrit oder Kalilagern gegeben. Zudem ist wünschenswert, dass sich dilatante Bereiche in der Umgebung dieser Abbaue nicht vergrößern.
- (5) Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Salzspiegel
- (6) Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung in der jeweils obersten Hauptanhydritscholle, wenn der Hauptanhydrit ein potentieller Lösungspfad ist. Alternativ wird der Nachweis durch einen ausreichend großen Abstand des Bereichs der Temperaturüberschreitung zum Salzspiegel erbracht oder durch den Nachweis der Zustandsverbesserung im Anhydrit durch Kontrolle des lokalen Festigkeitskriteriums bzw. durch die Einhaltung des lokalen Festigkeitskriteriums.

Zur Bewertung der Festigkeit des Hauptanhydrits wird das folgende Kriterium nach Drucker-Prager verwendet /13/

$$F = 0 = \alpha J_1 + \sqrt{J_2^D} - k$$

mit

J_1 : 1. Invariante des Spannungstensors

J_2^D : 2. Invariante des Spannungsdeviators

α = 0,415

k = 0,0

- (7) Nachweis der Zustandsverbesserung des Salzes in den Konturbereichen der Grubenräume sowie den Tragelementen Schweben und Pfeiler durch Lastpfadkontrolle des lokalen

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	0010	01	

Festigkeitskriteriums (Kurzzeitbruchfestigkeit, Dilatanzbedingung, Zugspannungen (Zugfestigkeit 1 MPa /14/), Druckspannungen, Druckfestigkeit 15 MPa /14/))

Die Kurzzeitbruchfestigkeit wird anhand des Kurzzeitbruchfestigkeitskriteriums /14/

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

mit den Parametern

$$b=2,7$$

$$p=0,65$$

$$k=0,74$$

und der vom Lode-Parameter m abhängigen Spannungsinvarianten J_m

$$J_m = \frac{m \cdot (9 - m^2)}{(3 + m^2)^{3/2}}$$

bewertet. Konservativ wird $m=1$ gesetzt.

Desweiteren wird der Verzerrungszustand überprüft. Hinsichtlich der Barriereintegrität wird das Aversin-Kriterium /14/, aus dem eine maximale zulässige Vergleichsdehnung von 1 % folgt, zugrunde gelegt. Für den Nachweis des stabilen Endzustands gelten analoge, aber weniger Nachweise, da der Einfluss der Hydratationswärme und das Schutzziel Arbeitsschutz nicht mehr betrachtet werden müssen. Es ist der Nachweis der Begrenzungen der Verformungen der Tagesoberfläche für den Betrachtungszeitraum sowie der Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenbaue zu führen. Wünschenswert ist der Erhalt der vorhandenen Salzbarriere für zutrittsgefährdete Grubenbaue.

2.3 Berechnungsmethode

Die Berechnung wird mit dem Programm FLAC3D 2.2 /3/ durchgeführt. FLAC3D 2.2 verwendet die Methode der Finiten Differenzen mit einem expliziten Verfahren sowie eine gemischte Diskretisierungstechnik, die eine Diskretisierung mit unstrukturierten Gittern erlaubt. Es ergeben sich bei gleicher Diskretisierung die gleichen Gleichungssysteme wie bei einer Diskretisierung mit finiten Elementen mit linearen Verschiebungsansätzen. Auch für die Temperaturberechnung werden lineare Ansätze verwendet. Die thermomechanische Kopplung erfolgt in jedem Rechenschritt.

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22341011					GC	LD	0010	01	

3 Berechnungsmodelle

Zum Nachweis der Standsicherheit der Bauzustände und des stabilen Endzustands wurden Berechnungen für 3 Berechnungsmodelle durchgeführt. Ausgehend von den charakteristischen Schnitten ZTN-3.1, ZTS-3.1 und ZT-3.3 wurden 3D-Modelle erstellt.

Eine Berechnung für den Schnitt ZT-1.4 wurde nicht durchgeführt. Die Auswahl dieses Schnitts diente der Bewertung der geringmächtigen Schweben zwischen dem Abbau 13n, 2. Sohle und Abbau 13n, 3a-Sohle. Beide Abbaue wurden bereits im Rahmen der bGZ verfüllt.

Ausgehend von den Sonderschnitten ZTN-3.1, ZTS-3.1 und ZT-3.3 werden zunächst Vereinfachungen der Geologie und Geometrie durchgeführt. Die vereinfachten Modelle werden in ANSYS PrepPost /4/ vernetzt, wobei 4-Knoten-Elemente und eine geringe Anzahl von 3-Knoten-Elementen (unter 0,1% und nicht im Nahbereich der Hohlräume) verwendet werden. Das so generierte Netz wird dann zu einem 3D-Netz extrudiert und in FLAC3D eingelesen. Ausgehend von einer mittleren Abbaulänge von 120 m und einer mittleren Pfeilerbreite von 30 m wird dann das dreidimensionale System wie in Abbildung 3-1 schematisch dargestellt modelliert. In y-Richtung wird eine vergleichsweise grobe Diskretisierung durchgeführt. Zur Beurteilung des Tragverhaltens von Schweben und Längspfeilern, die im Zentralteil die hauptsächlich belasteten Tragelemente sind, ist diese Diskretisierung jedoch ausreichend. An den seitlichen Randflächen werden Verschiebungsrandbedingungen angesetzt, die die Verschiebungen in x- bzw. y-Richtung behindern. An der unteren Randfläche werden die Verschiebungen in z-Richtung festgehalten. Auf der oberen Randfläche wird eine Last entsprechend der Auflast des nicht bis zur Tagesoberfläche modellierten Deckgebirges aufgebracht.

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22341011					GC	LD	0010	01

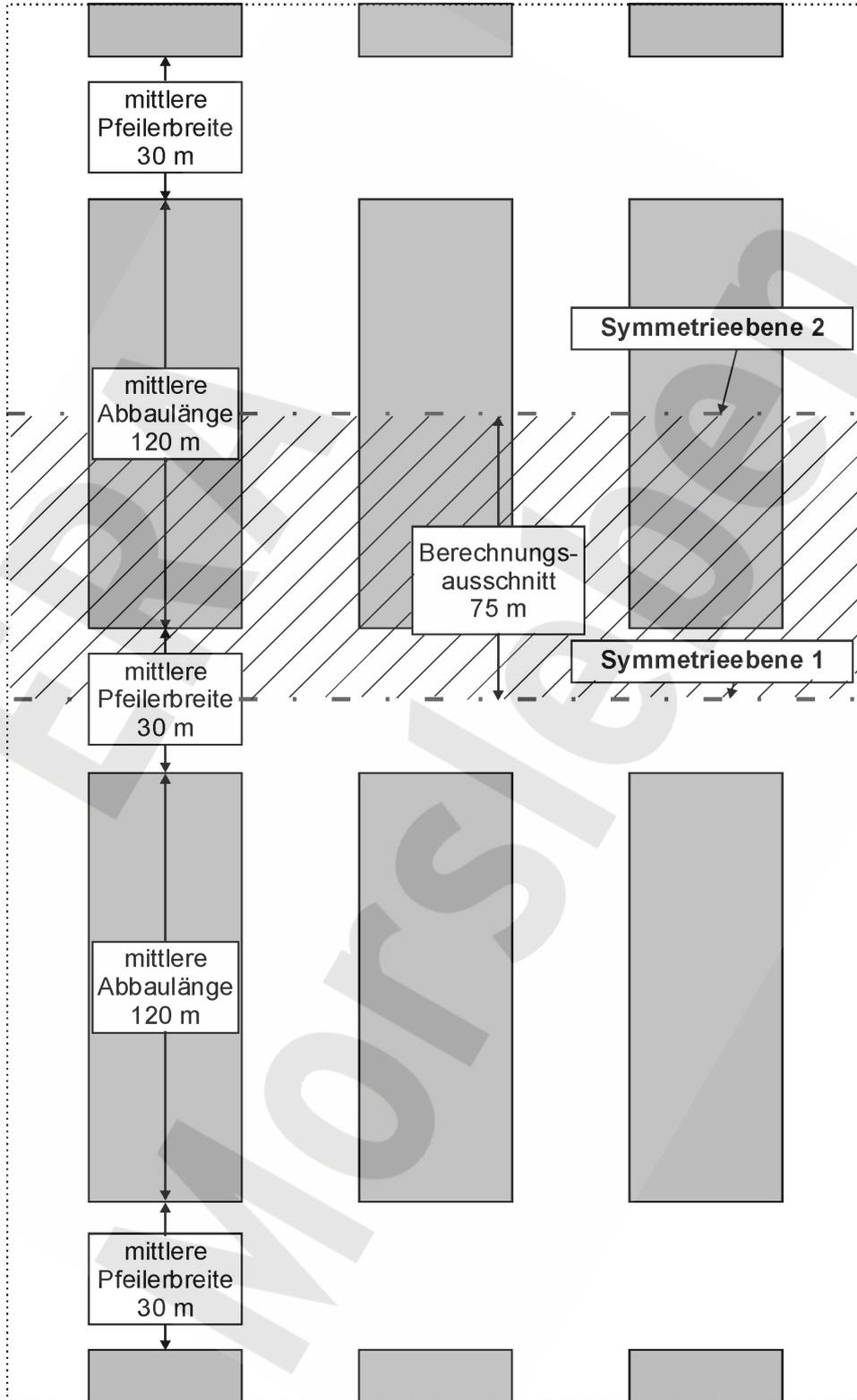


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung der 3D-Modellierung (Grundriss)

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	0010	01	

Vorgenommene Vereinfachungen, Diskretisierung und Modellabmessungen werden im Folgenden für die einzelnen Modelle vorgestellt. Hinsichtlich der Kriechklassen wurden Homogenbereiche zusammengefasst, wenn diese durch den Anhydrit von den zu untersuchenden Abbausystemen getrennt sind. Liegt der Anhydrit in Schollen vor, wird zwischen diesen Schollen eine geringmächtige Schicht Salz bzw. Carnallit modelliert, auch wenn der Anhydrit in den Sonderschnitten als zusammenhängend dargestellt ist. Die Zuordnung der Kriechklassen ist in Tabelle 3-1 dargestellt.

Bezeichnung		Kriechklasse	Vorfaktor
z3LS	Liniensalz	5	1
z3OS-BK/BD	Orange- und Bank/Bändersalz	1 bzw. 2	1/16 bzw. 1/8
z2HS2 und z2HS3 (Ost)	Hauptsalz (Ost)	4	1/2
z3AM	Anhydritmittelsalz	0	1/32
z3SS, z3SS-TM	Schwadensalz, Tonmittelsalz	2	1/8
z2HS2 und z2HS3 (West)	Hauptsalz (West)	1	1/16

Tabelle 3-1: Zuordnung der Kriechklassen

Die Diskretisierung der zu verfüllenden Abbaue ermöglicht die Simulation der Verfüllschritte. Die Abbaue werden so diskretisiert, dass in einem Schritt die Verfüllmenge eines Tages bis zu einer Woche eingebracht werden kann.

3.1 3D-Modell ZTN-3.1

In Anlage 1 sind die durchgeführten Vereinfachungen für den Sonderschnitt ZTN-3.1 dargestellt. Westlich des Lagers C sind Homogenbereiche der Kriechklassen 0, 1 und 2 zu einem Bereich der Kriechklasse 1 und östlich des Lagers D die Homogenbereiche der Kriechklasse 5 und 1 sowie eine Anhydritscholle zu einem Bereich der Kriechklasse 1 zusammengefasst. Die Abweichungen bezüglich der östlichen und der zweitobersten westlichen Anhydritscholle ergeben eine konservative Modellierung, da im Modell der Anhydrit geringmächtiger als in der Vorgabe ist.

Der Berechnungsausschnitt umfasst in der x-z-Ebene ein Gebiet von 600 m x 523 m. In z-Richtung verläuft dieser Ausschnitt von 23 m NN bis -500 m NN. Dieser 2D-Ausschnitt wurde mit 37.144 Zonen diskretisiert. In y-Richtung wurde dann, wie in Abbildung 3-1 gezeigt, 75 m extrudiert, wobei zur Diskretisierung in y-Richtung 20 Zonen verwendet werden. In y-Richtung wird gleichmäßig diskretisiert. Insgesamt umfasst das Modell also einen Block von 600 m x 75 m x 523 m und 742.880 Zonen. Ein Ausschnitt der Diskretisierung ist in Abbildung 3.1-1

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	
9M	22341011					GC	LD	0010	01	

Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 27

dargestellt. Die Diskretisierung des gesamten Berechnungsausschnitts ist in Anhang 1, die Kriechklassen sind in Anhang 2 dargestellt.



Abbildung 3.1-1: Diskretisierung im Bereich der Abbaue 2n und 3n, 3a-Sohle

3.2 3D-Modell ZTS-3.1

In Anlage 2 sind die durchgeführten Vereinfachungen für den Sonderschnitt ZTS-3.1 dargestellt. Westlich des Lagers C sind Homogenbereiche der Kriechklassen 0, 1 und 2 zu einem Bereich der Kriechklasse 1 zusammengefasst. Steinsalz der Kriechklasse 2 östlich der östlichen Anhydritflanke wird mit dem Steinsalz der Kriechklasse 4 zusammengefasst. Durch die abschirmende Wirkung des Anhydrits hat diese Vereinfachung keinen nennenswerten Einfluss auf die Ergebnisse der Berechnung.

Der Berechnungsausschnitt umfasst in der x-z-Ebene ein Gebiet von 650 m x 550 m. In z-Richtung verläuft dieser Ausschnitt von 0 m NN bis -550 m NN. Dieser 2D-Ausschnitt wurde mit 30.878 Zonen diskretisiert. In y-Richtung wurde dann, wie in Abbildung 3-1 gezeigt, 75 m extrudiert, wobei zur gleichmäßigen Diskretisierung in y-Richtung 20 Zonen verwendet werden. Insgesamt umfasst das Modell also einen Block von 650 m x 75 m x 550 m und 617.560

	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 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	0010	01	

Zonen. Ein Ausschnitt der Diskretisierung ist in Abbildung 3.2-1 dargestellt. Die Diskretisierung des gesamten Berechnungsausschnitts ist in Anhang 3, die Kriechklassen sind in Anhang 4 dargestellt.

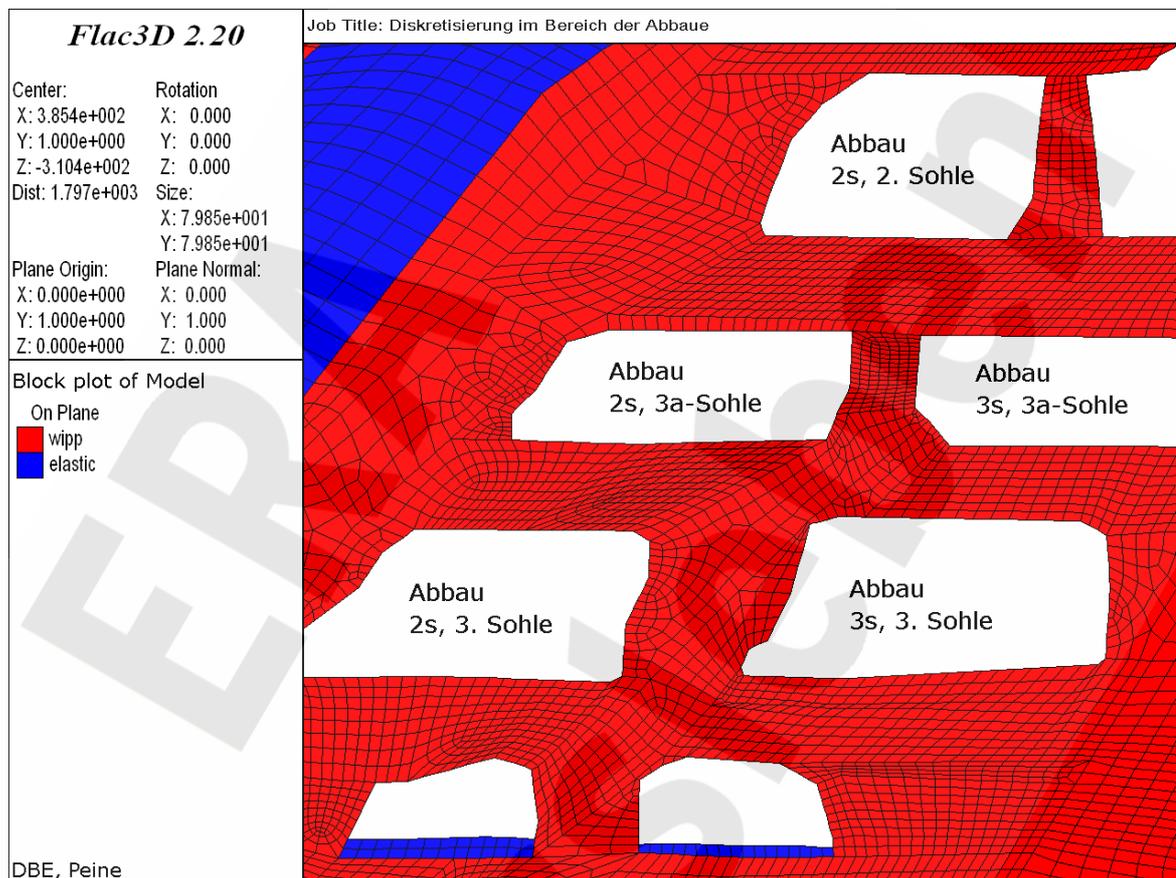


Abbildung 2.2-1: Diskretisierung im Bereich der Abbaue 2s und 3s, 3a-Sohle

3.3 3D-Modell ZT-3.3

In Anlage 3 sind die durchgeführten Vereinfachungen für den Sonderschnitt ZT-3.3 dargestellt. Westlich des Lagers C sind die Homogenbereiche zu einem Bereich der Kriechklasse 1 zusammengefasst. Östlich des Lagers D werden die Homogenbereiche zu einem Homogenbereich der Kriechklasse 4 zusammengefasst.

Der Berechnungsausschnitt umfasst in der x-z-Ebene ein Gebiet von 600 m x 600 m. In z-Richtung verläuft dieser Ausschnitt von 0 m NN bis -600 m NN. Dieser 2D-Ausschnitt wurde mit 24.569 Zonen diskretisiert. In y-Richtung wurde dann, wie in Abbildung 3.3-1 gezeigt, 75 m extrudiert, wobei zur gleichmäßigen Diskretisierung in y-Richtung 25 Zonen verwendet werden. Im Unterschied zu den anderen Modellen sind hier nicht alle Abbaue gleich lang. Da der Abbau 1a, 1. Sohle nur eine Länge von ca. 30 m aufweist, wurde er auch in diesem Modell entsprechend mit einer Länge von 15 m modelliert. Insgesamt umfasst das Modell einen Block

	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 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	0010	01	

von 650 m x 75 m x 550 m und 614.225 Zonen. Ein Ausschnitt der Diskretisierung ist in Abbildung 3.3-1 dargestellt. Die Diskretisierung des gesamten Berechnungsgebiets ist in Anhang 5, die Kriechklassen sind in Anhang 6 dargestellt.

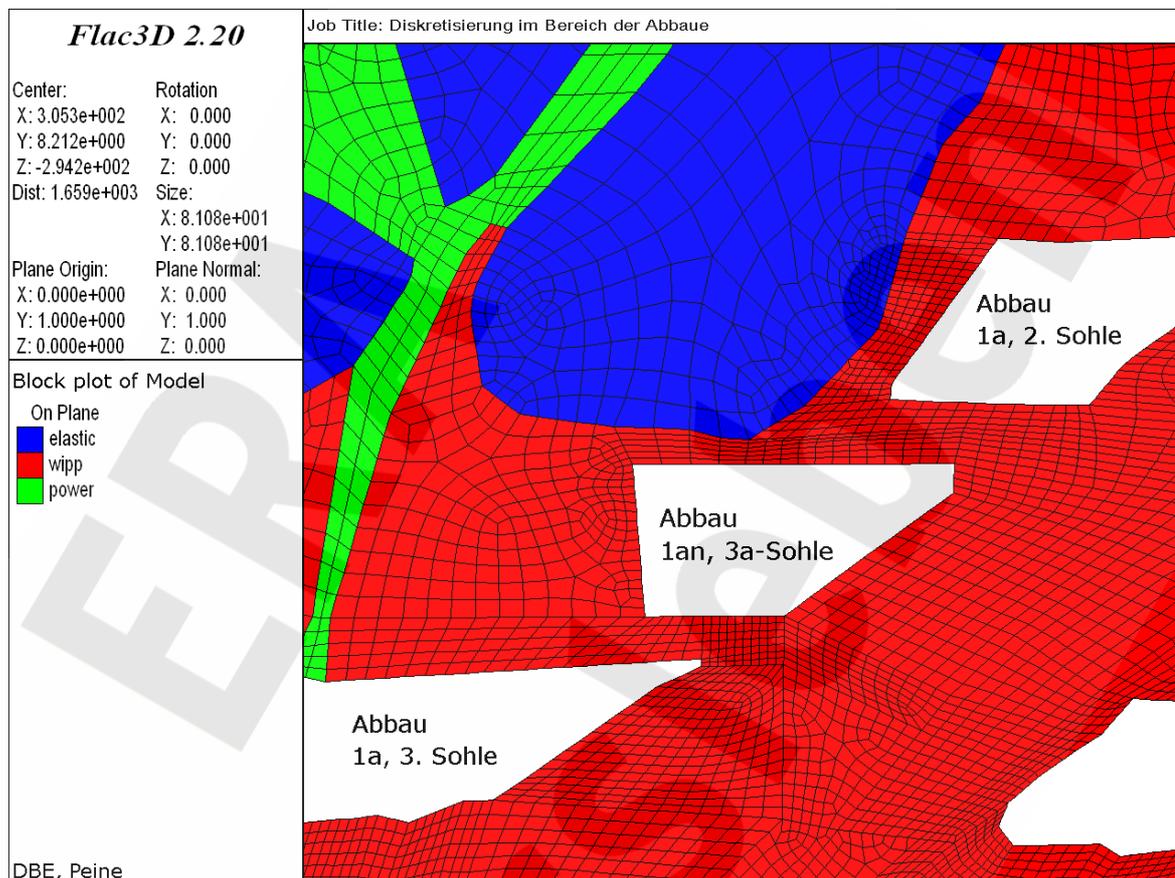


Abbildung 3.3-1: Diskretisierung im Bereich des Abbaus 1an, 3a-Sohle

3.4 Belastungsgeschichte und Verfüllreihenfolge

Zunächst wird ein dem lithostatischen Druck entsprechender Primärspannungszustand erzeugt, bei dem sich das Gebirge in einem Gleichgewichtszustand befindet. Danach wird die Auffahrung der Abbaue und Strecken simuliert. In allen Modellen wird von einem gleichzeitigen Auffahren aller Hohlräume im betrachteten Berechnungsausschnitt ausgegangen. Es folgt eine Kriechberechnung bis zum Beginn der bGZ mit anschließender Simulation der Verfüllung im Rahmen der bGZ. Danach wird in den einzelnen Modellen die Verfüllung im Rahmen der Stilllegung simuliert. Abschließend wird die Berechnung bis zum Zeitpunkt 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung zur Stilllegung fortgesetzt.

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22341011					GC	LD	0010	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 30

Aufgrund des geringen Resthohlraumvolumens reicht zum Nachweis des stabilen Endzustands eine 2D-Berechnung aus. Dazu werden die unter 3.1 – 3.3 beschriebenen 2D-Modelle mit nur einem Element von 1 m Länge in y-Richtung extrudiert. Als zusätzliche Randbedingung werden Verschiebungen in y-Richtung unterdrückt, so dass die Ergebnisse dieser Berechnungen einer 2D-Modellierung entsprechen. Die Verfüllung wird entsprechend der 3D-Berechnung simuliert und die Berechnung dann bis 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung fortgesetzt. Eine Berechnung über einen längeren Zeitraum ist mit der hier eingesetzten geometrisch linearen Formulierung nicht sinnvoll.

Die Berechnungen beginnen mit der als gleichzeitig angenommenen Auffahrung aller Hohlräume zum Zeitpunkt 1/1935. Der Versatz der Kalilager wird zum Berechnungszeitpunkt 1/1950 simuliert. Im Modell ZTN-3.1 wird das Einbringen des Altversatzes in Abbau 1n, 4. Sohle zum Berechnungszeitpunkt 1/1950 und im Modell ZTS-3.1 die Einbringung von Altversatz in die Abbaue 1a, 4. Sohle, 1s, 4. Sohle, 2s, 4. Sohle sowie 3s und 4s auf der 1. Sohle zum Berechnungszeitpunkt 1/1950 simuliert. Im Modell ZT-3.3 wird als Berechnungszeitpunkt für die Versatzeinbringung in Abbau 1an, 4. Sohle 1/1990 angesetzt. Der Abbau 3s, 4. Sohle im Modell ZTS-3.1 wird entgegen den Angaben im Sonderschnitttriss (Anlage 2) als unversetzt angenommen, da auch hier eine Verfüllung des Resthohlraumes erfolgt.

Die Verfüllreihenfolge ist für die einzelnen Modelle in den folgenden Tabellen 3.4-1 bis 3.4-3 dargestellt. Es wird im Rahmen einer 5-Tage-Woche gearbeitet, die mittlere Einbautemperatur des Versatzes beträgt 30°C. Die tägliche Verfüllmenge im Rahmen der Stilllegung beträgt je Verfüllrohr 970 m³. Für die tägliche Verfüllmenge während der bGZ werden 900 m³ im Drei-Schicht-Betrieb und 580 m³ im Zwei-Schicht-Betrieb angesetzt. Die Verfüllung beginnt mit dem Abbau 1an, 3a-Sohle (t=1). Für die Verfüllung dieses Abbaus wurde die tatsächlich angefallene Verfülldauer im Modell berücksichtigt. Für den Abbau 3n, 3a-Sohle wird im Modell ZT-3.3 von einer Verfüllrate von 900 m³/d, im Modell ZTN-3.1 von 580 m³/d ausgegangen. Diese Unterschiede führen nicht zu signifikanten Änderungen der Berechnungsergebnisse.

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	0010	01



Standsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 31

Abbau	Kennzeichnung	Verfüllbeginn t [d]	Verfülldauer in Arbeitstagen	Verfüllgrad [%]
2n, 3a-Sohle	13YEA21/R002	1007	52	100
3n, 3a-Sohle	13YEA22/R002	1079	51	100
4n, 3a-Sohle	13YEA23/R002	1153	24	100
3n, 2. Sohle	12YEA22/R002	1458	74	100
2n, 2a-Sohle	10YEA22/R002	1569	57	100
3n, 2a-Sohle	10YER23/R002	1762	33	100
2n, 1. Sohle	09YER21/R002	2039	51	100
3n + 4n, 4. Sohle	17YEA27/R002 17YEA27/R003	3435	3	95
4n, 4a/3. Sohle	16YEA25/R002	3551	68	97
1bn, 4a-Sohle	16YEA21/R006	3902	10	95
2n, 3. Sohle	15YEA23/R002	3964	23	93
3n, 3. Sohle	15YER22/R002	4111	33	84
4n, 2. Sohle	12YEA23/R002	4904	7	64
2n, 2. Sohle	12YER22/R002	4968	27	87
3n, 1. Sohle	09YEA23/R002	5011	13	95

Tabelle 3.4-1: Verfüllreihenfolge Modell ZTN-3.1

Abbau	Kennzeichnung	Verfüllbeginn t [d]	Verfülldauer in Arbeitstagen	Verfüllgrad [%]
2s, 3. Sohle	15YEA51/R002	771	50	100
3s, 3. Sohle	15YER51/R002	846	29	100
3s, 3a-Sohle	13YEA52/R002	887	43	100
2s, 3a-Sohle	13YEA51/R002	952	36	100
4s, 3a-Sohle	13YEA53/R002	1185	31	100
3s, 2. Sohle	12YEA52/R002	1233	100	100
2s, 2. Sohle	12YEA51/R002	1381	53	100
2s, 2a-Sohle	10YEA51/R002	1652	38	100
3s, 2a-Sohle	10YEA52/R002	1707	39	100
2s, 1. Sohle	09YER51/R002	1933	74	100
3s, 4. Sohle	17YEA56/R004	3441	4	95
2s, 4. Sohle	16YEA51/R004	3487	8	83
1s, 4. Sohle	16YER51/R003	3997	2	84
4s, 4a/3. Sohle	16YEA52/R003	3658	144	98
2bs, 4a-Sohle	16YEA51/R006	3873	10	95
1bs, 4a-Sohle	16YEA51/R005	3887	8	95
4s, 2. Sohle	12YER52/R002	4915	20	87
4s, 2a-Sohle	10YEA53/R002	4966	6	72
3s, 1. Sohle	09YEA51/R002	4993	26	95

Tabelle 3.4-2: Verfüllreihenfolge Modell ZTS-3.1

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	0010	01	

Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 32

Abbau	Kennzeichnung	Verfüllbeginn t [d]	Verfülldauer in Arbeitstagen	Verfüllgrad [%]
1an, 3a-Sohle	13YEA21/R003	1	130	100
3n, 3a-Sohle	13YEA22/R002	1081	33	100
1an, 4. Sohle	16YEA21/R003	3916	22	95
3n, 3. Sohle	15YER22/R003	4111	33	84
1a, 2. Sohle	12YER22/R002	4919	24	84
1a, 2a-Sohle	10YEA22/R003	5008	6	95
1a, 1. Sohle	09YER21/R003	5016	1	95

Tabelle 3.4-3: Verfüllreihenfolge Modell ZT-3.3

Die Verfüllgrade der Abbaue sind durch /1/ vorgegeben. Angaben zur zeitlichen Reihenfolge der Verfüllung und zum Verfüllgrad sind in den Tabellen 3.4-1 - 3.4-3 zusammengefasst. Als Berechnungszeitpunkt für den Beginn der Verfüllung im Rahmen der Stilllegung wurde im Modell ZTN-3.1 02/2013, im Modell ZTS-3.1 02/2013 und im Modell ZT-3.3 06/2014 angenommen. Verschiebt sich der Zeitpunkt für den Beginn der Verfüllung, führt das zu keinen signifikanten Änderungen in der Bewertung der Berechnungsergebnisse. Im Modell ZTN-3.1 wurde die Verfüllung des Abbaus 1n, 4. Sohle nicht berücksichtigt (Lage des Abbaus siehe Anlage 1). Hinsichtlich der mechanischen Berechnungen ist dies konservativ und da nur eine geringe Menge Salzbeton in diesen Abbau eingebracht wird (ca. 3000 m³ /1/), kann der Einfluss auf die Temperaturentwicklung vernachlässigt werden. Die rechnerisch simulierte Verfülldauer der Verfüllung der Abbaue 3n und 4n auf der 4. Sohle ist wenige Tage kürzer als die Verfülldauer, die sich aus den in /1/ angegebenen Volumina dieser Abbaue ergibt. Da im Berechnungsmodell jedoch ein Verfüllgrad von 95 % simuliert wird, ist der Einfluss auf die Berechnungsergebnisse vernachlässigbar. Auch die von der in /1/ angegebenen Verfüllreihenfolge abweichende Reihenfolge der Verfüllung der Abbaue 3n und 3s auf der 1. Sohle kann hinsichtlich der Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse vernachlässigt werden.

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	0010	01	

4 Ergebnisse und Bewertung

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

Um Vergleiche zwischen den unterschiedlichen Auswertzeitpunkten für ein Modell zu vereinfachen, erfolgt die Darstellung der Ergebnisse für jedes Modell in einem Abschnitt (Kapitel 4.1 – 4.3). Erläuterungen zu den Ergebnissen der Temperaturberechnungen finden sich in Kapitel 4.4. Zudem werden Ergebnisse ergänzender Berechnungen zur Untersuchung des Einflusses von Feuchtekrichen (Kapitel 4.5) dargestellt. Im Kapitel 4.6 wird kurz der Einfluss der Firstanbindung diskutiert. Hinsichtlich des Nachweises der Sicherheit der Bauzustände und des stabilen Endzustands erfolgt anschließend eine gemeinsame Bewertung (Kapitel 4.7).

Zur Bewertung wird zunächst jeweils der unverfüllte Zustand in den jeweiligen Modellen dargestellt. Für das Modell ZTN-3.1 ist das der Zeitpunkt 07/2006, für das Modell ZTS-3.1 der Zeitpunkt 11/2005 und für das Modell ZT-3.3 der Zeitpunkt 09/2003. Danach werden die Ergebnisse für den Zustand nach der bGZ angegeben. Die bGZ ist eine der Stilllegung vorlaufende und vor Beginn der Stilllegungsmaßnahmen bereits abgeschlossene Maßnahme. Sie wird deshalb nicht im Rahmen des Nachweises der Sicherheit der Bauzustände der Stilllegung betrachtet. Die Auswirkungen der bGZ müssen jedoch im Rahmen dieses Nachweises mit berücksichtigt werden.

Zum Nachweis der Sicherheit der Bauzustände werden die Berechnungsergebnisse nach Abschluss der Verfüllung im Rahmen der Stilllegung dargestellt und bewertet. Zum Nachweis des stabilen Endzustands sind, wie schon zuvor erläutert, 2D-Berechnungen ausreichend. Die Ergebnisse dieser Modelle werden zum Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach Abschluss der Stilllegung angegeben.

Für die einzelnen Auswertzeitpunkte werden die maximalen und minimalen Hauptspannungen, die viskoplastische Vergleichsdehnung sowie die Ausnutzungsgrade des Dilatanz-, des Kurzzeitbruchfestigkeits- sowie des Fluidkriteriums dargestellt. Bei der Auswertung des Dilatanz-, Fluid- und Kurzzeitbruchfestigkeitskriteriums werden die verfüllten Abbaue grau dargestellt, die Kriterien werden als Verhältniswert angegeben. Ein Wert größer oder gleich 1 bedeutet die Verletzung des jeweiligen Kriteriums. Zudem wird die Temperaturerhöhung am Salzspiegel und an der obersten Anhydritscholle und gegebenenfalls das Festigkeitskriterium am Anhydrit ausgewertet. Zusätzlich wird die Temperaturverteilung zu ausgewählten Zeitpunkten, nämlich der nach Verfüllung einzelner ausgewählter Abbaue, nach der bGZ, nach der Stilllegung und 50 Jahre nach der Stilllegung dargestellt.

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	0010	01	

Die Ergebnisse für das Modell ZTN-3.1 (Kapitel 4.1) finden sich in den Anhängen 7 – 40, für das Modell ZTS-3.1 (Kapitel 4.2) in den Anhängen 41 – 78 und für das Modell ZT-3.3 (Kapitel 4.3) in den Anhängen 79 – 105. Die Ergebnisse der ergänzenden Berechnungen zum Einfluss des Feuchtekriechens sind in den Anhängen 106 – 114 dargestellt. Die Darstellung der Berechnungsergebnisse der 3D-Modelle erfolgt i.a. im Vertikalschnitt durch die Mitte der Abbaue. Die in den Farbskalen dargestellten Maximalwerte entsprechen nicht immer den berechneten Maximalwerten, diese werden dann im Text angegeben. 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.

4.1 Modell ZTN-3.1

Bewertung des unverfüllten Zustands

In Anhang 7 sind die maximalen Hauptspannungen, in Anhang 8 die minimalen Hauptspannungen für den Berechnungszeitpunkt 7/2006 dargestellt. Im Steinsalz treten rechnerisch maximale Zugspannungen von bis zu 4,5 MPa auf. Als am stärksten belastet erweisen sich die Schweben zwischen den Abbauen 2n, 3. Sohle, 3a-Sohle und 2. Sohle, 3n, 3. Sohle und 3n, 3a-Sohle, 3n, 3a-Sohle und 3n, 2. Sohle sowie 4n, 3a-Sohle und 4n, 2. Sohle. Für die minimalen Hauptspannungen werden im Anhydrit Maximalwerte von bis zu -24 MPa berechnet, im Steinsalz im Konturbereich einzelner Abbaue von bis zu -16 MPa.

In den Anhängen 9 und 10 werden die Ergebnisse für die minimalen bzw. maximalen Hauptspannungen in einem Längsschnitt (Schnitt A-A in Anhang 7) durch die Schweben über Abbau 3n, 3. Sohle dargestellt. Es wird deutlich, wie durch die Lastabtragung durch die Pfeiler die Schwebenbelastung in Richtung zum Querpfeiler abnimmt. Es ist auch erkennbar, dass die Querpfeiler verglichen mit den Schweben weitaus geringer belastet sind.

Zur weiteren Bewertung des aktuellen Zustands wurden die Verzerrungen betrachtet. Diese sind in Anhang 11 dargestellt. Wie aufgrund der niedrigen Kriechklassen zu erwarten, sind die Verzerrungen relativ gering. Für die Vergleichsdehnung ergibt sich ein Maximalwert von 2,5 %. Dieser Wert tritt in den Schweben des Abbausystems 4n zwischen 3a- und 3. Sohle sowie 2. und 3a-Sohle sowie in der Schweben zwischen Abbau 3n, 2. und 2a-Sohle auf, da hier die Kriechfähigkeit höher als in den Bereichen der Abbausysteme 2 und 3 ist. In den anderen Bereichen im Steinsalz liegt die Vergleichsdehnung unter 1,5 %, im Bereich der Barriere liegen die Dehnungen weit unter 1 %. Das Aversin-Kriterium ist also nicht verletzt.

In Anhang 12 ist das Dilatanzkriterium dargestellt. Das Dilatanzkriterium wird in den Schweben des Abbausystems 2n, 3. zur 3a- und 3a zur 2. Sohle, des Abbausystems 3n auf allen Sohlen

	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	0010	01	

und in der Schweben Abbau 4n, 3a- zur 2. Sohle überschritten. Zudem wird es in einem durchgehenden Bereich zwischen Abbau 2n, 1. Sohle und dem Hauptanhydrit sowie Abbau 2n, 3a-Sohle und den Hauptanhydrit überschritten. In Richtung der Pfeiler verkleinern sich die dilatanten Bereiche. Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass für diese Schweben lokal von Kriechbruch auszugehen ist. Das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium wird jedoch in ausreichend großen Bereichen unterschritten (siehe Anhang 13). Ein plötzliches Schwebenversagen ist nicht zu erwarten, da im Gesamtsystem, insbesondere in den Pfeilern, noch Tragreserven vorhanden sind.

Die Auswertung des Fluidkriteriums ergibt, dass dieses Kriterium in weiten Teilen im Bereich der Abbaue überschritten ist (Anhang 14). Dies ist jedoch für die Beurteilung der Standsicherheit nicht relevant.

Bewertung des Zustands nach Abschluss der bGZ

In den Anhängen 15 – 20 sind die Hauptspannungen (Anhang 15 und 16), die Vergleichsdehnung (Anhang 17) und das Dilatanzkriterium (Anhang 18), das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium (Anhang 19) sowie das Fluidkriterium (Anhang 20) nach Abschluss der bGZ zum Berechnungszeitpunkt 04/2009 dargestellt. Zugspannungen im Konturbereich der verfüllten Abbaue werden zunächst überdrückt. Der Erhalt bzw. die Verbesserung der Salzbarriere zutrittsgefährdeter Abbaue ist für den gesamten Zeitraum gegeben. Das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium wird eingehalten (siehe Anhang 19). Die Druckspannungen sind zum Teil thermisch induziert und verringern sich beim Abklingen der Temperatur wieder.

Die Dehnungen im Berechnungsausschnitt liegen mit Ausnahme einiger Schweben und Pfeiler während und nach der Verfüllung im Rahmen der bGZ deutlich unter 1 % (Anhang 17). Die Auswertung des Dilatanzkriteriums (Anhang 18) und des Fluidkriteriums (Anhang 20) zeigt eine Zustandsverbesserung gegenüber dem Zustand vor der bGZ (Anhang 12 und 14).

Während der bGZ kommt es rechnerisch zu einer geringfügigen Hebung von maximal ca. 4 mm am Salzspiegel.

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	0010	01	

Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 36

Nachweis der Sicherheit der Bauzustände

In Anhang 23 und 24 sind die Hauptspannungen, in Anhang 25 die Vergleichsdehnung, in Anhang 26 das Dilatanzkriterium, in Anhang 27 das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium und in Anhang 28 das Fluidkriterium zum Berechnungszeitpunkt 06/2017, d.h., nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1, dargestellt. In den Anhängen 29 und 30 ist das Dilatanzkriterium bzw. das Fluidkriterium zum Zeitpunkt 06/2067, als 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung dargestellt. Ergebnisse zur Temperaturentwicklung sind in den Anhängen 31 – 34 angegeben.

Nachweis der Begrenzung der Senkung der Tagesoberfläche und Nachweis der Begrenzung der Schiefstellung von Gebäuden auf der Tagesoberfläche

Bis zum Abschluss der Verfüllung im Rahmen der Stilllegung kommt es bezogen auf den unverfüllten Zustand rechnerisch zu einer geringen Hebung von maximal ca. 8,0 mm am Salzspiegel, bezogen auf den Zustand zum Ende der vorlaufenden Maßnahmen der bGZ zu einer Hebung von maximal ca. 4 mm. Die Forderung der Beschränkung der Senkung der Tagesoberfläche auf weniger als 1 m ist also erfüllt. Aufgrund der geringen Hebung wurde auf eine Auswertung der Senkungsrate verzichtet.

Nachweis des Erhalts der vorhandenen Barrierenintegrität für zutrittsgefährdete Grubenräume

Gegenüber dem unverfüllten Zustand (Anhang 12 und 14) wird rechnerisch bei Auswertung des Dilatanzkriteriums (Anhang 26) und des Fluidkriteriums (Anhang 28) der Erhalt und sogar die Verbesserung der Barrierenintegrität ausgewiesen. Gegenüber dem Zustand nach Abschluss der bGZ (Anhang 18 bzw. 20) ergibt sich jedoch eine geringe Zustandsverschlechterung, hinsichtlich der Barrierenintegrität insbesondere im Bereich zwischen Abbau 2n, 1. Sohle und dem Hauptanhydrit. Diese ist durch die aus der bGZ resultierende Temperaturänderung bedingt. Eine Auswertung der Kriterien für spätere Zeitpunkte zeigt jedoch, dass diese Zustandsverschlechterung nur temporär ist, wie an den Berechnungsergebnissen für den Zeitpunkt 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung (Anhang 29 und 30) zu erkennen ist. Da die Zustandsverschlechterungen nur temporär sind und bezogen auf den unverfüllten Zustand rechnerisch eine deutliche Zustandsverbesserung ausgewiesen wird, ist der Erhalt der vorhandenen Barrierenintegrität für zutrittsgefährdete Grubenräume nachgewiesen.

Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume

Der Nachweis ist automatisch aufgrund der Einhaltung der in /14/ angegebenen Sicherheitsabstände geführt. Die Auswertung des Dilatanzkriteriums (Anhang 26) und des Fluidkriteriums (Anhang 28) zeigt zudem eine deutliche Zustandsverbesserung gegenüber dem unverfüllten Zustand. Gegenüber dem Zustand nach Abschluss der bGZ tritt wie schon zuvor erläutert

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	0010	01	

Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 37

eine geringe Zustandsverschlechterung ein. Die Ergebnisse für den Zustand 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung zur Stilllegung zeigen jedoch, dass diese Zustandsverschlechterung nur temporär ist (Anhang 29 und 30).

Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Salzspiegel und Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung in der jeweils obersten Anhydritscholle, wenn der Anhydrit ein potentieller Lösungspfad ist. Alternativ: Nachweis der Zustandsverbesserung im Anhydrit durch Kontrolle des lokalen Festigkeitskriteriums

In den Anhängen 31 – 34 sind Ergebnisse der Temperaturberechnung dargestellt. Diese werden in Kapitel 4.4 näher erläutert. Die Berechnungsergebnisse zeigen die Einhaltung des in /14/ angegebenen Nachweiskriteriums an der obersten Anhydritscholle ($\Delta T < 2 \text{ K}$) und eine sehr geringfügige Überschreitung des Nachweiskriteriums am Salzspiegel ($\Delta T < 1 \text{ K}$) im Bereich der Subrosionsmulde. Bezüglich der Temperaturerhöhung am Salzspiegel wird in /18/ gezeigt, dass eine Temperaturerhöhung am Salzspiegel von 3 K weder einen nennenswerten Anstieg der Subrosionsrate bewirkt noch einen relevanten Einfluss auf die Grundwasserbewegung im Hutgestein und Deckgebirge hat. Damit ist gezeigt, dass auch eine Temperaturerhöhung von 3 K am Salzspiegel geringfügig ist. Das sehr konservative Kriterium von $\Delta T < 1 \text{ K}$ aus /16/ kann deshalb auf $\Delta T < 3 \text{ K}$ geändert werden. Dieses Kriterium wird eingehalten. Damit ist für das Modell ZTN-3.1 der Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Salzspiegel und an der obersten Anhydritscholle geführt.

Nachweis der Zustandsverbesserung des Salzes in den Konturbereichen der Grubenräume sowie den Tragelementen Schweben und Pfeiler

In den Anhängen 23 - 27 sind die Hauptspannungen, die Vergleichsdehnung, das Dilatanzkriterium und das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium nach Abschluss der Verfüllung dargestellt. Analog zu den bereits vorgestellten Ergebnissen für das Modell ZTN-3.1 nach Abschluss der bGZ werden zunächst Zugspannungen im Konturbereich der verfüllten Abbaue überdrückt, durch die thermische Kontraktion während des späteren Abkühlens treten wieder Zugspannungen auf. Werden hiervon noch offene Hohlräume betroffen, müssen die jeweiligen Tragelemente gesondert betrachtet werden. Da im Rahmen der Stilllegung die Verfüllung im Zentralteil von unten nach oben erfolgt, sind die von Zustandsverschlechterungen betroffenen Abbaue i.a. bereits verfüllt. Aufgrund der vorlaufenden bGZ ist jedoch im Falle von möglichem Folgeversagen von Tragelementen (hier: Pfeiler 2n, 3n, 3. Sohle) oder Nutzungsanforderungen von Abbauen unterhalb bereits in der bGZ verfüllter Abbaue (hier: Schweben 2n, 2./2a-Sohle) die Sicherheit der Bauzustände in Verbindung mit dem Konzept von Vorsorgemaßnahmen /16/ nachzuweisen.

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22341011					GC	LD	0010	01	

Nachweis der Sicherheit des stabilen Endzustands

Wie bereits zuvor erläutert, werden die Berechnungen zum Nachweis des stabilen Endzustands mit einem 2D-Modell durchgeführt. In Anhang 35 und 36 sind die Hauptspannungen, in Anhang 37 die Vergleichsdehnung, in Anhang 38 das Dilatanzkriterium, in Anhang 39 das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium und in Anhang 40 das Fluidkriterium zum Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung dargestellt.

Nachweis der Begrenzung der Senkung der Tagesoberfläche und Nachweis der Begrenzung der Schiefstellung von Gebäuden auf der Tagesoberfläche

Die berechnete Senkungsrate am Salzspiegel sinkt auf unter 0,003 mm/Jahr. Für den Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach der Verfüllung ergibt sich ausgehend von einer rechnerischen Senkung von ca. 29 cm (3D-Modell: ca. 17 cm) zum Berechnungszeitpunkt 07/2006 eine Gesamtsenkung am Salzspiegel von ca. 35 cm. Auch für den stabilen Endzustand wurde aufgrund der geringen Senkung keine Auswertung der Schiefstellungsrate vorgenommen.

Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume

Der Nachweis ist automatisch aufgrund der Einhaltung der in /14/ angegebenen Sicherheitsabstände geführt. Die Auswertung des Dilatanzkriteriums (Anhang 38) zeigt zudem für diese Grubenräume eine deutliche Zustandsverbesserung.

Wünschenswert: Erhalt der vorhandenen Barrierenintegrität für zutrittsgefährdete Grubenräume

In Anhang 38 ist das Dilatanzkriterium für den Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung dargestellt. Das Dilatanzkriterium wird nur noch im Konturbereich der Resthohlräume überschritten. Es wird eine Zustandsverbesserung ausgewiesen. Die Auswertung des Fluidkriteriums ergibt ebenso eine deutliche Zustandsverbesserung durch Verfüllung. Es ist für den Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach Verfüllung in Anhang 40 angeben. Da für die Konturbereiche rechnerisch keine Langzeitstandsicherheit gezeigt werden kann (Anhang 38 und 39), muss von Verbrüchen in diesen Bereichen ausgegangen werden. Aufgrund des vorhandenen Verfüllgrades /1/ ist aber trotzdem die Barrierenintegrität gewährleistet, da von einem Totlaufen der Brüche ausgegangen werden kann /17/.

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	0010	01	

4.2 Modell ZTS-3.1

Bewertung des unverfüllten Zustands

In Anhang 41 sind die maximalen Hauptspannungen, in Anhang 42 die minimalen Hauptspannungen für den Berechnungszeitpunkt 10/2005 dargestellt. Im Steinsalz treten rechnerisch maximale Zugspannungen von bis zu 4,7 MPa auf. Als am stärksten belastet erweisen sich die Schweben der Abbausysteme 2s und 3s zwischen 3. und 3a-Sohle, 3a- und 2. Sohle sowie 2. und 2a-Sohle. Die maximalen Werte werden in Richtung der Pfeiler deutlich geringer, so dass die Bereiche, in denen die Zugfestigkeit von 1 MPa überschritten ist, kleiner werden. Ähnlich wie im Modell ZTN-3.1 werden im Anhydrit maximale Druckspannungen von bis zu ca. -24 MPa und im Steinsalz von bis zu -16 MPa berechnet. Stärkere Pfeilerbelastungen mit Maximalwerten von mehr als -12 MPa treten lediglich auf der 4. Sohle zwischen den Abbauen 1a, 1s und 2s auf.

Die berechnete Vergleichsdehnung (Anhang 43) liegt hier etwas höher als im Modell ZTN-3.1. Es werden Maximalwerte von 2,6 % erreicht. Die größten Dehnungen werden für die Schweben des Abbausystems 4s ausgewiesen. Wie im Modell ZTN-3.1 liegt hier, verglichen mit den Abbausystemen 2s und 3s, kriechfähigeres Salz vor. Ein weiterer Bereich, in dem größere Vergleichsdehnungen ausgewiesen werden, ist der Pfeiler zwischen Abbau 1a und 1s auf der 4. Sohle. Die hier berechneten Vergleichsdehnungen liegen bei maximal 1,7%.

In Anhang 44 ist das Dilatanzkriterium zum Berechnungszeitpunkt 10/2005 dargestellt. Ähnlich wie bei Modell ZTN-3.1 tritt auch hier eine durchgehende dilatante Zone zwischen Abbau 2s, 1. Sohle und dem Hauptanhydrit auf. Auch in den Schweben der Abbausysteme treten durchgängige dilatante Bereiche auf. Es ist also auch hier davon auszugehen, dass lokale Bereiche in den Schweben Kriechbruch aufweisen. Das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium wird jedoch in ausreichend großen Bereichen unterschritten (siehe Anhang 45). Da aber die ausgewiesenen Dehnungen noch gering und im Gesamtsystem noch Tragreserven vorhanden sind, ist ein plötzliches Versagen nicht zu erwarten.

Die Auswertung des Fluidkriteriums ergibt, dass dieses Kriterium in weiten Teilen im Bereich der Abbaue überschritten ist (Anhang 46). Dies ist jedoch für die Beurteilung der Standsticherheit nicht relevant.

Bewertung des Zustands nach Abschluss der bGZ

In den Anhängen 47 – 52 sind die Hauptspannungen (Anhang 47 und 48), die Vergleichsdehnung (Anhang 49) und das Dilatanzkriterium (Anhang 50), das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium (Anhang 51) sowie das Fluidkriterium (Anhang 52) nach Abschluss der bGZ dargestellt. Zugspannungen im Konturbereich der verfüllten Abbaue werden zunächst überdrückt. Der

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	0010	01	

Erhalt bzw. die Verbesserung der Salzbarriere zutrittsgefährdeter Abbaue ist für den gesamten Zeitraum gegeben. Im oberen Bereich des Pfeilers zwischen den Abbauen 1bs und 2bs auf der 4a-Sohle werden lokal Druckspannungen ausgewiesen, die oberhalb von 15 MPa liegen. Im mittleren und unteren Drittel des Pfeilerquerschnitts liegen die Druckspannungen rechnerisch unter 15 MPa (siehe Anhang 48). Das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium wird eingehalten (siehe Anhang 51). Die Druckspannungen sind zum Teil thermisch induziert und verringern sich beim Abklingen der Temperatur wieder.

Die Dehnungen im Berechnungsausschnitt liegen mit Ausnahme einiger Schweben und Pfeiler während und nach der Verfüllung im Rahmen der bGZ deutlich unter 1 % (Anhang 49). Die Auswertung des Dilatanzkriteriums (Anhang 50) und des Fluidkriteriums (Anhang 52) zeigt eine Zustandsverbesserung.

Während der bGZ kommt es rechnerisch zu einer geringfügigen Hebung von maximal ca. 2 mm am Salzspiegel.

Nachweis der Sicherheit der Bauzustände

Nachweis der Begrenzung der Senkung der Tagesoberfläche und Nachweis der Begrenzung der Schiefstellung von Gebäuden auf der Tagesoberfläche

Während der Verfüllung kommt es rechnerisch zu einer geringfügigen Hebung von maximal ca. 6 mm am Salzspiegel, bezogen auf den Zustand nach Abschluss der bGZ zu einer Hebung von ca. 4 mm. Die Forderung der Beschränkung der Senkung der Tagesoberfläche auf weniger als 1 m ist also erfüllt. Aufgrund der geringen Hebung wurde auf eine Auswertung der Senkungsrate verzichtet.

Nachweis des Erhalts der vorhandenen Barrierenintegrität für zutrittsgefährdete Grubenräume

Gegenüber dem unverfüllten Zustand (Anhang 44 und 46) wird rechnerisch bei Auswertung des Dilatanzkriteriums (Anhang 58) und des Fluidkriteriums (Anhang 60) der Erhalt und sogar die Verbesserung der Barrierenintegrität ausgewiesen. Gegenüber dem Zustand nach Abschluss der bGZ (Anhang 50 bzw. 52) ergibt sich jedoch eine Zustandsverschlechterung, hinsichtlich der Barrierenintegrität insbesondere im Bereich zwischen Abbaue 2s, 1. Sohle und dem Hauptanhydrit. Diese ist durch die aus der bGZ resultierende Temperaturänderung bedingt. Eine Auswertung der Kriterien für spätere Zeitpunkte zeigt jedoch, dass diese Zustandsverschlechterung nur temporär ist. Zum Berechnungszeitpunkt ca. 7,5 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Bereich des Modells ZTS-3.1 ist die deutlichste Zustandsverschlechterung festzustellen (siehe Anhänge 61 und 62). Danach verbessert sich der Zustand wieder, wie an den Berechnungsergebnissen für den Zeitpunkt 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung (Anhang 63 und 64) zu erkennen ist. Da die Zustandverschlechterungen nur temporär

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	0010	01	

sind und bezogen auf den unverfüllten Zustand eine rechnerische Zustandsverbesserung ausgewiesen wird, ist der Erhalt der vorhandenen Barrierenintegrität für zutrittsgefährdete Grubenräume nachgewiesen.

Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume

Der Nachweis ist automatisch aufgrund der Einhaltung der in /14/ angegebenen Sicherheitsabstände geführt. Die Auswertung des Dilatanzkriteriums (Anhang 58) und des Fluidkriteriums (Anhang 60) zeigt zudem eine deutliche Zustandsverbesserung gegenüber dem unverfülltem Zustand. Gegenüber dem Zustand nach Abschluss der bGZ tritt, wie schon zuvor erläutert, eine Zustandsverschlechterung ein. Die Ergebnisse für den Zustand 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung zur Stilllegung zeigen jedoch, dass diese Zustandsverschlechterung nur temporär ist.

Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Salzspiegel und Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung in der jeweils obersten Anhydritscholle, wenn der Anhydrit ein potentieller Lösungspfad ist. Alternativ: Nachweis der Zustandsverbesserung im Anhydrit durch Kontrolle des lokalen Festigkeitskriteriums

In den Anhängen 65 – 68 sind Ergebnisse der Temperaturberechnung dargestellt. Diese werden in Kapitel 4.4 näher erläutert. Die Berechnungsergebnisse zeigen eine Überschreitung der in /14/ angegebenen Nachweiskriterien (zulässige Temperaturerhöhung: 1 K am Salzspiegel, 2 K an der obersten Anhydritscholle). Anstatt des Nachweises der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Anhydrit wird deshalb alternativ das Festigkeitskriterium ausgewertet. Die Berechnungsergebnisse für den unverfüllten Zustand, nach der bGZ, nach Abschluss bzw. 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Rahmen der Stilllegung sind in den Anhängen 69 – 72 dargestellt. Durch die Verfüllung ergibt sich in der obersten Anhydritscholle eine Zustandsverbesserung. Damit ist der Nachweis auf Basis des Festigkeitskriteriums erbracht. Bezüglich der Temperaturerhöhung am Salzspiegel wird in /18/ gezeigt, dass eine Temperaturerhöhung am Salzspiegel von 3 K weder einen nennenswerten Anstieg der Subrosionsrate bewirkt noch einen relevanten Einfluss auf die Grundwasserbewegung im Hutgestein und Deckgebirge hat. Damit ist gezeigt, dass auch eine Temperaturerhöhung von 3 K am Salzspiegel geringfügig ist. Das sehr konservative Kriterium von $\Delta T < 1$ K aus /16/ kann deshalb auf $\Delta T < 3$ K geändert werden. Dieses Kriterium wird eingehalten. Damit ist auch für das Modell ZTS-3.1 der Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Salzspiegel geführt.

Nachweis der Zustandsverbesserung des Salzes in den Konturbereichen der Grubenräume sowie den Tragelementen Schweben und Pfeiler

In den Anhängen 55 - 59 sind die Hauptspannungen, die Vergleichsdehnung, das Dilatanzkriterium und das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium nach Abschluss der Verfüllung dargestellt. Analog zu den bereits vorgestellten Ergebnissen für das Modell ZTN-3.1 und die bGZ werden

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	0010	01	

Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 42

zunächst Zugspannungen im Konturbereich der verfüllten Abbaue überdrückt, durch die thermische Kontraktion während des späteren Abkühlens treten wieder Zugspannungen auf. Werden hiervon noch offene Hohlräume betroffen, müssen die jeweiligen Tragelemente gesondert betrachtet werden. Da im Rahmen der Stilllegung die Verfüllung im Zentralteil von unten nach oben erfolgt, sind die von Zustandsverschlechterungen betroffenen Abbaue i.a. bereits verfüllt. Aufgrund der vorlaufenden bGZ ist jedoch in Abhängigkeit von möglichem Folgeversagen bzw. von Nutzungsanforderungen von Abbauen unterhalb bereits in der bGZ verfüllter Abbaue (hier: 1bs, 2bs, 4a-Sohle, und 4s, 3./4a-Sohle) die Sicherheit der Bauzustände in Verbindung mit dem Konzept von Vorsorgemaßnahmen /14/ nachzuweisen. Für die im Modell ZTS-3.1 zu betrachtenden Abbaue ist dies jedoch nicht erforderlich, da keine Nutzungsanforderungen für diese Abbaue bestehen und kein Folgeversagen zu besorgen ist.

Nachweis der Sicherheit des stabilen Endzustands

Wie bereits zuvor erläutert, werden die Berechnungen zum Nachweis des stabilen Endzustands mit einem 2D-Modell durchgeführt. In Anhang 73 und 74 sind die Hauptspannungen, in Anhang 75 die Vergleichsdehnung, in Anhang 76 das Dilatanzkriterium, in Anhang 77 das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium und in Anhang 78 das Fluidkriterium zum Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung dargestellt.

Nachweis der Begrenzung der Senkung der Tagesoberfläche und Nachweis der Begrenzung der Schiefstellung von Gebäuden auf der Tagesoberfläche

Die berechnete Senkungsrate am Salzspiegel sinkt auf unter 0,006 mm/Jahr. Für den Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Rahmen der Stilllegung ergibt sich ausgehend von einer rechnerischen Senkung von ca. 53 cm (3D-Modell: ca. 24 cm) zum Berechnungszeitpunkt 10/2005 eine Gesamtsenkung am Salzspiegel von ca. 64 cm. Auch für den stabilen Endzustand wurde aufgrund der geringen Senkung keine Auswertung der Schiefstellungsrate vorgenommen.

Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume

Der Nachweis ist automatisch aufgrund der Einhaltung der in /14/ angegebenen Sicherheitsabstände geführt. Die Auswertung des Dilatanzkriteriums (Anhang 76) und des Fluidkriteriums (Anhang 78) zeigt zudem in großen Bereichen eine Zustandsverbesserung.

Wünschenswert: Erhalt der vorhandenen Barrierenintegrität für zutrittsgefährdete Grubenräume

In Anhang 76 ist das Dilatanzkriterium für den Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung dargestellt. Das Dilatanzkriterium wird nur noch im Konturbereich der

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	0010	01	

Resthohlräume und geringfügig im Bereich der Subrosionsmulde am Übergang zum Hutgestein überschritten. Letzteres ist jedoch durch die 2D-Modellierung bedingt. Es ergibt sich bezüglich des Dilatanzkriteriums eine Zustandsverbesserung. Die Auswertung des Fluidkriteriums ergibt ebenso eine Zustandsverbesserung durch Verfüllung. Es ist für den Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach Verfüllung in Anhang 78 angegeben. Da für die Konturbereiche rechnerisch keine Langzeitstandsticherheit gezeigt werden kann, muss von Verbrüchen in diesen Bereichen ausgegangen werden (Anhang 76 und 77). Aufgrund des vorhandenen Verfüllgrades ist aber trotzdem die Barrierenintegrität gewährleistet, da von einem Totlaufen der Brüche ausgegangen werden kann /17/.

4.3 Modell ZT-3.3

Bewertung des unverfüllten Zustands

In den Anhängen 79 - 84 sind die Hauptspannungen, die Vergleichsdehnung, das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium, das Dilatanzkriterium und das Fluidkriterium zum Berechnungszeitpunkt 09/2003 dargestellt. Im Steinsalz werden maximale Hauptspannungen von bis zu 3 MPa berechnet (Anhang 79). Diese treten in der Schweben über Abbau 3n, 3. Sohle (siehe Anlage 3) auf. Die Überschreitung der Zugfestigkeit in diesem Bereich wurde bereits in der Berechnung zum Schnitt ZTN-3.1 dargestellt. In den anderen Schweben werden für die Zugspannungen Maximalwerte von 2,5 MPa, i.a. Werte unter 1 MPa ausgewiesen. Es ergeben sich keine durchgehenden Bereiche, in denen die Zugfestigkeit von 1 MPa überschritten ist. Die minimalen Hauptspannungen liegen im gesamten Berechnungsausschnitt im Steinsalz zwischen 15 MPa und 0 MPa, im Hauptanhydrit treten Druckspannungen von bis zu -21 MPa auf (Anhang 80). Für die Vergleichsdehnungen ergeben sich Maximalwerte von 2,4 % in den Schweben des Abbausystems 1a (Anhang 81).

Zur weiteren Bewertung werden das Dilatanz-, das Kurzzeitbruchfestigkeits- und das Fluidkriterium ausgewertet. Die Auswertung des Dilatanzkriteriums (Anhang 82) ergibt dilatante Zonen zwischen den Abbauen des Abbausystems 1a und dem Hauptanhydrit sowie in den Schweben des Abbausystems 3n. Hier ist, wie schon in 4.1 beschrieben, lokal von Kriechbruch auszugehen. Das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium (Anhang 83) ist nur in wenigen Zonen im Konturbereich der Abbaue und im Bereich von Schichtgrenzen am Hauptanhydrit überschritten. Das Fluidkriterium (Anhang 84) ist in weiten Teilen im Bereich der Abbaue überschritten.

Bewertung des Zustands nach Abschluss der bGZ

In den Anhängen 85 – 90 sind die Hauptspannungen, die Vergleichsdehnung (Anhang 87) und das Dilatanzkriterium (Anhang 88), das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium (Anhang 89) sowie das Fluidkriterium (Anhang 90) nach Abschluss der bGZ im Bereich des Modells ZT-3.3

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	0010	01	

Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 44

zum Berechnungszeitpunkt 10/2006 dargestellt. Da lediglich 2 Abbaue verfüllt wurden, sind auch die Effekte durch thermische Expansion und Kontraktion nur lokal beschränkt. In den Schweben über und unter Abbau 1an, 3a-Sohle treten zwar zeitweise Zustandsverschlechterungen auf, es entsteht jedoch in der unteren Schweben kein durchgängiger Bereich, in dem die Zugfestigkeit überschritten ist. Im Nahbereich des verfüllten Abbaus 1an kommt es zeitweise zu einer geringen Vergrößerung der Dilatanzzone. Es ergibt sich jedoch kein Einfluss auf die dilatanten Bereiche auf den oberen Sohlen. Die Bereiche, in denen das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium überschritten ist, vergrößern sich zeitweise im Nahbereich des Abbaus 1an geringfügig (siehe Anhang 89). Die Vergleichsdehnungen im Bereich der Barriere liegen vor, während und nach der Verfüllung weit unter 1 % (Anhang 87).

Während der bGZ kommt es rechnerisch zu einer geringfügigen Senkung von weniger als 1 mm am Salzspiegel.

Nachweis der Sicherheit der Bauzustände

In Anhang 92 und 93 sind die Hauptspannungen, in Anhang 94 die Vergleichsdehnung, in Anhang 95 das Dilatanzkriterium, in Anhang 96 das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium und in Anhang 97 das Fluidkriterium zum Berechnungszeitpunkt 06/2017, d.h., nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3, dargestellt. Ergebnisse zur Temperaturentwicklung sind in den Anhängen 91, 98 und 99 angegeben.

Nachweis der Begrenzung der Senkung der Tagesoberfläche und Nachweis der Begrenzung der Schiefstellung von Gebäuden auf der Tagesoberfläche

Bis zum Abschluss der Verfüllung im Rahmen der Stilllegung kommt es bezogen auf den unverfüllten Zustand rechnerisch zu einer geringfügigen Senkung von ca. 2 mm am Salzspiegel. Die Forderung der Beschränkung der Senkung der Tagesoberfläche auf weniger als 1 m ist also erfüllt. Aufgrund der geringen Senkung wurde auf eine Auswertung der Senkungsrate verzichtet.

Nachweis des Erhalts der vorhandenen Barrierenintegrität für zutrittsgefährdete Grubenräume

Gegenüber dem unverfüllten Zustand und dem Zustand nach Abschluss der bGZ (Anhang 84 und 86) wird rechnerisch bei Auswertung des Dilatanzkriteriums (Anhang 95) der Erhalt und sogar die Verbesserung der Barrierenintegrität ausgewiesen. Damit ist der Erhalt der vorhandenen Barrierenintegrität für zutrittsgefährdete Grubenräume nachgewiesen. Das Fluidkriterium ist in diesem Bereich weiterhin überschritten (Anhang 97).

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	0010	01	

Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 45

Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume

Der Nachweis ist automatisch aufgrund der Einhaltung der in /14/ angegebenen Sicherheitsabstände geführt. Die Auswertung des Dilatanzkriteriums (Anhang 95) und des Fluidkriteriums (Anhang 97) zeigt zudem bezüglich des Dilatanzkriteriums für diese Grubenräume eine deutliche Zustandsverbesserung gegenüber dem unverfülltem Zustand.

Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Salzspiegel und Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung in der jeweils obersten Anhydritscholle, wenn der Anhydrit ein potentieller Lösungspfad ist. Alternativ: Nachweis der Zustandsverbesserung im Anhydrit durch Kontrolle des lokalen Festigkeitskriteriums

In Anhang 98 ist das Temperaturfeld nach Abschluss der Verfüllung, in Anhang 99 zum Berechnungszeitpunkt 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung dargestellt. Es treten im Vergleich zu den Modellen ZTN-3.1 und ZTS-3.1 deutlich geringere Temperaturerhöhungen auf. Auch ohne zusätzliche Auswertung an ausgewählten Punkten am Salzspiegel und an der obersten Anhydritscholle ist damit der Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Salzspiegel und an der obersten Anhydritscholle geführt.

Nachweis der Zustandsverbesserung des Salzes in den Konturbereichen der Grubenräume sowie den Tragelementen Schweben und Pfeiler

In den Anhängen 92 - 96 sind die Hauptspannungen, die Vergleichsdehnung, das Dilatanzkriterium und das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium nach Abschluss der Verfüllung dargestellt. Wie in den zuvor behandelten Modellen wird auch hier die Zustandsverbesserung mit Ausnahme der Konturbereiche der Resthohlräume gezeigt.

Nachweis der Sicherheit des stabilen Endzustands

Wie bereits zuvor erläutert, werden die Berechnungen zum Nachweis des stabilen Endzustands mit einem 2D-Modell durchgeführt. In Anhang 100 und 101 sind die Hauptspannungen, in Anhang 102 die Vergleichsdehnung, in Anhang 103 das Dilatanzkriterium, in Anhang 104 das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium und in Anhang 105 das Fluidkriterium zum Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung dargestellt.

Nachweis der Begrenzung der Senkung der Tagesoberfläche und Nachweis der Begrenzung der Schiefstellung von Gebäuden auf der Tagesoberfläche

Die berechnete Senkungsrates am Salzspiegel sinkt auf unter 0,004 mm/Jahr. Für den Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach der Verfüllung ergibt sich ausgehend von einer Senkung

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22341011					GC	LD	0010	01	

Standsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 46

von ca. 14 cm (3D-Modell: ca. 9 cm) zum Berechnungszeitpunkt 09/2003 eine Gesamtsenkung am Salzspiegel von ca. 20 cm. Auch für den stabilen Endzustand wurde aufgrund der geringen Senkung keine Auswertung der Schiefstellungsrate vorgenommen.

Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume

Der Nachweis ist automatisch aufgrund der Einhaltung der in /14/ angegebenen Sicherheitsabstände geführt. Die Auswertung des Dilatanzkriteriums (Anhang 103) zeigt zudem für diese Grubenräume eine deutliche Zustandsverbesserung.

Wünschenswert: Erhalt der vorhandenen Barrierenintegrität für zutrittsgefährdete Grubenräume

In Anhang 103 ist das Dilatanzkriterium für den Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung dargestellt. Das Dilatanzkriterium wird nur noch im Konturbereich der Resthohlräume überschritten. Die Salzbarriere wird also deutlich verbessert. Die Auswertung des Fluidkriteriums in der Salzbarriere ergibt ebenso eine Zustandsverbesserung durch die Verfüllung. Es ist für den Berechnungszeitpunkt 1000 Jahre nach Verfüllung in Anhang 105 angeben. 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 /17/.

4.4 Temperaturberechnungen

Die Temperaturfeldberechnungen führen bei allen Modellen auf ähnliche Ergebnisse für die Maximaltemperaturen in Versatz, Steinsalz, Anhydrit und am Salzspiegel. Ein deutlicher Anstieg der Temperatur im Salz tritt nur in einem Bereich von wenigen Metern um einen verfüllten Abbau auf. Für die Modelle ZTN-3.1 und ZTS-3.1 ist in den Anhängen 21 und 53 jeweils das Temperaturfeld nach Verfüllung eines einzelnen Abbaus im Rahmen der bGZ, in den Anhängen 31 und 65 nach Verfüllung eines einzelnen Abbaus im Rahmen der Stilllegungsmaßnahmen dargestellt.

In den Anhängen 32, 66 und 98 sind für die Modelle ZTN-3.1, ZTS-3.1 und ZT-3.3 die Temperaturfelder nach Abschluss der Verfüllung dargestellt. Für den Zeitraum der Bauzustände werden im Versatz Maximaltemperaturen von ca. 70 °C, im Steinsalz von bis zu ca. 37 °C, an den obersten Anhydritschollen von maximal ca. 26 °C und am Salzspiegel weniger als 25 °C berechnet. Es ergeben sich zu diesem Zeitpunkt also maximale Temperaturerhöhungen von 40 K im Versatz, 14 K im Steinsalz, 2 K an den obersten Anhydritschollen und ca. 1 K am Salz-

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	0010	01	

spiegel, im Modell ZTS-3.1 von bis zu 3K an der obersten Anhydritscholle und bis zu 1,9 K am Salzspiegel im Bereich der Subrosionsmulde.

In den Anhängen 34, 68 und 99 sind für die Modelle ZTN-3.1, ZTS-3.1 und ZT-3.3 die Temperaturfelder für den Berechnungszeitpunkt 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung dargestellt. Die berechnete Maximaltemperatur liegt in diesen Modellen zwischen 25°C und 29 °C, am Salzspiegel liegt die Temperaturerhöhung im Modell ZTN-3.1 bei maximal 1,3 K und im Modell ZT-3.3 unter 1 K. Im Modell ZTS-3.1 beträgt die Temperaturerhöhung im Bereich der Subrosionsmulde bei bis zu 1,9 K, im Bereich des Salzspiegels auf -140 mNN wird die gemäß /14/ zulässige Temperaturerhöhung von 1 K nicht überschritten. Der zeitliche Verlauf der Temperaturerhöhung am Anhydrit und am Salzspiegel für die Modelle ZTN-3.1 und ZTS-3. ist in den Anhängen 33 und 67 für den Zeitraum bis ca. 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Rahmen der Stilllegung dargestellt. Die jeweils betrachteten Auswertepunkte sind in den Anhängen 34 und 68 angegeben. Die Ergebnisse zeigen, dass im weiteren Zeitverlauf keine signifikante Temperaturerhöhung am Salzspiegel und an der obersten Anhydritscholle mehr eintreten wird, so dass der Betrachtungszeitraum bis 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Rahmen der Stilllegung ausreichend zur Nachweisführung ist. Für das Modell ZT-3.3 wurde die Auswertung an einzelnen Punkten am Salzspiegel und an der obersten Anhydritscholle nicht vorgenommen, da in diesem Modell aufgrund der deutlich geringeren Verfüllmenge bei vergleichbarer Nähe zum Anhydrit und zum Salzspiegel geringere Temperaturerhöhungen als in den Modellen ZTN-3.1 und ZTS-3.1 auftreten. Deshalb sind die Ergebnisse aus diesen Modellen auch abdeckend für das Modell ZT-3.3.

Für die Modelle ZTN-3.1 und ZT-3.3 ergeben die Berechnungen die Einhaltung der in /14/ angegebenen Kriterien zum Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung. Für das Modell ZTS-3.1 wird jedoch im Bereich der Subrosionsmulde und an der obersten Anhydritscholle eine Überschreitung dieser Kriterien ausgewiesen. Der Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung an der obersten Anhydritscholle (wenn diese ein potenzieller Lösungspfad ist) wurde im Kapitel 4.2 mittels des Festigkeitskriteriums bereits geführt. Hinsichtlich der Temperaturerhöhungen am Salzspiegel zeigen die Betrachtungen in /18/, dass auch Temperaturerhöhungen von 3 K keine relevanten Auswirkungen auf die Grundwasserbewegung und die Subrosionsrate haben. Die rechnerisch ermittelte maximale Temperaturerhöhung von 1,9 K im Bereich der Subrosionsmulde ist also auch geringfügig. Insbesondere zeigen die Ergebnisse im Bereich des Salzspiegels auf -140 mNN lediglich Temperaturerhöhungen von bis zu ca. 1 K. Somit ist der Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Salzspiegel und an der obersten Anhydritscholle für alle betrachteten Modelle geführt.

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	0010	01	

4.5 Ergänzende Untersuchungen zum Einfluss des Feuchtekiechens

Feuchtigkeit hat einen signifikanten Einfluss auf das Kriechverhalten von Salz. In Versuchen wurde eine deutliche Erhöhung der Kriechfähigkeit unter Feuchteinfluss festgestellt. Da beim Einbringen des Salzbetons auch Feuchtigkeit eingebracht wird, wurde der Einfluss einer erhöhten Kriechfähigkeit in Bereichen, in denen von einer erhöhten Feuchtigkeit auszugehen ist, untersucht. Hierzu wurden numerische Berechnungen für die 3 Modelle ZTN-3.1, ZTS-3.1 und ZT-3.3 durchgeführt.

Feuchtekiechen kann nur in Bereichen auftreten, in denen die Feuchtigkeit in das Steinsalz eindringen kann. Es muss also zumindest aufgelockertes Steinsalz vorliegen. Zudem tritt im Rahmen der bGZ und der Stilllegung der Feuchteinfluss in Abhängigkeit vom Verfüllfortschritt auf. In den numerischen Modellen wird deshalb wie folgt vorgegangen:

Im Bereich des jeweiligen Verfüllabschnittes wird ein Multiplikator zur Erhöhung des Kriechfaktors A (siehe Abschnitt 2.1.1) angesetzt, dessen Einflussbereich temperaturgesteuert vorgegeben wird. Im Zuge der Berechnung werden dann Zonen mit überschrittenen Dilatanz- bzw. Zugfestigkeitskriterien im Einflussbereich der Verfüllung sowie der Kontur- und Nahbereich der Abbaue mit unterschiedlichen erhöhten Kriechfaktoren belegt. Diese Bereiche werden in Abhängigkeit der Temperaturentbreitung und damit in Abhängigkeit des Verfüllprozesses festgelegt. und ggf. nacheinander angewendet, so dass mehrfache Erhöhungen vorliegen können.

- In Zonen im Konturbereich (d.h., die an den Hohlraum angrenzenden Zonen) der zu verfüllenden Hohlräume wird die Kriechfähigkeit um das 10-fache erhöht. Wird in diesen Zonen im Verlauf der Berechnung das Zugspannungskriterium überschritten, erfolgt eine weitere Erhöhung um das 4-fache.
- In Zonen mit überschrittenem Zugspannungskriterium wird die Kriechfähigkeit ebenfalls um das 10-fache erhöht.
- In Zonen, in denen das Dilatanzkriterium überschritten wurde, wird die Kriechfähigkeit um das 5-fache erhöht.
- In Zonen im Nahfeld der zu verfüllenden Hohlräume mit einer Temperaturerhöhung von mindestens 10 K wird die Kriechfähigkeit um das 2,5-fache erhöht.

Die Zonen mit durch Feuchte erhöhter Kriechfähigkeit sind für die Modelle ZTN-3.1 (Anhang 106), ZTS-3.1 (Anhang 109) und ZT-3.3 (Anhang 112) im Anhang angegeben. Zur Bewertung des Einflusses des Feuchtekiechens sind für die einzelnen Modelle die Ergebnisse für die maximalen Hauptspannungen sowie das Dilatanzkriterium zum Berechnungszeitpunkt 06/2017, also nach Abschluss der Verfüllung zur Stilllegung im Zentralteil, dargestellt. Für das Modell ZTN-3.1 sind die maximalen Hauptspannungen in Anhang 107, das Dilatanzkriterium in Anhang 108 angegeben. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den in Anhang 23 bzw. Anhang 26 dargestellten Berechnungsergebnissen, so sind nur geringfügige Unterschiede festzustellen. Hinsichtlich der Bewertung bezüglich der Nachweiskriterien ergibt sich kein Unterschied. Auch für die Modelle ZTS-3.1 und ZT-3.3 sind keine signifikanten Unterschiede durch die Be-

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	0010	01	

rücksichtigung von Feuchtekriechen erkennbar. Hierzu können für das Modell ZTS-3.1 Anhang 110 (maximale Hauptspannungen) und Anhang 111 (Dilatanzkriterium) mit den Ergebnissen in Anhang 55 und 58 verglichen werden. Für das Modell ZT-3.3 sind die entsprechenden Ergebnisse für die maximalen Hauptspannungen in Anhang 113 (zum Vergleich mit Anhang 92) und für das Dilatanzkriterium in Anhang 114 (zum Vergleich mit Anhang 95) dargestellt.

Insgesamt sind die Unterschiede zu den in Kapitel 4.1 – 4.3 angegebenen Berechnungsergebnissen geringfügig, so dass eine weitere Berücksichtigung von Feuchtekriechen hinsichtlich der Nachweisführung für die Sicherheit der Bauzustände und des stabilen Endzustands nicht erforderlich ist.

4.6 Berücksichtigung einer geringeren Firstanbindung

Im Rahmen der Durchführung der bGZ wurde festgestellt, dass es während der Verfüllung der Abbaue zu Löserfällen kommen kann. Damit kann nicht ausgeschlossen werden, dass für Abbaue, für die eine weitgehende Firstanbindung vorgesehen ist, diese nicht im geplanten Maße und damit auch nicht wie in den rechnerischen Nachweisen angenommen erreicht wird. Durch die Anordnung der Verfüllbohrungen im Firsthöchsten mit Austritt des Salzbetons über die Entlüftungsbohrungen ist jedoch eine weitgehende Verfüllung dieser Abbaue realisierbar, so dass der Verfüllgrad wahrscheinlich über den in /1/ angenommenen Verfüllgrad von mindestens 95% für die zutrittsgefährdeten Abbaue hinausgeht. Ein hoher Firstanbindungsgrad und ein geringes Resthohlraumvolumen ist durch diese Vorgehensweise gewährleistet. Sollte durch einen Löserfall die Verfüllbohrung nicht mehr das Firsthöchste darstellen, so ist das verbleibende Resthohlraumvolumen gegebenenfalls geringfügig größer als geplant. Dies gilt entsprechend auch für die im Rahmen der bGZ verfüllten Abbaue, für die in /1/ ein Verfüllgrad von 100% angenommen wird.

Als zutrittsgefährdet werden im Zentralteil die Abbaue der Abbausysteme 1a, 2 und 3 jeweils auf der 1. und 2a-Sohle bewertet. Hier ist eine nennenswerte Ausweitung dilatanter Zonen zu vermeiden /14/. In den Berechnungsmodellen wird für diese Abbaue eine Firstanbindung von ca. 70% modelliert. Ein Firstanschluss wird also im Modell nicht vollständig vorausgesetzt. Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass in Schweben oberhalb von Bereichen ohne Firstanbindung ggf. die Zugfestigkeit bzw. das Dilatanzkriterium überschritten wird. Eine nennenswerte Aufweitung der dilatanten Bereiche gegenüber dem unverfüllten Zustand wird i.a. aber auch bei unvollständiger Firstanbindung vermieden, so dass der Nachweis gemäß /14/ auch hier geführt ist. Lediglich im Modell ZTS-3.1 ergeben sich nach der Verfüllung aufgrund der thermischen Expansion und Kontraktion in den Schweben und Pfeilern noch aus der bGZ folgend deutliche Zustandsverschlechterungen bzgl. des Dilatanzkriteriums (auch bei Berücksichtigung einer Firstanbindung von 70 %, siehe Anhang 58). Rechnerisch können hier also Verbrüche nicht ausgeschlossen werden. Da diese Verbrüche bei einem geringen verbleibenden Resthohlraum jedoch nicht deutlich über den Konturbereich hinausgehen, muss dies in den rechnerischen Nachweisen nicht berücksichtigt werden.

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	0010	01	

Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 50

4.7 Zusammenfassende Bewertung

In den Kapitel 4.1 – 4.3 wurden die Berechnungsergebnisse der Modelle ZTN-3.1, ZTS-3.1 und ZT-3.3 hinsichtlich der Einhaltung der in /14/ angegebenen Nachweiskriterien für den Nachweis der Sicherheit der Bauzustände und des stabilen Endzustands überprüft.

Zum Nachweis der Sicherheit der Bauzustände zeigen die Berechnungen, dass die Senkungen bzw. Hebungen am Salzspiegel und damit auch an der Tagesoberfläche gering sind und dass die Barrierenintegrität sich nicht verschlechtert. In einigen Tragelementen treten Zustandsverschlechterungen auf, die Arbeitssicherheit kann hier jedoch in Verbindung mit dem Konzept von Vorsorgemaßnahmen /16/ nachgewiesen werden.

Auch für den stabilen Endzustand zeigt die Auswertung des Dilatanz- und des Fluidkriteriums für alle Modelle den Erhalt bzw. die Verbesserung der Salzbarriere im Betrachtungszeitraum von 1000 Jahren. Die Senkung am Salzspiegel ist gering.

Hinsichtlich der Temperaturerhöhung an der obersten Anhydritscholle konnte für alle Modelle die Geringfügigkeit bzw. die Zustandsverbesserung im Anhydrit auf Basis des lokalen Festigkeitskriteriums gezeigt werden. Das in /14/ angegebene Temperaturkriterium am Salzspiegel wird in den Modellen ZTS-3.1 und ZTN-3.1 im Bereich der Subrosionsmulde geringfügig überschritten. Da in /18/ die Zulässigkeit einer größeren Temperaturerhöhung gezeigt wurde und diese rechnerisch eingehalten wird, ist auch hier der erforderliche Nachweis geführt.

Insgesamt ist also der Nachweis der Sicherheit der Bauzustände und des stabilen Endzustands für den Zentralteil Bartensleben geführt.

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	0010	01	

5 Literatur

- /1/ DBE:
Verfüllplan zur Stilllegung des ERAM nach Durchführung der bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahmen im Zentralteil-Konzeptplanung, Stand: 15.12.2005
- /2/ Sonderschnitt ZT-1.4, Geologie und Kriechklassen, Stand: 27.08.2001
- /3/ Itasca Consultants: FLAC Handbücher, Minnesota, USA, 1997.
- /4/ ANSYS: ANSYS Manuals, USA, 1999.
- /5/ BGR:
Gebirgsmechanische Beurteilung der Integrität der Salzbarriere in der Schachanlage Bartensleben, Archiv-Nr. 0120 259, Tgb.-Nr. 11118/00, Hannover, Dezember 2000
- /6/ BGR:
Ingenieurgeologische Erkundung von Homogenbereichen (AP 9M 213 100 15), Abschlussbericht, Archiv-Nr. 117213, Tgb.-Nr. 10683/98, Hannover, Mai 1998.
- /7/ Gröber, Erk, Grigull:
Die Grundgesetze der Wärmeübertragung, Springer-Verlag, New York u.a., 1988.
- /8/ BGR:
ERAM - Untertägige Temperaturmessungen im Rahmen der geowissenschaftlichen Standorterkundung des Endlagers für radioaktive Abfälle in Morsleben, Abschlussbericht, Archiv-Nr. 116704, Hannover, Juni 1998
- /9/ BGR:
Geotechnische Erkundung und Standsticherheitskriterien, Salzmechanik X, Februar 1989.
- /10/ Onken, Rostasy:
Wirksame Betonzugfestigkeit im Bauwerk bei früh einsetzendem Temperaturzwang, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 449, 1995.
- /11/ DBE:
Verfüllmaterial von Strecken mit hohen Anforderungen - Materialeigenschaften und Materialkennwerte Salzbeton M2, Stand: 27.02.2004

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22341011					GC	LD	0010	01	

- /12/ DBE:
Salzbeton Zusammenstellung der Eigenschaften und Materialkennwerte (Referenzmaterial M3), Stand: 13.01.2006

- /13/ Zienkiewicz, Taylor:
The Finite Element Method. Vol. 2: Solid and Fluid Mechanics, Dynamics an Non-Linearity, McGraw-Hill, London u.a., 1991.

- /14/ DBE:
Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die Maßnahmen der Stilllegung (Stand sicherheit und Integrität), Stand: 15.12.2005

- /15/ Hunsche, Cristescu:
Time Effects in Rock Mechanics, Wiley & Sons, 1998.

- /16/ DBE:
Konzept von Vorsorgemaßnahmen für die Stilllegung, Stand: 15.12.2005

- /17/ DBE:
Stand sicherheits- und Integritätsnachweis-Kriterien zur Auswahl von Berechnungsschnitten, Stand: 15.12.2005

- /18/ CPE:
Auswirkungen einer erhöhten Temperatur am Salzspiegel auf die Grundwasserbewegung im ERAM-Deckgebirge unter Salzwasser verhältnissen, Colenco-Bericht 4651/166, Stand: 17.02.2006

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	0010	01	

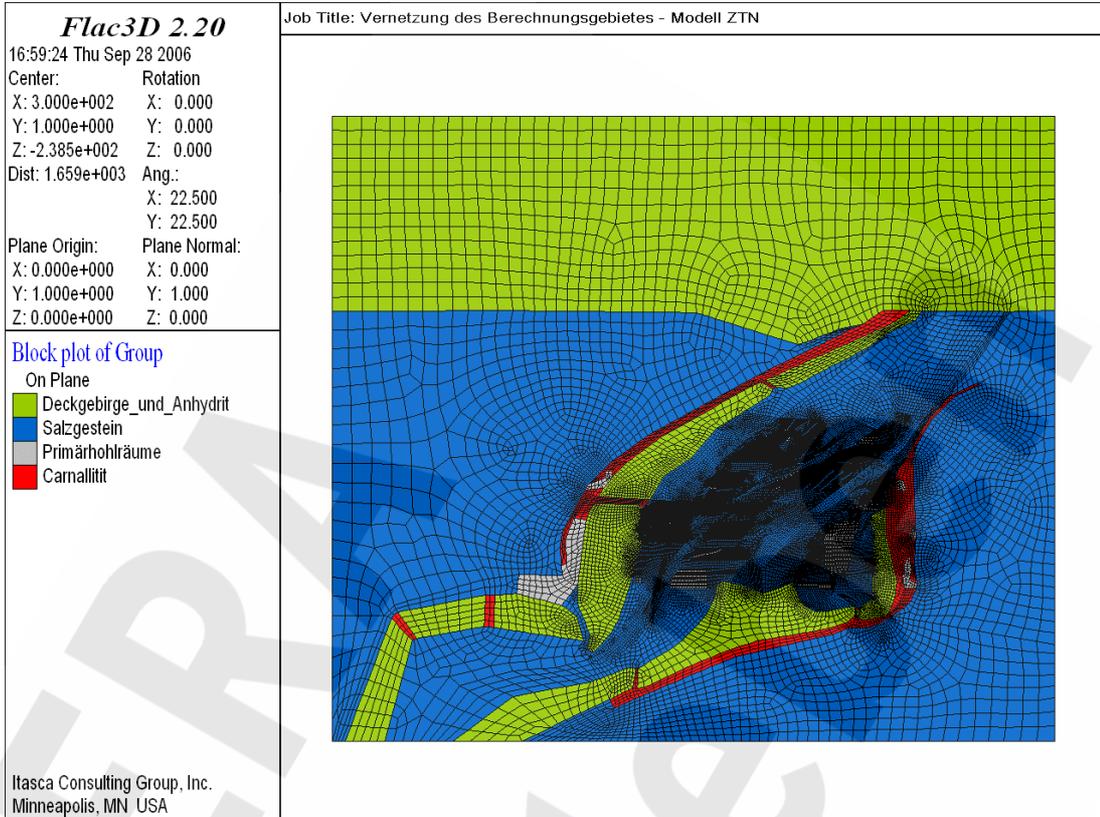
6 Glossar

Abbau:	Bezeichnung für einen durch bergmännische Tätigkeiten bei der Gewinnung von Kali- oder Steinsalz hergestellten Hohlraum
Aktivierungsenergie:	Mindestenergie zur Erzielung einer chemischen Reaktion
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 söhligten oder geneigten Strecke oder eines anderen Grubenbaus
Barriere:	Hindernisse zwischen den Quellen ionisierender Strahlung und der Biosphäre
Bewetterung:	Planmäßige Versorgung der Grubenbaue mit frischer Luft
Dilatanz:	Volumenvergrößerung eines Körpers in Folge von mikrostrukturellen Änderungen wie Phasenumwandlungen oder Rissbildung
Dilatanzkriterium:	Grenzbedingung für das Auftreten von mikroskopischen Rissen, die zur Volumenvergrößerung und über Risswachstum innerhalb eines langen Zeitraums zum Versagensfall Bruch führen
Diskretisierung:	Mathematische Beschreibung eines räumlich zusammenhängenden Systems (Kontinuums) durch räumlich beschränkte Gebiete
Druckfestigkeit:	Festigkeit eines Materials unter Druckbeanspruchung
Finite-Differenzen	Spezielles Diskretisierungsverfahren

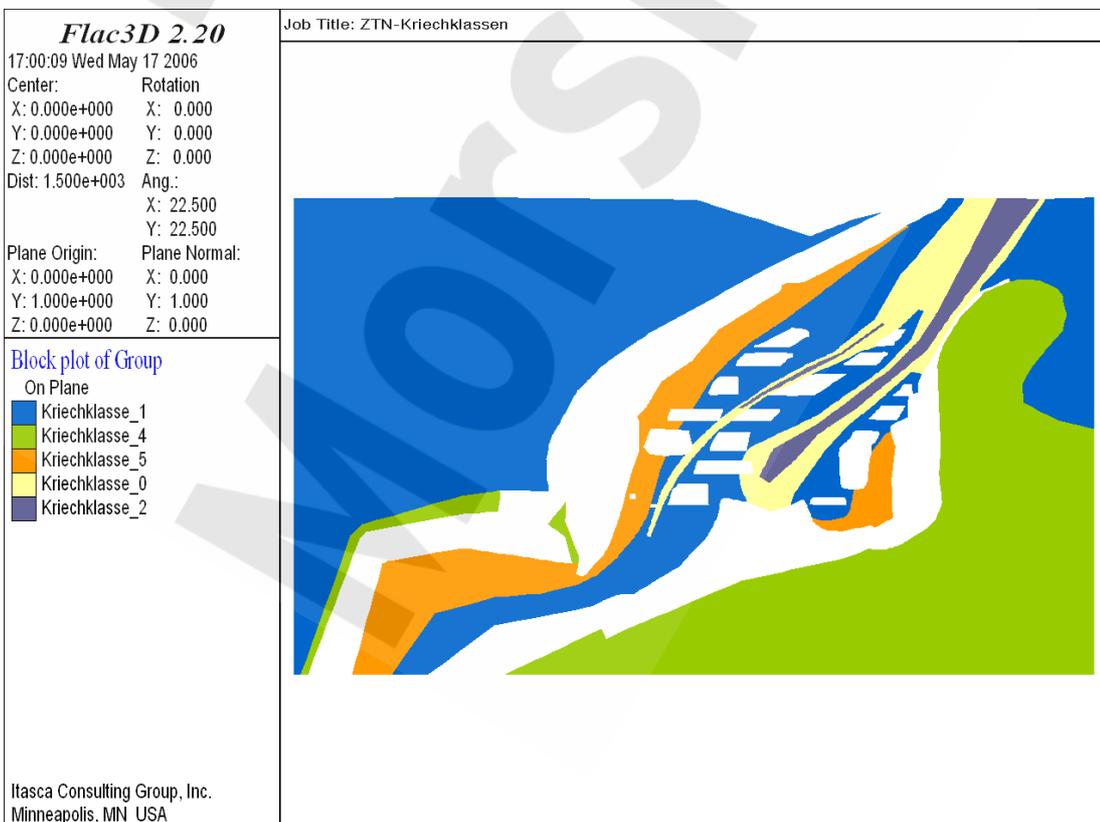
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N	
9M	22341011					GC	LD	0010	01	

Fluidkriterium:	Grenzbedingung für das Öffnen von Rissen bei Fluiddruck
Hydratationsgrad:	Verhältnis von hydratisierten zu hydratisierbaren Bindemittelanteilen
Hydratationswärme:	Wärme, die als Folge exothermer Mineralreaktionen der Bindemittel (z. B. Zement, Flugasche) mit der Anmischflüssigkeit freigesetzt wird
lithostatisch:	Unter Einfluss der ruhenden Gebirgslast
Salzbeton:	Baustoff bestehend aus den Grundbestandteilen Zement, Betonzusatzstoff, Salzzuschlag sowie Wasser oder Salzlösungen als Anmachflüssigkeit
Salzspiegel:	Obere Grenzfläche diapirischer Salzkörper oder flach gelagerter Salzgesteine etwa parallel zum Grundwasserspiegel, entstanden durch flächenhafte Lösung des Salzgesteins
Sohle:	Gesamtheit der annähernd in einem Niveau aufgefahrenen Grubenbaue
Strecke:	Tunnelartiger Grubenbau, der nahezu söhlig aufgefahren ist
Teufe:	Tiefenlage unter einem Bezugsnormal wie z. B. der Tagesoberfläche
Versatz:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Material für die Verfüllung der Stützung von Grubenräumen 2. Verfüllung eines Grubenbaues (Versetzen)
Zugfestigkeit:	Festigkeit eines Materials unter Zugbeanspruchung

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	0010	01



Anhang 1: 3D-Modell ZTN-3.1, Vernetzung des gesamten Berechnungsgebietes

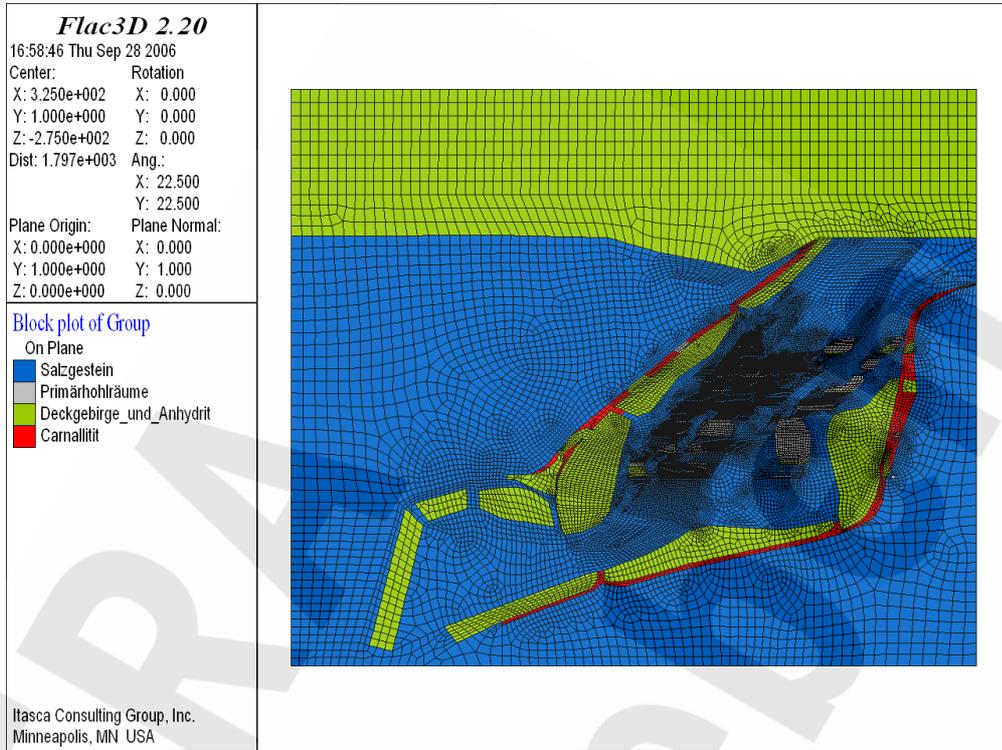


Anhang 2: 3D-Modell ZTN-3.1, Darstellung der Kriechklassen

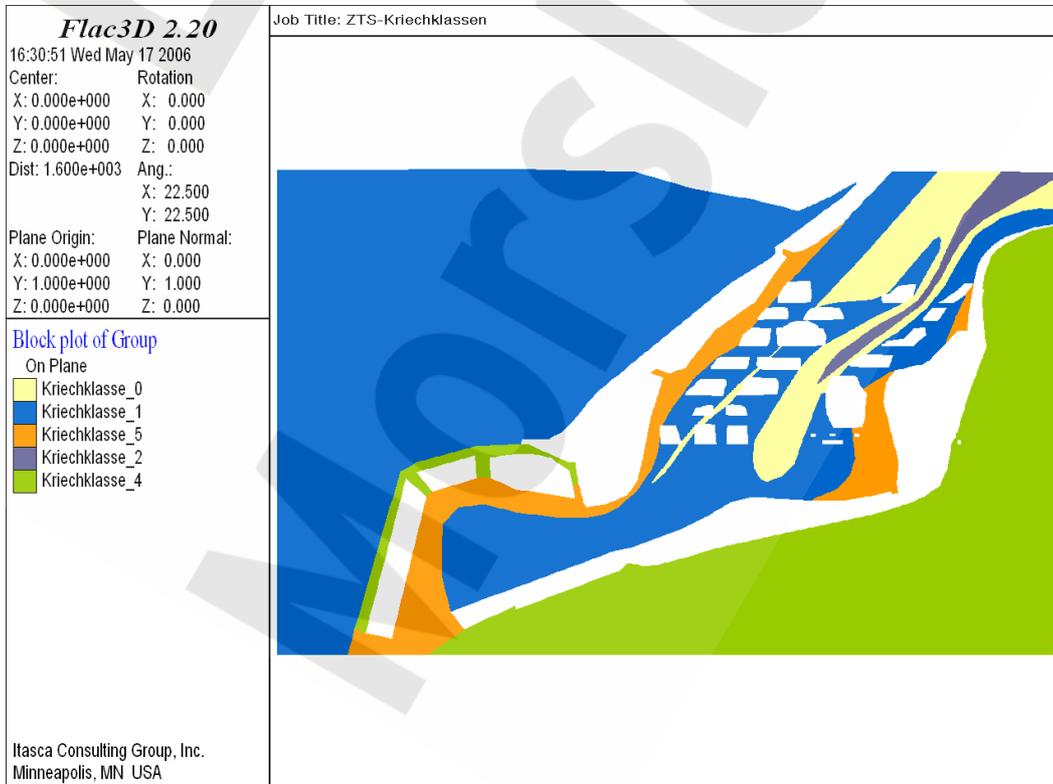
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 3: 3D-Modell ZTS-3.1, Vernetzung des gesamten Berechnungsgebiets



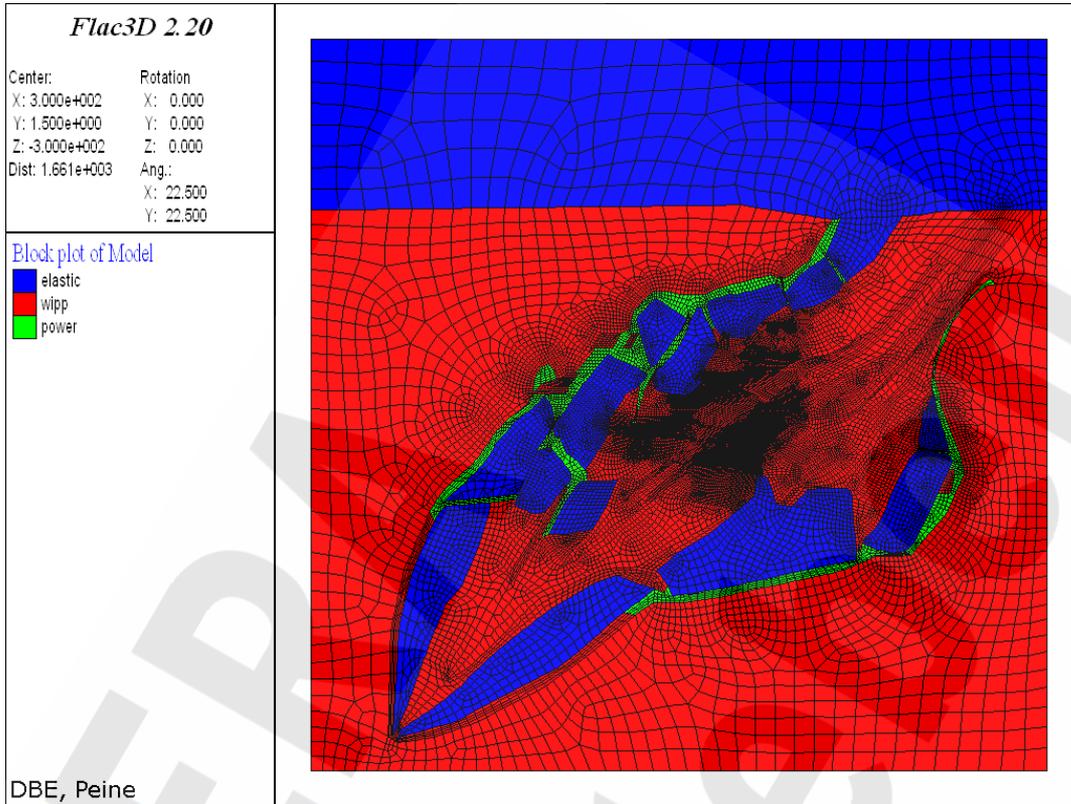
Anhang 4: 3D-Modell ZTS-3.1, Darstellung der Kriechklassen

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	0010	01

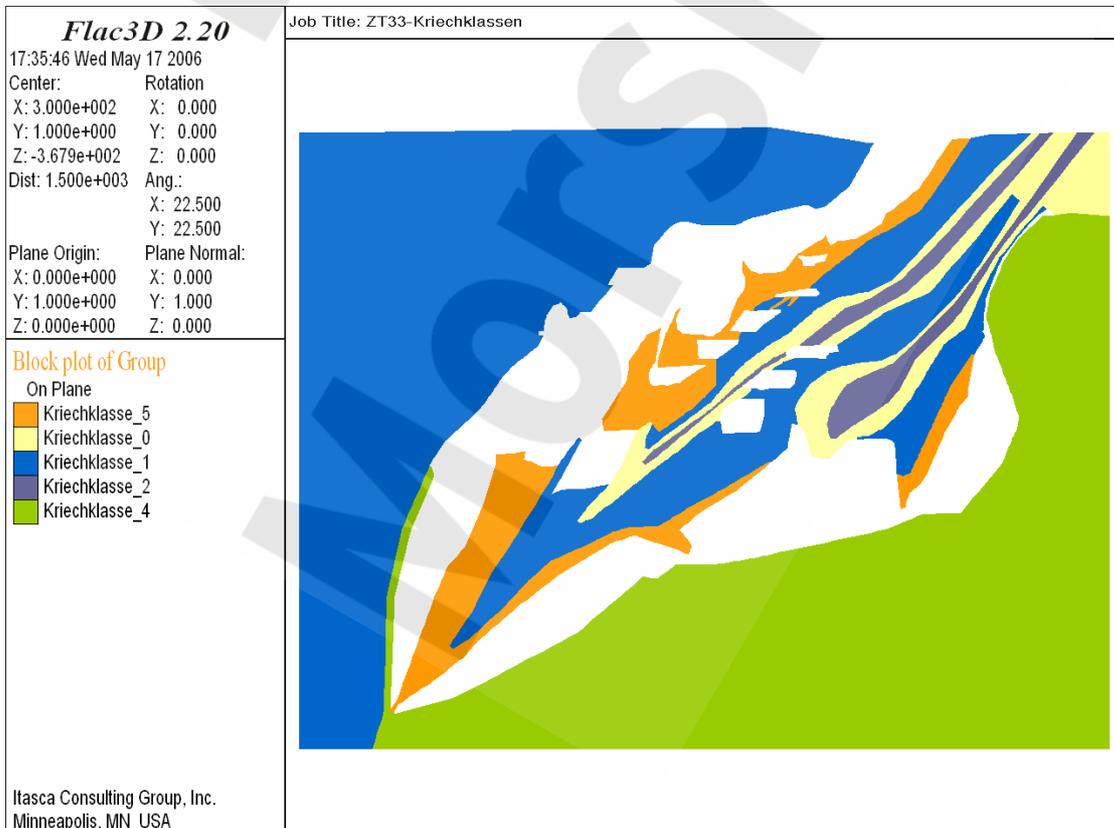


Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 57



Anhang 5: 3D-Modell ZT-3.3, Vernetzung des gesamten Berechnungsgebiets

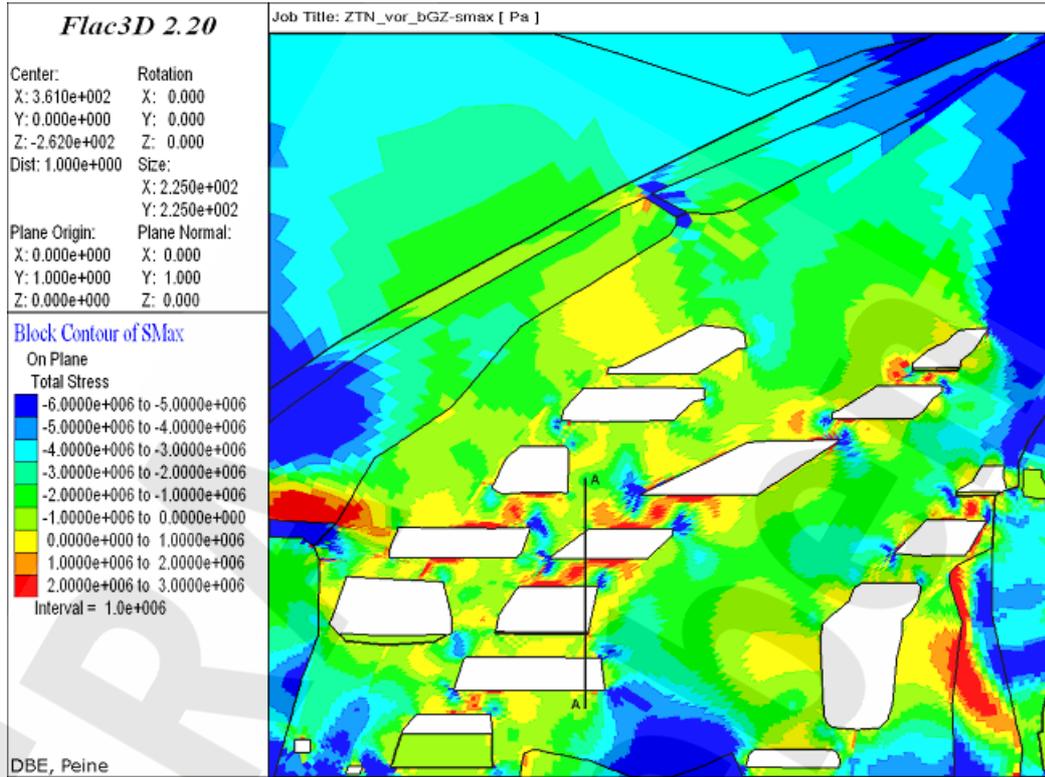


Anhang 6: 3D-Modell ZT-3.3, Darstellung der Kriechklassen

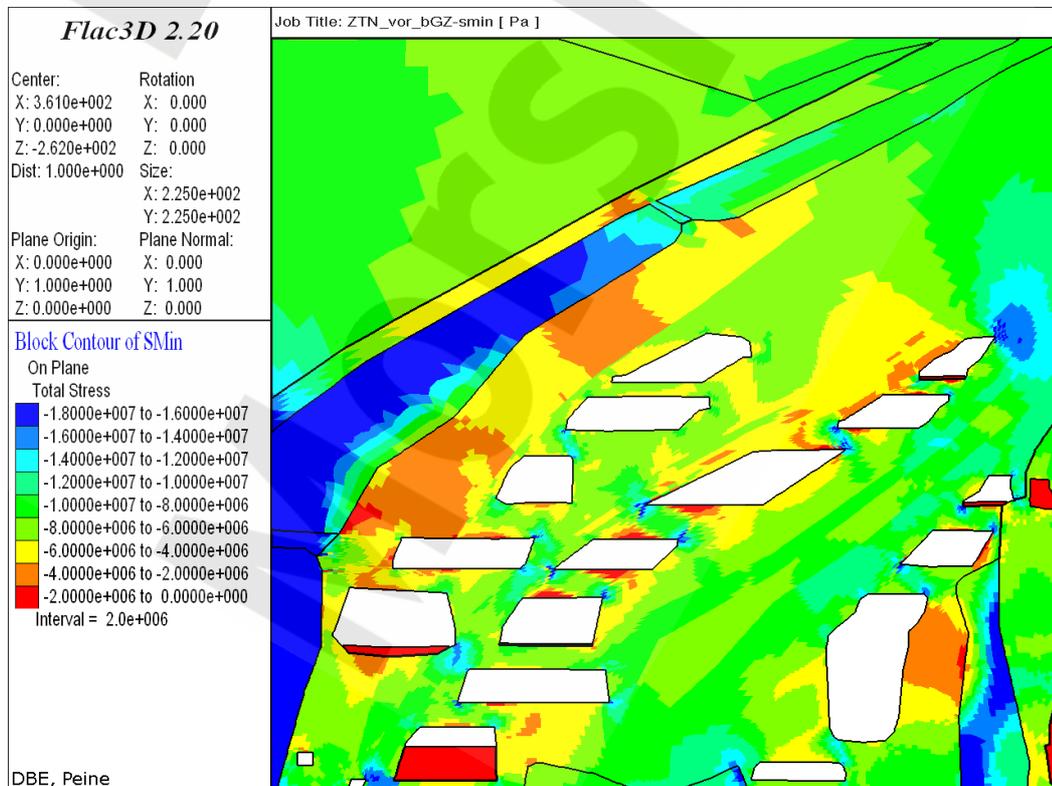
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 7: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006

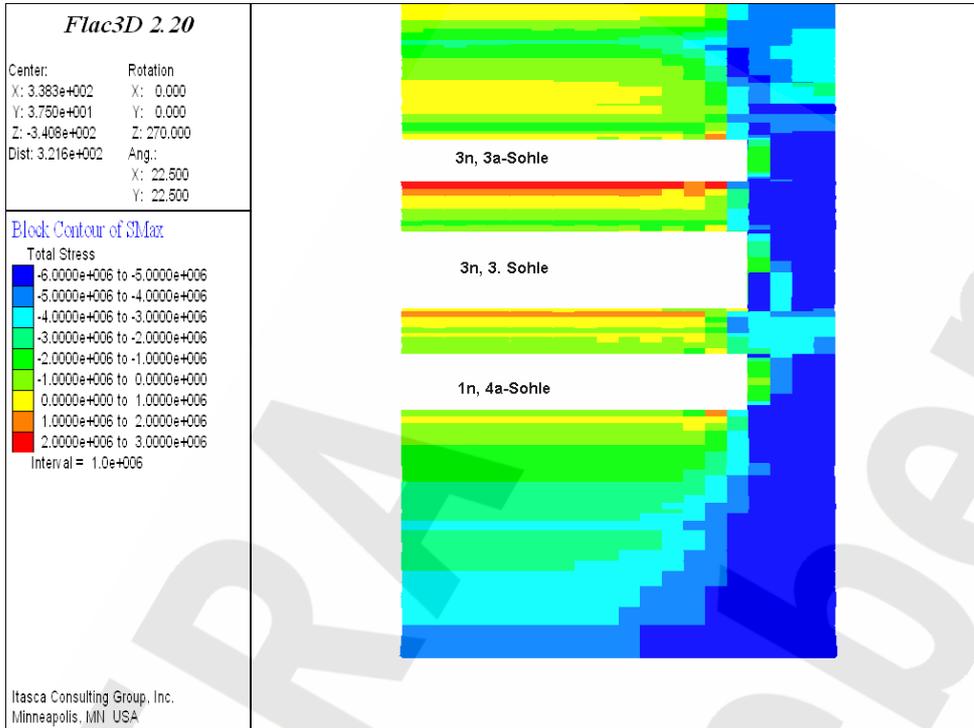


Anhang 8: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006

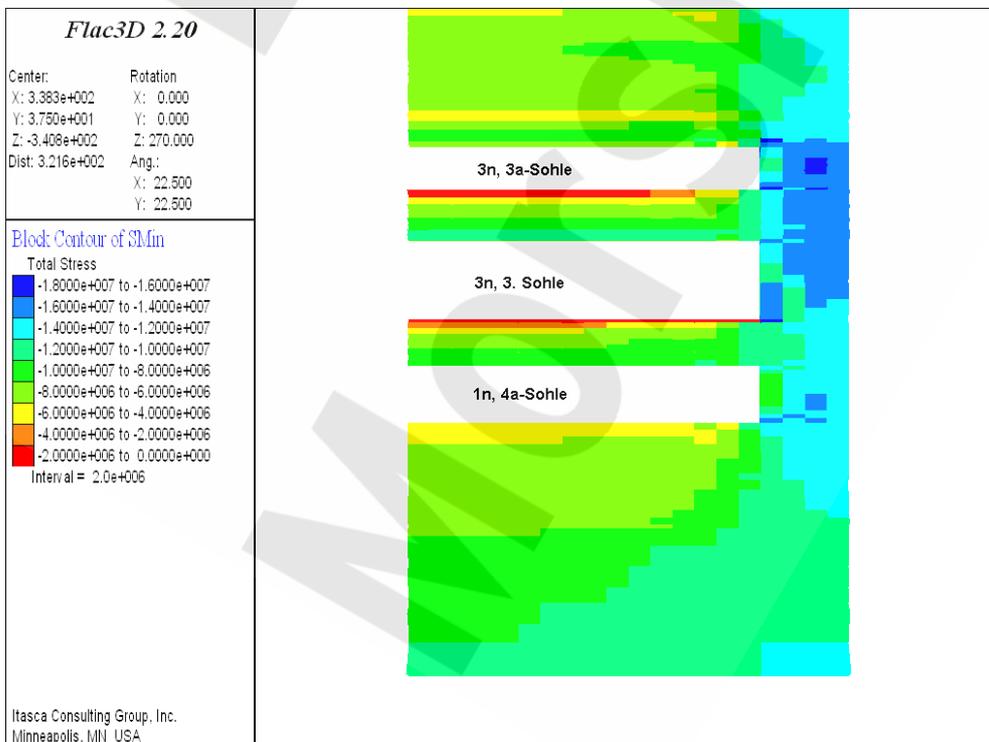
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A A N N	A A N N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 9: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006, Längsschnitt durch die Schweben über Abbau 3n, 3. Sohle

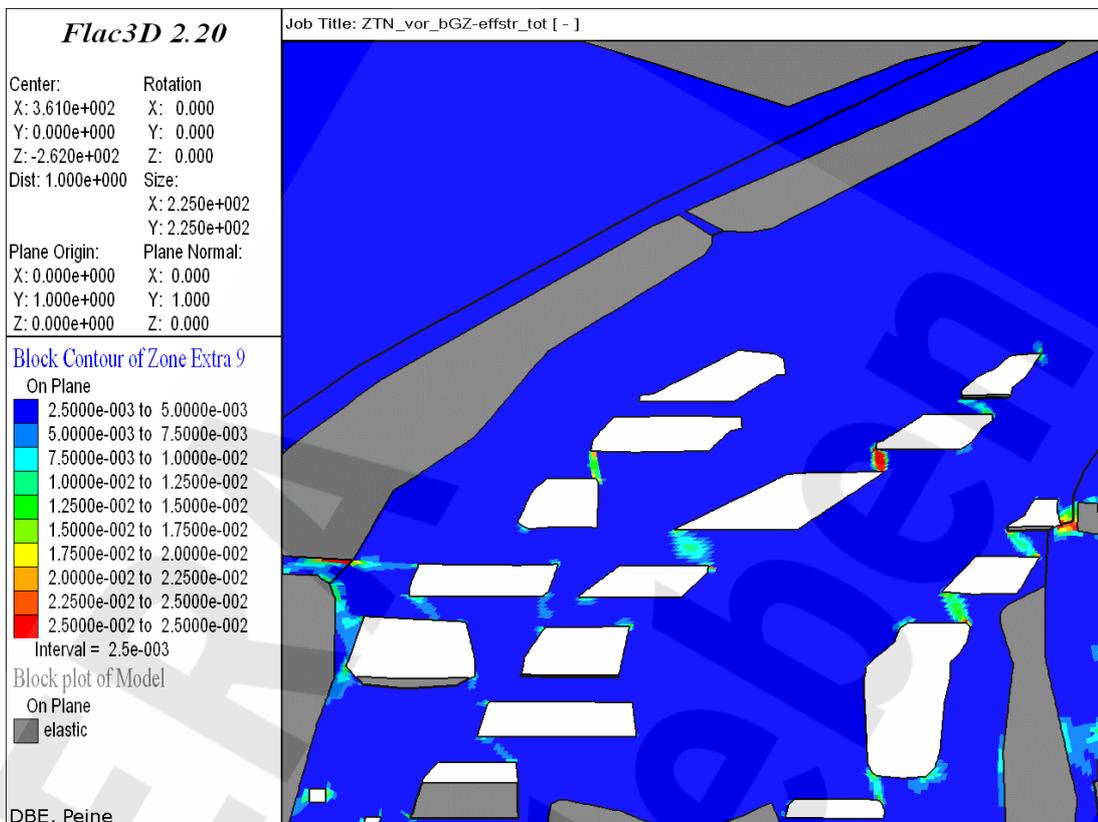


Anhang 10: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006, Längsschnitt durch die Schweben über Abbau 3n, 3. Sohle

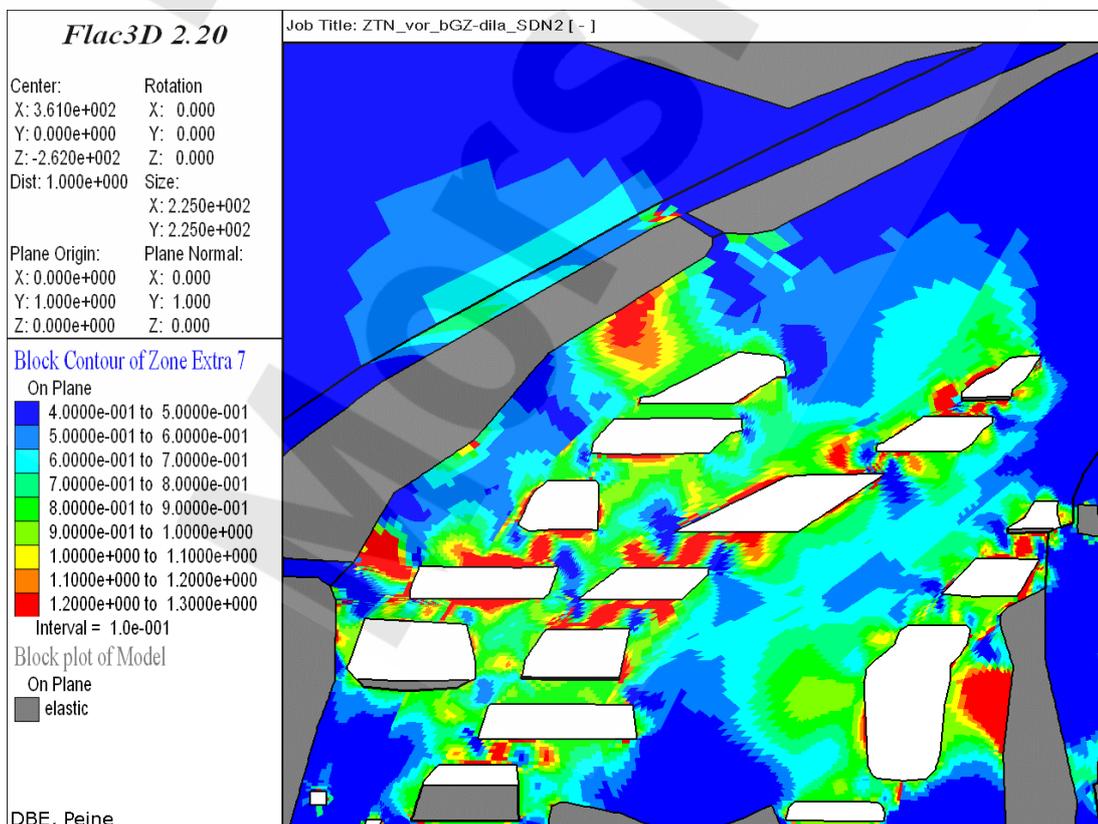
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

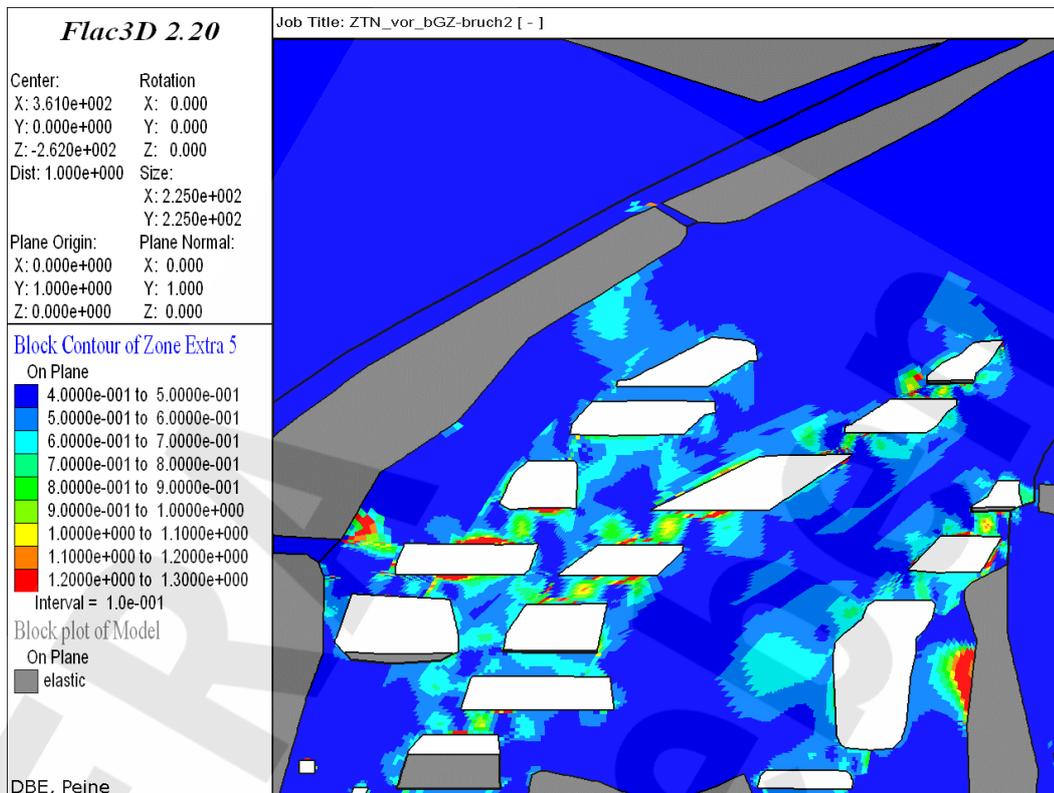


Anhang 11: Vergleichsdehnung [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006

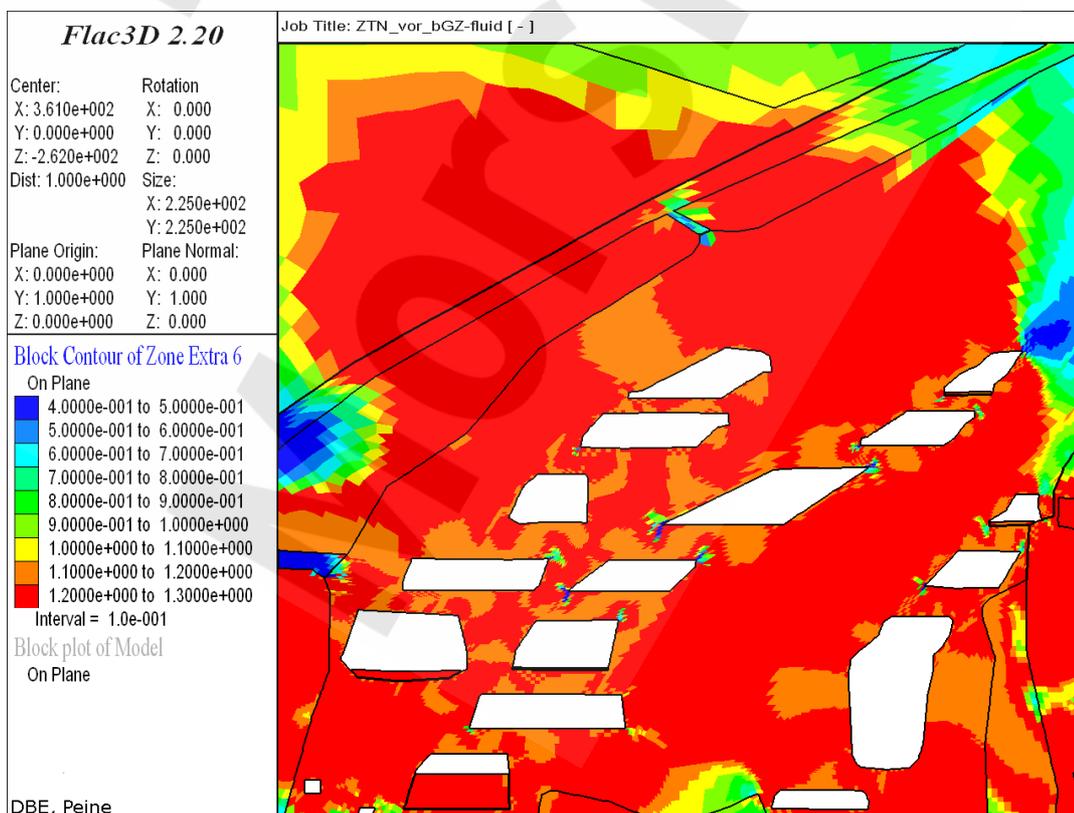


Anhang 12: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006

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	0010	01



Anhang 13: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006



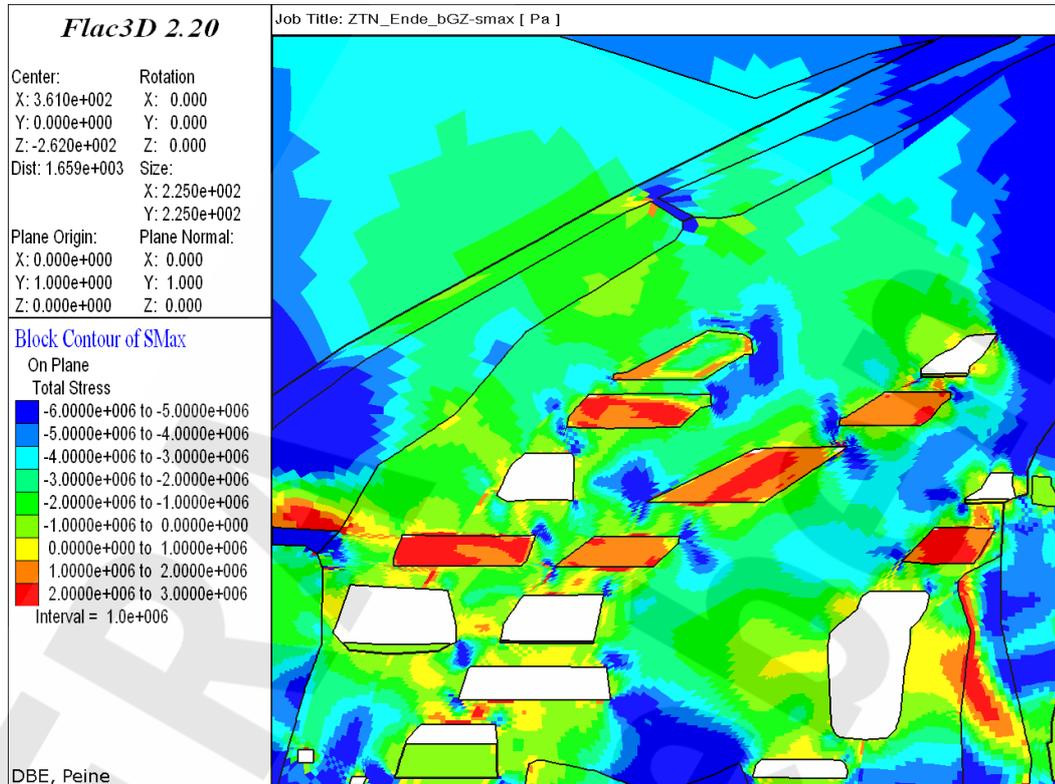
Anhang 14: Fluidkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 07/2006

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	0010	01

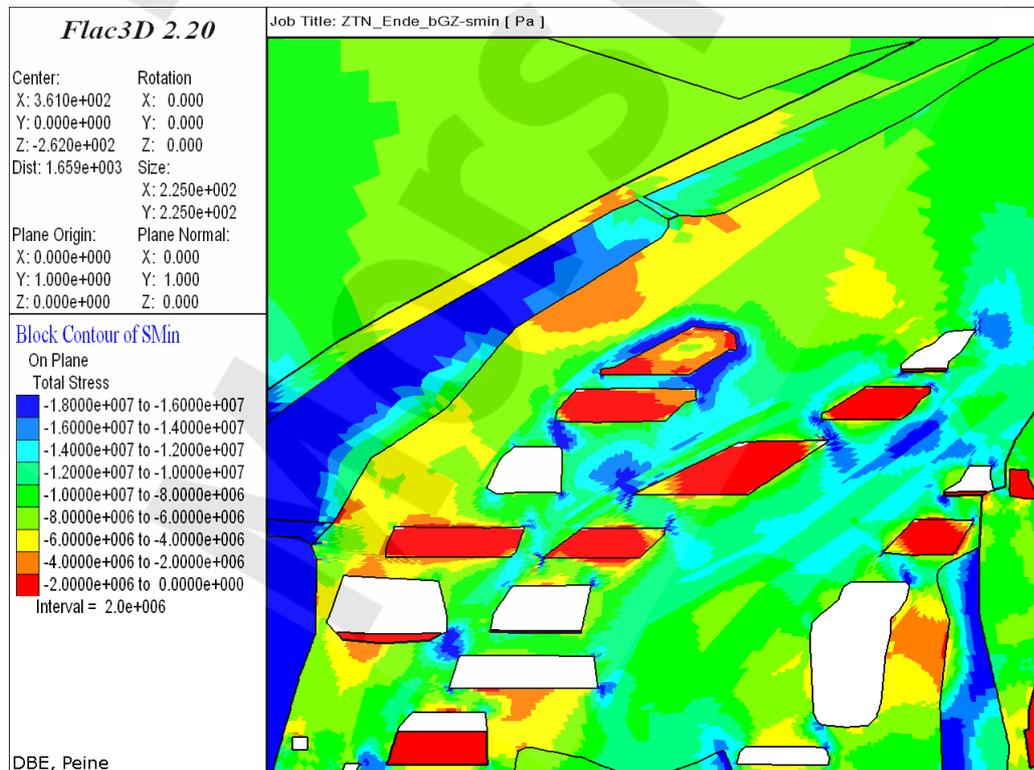


Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 62



Anhang 15: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ

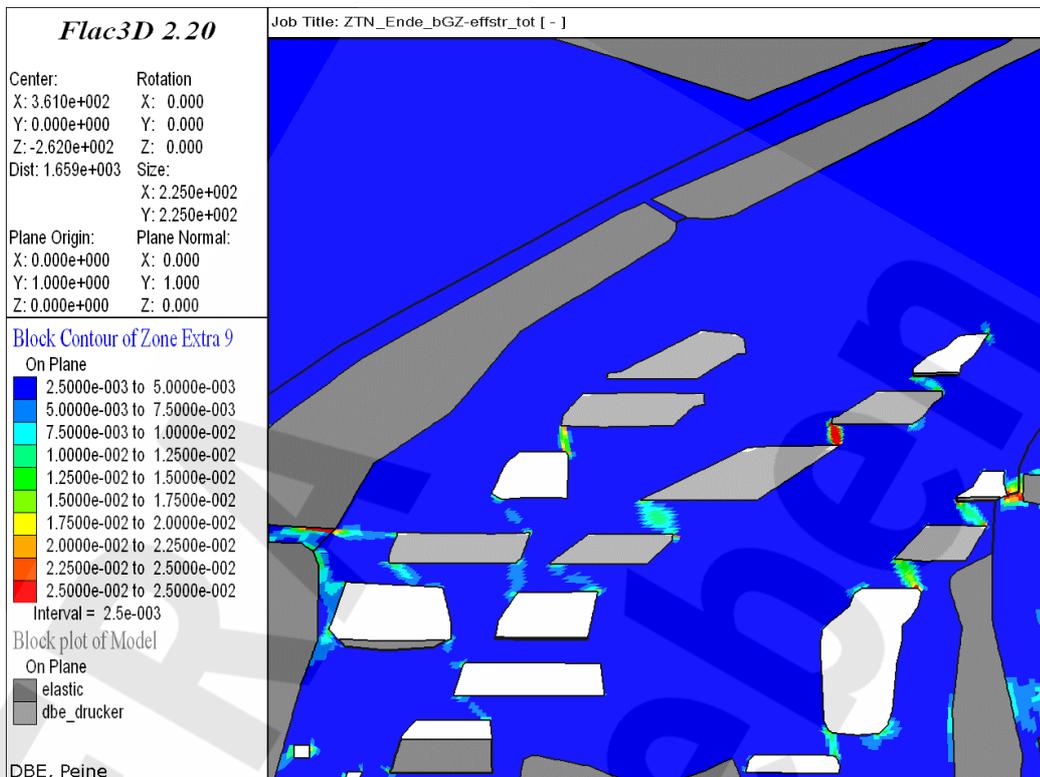


Anhang 16: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ

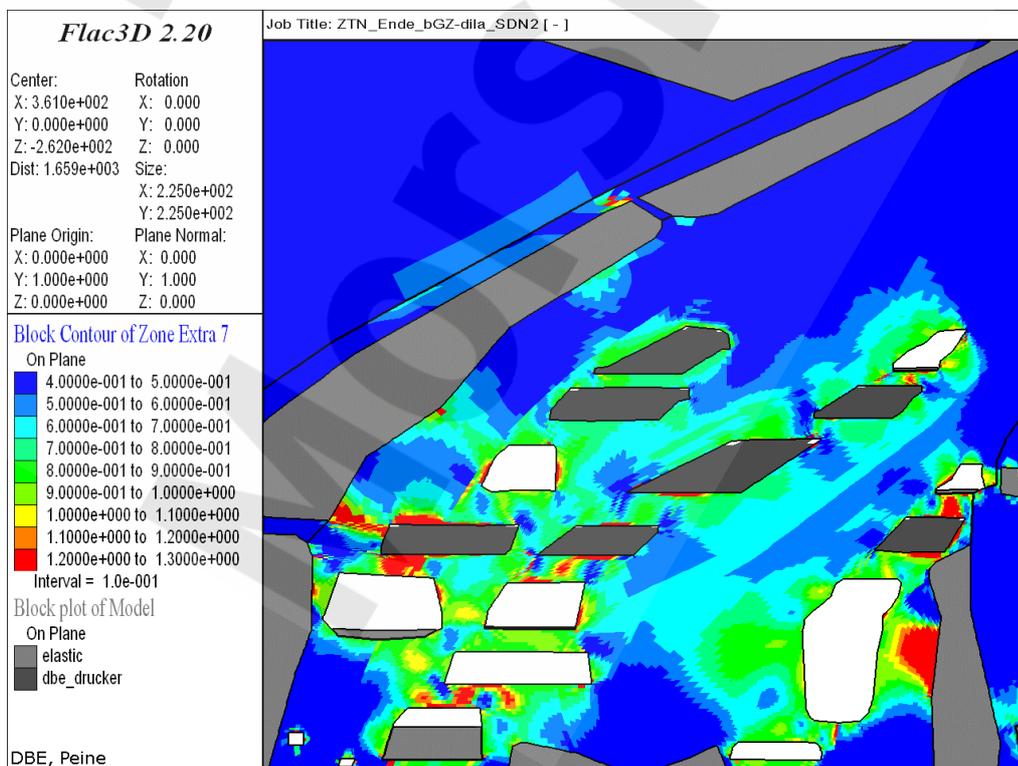
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 17: Vergleichsdehnung [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ

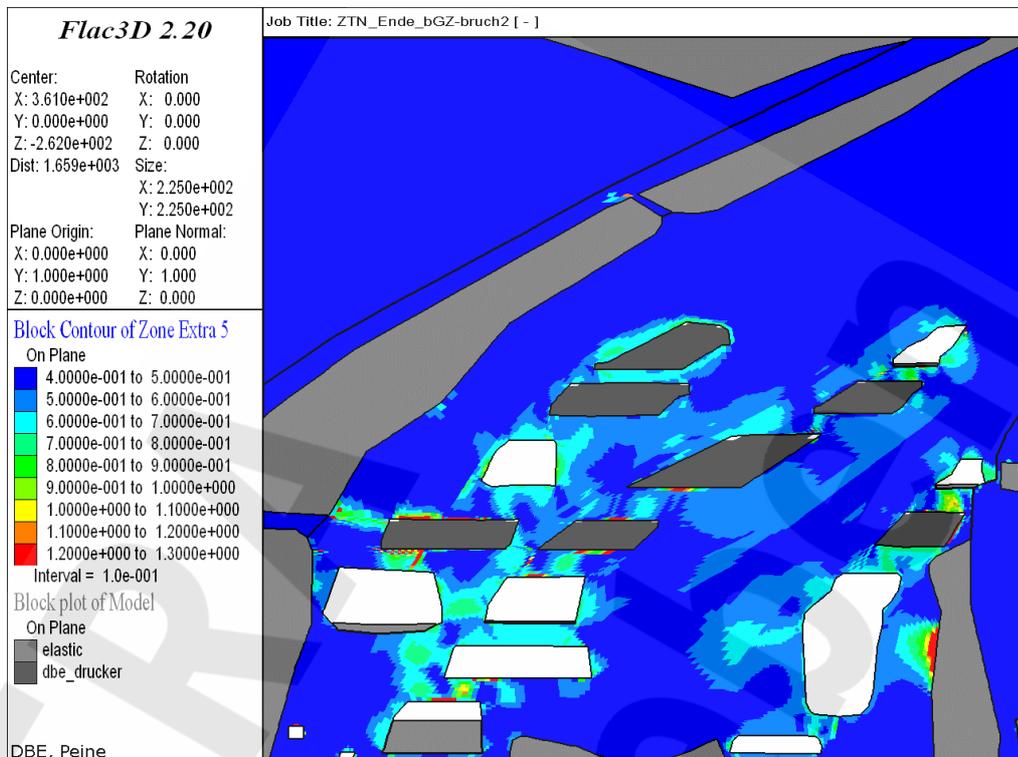


Anhang 18: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ

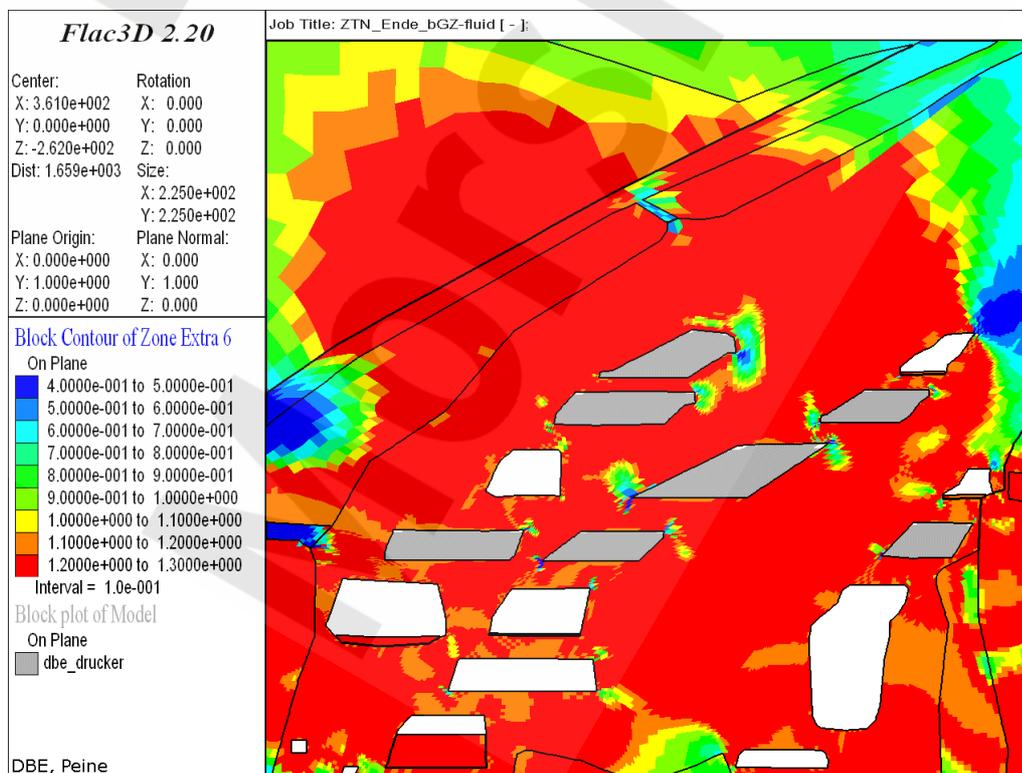
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 19: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ

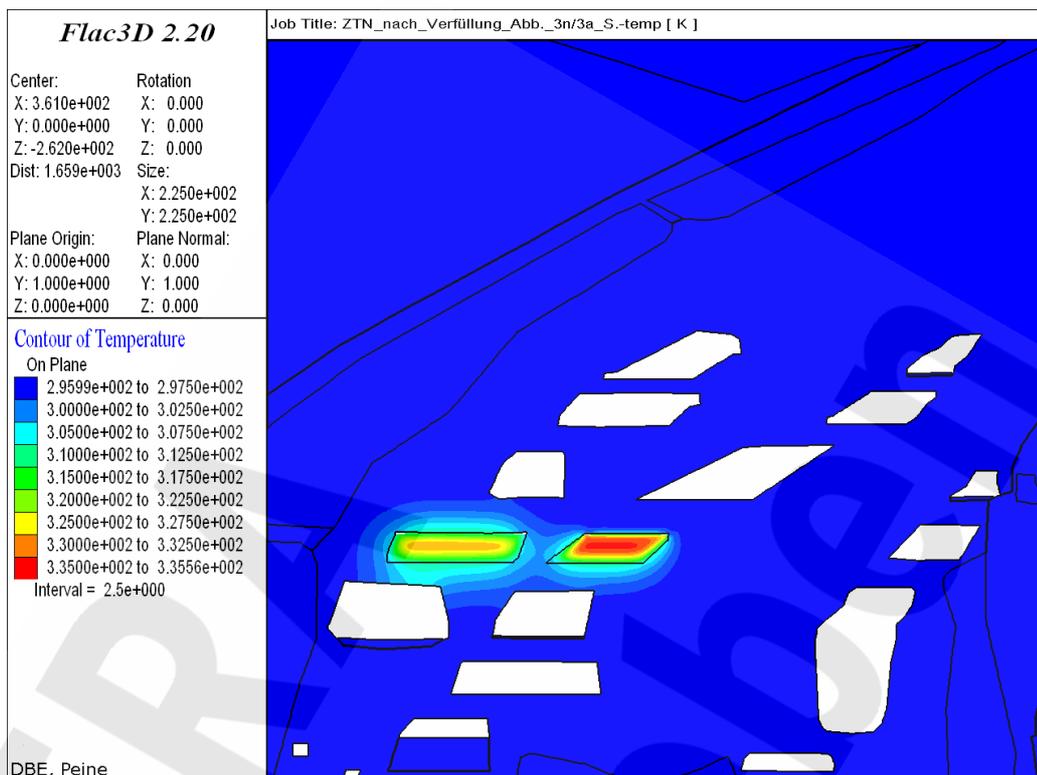


Anhang 20: Fluidkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ

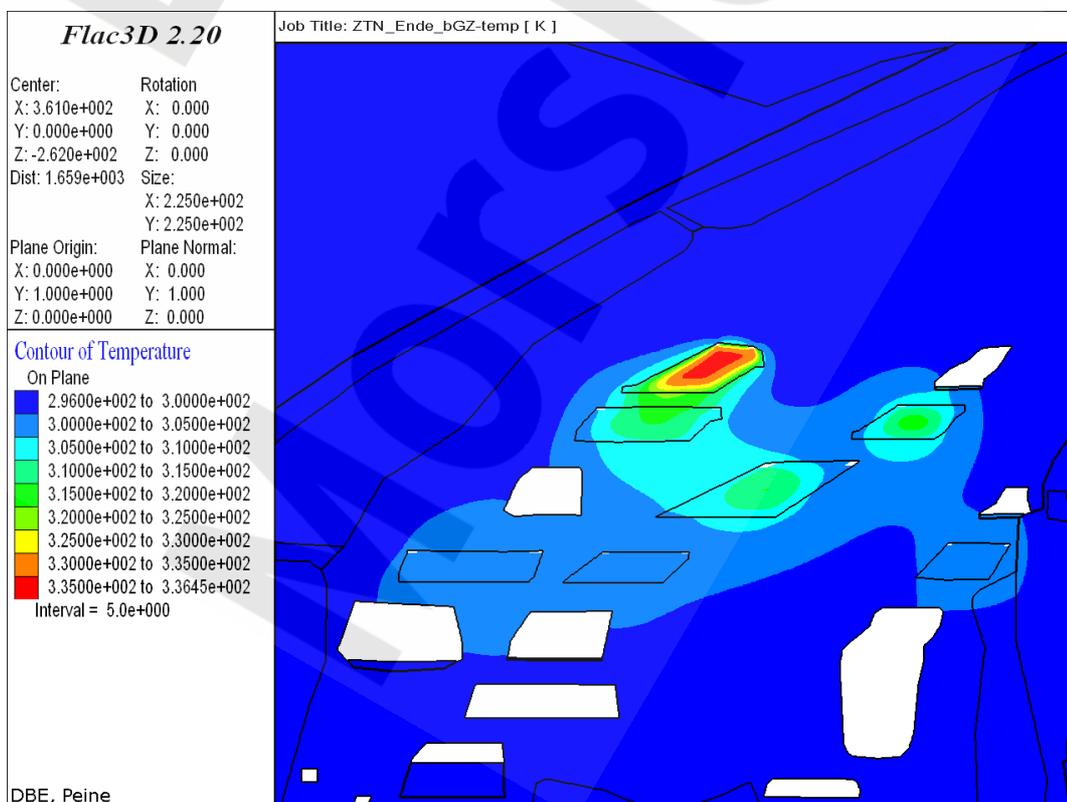
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 21: Temperatur [K], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 11/2006, nach Verfüllung des Abbaus 3n, 3a-Sohle

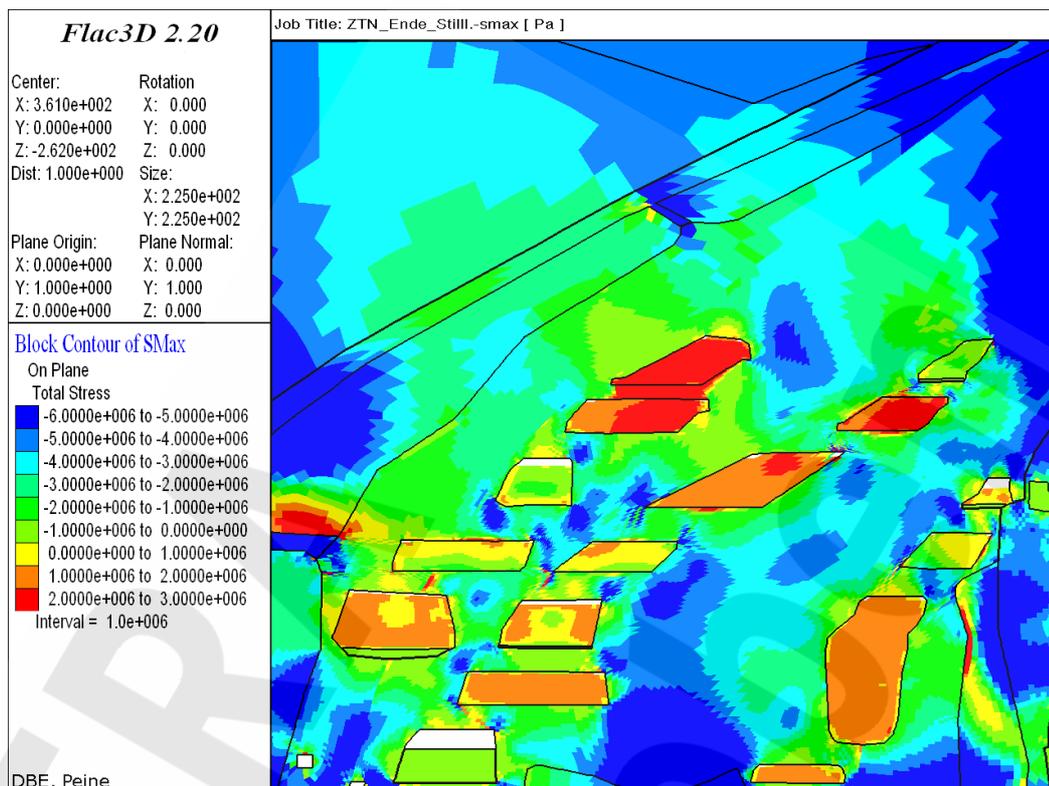


Anhang 22: Temperatur [K], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 04/2009, nach bGZ

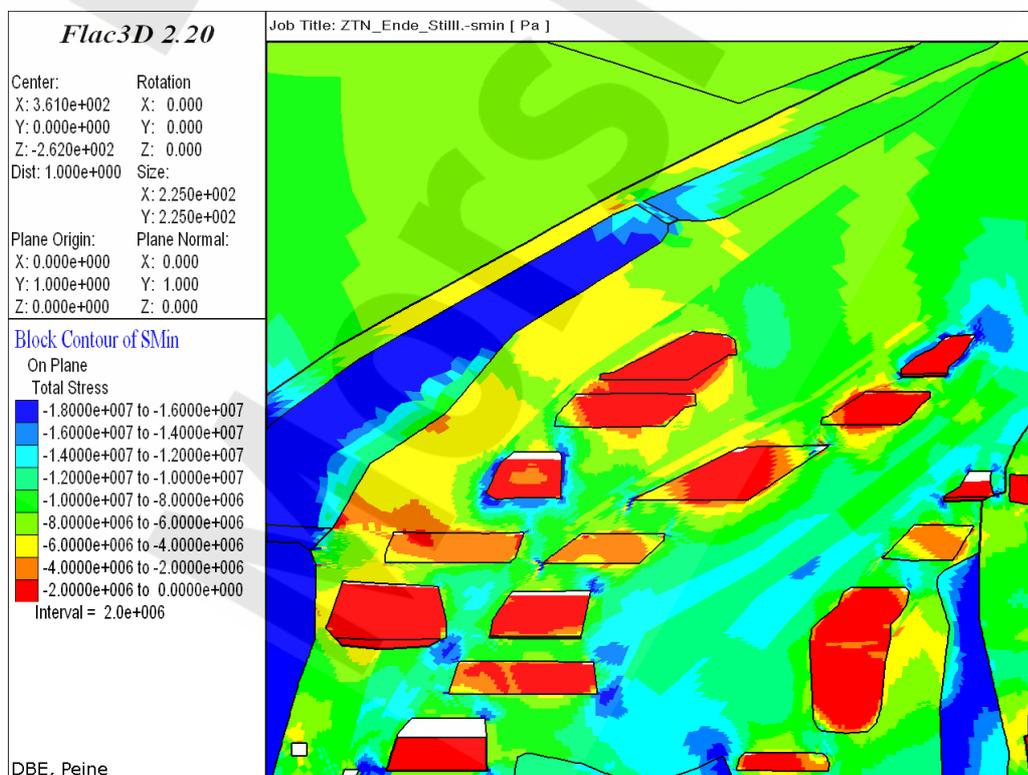
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 23: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1

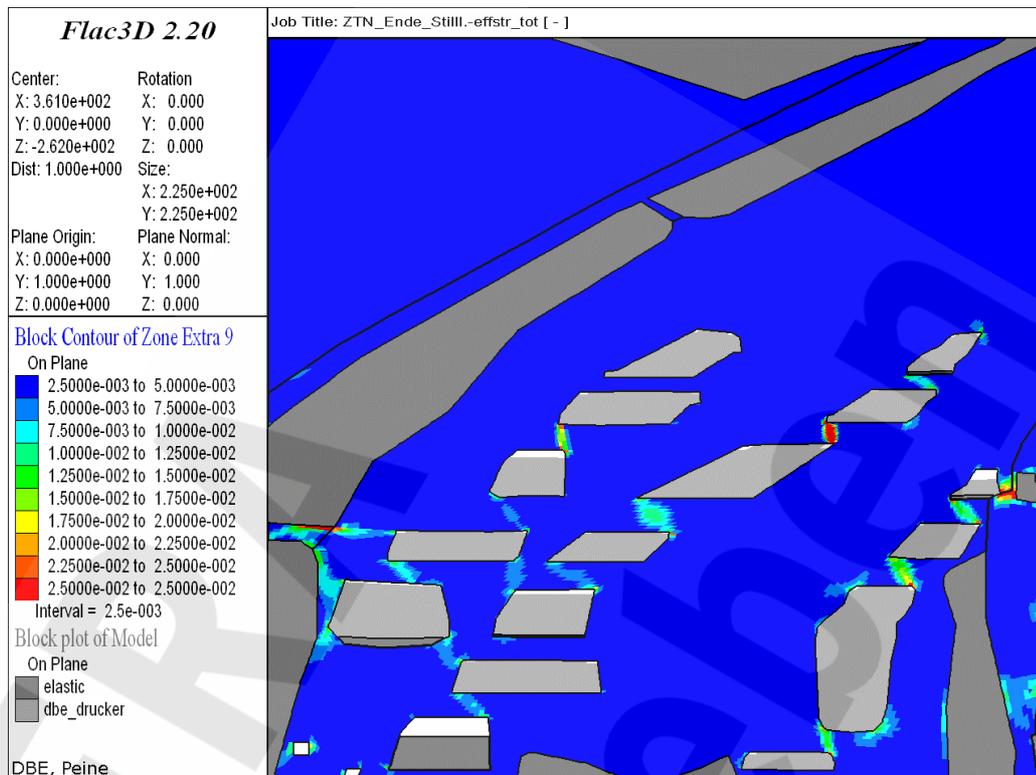


Anhang 24: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1

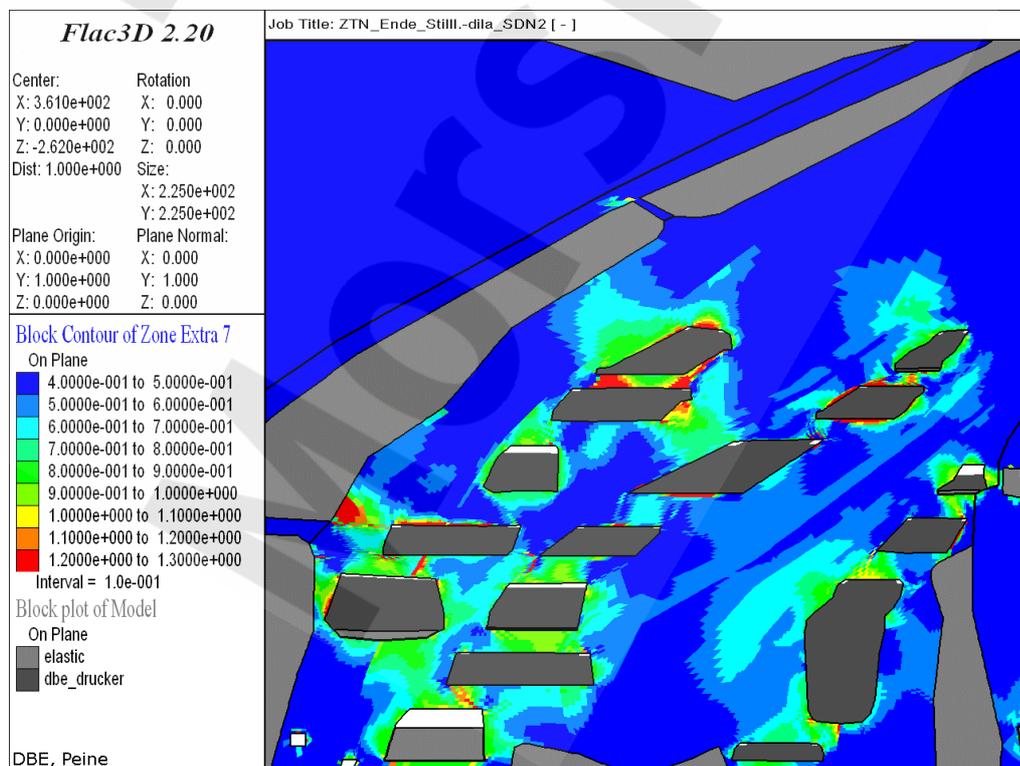
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 25: Vergleichsdehnung [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1

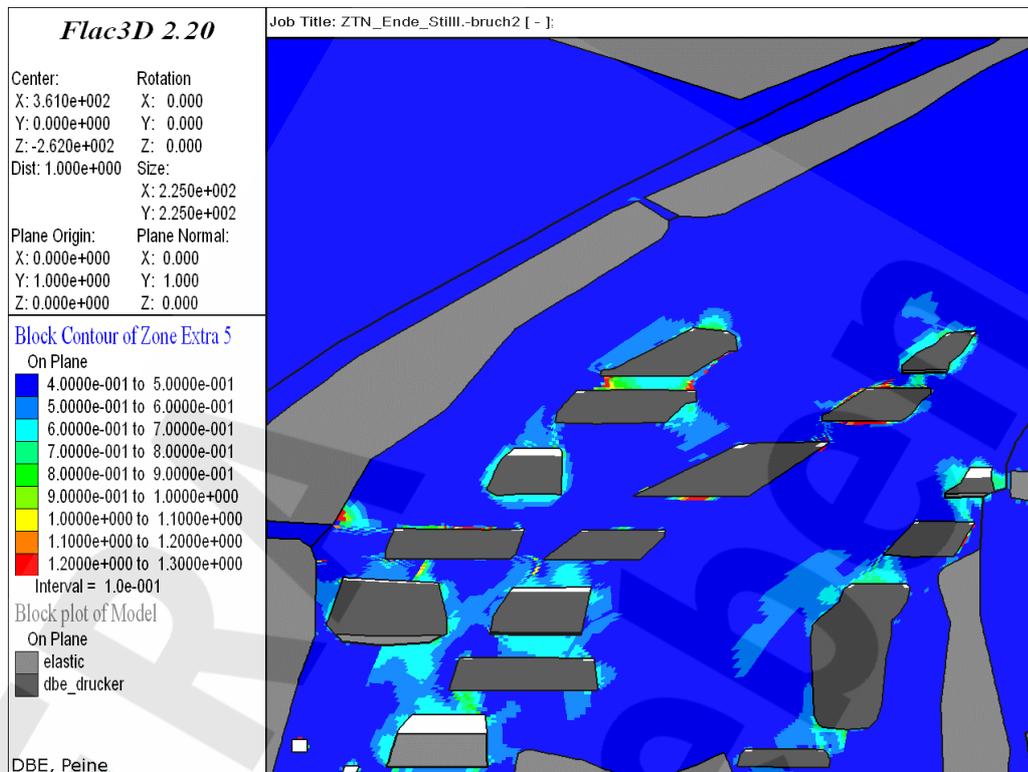


Anhang 26: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1

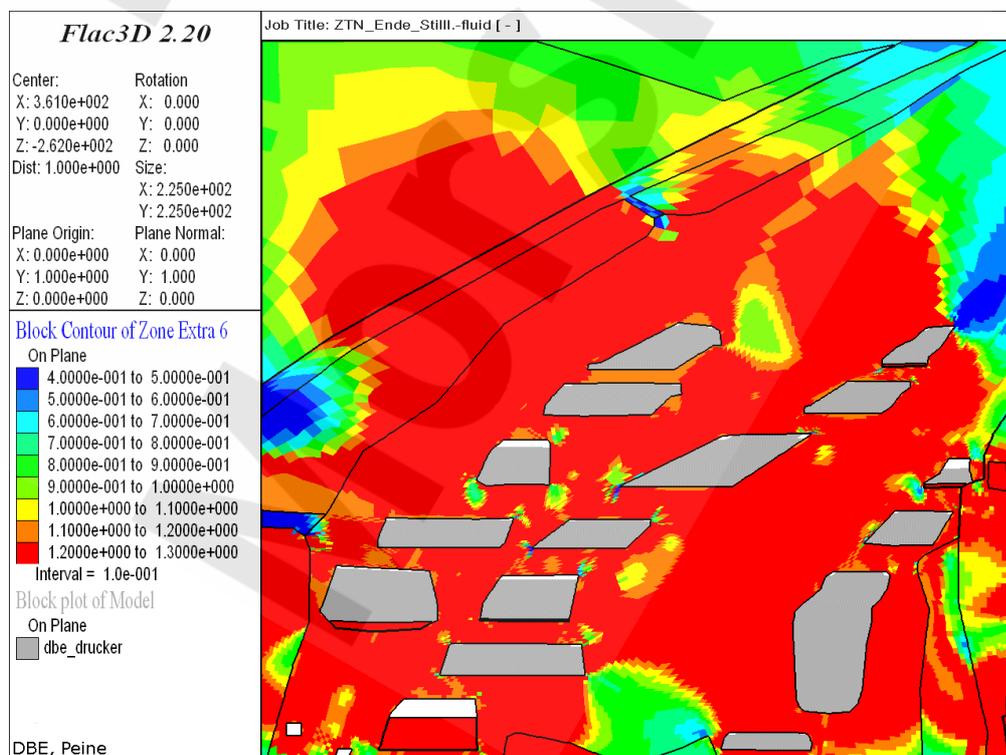
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A A N N	A A N N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 27: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1

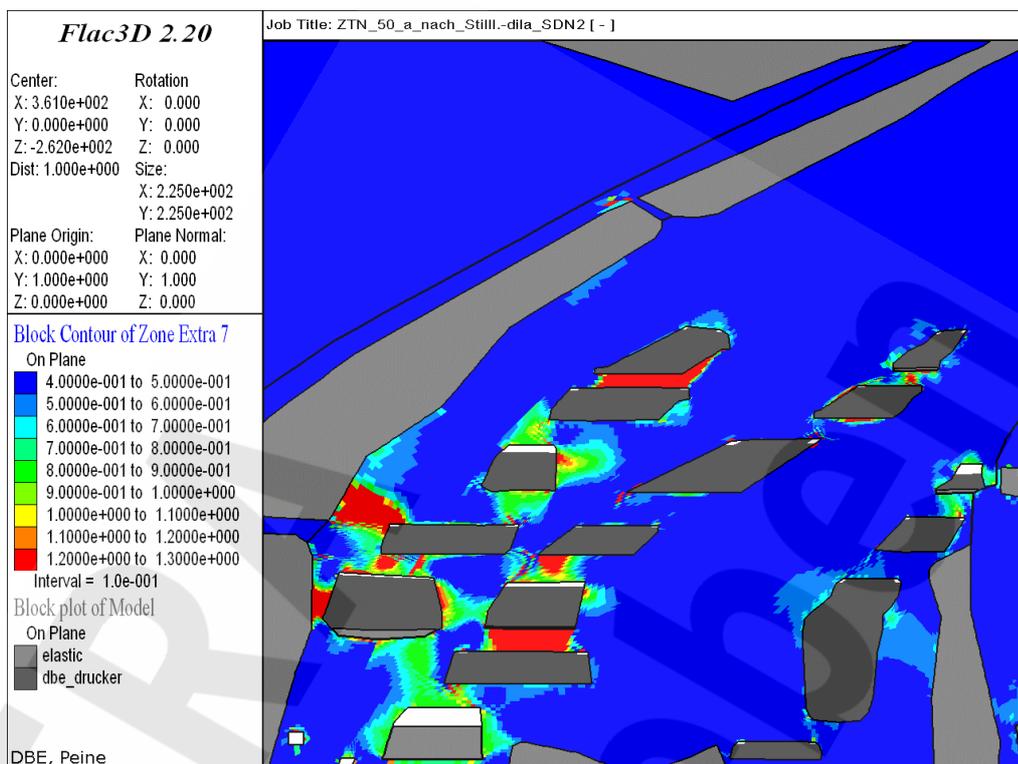


Anhang 28: Fluidkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1

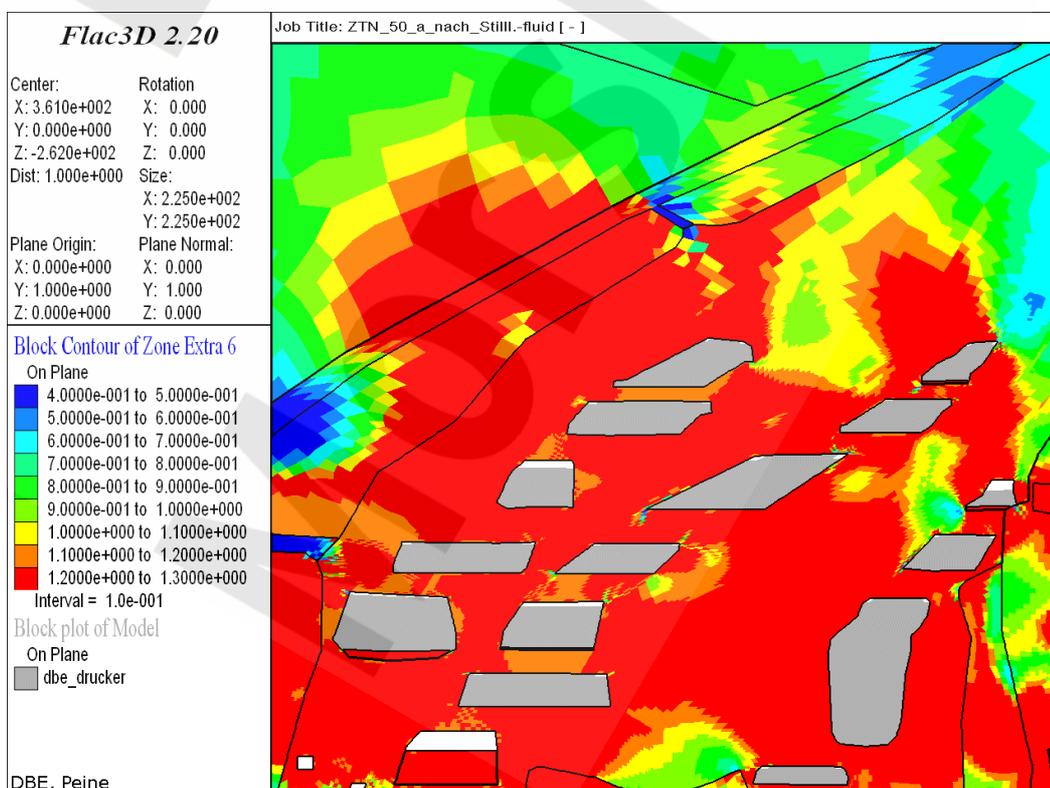
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 29: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1

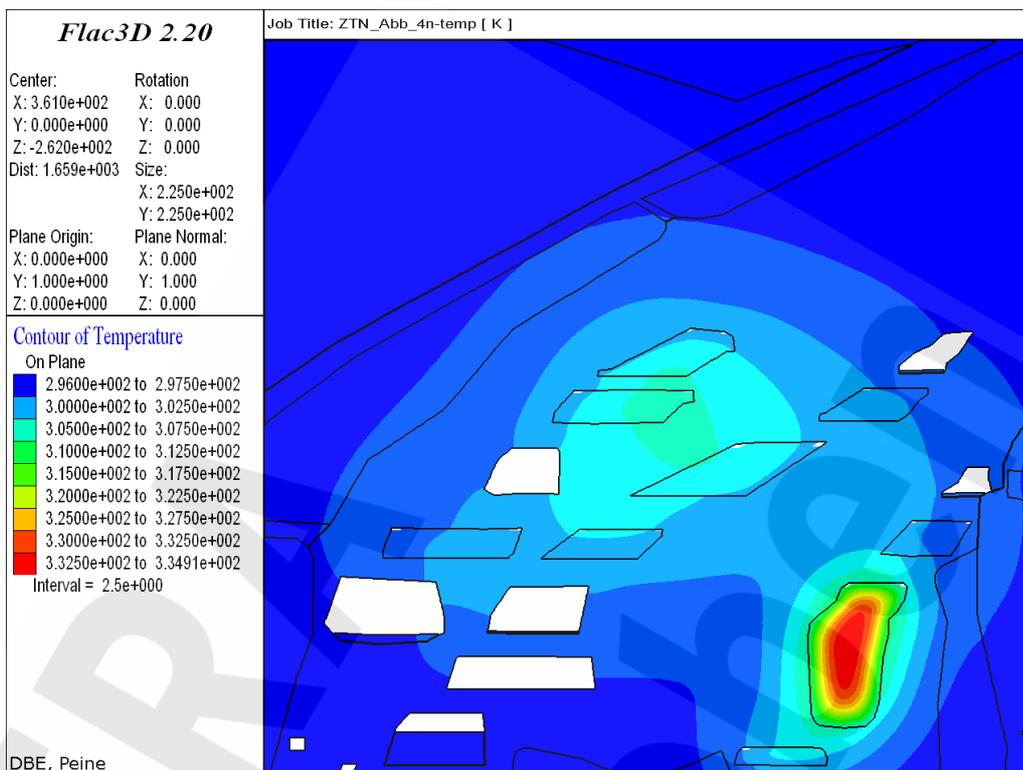


Anhang 30: Fluidkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1

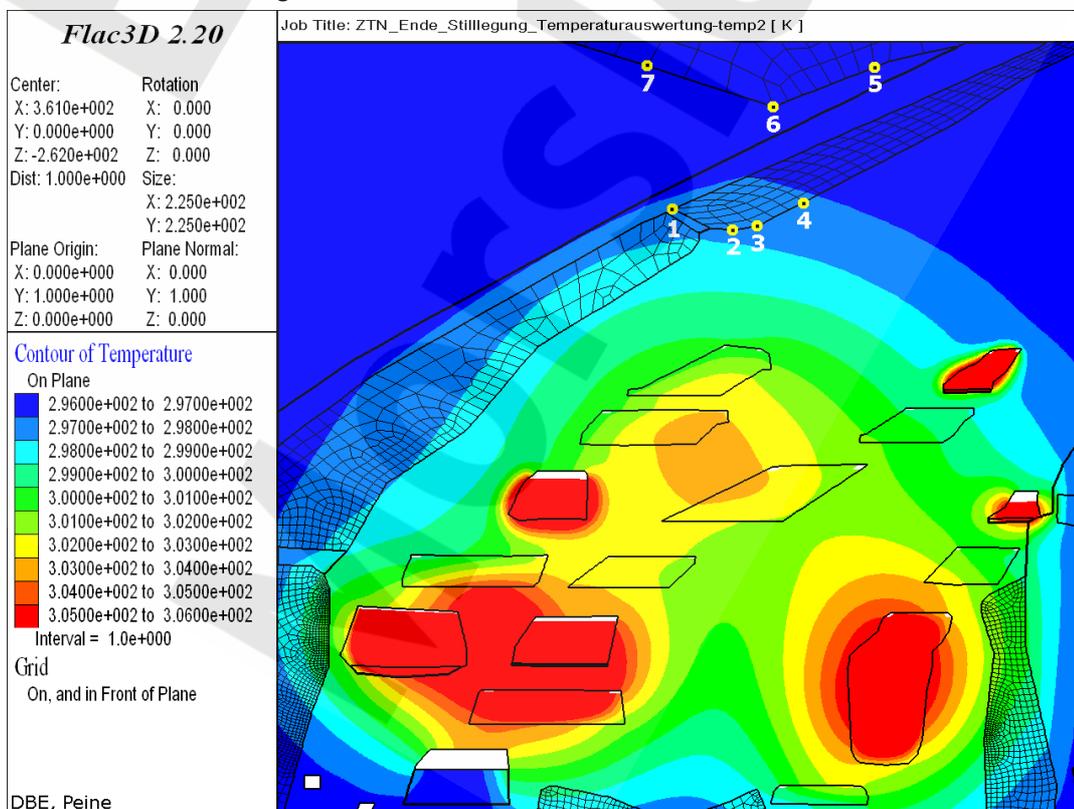
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 31: Temperatur [K], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2013, nach Verfüllung des Abbaus 4n, 3./4a-Sohle



Anhang 32: Temperatur [K], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung und Auswertepunkte am Salzspiegel und an der obersten Anhydritscholle

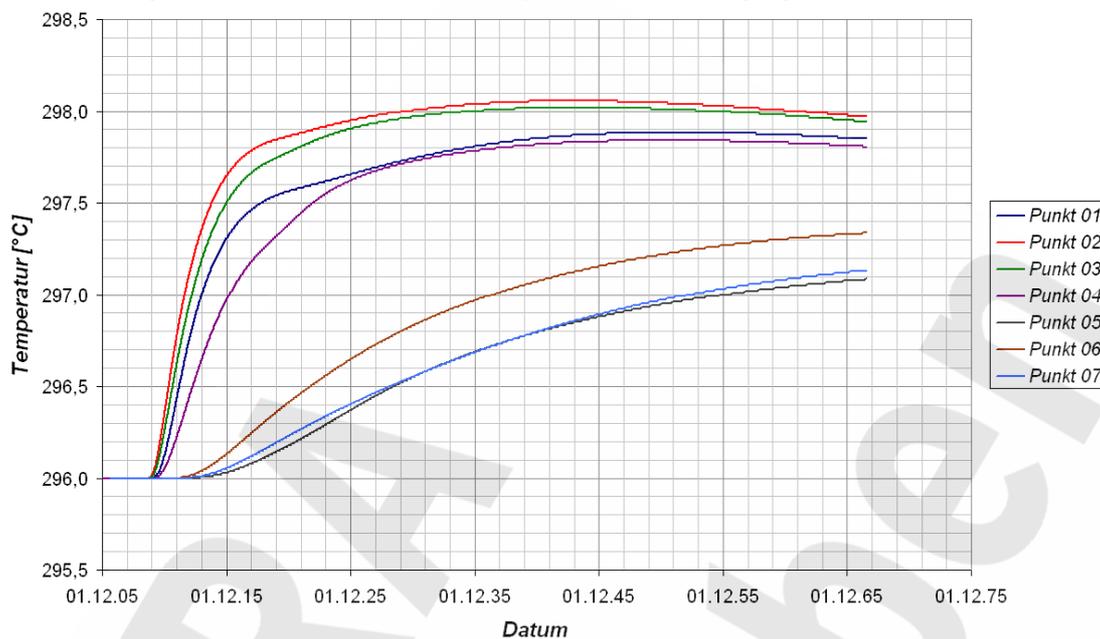
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



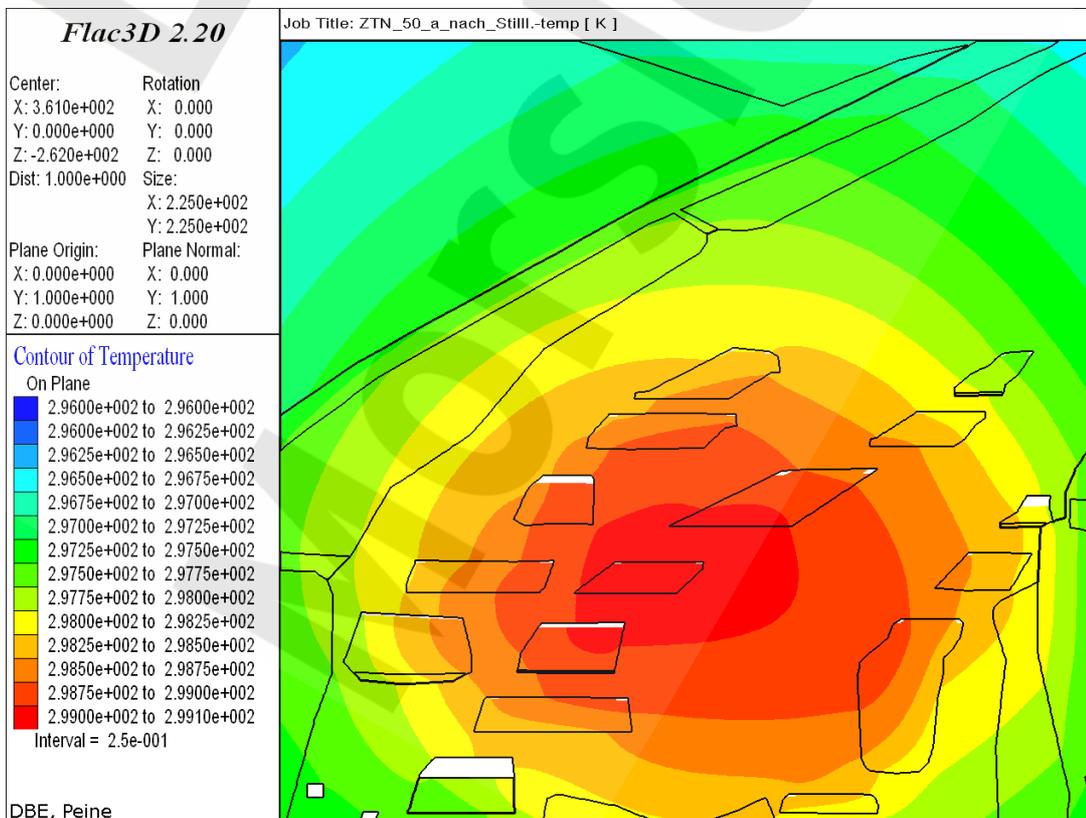
Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 71

Temperaturverläufe am oberen Anhydrit und am Salzspiegel

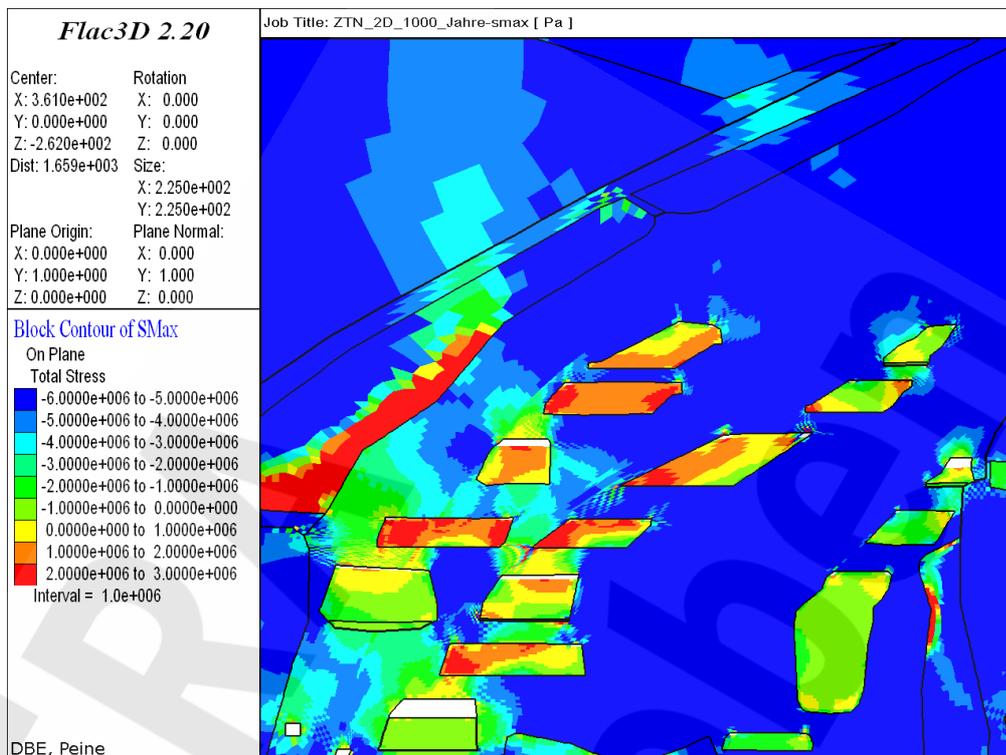


Anhang 33: Temperaturverlauf [K], Modell ZTN-3.1, Auswertung an der obersten Anhydritscholle und am Salzspiegel

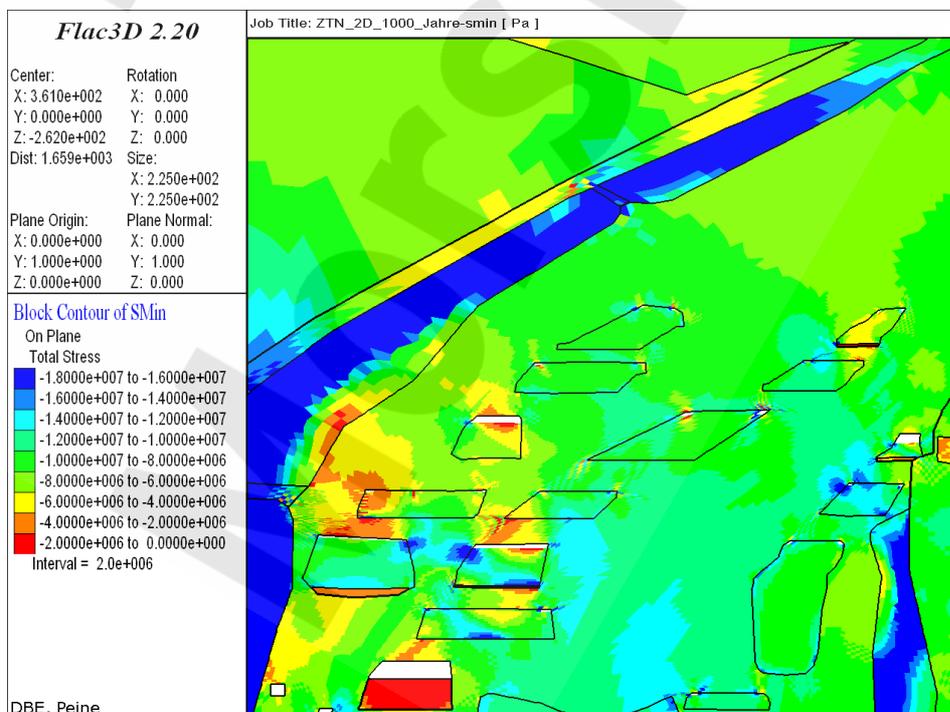


Anhang 34: Temperatur [K], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung

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	0010	01



Anhang 35: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1 (2D-Modell)

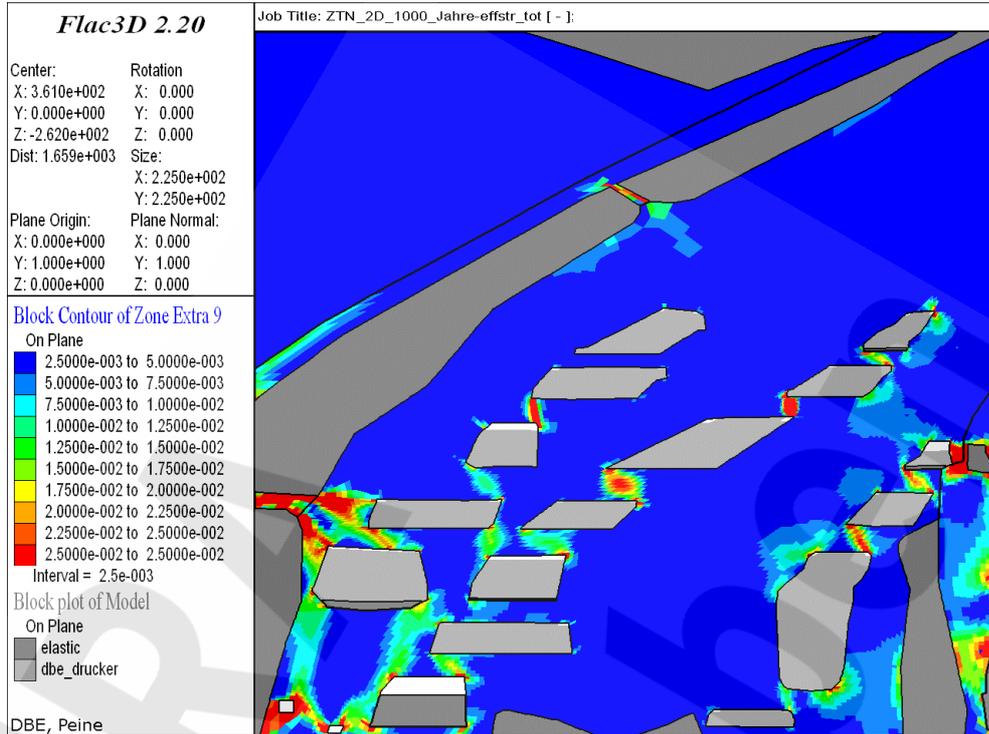


Anhang 36: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1 (2D-Modell)

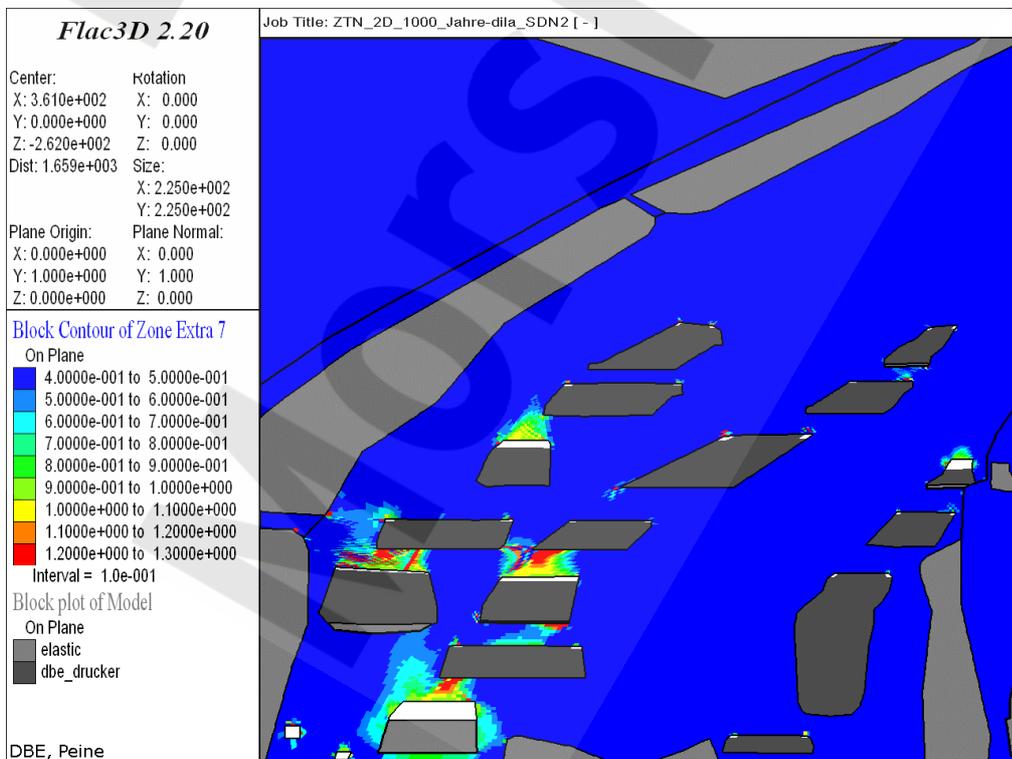
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 37: Vergleichsdehnung [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1 (2D-Modell)

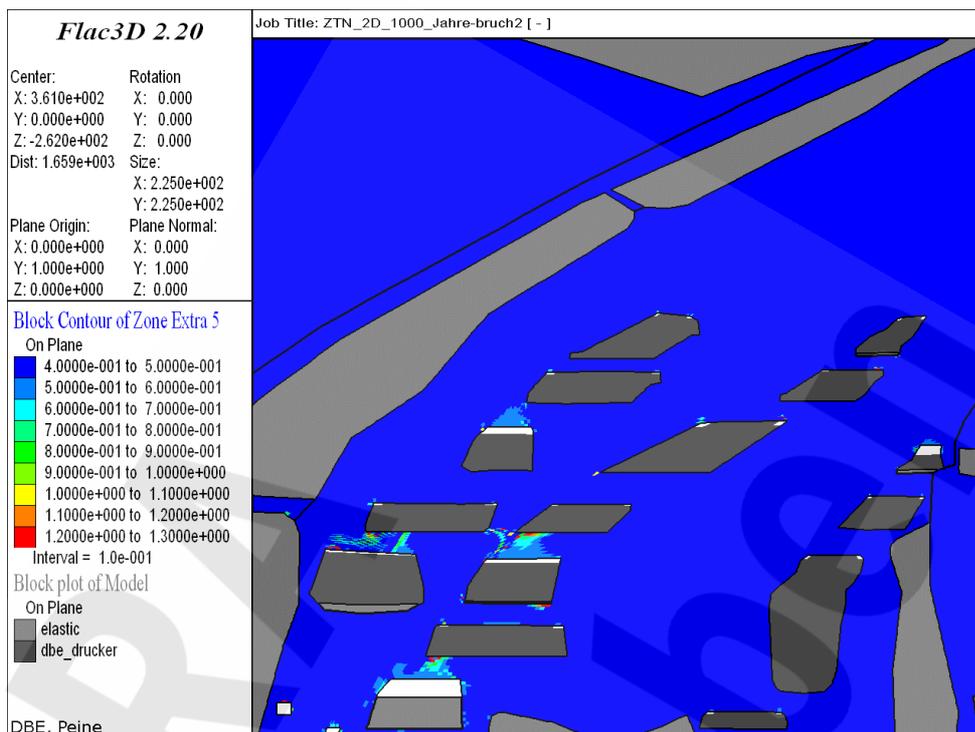


Anhang 38: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1 (2D-Modell)

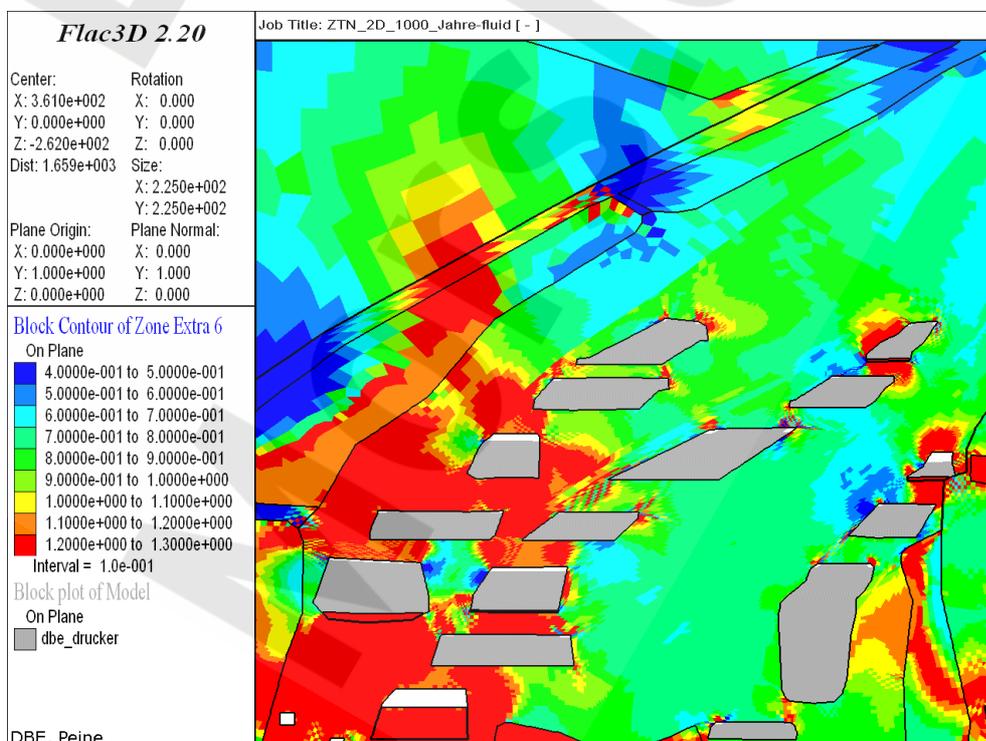
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 39: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1 (2D-Modell)

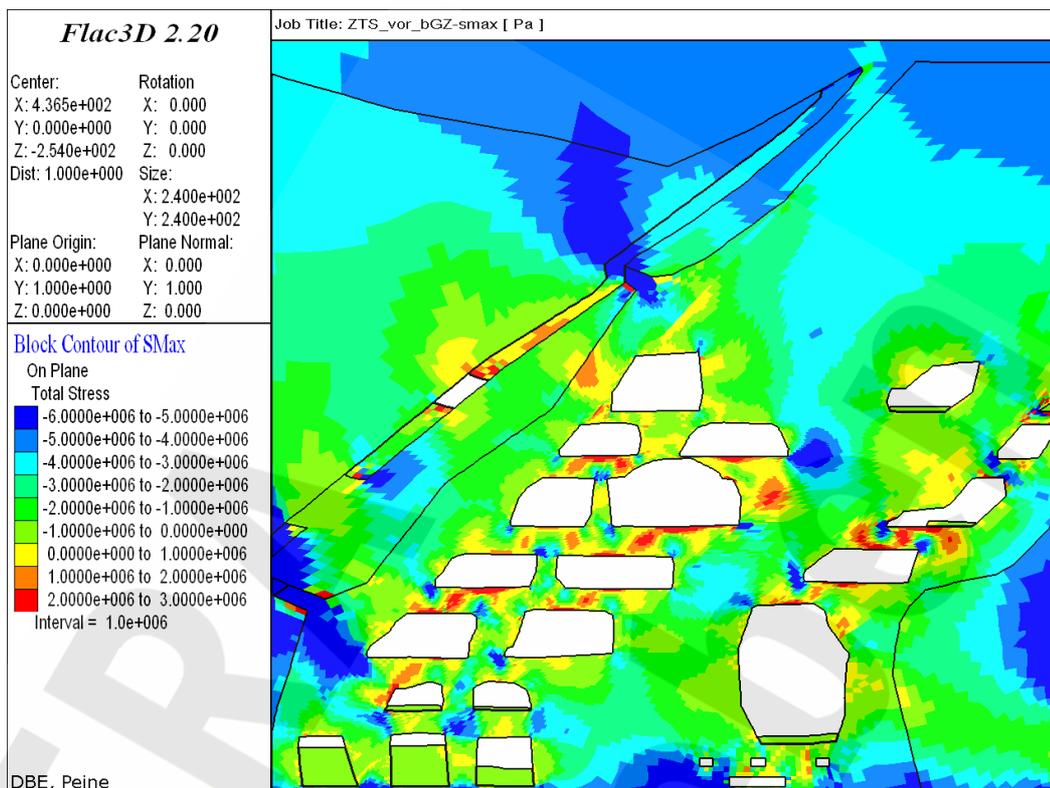


Anhang 40: Fluidkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTN-3.1 (2D-Modell)

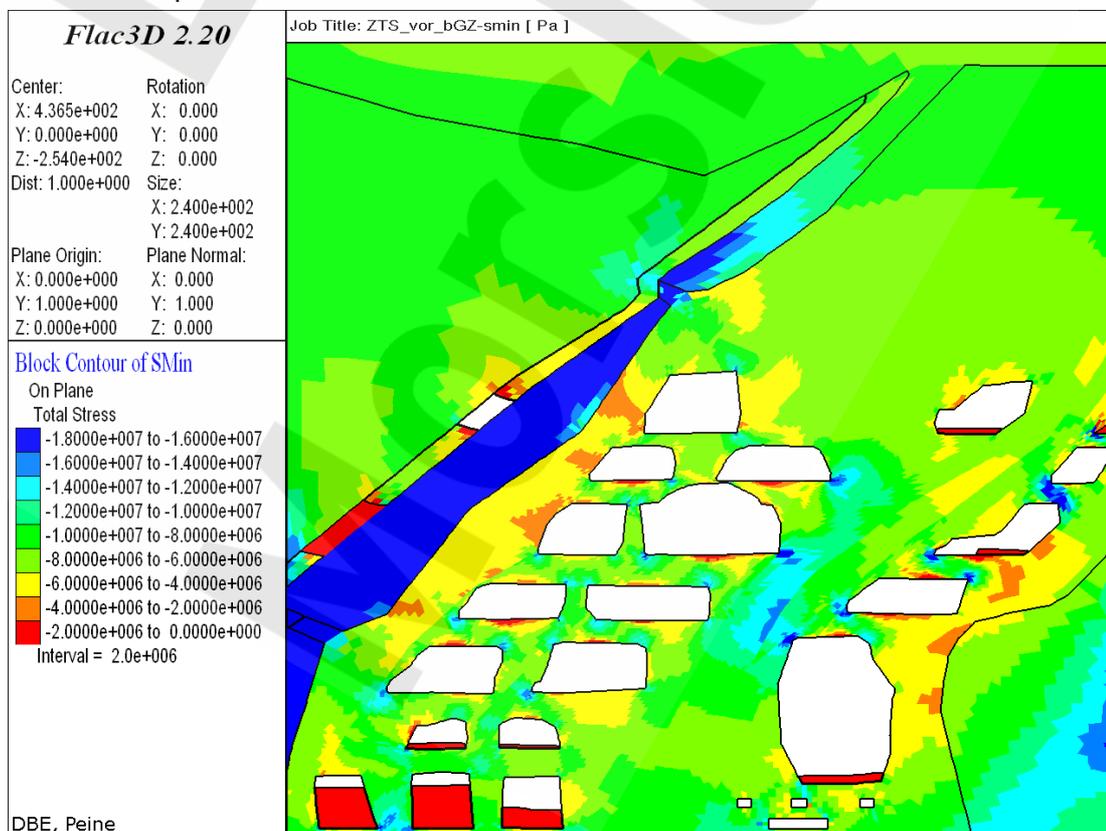
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 41: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005

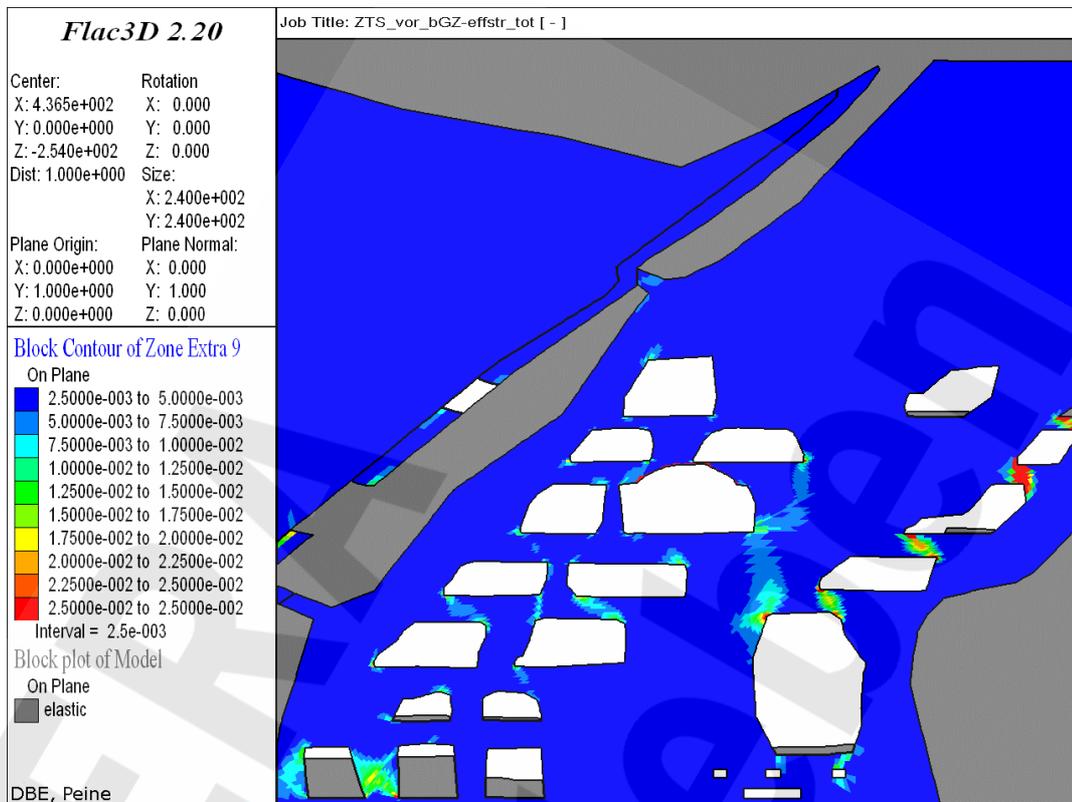


Anhang 42: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005

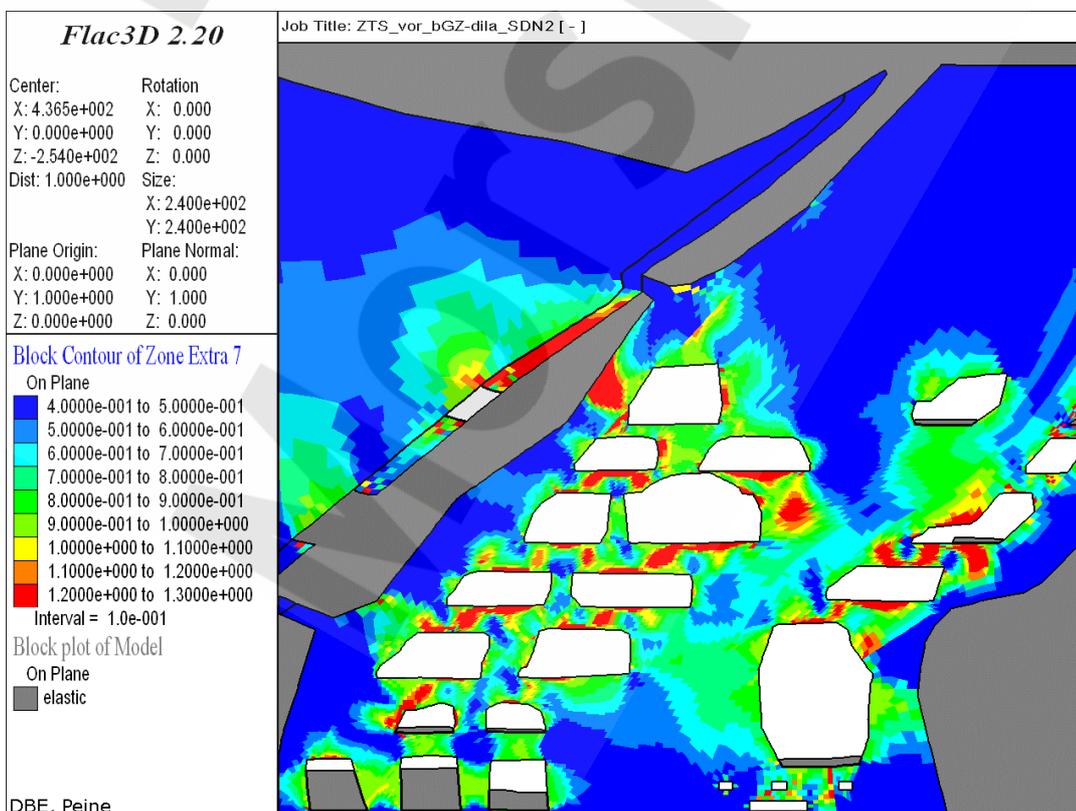
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 43: Vergleichsdehnung [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005

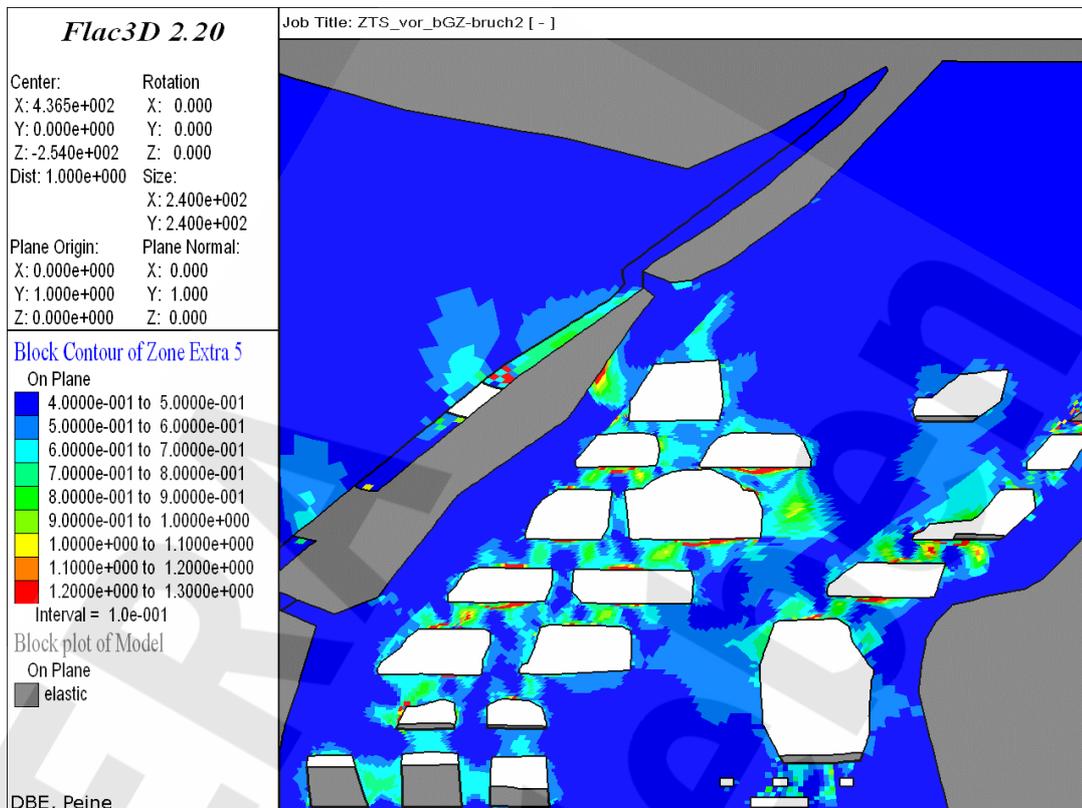


Anhang 44: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005

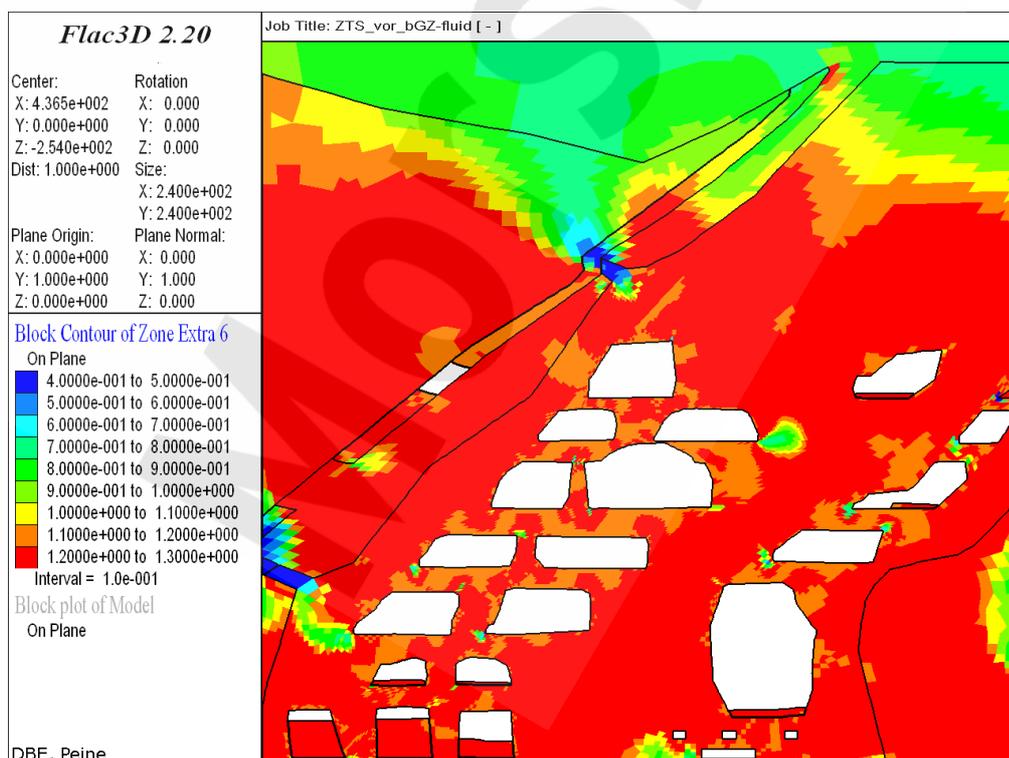
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

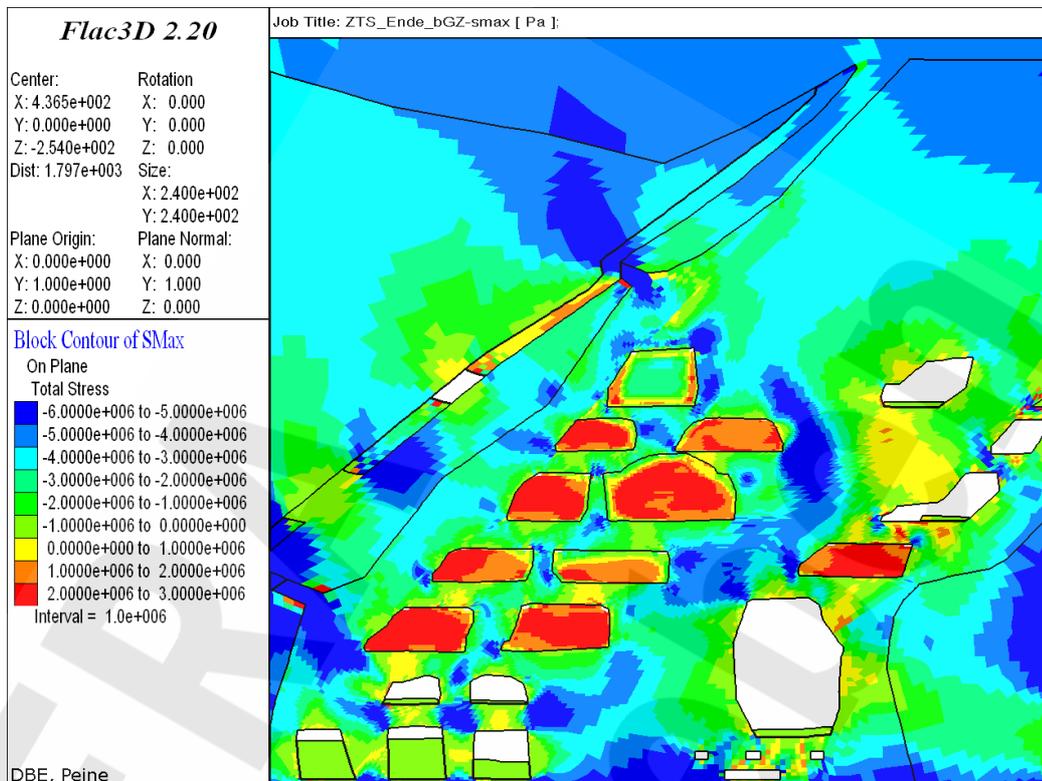


Anhang 45: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005

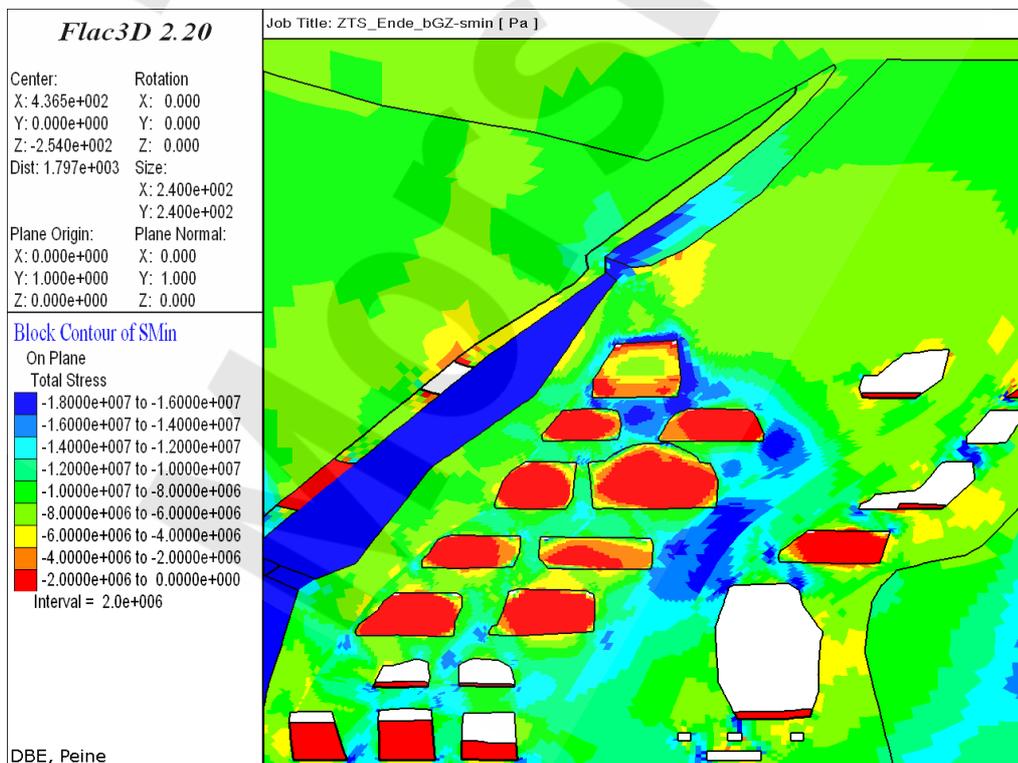


Anhang 46: Fluidkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005

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
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Anhang 47: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ

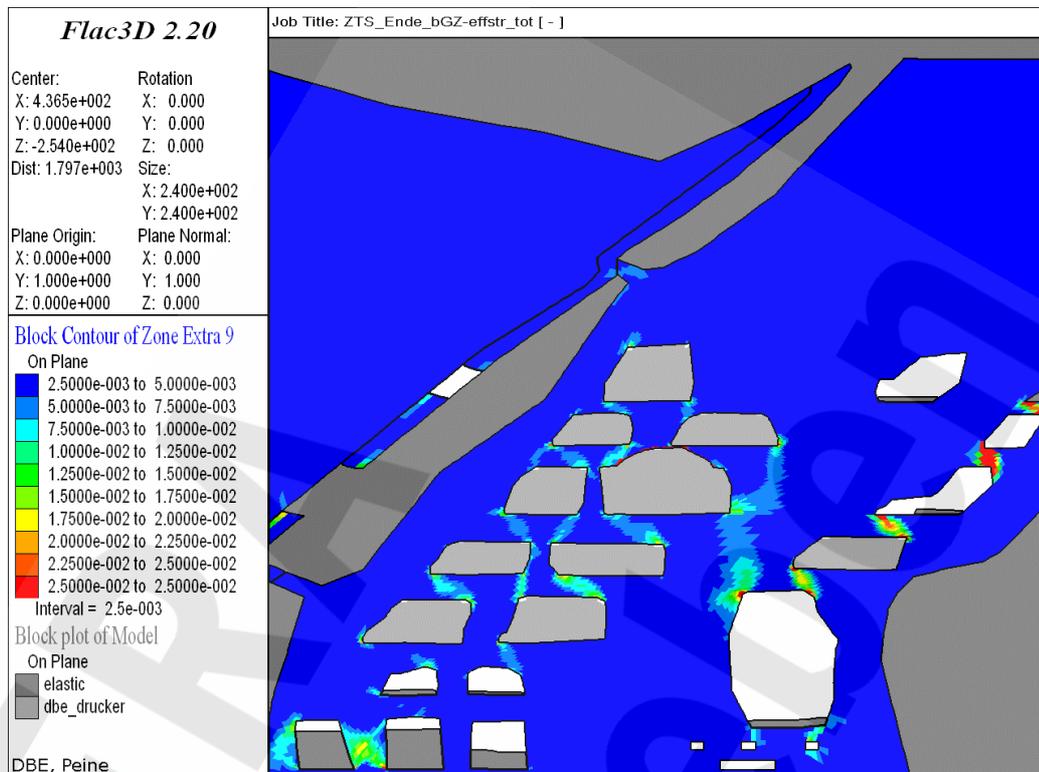


Anhang 48: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ

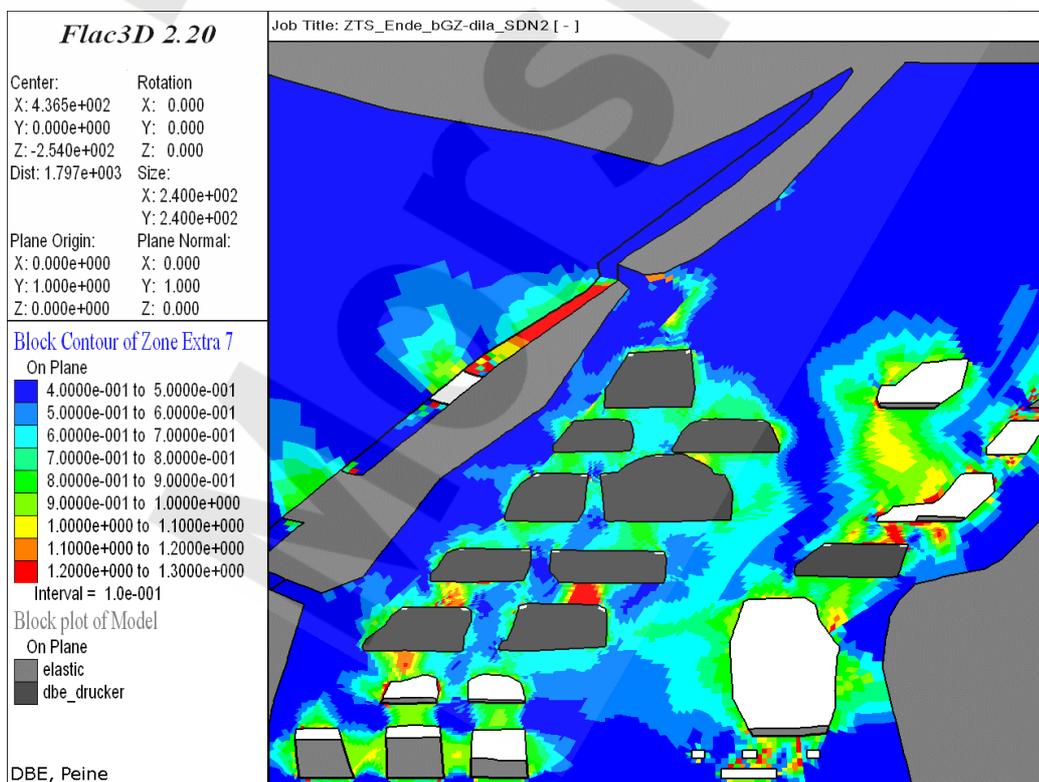
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

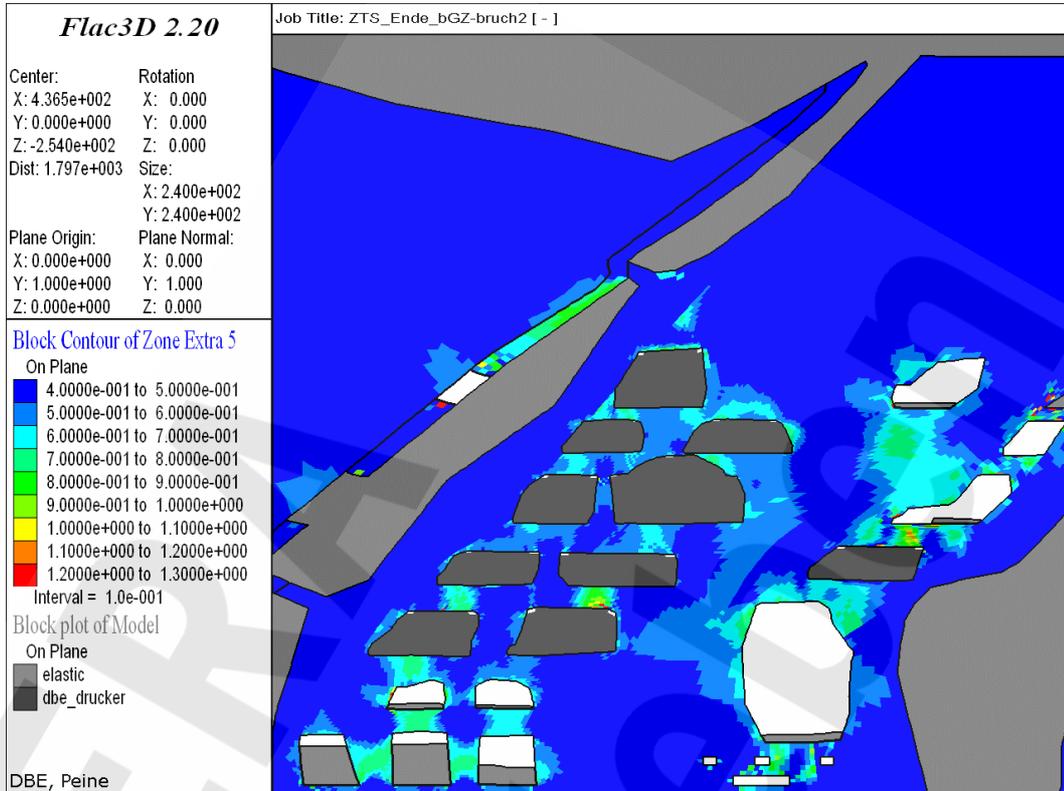


Anhang 49: Vergleichsdehnung [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ

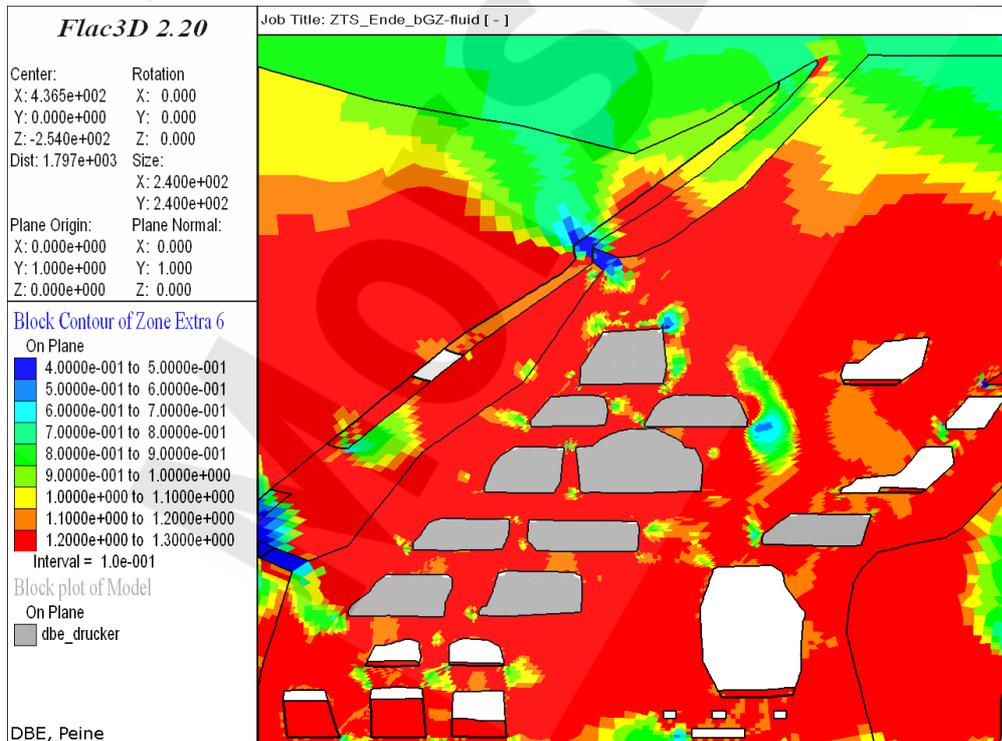


Anhang 50: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ

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	0010	01



Anhang 51: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ

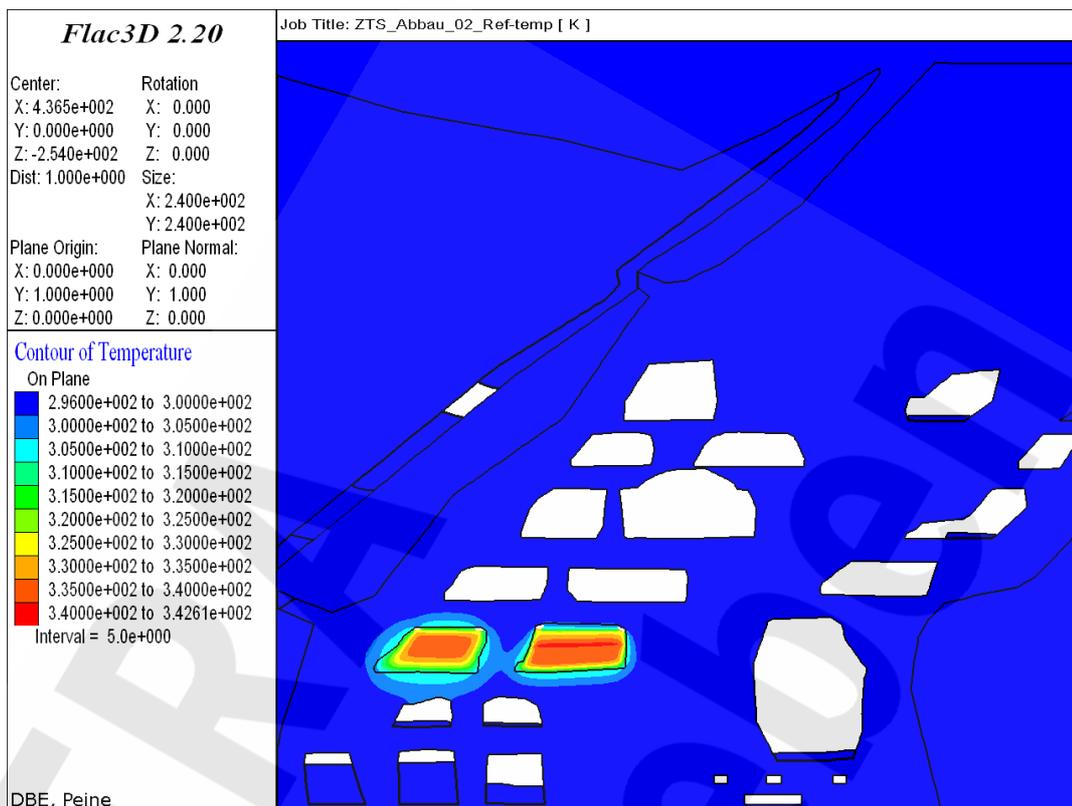


Anhang 52: Fluidkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ

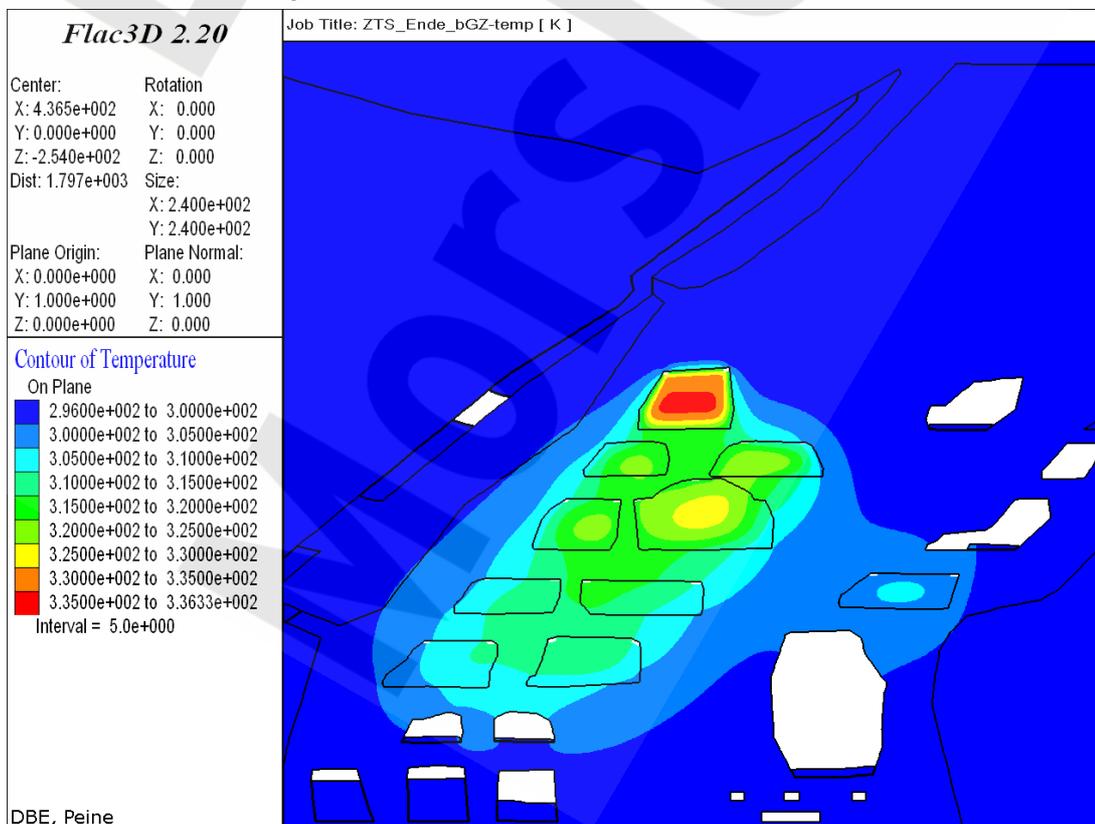
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 53: Temperatur [K], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 11/2006, nach Verfüllung des Abbaus 3s, 3. Sohle

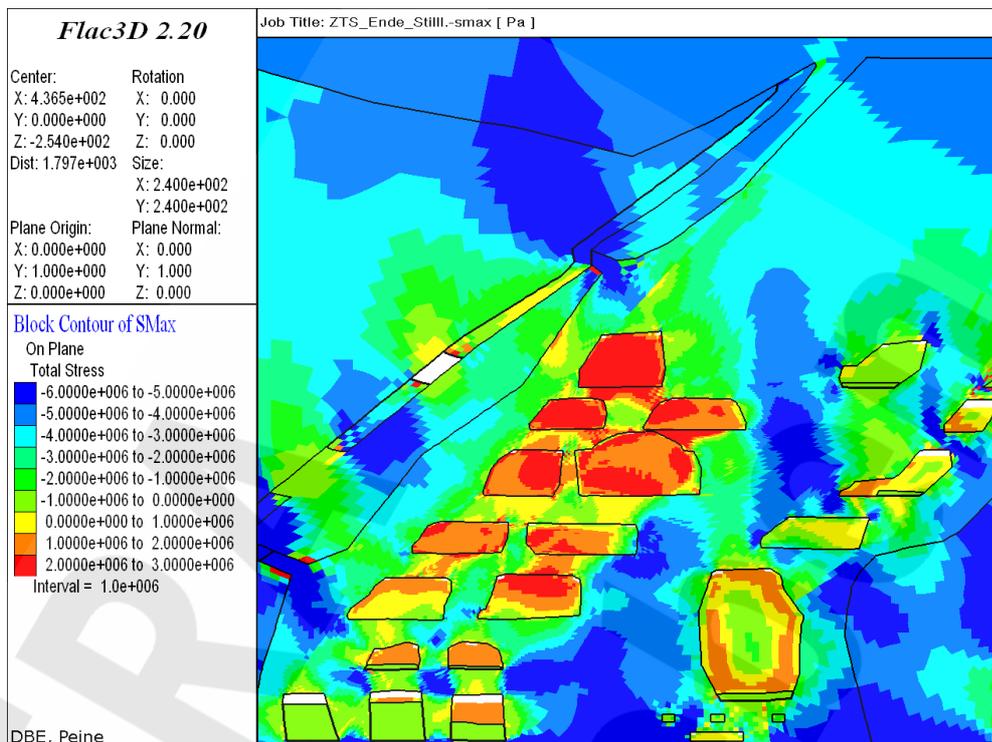


Anhang 54: Temperatur [K], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ

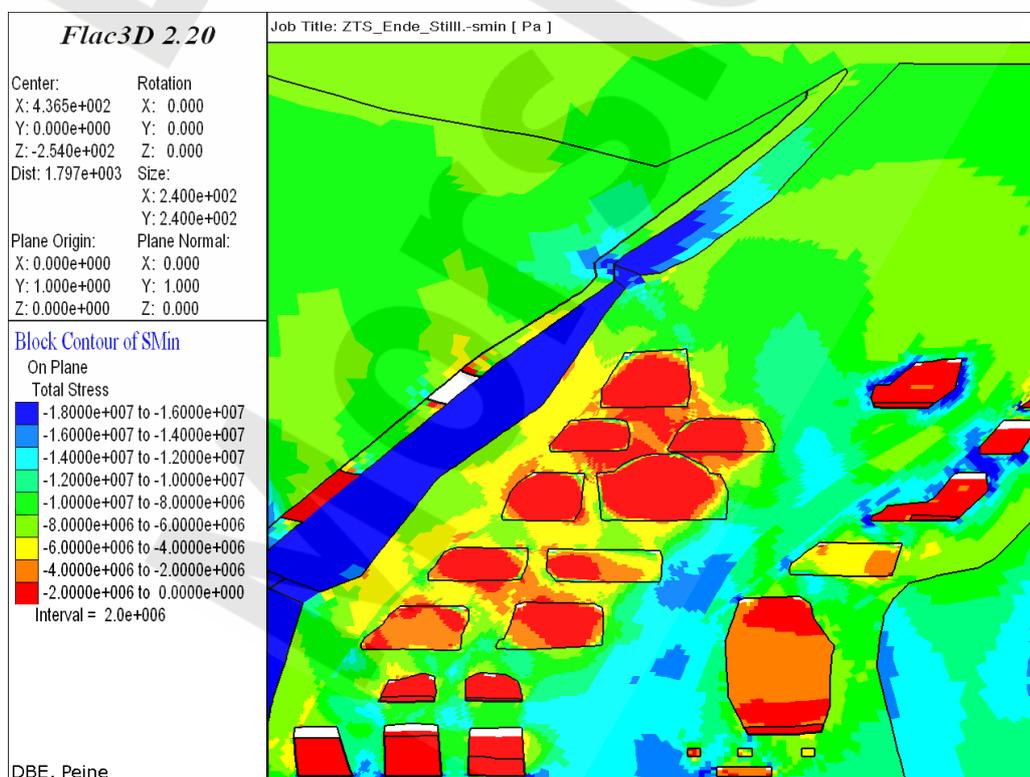
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 55: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1

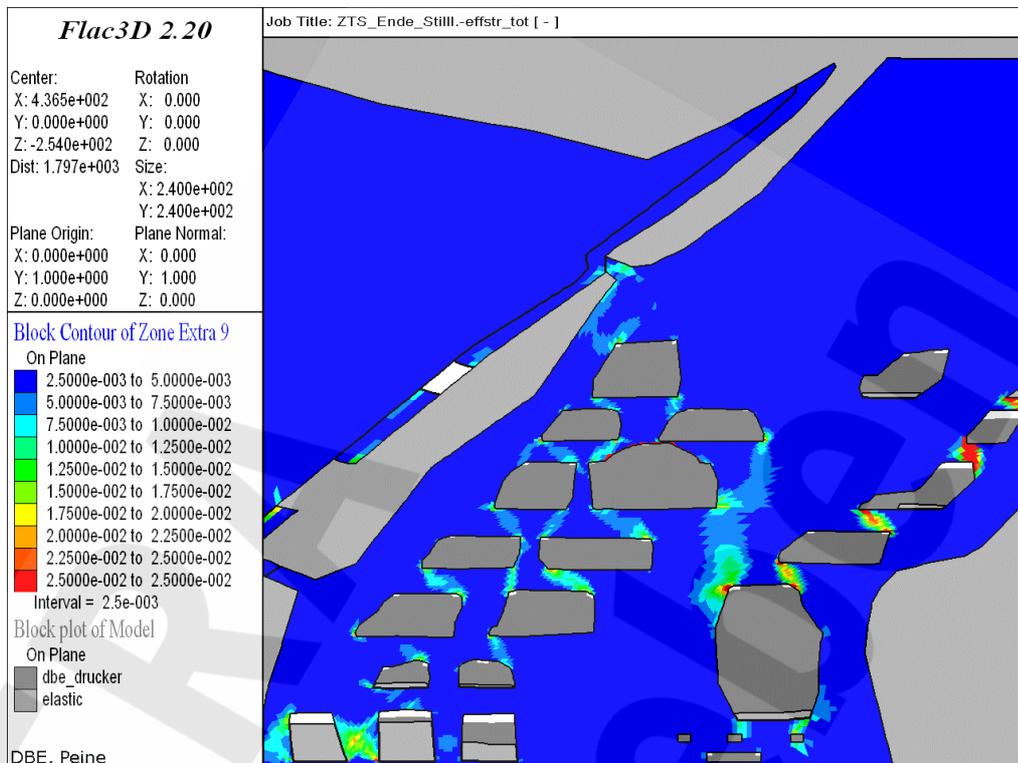


Anhang 56: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1

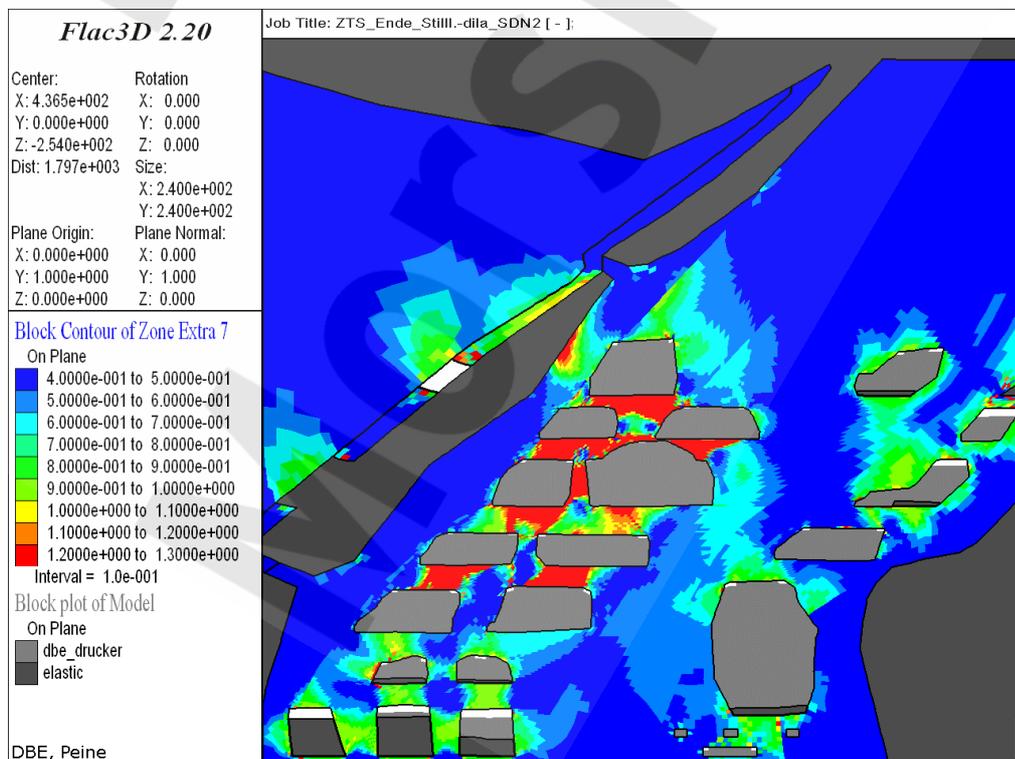
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

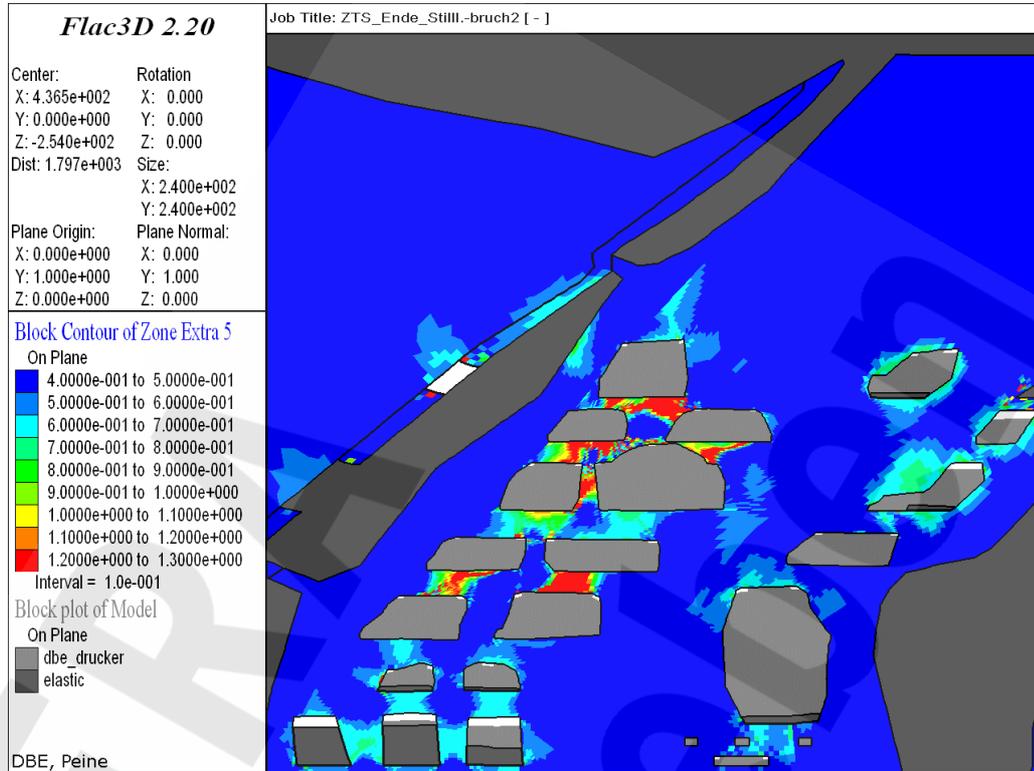


Anhang 57: Vergleichsdehnung [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1

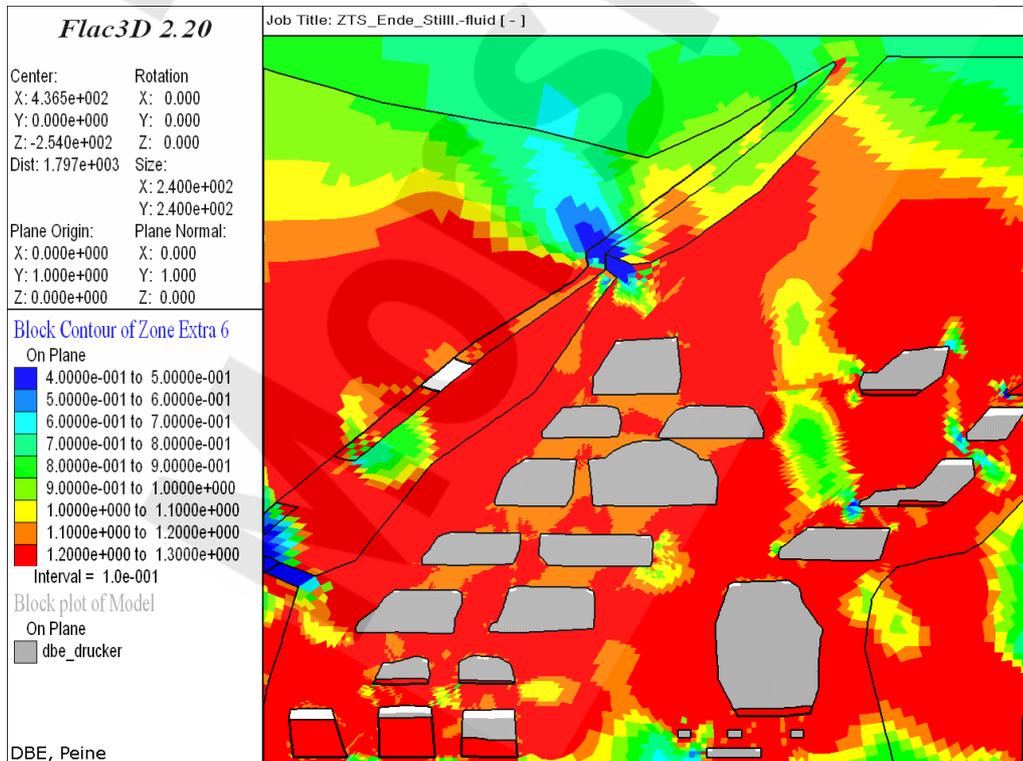


Anhang 58: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1

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 N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Anhang 59: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1

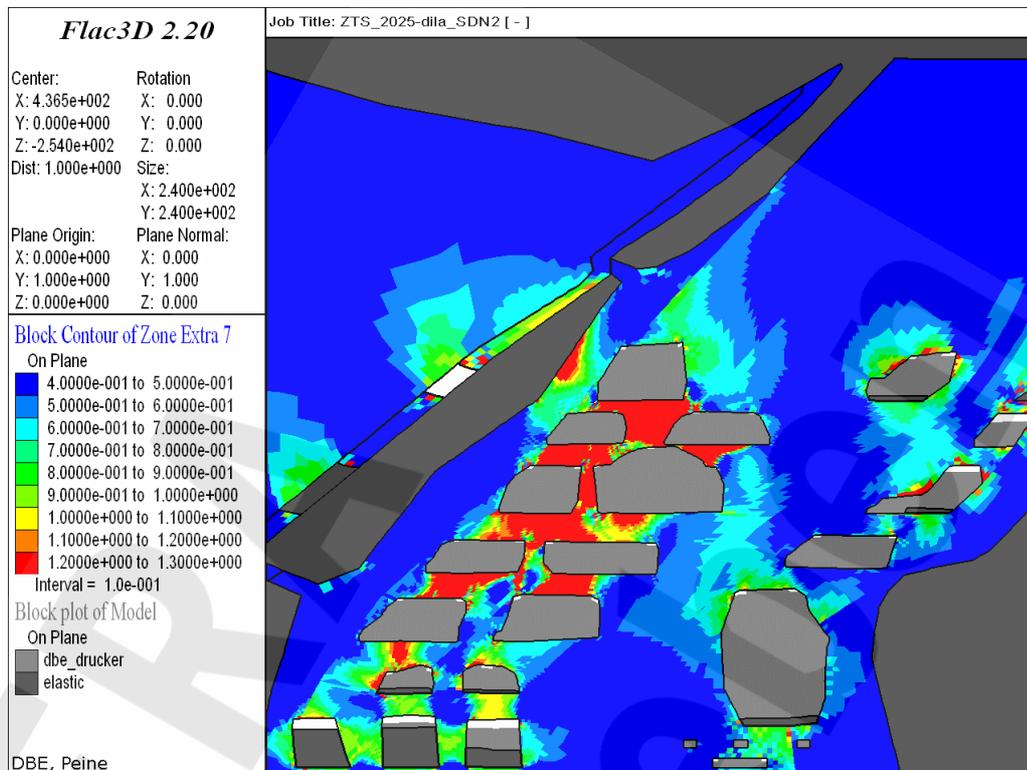


Anhang 60: Fluidkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1

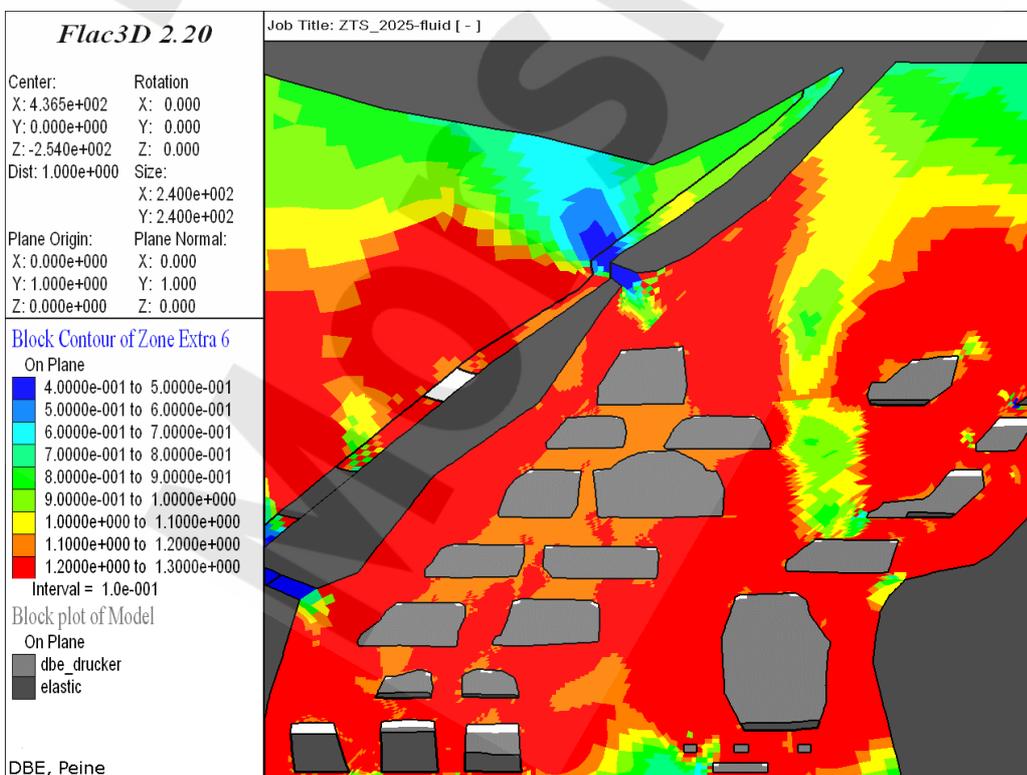
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 61: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2025, ca. 7,5 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1

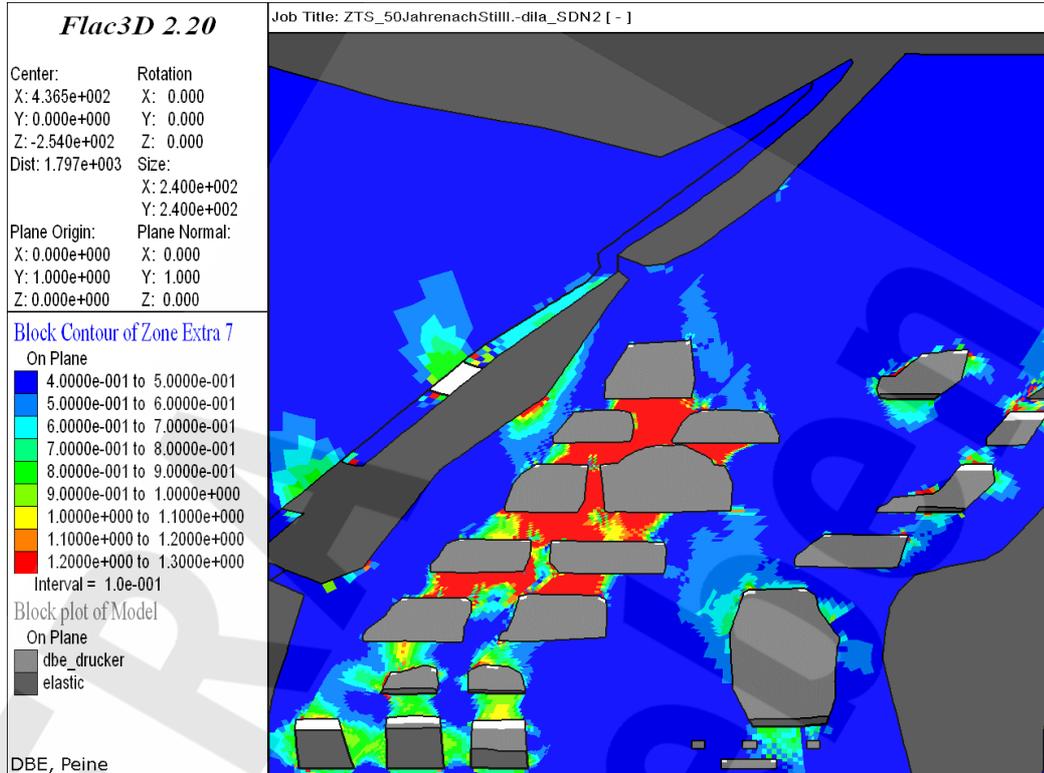


Anhang 62: Fluidkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2025, ca. 7,5 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1

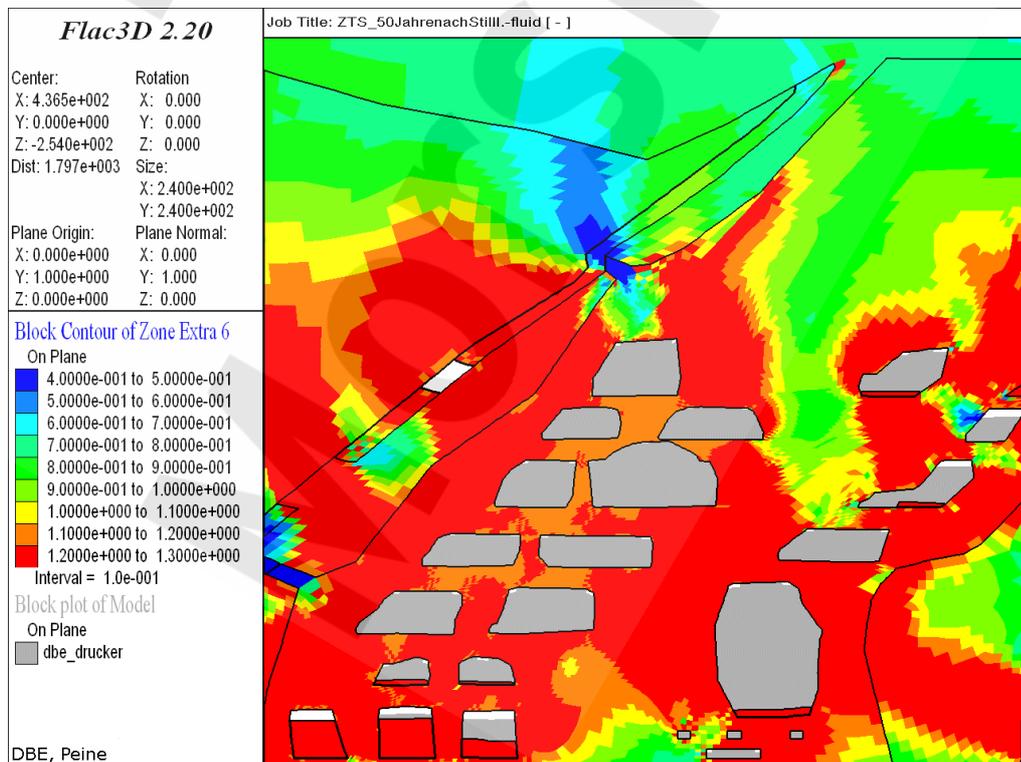
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standortsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 63: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1

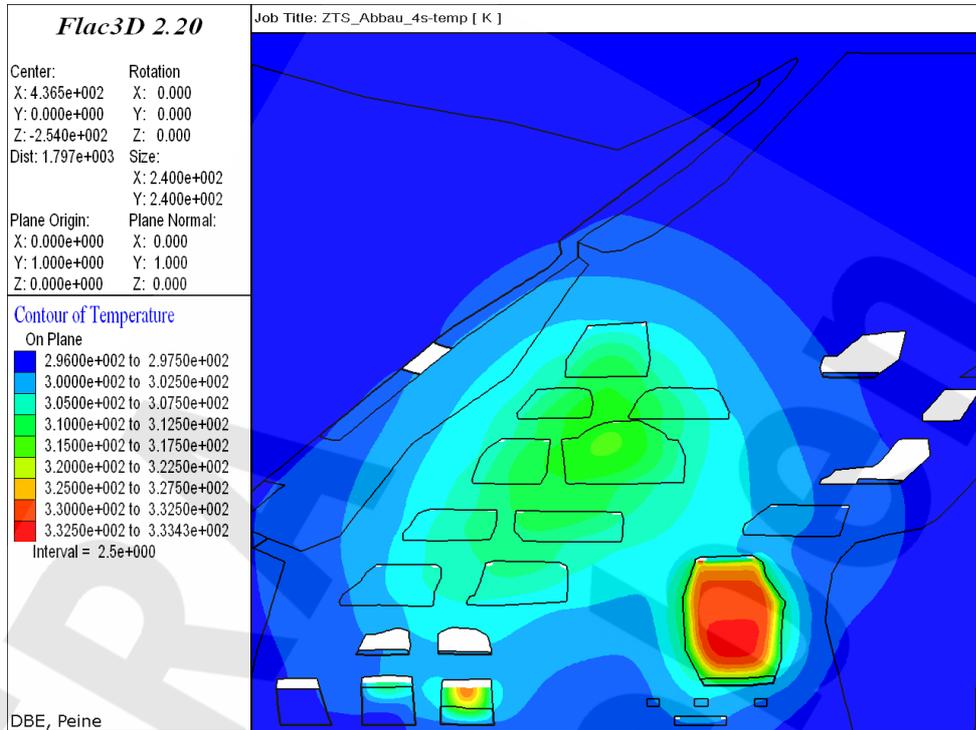


Anhang 64: Fluidkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1

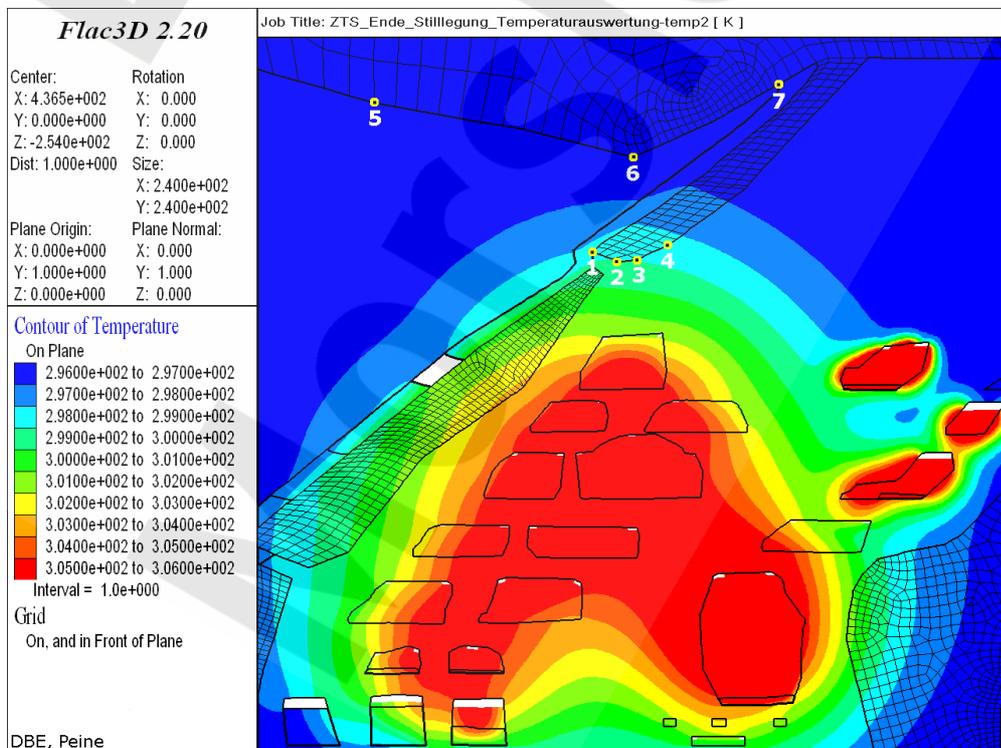
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 65: Temperatur [K], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2013, nach Verfüllung des Abbaus 4s, 3./4a-Sohle

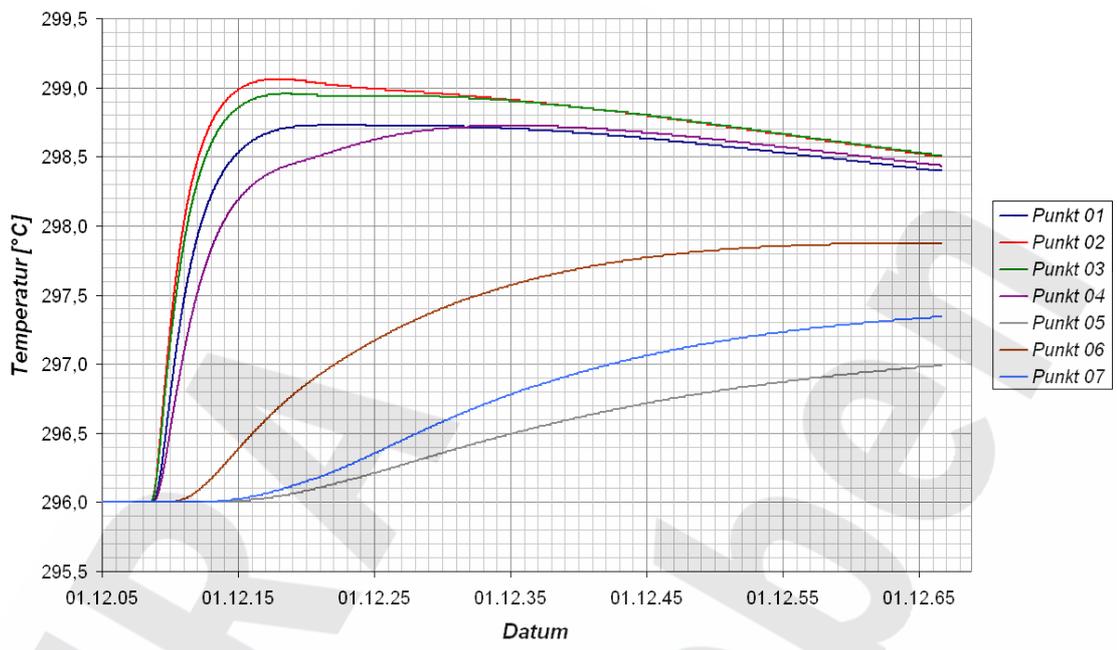


Anhang 66: Temperatur [K], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung und Auswertepunkte am Salzspiegel und an der obersten Anhydritscholle

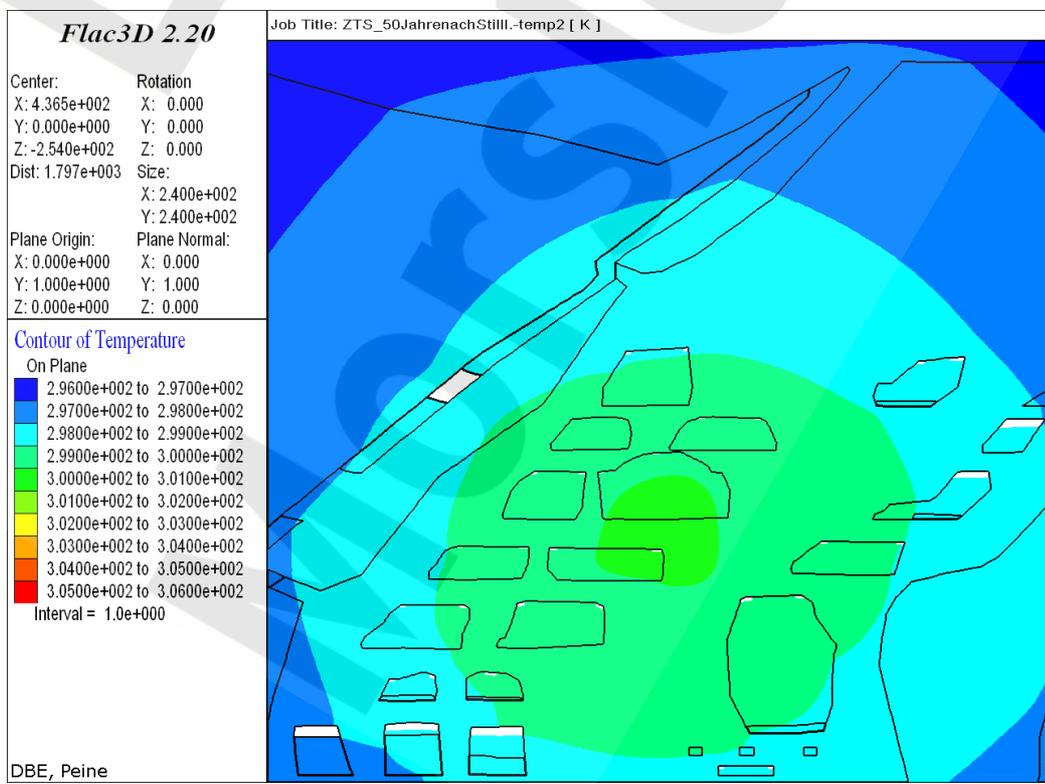
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Temperaturverläufe am oberen Anhydrit und am Salzspiegel

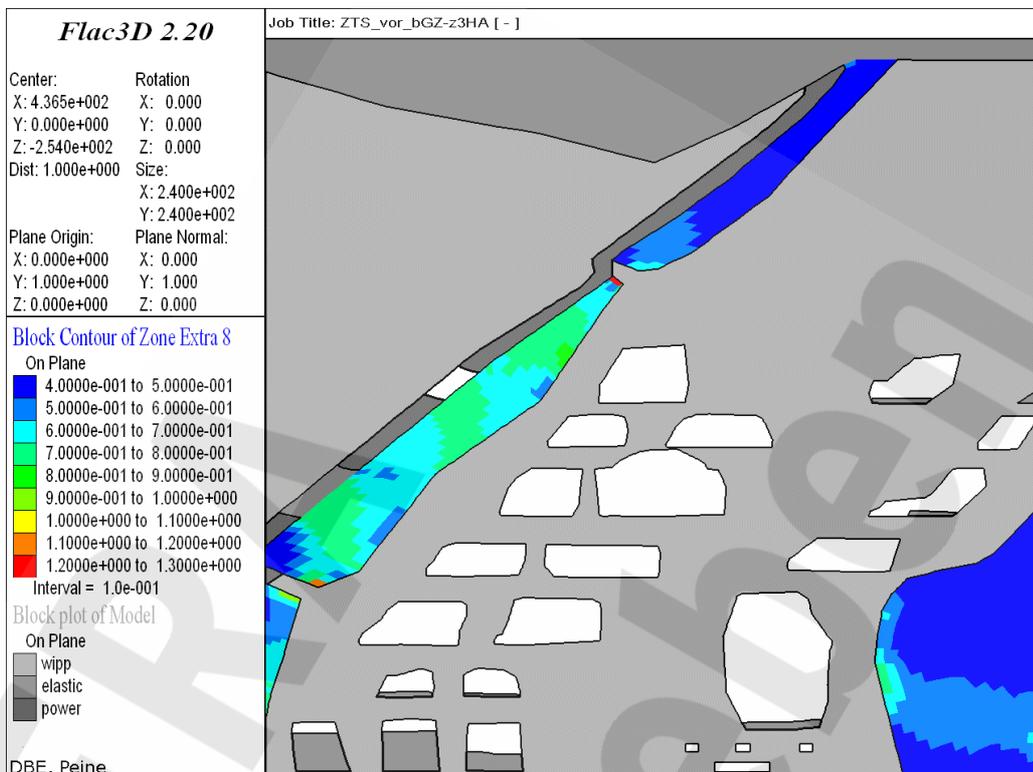


Anhang 67: Temperaturverlauf [K], Modell ZTS-3.1, Auswertung an der obersten Anhydritscholle und am Salzspiegel

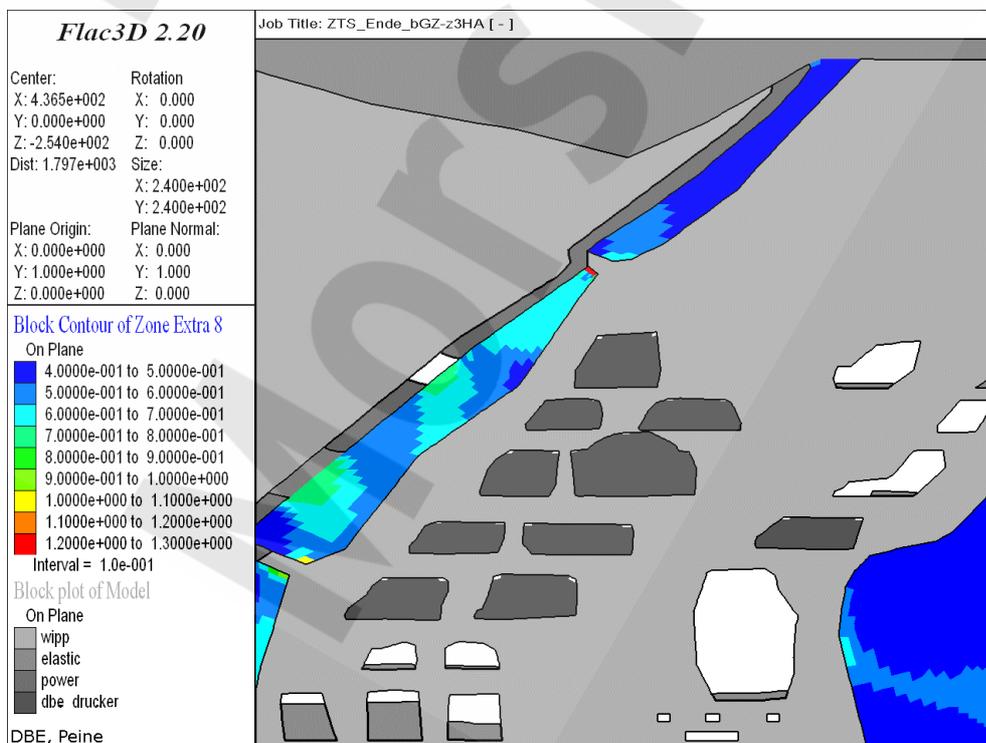


Anhang 68: Temperatur [K], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung

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	0010	01

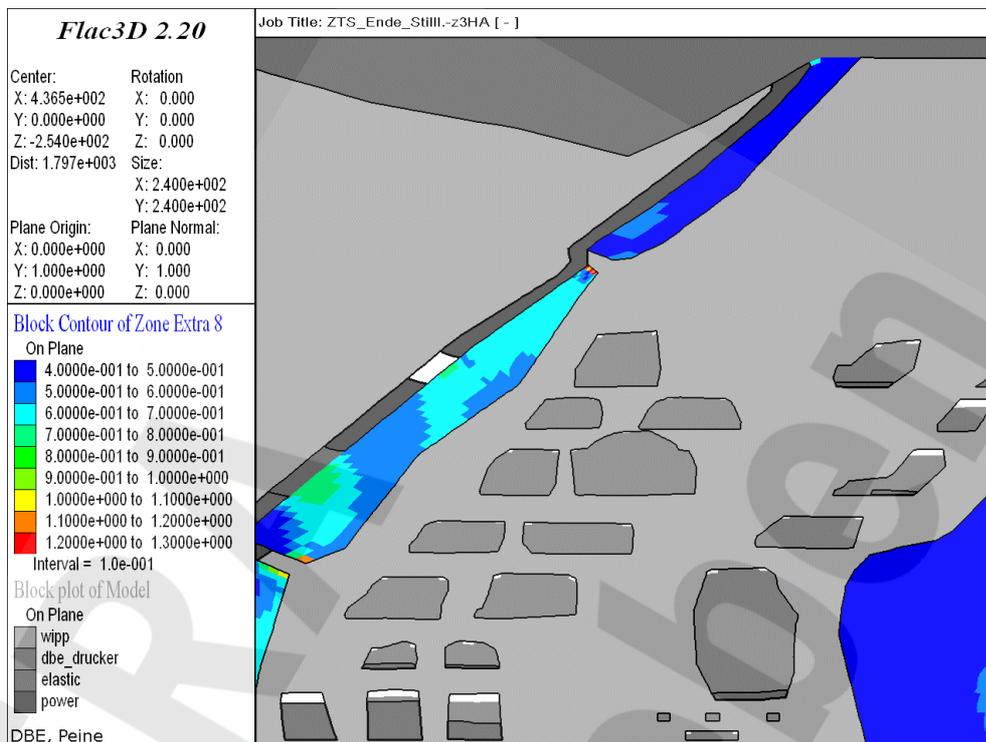


Anhang 69: Festigkeitskriterium [-] an der obersten Anhydritscholle, Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 10/2005

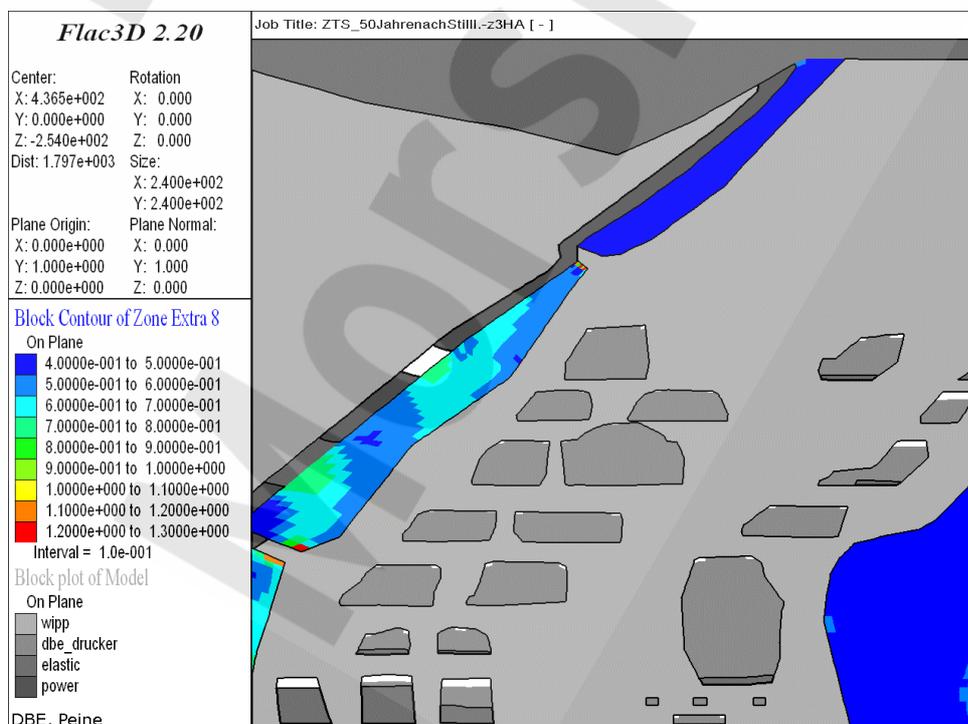


Anhang 70: Festigkeitskriterium [-] an der obersten Anhydritscholle, Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 01/2009, nach bGZ

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	0010	01

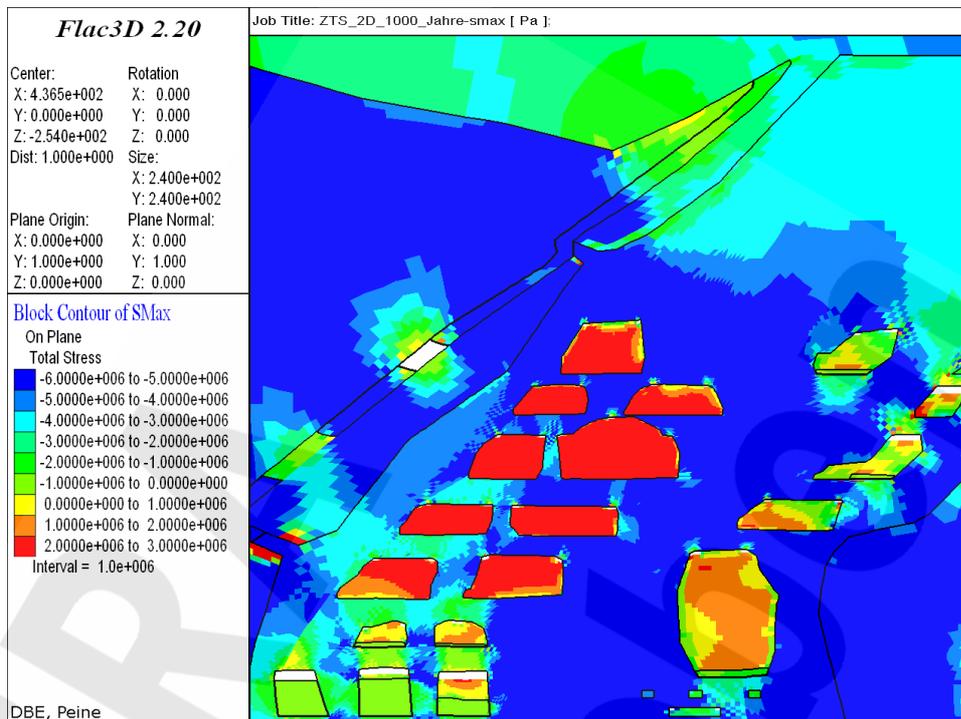


Anhang 71: Festigkeitskriterium [-] an der obersten Anhydritscholle, Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1

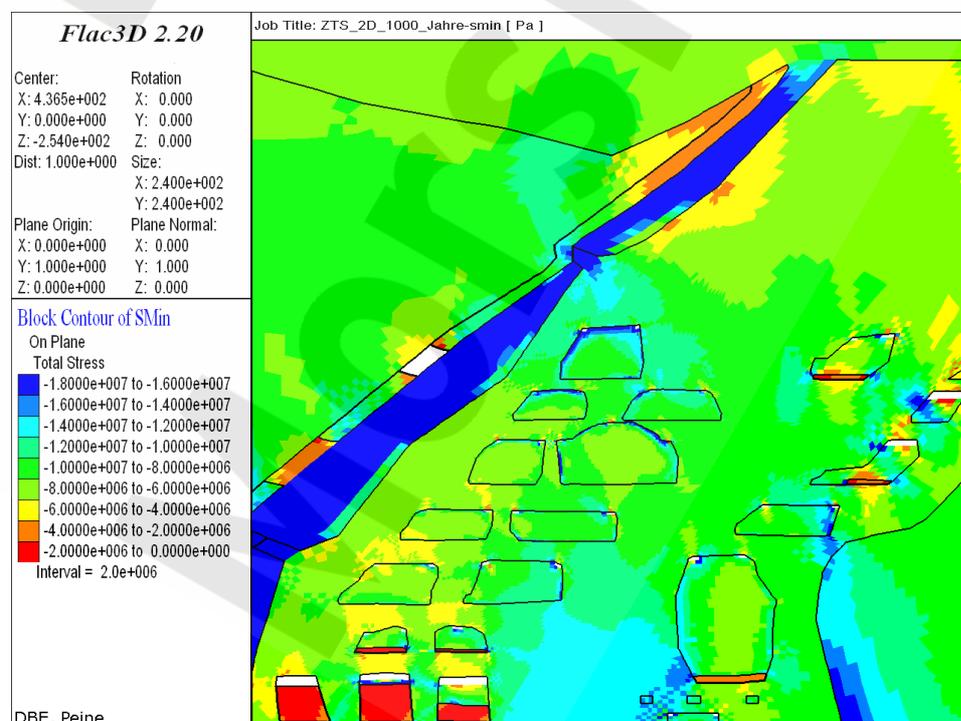


Anhang 72: Festigkeitskriterium [-] an der obersten Anhydritscholle, Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1

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	0010	01



Anhang 73: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1 (2D-Modell)

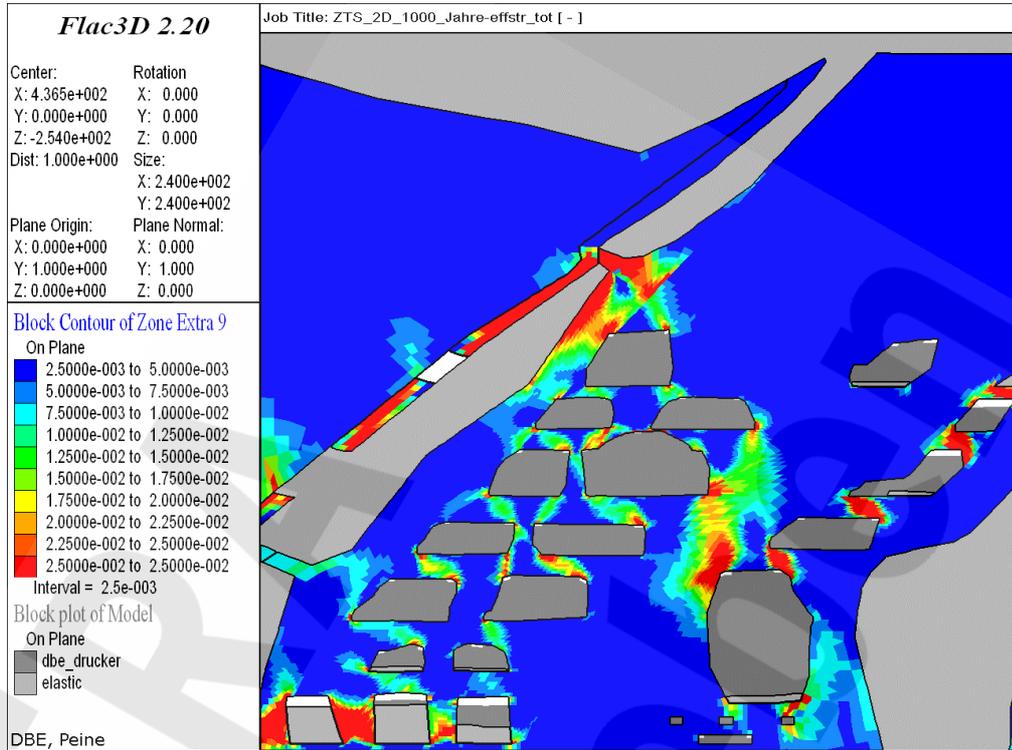


Anhang 74: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1 (2D-Modell)

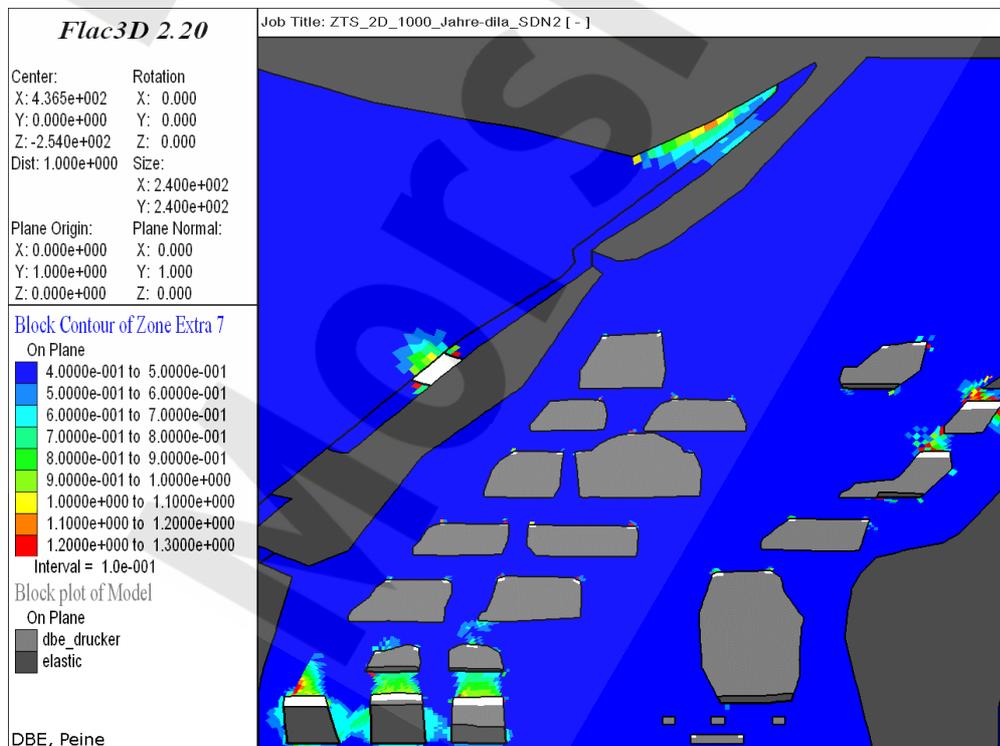
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 75: Vergleichsdehnung [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1 (2D-Modell)

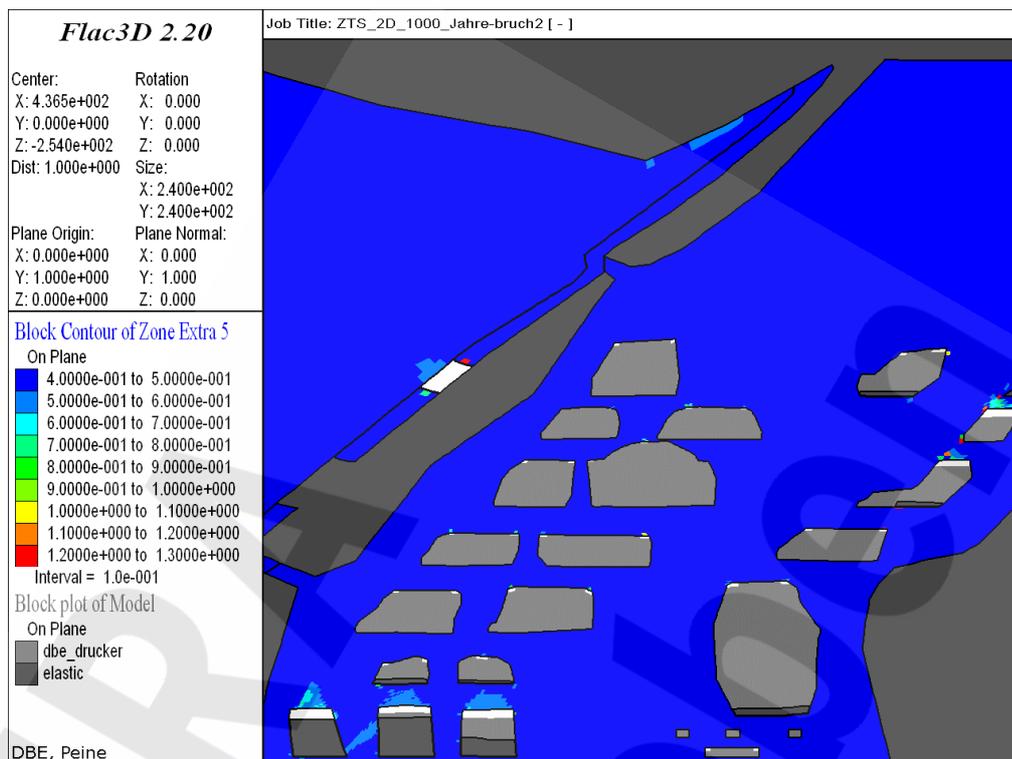


Anhang 76: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1 (2D-Modell)

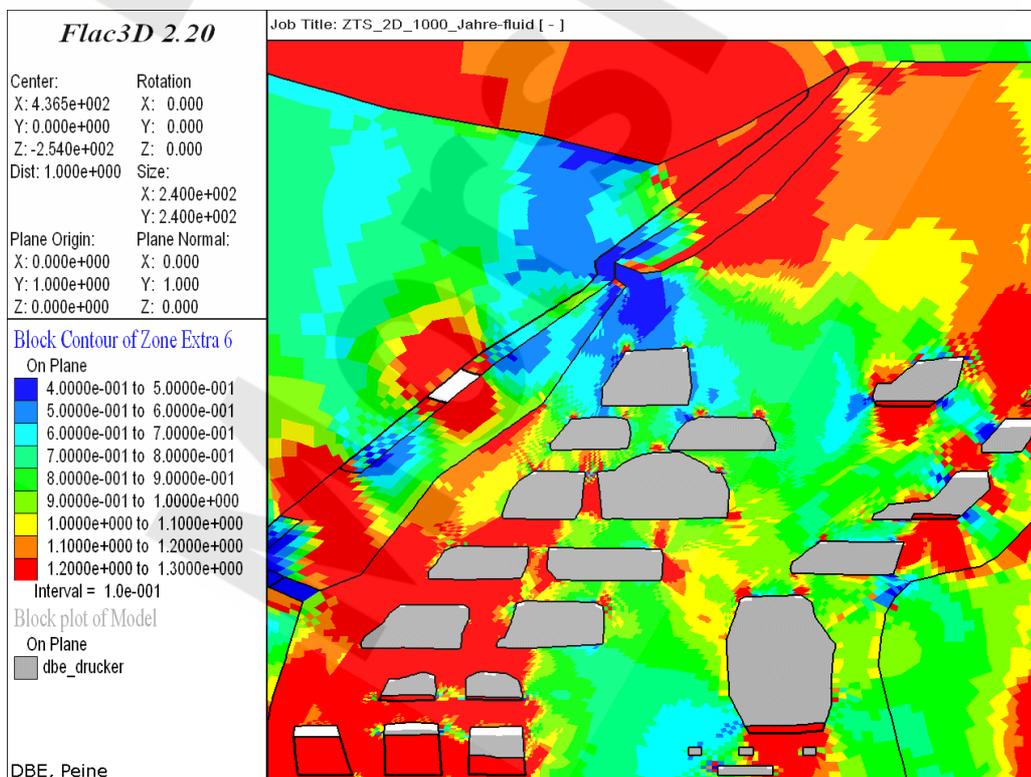
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 77: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1 (2D-Modell)

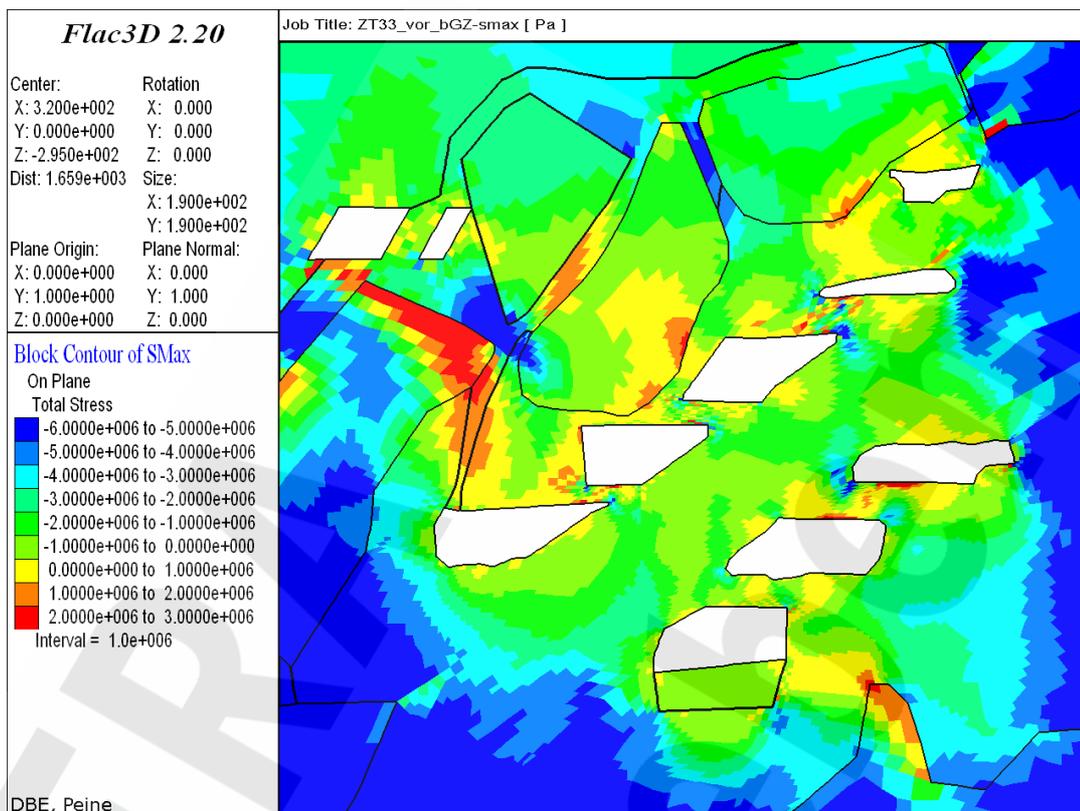


Anhang 78: Fluidkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZTS-3.1 (2D-Modell)

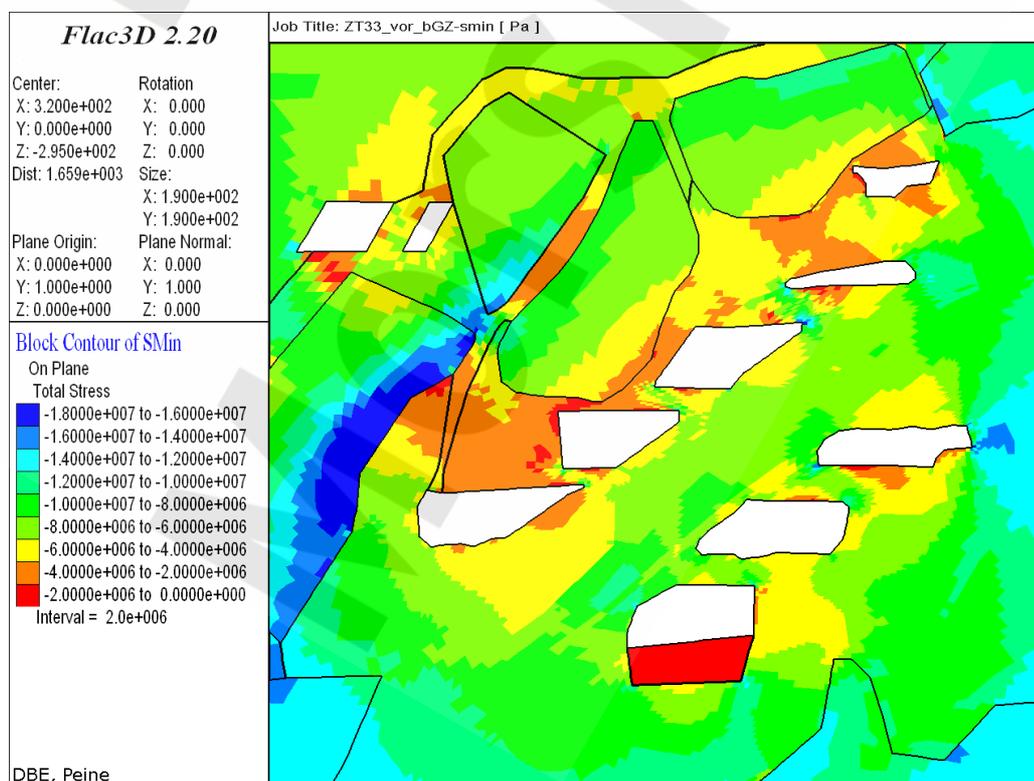
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 79: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 09/2003



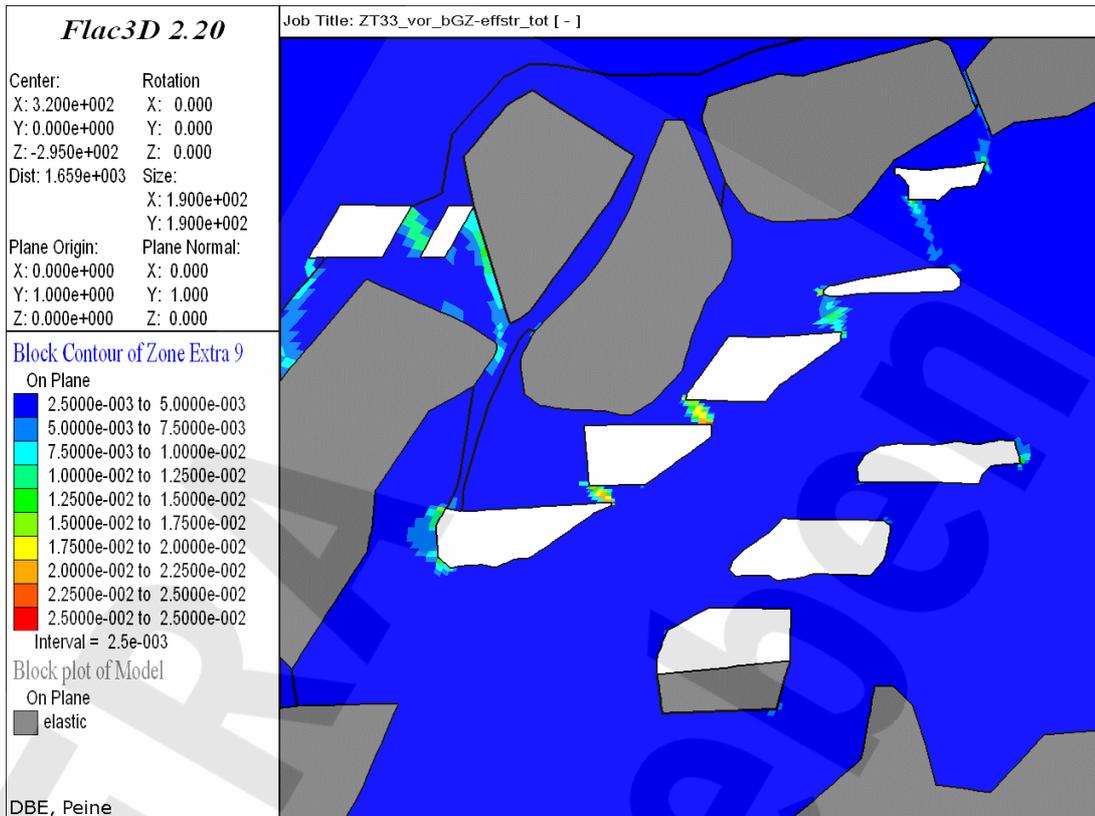
Anhang 80: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 09/2003

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	0010	01

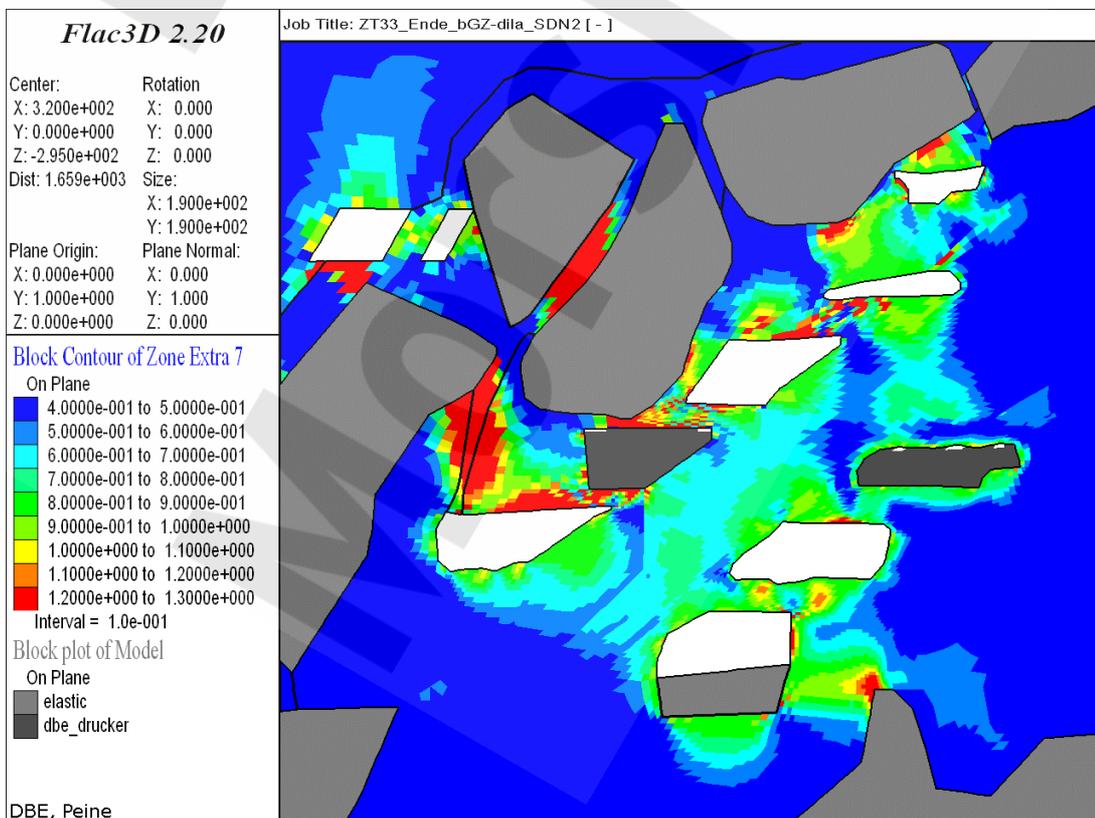


Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

Blatt 95



Anhang 81: Vergleichsdehnung [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 09/2003

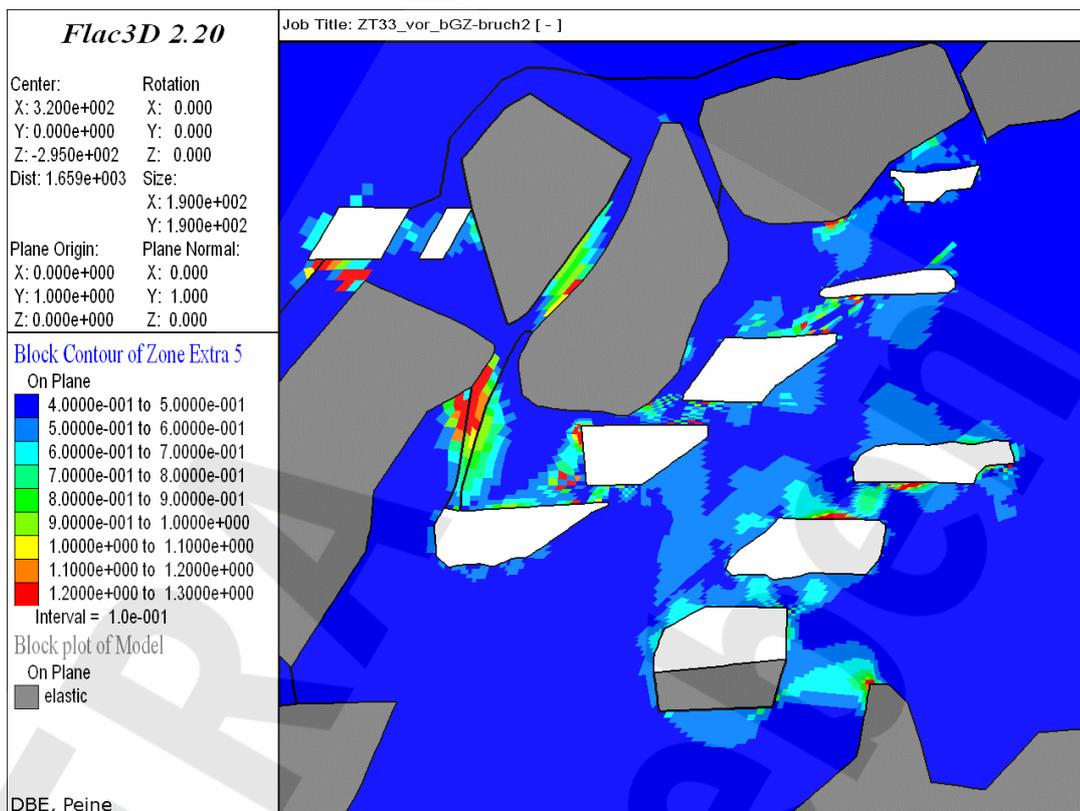


Anhang 82: Dilatanzkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 09/2003

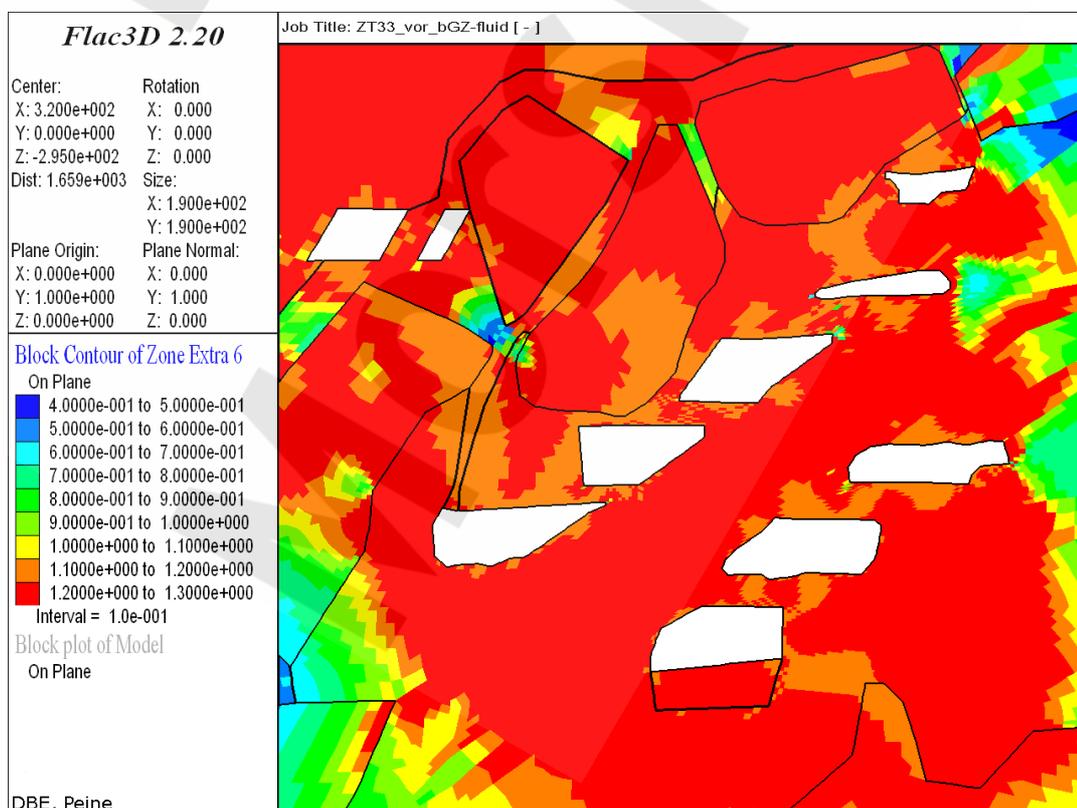
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 83: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 09/2003

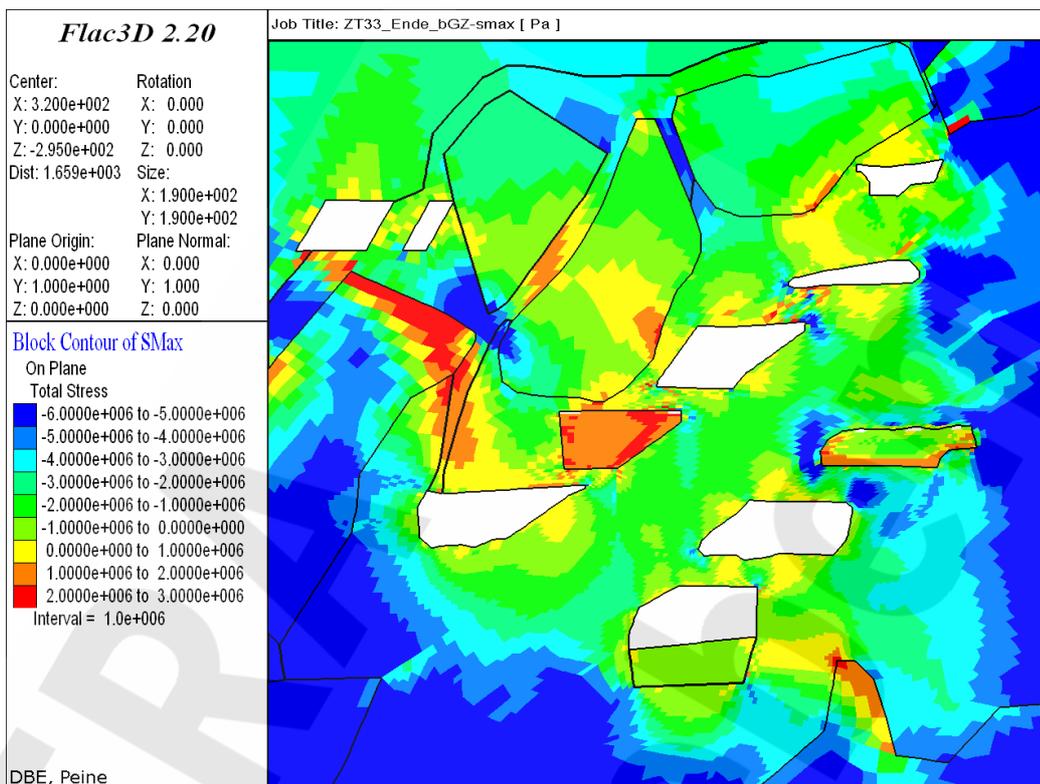


Anhang 84: Fluidkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 09/2003

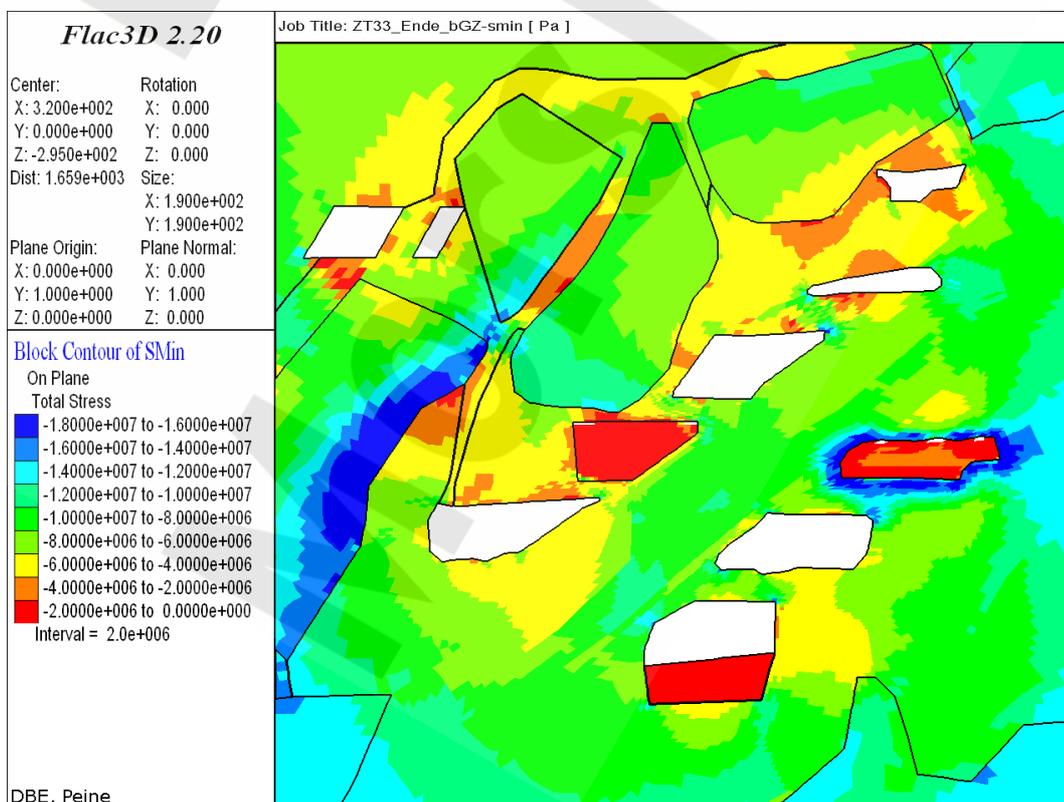
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 85: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ

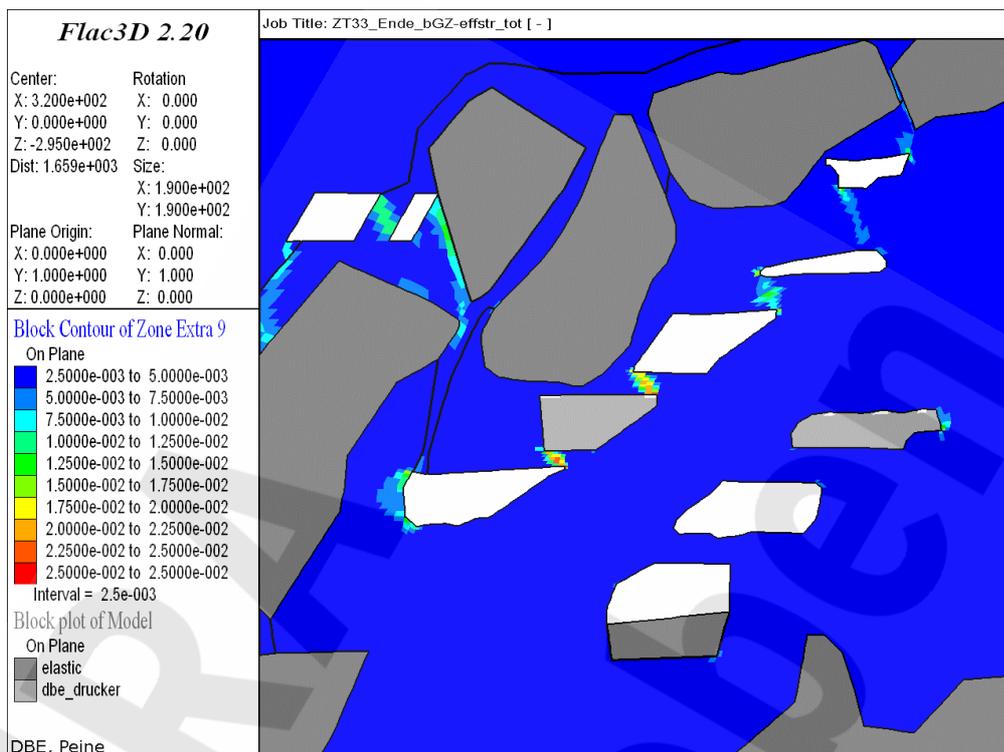


Anhang 86: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ

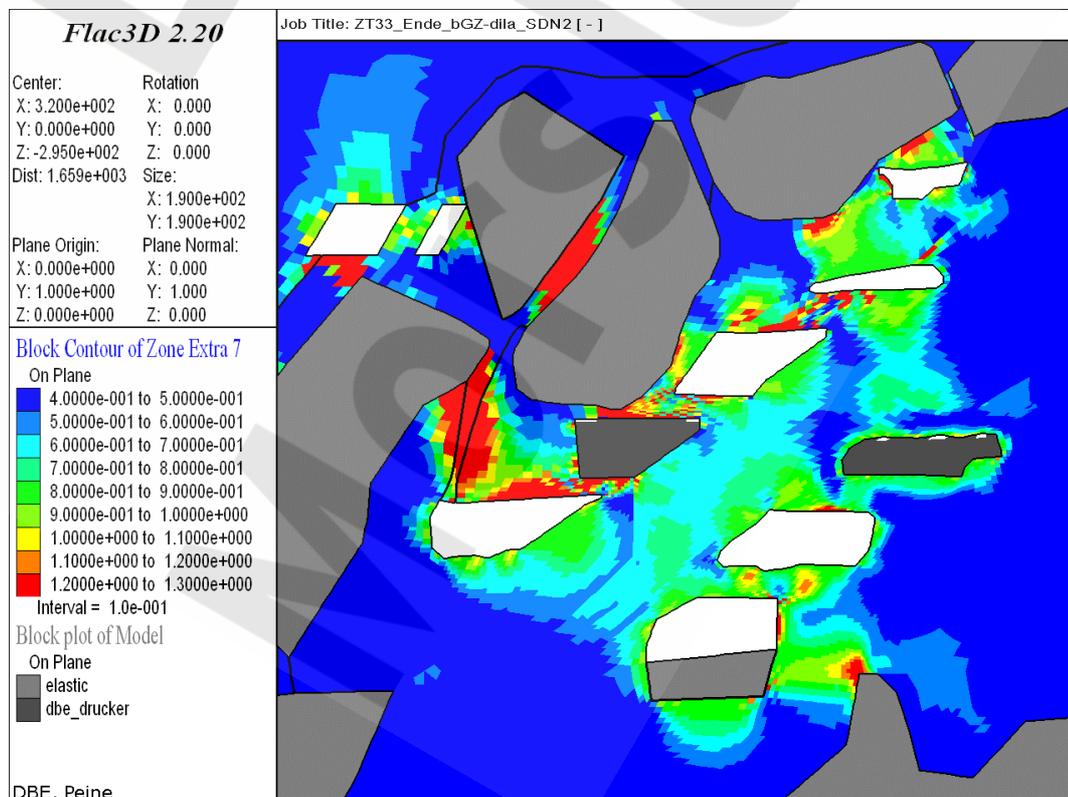
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 87: Vergleichsdehnung [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ

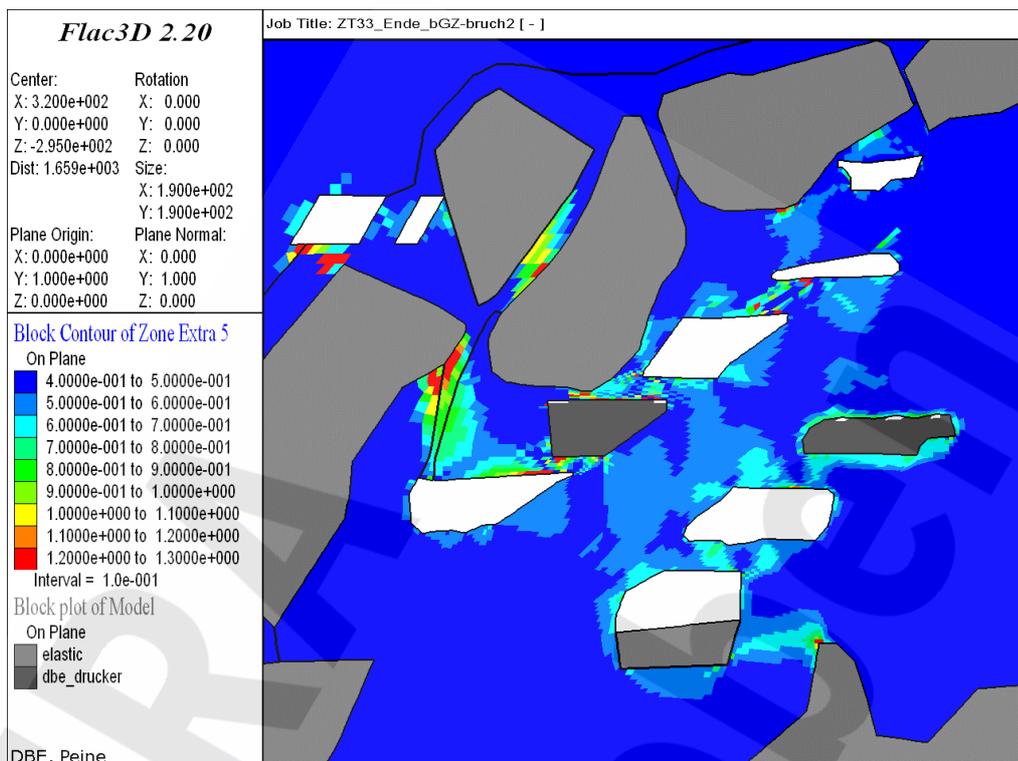


Anhang 88: Dilatanzkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ

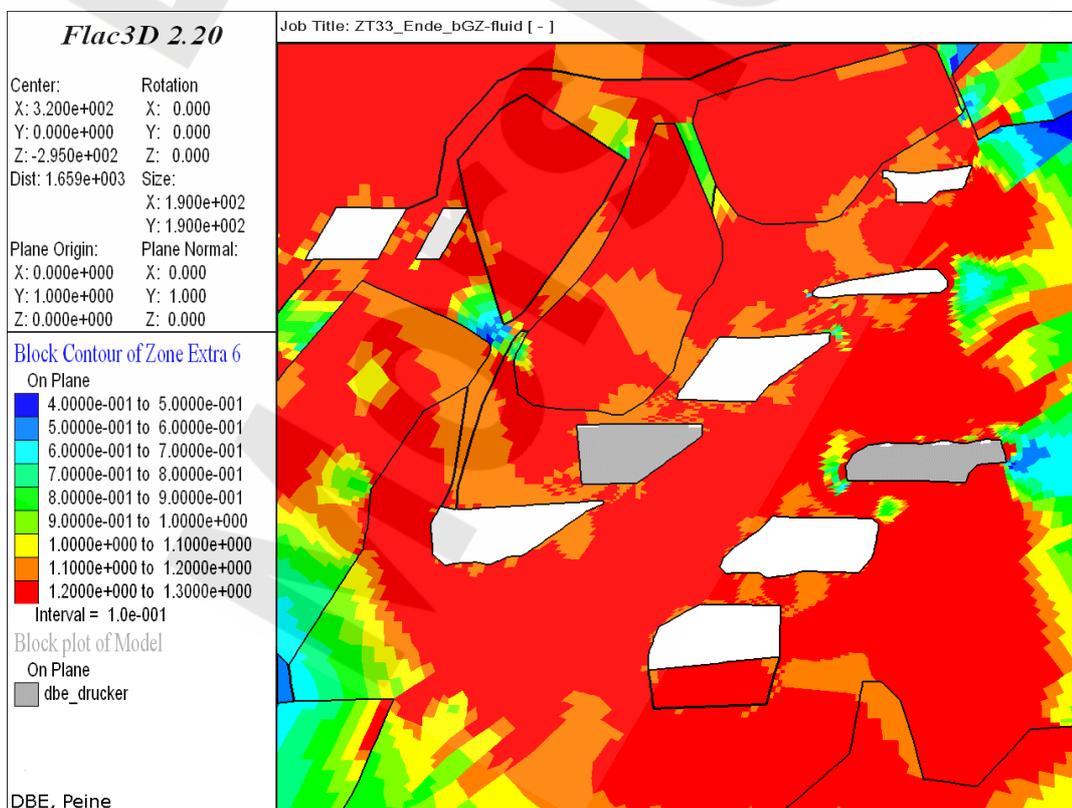
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 89: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ

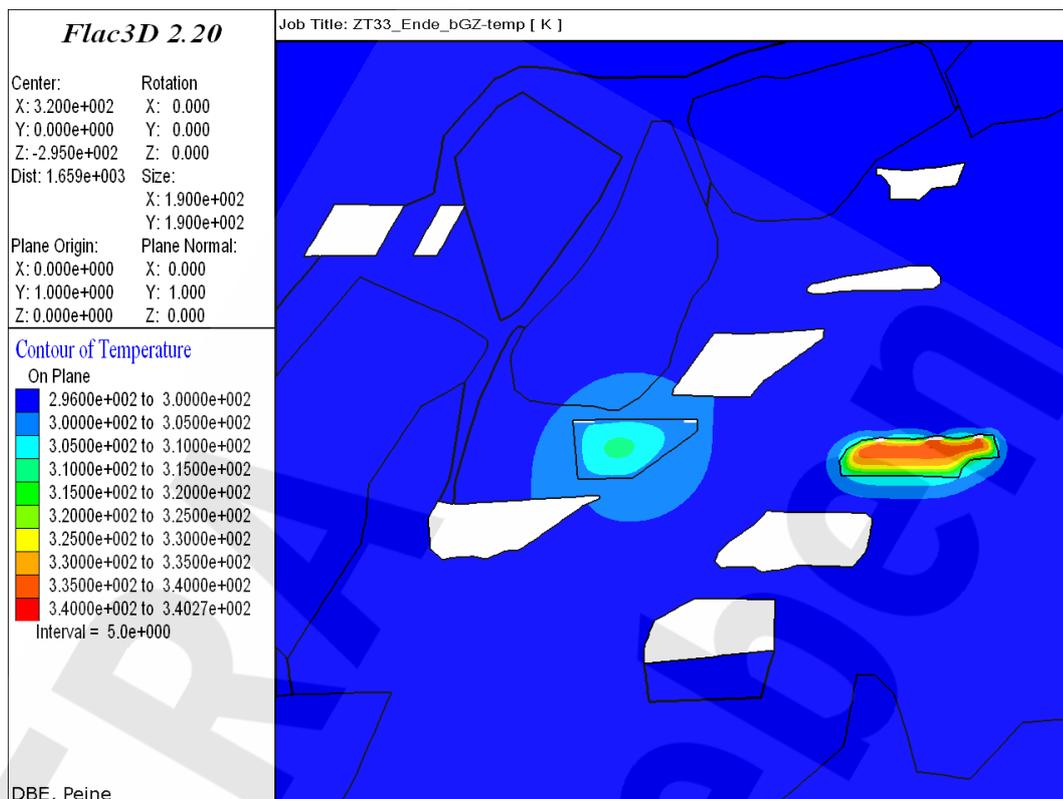


Anhang 90: Fluidkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ

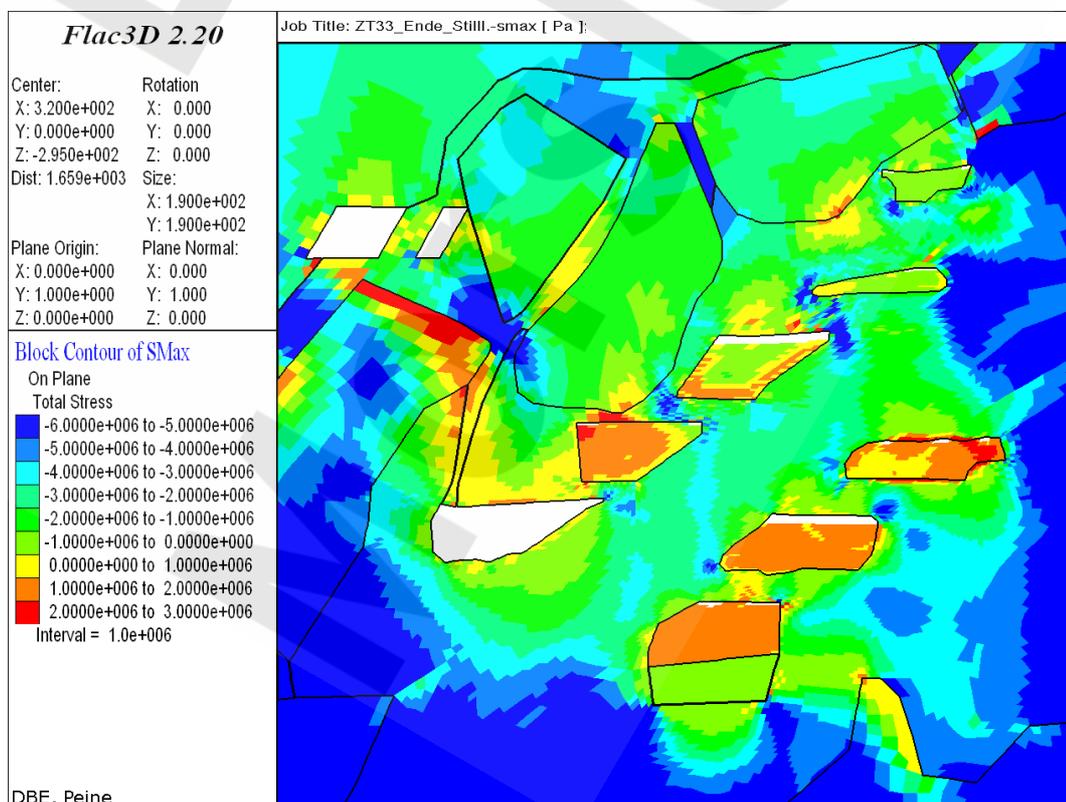
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 91: Temperatur [K], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 10/2006, nach bGZ

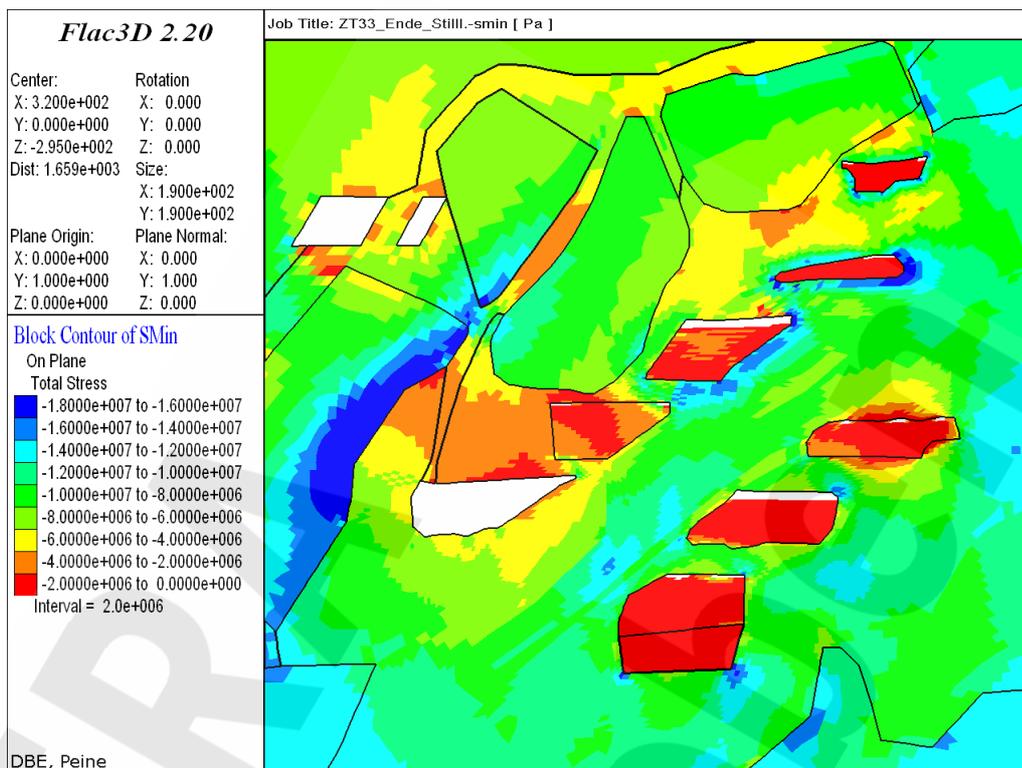


Anhang 92: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3

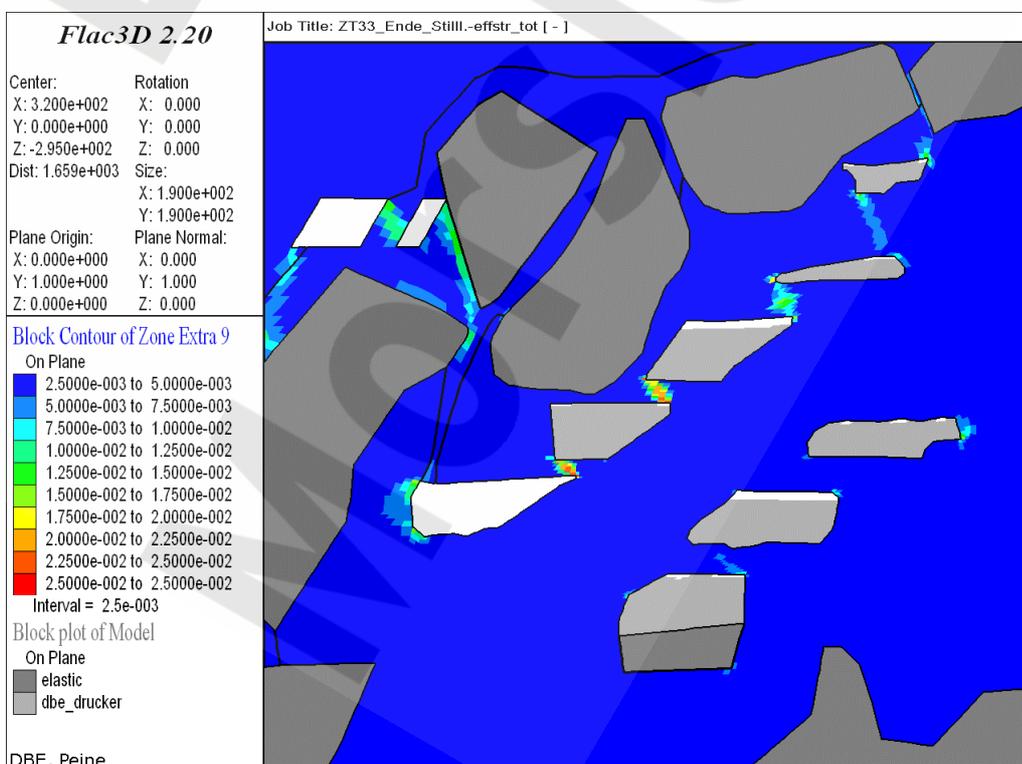
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 93: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3

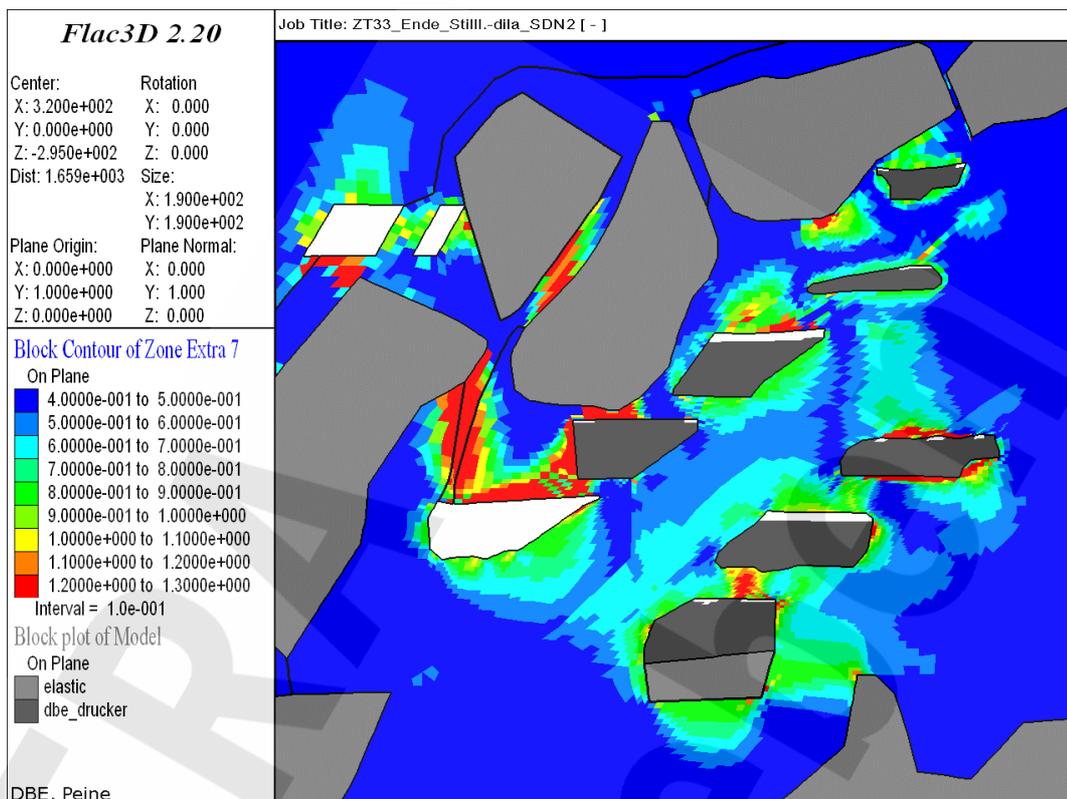


Anhang 94: Vergleichsdehnung [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3

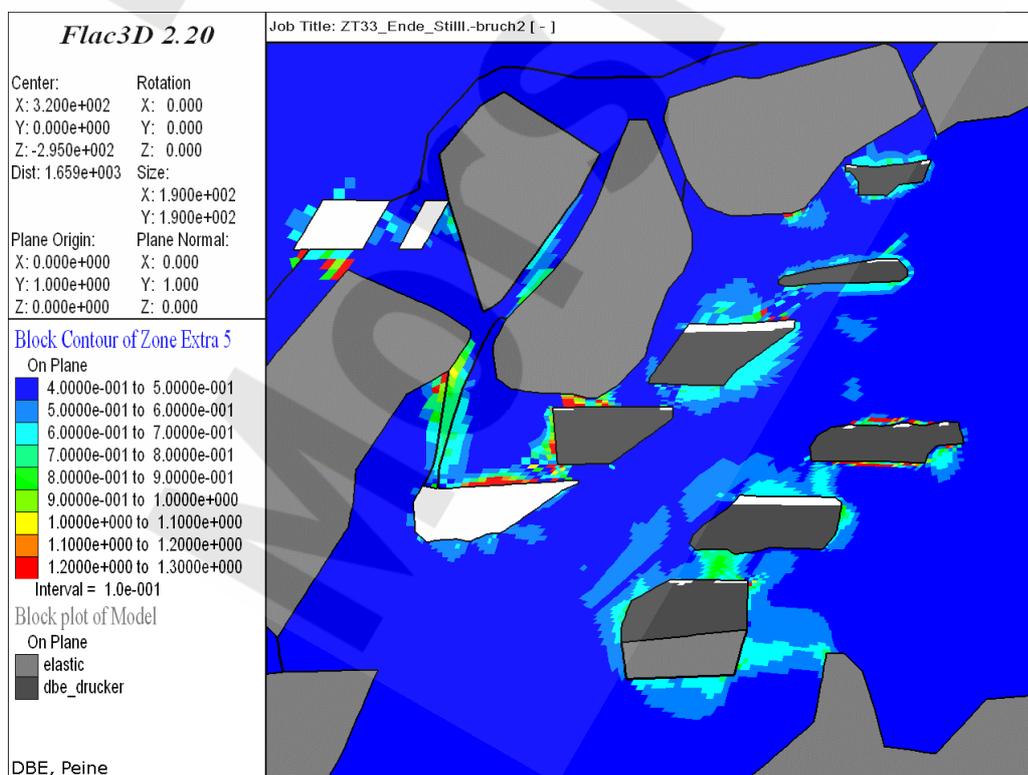
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

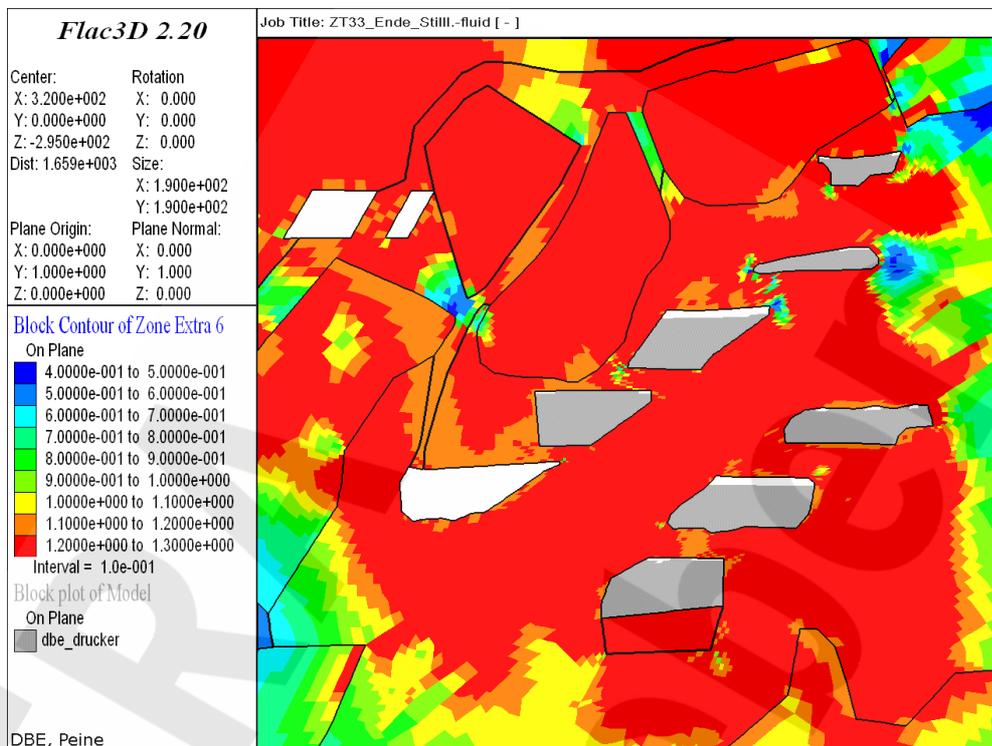


Anhang 95: Dilatanzkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3

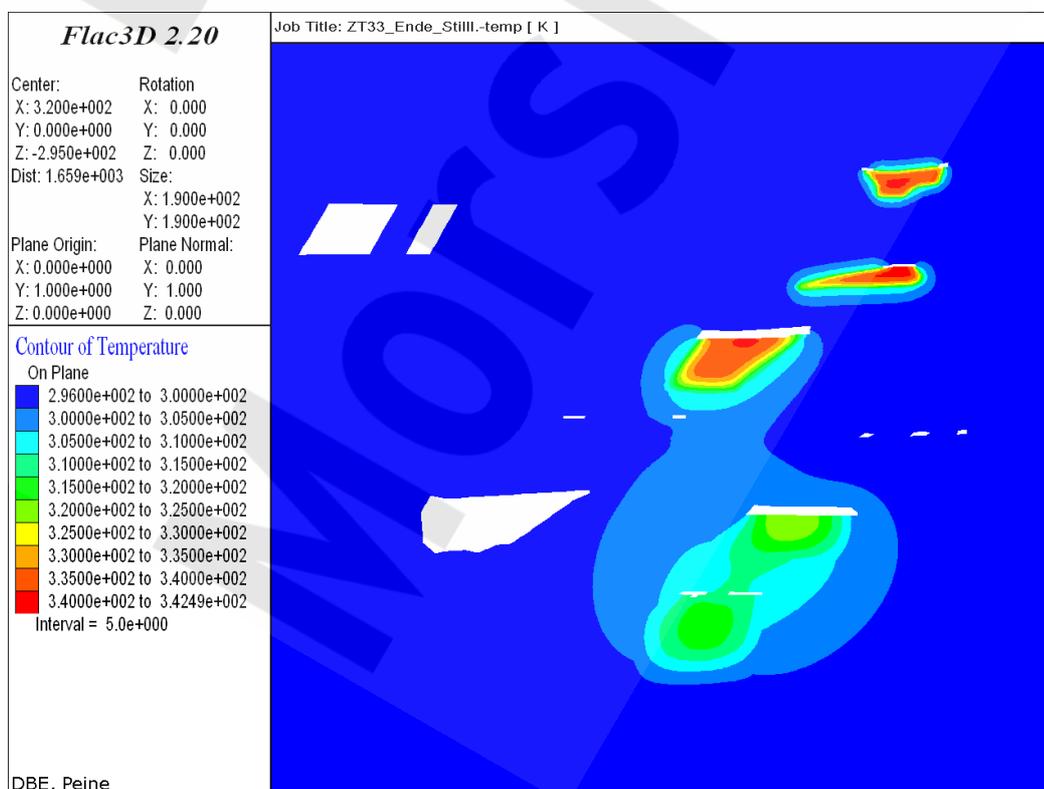


Anhang 96: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3

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	0010	01



Anhang 97: Fluidkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3

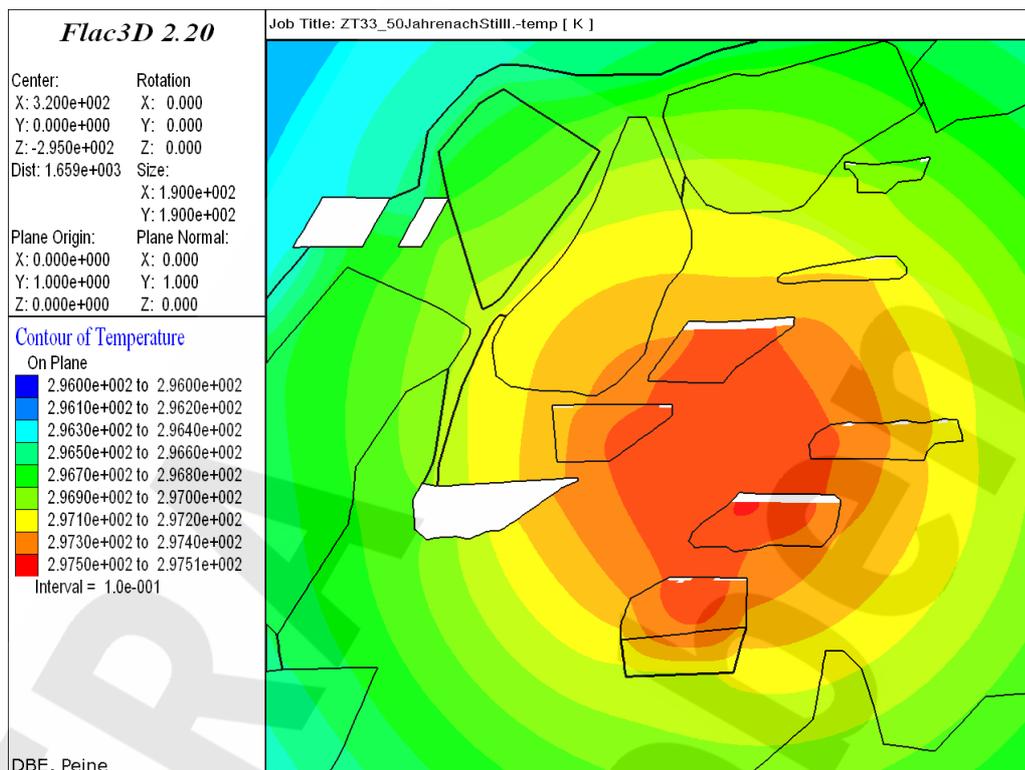


Anhang 98: Temperatur [K], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, nach Abschluss der Verfüllung

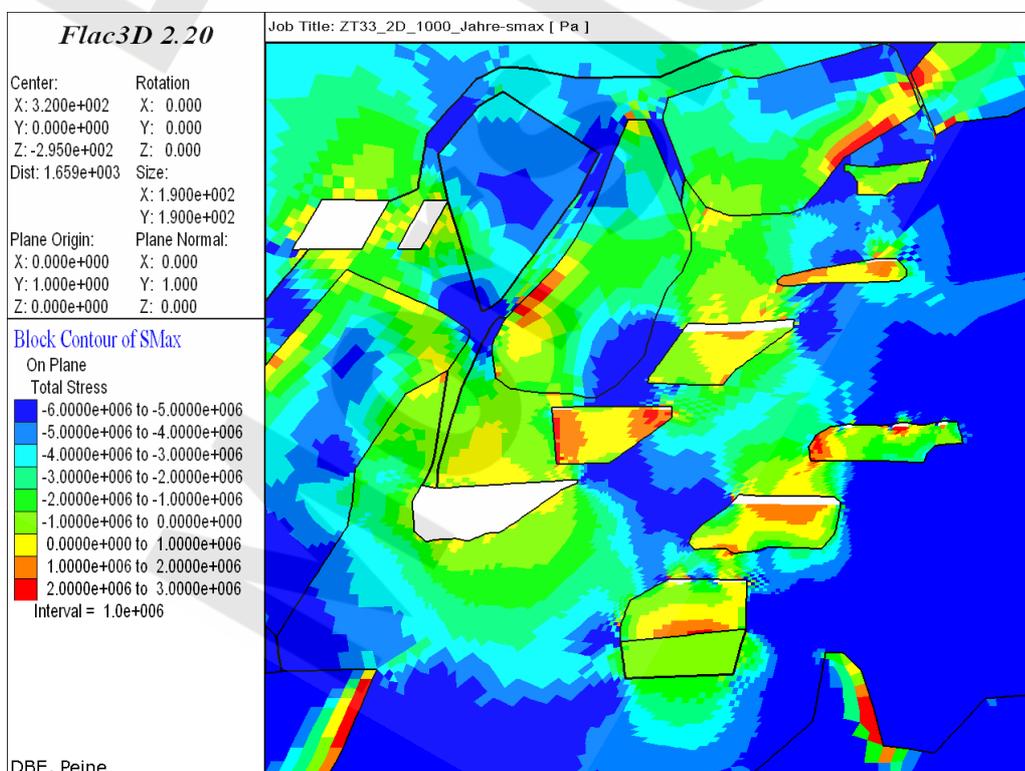
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standortsicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 99: Temperatur [K], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2067, 50 Jahre nach Abschluss der Verfüllung

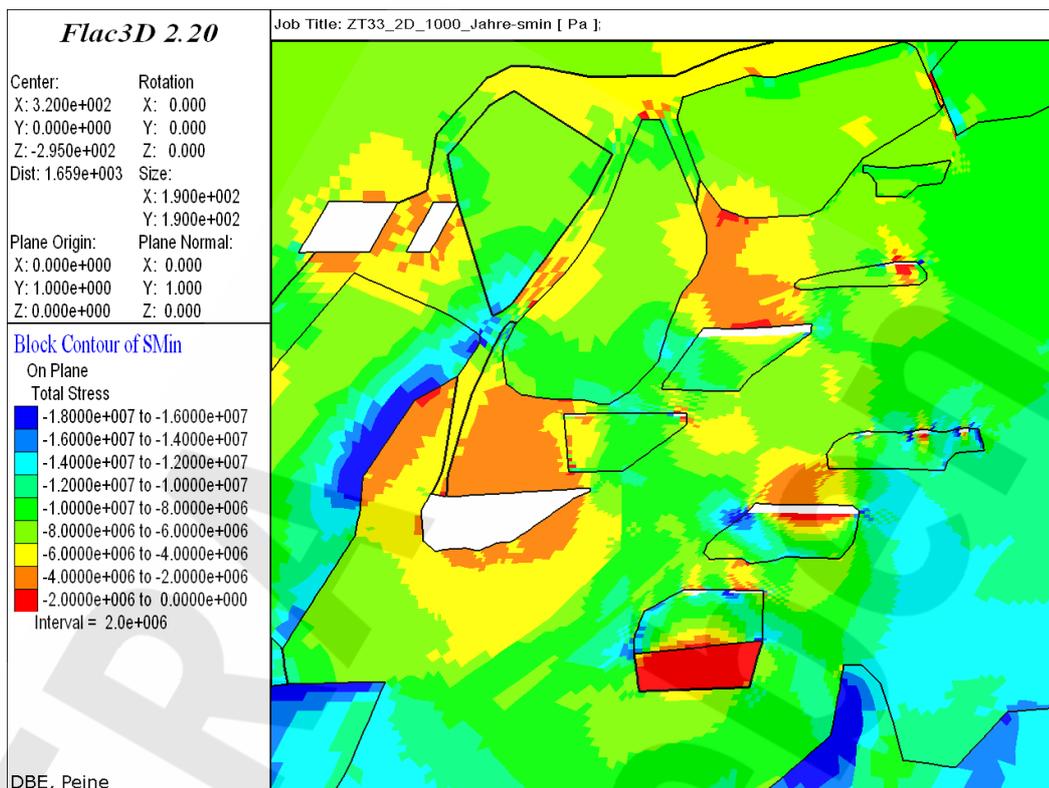


Anhang 100: Maximale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3 (2D-Modell)

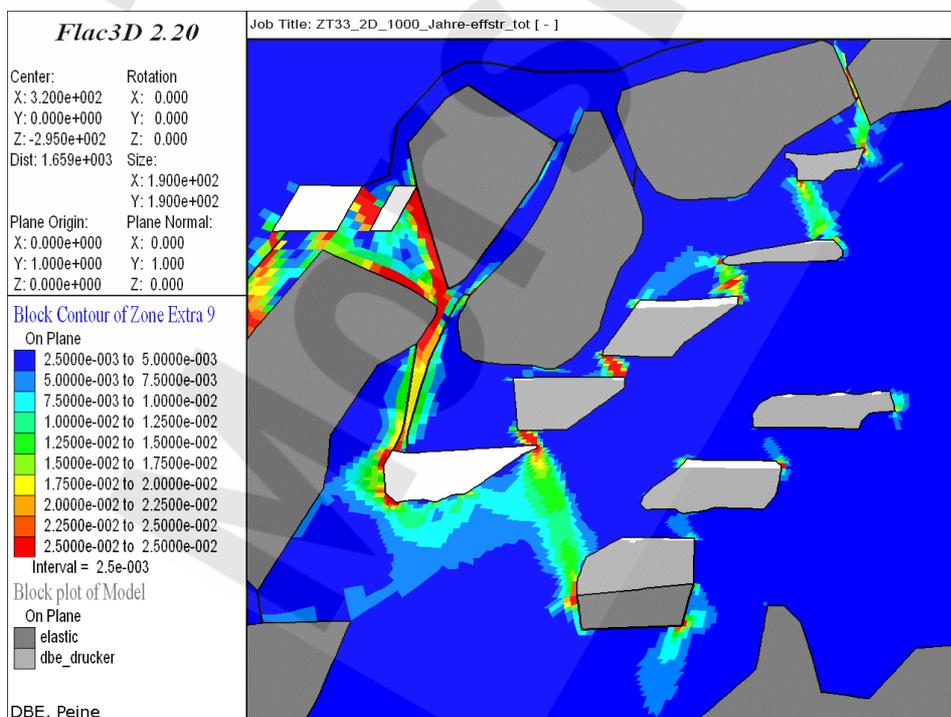
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 101: Minimale Hauptspannungen [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3 (2D-Modell)

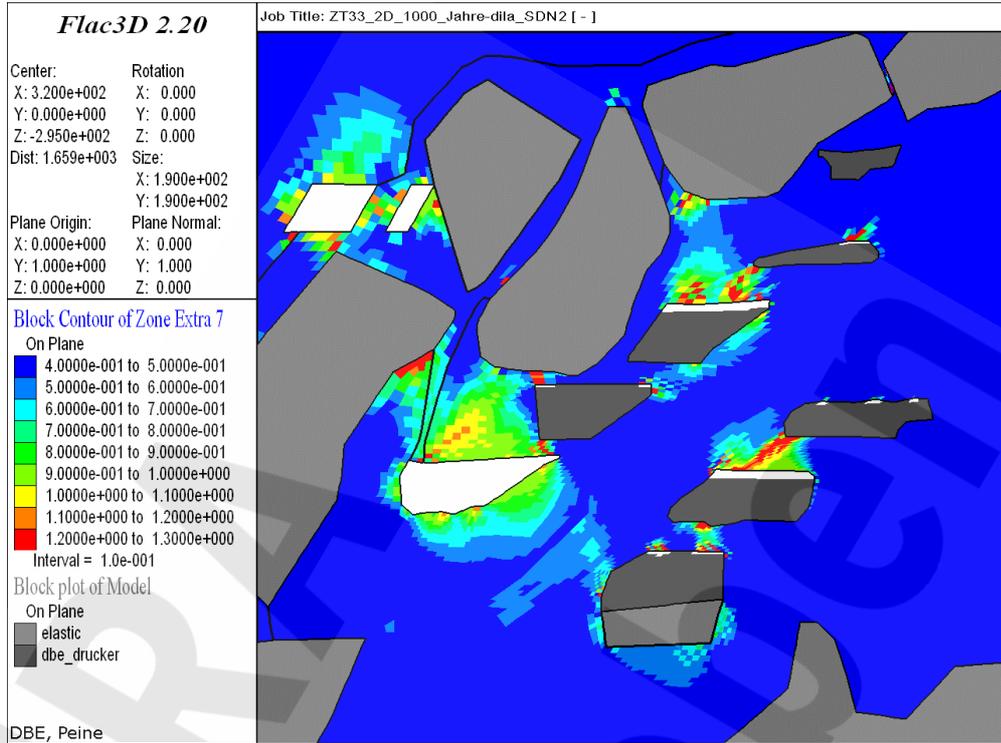


Anhang 102: Vergleichsdehnung [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3 (2D Modell)

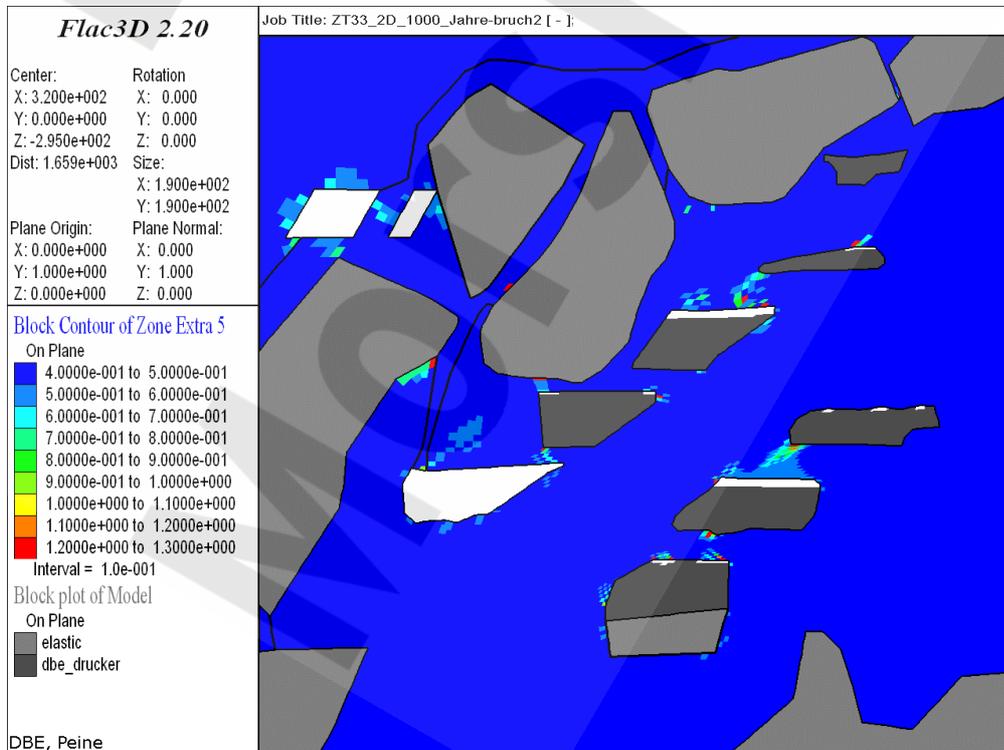
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 103: Dilatanzkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3 (2D Modell)

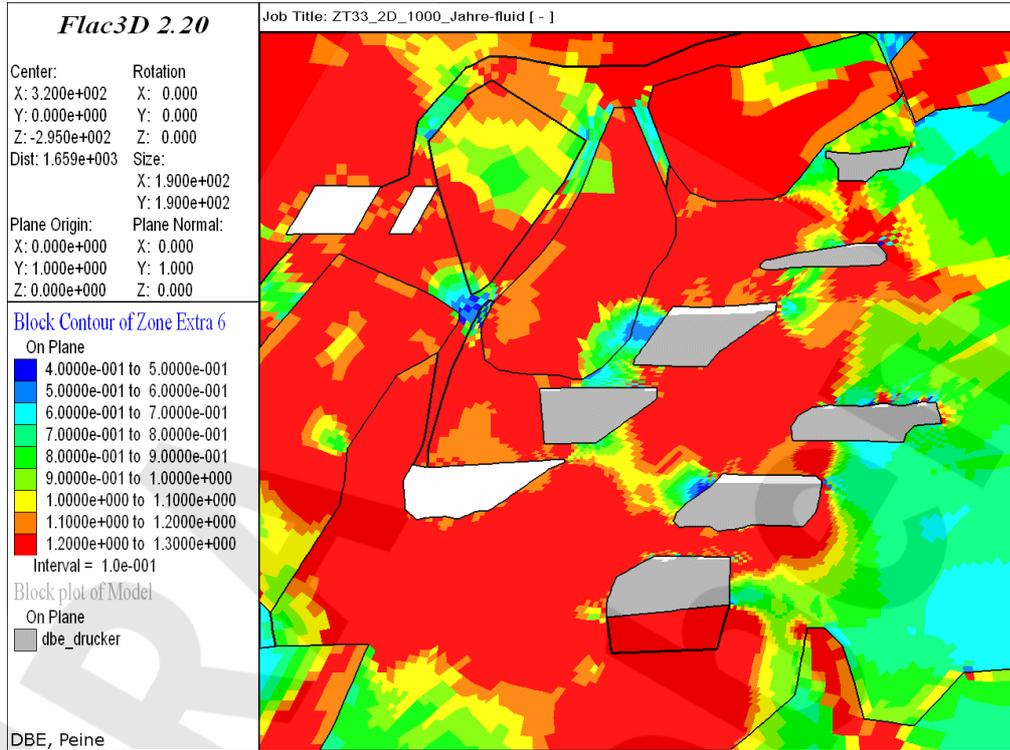


Anhang 104: Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3 (2D-Modell)

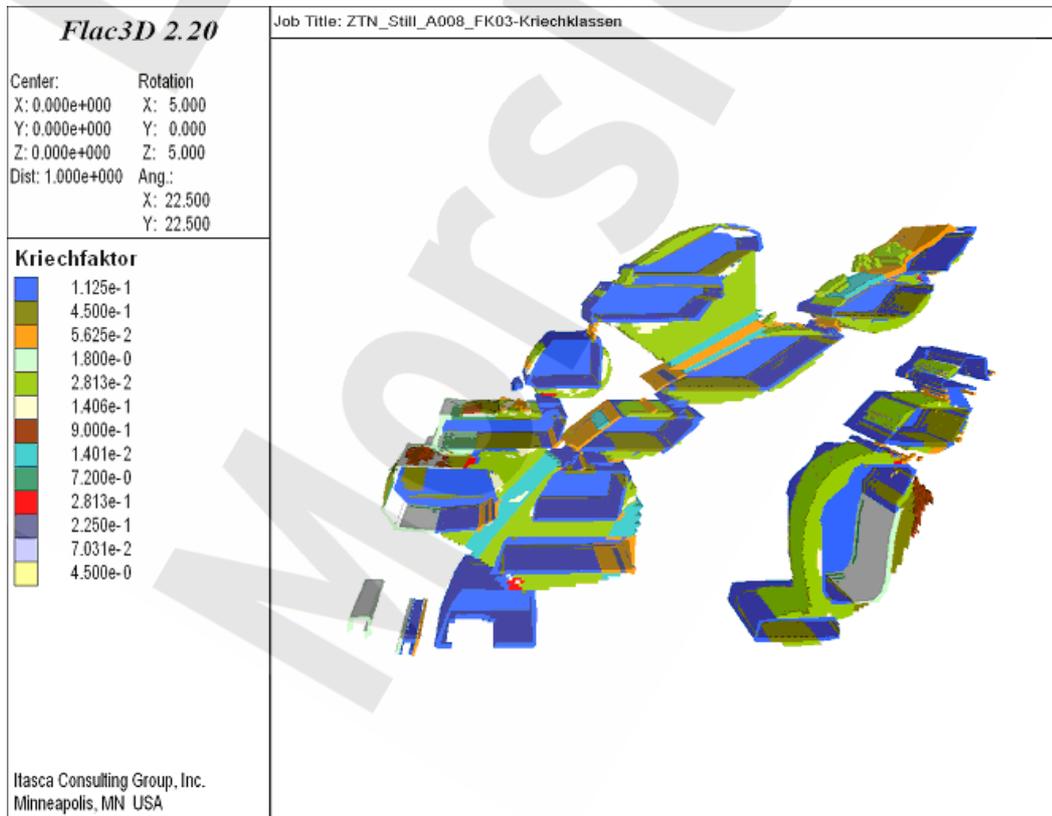
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben

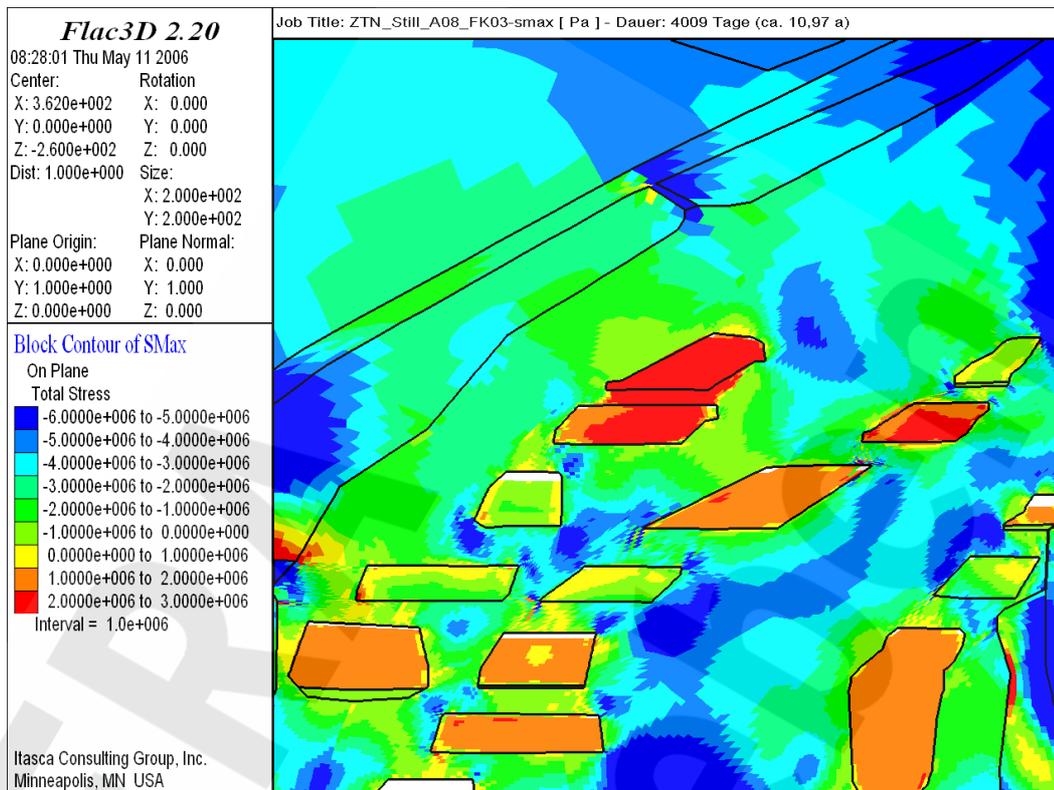


Anhang 105: Fluidkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/3017, 1000 Jahre nach Abschluss der Verfüllung im Modell ZT-3.3 (2D-Modell)

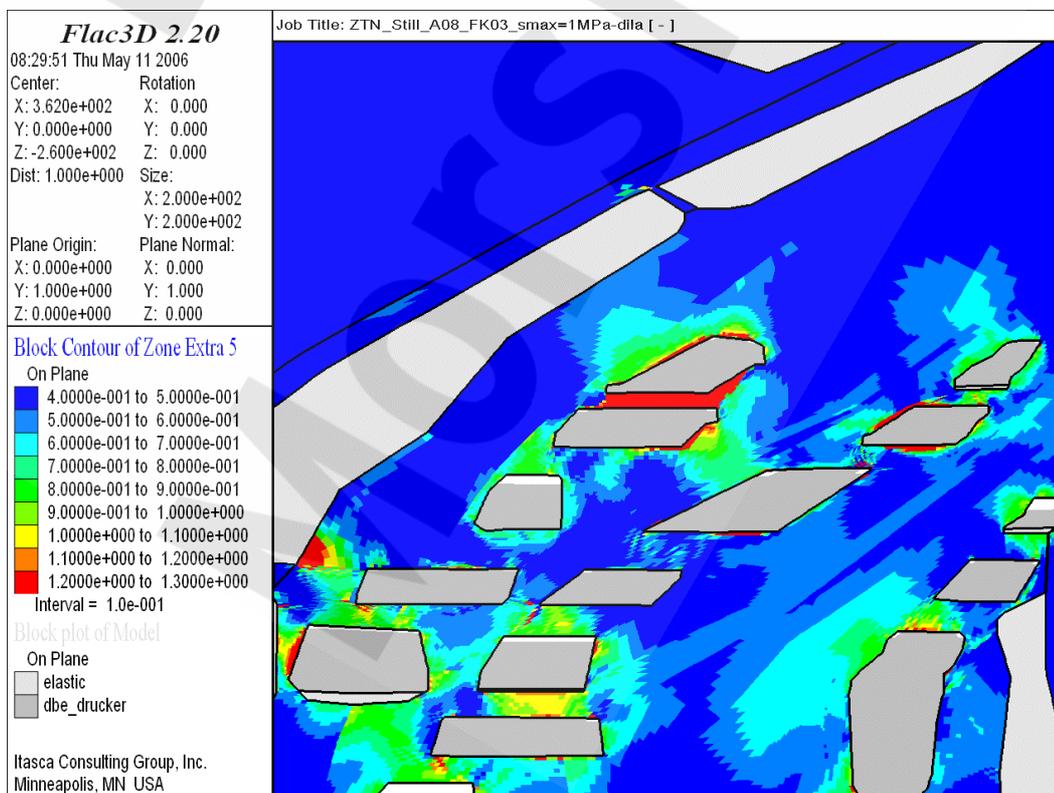


Anhang 106: Bereiche mit Ansatz von Feuchtekriechen, verwendete Kriechfaktoren AF, Modell ZTN-3.1

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	0010	01

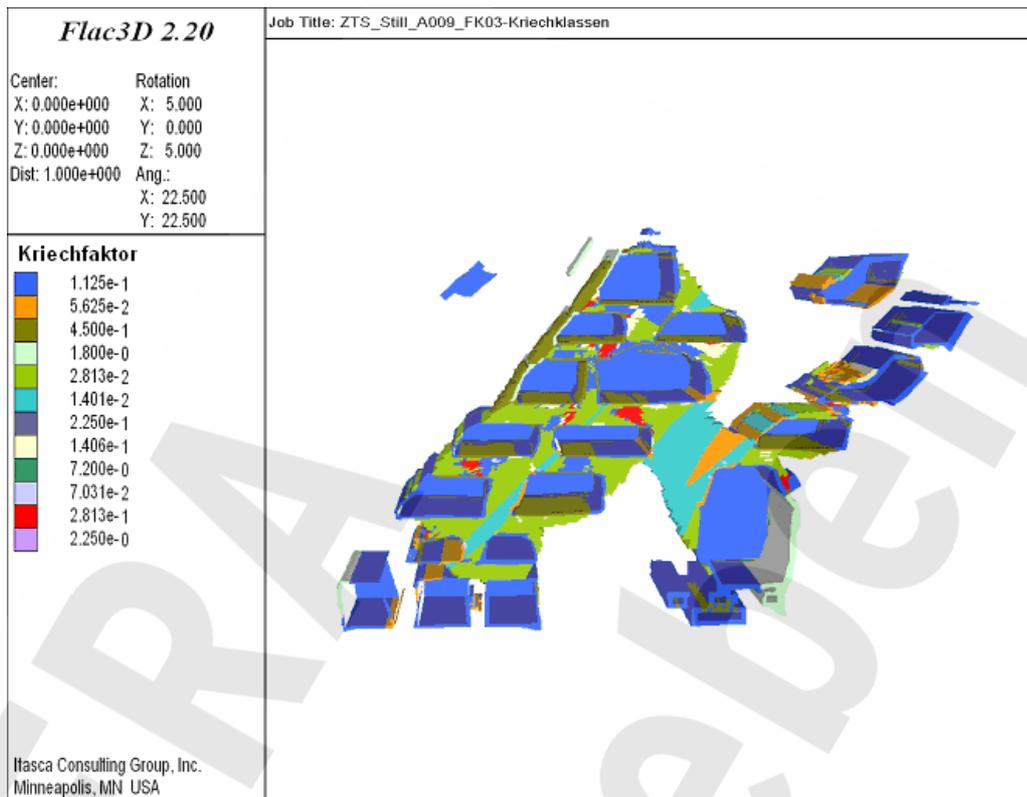


Anhang 107: Maximale Hauptspannung [Pa], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, mit Feuchtekriechen

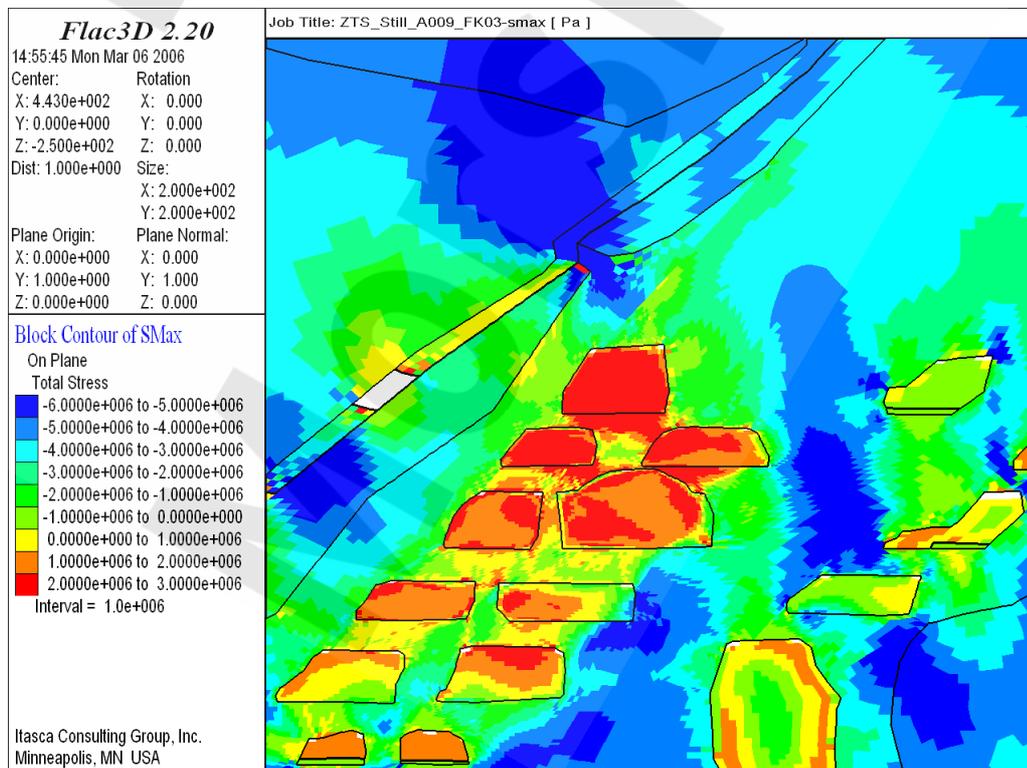


Anhang 108: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTN-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, mit Feuchtekriechen

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	0010	01



Anhang 109: Bereiche mit Ansatz von Feuchtekriechen, verwendete Kriechfaktoren AF, Modell ZTS-3.1

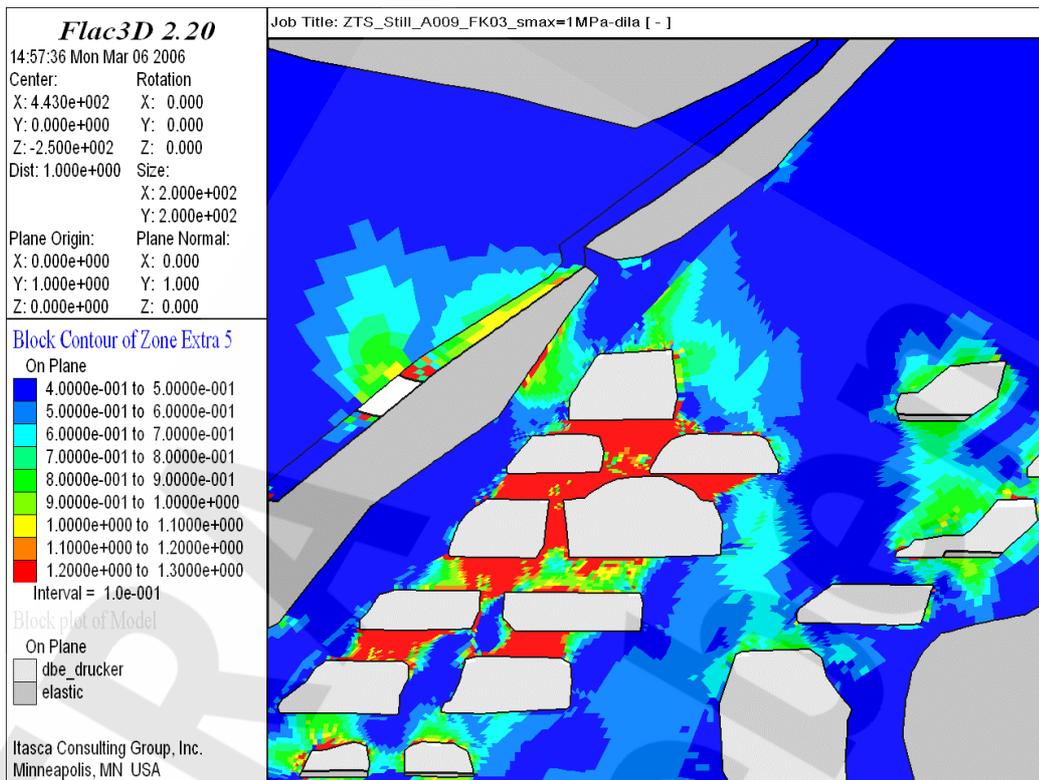


Anhang 110: Maximale Hauptspannung [Pa], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, mit Feuchtekriechen

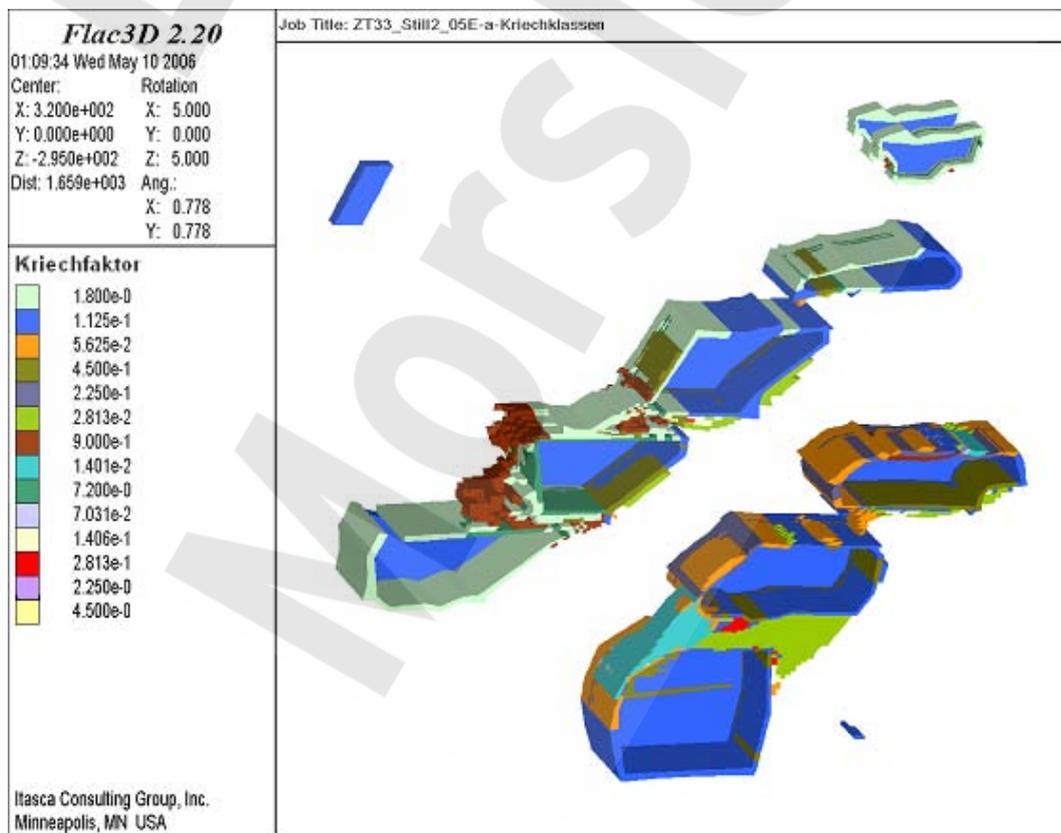
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 111: Dilatanzkriterium [-], Modell ZTS-3.1, Berechnungszeitpunkt 06/2017, mit Feuchtekrichen

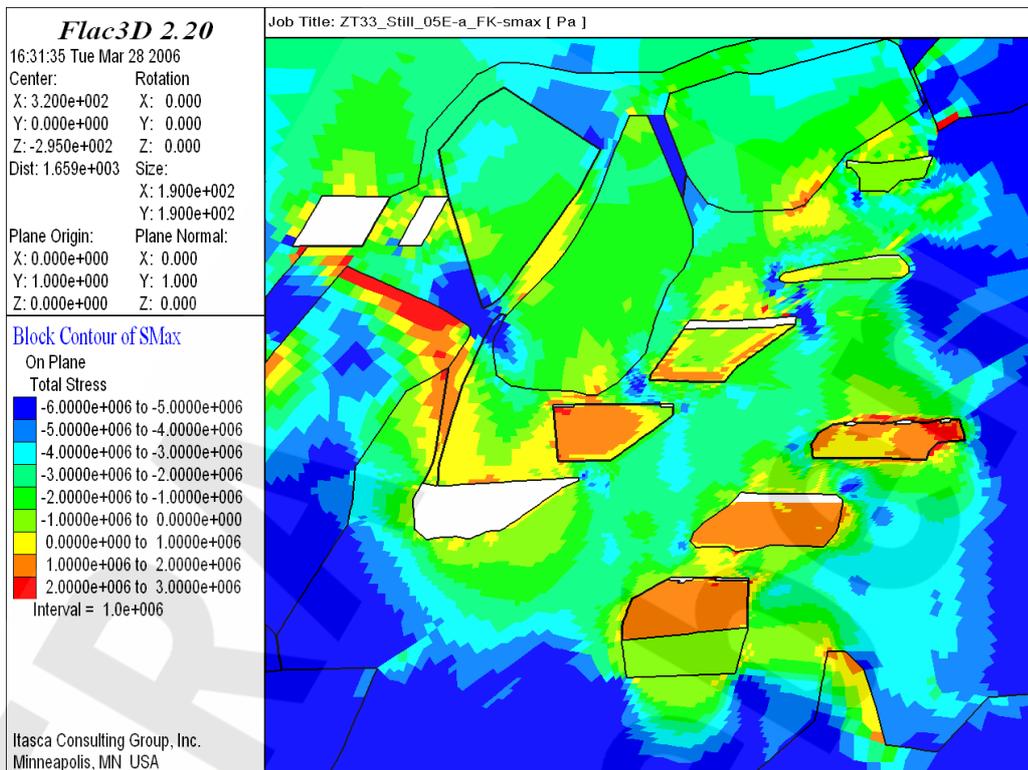


Anhang 112: Bereiche mit Ansatz von Feuchtekrichen, verwendete Kriechfaktoren AF, Modell ZT-3.3

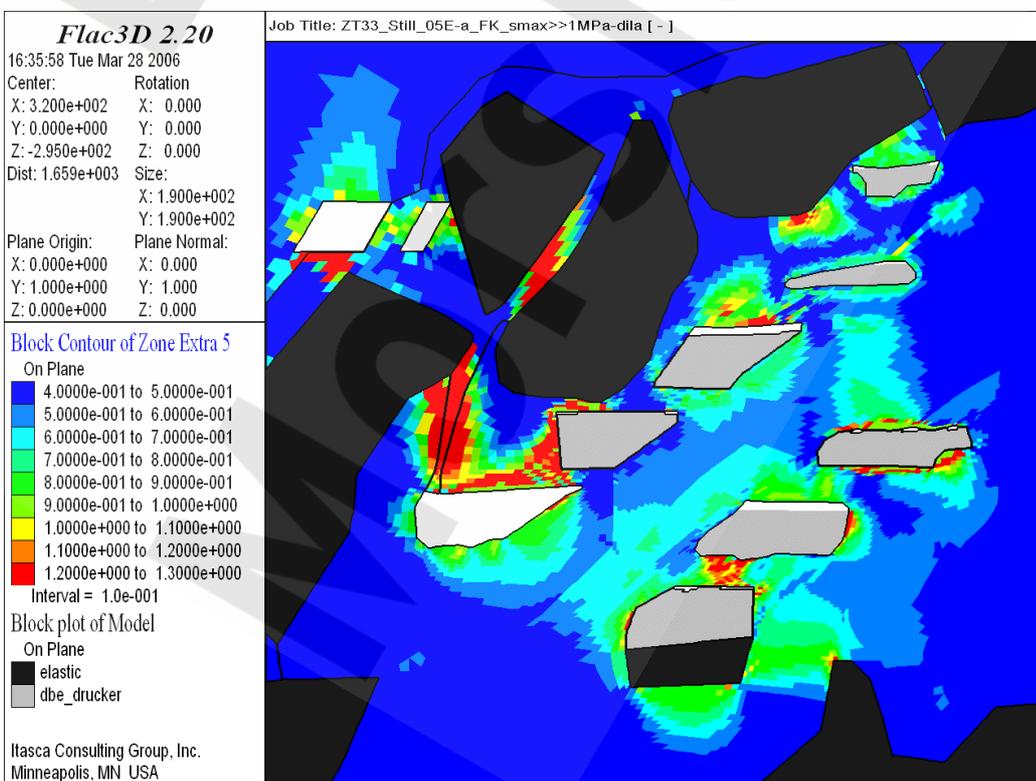
Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9M	22341011					GC	LD	0010	01



Standsticherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben



Anhang 113: Maximale Hauptspannung [Pa], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, mit Feuchtekrichen



Anhang 114: Dilatanzkriterium [-], Modell ZT-3.3, Berechnungszeitpunkt 06/2017, mit Feuchtekrichen



FEM-Modellierung

Geologie

Spuren von Flächen
nicht aufgeschlossen: wahrscheinlich
vermutet

Sattelachse
Muldenachse

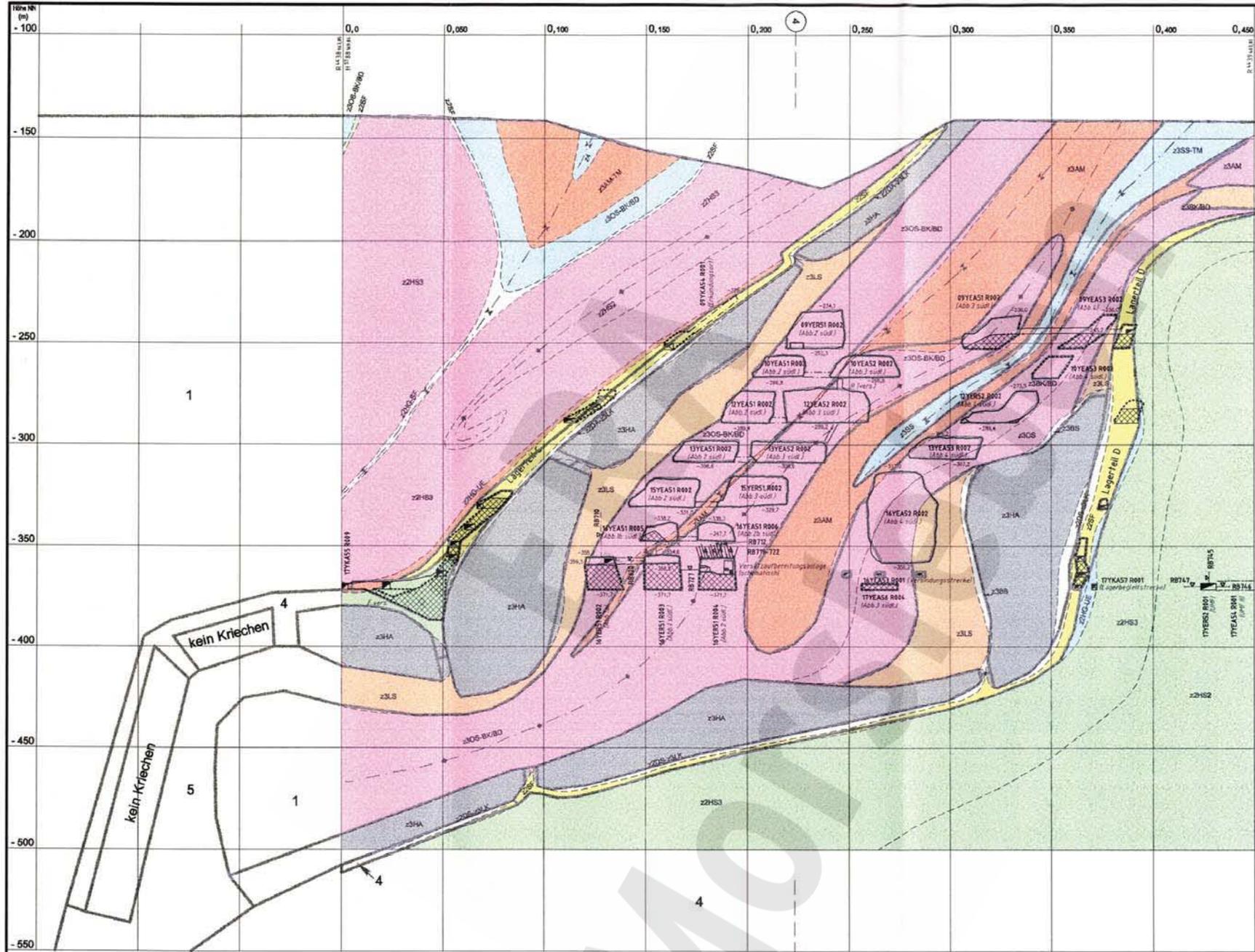
Kriechklassen

5	1
4	0
3	BGR-Camallit
2	kein Kriechen

Kriechklassen entnommen aus dem Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover: "ERA Morsleben – Gebirgsmechanische und geotechnische Untersuchungen im Labor und in situ. Abschlussbericht zum Arbeitspaket 9M 213 100 15; Ingenieurgeologische Erkundung von Homogenbereichen"

Geologie entnommen aus dem Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover: 2. Anhang zum Abschlussbericht "Struktureller Bau der Westflanke der Hauptmulde im Bereich des Abbau 1a"

Rev.		Stand	Änderung	gepr./freigeig. Unterschrift	Klassifizierung	Projekt: Morsleben		Basisplan 9M/GB/TY/0022/00	Projekt: N A A N		PSP-Element: N N N N N N N N N N	Obj.-Kernz: N N N N N N	Funktion: N N A A N N	Komponente: A A N N N A	Baugr: A A N N	Aufgabe: X A A X X	UA: N N N N	Lfd. Nr.: N N N N	Rev.: N N	CAD-Nr.: 32320600.DWG	Maßstab: - / -	Blattgröße: 420 X 297	MF-Nr.:	Blatt 1 von 1 Blatt
					Datum / Unterschrift		Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		9M		Titel:		Sonderschnitt ZTN-3.1 Geologie und Kriechklassen FEM - Modellierung											
					Datum		Name/Unterschrift		21.11.00		17.10.00		29.01.01		BFS		DBE							



FEM-Modellierung

Geologie

Spuren von Flächen
nicht aufgeschlossen: wahrscheinlich
vermutet

Sattellachse
Muldenachse

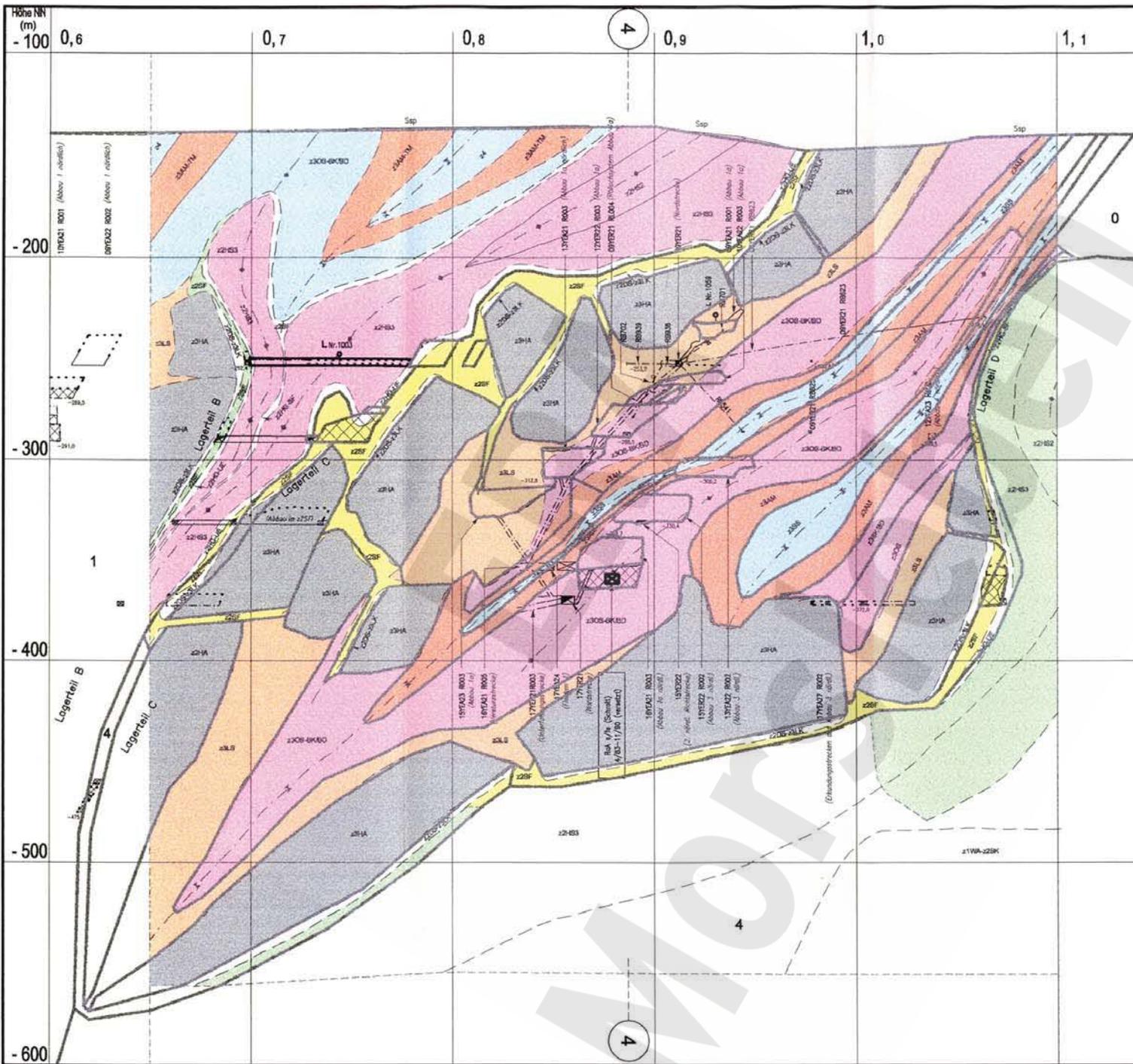
Kriechklassen

5	1
4	0
3	BGR-Camallit
2	kein Kriechen

Kriechklassen entnommen aus dem Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover: "ERA Morsleben - Gebirgsmechanische und geotechnische Untersuchungen im Labor und in situ. Abschlussbericht zum Arbeitspaket 9M 213 100 15, Ingenieur-geologische Erkundung von Homogenbereichen"

Geologie entnommen aus dem Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover: 2. Anhang zum Abschlussbericht "Struktureller Bau der Westflanke der Hauptmulde im Bereich des Abbau 1a"

Rev.		Stand	Änderung	gepr./freigeig. Unterschrift	Projekt: Morsleben	Basisplan 9M/GB/TY/0021/00	Projekt N A A N	PSP-Element N N N N N N N N N N	Obj.-Kennz. N N N N N	Funktion N N A A A N N	Komponente A A A N N A	Baugr. X A A X X	Aufgabe G C	UA T Y	Lfd.Nr. 0004	Rev. 00	CAD-Nr. 32320500.DWG	Maßstab - / -	Blattgröße 420 X 297	MF-Nr.	Blatt 1 von 1 Blatt			
					Datum 17.11.00	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		9M		Bfs		DBE		Titel: Sonderschnitt ZTS-3.1 Geologie und Kriechklassen FEM - Modellierung									
					bearb. 17.10.00																			
					gepr. 29.01.01																			
					Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.																			



- FEM-Modellierung**
- Geologie**
- Spuren von Flächen nicht aufgeschlossen: wahrscheinlich vermutet
 - Sattelachse
 - Muldenachse
- Kriechklassen**
- | | |
|---|---------------|
| 5 | 1 |
| 4 | 0 |
| 3 | BGR-Camallit |
| 2 | kein Kriechen |
- Kriechklassen entnommen aus dem Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover: "ERA Morsteleben - Gebirgsmechanische und geotechnische Untersuchungen im Labor und in situ. Abschlussbericht zum Arbeitspaket 9M 213 100 15; Ingenieurgeologische Erkundung von Homogenbereichen"
- Geologie entnommen aus dem Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover: 2. Anhang zum Abschlussbericht: "Struktureller Bau der Westflanke der Hauptmulde im Bereich des Abbaus 1a"

Freigabe	Freigabe DBE												
Datum / Unterschrift													
Projekt	PSP-Element	Obj-Kennz.	Funktion	Komponente	Baugr.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	CAD-Nr.	Maßstab	Blattgröße	MF-Nr.
9M	NNNNNNNN	NNNNN	NNNNN	NNNN	NNNN	NNNN	GC	TY	0006	00	32320800	1:2000	420 X 297
Titel:										Sonderschnitt ZT-3.3			
										Geologie und Kriechklassen			
										FEM - Modellierung			
										Blatt 1 von 1 Blatt			

Rev.	Stand	Änderung	gepr. / freigegeben	Unterschrift	Projekt:	Morsleben	Basisplan:	9M/GB/TY/0024/00	Ersteller und Zeichnungsnummer	Fremd
					Datum	26.01.01	Name/Unterschrift			
					bearb.	17.10.00				
					gepr.	29.01.01				
Klassifizierung					Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.					

