

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: Verfüllung von Strecken mit hohen Anforderungen
Konzeptplanung und Nachweisführung

Autor: DBE

Erscheinungsjahr: 2004

Unterlagen-Nr.: P 195

Revision: 00

Unterlagenteil: Teil 1 von 2



Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Zusammenfassung

Stichworte: Abdichtungen, Anforderungen, Konstruktion, Nachweise, Nachweiskriterien, Planungsrandbedingungen

Im Rahmen der Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wird eine weitgehende Verfüllung der Grubenbaue mit Salzbeton vorgenommen. Dabei werden als wesentlicher Bestandteil des Stilllegungskonzeptes ausgewählte Strecken und Rolllöcher abgedichtet. Die Aufgabe dieser Abdichtungen ist es, die Einlagerungsbereiche von der Restgrube zu trennen, da potentielle Zutrittspfade für Lösungen nur für die Restgrube existieren. Die Position der Abdichtungen ergibt sich deshalb aus der Anbindung der Einlagerungsbereiche an die Restgrube sowie aus der Anordnung der geologischen Einheiten. Die Abdichtungen sind vorzugsweise im Steinsalz angeordnet.

Um die Einlagerungsbereiche des ERAM gegenüber der Restgrube abzudichten, werden 21 Abdichtungen errichtet. Die grundlegende Anforderung an die Abdichtungen ergibt sich aus dem Langzeitsicherheitsnachweis. Für die dem Langzeitsicherheitsnachweis zu Grunde gelegten Abmessungen der Abdichtungen ist mindestens ein querschnittsgemittelter hydraulischer Widerstand als Anfangswert zu gewährleisten, der einer Permeabilität $k = 10^{-18} \text{ m}^2$ entspricht.

Auf Grund der geologischen und bergbaulichen Situation ist die zur Verfügung stehende Länge für die Abdichtungen z. T. gering. Aus diesem Grund wird eine Abdichtungskonstruktion gewählt, bei der das Dichtelement auch die Widerlagerfunktion ausübt. Somit kann die gemäß Langzeitsicherheitsnachweis geforderte Länge an hydraulisch wirksamem Widerstand immer erzielt werden. Konstruktiv bestehen die Abdichtungen aus einem oder mehreren Segmenten, die hintereinander angeordnet werden. Die einzelnen Segmente werden durch plastische Fugen voneinander getrennt. Für die Segmente ist Salzbeton M2 als Referenzmaterial vorgesehen.

Für die Abdichtungen ist sowohl die Standsicherheit als auch der hydraulische Widerstand zu bewerten. Zunächst wird der Nachweis der Rissbeschränkung geführt, um zu zeigen, dass sich der hydraulische Anfangswiderstand in Folge (thermo)mechanischer Einwirkungen nicht verschlechtert. Unter der Voraussetzung der Rissbeschränkung wird der quantitative Nachweis der Langzeitstabilität/Dauerhaftigkeit mittels gesonderter Untersuchungen geführt.

Die Bemessung der Abdichtungen nimmt Bezug auf die für das ERAM geltenden Bemessungssituationen im zu betrachtenden Zeitraum. Bei Bemessungssituationen handelt es sich um die

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 4

Bauzustände, das über einen langen Zeitraum trockene Endlager sowie das zugelaufene Endlager.

Für die Bauzustände wird der Nachweis der Rissbeschränkung mittels eines Temperaturdifferenzkriteriums geführt.

Für das lange Zeit trockene Endlager sowie das zugelaufene Endlager wird der Nachweis der Rissbeschränkung mittels verschiedener, spannungsbezogener Kriterien geführt, wobei die einzelnen Elemente der Abdichtung – Abdichtungskörper, Auflockerungszone im Salz und Kontaktzone zwischen Abdichtungskörper und Salzkontur - sowie verschiedene Nachweiszeiträume unterschieden werden. So kommt für den Abdichtungskörper ein Festigkeitskriterium sowie für verschiedene Elemente der Abdichtung das Dilatanzkriterium für Salz zur Anwendung. Zur Bewertung der Auflockerungszone wird i.d.R. das Fluidkriterium herangezogen, in Einzelfällen wird die momentane, effektive Dilatanzbedingung unter Ansatz eines fiktiven Porendruckes von 6 MPa, dem im Betrachtungszeitraum maximal zu erwartenden Fluiddruck, ausgewertet.

Für die Abdichtung in der nördlichen Verbindungsstrecke zwischen Hartsalz-Lagerteil B und Carnallit-Lagerteil C auf der 3. Sohle werden die Ergebnisse einer exemplarischen Nachweisführung mittels numerischer Berechnungen dargestellt. Die Abdichtung besteht nur aus einem einzigen Segment und stellt eine der auslegungsrelevanten Abdichtungen dar. Die Ergebnisse der exemplarischen Nachweisführung sind nachstehend zusammengefasst.

Im Rahmen thermischer Berechnungen konnte gezeigt werden, dass das Temperaturdifferenzkriterium bei einem technisch realisierbaren Verfüllvorgang mit gekühltem Salzbeton eingehalten wird. Für die Bauzustände ist damit der Nachweis der Rissbeschränkung geführt. Ein alternativer Nachweis auf Grundlage eines genaueren Stoffmodells wird derzeit erarbeitet, um die notwendige Kühlung des Salzbetons zu verringern oder ggf. ganz zu vermeiden.

Im Rahmen der mechanischen Berechnungen für das trockene und das zugelaufene Endlager konnte der Nachweis der Rissbeschränkung auf Basis der spannungsbasierten Kriterien für alle betrachteten Berechnungsfälle geführt werden. Dabei wurde der zeitliche Verlauf des Fluiddruckanstiegs berücksichtigt.

Damit ist nachgewiesen, dass die Abdichtung in der nördlichen Verbindungsstrecke auf der 3. Sohle den Anforderungen gemäß Langzeitsicherheitsnachweis erfüllt.

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Inhaltsverzeichnis

	Blatt
Zusammenfassung	3
Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
Anhangsverzeichnis	9
Verzeichnis der Anlagen	15
1 Einleitung	17
2 Analyse der Grundlagen	18
2.1 Stilllegungskonzept	18
2.2 Standortspezifische Planungsrandbedingungen	18
2.3 Anforderungen gemäß Langzeitsicherheitsnachweis und Randbedingungen	18
2.4 Kriterien für die Auswahl der Standorte	21
2.5 Standorte und Abmessungen	23
3 Planungskonzept	26
3.1 Materialien	26
3.1.1 Abdichtungskörper	26
3.1.2 Verpressmaterialien	28
3.2 Konstruktionsprinzip – Vorzugsvariante	29
4 Sicherheitsnachweisconcept	34
4.1 Methode der Teilsicherheitsbeiwerte	35
4.2 Grenzzustände	37
4.3 Nachweisführung für die Abdichtungsbauwerke	37
4.3.1 Bewertung des hydraulischen Widerstandes	38
4.3.1.1 Grenzzustand	38
4.3.1.2 Einwirkungen	39
4.3.1.3 Widerstände	39
4.3.2 Standortspezifische Überprüfung der Erreichbarkeit des Nachweisziels	42
4.3.2.1 Auflockerungszone	42
4.3.2.2 Abdichtungskörper	46
4.3.2.3 Kontaktzone Streckensaum – Abdichtungskörper	48
4.4 Ermittlung der maßgebenden Abdichtung	51
5 Nachweise und Nachweiskriterien	62

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AAANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 6

5.1	Einwirkungen und Beanspruchungen	63
5.2	Bemessungssituationen und zugeordnete Nachweisziele	64
5.3	Gefährdungsbilder aus mechanischen Einwirkungen, erforderliche Nachweise und Nachweiskriterien für Abdichtungen im Salz	64
5.3.1	Bemessungssituation Bauzustände für die Abdichtungen im Salz	65
5.3.2	Bemessungssituation trockenes Endlager ohne Gasdruck für die Abdichtungen im Salz	70
5.3.3	Bemessungssituation zugelaufenes Endlager für die Abdichtungen im Salz	74
6	Exemplarische Nachweisführung	77
6.1	Beschreibung des Auslegungsbeispiels	77
6.2	Materialverhalten	79
6.2.1	Mechanisches Verhalten	79
6.2.2	Thermisches Verhalten	81
6.2.3	Hydratationsmodell für Salzbeton	82
6.3	Berechnungsmethode	86
6.4	Berechnungsmodelle	87
6.4.1	3D-Modell	87
6.4.2	Belastungsgeschichte	92
6.5	Ergebnisse	95
6.5.1	Bauzustände	97
6.5.2	Zustand der Strecke vor Beginn des Nachschnitts	103
6.5.3	Zustand der Strecke vor Beginn der Errichtung der Streckenabdichtung	104
6.5.4	Lange trockenes Endlager	104
6.5.5	Zulauf innerhalb von 2500 Jahren	110
6.5.6	Berücksichtigung des zeitlichen Druckaufbaus	114
6.5.7	Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse	117
7	Technische Realisierung der Vorzugsvariante	119
7.1	Beschreibung der Vorzugsvariante	119
7.1.1	Verfahrensbeschreibung	120
7.1.2	Maschinen und Geräteeinsatz	122
7.1.3	Qualitätssicherung	123
7.1.3.1	Vorbereitung der Strecken und der Baustelle	124
7.1.3.2	Baustoffe	125
7.1.3.3	Einbau der Abdichtungssegmente	125
7.2	Standortspezifische Prüfung der Vorzugsvariante	126

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 7

8	Besondere Lokationen	130
8.1	Abdichtung des Ostquerschlages im Anhydrit	130
8.2	Abdichtungen an Kalilagern	130
8.3	Abdichtung des Wetterrollochs südlich	131
8.4	Verbindungsstrecke Bergemühle – Wetterstrecke südlich	132
9	Literaturverzeichnis	133
10	Glossar	139

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.3-1:	Zeitlicher Verlauf der Gasdruckentwicklung und des Hohlraumvolumens bei gasundurchlässigen Abdichtungen (oben: Ostfeld, unten: West-Südfeld) im Referenzfall des Langzeitsicherheitsnachweises	20
Abbildung 2.4-1:	Beispiel für die Anordnung von Abdichtungen (Zentralteil, 2. Sohle) auf Grundlage des geologischen Sohlenrisses - 291 mNN nach /2/	22
Abbildung 3.2-1:	Schematische Darstellung eines Abdichtungssegmentes	30
Abbildung 3.2-2:	Einfluss der Temperaturdifferenz auf die Rissbildung /11/	31
Abbildung 3.2-3:	Schematische Anordnung der Manschettenrohre zur Ringinjektion eines Abdichtungssegmentes	32
Abbildung 3.2-4:	Wirkungsprinzip der nachinjizierten Vorzugsvariante	33
Abbildung 4-1:	Überblick über Zuverlässigkeitsverfahren /12/. Level II und Level III - Verfahren sind probabilistische Verfahren (FORM = First Order Reliability Method)	35
Abbildung 4.3-1:	Ergebnisse von vergleichenden Permeabilitätsmessungen in Auflockerungszonen in der Asse, offene Strecke (oben), nach 80 Jahre dauerndem Aufkriechen von Salz (unten)	45
Abbildung 5.3-1:	Laborergebnisse zum Schwindverhalten von Salzbeton M2	66
Abbildung 5.3-2:	Zeitlicher Verlauf des Schwindens nach DIN 4227 in Abhängigkeit der wirksamen Körperdicke d_{ef} /29/	68
Abbildung 5.3-3:	Darstellung der Bruch- und Dilatanzgrenze von Salz gegenüber der Bruch- und Dilatanzgrenze von Salzbeton M2	73
Abbildung 6.5-1:	Temperatur–Zeit–Verlauf für die Hydratation der Streckenabdichtung im Referenzfall BF0-1	98

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 8

Abbildung 6.5-2:	Temperatur–Zeit–Verlauf für die Hydratation der Streckenabdichtung bei Variation der Lagenhöhe, BF0-2	99
Abbildung 6.5-3:	Temperatur–Zeit–Verlauf für die Hydratation der Streckenabdichtung bei Variation der Verfüllpause und der Lagenhöhe, BF0-3	100
Abbildung 6.5-4:	Maximale Temperaturdifferenzen innerhalb der Streckenabdichtung in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des M2; BF0-4 bis BF0-6	101
Abbildung 6.5-5:	Temperatur–Zeit–Verlauf für die Hydratation der Streckenabdichtung bei Variation der Einbringtemperatur und der Lagenhöhe, BF0-11	102
Abbildung 6.5-6:	Maximale Temperaturdifferenz innerhalb der Streckenabdichtung in Abhängigkeit von der Einbringtemperatur des M2	102
Abbildung 6.5-7:	Zeitliche Entwicklung (0 - 100 Jahre) der Hauptspannungen (BF1, Auswertezone P9)	105
Abbildung 6.5-8:	Zeitliche Entwicklung (0 – 30000 Jahre) der Hauptspannungen (BF1, Auswertezone P9)	106
Abbildung 6.5-9:	Zeitliche Entwicklung (0 - 100 Jahre) der Hauptspannungen (BF2, Auswertezone P9)	108
Abbildung 6.5-10:	Zeitliche Entwicklung (0 – 30000 Jahre) der Hauptspannungen (BF2, Auswertezone P9)	108
Abbildung 6.5-11:	Maximal zulässiger Fluiddruck in Abhängigkeit von der Zeit	115
Abbildung 6.5-12:	Gegenüberstellung des maximal zulässigen Fluiddruck mit verschiedenen Berechnungsannahmen als Funktion der Zeit bei 24 m wirksamer Abdichtungslänge	116
Abbildung 6.5-13:	Wirksame Länge der Abdichtung als Funktion der Zeit bei einem Fluiddruck vom 6 MPa	117

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.5-1:	Standorte und Abmessungen der Abdichtungen gemäß Langzeitsicherheitsnachweis	24
Tabelle 3.1-1:	Einsatzmöglichkeiten von Einpressgut in Fels /8/, s = Öffnungsweite der Risse, Klüfte und Spalten	28
Tabelle 4.3-1:	Ergebnisse von Permeabilitätsmessungen in der Auflockerungszone im Steinsalz im ERAM /19/, n. e. steht für „nicht ermittelt“	43
Tabelle 4.4-1:	Durchflussraten gemäß Gl. (4-3) bei einer Permeabilität von 10^{-18} m^2	53

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 9

Tabelle 4.4-2: Durchflussraten gemäß Gl. (4-3) durch die Auflockerungszone bei einer Permeabilität von 10^{-16} m^2	55
Tabelle 4.4-3: Durchflussrate durch die Kontaktzone, vergleichende Auswertung verschiedener Ansätze	56
Tabelle 5.1-1: Bemessungssituationen und zugeordnete Nachweisziele	64
Tabelle 6.2-1: Elastische Parameter der im Modell erfassten Materialien	79
Tabelle 6.2-2: Thermische Parameter der Materialien	81
Tabelle 6.4-1: Überblick zu den im numerischen Modell erfassten stratigraphischen Einheiten und Angaben zu deren geomechanischer Umsetzung	89
Tabelle 6.4-2: Überblick über die mechanischen Berechnungsfälle	91
Tabelle 6.4-3: Überblick über die thermischen Berechnungsvarianten	93
Tabelle 6.4-4: Belastungsgeschichte Berechnungsfall BF1	94
Tabelle 6.4-5: Belastungsgeschichte Berechnungsfall BF2	94
Tabelle 6.4-6: Belastungsgeschichte Berechnungsfall BF3	94
Tabelle 6.4-7: Belastungsgeschichte Berechnungsfall BF4	95
Tabelle 6.5-1: Überblick über die Ergebnisse der thermischen Berechnungsvarianten	103
Tabelle 7.2-1: Grubenbaue mit Standorten der qualifizierten Streckenverfüllungen	128

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Ausschnitt des 3D-Modells mit Darstellung der geologischen Situation und Modellabmessungen	150
Anhang 2: Querschnitt der Nördlichen Verbindungsstrecke 15YKA26/R001 mit Darstellung des im numerischen Modell verwendeten Nachschnittprofils und dessen geometrische Abmessungen	151
Anhang 3: Ausschnitt des 3D-Modells mit Darstellung der Vernetzung im Bereich der Streckenabdichtung	152
Anhang 4: Ausschnitt des 3D-Modells entlang des Schnittes S1 mit Darstellung der Lage der Schnitte S2 – S4	153
Anhang 5: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 01/2004 (vor dem Nachschnitt)	154
Anhang 6: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 01/2004 (vor dem Nachschnitt)	155

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	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 10

Anhang 7:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 01/2004 (vor dem Nachschnitt)	156
Anhang 8:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 01/2004 (vor dem Nachschnitt)	157
Anhang 9:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2004 (vor Errichtung der Streckenabdichtung)	158
Anhang 10:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2004 (vor Errichtung der Streckenabdichtung)	159
Anhang 11:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2004 (vor Errichtung der Streckenabdichtung)	160
Anhang 12:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2004 (vor Errichtung der Streckenabdichtung)	161
Anhang 13:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4	162
Anhang 14:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4	163
Anhang 15:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4	164
Anhang 16:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4	165
Anhang 17:	Festigkeitskriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4	166
Anhang 18:	Festigkeitskriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4	167
Anhang 19:	Fluidkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4	168
Anhang 20:	Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4	169
Anhang 21:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF1	170
Anhang 22:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF1	171
Anhang 23:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF1	172
Anhang 24:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF1	173

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	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 11

Anhang 25:	Fluidkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF1	174
Anhang 26:	Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF1	175
Anhang 27:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF1	176
Anhang 28:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF1	177
Anhang 29:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF1	178
Anhang 30:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF1	179
Anhang 31:	Fluidkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF1	180
Anhang 32:	Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF1	181
Anhang 33:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2	182
Anhang 34:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2	183
Anhang 35:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2	184
Anhang 36:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2	185
Anhang 37:	Festigkeitskriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2	186
Anhang 38:	Festigkeitskriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2	187
Anhang 39:	Fluidkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2	188
Anhang 40:	Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2	189
Anhang 41:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF2	190
Anhang 42:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF2	191

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	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 12

Anhang 43:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF2	192
Anhang 44:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF2	193
Anhang 45:	Fluidkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF2	194
Anhang 46:	Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF2	195
Anhang 47:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF2	196
Anhang 48:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF2	197
Anhang 49:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF2	198
Anhang 50:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF2	199
Anhang 51:	Fluidkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF2	200
Anhang 52:	Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF2	201
Anhang 53:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF3	202
Anhang 54:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF3	203
Anhang 55:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF3	204
Anhang 56:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF3	205
Anhang 57:	Fluidkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF3	206
Anhang 58:	Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF3	207
Anhang 59:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF3	208
Anhang 60:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF3	209

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	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 13

Anhang 61:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF3	210
Anhang 62:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF3	211
Anhang 63:	Fluidkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF3	212
Anhang 64:	Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF3	213
Anhang 65:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4404 (2400 a), BF4	214
Anhang 66:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4404 (2400 a), BF4	215
Anhang 67:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4404 (2400 a), BF4	216
Anhang 68:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4404 (2400 a), BF4	217
Anhang 69:	Fluidkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4404 (2400 a), BF4	218
Anhang 70:	Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4404 (2400 a), BF4	219
Anhang 71:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF4	220
Anhang 72:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF4	221
Anhang 73:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF4	222
Anhang 74:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF4	223
Anhang 75:	Fluidkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF4	224
Anhang 76:	Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF4	225
Anhang 77:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF4	226
Anhang 78:	Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF4	227

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 14

Anhang 79:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF4	228
Anhang 80:	Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF4	229
Anhang 81:	Fluidkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF4	230
Anhang 82:	Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF4	231
Anhang 83:	Wetterrolloch südlich, 1. bis 4. Sohle (nicht maßstäblich)	232

Blattzahl der Unterlage: 232

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verzeichnis der Anlagen

	Blattzahl der Anlage
Anlage 1: Sonderschnitt ZT-3.3, Ausschnitt aus dem Schnitttriss 3.3 Geologie und Kriechklassen, Dok.-Kenn. 9M/GB/TY/0024/01	1 Blatt
Anlage 2: Abdichtungssegment nördliche Verbindungsstrecke -332 mNN Sohle Dok.-Kenn. 9M/22310111/15Y/GH/TB/0001/00	1 Blatt
Anlage 3: Grubenbaue mit Standorten möglicher Streckenverfüllungen –253 mNN Sohle Blatt Helmstedt Ost 20.1 Dok.-Kenn. 9M/09Y/GH/TF/0002/00	1 Blatt
Anlage 4: Grubenbaue mit Standorten möglicher Streckenverfüllungen –291 mNN Sohle, Blatt Helmstedt Ost 20.1 Dok.-Kenn. 9M/12Y/GH/TF/0004/00	1 Blatt
Anlage 5: Grubenbaue mit Standorten möglicher Streckenverfüllungen –291 mNN Sohle, Blatt Helmstedt Ost. 20.2 Dok.-Kenn. 9M/12Y/GH/TF/0006/00	1 Blatt
Anlage 6: Grubenbaue mit Standorten möglicher Streckenverfüllungen –291 mNN Sohle, Blatt Helmstedt Ost 20.3 Dok.-Kenn. 9M/12Y/GH/TF/0005/00	1 Blatt

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 16

- Anlage 7: Grubenbaue mit Standorten möglicher Streckenverfüllungen –332 mNN Sohle, Blatt Helmstedt Ost 15.3
Dok.-Kenn. 9M/15Y/GH/TF/0005/00 1 Blatt
- Anlage 8: Grubenbaue mit Standorten möglicher Streckenverfüllungen –332 mNN Sohle, Blatt Helmstedt Ost 20.1
Dok.-Kenn. 9M/15Y/GH/TF/0003/00 1 Blatt
- Anlage 9: Grubenbaue mit Standorten möglicher Streckenverfüllungen -332 mNN Sohle, Blatt Helmstedt Ost 20.3
Dok.-Kenn. 9M/15Y/GH/TF/0004/00 1 Blatt
- Anlage 10: Grubenbaue mit Standorten möglicher Streckenverfüllungen –372 mNN Sohle, Blatt Helmstedt Ost 15.3
Dok.-Kenn. 9M/17Y/GH/TF/0004/00 1 Blatt
- Anlage 11: Grubenbaue mit Standorten möglicher Streckenverfüllungen –372 mNN Sohle, Blatt Helmstedt Ost 20.1
Dok.-Kenn. 9M/17Y/GH/TF/0005/00 1 Blatt
- Anlage 12: Grubenbaue mit Standorten möglicher Streckenverfüllungen –372 mNN Sohle (4. Sohle Bartensleben)
Blatt Helmstedt Ost 20.2
Dok.-Kenn. 9M/17Y/GH/TF/0007/00 1 Blatt

Gesamte Blattzahl dieser Unterlage: 244

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

1 Einleitung

Im Rahmen der Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) werden als wesentlicher Bestandteil des Stilllegungskonzeptes ausgewählte Strecken und Rolllöcher qualifiziert verfüllt. An die Verfüllung dieser Strecken und Rolllöcher bestehen besondere Anforderungen; sie werden auch als Abdichtungen bezeichnet. Ihre Aufgabe ist es, die Einlagerungsbereiche von der Restgrube zu trennen, wobei als Restgrube die Grubenbaue außerhalb der Einlagerungsbereiche bezeichnet werden.

Für die Abdichtung der Einlagerungsbereiche des ERAM von der Restgrube sind 21 Abdichtungen vorgesehen.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

2 Analyse der Grundlagen

2.1 Stilllegungskonzept

Die Maßnahmen zur Stilllegung des ERAM sehen eine weitgehende Verfüllung der bestehenden Hohlräume des gesamten Grubengebäudes mit Salzbeton vor. Die Verfüllung dient der Stabilisierung des Grubengebäudes sowie dem Erhalt der derzeit vorhandenen Salzbarriere. Des Weiteren wird das Lösungspotenzial an den Kalilagern durch die Verfüllung begrenzt. Durch die nahezu vollständige Verfüllung in weiten Teilen des Grubengebäudes werden hydraulische Widerstände geschaffen, die die Bewegung von Salzlösungen im Grubengebäude generell einschränken und damit die Ausbreitung von kontaminierten Lösungen verzögern. Da diese Widerstände jedoch nicht quantifizierbar sind, ist vorgesehen, die Einlagerungsbereiche, in denen sich die radioaktiven Abfälle befinden, durch Abdichtungen vom restlichen Grubengebäude zu trennen. Zur Abdichtung der Schächte Bartensleben und Marie sind Schachtverschlüsse vorgesehen.

2.2 Standortspezifische Planungsrandbedingungen

Bei der Planung der Abdichtungen ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen einer bergrechtlichen Gefahrenabwehrmaßnahme im Zentralteil Bartensleben (bGZ) und der Stilllegung des ERAM Teile des Grubengebäudes mit Salzbeton stabilisierend verfüllt werden. Insgesamt ist das Einbringen von ca. 4,7 Mill. m³ Salzbeton geplant. Auch die angrenzenden Grubenbaue vor und hinter den Abdichtungen werden mit Salzbeton verfüllt.

2.3 Anforderungen gemäß Langzeitsicherheitsnachweis und Randbedingungen

Die grundlegende Anforderung an die Abdichtungen ergibt sich aus dem Langzeitsicherheitsnachweis. Für die dem Langzeitsicherheitsnachweis zu Grunde gelegten Abmessungen der Abdichtungen ist ein querschnittsgemittelter hydraulischer Widerstand als Anfangswert zu gewährleisten, der sich bei einer Permeabilität $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$ ergibt.

Bei der aufgeführten Anforderung handelt es sich um den Anfangswert des hydraulischen Widerstandes. Eine Zunahme der Permeabilität ist durchaus zulässig, da sich mit zunehmendem radioaktiven Zerfall die Anforderungen an die Abdichtungen verringern. Eine Permeabilitäts-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

höhung in Folge Korrosion wird in den Langzeitsicherheitsanalysen berücksichtigt und die Einhaltung der Werte des § 47 StrISchV gezeigt.

Des Weiteren wird im Langzeitsicherheitsnachweis eine mögliche Reduktion des Anfangswertes der wirksamen Länge der Abdichtungen auf das 0,8fache ihres Wertes berücksichtigt.

Es ist zu beachten, dass sich die Abdichtung aus den Elementen Abdichtungskörper, der Kontaktzone zwischen Streckenkontur und Abdichtungskörper sowie der Auflockerungszone im Salz zusammensetzt. Für diese drei Elemente ist somit der Nachweis einer hinreichend geringen Anfangspermeabilität zu führen sowie die langzeitliche Entwicklung der Permeabilität zu betrachten. Im Hinblick auf die zeitliche Entwicklung der Permeabilität kann ersatzweise der Nachweis der Standsicherheit und Rissbeschränkung geführt werden. Dieser wird durch den Nachweis einer hinreichenden Langzeitstabilität/Dauerhaftigkeit ergänzt, wobei die vorgegebene Bandbreite des geochemischen Milieus zu beachten ist.

Das geochemische Milieu nach Stilllegung des ERAM ist an verschiedenen Orten nicht eindeutig bestimmbar und darüber hinaus zeitlich veränderlich. Deshalb ist für die Abdichtungen eine Bandbreite von Laugenzusammensetzungen zu betrachten, die durch NaCl-gesättigte Salzlösung und IP21-Lösung repräsentiert ist.

Untersättigte Salzlösungen sind nicht zu betrachten, da durch Verfüllung des ERAM mit Salzbeton auf jedem potentiellen Zutrittspfad zu den Abdichtungen Salz-Aufsättigung gewährleistet ist.

Auf Grund der Teufenlage der abzudichtenden Strecken muss bei Ansatz eines Laugenspiegels bis zur Tagesoberfläche auf der Zuflussseite der Abdichtungen von einem maximalen Lösungsdruck von 6 MPa ausgegangen werden, d.h. mögliche Lösungsdrücke liegen zwischen 0 und 6 MPa. Der Fluiddruck auf der dem Einlagerungsbereich zugewandten Seite resultiert aus der möglichen Zersetzung gasbildender Stoffe. Der einwirkende Gasdruck ergibt sich aus dem Langzeitsicherheitsnachweis. Sein zeitlicher Verlauf für den Referenzfall des Langzeitsicherheitsnachweises ist in Abbildung 2.3-1 dargestellt /1/.

Da der Zutrittszeitpunkt von Salzlösungen nicht spezifiziert werden kann, werden im Langzeitsicherheitsnachweis die Fälle früher Zulauf und später Zulauf unterschieden. Dabei wird für den frühen Zutritt von Lösungen eine nahezu instantane Flutung der Restgrube und somit eine Druckbeaufschlagung innerhalb weniger Jahre angesetzt. In einem weitaus realistischeren Fall

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



wird der Flutungsvorgang der Restgrube mit berücksichtigt. Die Dauer dieses Vorganges (Prologphase) wird zu mindestens 2500 Jahren angenommen.

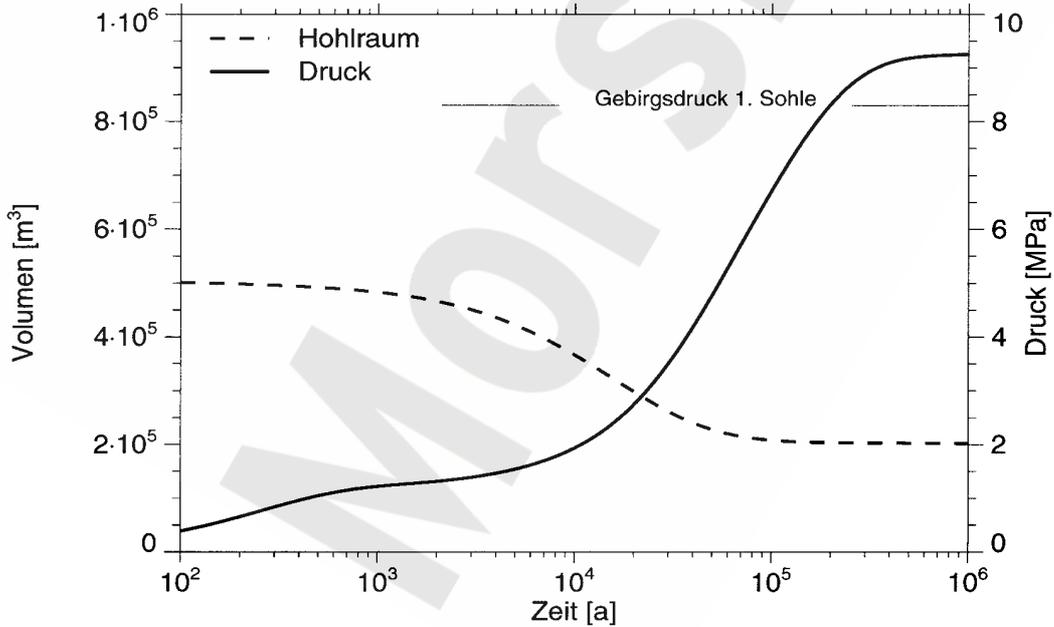
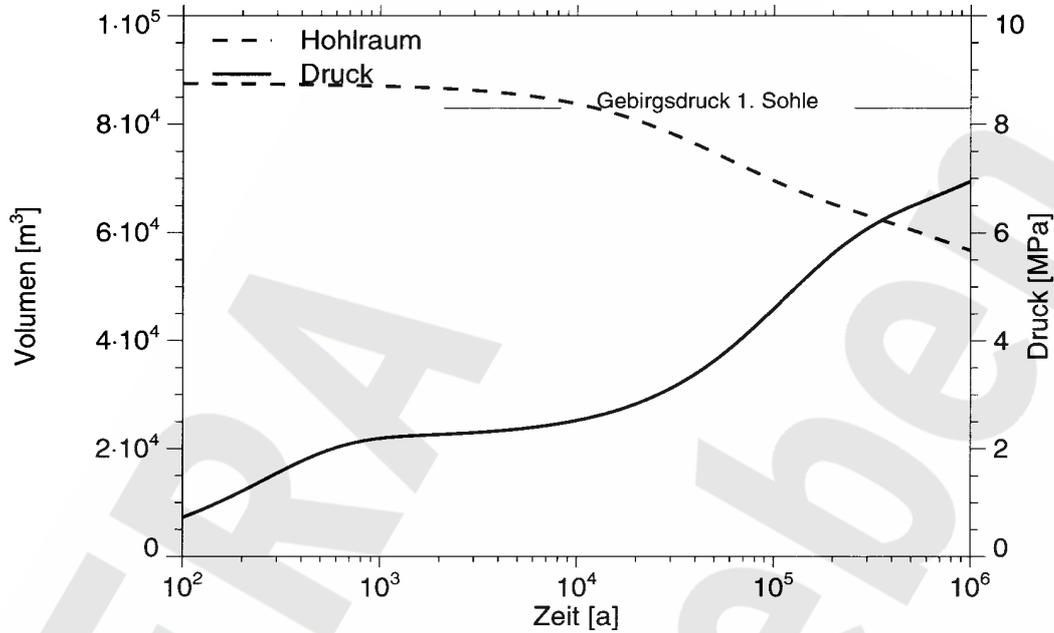
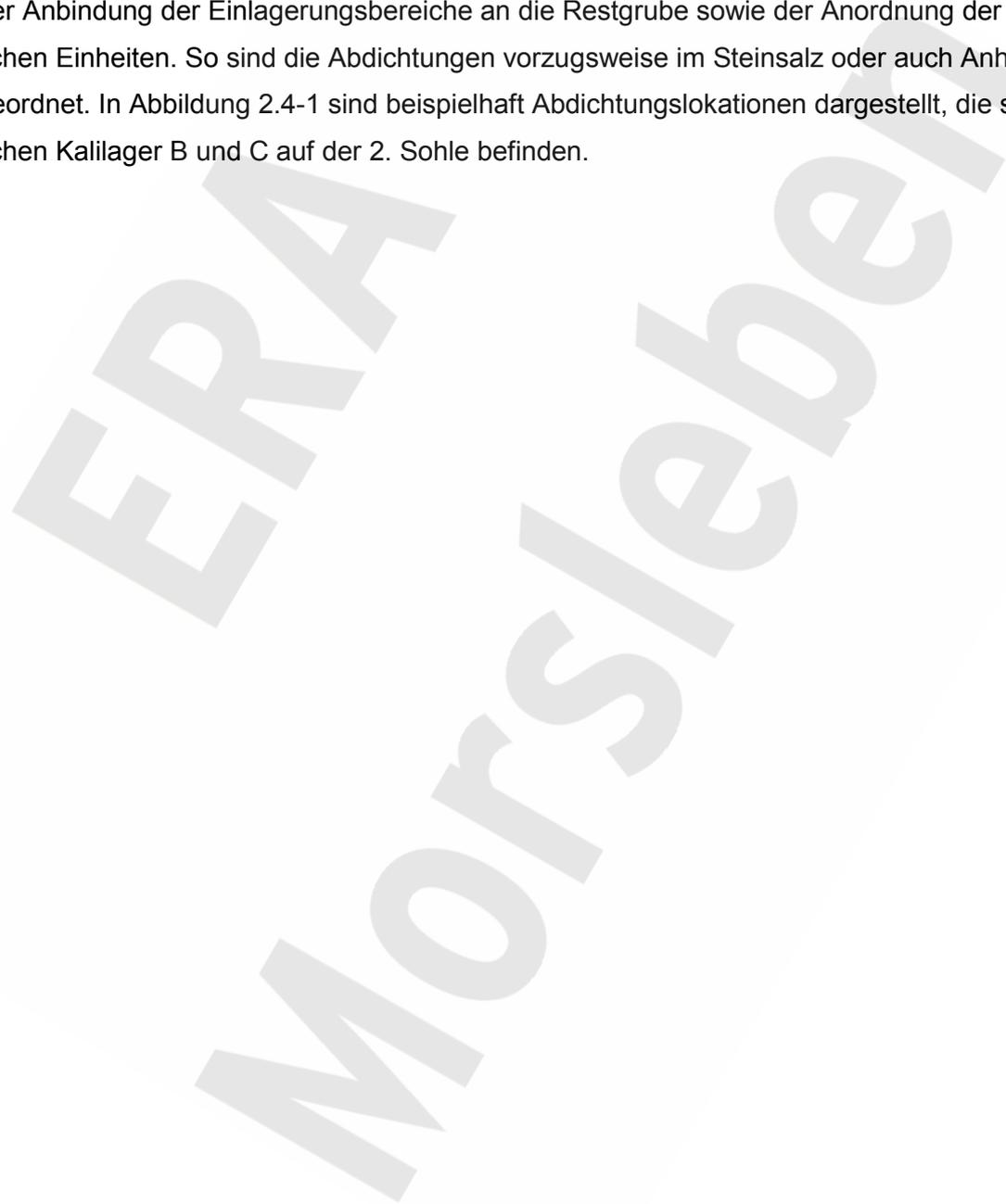


Abbildung 2.3-1: Zeitlicher Verlauf der Gasdruckentwicklung und des Hohlraumvolumens bei gasundurchlässigen Abdichtungen (oben: Ostfeld, unten: West-Südfeld) im Referenzfall des Langzeitsicherheitsnachweises

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

2.4 Kriterien für die Auswahl der Standorte

Potentielle Zutrittspfade für Lösungen existieren nur für die Restgrube, die Einlagerungsbereiche selbst weisen keine potentiellen Zutrittspfade auf, die über die bergmännische Erschließung der Einlagerungsbereiche hinausgehen. Die Position der Abdichtungen ergibt sich deshalb aus der Anbindung der Einlagerungsbereiche an die Restgrube sowie der Anordnung der geologischen Einheiten. So sind die Abdichtungen vorzugsweise im Steinsalz oder auch Anhydrit angeordnet. In Abbildung 2.4-1 sind beispielhaft Abdichtungslokationen dargestellt, die sich zwischen Kalilager B und C auf der 2. Sohle befinden.



Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

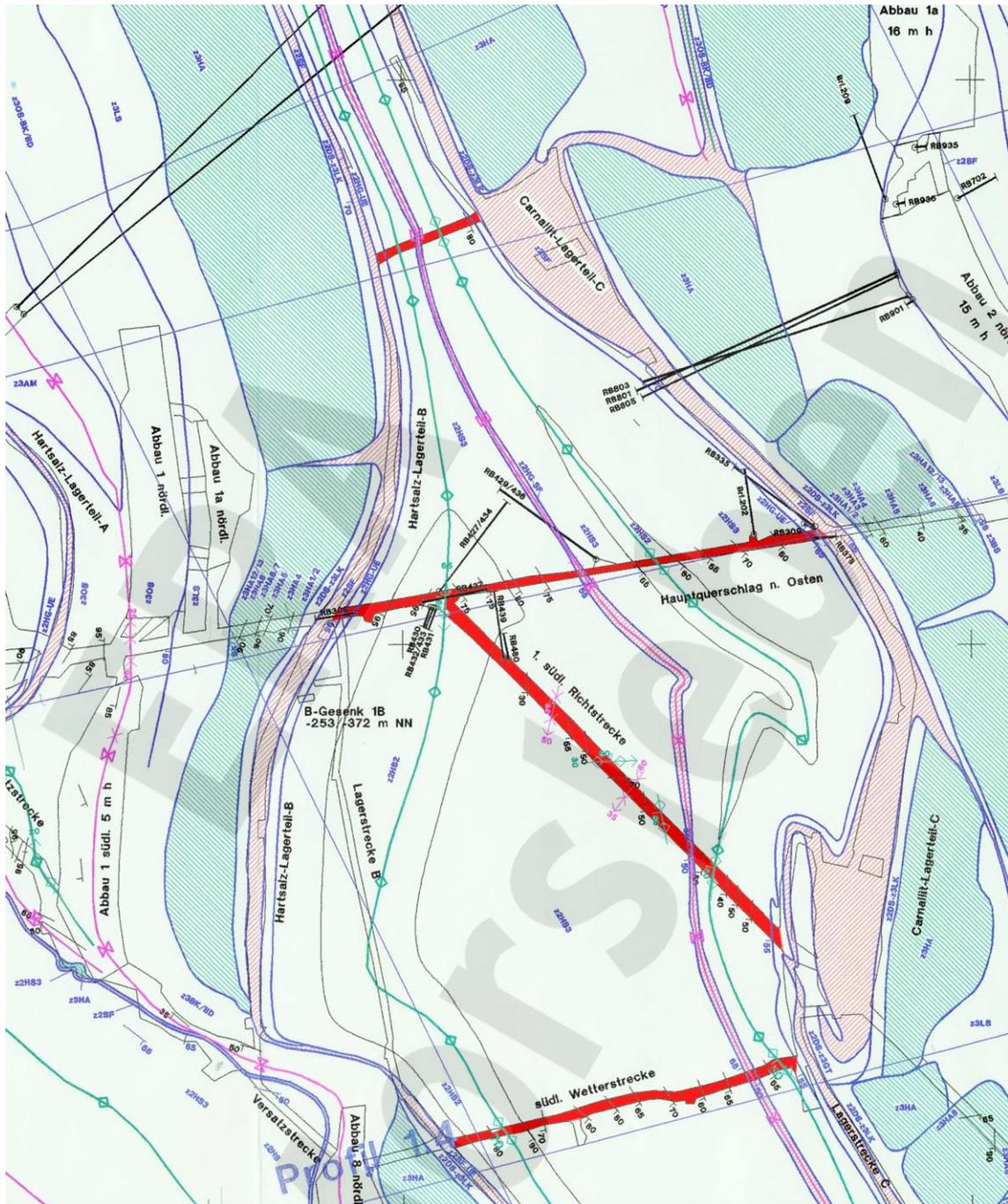


Abbildung 2.4-1: Beispiel für die Anordnung von Abdichtungen (Zentralteil, 2. Sohle) auf Grundlage des geologischen Sohlenrisses - 291 mNN nach /2/

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

2.5 Standorte und Abmessungen

In Tabelle 2.5-1 sind die abzudichtenden Einlagerungsbereiche, die Standorte der Abdichtungen und ihre Bezeichnung sowie die Länge der Abdichtungen und ihr Querschnitt angegeben. Die angegebenen Längen und Querschnitte sind die Eingangsdaten des Langzeitsicherheitsnachweises.

Einlagerungsbereich	Sohle	Bezeichnung	Länge [m]	Querschnitt [m ²]
Ostfeld	2. Sohle -291 mNN	Ostquerschlag (12YEQ01/R001) zwischen Kalilager D und Ostfeld	150	21
	4. Sohle -372 mNN	Ostquerschlag (17YEQ01/R001) zwischen Kalilager D und Ostfeld	150	22,5
Südfeld	1. Sohle -253 mNN	nördliche Verbindungsstrecke (09YEA25/R001) zwischen Kalilager B und C	75	17
	2. Sohle -291 mNN	nördliche Verbindungsstrecke (12YKA24/R001) zwischen Kalilager B und C	38	12
	3. Sohle -332 mNN	nördliche Verbindungsstrecke (15YKA26/R001) zwischen Kalilager B und C	26	18
	1. Sohle -253 mNN	Ostquerschlag (09YEQ01/R001) zwischen Kalilager B und C	75	20
	2. Sohle -291 mNN	Ostquerschlag (12YEQ01/R001) zwischen Kalilager B und C	75	20,5
	3. Sohle -332 mNN	Ostquerschlag (15YEQ01/R001) zwischen Kalilager B und C	75	21
	4. Sohle -372 mNN	Ostquerschlag (17YEQ01/R001) zwischen Kalilager B und C	26	26
	1. Sohle -253 mNN	Wetterstrecke südlich (09YEA52/R004)	75	16
	2. Sohle -291 mNN	Wetterstrecke südlich (12YER51/R002)	75	17,5
	3. Sohle -332 mNN	Wetterstrecke südlich (15YEA32/R002)	75	17,5

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Einlagerungsbereich	Sohle	Bezeichnung	Länge [m]	Querschnitt [m ²]
	3. Sohle -332 mNN	Verbindungsstrecke Bergemühle/südliche Wetterstrecke (15YEA32/R004)	40	12
	4. Sohle -372 mNN	Wetterstrecke südlich (17YER51/R003)	70	14,5
	2. Sohle -291 mNN	1. südliche Richtstrecke (12YER51/R001)	75	20
	1. Sohle -253 mNN	Wetterrollloch* (09YEA52/RL003) bis zur 2. Sohle	38	6
	2. Sohle -372 m NN	Wetterrollloch * (12YER51/RL003) bis zur 4. Sohle	81	6
	2. Sohle -291 mNN	nördliche Richtstrecke nach Marie (12YER21/R001)	200	29
	3. Sohle -332 mNN	1. nördliche Richtstrecke nach Marie (15YER21/R001)	200	17,5
Westfeld	3. Sohle -332 mNN	Westquerschlag (15YEQ02/R001)	25	12,5
	4. Sohle -372 mNN	Westquerschlag (17YEQ02/R001)	25	21
	4. Sohle -372 mNN	Richtstrecke nach Süden (17YER12/R001)	25	17,5
	4. Sohle -372 mNN	Störreservelager ** (17YEA31/R001)	25	23

* Die beiden Abschnitte des Wetterrollloches werden einer Abdichtung zugeordnet.

** Abdichtung alternativ zur Abdichtung in der Richtstrecke nach Süden

Tabelle 2.5-1: Standorte und Abmessungen der Abdichtungen gemäß Langzeitsicherheitsnachweis

Mit Ausnahme einer Abdichtung im Ostquerschlag, 4. Sohle (17YEQ01/R001), die sich im Anhydrit befindet, liegen alle Abdichtungen überwiegend im Steinsalz. In Einzelfällen sind lokal Kalibänder an den Abdichtungsstandorten im Streichen vorhanden. Sie werden im Rahmen des Langzeitsicherheitsnachweises behandelt /1/.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 25

Um die technische Machbarkeit der Abdichtungen einzuschätzen, wurden die folgenden Strecken gesondert befahren:

Nördliche Verbindungsstrecke 09YEA25/R001 (1. Sohle –253 mNN)

Wetterstrecke südlich 09YEA52/R004 (1. Sohle –253 mNN)

Nördliche Verbindungsstrecke 12YKA24/R001 (2. Sohle –291 mNN)

Wetterstrecke südlich 12YER51/R002 (2. Sohle –291 mNN)

Nördliche Verbindungsstrecke 15YKA24/R001 (3. Sohle –332 mNN)

Wetterstrecke südlich 15YEA32/R002 (3. Sohle –332 mNN)

Wetterstrecke südlich 17YER51/R003 (4. Sohle –372 mNN)

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass in den o.g. Strecken Abdichtungen realisiert werden können. Allerdings ist für die Herrichtung der Zugänglichkeit und Gewährleistung der Arbeitssicherheit z.T. ein hoher Aufwand erforderlich.

Die Wetterlöcher aus den südlichen Wetterstrecken zwischen der 1. und der 4. Sohle konnten wegen der engen Querschnitte und der fehlenden Arbeitssicherheit nicht befahren werden. Ihre Erkundung ist geplant. Ebenfalls nicht befahrbar ist die Verbindungsstrecke Bergemühle – Wetterstrecke südlich (15YEA32/R004), ihre Erkundung wird vorgenommen und die Zugänglichkeit geschaffen.

Die übrigen Strecken, in denen Abdichtungen vorgesehen sind, gehören zu den befahrbaren Strecken des ERAM. Insofern ist die technische Machbarkeit von Abdichtungen unter dem Aspekt der Zugänglichkeit gegeben.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

3 Planungskonzept

Auf Grund der geologischen und bergbaulichen Situation ist die zur Verfügung stehende Länge für die Abdichtungen z. T. gering, siehe Tabelle 2.5-1. Aus diesem Grund sind Abdichtungskonstruktionen zu bevorzugen, in denen das Dichtelement auch die Widerlagerfunktion ausübt. Somit wird eine maximale Länge am hydraulisch wirksamen Widerstand erzielt. Eine Trennung von Widerlager und Dichtelement sollte nur dann vorgenommen werden, wenn die bevorzugte Planungsvariante die Anforderungen nicht erfüllt.

Um eine einfache Konstruktion zu gewährleisten, besteht die Vorgabe, das Streckenprofil nicht zu verändern, d.h. sägezahnartige u. ä. Konstruktionen sind zu vermeiden.

3.1 Materialien

3.1.1 Abdichtungskörper

Für die Abdichtungen werden nur Materialien in Betracht gezogen, für die eine technisch wissenschaftliche Basis bezogen auf den Salzbergbau vorhanden ist. Weiterhin müssen für den Anwendungsfall die Grundlagen einer mathematisch technischen Beschreibung vorhanden sein, so dass eine Auslegung vorgenommen und die erforderlichen Sicherheitsnachweise geführt werden können. Auch müssen die technische Verarbeitbarkeit als Massenbaustoff (z. B. Pumpbarkeit) im Grundsatz bereits gewährleistet und die Größen, für die eine Qualitätssicherung vorgenommen wird, bekannt sein.

Folgende Materialien werden im Salzbergbau für Versatz- bzw. Abdichtungszwecke eingesetzt:

- (1a) Versatz mit Bindemittel auf Zementbasis (Solebeton, Salzmörtel, Salzbeton)
- (1b) Versatz mit Bindemittel auf Magnesiabasis
- (1c) Spülversatz aus Salinarkomponenten

Für Dichtelemente, die ein zusätzliches Widerlager erfordern, werden folgende Materialien im Salzbergbau eingesetzt:

- (2a) Bitumen/Asphalt
- (2b) Ton/Bentonit

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

(2c) Gelsysteme auf MgO-Basis

Für die unter (2) genannten Materialien sind Widerlager zur Gewährleistung der Lagestabilität des Dichtelementes erforderlich. Bei den Materialien gemäß (2a) und (2c) handelt es sich um hochviskose Flüssigkeiten, die in einer horizontalen Abdichtung unter Schwerkrafteinwirkung ohne Widerlager ihre Abdichtwirkung verlieren. Ob die Verwendung von Bentonit oder anderen Tonen zum Bau von kurzen horizontalen Abdichtungen unter Verzicht auf Widerlager möglich ist, ist nicht geklärt. Da nicht sichergestellt ist, dass die notwendigen Kenntnisse im erforderlichen Zeitraum zur Verfügung stehen, wird diese Variante nicht weiter betrachtet.

Ein Salzversatz aus rekristallisierenden Salinarkomponenten befindet sich derzeit in der Entwicklung. Da nicht sichergestellt ist, dass die zur Beschreibung des Versatzmaterials notwendigen Kenntnisse im erforderlichen Zeitraum zur Verfügung stehen, wird diese Variante ebenfalls nicht weiter betrachtet /3/.

Auf Grund des zusätzlich erforderlichen Widerlagers wird die Betrachtung der Materialien unter (2a)-(2c) vorläufig zurückgestellt.

Da das ERAM zum Zweck der Stabilisierung und Hohlraumminimierung mit Salzbeton (Referenzmaterialien M2 und M3) als Versatzmaterial verfüllt wird, stellt Salzbeton das Vorzugsmaterial dar, da damit automatisch die chemische Verträglichkeit des Versatzmaterials und des Materials der Abdichtungen gegeben ist. Des Weiteren stehen bereits technische Einrichtungen zur Herstellung des Salzbetons sowie zur Qualitätssicherung zur Verfügung.

Magnesiabinder (Referenzmischung 29.6) wurde vorsorglich in die Betrachtungen einbezogen, damit ein alternatives Material zur Verfügung steht. Durchgeführte Untersuchungen an der Magnesiabindermischung 29.6 zeigten im Vergleich zum Salzbeton M2 jedoch deutlich schlechtere Eigenschaften des Magnesiabinders in Bezug auf die Erfüllung der Anforderungen.

Material (1c) wurde nicht weiter untersucht, da für die Stilllegung des ERAM die Anforderung besteht, die Rückführung potentiell kontaminierter Wässer möglichst zu vermeiden /4/, d. h. sicherzustellen, dass überstehendes Wasser langfristig im Versatzmaterial gebunden werden kann /5/. Weiterhin ist eine technisch mathematische Beschreibung vom Spülversatz und seine Qualitätssicherung im Hinblick auf eine Abdichtungsfunktion nur sehr eingeschränkt vorhanden.

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Da für Salzbeton die geforderte technisch wissenschaftliche Grundlage gegeben ist /6/ und auf Grundlage von Korrosionsuntersuchungen am Referenzmaterial Salzbeton M2, theoretischen Betrachtungen und rechnerischen Analysen vorlaufend festgestellt wurde, dass für den Salzbeton M2 bei Nachweis einer Anfangspermeabilität von $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$ eine hinreichende Langzeitstabilität/Dauerhaftigkeit der Abdichtungen für den erforderlichen Betrachtungszeitraum gegeben ist /7/, um den Langzeitsicherheitsnachweis zu führen, stellt Salzbeton M2 das Vorzugsmaterial für die Abdichtungen dar.

3.1.2 Verpressmaterialien

Ein erster Überblick über Einsatzmöglichkeiten von Einpressgut im Fels ist in /8/ gegeben. Grenzen für die Verwendbarkeit einzelner Einpressmaterialien sind in Tabelle 3.1-1 aufgeführt, die /8/ entnommen wurde.

Öffnungsweiten der Hohlräume	Einpressgut	Einpresszweck (Abdichtung A, Verfestigung V)
Kavernöse Strukturen, Klüfte und Störungszonen $s > 10 \text{ mm}$	Zementmörtel, Zementpaste, Zementsuspension, Tonzementsuspension, Kunstharz	A,V
Klüfte und Risse $100 \text{ mm} > s > 0,1 \text{ mm}$	Zementsuspension, Tonzementsuspension und Silikatgel, Kunstharz	A,V
Klüfte und Risse $s < 0,1 \text{ mm}$	Silikatgel, Kunstharz	A,V

Tabelle 3.1-1: Einsatzmöglichkeiten von Einpressgut in Fels /8/, s = Öffnungsweite der Risse, Klüfte und Spalten

Auf Grund der nicht gesicherten Langzeitstabilität von Kunstharzen bzw. sonstigen organisch basierten Einpressmitteln sind diese für die vorgegebene Fragestellung nicht geeignet.

Auch für Gele, z.B. Silikatgele und vergleichbare chemische Injektionsmittel ist die Langzeitstabilität nicht gesichert, sie werden deshalb nicht weiter betrachtet. Folgende mineralische Injektionsmittel und Systeme sind bei der vorliegenden Problemstellung vom Grundsatz anwendbar:

- Standard- bzw. Normalzemente

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- Tonzementsuspensionen
- Zement-Flugasche Suspensionen
- Feinzemente
- Feinstzemente
- Magnesiabinder (Sorelzemente)

Diese mineralischen Injektionsmittel sind jedoch an die in Tabelle 3.1-1 genannten Einsatzgrenzen bzgl. der Kluft- bzw. Rissweite gebunden.

Ob die geforderte Permeabilität von $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$ mit Hilfe mineralischer Bindemittel in-situ erreicht werden kann, wurde an Hand einer Literaturstudie untersucht. Als Resultat ist festzuhalten, dass bei entsprechendem technischen Aufwand die geforderte geringe Permeabilität erreichbar ist /9/.

Eine Alternative stellt das Einpressen von Salzlösungen zum Verschließen potentiell laugeführender Klüfte im Salinargestein durch Kristallisation von Salzmineralien dar. In /10/ sind verschiedene Salzlösungen auf MgCl_2 -, CaCl_2 - bzw. NaCl -Basis beschrieben, die sich prinzipiell für die provozierte Mineralsynthese (Directed Crystallization) eignen. Im Einzelnen hängt die genaue Zusammensetzung der Lösung von der salinaren Umgebung und den verwendeten Werkstoffen ab. Die Anwendbarkeit des Verfahrens wurde in /10/ belegt.

3.2 Konstruktionsprinzip – Vorzugsvariante

Es wurden verschiedene Konstruktionsvarianten für Abdichtungen betrachtet. Als Vorzugsvariante ergab sich die Variante Vollversatz ggf. mit Nachinjektion, da sie an allen in Betracht gezogenen Abdichtungspositionen im Steinsalz und Anhydrit realisiert werden kann.

Der formschlüssige Verbund des Vollversatzes mit der Streckenkontur wird durch leichtes Ansträngen der Firste und anschließendem Betonieren gegen die Firste gewährleistet. Die Luft entweicht automatisch über den höchsten Punkt und ein einfaches Betonieren gegen die Firste ist möglich. Lässt sich ein Ansträngen der Firste nicht realisieren, wird der Nachweis des Formschlusses durch Nachverpressen geführt.

In Bezug auf jede Abdichtungsposition ist zu zeigen, dass der Druck durch die auflaufende Konvergenz im zugrundegelegten Betrachtungszeitraum ausreicht, um eine hinreichend geringe

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Permeabilität in der Auflockerungs- bzw. Kontaktzone zu gewährleisten. In diesem Fall kann auf eine Nachinjektion verzichtet werden, mit der eine frühe Wirksamkeit der Abdichtungen erzielt wird.

Für die Abdichtungen ist die Erstellung von hintereinander angeordneten Segmenten (Abbildung 3.2-1) vorgesehen. Die Segmentlänge entspricht dabei den kleinsten sinnvoll anzuordnenden Längen von 15 – 30 m, die als hydraulischer Widerstand wirksam werden sollen. Darüber hinausgehende Abdichtungslängen werden durch plastische Fugen, die mit Salzmaterial - z. B. mit Salzbriketts - gefüllt sind, von einander getrennt, d.h. in Segmente unterteilt. Der Grund dafür ist die Vermeidung von Zwangsspannungen durch geologische Bewegungen und die Reduzierung thermisch induzierter Zwangsspannungen aus der Hydratationswärme des Salzbetons (Abbildung 3.2-2) /11/. Um Zwangsspannungen aus geologischen Bewegungen zu vermeiden wird als standortbezogenes Analogon die Größe kleiner Anhydritschollen herangezogen, die große Bewegungen, die in geologischen Zeiträumen auftreten, ohne weiteres Zerbrechen überstanden haben, siehe Anlage 1. Daraus resultiert eine Segmentlänge von ca. 25 m. Wenn die Anordnung der Segmente auf Grund der Standortbedingungen an den Abdichtungspositionen größere Zwischenräume erfordert, wird der zwischen zwei plastischen Fugen verbleibende Hohlraum vollständig mit Salzbeton verfüllt.



Abbildung 3.2-1: Schematische Darstellung eines Abdichtungssegmentes

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

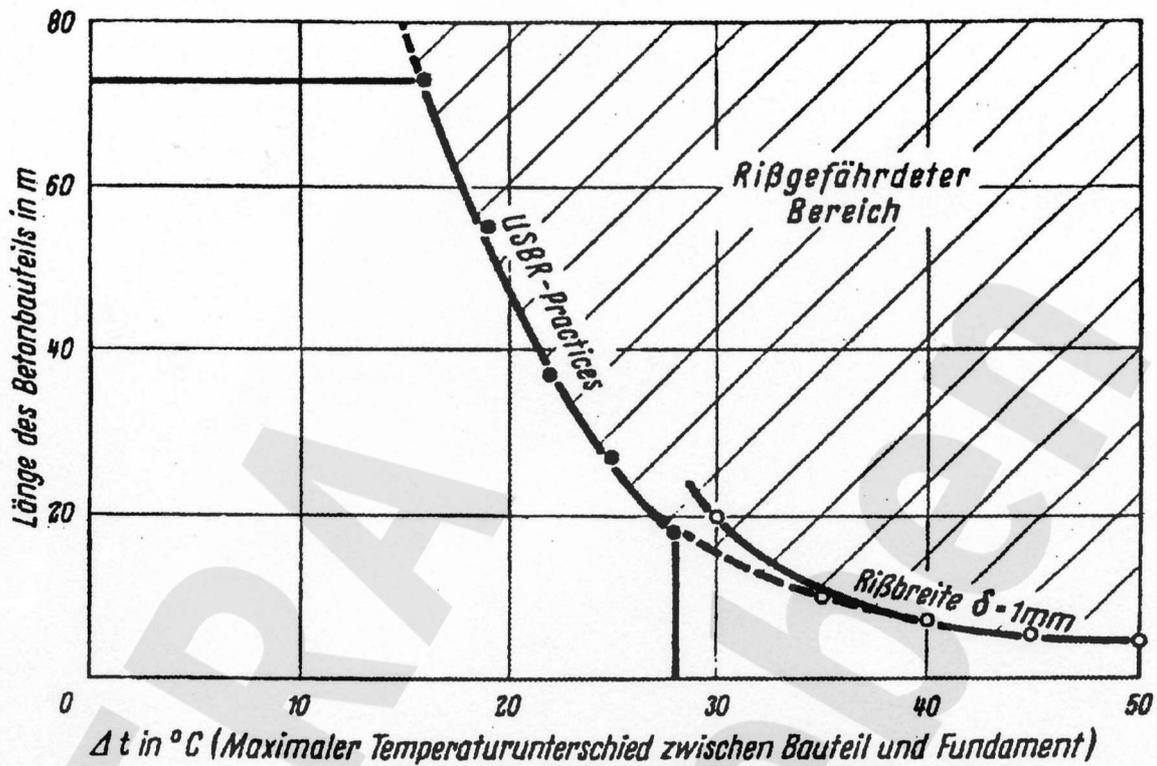


Abbildung 3.2-2: Einfluss der Temperaturdifferenz auf die Rissbildung /11/

Die Streckenkontur im Salz bzw. Anhydrit wird auf ca. 20 – 50 cm nachgeschnitten, um die konturnahe Auflockerungszone mit hohen Durchlässigkeiten zu entfernen. Des Weiteren wird der Querschnitt ausgerundet, um Zwangspannungen in Folge von Ecksingularitäten und ggf. Umlenkkraften aus der Ringinjektion zu vermeiden. Der genaue Querschnitt eines Abdichtungssegmentes ist abhängig von den lokalen Standortgegebenheiten im Einzelfall festzulegen, siehe z. B. Anhang 2. Die in Anhang 2 dargestellte leichte Asymmetrie in Bezug auf Firste und Sohle resultiert aus der technisch einfacheren Herstellung dieses Querschnittes gegenüber einem symmetrischen Querschnitt.

Für die Abdichtungslokationen, an denen eine Nachinjektion erforderlich ist, ist zu beachten, dass die Injektionsrohre bzw. Injektionsschläuche nicht aus langzeitbeständigem Material bestehen. Daher werden sie, um langfristig Wegsamkeiten entlang der Injektionsschläuche bzw. -rohre zu vermeiden, als Injektionsring aus Manschettenrohren angeordnet und verbleiben in der Abdichtung, siehe Abbildung 3.2-3. Die Zu- und Rücklaufleitungen bzw. die Entlüftungsleitungen werden in einem Hüllrohr gebündelt durch den Salzbetonkörper geführt, nach Injektion überbohrt und die Bohrung anschließend verpresst. Das Verpressmaterial muss dem Refe-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 32

renzmaterial Salzbeton M2 vergleichbare Eigenschaften aufweisen und darf nicht relevant schwinden, damit keine Wegsamkeit entsteht.

Das Wirkungsprinzip der nachinjizierten Vorzugsvariante ist in Abbildung 3.2-4 dargestellt.

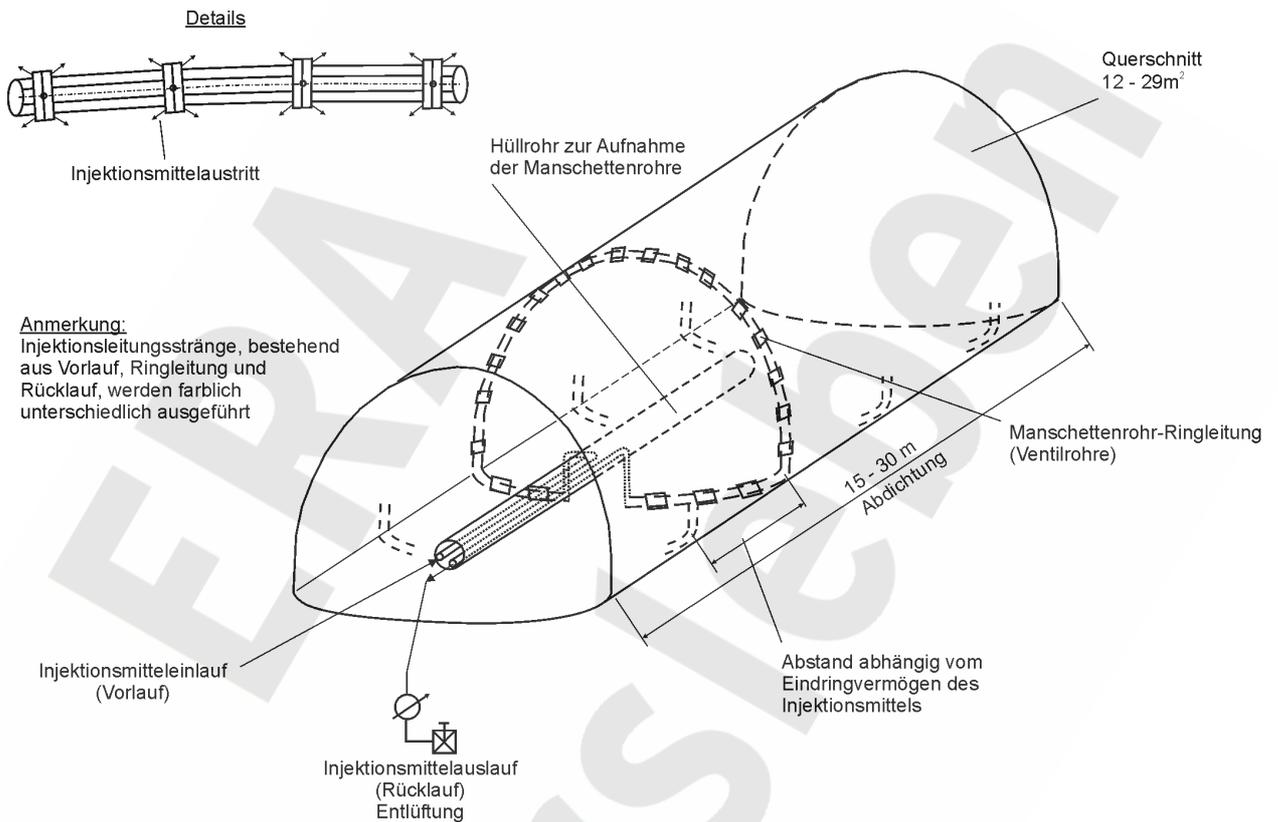


Abbildung 3.2-3: Schematische Anordnung der Manschettenrohre zur Ringinjektion eines Abdichtungssegmentes

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

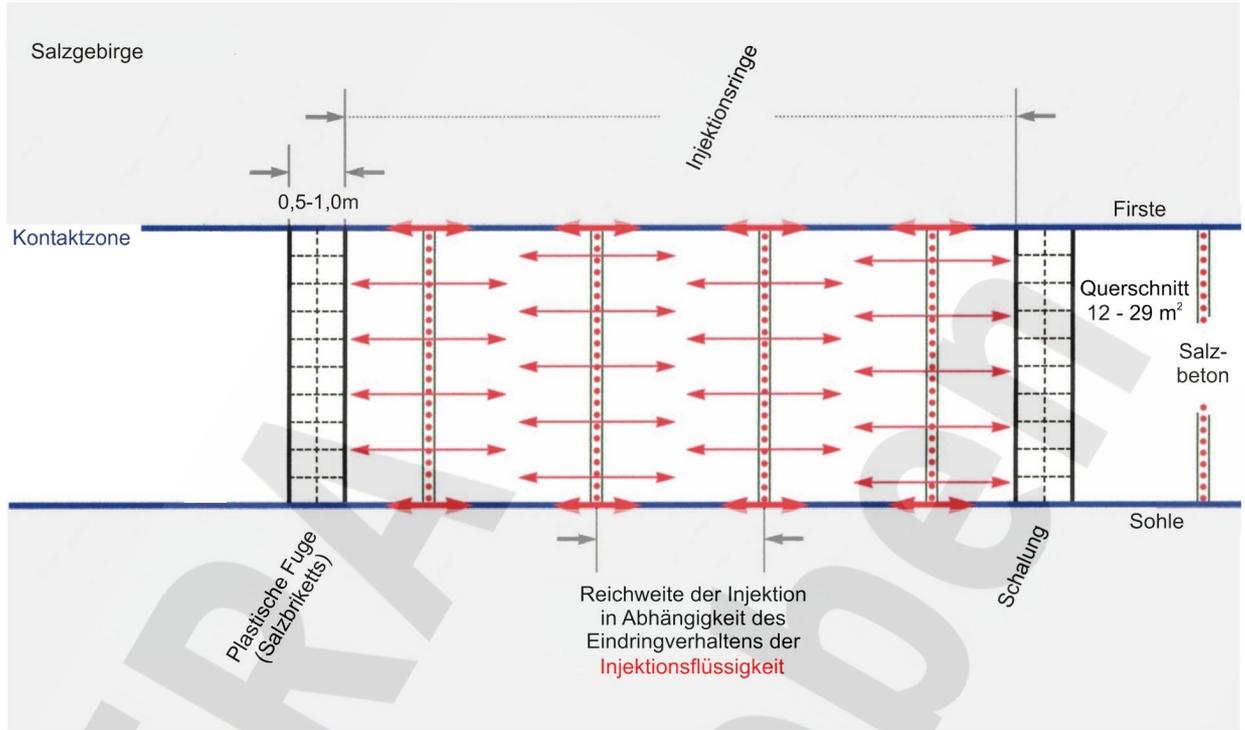


Abbildung 3.2-4: Wirkungsprinzip der nachinjizierten Vorzugsvariante

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

4 Sicherheitsnachweiskonzept

Die Sicherheitsnachweisführung für die Abdichtungsbauwerke erfolgt in Anlehnung an die Regelwerke

- Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke /12/
- Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik /13/
- Regelwerken zu Bauten des Umweltschutzes (Hefte des DAfStb /14/15/16/)

Zur Bestimmung der Sicherheit von Konstruktionen ist die Anwendung verschiedener theoretischer Verfahren – z.B. probabilistischer Verfahren – zulässig, siehe Abbildung 4-1. In der Bau- praxis wird für die Bemessung das Konzept der Grenzzustände in Verbindung mit der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte angewendet. Die Methode der Teilsicherheitsbeiwerte erlaubt die Kombination deterministisch und probabilistisch ermittelter Größen innerhalb eines einzelnen Nachweises. So werden z.B. Ungenauigkeiten des deterministisch abgeleiteten Modells für die Belastung mit Hilfe eines Teilsicherheitsbeiwertes abgedeckt, für die repräsentativen Material- kennwerte, die auf Basis statistischer Methoden ermittelt werden, kommt ein unabhängiger Teilsicherheitsbeiwert zur Anwendung.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

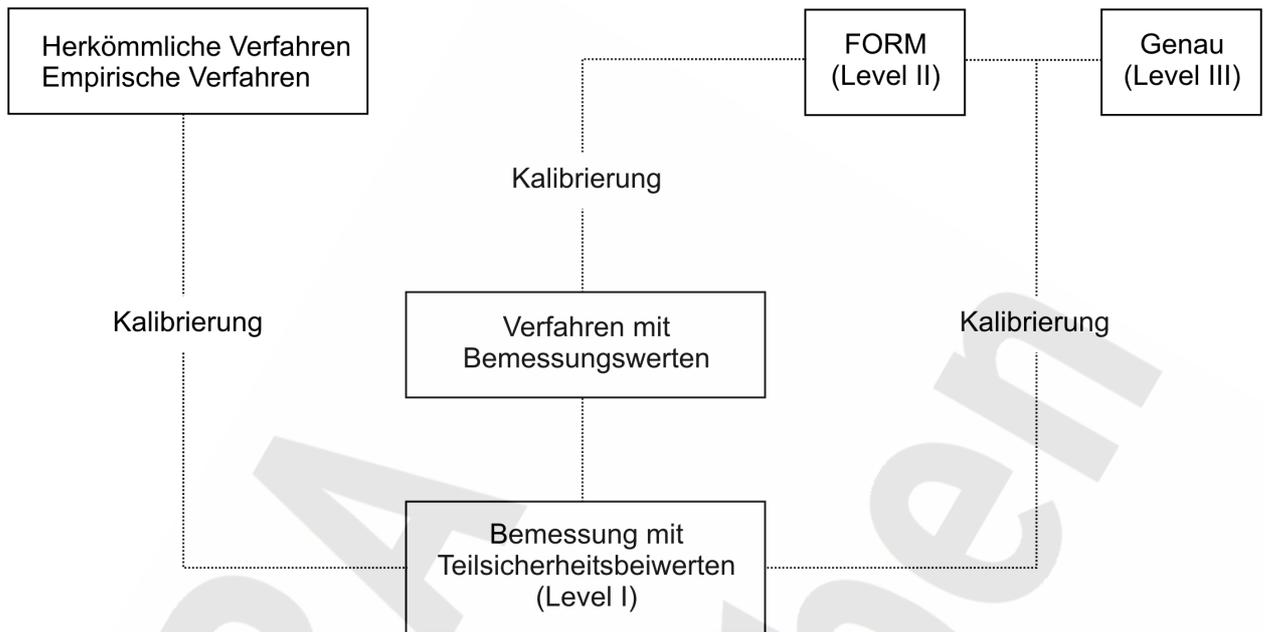


Abbildung 4-1: Überblick über Zuverlässigkeitsverfahren /12/. Level II und Level III - Verfahren sind probabilistische Verfahren (FORM = First Order Reliability Method)

4.1 Methode der Teilsicherheitsbeiwerte

Bei Anwendung des Konzeptes der Grenzzustände wird zunächst die Größe von Einwirkungen auf eine Konstruktion mit der Größe von Widerständen, die die Konstruktion gegenüber den Einwirkungen aufweist, verglichen und dann gefordert, dass die Widerstände größer sind als die Einwirkungen. Dabei sind Einwirkungen und Widerstände in Bezug auf einen Grenzzustand anzugeben. Der Grenzzustand ist der Zustand der Konstruktion, bei dessen Überschreiten die Entwurfsanforderungen nicht mehr erfüllt sind. Grenzzustände können z.B. beschrieben werden durch

- Grenzfestigkeiten
- Grenzverformungen
- Grenzschnittgrößen
- Dilatanzkriterium (Rissbeschränkung)

Die Methode der Teilsicherheitsbeiwerte besteht dann darin, dass sowohl die Einwirkungen als auch die Widerstände mit Teilsicherheitsbeiwerten versehen werden, mit denen Unsicherheiten

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

wie z.B. ungünstige Abweichungen von repräsentativen Werten und Ungenauigkeiten in der Modellbildung abgedeckt werden.

So ist formal die Beziehung

$$E_d \leq R_d \quad (4-1)$$

zu erfüllen, wobei mit E_d der Bemessungswert der Beanspruchung aus Einwirkungen und R_d der Bemessungswiderstand aus Widerständen bezeichnet wird. Die Bemessungswerte ergeben sich aus der Kombination der charakteristischen Werte von Einwirkungen und Widerständen als repräsentative Werte mit den jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerten beispielhaft zu

$$E_d (\gamma_F \cdot F_k, a_d \dots) \leq R_d (X_k / \gamma_M, a_d \dots). \quad (4-2)$$

Bemessungswerte der Beanspruchung E_d sind beispielweise Schnittgrößen, Spannungen oder Verformungen. Sie werden i.d.R. mit Hilfe geeigneter Berechnungsvorschriften (Berechnungsmodelle) unter Berücksichtigung von

- Charakteristischen Einwirkungen F_k (z.B. repräsentative Werte für Lasten)
- Nennwerten geometrischer Größen a_d (z.B. Längen- und Querschnittsabmessungen)
-

ermittelt und mit einem Teilsicherheitsbeiwert γ_F für die Einwirkungen versehen. Auf einen Teilsicherheitsbeiwert für die geometrischen Größen wird i.d.R. verzichtet, da diese genau bekannt sind. Bemessungswiderstände R_d werden an Hand

- Charakteristischer Werte X_k für Bauteilwiderstände
- Nennwerten geometrischer Größen a_d
-

ermittelt und durch einen Teilsicherheitsbeiwert γ_M für Materialeigenschaften abgemindert. Beispiele für Bauteilwiderstände sind

- Charakteristische Werte der Festigkeit
- Charakteristische Werte der Steifigkeit

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- Charakteristische Eindringtiefe von Flüssigkeiten

Auf eine Besonderheit soll an dieser Stelle hingewiesen werden. Je nach betrachtetem Grenz-
zustand können für die Bemessung unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte erforderlich sein.
So werden, wie bereits ausgeführt, Bauteilabmessungen im Falle eines Nachweises der Trag-
fähigkeit nicht mit einem Teilsicherheitsbeiwert versehen. Ist jedoch ein Nachweis der Dichtheit
zu führen bzw. ein hydraulischer Widerstand zu bewerten, ist die dem hydraulischen Wider-
stand zugeordnete Bauteildicke bzw. -länge mit einem Teilsicherheitsbeiwert zu beaufschlagen.

Bei Auslegung von Bauwerken gemäß der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte wird für Zu-
stände, die eine Gefahr für die Sicherheit von Menschen darstellen, ein Sicherheitsniveau von
99,9999%/a erreicht. Die Anwendung des Verfahrens ist für die Auslegung von Konstruktionen
in der Ingenieurpraxis Stand der Technik.

4.2 Grenzzustände

Grenzzustände sind Zustände, bei deren Überschreiten ein Bauwerk die Entwurfsanforderun-
gen nicht mehr erfüllt. Im Allgemeinen unterscheidet man zwischen

- Grenzzuständen der Tragfähigkeit (Sicherheit)
- Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Grenzzustände der Tragfähigkeit (Sicherheit) sind diejenigen Zustände, die im Zusammenhang
mit dem Einsturz oder mit anderen Formen des Tragwerkversagens die Sicherheit von Men-
schen gefährden können. Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind diejenigen Zustände,
bei deren Überschreitung die (vertragsmäßig) festgelegten Bedingungen für die Nutzung des
Bauwerkes nicht mehr erfüllt sind, eine Gefährdung der Sicherheit jedoch nicht besteht.

4.3 Nachweisführung für die Abdichtungsbauwerke

Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, ist für die Abdichtungsbauwerke zu beachten, dass sich ihr hyd-
raulischer Widerstand aus drei parallel geschalteten Elementen zusammensetzt

- dem Abdichtungskörper aus Salzbeton
- der Auflockerungszone im Salz

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- der Kontaktzone zwischen Salzbetonkörper und Streckenkontur

Für eine aus diesen Elementen bestehende Abdichtung ist querschnittsgemittelt eine Permeabilität von $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$ einzuhalten, wobei lediglich für den Salzbetonkörper und die Kontaktzone der Nachweis der Langzeitstabilität/Dauerhaftigkeit zu führen ist, da die Auflockerungszone im Salz gegenüber gesättigten Salzlösungen langzeitstabil ist. Aus diesem Grund darf in der Auflockerungszone die Permeabilität von 10^{-18} m^2 überschritten werden, wenn im Mittel der gesamten Abdichtung $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$ erreicht wird. Für den Salzbetonkörper und die Kontaktzone gilt die Anforderung $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$ bezogen auf jede Stelle des Querschnittes, da eine lokal erhöhte Korrosion ausgeschlossen werden muss. Im Langzeitsicherheitsnachweis wird von einem gleichmäßigen Fortschreiten der Korrosionsfront ausgegangen.

4.3.1 Bewertung des hydraulischen Widerstandes

4.3.1.1 Grenzzustand

Die Methode der Teilsicherheitsbeiwerte fordert die Benennung eines Grenzzustandes, bei dessen Überschreitung das Bauwerk seine Entwurfsanforderungen nicht mehr erfüllt. Der maßgebliche Grenzzustand für die Abdichtung wird beschrieben durch den Grenzwert der Permeabilität $k = 10^{-18} \text{ m}^2$, der sich querschnittsgemittelt für die Abdichtungen bestehend aus Abdichtungskörper, Kontaktzone und der Auflockerungszone im Salz ergeben muss. Dabei sind die in Tabelle 2.5-1 benannten Querschnittsabmessungen zu Grunde zu legen. Als Nebenbedingung ist zu beachten, dass für Abdichtungskörper und Kontaktzone der Grenzwert an jeder Stelle des Querschnittes eingehalten werden muss, um lokal erhöhte Korrosion auszuschließen.

Die Anforderungen an die Permeabilität müssen dabei wiederum auf mindestens 80% der Abdichtungslänge erfüllt werden.

Der Grenzzustand beschreibt eine sicherheitsrelevante Anforderung, damit handelt es sich um einen Grenzzustand der Sicherheit /15/16/, dementsprechend ist er analog einem Grenzzustand der Tragfähigkeit zu behandeln.

Ein Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit braucht nicht berücksichtigt zu werden, da keine Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit bestehen.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

4.3.1.2 Einwirkungen

Bezogen auf die hydraulische Wirksamkeit der Abdichtungen besteht die Einwirkung auf die Abdichtung aus einseitig oder beidseitig einwirkendem Fluiddruck. Für den hydraulischen Widerstand ist der maximale Differenzdruck die maßgebende Einwirkung. Er tritt im Falle einer einseitig wirkenden Laugensäule auf, die einen Druck von 6 MPa ausübt. Eine vorhandene korrosive Wirkung der Lauge ist ebenfalls zu berücksichtigen.

Der Laugendruck wird nicht mit einem Teilsicherheitsbeiwert faktorisiert, weil die Annahme einer Laugensäule bis zur Tagesoberfläche eine obere Grenze bildet, die aus physikalischen Gründen nicht überschritten werden kann und deshalb der Laugendruck als geringfügig streuende Größe klassifiziert wird.

Der Einfluss der Korrosion wird im Rahmen gesonderter Untersuchungen bewertet und auf der Seite der Widerstände durch Abminderung des hydraulischen Widerstandes berücksichtigt.

4.3.1.3 Widerstände

Der hydraulische Widerstand der Abdichtung setzt sich zusammen aus dem hydraulischen Widerstand der Auflockerungszone, dem hydraulischen Widerstand des Abdichtungskörpers sowie dem der Kontaktzone zwischen Streckenkontur und Abdichtungskörper. Dabei nehmen die Auflockerungszone im Salz und der Abdichtungskörper fast den gesamten Querschnitt der Abdichtung ein. Der Kontaktzone wird nur eine sehr geringe Querschnittsfläche zugeordnet. Dabei ist allerdings zu beachten, dass gerade die Kontaktzone einer besonderen Betrachtung und Ausführung bedarf, da sie häufig eine Zone deutlich erhöhter Permeabilität darstellt und oftmals eine Schwachstelle im Dichtvermögen der gesamten Konstruktion darstellt /16/.

Nachstehend werden die Widerstände und die zugeordneten Teilsicherheitsbeiwerte für die einzelnen Elemente der Abdichtung genauer spezifiziert.

Abdichtungskörper

Hydraulischer Widerstand in Folge geringer Permeabilität:

In /14/ ist der Rechenwert für die Permeabilität zu $k \leq 5 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$ angegeben. Dieser Wert bezieht sich auf die Gasdurchlässigkeit von O₂ nach einer Lagerungsdauer des Betons von 2 Monaten

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

unter den Bedingungen von 20 °C und 65% relativer Feuchte. Gemäß /16/ liegt der Mittelwert der Permeabilität in der Größenordnung 10^{-19} m^2 , d.h. es erfolgt eine Abminderung um 2,5 Zehnerpotenzen zur Ermittlung des Rechenwertes, so dass für die Permeabilität eine Teilsicherheit zur Anwendung kommt, die einer Abminderung des Mittelwertes um 2,5 Zehnerpotenzen entspricht.

Hydraulischer Widerstand in Folge der Abdichtungslänge (Konstruktionsdicke):

Gemäß /14/ ist die Konstruktionsdicke mit einem Teilsicherheitsbeiwert für die Eindringtiefe von 1,5 zu belegen, d.h. bezogen auf die Konstruktionsdicke wird nur der 0,67-fache Anteil als für den hydraulischen Widerstand wirksam angesetzt. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich der Teilsicherheitsbeiwert auf Dichtkonstruktionen mit einer Mindestdicke von 20 cm für Ortbetonkonstruktionen und 10 cm für werksmäßig hergestellte Bauteile bezieht. Geringere Dicken für kleinformatige Dichtkonstruktionen sind zulässig, allerdings muss die Mindestdicke größer als der 5-fache Größtkorndurchmesser des Zuschlagstoffes sein. Der Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 deckt also im Regelfall den 2-fachen Größtkorndurchmesser ab, der die untere Grenze darstellt, ab der eine hydraulische Dichtwirkung bei Betonkonstruktionen angesetzt wird. Im vorliegenden Fall von Konstruktionsdicken, die mehrere Meter betragen, ist der Einfluss des Größtkorndurchmessers vernachlässigbar. Vorsorglich wird jedoch davon ausgegangen, dass in den unmittelbaren Stirnflächenbereichen ($\leq 0,1 \text{ d}$) beidseitig risserzeugende Zwangsbeanspruchungen /14/ sowie der Einfluss der Korrosion vorhanden sind, so dass nur das 0,8-fache der Abdichtungslänge als wirksam angesetzt wird. Dies entspricht einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,25 bezogen auf die Abdichtungslänge.

Auflockerungszone

Hydraulischer Widerstand in Folge geringer Permeabilität:

Für die nicht korrosionsgefährdete Auflockerungszone gilt die im Langzeitsicherheitsnachweis angesetzte Bandbreite der Permeabilitätswerte für die Abdichtungen /17/. Der Referenzwert beträgt $k = 10^{-18} \text{ m}^2$, die Bandbreite liegt zwischen 10^{-15} m^2 und 10^{-19} m^2 , wobei eine logarithmische Normalverteilung zu Grunde gelegt wird.

Hydraulischer Widerstand in Folge der als Abdichtung wirkenden Länge:

Für die Abdichtungslänge wird der gleiche Teilsicherheitsbeiwert von 1,25 wie für den Abdichtungskörper verwendet, da auf Grund eines potentiellen hydraulischen Kurzschlusses die gleiche wirksame Länge wie für den Abdichtungskörper zu Grunde gelegt werden muss. Damit wird

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

auch für die Auflockerungszone nur die 0,8-fache Abdichtungslänge als hydraulisch wirksamer Widerstand angesetzt.

Kontaktzone

Hydraulischer Widerstand in Folge geringer Permeabilität:

Für die Kontaktzone sind zwei unterschiedliche Modellvorstellungen zu diskutieren, die unterschiedliche Anforderungen an die Qualität der Bauausführung beinhalten.

Modell Trennriss

Es kann unterstellt werden, dass die Kontaktzone einem Trennriss vergleichbar ist, dann wäre sie in Analogie zu einem gerissenen Beton zu behandeln und die charakteristische Rissbreite zu bewerten. Der Rechenwert der Rissbreite w_{cal} ist in diesem Fall mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 gegenüber der kritischen Rissbreite zu bewerten.

Hydraulischer Widerstand in Folge der als Abdichtung wirkenden Länge:

Bei Anwendung des Trennrissmodells wird die Länge nicht mit einem Teilsicherheitsbeiwert beaufschlagt, da der Trennriss das hydraulische Verhalten dominiert.

Modell kohäsiver Verbund

Alternativ besteht die Möglichkeit zu zeigen, dass die Kontaktzone keine besondere Schwachzone darstellt und ein kohäsiver Verbund zwischen Salzbeton und Salzkontur gegeben ist, durch den durchgehende Trennrisse ausgeschlossen sind. In diesem Fall kommen vergleichbare Teilsicherheitsbeiwerte wie für den Salzbetonkörper zur Anwendung.

Hydraulischer Widerstand in Folge der als Abdichtung wirkenden Länge:

Bei Anwendung des Modells eines kohäsiven Verbundes kommt im ersten Ansatz der Teilsicherheitsbeiwert für den Salzbetonkörper zur Anwendung. Allerdings ist er durch detaillierte Untersuchung vergleichbarer Kontaktzonen zu bestätigen.

Im Rahmen einer ersten, standortspezifischen Überprüfung werden beide Modellvorstellungen hinsichtlich der Erreichbarkeit des Nachweisziels überprüft, um eine Entscheidungsgrundlage für die Anforderungen an die Bauausführung zu erhalten.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

4.3.2 Standortspezifische Überprüfung der Erreichbarkeit des Nachweisziels

Nachstehend wird überprüft, welche Permeabilitäten und daraus resultierende Widerstände in den drei bestimmenden Elementen Auflockerungszone, Abdichtungskörper und Kontaktzone ohne vertiefte Betrachtungen zugeordnet werden können, um eine erste Quantifizierung der Widerstände vornehmen zu können.

4.3.2.1 Auflockerungszone

Da die Auflockerungszone ein Element der Abdichtung darstellt, ergibt sich die Einhaltung des o.g. Grenzzustandes auch aus den Daten der Auflockerungszone in den Strecken, in denen Abdichtungen geplant sind. Da die Länge der Auflockerungszone der Länge der Abdichtung entspricht, kann als maßgebender, systembestimmender Parameter die Permeabilität der Auflockerungszone herangezogen werden.

In Tabelle 4.3-1 sind Permeabilitätswerte für Auflockerungszone in Strecken im Salz zusammengestellt, die im ERAM ermittelt wurden. Werte in Bohrlochteufen größer als 1 m sind nicht aufgeführt, da ihr Wert in allen Fällen kleiner als $1 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$ war und dieser Bereich damit hydraulisch als dicht anzusehen ist.

Die für das ERAM ermittelten Permeabilitäten in der Streckenauflockerungszone im Salz entsprechen vergleichbaren Werten an anderen Standorten /18/, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass die Werte für das ERAM überwiegend im Stoß ermittelt wurden, während gemäß /18/ die größeren Permeabilitäten in Firste und Sohle zu erwarten sind. Die Permeabilitätswerte der Auflockerungszone müssen standortspezifisch an den zu erwartenden ungünstigsten Stellen bestimmt werden, da diese das Systemverhalten dominieren, d.h. es müssen Werte auch für Sohle und Firste vorliegen.

Werte für die Auflockerungszone im Bereich des Anhydrits liegen nicht vor.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Ort	Position der Bohrung	Permeabilität [m ²] in Abhängigkeit der Bohrlochteufe [cm]					Bemerkung
		20	35	50	75	100	
BL1 (Versatzstrecke)	BL1A	2·10 ⁻²⁰	2·10 ⁻²⁰	1·10 ⁻²¹	5·10 ⁻²¹	1,5·10 ⁻²⁰	
	BL1B	5·10 ⁻¹⁷	5·10 ⁻¹⁸	2·10 ⁻²⁰	2·10 ⁻²⁰	2·10 ⁻²⁰	
BL3 (Ostquerschlag),	BL3A, Stoß	2·10 ⁻¹⁹	2·10 ⁻²⁰	5·10 ⁻²¹	5·10 ⁻²¹	1·10 ⁻¹⁹ bis 1·10 ⁻²⁰	Wenige Wochen vorher Streckenerweiterung (Teilschnittmaschine)
	BL3B; Stoß	5·10 ⁻¹⁸	1·10 ⁻²⁰	2·10 ⁻²¹	2·10 ⁻²¹	2·10 ⁻²¹	
BL4 (Ostquerschlag), Nische	BL4; Stoß	2·10 ⁻¹⁹	1·10 ⁻¹⁹	1·10 ⁻²⁰	1·10 ⁻¹⁹ bis 1·10 ⁻²⁰	2·10 ⁻²⁰	Von Streckenerweiterung nicht betroffen
BL5 (Ostquerschlag)	BL5; Stoß	2·10 ⁻¹⁹	2·10 ⁻²⁰	n.e.	1·10 ⁻²⁰	n.e.	
BL7 (Richtstrecke nach Südosten),	BL7A, Stoß	n.e.	1·10 ⁻¹⁵	n.e.	2·10 ⁻²¹	n.e.	Alte Strecke in wenig durchbautem Grubenteil
	BL7B, Stoß	n.e.	2·10 ⁻¹⁶	n.e.	2·10 ⁻²¹	n.e.	
	BL7C, Firste	n.e.	5·10 ⁻²¹	n.e.	1·10 ⁻²⁰	n.e.	

Tabelle 4.3-1: Ergebnisse von Permeabilitätsmessungen in der Auflockerungszone im Steinsalz im ERAM /19/, n. e. steht für „nicht ermittelt“

Aus den in Tabelle 4.3-1 aufgeführten Daten lässt sich ableiten, dass ein Nachreißen der Auflockerungszone in alten Strecken bis in eine Tiefe von ca. 20 cm nicht ausreicht, um eine Permeabilität $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$ zu erhalten. Lediglich in regelmäßig beraubten und nachgeschnittenen Strecken kann ein Nachschneiden bis in 20 cm Tiefe ausreichend sein. Zur Erfüllung der Anforderung $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$ muss von einem Nachreißen der Auflockerungszone bis in eine Tiefe von ca. 50 cm ausgegangen werden. Allerdings ist zu bemerken, dass alle Messwerte in der Bandbreite der Permeabilitäten gemäß Langzeitsicherheitsnachweis /17/ liegen, vgl. Abschnitt 4.3.1.3.

Für eine Verheilung der Auflockerungszone sprechen die Untersuchungen, die im Rahmen des ALOHA2 Projektes /20/ im Salzbergwerk Asse durchgeführt wurden. Abbildung 4.3-1 zeigt vergleichend Permeabilitätsuntersuchungen im Salz in der Kontur von offenen Strecken und im Bereich eines alten Dammtores, auf das das Salz ca. 80 Jahre aufgebrochen ist. Dieses Ergeb-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

nis wird von den laufenden Untersuchungen am Asse-Vordamm untermauert, die in der ehemaligen Auflockerungszone Permeabilitäten von $k < 4,6 \cdot 10^{-22} \text{ m}^2$ zeigen. Der Asse-Vordamm weist eine Standzeit von ca. 10 Jahren auf.

In Untersuchungen der BGR wird die Verheilung von Schädigungen und eine Abnahme der Permeabilität auf $k < 10^{-18} \text{ m}^2$ durch Laborversuche exemplarisch belegt. Notwendige Bedingung für Verheilung ist dabei die Unterschreitung der Dilatanzgrenze.

ERA
Morsleben

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

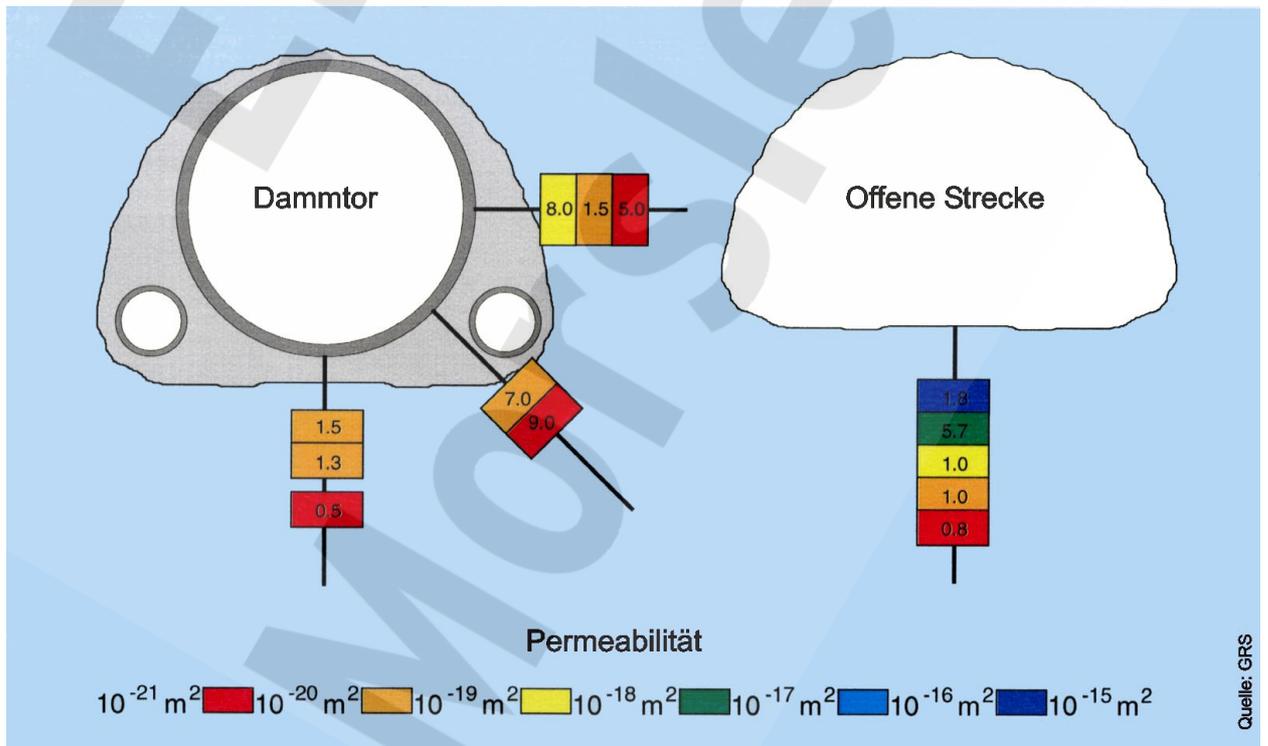
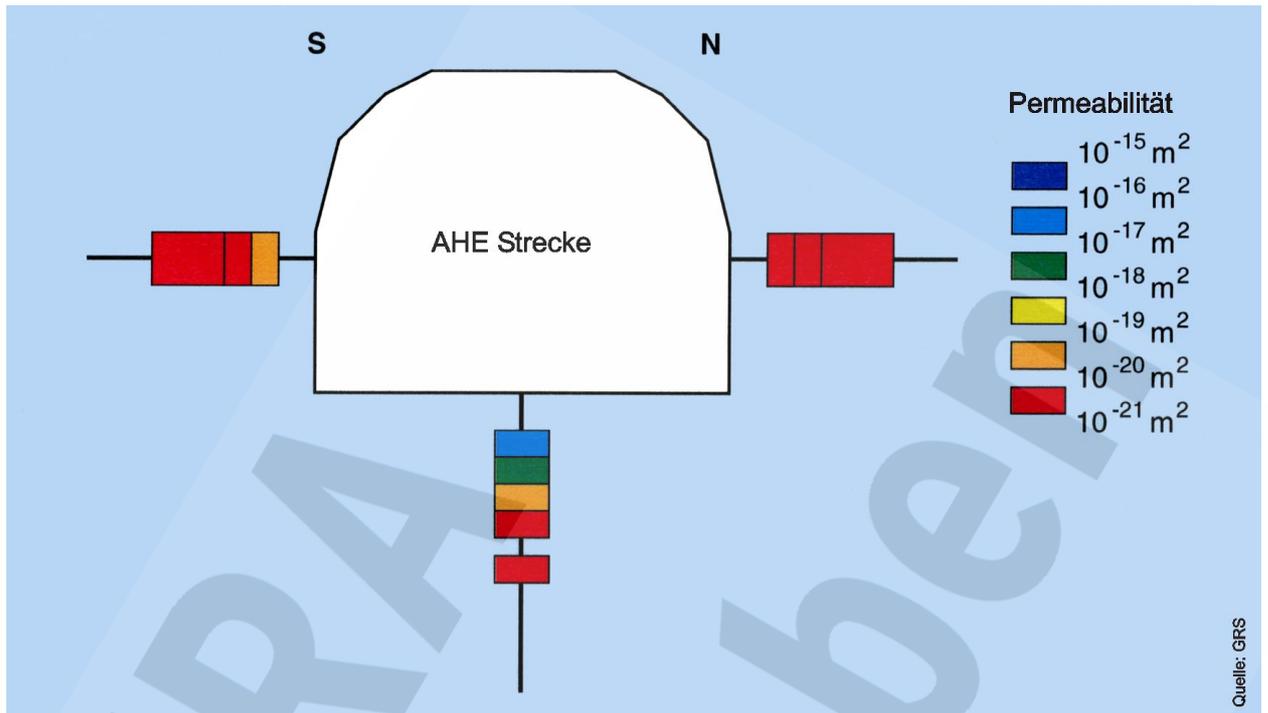


Abbildung 4.3-1: Ergebnisse von vergleichenden Permeabilitätsmessungen in Auflocke-
 rungszonen in der Asse, offene Strecke (oben), nach 80 Jahre dauerndem
 Aufkriechen von Salz (unten)

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

4.3.2.2 Abdichtungskörper

Der Abdichtungskörper besteht aus dem Referenzmaterial Salzbeton M2. Die Materialeigenschaften des Salzbetons M2 sind in /6/ beschrieben. An Salzbetonproben, die im Normalklima 20/65 gelagert wurden, wurden in Anlehnung an das Regelwerk /14/ im Rahmen von 10 Messungen bei einem Manteldruck von 2,5 MPa Gaspermeabilitäten zwischen $6,1 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$ und $9,2 \cdot 10^{-21} \text{ m}^2$ bestimmt. Bei Erhöhung des Manteldruckes sanken die Permeabilitäten. Die in Anlehnung an das Regelwerk gewählten Klimabedingungen entsprechen ungefähr den Klimabedingungen im ERAM.

Legt man für den Salzbeton M2 analog zum Beton ebenfalls eine Reduktion der Laborwerte um 2,5 Größenordnungen zu Grunde, ergäbe sich ein Permeabilitätswert in der Größenordnung von 10^{-17} m^2 , der in Anlehnung an /14/ ohne weiteren Nachweis als Rechenwert angesetzt werden dürfte. Für den Ansatz einer Permeabilität $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$ müssen genauere Auswertungen erfolgen. Dass diese zum Erfolg führen werden, ist jedoch bereits erkennbar. Die Gründe dafür sind nachstehend aufgeführt.

- Die aufgeführten Labormessungen erfolgten in Anlehnung an das Regelwerk abdeckend mit Gas. Die Gaspermeabilität ist jedoch für das Nachweisziel von untergeordneter Bedeutung. Im Hinblick auf die Korrosion der Abdichtungen und einem potentiellen Radionuklidtransport durch die Abdichtung ist die Laugenpermeabilität die wesentliche Größe. In Laboruntersuchungen waren keine Laugenpermeabilitäten messbar und eine Untersuchung der Porenradialen zeigte, dass ein Transport von benetzenden Flüssigkeiten unter den im ERAM zu erwartenden Drücken von 6 MPa nicht stattfindet, was die Messung bestätigt. Aus den Grenzen des Messverfahrens konnte eine Laugenpermeabilität von kleiner als $3 \cdot 10^{-23} \text{ m}^2$ abgeschätzt werden. Des Weiteren konnte bei mit Lauge gesättigten Prüfkörpern bei 7 MPa Gasdruck keine Gasströmung festgestellt werden /6/.
- Untersuchungen am Asse-Vordamm, bei denen Gaspermeabilitäten in einem in-situ vorhanden 10 Jahre alten Salzbeton Damnteil gemessen wurden, weisen für 13 von 14 Messungen Gaspermeabilitäten von $k \leq 1,3 \cdot 10^{-22} \text{ m}^2$ auf. Nur in einem Fall wurde eine Permeabilität von $6,0 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$ gemessen. Die Messergebnisse zeigen, dass derart geringe Permeabilitätswerte im Abdichtungskörper auch in-situ realisiert werden können /21/22/.
- In-situ-Untersuchungen in Bohrlöchern, die mit verschiedenen Salzbetonmischungen abgedichtet waren, zeigen, dass im Falle von Flüssigkeitsdurchtritten diese i.d.R. im Kontaktbe-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 47

reich bzw. in der Auflockerungszone im Salz erfolgten, aber nicht durch den Abdichtungskörper aus Salzbeton. Dieses Ergebnis gilt unabhängig von der gewählten Salzbetonmischung.

Aus den Daten lässt sich ableiten, dass der Salzbetonkörper die Anforderungen einer Permeabilität $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$ bei qualitätsgerechter Ausführung erfüllt.

Quantitative Bewertung des hydraulischen Widerstandes:

Der hydraulische Widerstand des Abdichtungskörpers wird bestimmt von seinem Querschnitt und seiner Länge, d.h. seinen geometrischen Abmessungen, sowie seiner Permeabilität. Gemäß /16/ darf zur Abschätzung des Durchflusses (durch Normalbeton) Q das Gesetz nach Darcy (Gl.4-3) verwendet werden

$$Q = k_f \cdot I \cdot A \cdot t \quad (4-3)$$

mit

Q : Durchfluss [m^3]

k_f : hydraulische Leitfähigkeit [m/s]

I : hydraulischer Druckgradient [-],

hier: I = Beaufschlagungshöhe h [m] / Konstruktionsdicke d [m]

A : beaufschlagte Fläche [m^2]

t : Beaufschlagungsdauer [s]

Der Zusammenhang zwischen der hydraulischen Leitfähigkeit k_f und der Permeabilität k ist in Gl. (4-4) gegeben.

$$k_f = k \cdot \rho \cdot g / \eta \quad (4-4)$$

k_f : hydraulische Leitfähigkeit [m/s]

k : Permeabilität [m^2]

ρ : Dichte der Flüssigkeit [kg/m^3]

g : Erdbeschleunigung [m/s^2]

η : dynamische Viskosität [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Konstruktionsdicke mit einem Teilsicherheitsbeiwert zu beaufschlagen ist /14/, mit dem konturbedingte Fehlstellen abgedeckt werden, vgl. auch Abschnitt 4.3.1.3.

4.3.2.3 Kontaktzone Streckensaum – Abdichtungskörper

Die Kontaktzone zwischen Steckensaum und Abdichtungskörper wird dann relevant, wenn der Durchfluss durch die Kontaktzone maßgebend für den hydraulischen Widerstand der Abdichtung ist. Da die Kontaktzone eine geringe anteilige Querschnittsfläche aufweist, ist sie nur dann dominierend für das Verhalten der Abdichtung, wenn Störungen bzw. Fehlstellen im Kontaktbereich vorhanden sind, die einem kritischen (verhaltensdominierenden) Trennriss äquivalent sind. Empirische Erfahrungen zeigen, dass in vielen Fällen die Kontaktzone maßgebend für die Durchlässigkeit des Gesamtbauwerkes ist /16/. Deshalb sind Kontaktzonen gesondert zu betrachten /14/16/.

Untersuchungen zur Bewertung der Durchlässigkeit von Kontaktzonen zwischen Steinsalz und Salzbetonkörper sind nicht verfügbar, Daten dazu werden derzeit im Rahmen der Messungen am Asse-Vordamm ermittelt.

Im Rahmen einer Modellvorstellung, dass die Kontaktzone einem Trennriss vergleichbar ist, werden nachstehende, verschiedene Ansätze zur Abschätzung der Durchlässigkeit der Kontaktzone verwendet. Sie dienen der Bewertung der Durchlässigkeit von Rissen in Betonkonstruktionen. Die verschiedenen Ansätze beinhalten dabei einen sukzessiven Abbau von Konservativitäten. Später wird jeweils überprüft, wie sich der gewählte Ansatz auf die rechnerische Durchlässigkeit des Gesamtbauwerkes (Abdichtung) auswirkt.

Ansatz 1: Rissbreite $w_{cal} = 0,1 \text{ mm}$

Als erster konservativer Wert zur Abschätzung der Durchlässigkeit der Kontaktzone wird eine fiktive Rissbreite angesetzt, deren Wert nachweistechisch einfach zu behandeln ist. Dazu wird von einem Trennriss mit einer Öffnungsweite von $w_{cal} = 0,1 \text{ mm}$ ausgegangen, für den unterstellt wird, dass er im Kontaktbereich durchgehend vorhanden ist. Risse mit einer Öffnungsweite von 0,05 - 0,1 mm sind mit geeigneten Injektionsmaterialien, z.B. Feinstzementsuspensionen, und -verfahren verschleißbar, so dass nach Injektion Trennrisse größerer Öffnungsweite ausgeschlossen werden können /8/23/. Dementsprechend kann, wenn keine genaueren Untersuchungen durchgeführt werden, nach Injektion der Kontaktzone davon ausgegangen werden,

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AAANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

dass maximal eine Restöffnung von $w_{cal} = 0,1$ mm Öffnungsweite verbleibt. In Realität wird nur an wenigen Stellen eine solche Öffnungsweite verbleiben, doch dieser Sachverhalt bedarf einer genaueren Untersuchung.

Das Regelwerk /16/ erlaubt konservativ die Behandlung eines Trennrisses als offenen Spalt mit dem Gesetz nach Hagen-Poiseulle gemäß Gl.(4-5), das bezogen ist auf die Länge des Spaltquerschnittes senkrecht zu Beaufschlagungsrichtung. Damit ergibt sich die Durchflussrate \dot{q}

zu

$$\dot{q} = \frac{\rho \cdot g \cdot l \cdot w^3}{12 \cdot \eta} \quad (4-5)$$

mit

- \dot{q} : Durchflussrate bezogen auf die Länge eines Spaltquerschnittes senkrecht zur Beaufschlagungsrichtung [$m^3/(s \cdot m)$]
- ρ : Dichte [kg/m^3]
- g : Erdbeschleunigung [m/s^2]
- l : hydraulischer Druckgradient [-]
- w : Rissbreite [m]
- η : dynamische Viskosität [$Pa \cdot s$]

Ansatz 2: Rissbreite $w_{cal} = 0,1$ mm unter Berücksichtigung der Rauigkeit

Mit Hilfe eines Durchflussbeiwertes ξ wird die Rauigkeit des Risses berücksichtigt. Das Gesetz für Normalbeton ist nachstehend angegeben. Es gibt die Durchflussrate pro lfdm. Risslänge im Querschnitt senkrecht zur Beaufschlagungsrichtung bei horizontaler Rissanordnung Gl. (4-6a) und bei vertikaler Rissanordnung Gl. (4-6b) an

$$\dot{q} = \xi \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot l \cdot w^3}{12 \cdot \eta} \quad (4-6a)$$

$$\dot{q} = \xi \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot (l + 1) w^3}{12 \cdot \eta} \quad (4-6b)$$

mit

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- q̇: Durchflussrate bezogen auf die Länge eines Spaltquerschnittes senkrecht zur Beaufschlagungsrichtung [m³/(s · m)]
- ρ: Dichte [kg/m³]
- g: Erdbeschleunigung [m/s²]
- l: hydraulischer Druckgradient [-]
- w: Rissbreite [m]
- η: dynamische Viskosität [Pa · s]
- ξ: Durchflussbeiwert nach Tsukamoto (für Normalbeton und wasserlösliche Flüssigkeiten gilt $\xi = a \cdot w - b$ mit $a = 561,9$ und $b = 0,007 / 16$) [-]
- ξ (w = 0,0001) = 0,049
- ξ (w = 0,00006) = 0,027

Ansatz 3: Rissbreite $w_{cal} = 0,06$ mm unter Berücksichtigung der Rauigkeit, Riss nachträglich geschlossen

In /24/ werden Ergebnisse von Trennrissversuchen an unbewehrten Normalbetonkörpern beschrieben, die nachträglich von $w = 0,1$ mm auf $w \leq 0,1$ mm geschlossen wurden. Für Versuche mit nachträglich auf $w \leq 0,06$ mm geschlossenen Trennrissen ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Versuchsergebnissen und Berechnungsergebnissen unter Berücksichtigung eines Durchflussbeiwertes ξ gemäß Gl.(4-7).

$$\xi = 0,82 \cdot c \cdot w^{0,6} \sqrt{\frac{\eta}{\rho}} \quad (4-7)$$

mit

- ξ: Durchflussbeiwert [-]
- c: Beiwert [-], c = 1 für wasserlösliche Flüssigkeiten
- w: Rissbreite (dimensionsbehaftete Größe) [mm]
- η/ ρ: s. o. (dimensionsbehaftete Größe) [m²/s]

Der Ansatz ist erwähnenswert, da er zeigt, dass durch aufgebrachtten Druck/Vorspannung, z. B. durch Injektion/Quellen, in der Kontaktzone eine deutliche Verringerung der Permeabilität erzielt wird. Längerfristig stellt sich eine Vorspannung auch durch das Aufkriechen des Salzes und die damit verbundene Lastumlagerung ein.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Für die Bewertung der unterschiedlichen Ansätze wird die Durchlässigkeit des Risses über die Durchflussmenge und den Rissquerschnitt mit Hilfe eines Koeffizientenvergleichs in eine äquivalente Permeabilität umgerechnet, siehe Gl. (4-8) /25/.

$$k_{\text{äqv}} = \frac{k_f \cdot \eta}{\rho \cdot g} = \frac{w^2}{12} \quad (4-8)$$

mit

- k: Permeabilität [m²]
- k_f: hydraulische Leitfähigkeit [m/s]
- η: dynamische Viskosität [Pa · s]
- ρ: Dichte [kg/m³]
- g: Erdbeschleunigung [m/s²]
- w: Rissbreite [m]

Damit folgt aus

Gl. (4-5): $k_{\text{äqv}} = w^2/12 = 0,0001^2/12 = 8,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$ nach Ansatz 1

Gl. (4-6a): $k_{\text{äqv}} = 0,049 w^2/12 = 0,049 \cdot 0,0001^2/12 = 4,1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$ nach Ansatz 2

Gl. (4-7): $k_{\text{äqv}} = 0,00024 w^2/12 = 0,00024 \cdot 0,00006^2/12 = 7,2 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ nach Ansatz 3

Die Ergebnisse zeigen, dass die Einhaltung der Anforderung von $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$ auf Basis des Trennrissmodells lokal nicht gezeigt werden kann. Deshalb sind genauere Untersuchungen erforderlich, die die Modellvorstellung belegen, dass die Kontaktzone keine besondere Schwächezone darstellt und die Permeabilitätsanforderung erfüllt. Es ist davon auszugehen, dass ein qualitativ hochwertiger kohäsiver Verbund zwischen Salzbetonkörper und Streckenkantur erzielt werden muss, um die Permeabilitätsanforderung zu erfüllen. Dies ist bei der Bauausführung zu berücksichtigen.

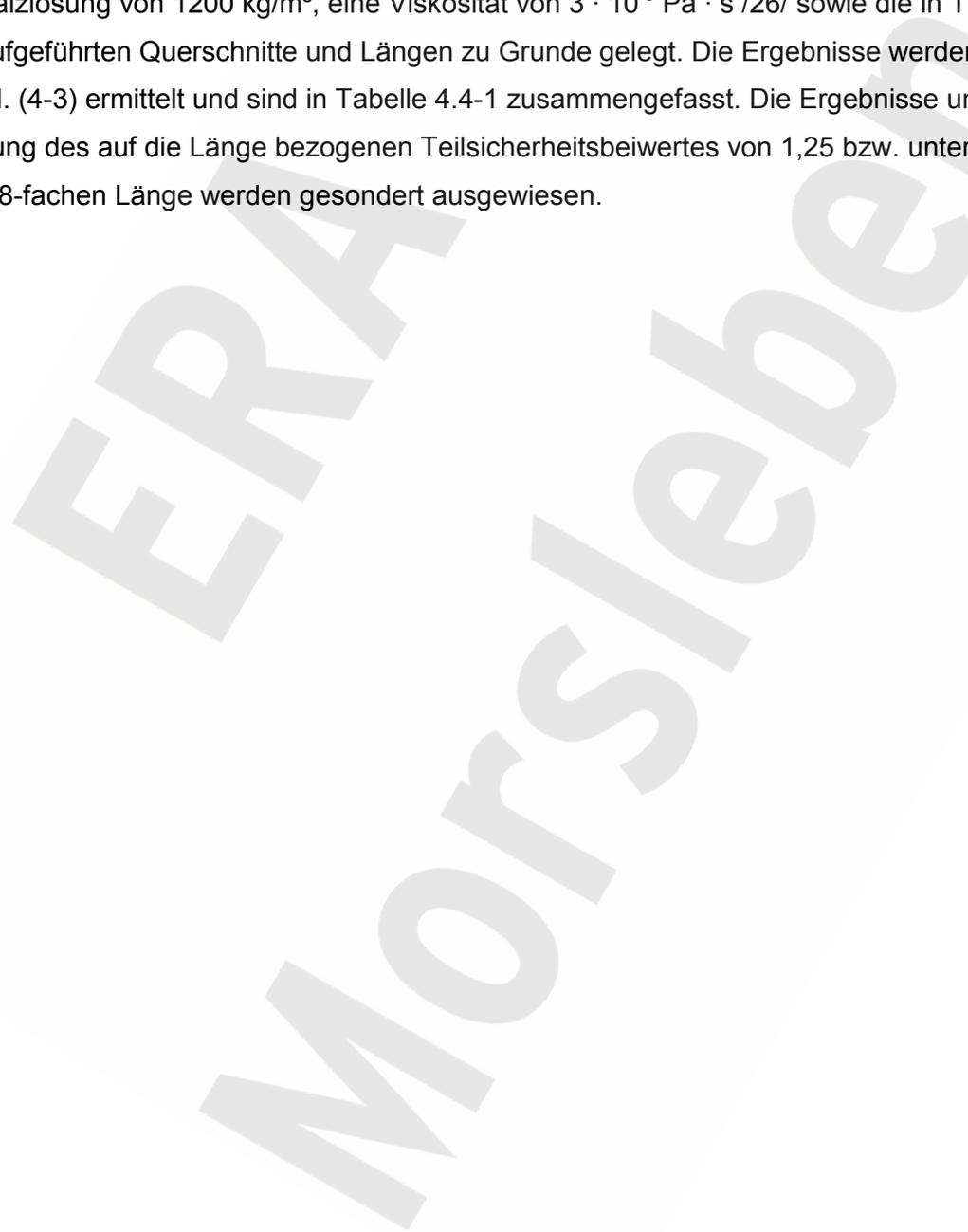
4.4 Ermittlung der maßgebenden Abdichtung

Der parallel geschaltete hydraulische Widerstand aus Abdichtungskörper aus Salzbeton, der Auflockerungszone im Salz und der Kontaktzone zwischen Salzbetonkörper und Streckenkantur

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

wird einer vorläufigen Bewertung unterzogen. Es wird dabei die gemäß Planungsrandbedingungen auslegungsrelevante Abdichtung ermittelt. Dafür werden die Durchflussraten berechnet, die auf einer gemittelten Permeabilität von 10^{-18} m^2 und den in Tabelle 2-5.1 gegebenen Querschnitten und Längen beruhen. Der Berechnung wird ein einseitiger Flüssigkeitsdruck von 6 MPa gemäß Planungsrandbedingungen, eine Permeabilität von 10^{-18} m^2 , eine Dichte der Salzlösung von 1200 kg/m^3 , eine Viskosität von $3 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} / 26/$ sowie die in Tabelle 2-5.1 aufgeführten Querschnitte und Längen zu Grunde gelegt. Die Ergebnisse werden mit Gleichung Gl. (4-3) ermittelt und sind in Tabelle 4.4-1 zusammengefasst. Die Ergebnisse unter Einbeziehung des auf die Länge bezogenen Teilsicherheitsbeiwertes von 1,25 bzw. unter Ansatz der 0,8-fachen Länge werden gesondert ausgewiesen.



Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Feldeteil	Sohle [mNN]	Grubenbau	Kennzeichnung	Länge [m]	Querschnitt [m²]	Hydraulischer Gradient [-]	Durchfluss [m³/a]	0,8-fache hydr. wirksame Länge [m³/a]	Bemerkung
Ostfeld	-291	Ostquerschlag	12YEQ01/R001	150	21	4,00	0,0104	0,0130	
	-372	Ostquerschlag	17YEQ01/R001	150	22,5	4,00	0,0111	0,0139	
Südfeld	-253	Nördliche Verbindungstrecke Lager B/C nördlich	09YEA25/R001	75	17	8,00	0,0168	0,0210	
	-291	Nördliche Verbindungstrecke Lager B/C nördlich	12YKA24/R001	38	12	15,79	0,0234	0,0293	
	-332	Nördliche Verbindungstrecke Lager B/C nördlich	15YKA26/R001	26	18	23,08	0,0514	0,0643	
	-253	Ostquerschlag B/C	09YEQ01/R001	75	20	8,00	0,0198	0,0247	
	-291	Ostquerschlag B/C	12YEQ01/R001	75	20,5	8,00	0,0203	0,0254	
	-332	Ostquerschlag B/C	15YEQ01/R001	75	21	8,00	0,0208	0,0260	
	-372	Ostquerschlag B/C	17YEQ01/R001	26	26	23,08	0,0742	0,0928	
	-253	Wetterstrecke südlich	09YEA52/R004	75	16	8,00	0,0158	0,0198	
	-291	Wetterstrecke südlich	12YER51/R002	75	17,5	8,00	0,0173	0,0217	
	-332	Wetterstrecke südlich	15YEA32/R002	75	17,5	8,00	0,0173	0,0217	
Westfeld	-332	Verbindungstrecke Bergemühle - Wetterstrecke südl.	15YEA32/R004	40	12	15,00	0,0223	0,0278	geschätzt
	-372	Wetterstrecke südlich	17YER51/R003	70	14,5	8,57	0,0154	0,0192	
	-291	1. Südliche Richtstrecke	12YER51/R001	75	20	8,00	0,0198	0,0247	
	-253	Wetterrolloch südlich, bis 2. Sohle*	09YEA52/RL003	38	6	5,04	0,0037	0,0047	geschätzt
	-291	Wetterrolloch südlich, bis 4. Sohle*	12YER51/RL003	81	6	5,04	0,0037	0,0047	geschätzt
	-291	Nördliche Richtstrecke nach Marie	12YER21/R001	200	29	3,00	0,0108	0,0135	
	-332	1. nördliche Richtstrecke nach Marie	15YER21/R001	200	17,5	3,00	0,0065	0,0081	
Westfeld	-332	Westquerschlag	15YEQ02/R001	25	12,5	24,00	0,0371	0,0464	
	-372	Westquerschlag	17YEQ02/R001	25	21	24,00	0,0624	0,0780	
	-372	Richtstrecke nach Süden	17YER12/R001	25	17,5	24,00	0,0520	0,0650	
	-372	Strecke "Störreseverlager"	17YEA 31/R001	25	23	24,00	0,0683	0,0854	

* Das Wetterrolloch südlich wird als eine Abdichtung angesehen

Bemerkung: Die Abdichtungen zum Westfeld sind der Vollständigkeit halber mit aufgeführt, sie haben im Langzeitsicherheitsnachweis untergeordnete Bedeutung.

Tabelle 4.4-1: Durchflussraten gemäß Gl. (4-3) bei einer Permeabilität von 10^{-18} m^2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Auf Basis der Daten gemäß Planungsrandbedingungen ergibt sich der Ostquerschlag auf -372 mNN als die relevante Abdichtung. Dazu ist anzumerken, dass der Ostquerschlag sich erst zu einem sehr späten Planungszeitpunkt auf Grund von Planungsänderungen als relevante Abdichtung ergab. Der Auslegung als Referenzfall liegt die Abdichtung in der nördlichen Verbindungsstrecke auf -332 mNN zu Grunde, für die schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt feststand, dass sie eine der relevanten Abdichtungen darstellt, vgl. Tabelle 2.5-1.

Des Weiteren werden exemplarisch die Durchflussraten ermittelt, die sich auf Basis eines vereinfachten Nachweises nach Regelwerk ohne Notwendigkeit vertiefender Untersuchungen ergeben würden. Legt man z. B. für den Abdichtungskörper eine Permeabilität von 10^{-17} m^2 zu Grunde, die gemäß betontechnischem Regelwerk ohne vertiefte Untersuchungen als Rechenwert ansetzen darf, erhöht sich der Durchfluss gemäß Tabelle 4.4-1 um den Faktor 10 und liegt damit auch um den Faktor 10 über den in Kapitel 2.3 beschriebenen Anforderungen.

In Tabelle 4.4-2 ist die Durchflussrate durch die Auflockerungszone aufgeführt, die sich ergibt, wenn für eine 20 cm tiefe Auflockerungszone die Permeabilität 10^{-16} m^2 angenommen wird. Diese Permeabilität kann man einer sorgfältig vor weniger als 3 Monaten nachgerissenen Auflockerungszone in Strecken ohne vertiefte Untersuchungen zuordnen /18/. Im Falle des Ansatzes einer Permeabilität von 10^{-18} m^2 ergibt sich eine um den Faktor 100 geringere Durchflussrate für die Auflockerungszone.

In Tabelle 4.4-3 ist die Durchflussrate durch die Kontaktzone bestimmt, die sich ergibt, wenn verschiedene in Kapitel 4.2.3 aufgeführte Ansätze des Trennrissmodells vergleichend ausgewertet werden. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass eine ausreichend geringe Durchflussrate für die Kontaktzone bezogen auf die Abdichtung als Ganzes auf Basis der vorliegenden Daten nur gezeigt werden kann, wenn eine ausreichende Vorspannung bzw. eine ausreichend geringe Permeabilität der Kontaktzone in Folge eines kohäsiven Verbundes zwischen Kontaktzone und umgebender Streckenkontur nachgewiesen werden kann.

Bemerkung: Der auf die kritische Rissbreite bezogene Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 kommt nicht zur Anwendung, da die kritische Rissbreite, deren Größe gerade noch toleriert werden kann, nicht ermittelt wurde. Aus Gl. (4-8) lässt sich jedoch ableiten, dass die kritische Rissbreite so kleine Werte annimmt, dass sie nachweistechisch nicht mehr behandelt werden kann und deshalb ein kohäsiver Verbund erforderlich ist.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Feldeteil	Sohle [mNN]	Grubenbau	Kennzeichnung	Länge [m]	Querschnitt vorhanden [mxm]	Querschnitt Nachriss Infrastruktur [mxm]	Querschnitt einschl. Nachriss Abdichtung [m²]	Umfang [m]	Querschnitt Auflockerungszone [m²]	Hydraulischer Gradient [-]	Durchfluss Auflockerungszone [m³/a]	0,8-fache hydr. wirksame Länge [m²/a]
Ostfeld	-291	Ostquerschlag	12YE001/R001	150	4,2x2,7	4,7x2,7	21	19,6	3,92	4,00	0,1940	0,2425
	-372	Ostquerschlag	17YE001/R001	150	4,0x3,5	/	22,5	19,8	3,96	4,00	0,1960	0,2450
Südfeld	-253	Nördliche Verbindungsstrecke Lager B/C nördlich	09YEA25/R001	75	3,5x2,1	4,0x2,4	17	17,6	3,52	8,00	0,3485	0,4356
	-291	Nördliche Verbindungsstrecke Lager B/C nördlich	12YKA24/R001	38	3,0x2	/	12	14,8	2,96	15,79	0,5784	0,7229
	-332	Nördliche Verbindungsstrecke Lager B/C nördlich	15YKA26/R001	26	3x3,5	/	18	17,8	3,56	23,08	1,0166	1,2708
	-253	Ostquerschlag B/C	09YEQ01/R001	75	3,7x2,5	4,0x3,0	20	18,8	3,76	8,00	0,3722	0,4653
	-291	Ostquerschlag B/C	12YEQ01/R001	75	3,6x3,2	3,9x3,2	20,5	19	3,8	8,00	0,3762	0,4702
	-332	Ostquerschlag B/C	15YEQ01/R001	75	3,6x2,8	4,5x2,8	21	19,2	3,84	8,00	0,3802	0,4752
	-372	Ostquerschlag B/C	17YEQ01/R001	26	4,7x3,6	/	26	21,4	4,28	23,08	1,2222	1,5278
	-253	Wetterstrecke südlich	09YEA52/R004	75	2,8x2,2	4,0x2,2	16	17,2	3,44	8,00	0,3406	0,4257
	-291	Wetterstrecke südlich	12YER51/R002	75	3,2x1,9	4,0x2,5	17,5	17,8	3,56	8,00	0,3524	0,4405
	-332	Wetterstrecke südlich	15YEA32/R002	75	2x2,5	4,0x2,5	17,5	17,8	3,56	8,00	0,3524	0,4405
	-332	Verbindungsstrecke Bergmühle - Wetterstrecke südlich	15YEA32/R004	40	3x2	/	12	14,8	2,96	15,00	0,5494	0,6868
	-372	Wetterstrecke südlich	17YER51/R003	70	3,2x2,4	/	14,5	16	3,2	8,57	0,3394	0,4243
	-291	1. Südliche Richtstrecke	12YER51/R001	75	4,4x2,2	4,5x2,6	20	19	3,8	8,00	0,3762	0,4702
	-253	Wetterloch südlich, bis 2. Sohle*	09YEA52/RL003	38	1x1,5	/	6	9,8	1,96	5,04	0,1223	0,1529
	-291	Wetterloch südlich, bis 4. Sohle*	12YER51/RL003	81	1x1,5	/	6	9,8	1,96	5,04	0,1223	0,1529
	-291	Nördliche Richtstrecke nach Marie	12YER21/R001	200	5,3x3,6	/	29	22,6	4,52	3,00	0,1678	0,2098
	-332	1. nördliche Richtstrecke nach Marie	15YER21/R001	200	4x2,5	/	17,5	17,8	3,56	3,00	0,1322	0,1652
Westfeld	-332	Westquerschlag	15YEQ02/R001	25	3,2x2	/	12,5	15,2	3,04	24,00	0,9029	1,1286
	-372	Westquerschlag	17YEQ02/R001	25	3,9x3,3	/	21	19,2	3,84	24,00	1,1405	1,4256
	-372	Richtstrecke nach Süden	17YER12/R001	25	3,9x2,6	/	17,5	17,8	3,56	24,00	1,0573	1,3216
	-372	Strecke "Störresenvelager"	17YEA31/R001	25	4,4x3,3	/	23	20,2	4,04	24,00	1,1999	1,4998

* Das Wetterloch südlich wird als eine Abdichtung angesehen

Bemerkung: Die Abdichtungen zum Westfeld sind der Vollständigkeit halber mit aufgeführt, sie haben im Langzeitsicherheitsnachweis untergeordnete Bedeutung.

Tabelle 4.4-2: Durchflussraten gemäß Gl. (4-3) durch die Auflockerungszone bei einer Permeabilität von 10^{-16} m^2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Feuldestell	Sohle [mNN]	Grubenbau	Kennzeichnung	Länge [m]	Querschnitt vorhanden [mxm]	Querschnitt Nachriss Infrastruktur [mxm]	Querschnitt einschl. Nachriss Abdichtung [m²]	Umfang [m]	Hydraulischer Gradient [-]	Durchfluss Kontaktzone [m³/a] Ansatz 1: w=0,1mm Gl.(4-6a,b)	Durchfluss Kontaktzone [m³/a] Ansatz 2: w=0,06mm Gl.(4-6a,b)	Durchfluss Kontaktzone [m³/a] Ansatz 3: w=0,06mm Gl.(4-7)
Ostfeld	-291	Ostquerschlag	12YEQ01/R001	150	4,2x2,7	4,7x2,7	21	18,8	4,00	38,00	4,52	0,0402
	-372	Ostquerschlag	17YEQ01/R001	150	4,0x3,5	/	22,5	19	4,00	38,40	4,57	0,0406
Südfeld	-253	Nördliche Verbindungstrecke Lager B/C nördlich	09YEA25/R001	75	3,5x2,1	4,0x2,4	17	16,8	8,00	67,91	8,08	0,0718
	-291	Nördliche Verbindungstrecke Lager B/C nördlich	12YKA24/R001	38	3,0x2	/	12	14	15,79	111,70	13,29	0,1182
	-332	Nördliche Verbindungstrecke Lager B/C nördlich	15YKA26/R001	26	3x3,5	/	18	17	23,08	198,23	23,59	0,2087
	-253	Ostquerschlag B/C	09YEQ01/R001	75	3,7x2,5	4,0x3,0	20	18	8,00	72,76	8,66	0,0770
	-291	Ostquerschlag B/C	12YEQ01/R001	75	3,6x3,2	3,9x3,2	20,5	18,2	8,00	73,57	8,76	0,0778
	-332	Ostquerschlag B/C	15YEQ01/R001	75	3,6x2,8	4,5x2,8	21	18,6	8,00	75,19	8,95	0,0795
	-372	Ostquerschlag B/C	17YEQ01/R001	26	4,7x3,6	/	26	20,6	23,08	240,21	28,59	0,2541
	-253	Weiterstrecke südlich	09YEA52/R004	75	2,8x2,2	4,0x2,2	16	16,4	8,00	66,30	7,89	0,0701
	-291	Weiterstrecke südlich	12YER51/R002	75	3,2x1,9	4,0x2,5	17,5	17	8,00	68,72	8,18	0,0727
	-332	Weiterstrecke südlich	15YEA32/R002	75	2x2,5	4,0x2,5	17,5	17	8,00	68,72	8,18	0,0727
	-372	Verbindungstrecke Bergmühle - Weiterstrecke südl.	15YEA32/R004	40	3x2	/	12	14	15,00	106,11	12,63	0,1123
	-372	Weiterstrecke südlich	17YER51/R003	70	3,2x2,4	/	14,5	15,2	8,57	65,83	7,84	0,0696
	-291	1. Südliche Richtstrecke	12YER51/R001	75	4,4x2,2	4,5x2,6	20	18,2	8,00	73,57	8,76	0,0778
	-253	Weiterstrecke südlich, bis 2. Sohle*	09YEA52/RL003	38	1x1,5	/	6	9	5,04	27,48	3,27	0,0291
	-291	Weiterstrecke südlich, bis 4. Sohle*	12YER51/RL003	81	1x1,5	/	6	9	5,04	27,48	3,27	0,0291
	-291	Nördliche Richtstrecke nach Marie	12YER21/R001	200	5,3x3,6	/	29	21,8	3,00	33,05	3,93	0,0350
	-332	1. nördliche Richtstrecke nach Marie	15YER21/R001	200	4x2,5	/	17,5	17	3,00	25,77	3,07	0,0273
Westfeld	-332	Westquerschlag	15YEQ02/R001	25	3,2x2	/	12,5	14,4	24,00	174,63	20,78	0,1848
	-372	Westquerschlag	17YEQ02/R001	25	3,9x3,3	/	21	18,4	24	223,14	26,56	0,2361
	-372	Richtstrecke nach Süden	17YER12/R001	25	3,9x2,6	/	17,5	17	24,00	206,16	24,54	0,2181
	-372	Strecke "Störresnelager"	17YEA31/R001	25	4,4x3,3	/	23	19,4	24,00	235,27	28,00	0,2489

* Das Wetterrolloch südlich wird als eine Abdichtung angesehen

Bemerkung: Die Abdichtungen zum Westfeld sind der Vollständigkeit halber mit aufgeführt, sie haben im Langzeitsicherheitsnachweis untergeordnete Bedeutung.

Tabelle 4.4-3: Durchflussrate durch die Kontaktzone, vergleichende Auswertung verschiedener Ansätze

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

In den Tabellen 4.4-1 bis 4.4-3 sowie im Text zusammengefasst sind die Durchflussraten durch die Abdichtungen gemäß den Anforderungen aus dem Langzeitsicherheitsnachweis und die gemäß technischem Regelwerk ermittelten Durchflussraten durch die Abdichtungskörper, die zugehörigen Auflockerungszonen sowie durch die Kontaktzonen unter Verwendung verschiedener Ansätze einander gegenübergestellt. Beispielberechnungen zu den Tabellen 4.4-1 bis 4.4-3 befinden sich zur Erläuterung am Ende dieses Kapitels.

Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass ohne genauere Untersuchungen eine für den Langzeitsicherheitsnachweis ausreichend geringe Permeabilität $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$ von keinem Element der Abdichtung erreicht wird, und ein vereinfachter Nachweis durch sinngemäße Anwendung des technischen Regelwerkes nicht geführt werden kann. Die für den Nachweis notwendigen genaueren Untersuchungen wurden zwischenzeitlich durchgeführt bzw. begonnen. Aus der bereits vorliegenden Datenbasis lässt sich ableiten, dass das Ziel erreicht werden kann, eine querschnittsgemittelte Permeabilität von 10^{-18} m^2 nachzuweisen. Die Gründe dafür sind nachstehend nochmals aufgeführt.

Für das für den Abdichtungskörper vorgesehene Referenzmaterial M2 konnte keine Durchströmung mit Salzlösung erzielt werden, was mit theoretischen Betrachtungen auf Basis der ermittelten Porenradien übereinstimmt.

Die Permeabilität der Auflockerungszone nimmt mit zunehmender Zeit auf Grund des Aufkriechens des Salzes wieder ab und erreicht Permeabilitätswerte von $k < 10^{-18} \text{ m}^2$. Dieser Sachverhalt wird durch Messungen bestätigt, die im Rahmen des ALOHA2 Projektes und den laufenden Untersuchungen am Asse-Vordamm ermittelt wurden.

Durch einen ausreichend großen aufgebrauchten Druck/Vorspannung kann die Durchflussrate in der Kontaktzone im Grundsatz auf das erforderliche Maß herabgesetzt werden, siehe Tabelle 4.4-3.

Zur genaueren Bestimmung der Permeabilität und der dabei vorliegenden Spannungsrandbedingungen insbesondere in der Kontaktzone sowie des kohäsiven Verbundes werden derzeit Untersuchungen am Asse-Vordamm durchgeführt, die nach derzeitigem Stand der Untersuchungen untermauern, dass das Nachweisziel einer querschnittsgemittelten Permeabilität von 10^{-18} m^2 erreicht wird.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 58

Für die Beispielberechnungen wird die Abdichtung im Ostquerschlag B/C (17YEQ01/R001) auf der 4. Sohle (-372 mNN) herangezogen. Weiterhin wird im Rahmen der Untersuchung des Trennrissmodells auch die Abdichtung des Wetterrolllochs südlich zwischen 1. und 2. Sohle betrachtet.

Beispielberechnungen zu Tabelle 4.4-1:

Abdichtung Ostquerschlag B/C

Länge: 26 m

Querschnitt: 26 m²

Hydraulischer Gradient bei 6 MPa entsprechend 600 m Wassersäule (Druckhöhe) bzw. 500 m Laugensäule bei einer mittleren Dichte von 1200 kg/m³

$$I = h/d = 600/26 = 23,08$$

Durchflussrate pro Jahr

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= k \frac{\rho \cdot g}{\eta} \cdot I \cdot A \\ &= 10^{-18} \cdot \frac{1200 \cdot 9,81}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 23,08 \cdot 26 \cdot 3,15 \cdot 10^7 \\ &= 0,0742 \text{ m}^3/\text{a} \end{aligned}$$

mit dem Umrechnungsfaktor von $3,15 \cdot 10^7$ Sekunden/Jahr.

Bei Ansatz der 0,8-fachen Länge, d. h. Reduktion der Länge mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,25, ergibt sich die 1,25-fache Durchflussrate, d. h. 0,0928 m³/a.

Beispielberechnungen zu Tabelle 4.4-2:

Abdichtung Ostquerschlag B/C

Länge: 26 m

Querschnittsabmessungen: B/H = 4,7 m/3,6 m

Nachschnitt allseitig: 0,5 m

Querschnittsabmessungen einschließlich Nachschnitt: B/H = 5,7 m/4,6 m

Auflockerungszone nach Nachschnitt: 0,2 m (Annahme)

Umfang Mittellinie Auflockerungszone: $2 \cdot (5,9 + 4,8) = 21,4$ m

Querschnitt Auflockerungszone: $21,4 \cdot 0,2 = 4,28$ m²

Hydraulischer Gradient: 23,08

Durchflussrate pro Jahr

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= k \frac{\rho \cdot g}{\eta} \cdot l \cdot A \\ &= 10^{-16} \cdot \frac{1200 \cdot 9,81}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 23,08 \cdot 4,28 \cdot 3,15 \cdot 10^7 \\ &= 1,22 \text{ m}^3/\text{a} \end{aligned}$$

mit dem Umrechnungsfaktor $3,15 \cdot 10^7$ Sekunden/Jahr.

Bei Ansatz der 0,8-fachen Länge ergibt sich die 1,25-fache Durchflussrate von $1,53 \text{ m}^3/\text{a}$.

Beispielberechnungen zu Tabelle 4.4-3

Abdichtung Ostquerschlag B/C

Länge: 26 m

Querschnittsabmessungen einschließlich Nachschnitt: B/H = 5,7 m/4,6 m

Umfang: $2 \cdot (5,7 + 4,6) = 20,6 \text{ m}$

Hydraulischer Gradient: 23,08

Anwendung von Ansatz 2: $w = 0,1 \text{ mm}$

Durchflussbeiwert:

$$\xi = 561,9 \cdot 0,0001 - 0,007 = 0,049$$

Durchflussrate pro Jahr:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \xi \frac{\rho \cdot g}{\eta} \frac{w^3}{12} \cdot l \cdot U \\ &= 0,049 \cdot \frac{1200 \cdot 9,81}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,0001^3 / 12 \cdot 23,08 \cdot 20,6 \cdot 3,15 \cdot 10^7 \\ &= 240 \text{ m}^3/\text{a} \end{aligned}$$

Anwendung von Ansatz 2; $w = 0,06 \text{ mm}$

Durchflussbeiwert:

$$\xi = 561,9 \cdot 0,00006 - 0,007 = 0,027$$

Durchflussrate pro Jahr:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= 0,027 \cdot \frac{1200 \cdot 9,81}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,00006^3 / 12 \cdot 23,08 \cdot 20,6 \cdot 3,15 \cdot 10^7 \\ &= 28,6 \text{ m}^3/\text{a} \end{aligned}$$

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 60

Anwendung von Ansatz 3: w = 0,06 mm, Riss nachträglich geschlossen

$$\text{Durchflussbeiwert: } \xi = 0,82 \cdot 1 \cdot 0,06^{0,6} \sqrt{\frac{3 \cdot 10^{-3}}{1200}} = 0,00024$$

Durchflussrate pro Jahr:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= 0,00024 \cdot \frac{1200 \cdot 9,81}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,00006^3 / 12 \cdot 23,08 \cdot 20,6 \cdot 3,15 \cdot 10^7 \\ &= 0,254 \text{ m}^3/\text{a} \end{aligned}$$

Abdichtung Wetterrollloch südlich 1. bis 2. Sohle

Länge: 38 m

Querschnittsabmessungen einschließlich Nachschnitt: B/H = 2 m/2,5 m

Umfang: $2 \cdot (2 + 2,5) = 9 \text{ m}$

Hydraulischer Gradient: $I = h/d = 600/38 = 15,79$

Anwendung von Ansatz 2: w = 0,1 mm

Durchflussbeiwert: $\xi = 0,049$

Durchflussrate pro Jahr:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \xi \frac{\rho \cdot g}{\eta} \frac{w^3}{12} \cdot (i + 1) \cdot U \\ &= 0,049 \cdot \frac{1200 \cdot 9,81}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,0001^3 / 12 \cdot (15,79 + 1) \cdot 9 \cdot 3,15 \cdot 10^7 \\ &= 76,3 \text{ m}^3/\text{a} \end{aligned}$$

Anwendung von Ansatz 2: w = 0,06 mm

Durchflussbeiwert: $\xi = 0,027$

Durchflussrate pro Jahr:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= 0,027 \cdot \frac{1200 \cdot 9,81}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,00006^3 / 12 \cdot (15,79 + 1) \cdot 9 \cdot 3,15 \cdot 10^7 \\ &= 9,1 \text{ m}^3/\text{a} \end{aligned}$$

Anwendung von Ansatz 3: w = 0,06 mm, Riss nachträglich geschlossen

Durchflussbeiwert: $\xi = 0,00024$

Durchflussrate pro Jahr:

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

$$\dot{Q} = 0,00024 \cdot \frac{1200 \cdot 9,81}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,00006^3 / 12 \cdot (15,79 + 1) \cdot 9 \cdot 3,15 \cdot 10^7$$

$$= 0,081 \text{ m}^3/\text{a}$$

Ein Teilsicherheitsbeiwert für die kritische Rissbreite von 1,5 wurde nicht berücksichtigt. Auf Grund des nichtlinearen Zusammenhanges würde sich jedoch die Durchflussrate mindestens um den Faktor 3,4 erhöhen.

ERA Morsleben

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

5 Nachweise und Nachweiskriterien

Für die Abdichtungen ist sowohl die Standsicherheit als auch der hydraulische Widerstand zu bewerten, d.h. im Grundsatz sind zwei Nachweise zu führen. Die Standsicherheit der Abdichtungen ist Voraussetzung für einen ausreichenden hydraulischen Widerstand. Im Bauwesen wird in einem solchen Fall ein (thermo)mechanischer Nachweis geführt. Dieser beinhaltet den Nachweis der Standsicherheit sowie den Nachweis der Rissbeschränkung im Hinblick auf die Bewertung des hydraulischen Widerstandes /14/. Der Nachweis der Standsicherheit setzt sich zusammen aus dem Nachweis der Lagesicherheit sowie der hinreichenden Festigkeit der Konstruktion bzw. ihrer Elemente. Wird der Nachweis der Rissbeschränkung geführt, um zu zeigen, dass sich der hydraulische Widerstand in Folge (thermo)mechanischer Einwirkungen nicht verschlechtert, ist dieser Nachweis abdeckend für den Nachweis einer hinreichenden Festigkeit der Konstruktionselemente und bei Behandlung des Gesamtsystems mit Hilfe geeigneter Diskretisierungsverfahren auch für den Nachweis der Lagesicherheit.

Die Langzeitstabilität/Dauerhaftigkeit wird gemäß /14/ über den Nachweis der Schädigungstiefe gezeigt. Auf Grund des langen Nachweiszeitraums sind die Ansätze gemäß /14/ zwar nicht quantitativ aber qualitativ übertragbar, z.B. der Sachverhalt, dass es bei nicht durchgehenden Rissen im Fall von Korrosion zur Selbstpufferung des Systems kommt und von einem weitgehend gleichmäßigen Fortschreiten der Korrosionsfront ausgegangen werden kann. Für den quantitativen Nachweis der Langzeitstabilität/Dauerhaftigkeit wurden gesonderte Untersuchungen durchgeführt /7/27/28/.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass folgende Einzelnachweise zu führen sind

- Nachweis eines ausreichenden hydraulischen Widerstandes
- Nachweis der Lagesicherheit
- Nachweis der Rissbeschränkung
- Nachweis der Langzeitstabilität/Dauerhaftigkeit

In Abhängigkeit des zu führenden Nachweises sind die Konstruktionselemente gekoppelt oder getrennt zu betrachten.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

5.1 Einwirkungen und Beanspruchungen

Gemäß /14/ muss im Fall von Abdichtungen aus flüssigkeitsdichtem Beton (FD-Beton) zwischen chemischen und mechanischen Einwirkungen unterschieden werden. Für die Abdichtungen im ERAM ergeben sich die Einwirkungen aus den standortspezifischen Verhältnissen sowie dem gewählten Planungskonzept. Die Einwirkungen werden im Folgenden weiter präzisiert.

(1) Chemische Einwirkungen

- (1a) Chemischer Angriff durch gesättigte Salzlösungen, die durch gesättigte NaCl – Lösung und IP21-Lösung repräsentiert sind. Eine genauere Präzisierung der Salzlösungen ist nicht möglich.

(2) Mechanische Einwirkungen

(2a) Einwirkungen aus Last

- Ständige Last (Eigengewicht, Gebirgsdruck)
- Beaufschlagung durch Fluid (Lösungsdruck, Gasdruck, Strömungskräfte)

(2b) Einwirkungen aus eingepprägten Verzerrungen

- Abfließende Hydratationswärme
- Schwinden und Kriechen (Vorspannung, Relaxation)
- Verformungsbehinderungen (Bauwerk-Baugrund Wechselwirkungen)

Die in /14/ genannte Unterscheidung zwischen einfacher und mehrfacher Beaufschlagung muss für die Abdichtungen des ERAM nicht vorgenommen werden, da kein Nachweis der Dichtheit geführt wird, sondern der Nachweis eines ausreichenden hydraulischen Widerstandes. Da von einem Durchfluss durch die Abdichtungen ausgegangen wird, ist die Eindringtiefe der Lösung ohne Bedeutung. Im Zusammenhang mit den mechanischen Einwirkungen werden die Temperatureinwirkungen aus Witterungseinflüssen sowie aus dem Beaufschlagungsfall mit Fluid nicht berücksichtigt, da im ERAM langfristig konstante Temperaturen herrschen. Die Einwirkungen aus Verformungsbehinderungen und aus Bauwerk- Baugrund Wechselwirkungen werden zu-

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

sammengefasst, da Verformungsbehinderungen im Zusammenhang mit Bauwerk-Baugrund Wechselwirkungen auftreten.

5.2 Bemessungssituationen und zugeordnete Nachweisziele

Die Auslegung der Abdichtungen muss Bezug nehmen auf die für das ERAM geltenden Bemessungssituationen. Bei den für das ERAM relevanten Bemessungssituationen handelt es sich um die Bauzustände, die Bemessungssituation des (lange) trockenen Endlagers sowie die Bemessungssituation des zugelaufenen Endlagers. Damit wird auch die Forderung nach /14/ erfüllt, eine Konstruktion vor Beaufschlagung mit umweltgefährdenden Stoffen (Bemessungssituationen Bauzustände, trockenes Endlager) zu betrachten sowie während der Beaufschlagung (Bemessungssituation zugelaufenes Endlager). Für die Abdichtungen sind die Bemessungssituationen und die zugeordneten Nachweisziele in Tabelle 5.1-1 aufgeführt.

Bauzustände	→	gering permeable Fugen, keine (Trenn)risse
Lange trockenes Endlager	→	gering permeable Fugen, keine (Trenn)risse
Zugelaufenes Endlager	→	gering permeable Fugen, keine (Trenn)risse, geringe Werkstoffpermeabilität, ausreichende Langzeitstabilität/Dauerhaftigkeit gegen chemischen Angriff

Tabelle 5.1-1: Bemessungssituationen und zugeordnete Nachweisziele

5.3 Gefährdungsbilder aus mechanischen Einwirkungen, erforderliche Nachweise und Nachweiskriterien für Abdichtungen im Salz

Die Gefährdungsbilder werden im Folgenden den jeweiligen Bemessungssituationen zugeordnet, d.h. es werden die Einwirkungen aufgeführt, die maßgebenden Einwirkungen identifiziert, der bzw. die Grenzzustände beschrieben und die auf den Grenzzustand bezogenen Gefährdungsbilder angegeben. Es werden die zu führenden Nachweise beschrieben sowie die Nachweiskriterien aufgeführt.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

5.3.1 Bemessungssituation Bauzustände für die Abdichtungen im Salz

Betrachtete Einwirkungen:

Hydratationswärme, Schwinden, Verformungsbehinderungen (Bauwerk- Baugrund Wechselwirkung), ggf. Vorspannung aus Injektion

Nicht betrachtete Einwirkungen:

- Eigengewicht: Für das jeweilige Abdichtungssegment selbst kann das Eigengewicht in der Phase der Bauzustände vernachlässigt werden, da sichergestellt ist, dass die umgebende Salzkontur und die Schalung das Eigengewicht aufnehmen können.
- Kriechen des Baustoffs: Der Einfluss des Kriechens kann im Rahmen der Bewertung der Bauzustände vernachlässigt werden, da noch keine kriecherzeugende Dauerlast vorhanden ist.
- Gebirgsdruck: Der Gebirgsdruck ist zu diesem frühen Zeitpunkt vernachlässigbar, da er durch die im Verhältnis zur Dauer der Bauphase langsam ablaufenden Kriechprozesse des Salzgebirges entsteht.
- Fluiddruck: Ein Fluiddruck tritt in der Phase der Bauzustände noch nicht auf.
- Chemischer Angriff: Ein chemischer Angriff tritt in der Phase der Bauzustände noch nicht auf.

Zu betrachtende Gefährdungsbilder:

- (I) Auf Grund der Hydratationswärmeentwicklung (Massenbetonbauwerk) entstehen Zwangsspannungen in Folge von Temperaturgradienten im Bauwerk bzw. Verformungsbehinderung zwischen Abdichtungskörper und Streckenkontur (Bauwerks- Baugrund Wechselwirkung), die zu Rissbildung führen.

Zwangsspannungen zwischen Streckensaum und Abdichtungskörper können nur entstehen, wenn signifikant unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten vorhanden sind, die zu unterschiedlichen Dehnungen und damit zu Zwang aus Verformungsbehinderung führen. Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Salzbeton M2 beträgt $4,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$ und entspricht damit dem des Salzes, der ebenfalls $4,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$ beträgt. Damit treten in der Kontaktzone keine Zwangsspannungen aus Verformungsbehinderung in Folge Hydratationswärmeentwicklung auf und brauchen deshalb nicht weiter betrachtet zu werden.

Im Abdichtungssegment sind in Folge des Hydratationsprozesses Temperaturgradienten zu erwarten. Ihr Einfluss ist im Hinblick auf die Rissbildung zu bewerten.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

(II) Auf Grund des Schwindens des Salzbetons tritt Rissbildung auf.

In Laborversuchen treten wesentliche Anteile des Schwindens innerhalb eines Zeitraumes von bis zu 3 Monaten auf, siehe Abbildung 5.3-1. Die Schwindversuche wurden an zylindrischen Proben mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Höhe von 300 mm durchgeführt, die Stirnflächen der Proben wurden versiegelt. Da der zeitliche Verlauf des Schwindens eines Betonkörpers von der zeitlichen Entwicklung seiner Austrocknung abhängt, verläuft das Schwinden von Betonkörpern niedriger Permeabilität langsamer als das Schwinden von Betonkörpern höherer Permeabilität. Auf Grund der gegenüber dem Normalbeton geringeren Permeabilität des Salzbetons ist es konservativ, den zeitlichen Verlauf des Schwindens von Normalbeton gemäß Abbildung 5.3-2 für die Bewertung des Schwindeinflusses zu Grunde zulegen.

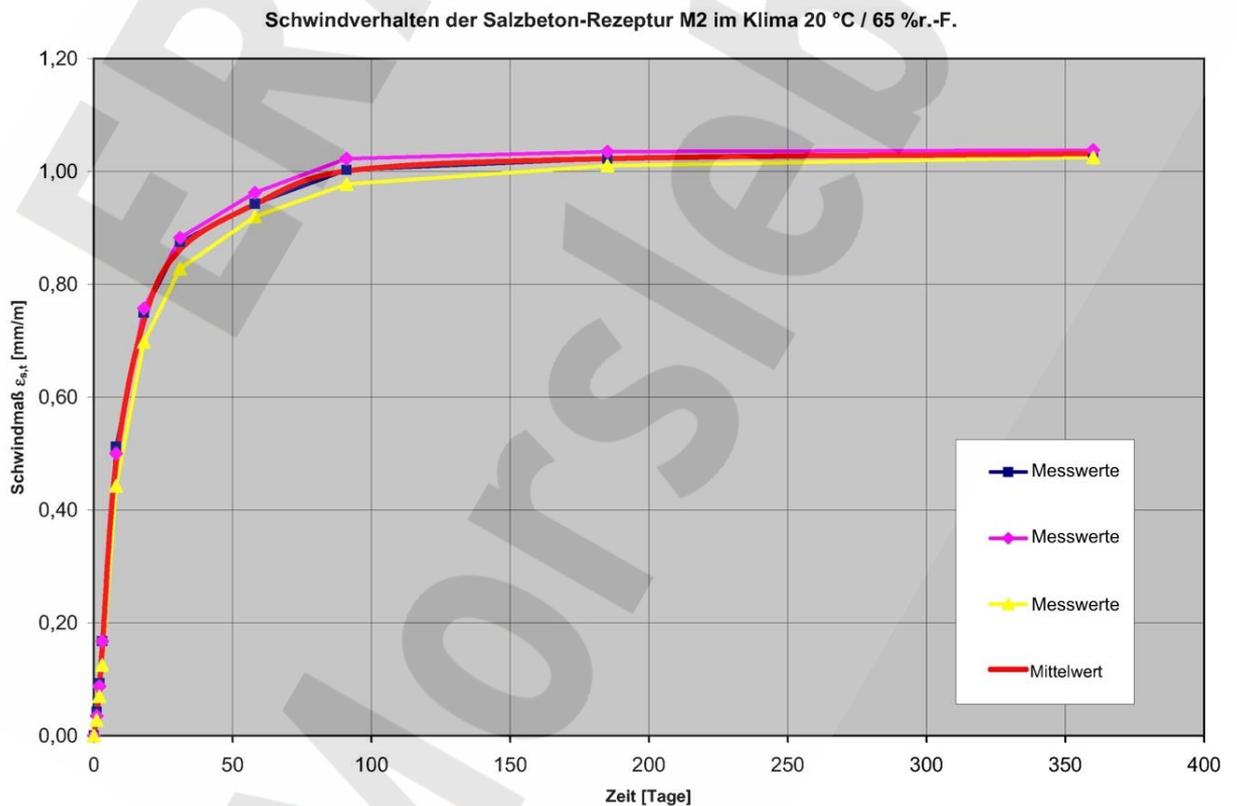


Abbildung 5.3-1: Laborergebnisse zum Schwindverhalten von Salzbeton M2

Zur Abschätzung des zeitabhängigen Schwindeinflusses $\epsilon_{s,t}$ wird das Schwindmaß /29/ herangezogen:

$$\epsilon_{s,t} = \epsilon_{s0} (k_{s,t} - k_{s,t0}) \quad (5-1)$$

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

mit

$\epsilon_{s,t}$ [-]: Schwindmaß

t [d]: wirksames Betonalter zum untersuchten Zeitpunkt (z.B. Endzeitpunkt $t = \infty$)

t_0 [d]: wirksames Betonalter beim Aufbringen der kriecherzeugenden Spannung bzw. zu dem Zeitpunkt, von dem ab der Schwindeinfluss berücksichtigt werden soll

ϵ_{s0} [-]: Grundswindmaß

k_s [-]: Beiwert zum zeitlichen Ablauf des Schwindens siehe Abb. 5.3-2

Für die wirksame Körperdicke d_{ef} gemäß Abbildung 5.3-2 gilt

$$d_{ef} = k_{ef} \cdot 2 A_b/u \quad (5-2)$$

mit

d_{ef} [cm]: wirksame Körperdicke

A_b [cm²]: Fläche des gesamten Betonquerschnittes

u [cm]: Abwicklung der dem Austrocknungseinfluss ausgesetzten Begrenzungsfläche des Betonquerschnittes

k_{ef} [-]: Beiwert zur Berücksichtigung des Feuchteinflusses

Im vorliegenden Fall einer relativen Feuchte von 65% liegt k_{ef} zwischen 1 und 1,5. Für die Abschätzung wird konservativ der Wert von 1,5 gewählt, wobei allerdings zu bemerken ist, dass die Wahl nur geringe Bedeutung hat, da die Lagerungsbedingungen der Laborproben den im ERAM zu erwartenden Klimabedingungen entsprechen.

Die wirksame Körperdicke der Laborproben mit einem Durchmesser von 15 cm errechnet sich gemäß Gl.(5-2) zu

$$d_{ef} = 1,5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 7,5^2 / (2 \cdot \pi \cdot 7,5) = 11,25 \text{ cm} \approx 10 \text{ cm}$$

Für die Abdichtungen lässt sich die wirksame Körperdicke für den nach Tabelle 4.4-2 ungünstigsten Fall der Wetterrolllöcher (Querschnitt 6 m², Umfang 9 m) zu

$$d_{ef} = 1,5 \cdot 2 \cdot 6,0 \cdot 10^4 / (9,0 \cdot 10^2) = 200 \text{ cm} > 160 \text{ cm}$$

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

ermitteln. Dabei wird - obwohl unrealistisch konservativ - unterstellt, dass der Abdichtungskörper über die Salzkontur austrocknet. Abbildung 5.3-2 zeigt, dass für diesen Fall bei Normalbeton erst nach ca. 100 Tagen überhaupt ein erkennbares Schwinden einsetzt. Des Weiteren liegt der Beiwert $k_{s,t}$ bei dieser hohen wirksamen Körperdicke > 160 cm zwischen 200 und 400 Tagen bei nur ca. 10% des für die Laborversuche gültigen Beiwertes. Daraus lässt sich auf Grundlage der in Abbildung 5.3-1 gegebenen Daten als konservative, obere Grenze für das zu erwartende Schwindmaß ein Wert von 0,1 mm/m innerhalb des ersten Jahres abschätzen. Für die in Tabelle 4.4-3 ausgewiesenen Querschnittsabmessungen lässt sich so mit Hilfe von Gl. (5-1) wiederum eine Obergrenze zwischen $-0,47$ mm und $-0,15$ mm für die auf den Querschnitt bezogenen Schwindverformungen abschätzen.

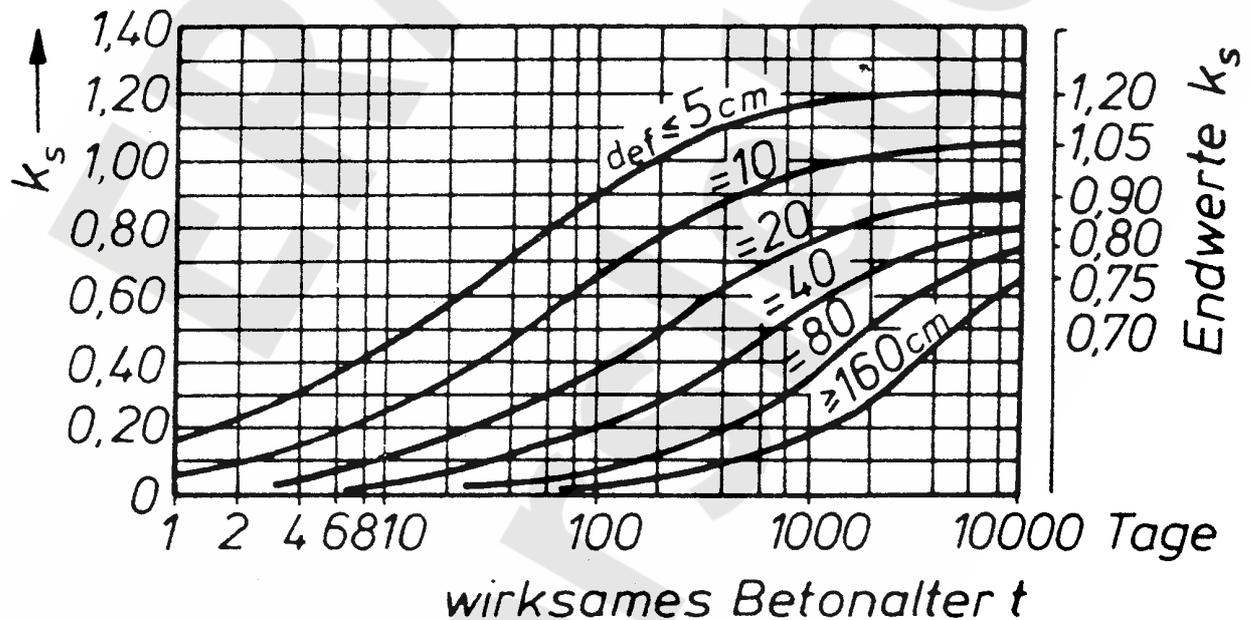


Abbildung 5.3-2: Zeitlicher Verlauf des Schwindens nach DIN 4227 in Abhängigkeit der wirksamen Körperdicke d_{ef} /29/

Im Jahr 2002 lagen die gemessenen Konvergenzraten im ERAM in Strecken auf der 1. Sohle zwischen 0 und $-0,33$ mm/a, auf der 2.Sohle zwischen $-0,06$ und $-0,20$ mm/a und auf der 4. Sohle zwischen 0 und $-3,0$ mm/a /30/.

Daraus lässt sich ableiten, dass das tatsächlich zu erwartende Schwinden durch die Konvergenz des Salzes ausgeglichen wird, da die konservativ abgeschätzte Obergrenze in der glei-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

chen Größenordnung liegt wie die vor Ort gemessenen Werte der Konvergenzraten, die sich im Zuge der Baumaßnahmen lokal noch erhöhen wird.

Der Einfluss des Schwindens wird deshalb nicht weiter betrachtet.

- (III) Im Falle einer Injektion ist der Injektionsvorgang im Rahmen der Bauzustände zu behandeln. Das betrifft insbesondere die während des Injektionsvorganges auftretenden Druckverteilungen. Für den Lastfall Injektion ist eine versuchsgestützte Behandlung erforderlich und vorgesehen. Injektionsparameter werden standortspezifisch im Vorfeld festgelegt. Dazu werden Vorversuche durchgeführt.

Zu betrachtender Grenzzustand:

Rissbildung in Folge der Beanspruchungen aus Hydratationswärme und ggf. Injektion, wobei die Beanspruchungen aus Hydratationswärme und Injektion entkoppelt betrachtet werden, da die Temperaturerhöhung in Folge Hydratationswärme im Wesentlichen im Salzbetonkörper auftritt, die Injektion jedoch in der Kontaktzone vorgesehen ist.

Zu führender Nachweis:

Nachweis der Rissbeschränkung

Nachweiskriterien:

Zur Bewertung der Zulässigkeit des Hydratationswärmeeintrages wird überprüft, ob das Temperaturdifferenzkriterium von 20 K /29/ innerhalb des Baukörpers eingehalten ist. Bei Einhaltung des Temperaturdifferenzkriteriums ist der Nachweis der Rissbeschränkung geführt.

Dieses Kriterium wird für Normalbeton angewandt /11/29/. Da sowohl der thermische Expansionskoeffizient von Salzbeton ($4,0 \cdot 10^{-5} 1/K$) und Normalbeton ($1 \cdot 10^{-5} 1/K$) in der gleichen Größenordnung liegen als auch die Entwicklung der Festmaterialeigenschaften von Salzbeton M2 und Normalbeton vergleichbar ist - siehe dazu das Hydratationsmodell in /6/ - der Salzbeton aber auf Grund des Salzzuschlages ein dem Salz ähnlicheres Verformungsverhalten ausweist als der Normalbeton - d.h. ein höheres Kriechvermögen besitzt - führt eine vergleichbare Temperaturdifferenz eher zu geringeren Zwangsspannungen. Deshalb kann das Temperaturdifferenzkriterium als konservatives Kriterium angewandt werden.

Die Injektionsparameter, die Rissbeschränkung gewährleisten, werden im Vorfeld standortspezifisch ermittelt.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

5.3.2 Bemessungssituation trockenes Endlager ohne Gasdruck für die Abdichtungen im Salz

Betrachtete Einwirkungen:

Eigengewicht, Gebirgsdruck, Kriechen, Verformungsbehinderungen (Bauwerk-Baugrund Wechselwirkung), ggf. Vorspannung und Relaxation aus Injektion.

Nicht betrachtete Einwirkungen:

- Schwinden: In dem zugeordneten Zeitraum nimmt das Schwinden gegenüber den Anfangswerten ab. Deshalb kann der Einfluss des Schwindens analog zu Abschnitt 5.3.1 vernachlässigt werden.
- Fluiddruck: Ein Lösungsdruck und damit verbundene Einwirkungen (Strömungskräfte) treten im Falle des trockenen Endlagers nicht auf. Der Gasdruck wird im Rahmen dieser Bemessungssituation nicht behandelt, da er im Betrachtungszeitraum geringer ist als der Laugendruck (→ Bemessungssituation zugelaufenes Endlager).
- Chemischer Angriff: Der chemische Angriff ist an das Auftreten von Lösungen gebunden, deshalb tritt er im Falle des trockenen Endlagers nicht auf.

Zu betrachtendes Gefährdungsbild:

Rissbildung im Abdichtungskörper, in der Kontaktzone oder in der umgebenden Auflockerungszone in Folge der Beanspruchungen aus Eigengewicht, Gebirgsdruck, Verformungsbehinderungen und ggf. Vorspannung aus Injektion. Der Einfluss von Spannungsumlagerungen aus Kriechen und ggf. Relaxation der Injektionsvorspannung ist bei der Ermittlung der Beanspruchungen zu berücksichtigen.

Zu betrachtender Grenzzustand:

Rissbildung in Folge der Beanspruchungen aus den kombinierten Einwirkungen (Eigengewicht, Gebirgsdruck, ggf. Vorspannung und Relaxation aus Injektion, Kriechen, Verformungsbehinderungen (Bauwerk-Baugrund Wechselwirkung)).

Zu führender Nachweis:

Nachweis der Rissbeschränkung

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Nachweiskriterien:

Um die Rissbeschränkung nachzuweisen, kommen folgende Nachweiskriterien zur Anwendung, wobei unterschieden wird zwischen Salzbetonkörper, Kontaktzone und Auflockerungszone sowie einem frühen Nachweiszeitraum, der in der Größenordnung der Lebensdauer üblicher Ingenieurbauwerke von ca. 100 Jahren liegt, und einem späten Nachweiszeitraum, der 100 Jahre deutlich überschreitet und in der Größenordnung von 1000 Jahren und später liegt.

Salzbetonkörper:

Früher Nachweiszeitraum:

Aus den Druck- und Zugfestigkeiten, die in /6/ angegeben sind, wird eine Festigkeitsgrenze unter Ansatz eines Drucker- Prager Modells abgeleitet, der die 5%-Fraktile der Versuchswerte mit einem wirksamen Betonalter von mehr als 56 Tagen zu Grunde liegt. Der Mittelwert der Druckfestigkeit wird dabei konservativ für den 56-Tage Wert mittels des ebenfalls in /6/ beschriebenen Hydratationsmodells rückgerechnet. Bei einem wirksamen Betonalter $t_e = 56$ Tage ergibt sich gemäß Hydratationsmodell ein Hydratationsgrad von 0,786 und damit eine Druckfestigkeit $f_{c56,m} = 28$ MPa. Aus den 24 in /6/ aufgeführten, auswertbaren Einzelmessungen mit einem wirksamen Betonalter von ≥ 56 Tagen ergibt sich eine 5%-Fraktile für die Druckfestigkeit (charakteristischer Wert) von $f_{c56,k 5\%} = 18$ MPa.

Für den Mittelwert der Zugfestigkeit ergibt die Rückrechnung gemäß Hydratationsmodell $f_{ct56,m} = 2,09$ MPa. Dieser Wert liegt jedoch systematisch über dem Mittelwert der 56 Tage-Messwerte bei 40°C von 2,04 MPa. Deshalb wird (vorsichtig) der Wert von 2,04 als Mittelwert gewählt. Auf Grund der sehr wenig streuenden Versuchsergebnisse für die einaxiale Zugfestigkeit bei einer Anzahl von nur drei Proben wird ein hoher Wert für die 5%-Fraktile der Zugfestigkeit ermittelt. Deshalb wird konservativ der Ansatz für die einaxiale Betonzugfestigkeit zur Bewertung des Rissbeginns in Folge Zug /31/ gemäß Gl. (5-3) zu Grunde gelegt, die eine größere Streuung beinhaltet.

$$f_{ct56,k5\%} = f_{ct56,m} (1 - 1,64 V_{ct}) \quad (5-3)$$

mit dem Variationskoeffizienten für die einaxiale Betonzugfestigkeit $V_{ct} = 0,236$ [-]

Daraus ergibt sich der charakteristische Wert für die Betonzugfestigkeit von $f_{ct56,k5\%} = 1,25$ MPa.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Die o.a. konservativ abgeleiteten charakteristischen Werte für die Betonfestigkeiten werden mittels nachstehender Faustformeln zur Ableitung charakteristischer Werte für die Betonfestigkeiten auf Plausibilität geprüft /28/.

So gilt im vorliegenden Fall mit $f_{c,56,m} = f_{c,m}$ für die einaxiale Druckfestigkeit

$$f_{c,k 5\%} = f_{c,m} - 8 = 28 - 8 = 20 \text{ MPa} \quad (5-4)$$

und für die einaxiale Zugfestigkeit

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{c,k 5\%}^{2/3} = 0,3 \cdot 20^{2/3} = 2,2 \text{ MPa} \quad (5-5)$$

$$f_{ct,k5\%} = 0,7 \cdot f_{ct,m} = 0,7 \cdot 2,2 = 1,5 \text{ MPa} \quad (5-6)$$

Die abgeleiteten Werte liegen demnach auf der sicheren Seite.

Gemäß /14/29/ kommt für die Materialfestigkeiten ein Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 und für das Betontragverhalten zum Nachweis der Dichtheit ein Teilsicherheitsbeiwert von 1,25 zur Anwendung. Damit ergibt sich eine Anpassung der Parameter des Drucker-Prager Festigkeitskriteriums an einen Rechenwert der Druckfestigkeit von 10 MPa und einen Rechenwert der Zugfestigkeit von 0,7 MPa für den Nachweis der Rissbeschränkung.

Später Nachweiszeitraum:

Der Nachweis der Rissbeschränkung wird über die Einhaltung der Dilatanzbedingung gemäß Gl. (5-7) geführt. Konservativ kommt als Dilatanzbedingung für Salzbeton M2 und Salz die gleiche Beziehung zur Anwendung Gl. (5-7). Die Dilatanzgrenze für Salzbeton M2 liegt systematisch über der Dilatanzgrenze von Salz, siehe dazu Abbildung 5.3-3. Bei Bedarf kann diese Konservativität abgebaut werden /32/.

$$\frac{\tau}{\sigma^*} \leq -0,01697 \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma^*}\right)^2 + 0,8996 \frac{\sigma}{\sigma^*} \quad (5-7)$$

mit

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

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

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

$\sigma^* = 1 \text{ MPa}$: Bezugsspannung

Auflockerungszone:

Der Nachweis der Rissbeschränkung wird über die Einhaltung der Dilatanzbedingung im Salz gemäß (Gl. 5-7) geführt. Sie stellt die notwendige Bedingung für Verheilung dar. Damit ist gesichert, dass in der Auflockerungszone keine Zunahme der Permeabilität erfolgt. Dieses Kriterium gilt für den frühen und späten Nachweiszeitraum.

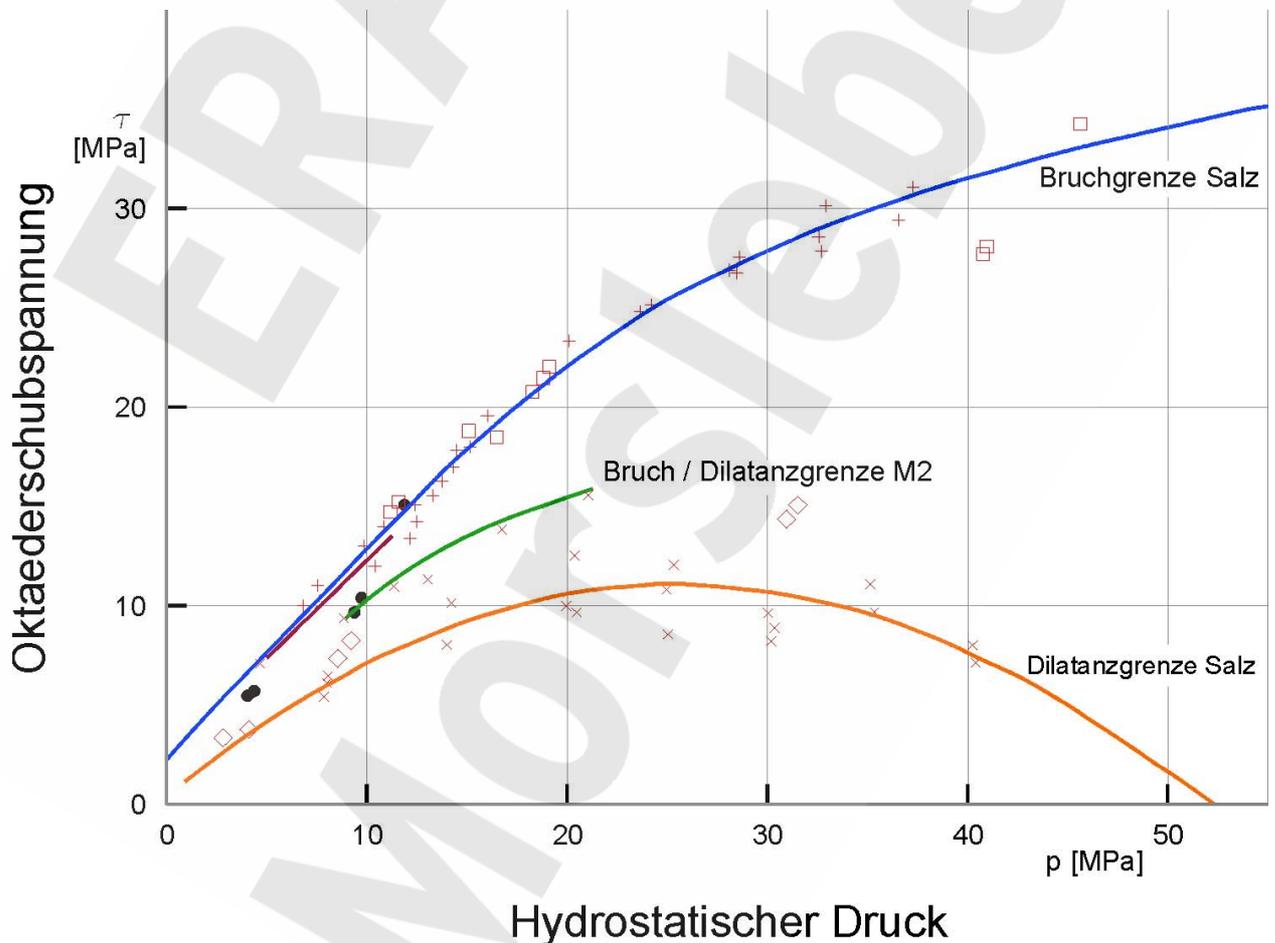


Abbildung 5.3-3: Darstellung der Bruch- und Dilatanzgrenze von Salz gegenüber der Bruch- und Dilatanzgrenze von Salzbeton M2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Kontaktzone:

Früher Nachweiszeitraum:

Es wird vorausgesetzt, dass ein kohäsiver Verbund zwischen Abdichtungskörper und Salzkongur durch bautechnische Maßnahmen erreicht wird. Dann ist der Ansatz einer Zugfestigkeit normal zur Kontaktzone sowie einer Scherfestigkeit in Richtung der Kontaktzone zulässig. Dabei ist jeweils der kleinere Wert maßgebend, d.h. es ist entweder Salz oder Salzbeton zu betrachten. Abdeckend für den Nachweis der Rissbeschränkung in der Kontaktzone ist die Einhaltung der Dilatanzbedingung für Salz. Im Rahmen des Abbaus von Konservativitäten kann jedoch ein Festigkeitskriterium unter Ansatz eines Drucker-Prager Modells abgeleitet werden, dem die Druck- und Zugfestigkeiten des Materials geringerer Festigkeit - also hier des Salzes - zu Grunde gelegt werden. Für die Zugfestigkeit auf der Kontaktzone wird die 5%-Fraktile der Zugfestigkeit von Salz angesetzt, um ein für den Salzbeton vergleichbares Sicherheitsniveau zu erzielen. Sie errechnet sich auf Grundlage von /33/34/ zu 0,3 MPa. Unter Einbeziehung eines Teilsicherheitsbeiwertes von 1,4 gemäß /32/ für einaxial zu bewertende Größen ergibt sich ein Rechenwert der Zugfestigkeit von 0,2 MPa. Diese Zugfestigkeit ist maßgebend, da für den Salzbeton M2 ein Wert von 0,7 MPa zulässig ist. Die zugehörige 5%-Fraktile der Druckfestigkeit des Salzes errechnet sich zu 11,5 MPa, der Rechenwert beträgt 8 MPa.

Später Nachweiszeitraum:

Der Nachweis der Rissbeschränkung wird über die Einhaltung der Dilatanzbedingung für Salz gemäß Gl. (5-7) geführt.

5.3.3 Bemessungssituation zugelaufenes Endlager für die Abdichtungen im Salz

Betrachtete Einwirkungen:

Eigengewicht, Gebirgsdruck, Kriechen, Fluidruck, Verformungsbehinderungen (Bauwerk-Baugrund Wechselwirkung), chemischer Angriff, ggf. Vorspannung und Relaxation aus Injektion

Nicht betrachtete Einwirkungen:

Strömungskräfte: Strömungskräfte sind auf Grund der geringen Durchlässigkeit vernachlässigbar gegenüber den statischen Kräften.

Schwinden: Die Beaufschlagung von Salzbeton mit Salzlösung führt zu langsamen und geringfügigen Quellvorgängen /6/. Schwinden braucht deshalb nicht betrachtet zu werden.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Zu betrachtende Gefährdungsbilder:

(I) Rissbildung im Abdichtungskörper, in der Kontaktzone oder in der umgebenden Auflockerungszone in Folge der Beanspruchungen aus Eigengewicht, Gebirgsdruck, Fluiddruck, Verformungsbehinderungen und ggf. Vorspannung aus Injektion. Der Einfluss von Spannungsumlagerungen aus Kriechen und ggf. Relaxation der Injektionsvorspannung ist bei der Ermittlung der Beanspruchungen zu berücksichtigen. Dabei kann die Rissbildung nachstehende Konsequenzen haben

- Verlust der Lagestabilität in Folge einseitiger Druckbelastung
- Verlust des hydraulischen Widerstandes in Folge Rissbildung

Der Einfluss der kombinierten mechanischen Beanspruchungen auf die Rissbildung ist zu bewerten.

(II) Korrosion im Abdichtungskörper bzw. in der Kontaktzone führt zu einer Reduktion der wirksamen Länge der Abdichtung und damit zum Verlust des hydraulischen Widerstandes.

Untersuchungen zur Korrosion des Salzbetons haben das Ergebnis, dass im Falle erfolgreicher Rissbeschränkung Korrosionsprozesse sehr langsam verlaufen. Im Nachweiszeitraum tritt daher nur eine geringe Schädigungstiefe (von weniger als 30 - 60 cm) auf /27/28/. Diese Schicht wird analog zum betontechnischen Regelwerk als Opferschicht (Schädigungstiefe) behandelt und von der hydraulisch wirksamen Länge abgezogen.

Damit wird das Gefährdungsbild des chemischen Angriffs auf das Gefährdungsbild zum Nachweis der Rissbeschränkung zurückgeführt und durch dieses abgedeckt. So kann der chemische Angriff entkoppelt behandelt werden. Die Untersuchungen zum chemischen Angriff sind in /7/27/28/ beschrieben. Wesentlich ist festzuhalten, dass auf Grund des geringen Einflusses der Schädigung der Nachweis der Rissbeschränkung mit den Materialparametern des ungeschädigten Salzbetons geführt werden darf.

Zu betrachtender Grenzzustand:

Rissbildung in Folge der Beanspruchungen aus den kombinierten Einwirkungen (Eigengewicht, Gebirgsdruck, Fluiddruck, ggf. Vorspannung und Relaxation aus Injektion, Kriechen, Verformungsbehinderungen (Bauwerk/Baugrund Wechselwirkung)).

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Zu führender Nachweis:

Nachweis der Rissbeschränkung

Nachweiskriterien:

Um die Rissbeschränkung nachzuweisen, kommen nachfolgende Nachweiskriterien zur Anwendung. Es wird unterschieden zwischen Salzbetonkörper, Auflockerungszone und Kontaktzone. Analog zu Abschnitt 5.3.2 wird zwischen einem frühen (bis ca. 100 Jahre) und einem späten Nachweiszeitraum (ab ca. 100 Jahre) unterschieden.

Salzbetonkörper:

Es gelten die unter 5.3.2 aufgeführten Nachweiskriterien für den Salzbetonkörper.

Auflockerungszone:

Der Nachweis der Rissbeschränkung wird über die Einhaltung des Fluidkriteriums nach Gl. (5-8) geführt

$$\sigma_1 > p \quad (5-8)$$

mit

σ_1 : kleinste Hauptspannung

p : Lösungsdruck

Ein Abbau von Konservativitäten kann durch die Einführung einer effektiven Dilatanzbedingung, d.h. eine Verschiebung der Dilatanzbedingung gemäß Gl. (5-7) entlang der hydrostatischen Achse um den wirkenden Porendruck vorgenommen werden, wobei der hydraulische Wirkfaktor zu 1 gesetzt wird.

Kontaktzone:

Es gelten die unter 5.3.2 aufgeführten Nachweiskriterien für die Kontaktzone. Abdeckend kann die Dilatanzbedingung für Salz für den frühen und den späten Nachweiszeitraum verwendet werden.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

6 Exemplarische Nachweisführung

6.1 Beschreibung des Auslegungsbeispiels

Lage des Standortes

Die im Rahmen dieses Berichtes näher betrachtete Nördliche Verbindungsstrecke 15YKA26R001 befindet sich auf der 3. Sohle (-332 m NN) des Zentralteils der Schachanlage Bartensleben ca. 250 m nordöstlich des Füllortbereiches. Die im Winkel von ca. 58° NE-SW streichende Strecke verläuft in etwa 85 m nördlich des Hauptquerschlages nach Osten und verbindet das Hartsalz-Lagerteil B mit dem Carnallit-Lagerteil C.

Geometrie

Die 27 m lange Nördliche Verbindungsstrecke besitzt einen annähernd rechteckigen Querschnitt bei einer Streckenhöhe von ca. 2,1 m und einer zwischen 2,2 und 3,0 m variierenden Breite. Am östlichen Ende der Strecke befindet sich eine ca. 3 m lange trompetenartige Aufweitung hin zum Carnallit-Lagerteil C, welches teilversetzt ist.

Geologie

Die Nördliche Verbindungsstrecke befindet sich in einer antiklinalen geologischen Großstruktur. Dieser Sattel gliedert sich in die tektonischen Strukturen des Östlichen Schachtsattels I, der Südmulde II und des Östlichen Schachtsattels II (von W nach E), deren Achsen von der Strecke annähernd im rechten Winkel geschnitten werden. Die Muldenachse wird hierbei durch ein Kaliflöz markiert, das bis in eine Tiefe von -600 m NN abtaucht. Beidseitig dieses Kaliflözes tritt dieselbe Schichtenabfolge der durch die Strecke aufgeschlossenen Gesteine auf. Jedoch sind die Schichtmächtigkeiten aufgrund der tektonischen Situation und der im östlichen Bereich stärker ausgeprägten Zerblockung des benachbarten Hauptanhydrites unterschiedlich.

Diese geologischen Strukturen werden im Westen und Osten durch Anhydritschollen begrenzt, welche die Verläufe der Südmulde I bzw. der Hauptmulde nachzeichnen. Im Bereich der Strecke haben die Anhydritschollen einen Abstand von ca. 45 m. Südlich der Strecke weitet sich der Sattel durch einen Versatz der östlichen Anhydritscholle in östlicher Richtung deutlich auf.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Alle aufgezählten tektonischen Strukturen streichen im Bereich der Verbindungsstrecke annähernd NW-SE. Die Gesteinsschichten fallen mit ca. 50° (östlicher Bereich der Strecke) bis 60° ein.

Durch die Verbindungsstrecke werden folgende Gesteine aufgeschlossen (von W nach E; lt. /2/):

- Kaliflöz Staßfurt,
- Hangendsalz bzw. kieseritische Übergangsschicht,
- Kristallbrockensalz,
- Kaliflöz Staßfurt (lt. Befahrung ausgebildet als ca. 2 cm breite Kalischnüre),
- Kristallbrockensalz
- Hangendsalz, kieseritische Übergangsschicht,
- Carnallit-Lagerteil C

Die Einteilung in Kriechklassen in /2/ weist für den Bereich der Abdichtung vorwiegend Gesteine der Kriechklasse 1 aus. Ausnahmen bilden das Kaliflöz Staßfurt (Kriechklasse 4) und das Carnallit-Lager. Geringmächtige Schichten werden in /2/ hinsichtlich ihrer Kriecheigenschaften nicht explizit ausgewiesen.

Annahmen hinsichtlich des Zulaufs

In den durchgeführten Berechnungen werden verschiedene Fälle hinsichtlich des Zeitpunktes und der Dauer des Zulaufes untersucht (siehe Abschnitt 6.4.2). Hierbei wird zwischen den Fällen

- lange trockenes Endlager und
- Zulauf innerhalb von 2500 Jahren unterschieden.

Im Falle des lange trockenen Endlagers wird davon ausgegangen, dass innerhalb des Betrachtungszeitraumes von 30000 Jahren kein Fluidruck ansteht.

Im Falle des Zulaufs während der Prologphase von 2500 a werden hinsichtlich des Druckaufbaus folgende Fälle betrachtet:

- Zulauf, beginnend 100 a nach Fertigstellung der Streckenabdichtung über einen Zeitraum von 2400 a,
- Zulauf, beginnend 2400 a nach Fertigstellung der Streckenabdichtung über einen Zeitraum von 100 a.

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

6.2 Materialverhalten

6.2.1 Mechanisches Verhalten

Für den Anhydrit wird linear elastisches Materialverhalten mit Parametern nach /36/ angenommen. Dem Fugenmaterial wird ebenfalls elastisches Materialverhalten zugewiesen, wobei der Elastizitätsmodul gegenüber den salinaren Gesteinen um ca. den Faktor 100 reduziert ist (vgl. Tabelle 6.2-1). Das Material repräsentiert damit einen Baustoff mit geringer Steifigkeit, der als ca. 0,5 m breite Fuge die Streckenabdichtung (Referenzmaterial Salzbeton M2) vom Verfüllbaustoff der Kalilager (Referenzmaterial Salzbeton M3) trennt. Für beide Salzbeton-Baustoffe wird elastoplastisches Materialverhalten mit einer Grenzbedingung nach Drucker-Prager ange- setzt. Eine nähere Beschreibung des verwendeten Stoffgesetzes und der Materialparameter wird in Abschnitt 6.2.3 gegeben.

Die anderen modellierten salinaren Gesteine weisen elastisch-viskoplastisches Materialverhal- ten auf, bei denen der viskoplastische Anteil des Stoffgesetzes das stationäre Kriechen mit ei- ner Fließgrenze von Null modelliert. Ein plastischer Anteil des Stoffgesetzes mit definierter Fließgrenze zur Simulation bruchhafter Deformationen ist nicht erforderlich und kommt nicht zum Ansatz. Für die hier durchgeführte geometrisch lineare Berechnung kann von einer additi- ven Zerlegung des Verzerrungstensors und des Tensors der Verzerrungsgeschwindigkeiten $\dot{\epsilon}$ in einen elastischen Anteil $\dot{\epsilon}_e$ und einen viskoplastischen Anteil $\dot{\epsilon}_v$

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_e + \dot{\epsilon}_v \quad (6-1)$$

ausgegangen werden. Der elastische Anteil des Stoffgesetzes wird als linear elastisch betrach- tet, die Materialdaten nach /36/ sind in Tabelle 6.2-1 angegeben.

Material	Elastizitätsmodul E	Querkontraktionszahl ν
Anhydrit	30 GPa	0,27
Decksteinsalz- Leinekarbonat	25 GPa	0,27
Kaliflöz	25 GPa	0,27
Steinsalz	25 GPa	0,27
Carnallitit	25 GPa	0,27
Fugenmaterial	0,2 GPa	0,2

Tabelle 6.2-1: Elastische Parameter der im Modell erfassten Materialien

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Das zeitabhängige Deformationsverhalten wird durch den viskoplastischen Anteil des Stoffgesetzes, der als stationäres Kriechen modelliert ist, erfasst. Hierfür wird das Materialgesetz für Steinsalz nach /35/

$$\dot{\epsilon}_{\text{eff}}^{\text{cr}} = A \cdot e^{\frac{-Q}{R \cdot T}} \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{eff}}}{\sigma^*} \right)^n \quad (6-2)$$

mit

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

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

und den Parametern

- Spannungsexponent n = 5 [-]
- Kriechfaktor A = 0,18 [1/d]
- Aktivierungsenergie Q = 54 [kJ/mol]
- Gaskonstante R = $8,314 \cdot 10^{-3}$ [kJ/mol·K]
- Normierungsspannung σ^* = 1 [MPa]

und der Temperatur T [K] angesetzt. Um unterschiedliche Kriechfähigkeit der verschiedenen stratigraphischen Einheiten zu berücksichtigen, werden unterschiedliche Vorfaktoren (Kriechklassen) gewählt, wie in /35/ empfohlen. Für die Bereiche des Salzes, deren Spannungszustände gegebenenfalls eine Verletzung des Dilatanzkriteriums nach Gl. (5-7) ausweisen, wird der Ansatz des Stoffgesetzes beibehalten. Dieser Ansatz kann gerechtfertigt werden, da begleitend das momentane Dilatanzkriterium überprüft wird. Wenn dieses nur eine geringe Ausdehnung der dilatanten Bereiche (potentiell geschädigte Zonen) ausweist und der Zeitraum der Überschreitung des Dilatanzkriteriums kurz ist, kann der Einfluss eines schädigungsbedingten, beschleunigten Kriechens vernachlässigt werden.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Nach /35/ wird für Bereiche des Carnallit-Lagerteils C

$$\dot{\epsilon}_{\text{eff,Carn}}^{\text{cr}} = A \cdot e^{\frac{-Q}{R \cdot T}} \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{eff}}}{\sigma} \right)^n + C \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{eff}}}{\sigma} \right)^2 \quad (6-4)$$

mit $C = 4,5 \cdot 10^{-7} [1/d]$ und den oben für das Stoffgesetz für Steinsalz angegebenen Parametern angesetzt. Die verwendeten Kriechklassen werden im Zusammenhang mit der Modellbeschreibung in Abschnitt 6.4.1 angegeben.

Mit Ausnahme des Anhydrits wird für die Dichte der im Modell erfassten salinaren Gesteine 2200 kg/m^3 angenommen. Für den Anhydrit werden 2500 kg/m^3 angesetzt. Dem Fugenmaterial wurde eine Dichte von 1835 kg/m^3 zugewiesen. Die mittlere Dichte des Deckgebirges wurde entsprechend /37/ mit 2258 kg/m^3 ermittelt und als Auflast zum Ansatz gebracht.

6.2.2 Thermisches Verhalten

Für alle Materialien wird von thermisch isotropem Verhalten ausgegangen. Wärmeübertragung wird in den Berechnungen durch Wärmeleitung berücksichtigt, der Einfluss von Konvektion und Strahlung wird vernachlässigt. Die Materialparameter sind in Tabelle 6.2-2 zusammengestellt /38/. Alle in Tabelle 6.2-2 aufgeführten Parameter werden als temperaturunabhängig angenommen.

Material	Dichte [kg/m ³]	Spezifische Wärmekapazität c [J/(kg·K)]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m·K)]
Anhydrit	2500	864	5,3
Decksteinsalz- Leinekarbonat	2200	855	7,4
Kaliflöz	2200	855	4,5
Steinsalz	2200	855	5,2
Carnallit	2200	855	1,5
Luft	1,12	1007	0,0257

Tabelle 6.2-2: Thermische Parameter der Materialien

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

6.2.3 Hydratationsmodell für Salzbeton

Der hydraulisch abbindende Versatz für die Streckenabdichtung und zur Verfüllung der Kalilager wird mit dem in /6/ und /39/ 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

$$\alpha = \exp\left(-\left(\ln\left(1 + \frac{t_e}{t_1}\right)\right)^b\right) \quad (6-5)$$

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

$$t_e = \int_0^t \exp\left(\frac{E_A}{R} \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{T}\right]\right) dt \quad (6-6)$$

mit

T Betontemperatur [K]

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

$E_A = 33500 + 1470 (293 - T)$ [J/mol] für $T < 293$ K nach /31/

R universelle Gaskonstante, $R = 8,314$ [kJ/mol·K]

Der Elastizitätsmodul wird in Abhängigkeit vom Hydratationsgrad α nach /6/ und /39/ mit

$$E_{ct}(\alpha) = E_{cte} \cdot \left[\frac{\alpha - \alpha_0}{1 - \alpha_0}\right]^a \quad (6-7)$$

ermittelt, wobei

E_{cte} Elastizitätsmodul bei $\alpha = 1$

α_0 Mindesthydratationsgrad (betonspezifischer Parameter, kennzeichnet den Beginn der Entwicklung von Festkörpereigenschaften)

a Exponent, $a \cong 2/3$

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Die Werte der einaxialen Druck- und Zugfestigkeit f_c und f_{ct} sind ebenfalls an den Hydratationsgrad α gekoppelt. Nach /6/ und /39/ kann die Entwicklung der Festigkeiten in Abhängigkeit von α folgendermaßen beschrieben werden:

$$f_{ct}(\alpha) = f_{cte} \cdot \left[\frac{\alpha - \alpha_0}{1 - \alpha_0} \right] \quad (6-8)$$

mit

f_{cte} Zugfestigkeit bei $\alpha = 1$

α_0 Mindesthydratationsgrad

$$f_c(\alpha) = 0,85 \cdot \left[f_{ce} \cdot \frac{(\alpha - \alpha_0)}{c \cdot (1 - \alpha_0)} \right]^{3/2} \quad (6-9)$$

mit

f_{ce} Druckfestigkeit bei $\alpha = 1$

α_0 Mindesthydratationsgrad

c Betonspezifischer Parameter

Für den Salzbeton wird elastoplastisches Materialverhalten angenommen. Für die hier durchgeführte geometrisch lineare Berechnung kann von einer additiven Zerlegung des Verzerrungstensors und des Tensors der Verzerrungsgeschwindigkeiten in einen elastischen Anteil $\dot{\epsilon}_e$ und einen plastischen Anteil $\dot{\epsilon}_p$ ausgegangen werden:

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_e + \dot{\epsilon}_p \quad (6-10)$$

Der elastische Anteil des Stoffgesetzes wird als linear elastisch betrachtet.

Für die Beschreibung des plastischen Materialverhaltens wird ein Ansatz nach Drucker-Prager gewählt. Die Bruchhüllkurve $f(\sqrt{I_2^D}, \sigma) = 0$ wird durch die Drucker-Prager-Fließbedingung

$$f^s = 0 \text{ (Scherversagen)} \quad \text{mit} \quad f^s = \sqrt{I_2^D} + q_\phi \sigma - k_\phi \quad (6-11)$$

und die Zugspannungsbegrenzung (tension cut-off)

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

$$f^t = 0 \text{ (Zugversagen)} \quad \text{mit} \quad f^t = \sigma - \sigma_t \quad (6-12)$$

beschrieben /40/.

Hierbei stellen nach /40/

σ die mittlere Spannung gemäß Gleichung (5-7) mit $\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$

I_2^D die zweite Invariante des Spannungsdeviators nach Gleichung (6-3)

und q_ϕ , k_ϕ und σ_t Materialparameter dar, welche das Festigkeitsverhalten beschreiben. Sie werden mit Hilfe der einaxialen Druck- und Zugfestigkeit f_c und f_{ct} ermittelt.

$$q_\phi = \frac{\sqrt{3}(f_c - f_{ct})}{f_c + f_{ct}} \quad (6-13)$$

$$k_\phi = \frac{2 f_c f_{ct}}{\sqrt{3}(f_c + f_{ct})} \quad (6-14)$$

$$\sigma_t = \frac{1}{3} f_{ct} \quad \text{(Begrenzung der Zugspannung)} \quad (6-15)$$

Bei Überschreitung der Fließbedingung gemäß Gl. (6-11) und (6-12) wird für die numerische Berechnung eine assoziierte Fließregel verwendet.

Im Rahmen der Berechnungen kommt anstelle des Festigkeitskriteriums bis zum Überschreiten des Maximalwertes der Temperaturdifferenz das Temperaturdifferenzkriterium zur Anwendung. Für den sich anschließenden Zeitraum werden die in Abschnitt 5.3.2 ermittelten Rechenwerte der Druck- und Zugfestigkeit von 10 MPa bzw. 0,7 MPa für den Nachweis der Rissbeschränkung über die Einhaltung des Festigkeitskriteriums für den frühen Nachweiszeitraum (bis ca. 100a) verwendet. Die zugehörigen Rechenwerte der Festigkeitsparameter entsprechend Gl. (6-13) bis (6-15) werden zu

$$q_\phi = \frac{\sqrt{3}(f_c - f_{ct})}{f_c + f_{ct}} = \frac{\sqrt{3}(10 - 0,7)}{10 + 0,7} = 1,505 \text{ MPa}$$

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

$$k_{\phi} = \frac{2 f_c f_{ct}}{\sqrt{3}(f_c + f_{ct})} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 0,7}{\sqrt{3}(10 + 0,7)} = 0,7554 \text{ MPa}$$

$$\sigma^t = \frac{1}{3} f_{ct} = \frac{1}{3} \cdot 0,7 \text{ MPa} = 0,233 \text{ MPa} \quad (\text{Begrenzung der Zugspannung})$$

ermittelt und zum Ansatz gebracht.

Salzbeton M2

Für die Errichtung der Streckenabdichtung wird das Referenzmaterial Salzbeton M2 verwendet. In /6/ wird die Identifikation der Parameter beschrieben. Es ergeben sich folgende Werte

$$t_1 = 3,287 \text{ [d]}$$

$$b = -1,3425$$

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

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

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

Zudem wurde in /6/ eine auf die Zementmenge von 328 kg/m^3 bezogene Wärmemenge Q_{ce}^{\max} von $3,295 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ ermittelt. Weitere zur Modellierung benötigte betonspezifische Parameter sind der Mindesthydratationsgrad α_0 sowie die Konstanten a und c. Diese werden nach /6/ mit

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

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

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

angesetzt.

Der Einfluss des Abbindevorganges auf die Querkontraktionszahl ν wird in den hier vorliegenden Berechnungen wie in /6/ angegeben vernachlässigt. Es gilt $\nu = 0,33$.

Weitere vom Hydratationsgrad unabhängige Materialkennwerte sind gemäß /6/

$$\text{Festmaterialdichte } \rho = 1980 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\text{Spezifische Wärmekapazität } c_p = 930 \text{ [J/kg}\cdot\text{K]}$$

$$\text{Wärmeleitfähigkeit } \lambda = 1,14 \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$$

$$\text{Wärmeausdehnungskoeffizient } \alpha_T = 4 \cdot 10^{-5} \text{ [1/K].}$$

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Salzbeton M3

Zur Verfüllung der Kalilager wird das Referenzmaterial Salzbeton M3 verwendet. In /39/ wird die Identifikation der Parameter beschrieben. Es ergeben sich folgende Werte

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

$$b = -1,1255$$

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

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

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

Zudem wurde in /39/ eine auf die Zementmenge von 197 kg/m^3 bezogene Wärmemenge Q_{ce}^{\max} von $4,825 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ ermittelt. Weitere zur Modellierung benötigte betonspezifische Parameter sind der Mindesthydratationsgrad α_0 sowie die Konstanten a und c. Diese werden nach /39/ 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 /39/ angegeben vernachlässigt. Es gilt $\nu = 0,255$.

Weitere vom Hydratationsgrad unabhängige Materialkennwerte sind nach /39/

$$\text{Festmaterialdichte } \rho = 1950 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\text{Spezifische Wärmekapazität } c_p = 918 \text{ [J/kg}\cdot\text{K]}$$

$$\text{Wärmeleitfähigkeit } \lambda = 0,87 \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$$

$$\text{Wärmeausdehnungskoeffizient } \alpha_T = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ [1/K]}$$

6.3 Berechnungsmethode

Die Berechnung wird mit dem Programm FLAC3D 2.2 /40/ durchgeführt. FLAC3D 2.2 verwendet die Methode der Finiten Differenzen mit einem expliziten Verfahren sowie eine gemischte Diskretisierungstechnik, die eine Vernetzung mit unstrukturierten - also der realen geometrischen und geologischen Situation angepassten - Gittern erlaubt. Es ergeben sich bei gleicher

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Diskretisierung die gleichen Gleichungssysteme wie bei einer Diskretisierung mit finiten Elementen mit linearen Verschiebungsansätzen. Auch für die Temperaturberechnung werden lineare Ansätze verwendet.

Zum Nachweis der Einhaltung des Temperaturkriteriums zur Rissbeschränkung werden thermische Berechnungen durchgeführt, deren Ergebnisse in Abschnitt 6.5.1 zusammengestellt sind. Die Ergebnisse der mechanischen Berechnungen zum Nachweis der Einhaltung der mechanischen Kriterien zur Rissbeschränkung sind in den Abschnitten 6.5.2 – 6.5.5 für die verschiedenen Bemessungssituationen dargestellt.

Für die mechanischen Berechnungen wird eine konstante Temperatur angenommen und diese in den Stoffgesetzen für das Kriechen und das Hydratationsmodell berücksichtigt, da durch die vorlaufenden Temperaturberechnungen gezeigt wird, dass der Temperatureinfluss vernachlässigt werden kann.

6.4 Berechnungsmodelle

Im Folgenden wird die Modellierung der unter 6.1 dargestellten Vorzugsvariante für die exemplarische Nachweisführung beschrieben.

6.4.1 3D-Modell

Vereinfachte Modellannahmen

Folgende Annahmen werden hinsichtlich einer Vereinfachung der Geologie und Geometrie getroffen:

- Die geometrische Situation entsprechend Profil 3.3 in /35/ wird in südöstlicher und nordwestlicher Richtung (Streichrichtung der Sattel- und Muldenachse) extrudiert. Die Schichtmächtigkeiten bleiben somit konstant (Anhang 1).
- Der Streckenverlauf ist senkrecht zur geologischen Streichrichtung. Der ursprüngliche Streckenquerschnitt vor dem Nachschneiden wird mit Breite x Höhe von 3,0 m x 2,1 m über die gesamte Streckenlänge angenommen. Zur Vermeidung von unrealistischen Spannungsspitzen im numerischen Modell wird das Profil an den Ecken ausgerundet. Ausgehend von die-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

sem ursprünglichen Querschnitt ergibt sich nach der Beraubung der Auflockerungszone (Ansatz im Rechenmodell entsprechend Anhang 2) und einem zusätzlichen, mittleren, allseitigen Ausbruch von 0,2 m ein lichter Querschnitt von 3,4 m x 2,5 m. Für Firste und Sohle werden aus beraubungstechnischen Gründen unterschiedliche Nachschnitttiefen gewählt. Die Annahmen bezüglich der Geometrie des Nachschnittprofils sind aus Anhang 2 ersichtlich.

- Das Schichteinfallen wird westlich des Östlichen Schachtsattels II mit einheitlich 60° und östlich des Sattels mit 50° angenommen.
- Die Anhydritscholle der Hauptmulde wird als durchgehend angenommen. Das teilversetzte Carnallit-Lager wird nicht modelliert. Ebenso werden die Abbaue innerhalb des Kalilager-teils B nicht berücksichtigt.
- Die im Modellgebiet vorkommenden geringmächtigen geologischen Schichten ohne Angabe der Kriechklasse in /35/ werden nicht einzeln berücksichtigt; ihnen werden die Materialeigenschaften der benachbarten Schicht mit den schlechter kriechfähigen Eigenschaften zugewiesen (Tabelle 6.4-1). In diesem Zuge wird das Decksteinsalz-Leine-Karbonat dem Hauptanhydrit und das Hangendsalz / kieseritische Übergangsschicht dem Kristallbrockensalz zugeschlagen. Die sich im Kristallbrockensalz befindlichen Kalischnüre sind ebenfalls nicht im Modell enthalten.
- Die das Modell in östlicher und westlicher Richtung begrenzenden Anhydritblöcke werden ungefähr mit ihrer halben Mächtigkeit modelliert, um die Symmetriebedingungen zu gewährleisten.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Stratigraphische Einheit mit Kurzbezeichnung		M in m	EFW in °	Kriech- klasse	Vorfaktor A
z3HA	Hauptanhydrit		60	-	-
z2DS – z3LK	Decksteinsalz-Leine-Karbonat	4	60	- *	-
z2SF	Kaliflöz Staßfurt	2	60	4	0,09
z2HG – UE	Hangendsalz, kieseritische Übergangsschicht	3	60	1 *	0,01125
z2HS3	Kristallbrockensalz	3	60	1	0,01125
z2SF	Kaliflöz Staßfurt	0,02	60	1 *	0,01125
z2HS3	Kristallbrockensalz	20	W: 60 E: 50	1	0,01125
z2HG – UE	Hangendsalz, kieseritische Übergangsschicht	3	50	1 *	0,01125
z2SF	Carnallit–Lagerteil C	4	50	**	0,18
z2DS – z3LK	Decksteinsalz-Leine-Karbonat	3	50	- *	-
z3HA	Hauptanhydrit		50	-	-

M Schichtmächtigkeit im Streichen der Strecke gemäß /35/

EFW Einfallwinkel

* Bereiche ohne Angabe der Kriechklasse in /35/ wurden aufgrund ihrer Geringmächtigkeit als konservative Annahme der benachbarten stratigraphischen Einheit mit der niedrigeren Kriechklasse zugeordnet.

** Kriechen nach dem Stoffgesetz BGR-Carnallitit

Tabelle 6.4-1: Überblick zu den im numerischen Modell erfassten stratigraphischen Einheiten und Angaben zu deren geomechanischer Umsetzung

Vernetzung des Modells

Die Vernetzung der geologischen Strukturen erfolgte mit Hilfe des ANSYS Preprocessors /41/. Das numerische Modell besteht aus ca. 74900 Elementen (8-Knoten Hexaeder) und 77850 Knoten (Anhang 3). Die feinste Diskretisierung liegt im Bereich der Auflockerungszone des Kristallbrockensalzes mit Elementabmessungen von ca. 13 x 30 x 30 cm vor. Im Bereich der Streckenabdichtung wurde eine Vernetzung mit annähernd gleich großen Elementen bei vertikalen Knotenabständen von 21 cm angestrebt (Anhang 4).

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Modellgröße und Randbedingungen

Die Lage der Modellränder wird so gewählt, dass durch sie keine Beeinflussung des strecken-nahen Spannungszustandes erwächst. Die geometrischen Abmessungen des Modells betragen:

L (Orientierung in Streichrichtung der Strecke) x B (quer zur Streichrichtung der Strecke) x H (Höhe) : 80 m x 100 m x 110 m

Vom Modell wird das Niveau –260 m NN bis –370 m NN erfasst (Anhang 1).

An den seitlichen Randflächen werden Verschiebungsrandbedingungen angesetzt, die die Verschiebungen in x- bzw. y-Richtung behindern. An der unteren Randfläche werden Verschiebungen in z-Richtung verhindert. Auf der oberen Randfläche wird eine Last entsprechend der Auflast des nicht bis zur Tagesoberfläche modellierten Deckgebirges aufgebracht. Diese Auflast beträgt 8,73 MPa.

Das Modell wird mit einer für den Teufenbereich von 332 m ermittelten Umgebungstemperatur von 20,5°C initialisiert /38/. Auf den Ansatz eines geothermischen Tiefengradienten wird verzichtet. Für die mechanische Berechnung bleibt die Temperatur über den gesamten Berechnungszeitraum konstant. Für die thermische Berechnung werden für die Randflächen adiabate Randbedingungen angesetzt.

Berechnungsfälle

Es werden die Berechnungsfälle BF0, die thermische Berechnung des Bauzustandes, sowie die im Folgenden erläuterten mechanischen Berechnungsfälle BF1 bis BF4 betrachtet. Die mechanischen Berechnungsfälle werden hinsichtlich des Zeitpunktes und der Dauer des Zulaufes in die Fälle:

- a) **Lange trockenes Endlager** (BF1 und BF2) und
- b) **Zulauf innerhalb von 2500 Jahren** (BF3 und BF4) unterschieden

Im Falle eines Zulaufes wird das Modell mit einem Druck in Höhe der hydraulischen Last als innere Randbedingung beaufschlagt. Entsprechend den Vorgaben beträgt der maximale Fluiddruck auf die östliche Stirnfläche der Abdichtung 6 MPa. In allen Berechnungsfällen wird von

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

einer formschlüssigen Verfüllung der Resthohlräume mit dem Referenzmaterial M3 ausgegangen, wobei in der Modellierung eine ca. 0,5 m starke Schicht eines Materials geringerer Steifigkeit (Fugenmaterial) an den Stirnflächen der Streckenabdichtung berücksichtigt wird. Durch diesen Ansatz wird ein formschlüssiger, aber zunächst nicht kraftschlüssiger Verbund der Baustoffe von Streckenabdichtung und Resthohlraumverfüllung angenommen, was die Einstellung eines dreidimensionalen Einspannungszustandes im Abdichtungskörper verzögert. Ferner wird durch das Fugenmaterial eine Trennung der Baukörper erreicht, wodurch die Ausbildung von Zwangsbeanspruchungen konstruktiv auf vernachlässigbare Werte beschränkt wird.

Ein tabellarischer Überblick zu den durchgeführten mechanischen Berechnungen und den Annahmen bezüglich des Zulaufs nach Fertigstellung der Abdichtung wird in Tabelle 6.4-2 gegeben.

Berechnungsfall	Beginn Zulauf [a]	Ende Zulauf [a]	Kriechfähiges Material der Abdichtung (ja/nein)
BF 1	-	-	nein
BF 2	-	-	ja
BF 3	100	2500	nein
BF 4	2400	2500	nein

Tabelle 6.4-2: Überblick über die mechanischen Berechnungsfälle

a) Lange trockenes Endlager

Im Falle des lange trockenen Endlagers wird davon ausgegangen, dass innerhalb des Betrachtungszeitraumes kein Fluidruck ansteht. Diese Bemessungssituation wird in den Berechnungsfällen BF1 und BF2 betrachtet.

Im Berechnungsfall BF1 wird von elasto-plastischem Materialverhalten des Baustoffs des Abdichtungskörpers mit einer Fließbedingung nach Drucker-Prager ausgegangen.

Für das Material des Abdichtungskörpers wird im Berechnungsfall BF2 eine geringe Kriechfähigkeit berücksichtigt. Für den Baustoff wird hierbei das in 6.2.1 angegebene Stoffgesetz für

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Steinsalz mit der Kriechklasse 0 angesetzt, die Kriechfähigkeit ist somit geringer als die des umgebenden Gesteins (Kriechklasse 1).

b) Zulauf innerhalb von 2500 Jahren

Im Falle des Zulaufs innerhalb von 2500 Jahren werden hinsichtlich des Druckaufbaus folgende Fälle unterschieden:

Im Berechnungsfall BF3 wird ein langsamer, 2400 Jahre dauernder Zulauf, beginnend 100 Jahre nach Fertigstellung der Streckenabdichtung angenommen. Die hydraulische Last wird durch eine Beaufschlagung der Fugenmaterialschicht an der östlichen Stirnfläche der Abdichtung mit einem Porendruck realisiert. Der Druck wird hierbei linear um 0,0025 MPa pro Jahr gesteigert.

Im Fall BF4 tritt der Zulauf erst 2400 Jahre nach Abschluss der Errichtung auf. Die Dauer des Zulaufs beträgt für diesen Fall 100 Jahre, wobei ein linearer Druckanstieg von 0,06 MPa pro Jahr gewählt wurde.

In beiden Berechnungsfällen wird von dem in Kapitel 6.2.3 beschriebenen elastoplastischen Materialverhalten des Baustoffs des Abdichtungskörpers ausgegangen.

6.4.2 Belastungsgeschichte

Berechnungsfall BF0: Thermische Berechnungen

Die thermische Berechnung dient dem Nachweis der Einhaltung des Temperaturkriteriums zur Rissbeschränkung. Es wird der Verfüllprozess simuliert und die Berechnung für einen Berechnungszeitraum von 20 bis 30 Tagen fortgesetzt. Danach verringert sich die Temperaturdifferenz im Versatzkörper, so dass eine spätere Überschreitung des Kriteriums ausgeschlossen ist. Die tägliche Verfüllmenge beträgt in Abhängigkeit vom simulierten Verfüllregime 17 bis 50 m³, wobei auch unterschiedliche Verfüllrhythmen mit sowohl täglicher Verfüllung als auch einer Verfüllung alle 2 bzw. 4 Tage berücksichtigt werden. Die Einbautemperatur des Salzbetons variiert für die verschiedenen Berechnungsvarianten von -2,6°C bis 20°C.

Darüber hinaus findet eine Variation der Wärmeleitfähigkeit des Salzbetons M2 unter Ansatz des 2, 3 und 5-fachen Wertes für die an trockenen Proben bestimmte Wärmeleitfähigkeit statt.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Ein Überblick zu den hier dargestellten Berechnungsvarianten (BF0-1 bis BF0-12) wird in Tabelle 6.4-3 gegeben.

		Einbau-temperatur	Lagenhöhe	Verfüll-rhythmus	Verfülldauer
BF0-1: Referenzfall		20 °C	ca. 0,63 m	täglich	5,3 d
BF0-2: Variation der Lagenhöhe		20 °C	ca. 0,21 m	täglich	16 d
BF0-3: Variation der Verfüllpause und der Lagenhöhe		20 °C	ca. 0,21 m	alle 2 Tage	32 d
Variation der WLF ($\lambda_{ref} = 1,14 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)	BF0-4: $2 \cdot \lambda_{ref}$	20 °C	ca. 0,63 m	täglich	5,3 d
	BF0-5: $3 \cdot \lambda_{ref}$	20 °C	ca. 0,63 m	täglich	5,3 d
	BF0-6: $5 \cdot \lambda_{ref}$	20 °C	ca. 0,63 m	täglich	5,3 d
Variation der Einbautemperatur und der Lagenhöhe	BF0-7	15°C	ca. 0,21 m	täglich	16 d
	BF0-8	10°C	ca. 0,21 m	täglich	16 d
	BF0-9	5°C	ca. 0,21 m	täglich	16 d
	BF0-10	2,4°C	ca. 0,21 m	täglich	16 d
	BF0-11	0°C	ca. 0,21 m	täglich	16 d
	BF0-12	-2,6°C	ca. 0,21 m	täglich	16 d

Tabelle 6.4-3: Überblick über die thermischen Berechnungsvarianten

Berechnungsfälle BF1 - BF4: Mechanische Berechnungen

Zunächst wird ein dem lithostatischen Druck entsprechender Primärspannungszustand erzeugt, bei dem sich das Gebirge in einem Gleichgewichtszustand befindet. Danach wird die Auffahrung der Strecke simuliert. Es folgt eine Kriechberechnung bis zum geplanten Beginn des Nachschnitts mit anschließender Simulation von Nachschnitt und Errichtung des Abdichtungskörpers. Für alle Berechnungsfälle wird unter der Annahme eines Zeitraumes von einem Jahr nach dem Bau des Abdichtungskörpers das Einbringen des Fugenmaterials sowie die Verfüllung der Kalilager simuliert. Nach Abschluss des Verfüllvorgangs wird die Berechnung für die Bemessungssituationen trockenes bzw. zugelaufenes Endlager unter der Annahme verschiedener Zulauf-Zeitpunkte und -dauern fortgesetzt. Der Betrachtungszeitraum beträgt 30000 Jahre.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Die Belastungsgeschichte und Verfüllreihenfolge ist für die einzelnen Modelle in den folgenden Tabellen 6.4-4 bis 6.4-7 dargestellt. Die tägliche Verfüllmenge beträgt für die Berechnungsfälle BF1 bis BF4 ca. 17 m³.

Monat/Jahr	Ereignis
1/1915	Auffahrung der Strecke
1/2004	Nachschnitt der Strecke
2/2004	Errichten des Abdichtungskörpers aus M2
2/2005	Einbringen des Fugenmaterials an den Stirnseiten der Abdichtung, Verfüllen der Resthohlräume mit M3
2/32004	Ende der Berechnung

Tabelle 6.4-4: Belastungsgeschichte Berechnungsfall BF1

Monat/Jahr	Ereignis
1/1915	Auffahrung der Strecke
1/2004	Nachschnitt der Strecke
2/2004	Errichten des Abdichtungskörpers aus kriechfähigem Material (Kriechklasse 0)
2/2005	Einbringen des Fugenmaterials an den Stirnseiten der Abdichtung, Verfüllen der Resthohlräume mit M3
2/32004	Ende der Berechnung

Tabelle 6.4-5: Belastungsgeschichte Berechnungsfall BF2

Monat/Jahr	Ereignis
1/1915	Auffahrung der Strecke
1/2004	Nachschnitt der Strecke
2/2004	Errichten des Abdichtungskörpers aus M2
2/2005	Einbringen des Fugenmaterials an den Stirnseiten der Abdichtung, Verfüllen der Resthohlräume mit M3
2/2104	Beginn des Zulaufs
2/4504	Ende des Zulaufs
2/32004	Ende der Berechnung

Tabelle 6.4-6: Belastungsgeschichte Berechnungsfall BF3

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Monat/Jahr	Ereignis
1/1915	Auffahrung der Strecke
1/2004	Nachschnitt der Strecke
2/2004	Errichten des Abdichtungskörpers aus M2
2/2005	Einbringen des Fugenmaterials an den Stirnseiten der Abdichtung, Verfüllen der Resthohlräume mit M3
2/2404	Beginn des Zulaufs
2/4504	Ende des Zulaufs
2/32004	Ende der Berechnung

Tabelle 6.4-7: Belastungsgeschichte Berechnungsfall BF4

6.5 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Berechnungen für die laut Abschnitt 5.3 zu betrachtenden Nachweiskriterien für die verschiedenen Bemessungssituationen aufgeführt. Für die Auswertung werden 4 Schnitte herangezogen (siehe Anhang 4):

- Schnitt S1: entlang der Achse der Streckenabdichtung; die Abbildungen sind Ost-West orientiert (Blickrichtung Süd), vergleiche Abbildung 2.4-1
- Schnitt S2: Querschnitt, 1,0 m hinter der westlichen Stirnfläche der Streckenabdichtung; die Abbildungen sind Nord-Süd orientiert (Blickrichtung Ost)
- Schnitt S3: Querschnitt, Mitte der Streckenabdichtung; die Abbildungen sind Nord-Süd orientiert (Blickrichtung Ost)
- Schnitt S4: Querschnitt, 1,0 m hinter der östlichen Stirnfläche der Streckenabdichtung; die Abbildungen sind Nord-Süd orientiert (Blickrichtung Ost)

Für die Auswertung der Berechnungsergebnisse werden folgende Auswertekriterien zu Grunde gelegt. Die Ergebnisse werden wie nachstehend beschrieben dargestellt.

Festigkeitskriterium:

Während des frühen Nachweiszeitraums (bis ca. 100a) wird für den Abdichtungskörper der Nachweis der Rissbeschränkung über die Einhaltung des Festigkeitskriteriums geführt. Hierfür wird eine Drucker-Prager Fließbedingung nach Gl. (6-11) und (6-12) als Grenzbedingung verwendet, welche die in Abschnitt 5.3.2 ermittelten Rechenwerte der Druck- und Zugfestigkeit berücksichtigt (siehe auch Abschnitt 6.2.3). Bei der Darstellung der Berechnungsergebnisse ist

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

zu beachten, dass die Abbildungen nicht nur die zum angegebenen Berechnungszeitpunkt vorhandenen Bereiche mit Festigkeitsüberschreitung zeigen, sondern alle Bereiche, in denen bis zum angegebenen Berechnungszeitpunkt Festigkeitsüberschreitungen stattgefunden haben und damit Risse nicht ausgeschlossen werden können. Die Zonen des Abdichtungskörpers, in denen keine Festigkeitsüberschreitung auftrat, werden hellblau, die Zonen in denen Festigkeitsüberschreitungen auftraten werden grün (Zugversagen), rot (Scherversagen) und gelb (Zug- und Scherversagen) dargestellt.

Dilatanzkriterium / potentiell geschädigte Zonen:

Sowohl während des frühen als auch des späten Nachweiszeitraums kommt für den Nachweis der Rissbeschränkung das Dilatanzkriterium für verschiedene Elemente der Abdichtung zur Anwendung. Die Darstellung der Berechnungsergebnisse zum Nachweis der Rissbeschränkung über die Einhaltung des Dilatanzkriteriums nach Gleichung (5-7) erfolgt mittels zwei verschiedener Darstellungsarten:

Für den angegebenen Berechnungszeitpunkt wird das Dilatanzkriterium (momentane Dilatanz) ausgewertet, wobei für rot dargestellte Zonen Dilatanz und für blau dargestellte Zonen Zugspannungen ausgewiesen werden. Das Verhältnis der für diesen Beanspruchungszustand ermittelten Oktaederspannung zur Oktaederspannung auf der Dilatanzgrenze nach Gleichung (5-7) wird als Ausnutzungsgrad bezeichnet.

Die Darstellung der potentiell geschädigten Zonen hingegen beinhaltet nicht nur die zum angegebenen Berechnungszeitpunkt momentan vorhandene Dilatanz, sondern alle Zonen, für die bis zum angegebenen Berechnungszeitpunkt Rissbildung nicht ausgeschlossen werden kann. Die nicht geschädigten Zonen werden in den Abbildungen blau, Zonen, für die rechnerisch eine Zugspannung ausgewiesen wird, grün dargestellt. Zonen, in denen die Berechnung eine Überschreitung des Dilatanzkriteriums ergibt, werden rot dargestellt.

Effektives Dilatanzkriterium:

Für die Berechnungsfälle unter Annahme eines lange trockenen Endlagers erfolgt für die Auflockerungszone eine Auswertung der momentanen, effektiven Dilatanzbedingung gemäß Abschnitt 5.3.3. Die Darstellung der Berechnungsergebnisse erfolgt für den angegebenen Berechnungszeitpunkt unter Ansatz eines fiktiven Porendruckes von 6 MPa. In den rot dargestellten Zonen wird rechnerisch effektive Dilatanz, und in den blau dargestellten Zonen eine Überschreitung des zulässigen Wertebereiches für das effektive Dilatanzkriterium ausgewiesen.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Fluidkriterium:

Bei der Darstellung der Berechnungsergebnisse zum Nachweis der Einhaltung des Fluidkriteriums wird lediglich das Gebirge dargestellt, wobei Zonen, in denen das Fluidkriterium verletzt ist, rot und Zonen, in denen das Kriterium erfüllt ist, blau abgebildet werden.

Ferner findet exemplarisch für die Berechnungsfälle BF1 und BF2 eine Auswertung der Verläufe von maximaler und minimaler Hauptspannung statt. Als Auswertepunkt wird die Zone P9 im Firstbereich des Salzbetonkörpers (Mitte der Abdichtung) herangezogen.

6.5.1 Bauzustände

Wie in 5.3.1 beschrieben, ist für die Bauzustände (Berechnungsfall BF0 mit den Berechnungsvarianten BF0-1 bis BF0-12) der Nachweis der Rissbeschränkung durch Einhaltung des Temperaturdifferenzkriteriums zu führen. Eine Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse befindet sich in Tabelle 6.5-1.

BF0-1: Referenzfall

Im Referenzfall BF0-1 wird gemäß Tabelle 6.4-2 von einer Einbautemperatur von 20°C bei einer täglichen Verfüllmenge von ca. 50 m³ ausgegangen. Dies entspricht einer mittleren Verfüllhöhe von 0,63 m pro Tag. Die Gesamtdauer der Verfüllmaßnahme beträgt 5,3 Tage.

Für den Referenzfall beträgt die maximale Temperaturdifferenz innerhalb der Streckenabdichtung 33 K. Der maximale Temperaturunterschied tritt nach 12,3 d zwischen einem Gitterknoten in der Mitte der Streckenabdichtung und einem Gitterknoten am Übergangsbereich von Bauwerksstirnfläche zum Gebirge auf. Die Temperaturverläufe dieser Knoten für den Referenzfall sind aus Abbildung 6.5-1 ersichtlich. Für den Referenzfall ist das Temperaturdifferenzkriterium nicht eingehalten, deshalb werden weitere Varianten zum Einbringen des Verfüllmaterials untersucht.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

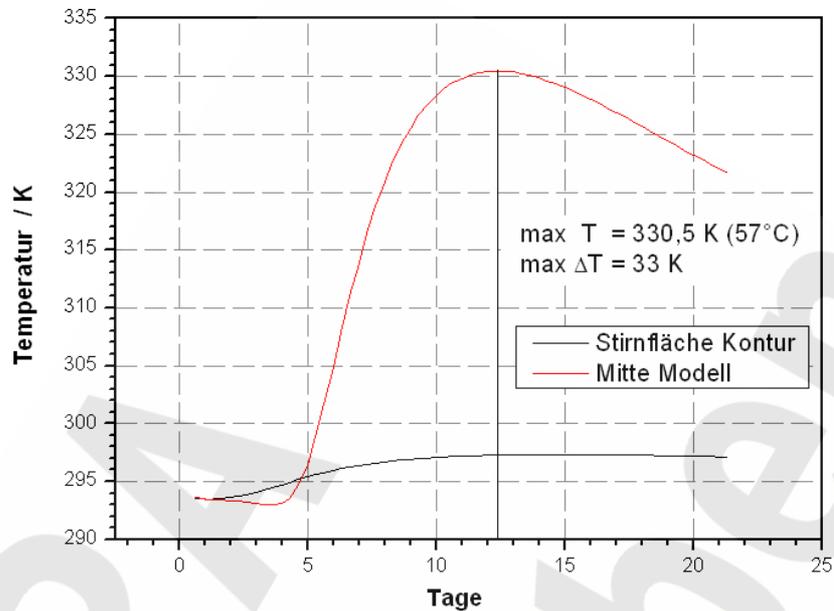


Abbildung 6.5-1: Temperatur–Zeit–Verlauf für die Hydratation der Streckenabdichtung im Referenzfall BF0-1

BF0-2: Variation der Lagenhöhe

In diesem Berechnungsfall wird eine gegenüber dem Referenzfall um 2/3 reduzierte tägliche Verfüllmenge von 17 m³ (mittlere tägliche Verfüllhöhe 0,21 m) angesetzt. Die Gesamtdauer der Verfüllmaßnahme beträgt 16 Tage. Die maximale Temperaturdifferenz beträgt für diesen Fall nach ca. 19 Tagen 29 K (Abbildung 6.5-2) und ist somit geringfügig geringer als die des Referenzfalles BF0-1. Auch in diesem Fall ist das Temperaturdifferenzkriterium nicht eingehalten.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

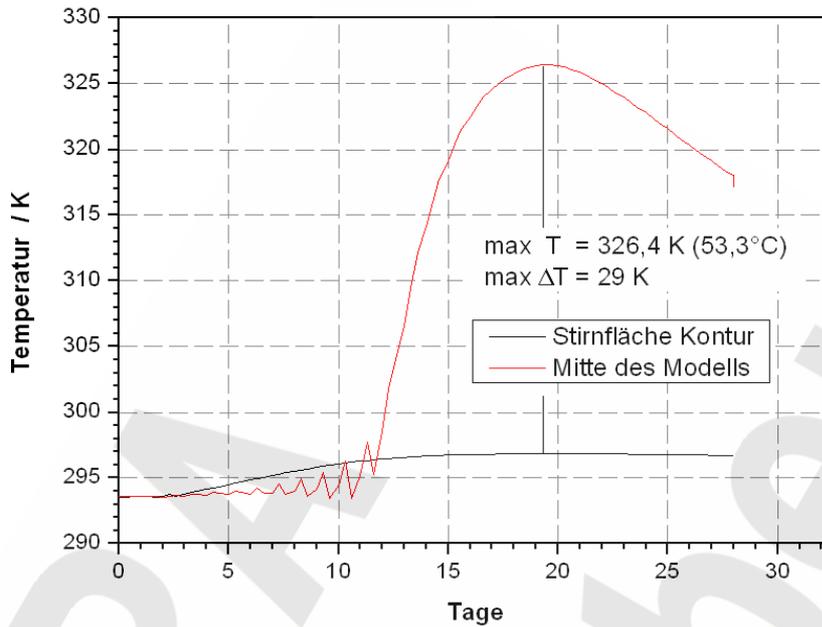


Abbildung 6.5-2: Temperatur–Zeit–Verlauf für die Hydratation der Streckenabdichtung bei Variation der Lagenhöhe, BF0-2

BF0-3: Variation der Verfüllpause und der Lagenhöhe

In diesem Berechnungsfall wird gegenüber dem Referenzfall eine reduzierte tägliche Verfüllmenge von 17 m^3 (mittlere Verfüllhöhe $0,21 \text{ m}$) bei einem Verfüllrhythmus von 2 Tagen angesetzt. Die Gesamtdauer zur Verfüllung eines Segmentes beträgt unter dieser Annahme 32 Tage. Die maximale Temperaturdifferenz liegt für diesen Fall nach ca. 29 Tagen mit 22 K vor (Abbildung 6.5-3). In diesem Fall wird das Temperaturdifferenzkriterium nahezu eingehalten, allerdings kann ein Betonieren frisch in frisch ohne genauere Untersuchungen nicht mehr gewährleistet werden.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

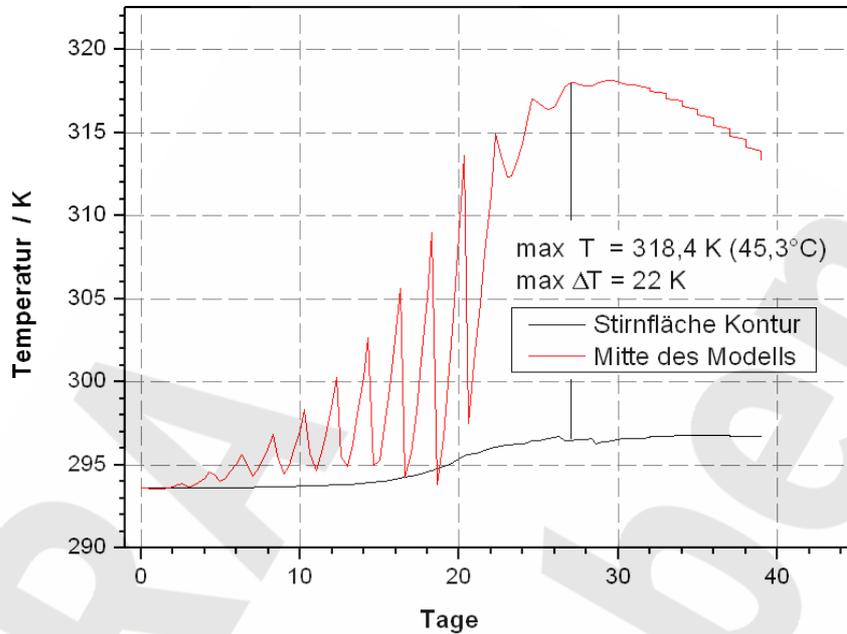


Abbildung 6.5-3: Temperatur-Zeit-Verlauf für die Hydratation der Streckenabdichtung bei Variation der Verfüllpause und der Lagenhöhe, BF0-3

BF0-4 bis BF0-6: Variation der Wärmeleitfähigkeit

Im Rahmen dieser 3 Berechnungsvarianten wird für den frischen Baustoff gegenüber dem Referenzfall eine 2, 3 und 5-fache Wärmeleitfähigkeit des Salzbetons M2 angesetzt. Die in /6/ an trockenen Proben gemessene Wärmeleitfähigkeit λ_{ref} beträgt 1,14 W/(m·K) /6/.

Unter Annahme des für den Referenzfall gewählten Verfüllregimes wird die maximale Temperaturdifferenz von 20 K für Wärmeleitfähigkeiten des frischen Betons von $\lambda > 4,2$ W/(m·K) unterschritten (Abbildung 6.5-4). Aus dieser Berechnung wird deutlich, dass ein Abbau möglicher Konservativitäten allein durch die Variation der Wärmeleitfähigkeit des frischen Betons kein brauchbares Ergebnis erwarten lässt, da eine Zunahme der Wärmeleitfähigkeit des Betons um den Faktor 4 nicht zu erwarten ist.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

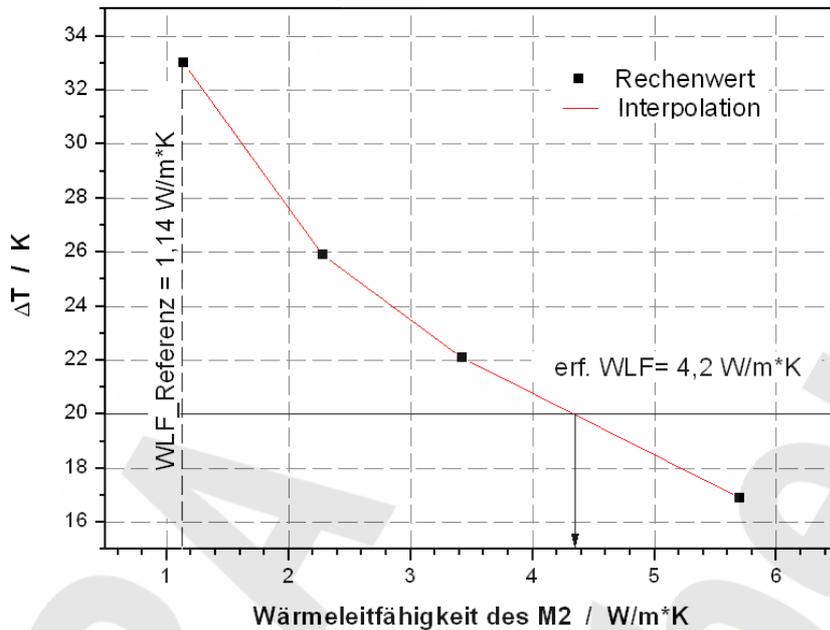


Abbildung 6.5-4: Maximale Temperaturdifferenzen innerhalb der Streckenabdichtung in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des M2; BF0-4 bis BF0-6

BF0-7 bis BF0-12: Variation der Einbringtemperatur und der Lagenhöhe

Im Rahmen dieser Variationsrechnungen wird von einer täglichen Verfüllung mit 17 m³ M2 (mittlere tägliche Verfüllhöhe 0,21 m) ausgegangen. Die Gesamtdauer zur Verfüllung eines Segmentes beträgt unter dieser Annahme 16 Tage.

Die Ergebnisse dieser Temperaturberechnungen zeigen, dass die Einhaltung des Temperaturkriteriums für Einbringtemperaturen $T < 2,4 \text{ }^\circ\text{C}$ erreichbar ist (siehe Abbildung 6.5-6). In Abbildung 6.5-5 ist der Temperatur-Zeit-Verlauf exemplarisch für den Berechnungsfall BF0-11 mit einer Einbringtemperatur von 0°C dargestellt. Die maximale Temperaturdifferenz liegt für diesen Fall am 25. Tag nach Beginn der Verfüllarbeiten vor und beträgt 19,0 K. Durch geeignete Kühlung der Salzbetonmischung ist somit die Einhaltung des Temperaturdifferenzkriteriums möglich. Die Kühlung von Betonmischungen ist bei Bauvorhaben aus Massenbeton, an die besondere Anforderungen an die Rissbeschränkung bestehen, ein übliches Verfahren. Die erforderliche Kühlung des Salzbetons kann jedoch ggf. entfallen oder verringert werden, wenn ein genaueres Modell für das Materialverhalten von Salzbeton zur Anwendung kommt, das eine thermomechanische Kopplung unter Berücksichtigung von Kriech- bzw. Relaxationsprozessen beinhaltet. Die auf Grundlage dieses Stoffmodells ermittelten Spannungen werden mit zulässigen Spannungen verglichen. Bei Einhaltung der zulässigen Spannungen ist der Nachweis alternativ geführt. Dieser alternative Nachweis wird derzeit erarbeitet.

In Abbildung 6.5-6 ist die Abhängigkeit der maximalen Temperaturdifferenz von der Einbringtemperatur dargestellt.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

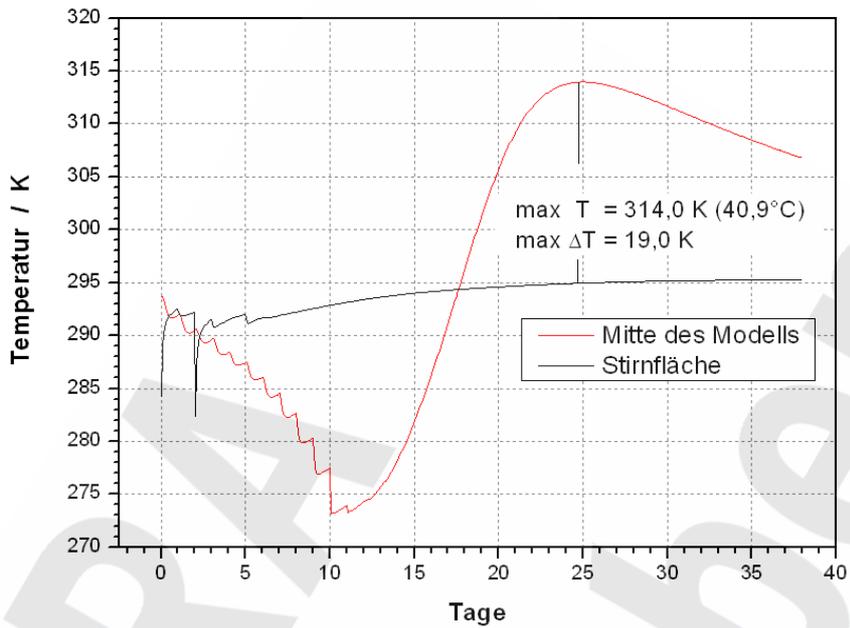


Abbildung 6.5-5: Temperatur–Zeit–Verlauf für die Hydratation der Streckenabdichtung bei Variation der Einbringtemperatur und der Lagenhöhe, BF0-11

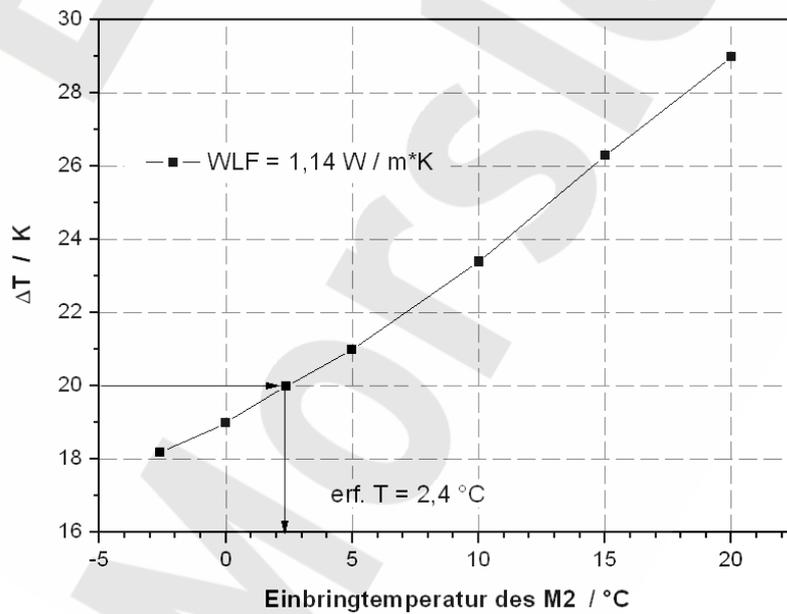


Abbildung 6.5-6: Maximale Temperaturdifferenz innerhalb der Streckenabdichtung in Abhängigkeit von der Einbringtemperatur des M2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

		maximale Temperatur max T in der Abdichtung	maximale Temperaturdifferenz max ΔT in der Abdichtung
BF0-1: Referenzfall		57 °C	33 K
BF0-2: Variation der Lagenhöhe		53,3 °C	29 K
BF0-3: Variation der Verfüllpause und der Lagenhöhe		45,3 °C	22 K
Variation der WLF ($\lambda_{ref} = 1,14 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)	BF0-4 ($2\cdot\lambda_{ref}$)	51 °C	25,9 K
	BF0-5 ($3\cdot\lambda_{ref}$)	47 °C	22,1 K
	BF0-6 ($5\cdot\lambda_{ref}$)	42 °C	16,9 K
Variation der Einbautemperatur und der Lagenhöhe	BF0-7 (15°C)	49,2 °C	26,3 K
	BF0-8 (10°C)	46,2 °C	23,4 K
	BF0-9 (5°C)	43,3 °C	21,0 K
	BF0-10 (2,4°C)	42,0 °C	20,0 K
	BF0-11 (0°C)	40,9 °C	19,0 K
	BF0-12 (-2,6°C)	39,7 °C	18,2 K

Tabelle 6.5-1: Überblick über die Ergebnisse der thermischen Berechnungsvarianten

6.5.2 Zustand der Strecke vor Beginn des Nachschritts

Die in den Abschnitten 6.5.2 – 6.5.5 erläuterten Berechnungsergebnisse sind im Anhang (Anhang 5 – Anhang 82) graphisch dargestellt. In den Darstellungen befindet sich das östliche Ende des Abdichtungsbauwerks auf der linken Seite der Abbildung.

Der betrachtete Berechnungszeitpunkt 01/2004 entspricht für alle Berechnungsfälle dem Zustand vor Beginn der Nachschnitarbeiten. Die Auswertung des Dilatanzkriteriums zeigt für diesen Zeitpunkt momentane Dilatanz bzw. Zugspannungen im Gebirgsbereich des Standortes der Streckenabdichtung. Dabei reichen die momentan dilatanten Bereiche rechnerisch an den Stößen bis ca. 20 cm und an Firste und Sohle bis zu ca. 30 cm ins Gebirge (siehe Anhang 5 bis 8). Durch das gewählte Nachschnittprofil, welches im numerischen Modell mit einer Breite von 3 Zonen diskretisiert ist, werden durch den Nachschnitt alle geschädigten Zonen im Bereich des Abdichtungsstandortes beraubt (siehe Anhang 2).

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

6.5.3 Zustand der Strecke vor Beginn der Errichtung der Streckenabdichtung

Es wird davon ausgegangen, dass 1 Monat nach den Nachschnitarbeiten mit der Errichtung der Streckenabdichtung begonnen wird. Dies entspricht für alle Berechnungsfälle dem Berechnungszeitpunkt 02/2004. In wenigen Zonen an den Stößen und an Firste und Sohle werden dilatante Bereiche bzw. Zugspannungen ausgewiesen. Rechnerisch reichen diese Zonen ca. 10 cm ins Gebirge (siehe Anhang 9 bis 12). Im Sohlbereich der östlichen Stirnfläche beträgt die Tiefe des potentiell geschädigten Bereiches ca. 20 cm (Anhang 11 und 12).

6.5.4 Lange trockenes Endlager

Wie in Abschnitt 5.3.2 beschrieben, ist für den Salzbetonkörper innerhalb des frühen Nachweiszeitraums der Nachweis der Rissbeschränkung über die Einhaltung des Festigkeitskriteriums, und für den späten Nachweiszeitraum über die Einhaltung des Dilatanzkriteriums zu führen. Der Nachweis der Rissbeschränkung in der Auflockerungszone wird ebenfalls durch die Einhaltung der Dilatanzbedingung im Salz geführt, welche abdeckend auch für die Kontaktzone angewendet wird. Für die verschiedenen Berechnungsfälle, die ein lange trockenes Endlager berücksichtigen (BF1 und BF2) werden die Berechnungszeitpunkte 2/2104 (100 a nach Errichtung der Abdichtung), 2/4504 (Ende der Prologphase) und 2/32004 (Ende des Betrachtungszeitraumes) betrachtet.

Für die Berechnungsfälle BF1 und BF2 erfolgt weiterhin eine Auswertung des für diese Berechnungsfälle nicht maßgebenden Fluidkriteriums, da dies Betrachtungen eines variablen Zulaufzeitpunktes und Fluiddruckverlaufes anhand eines fiktiven Porendrucks p erlaubt.

Berechnungsfall BF1 (kein Zulauf innerhalb des Betrachtungszeitraums, elastoplastisches Material)

Die Berechnungsergebnisse des Berechnungsfalles BF1 werden in den Anhängen 13 bis 32 dargestellt.

Abdichtungskörper:

Im Anhang 17 und 18 sind die Berechnungsergebnisse für das akkumulierte Festigkeitskriterium dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass es während des frühen Nachweiszeitraums (100

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Jahre nach Errichtung der Abdichtung) zu keiner Überschreitung des Festigkeitskriteriums im Salzbetonkörper kommt, obwohl temporär geringe Zugspannungen von maximal ca. 0,01 MPa vorhanden sind (vgl. Abbildung 6.5-7). Die Auswertung der Dilatanzbedingung für den späten Nachweiszeitraum weist am Ende des Betrachtungszeitraums einen kleinen Bereich nahe der Firste, ca. 50 cm hinter der östlichen Stirnfläche des Abdichtungskörpers aus, in der zum Ende des Betrachtungszeitraumes Zugspannungen auftreten (Anhang 27 und 29). Generell ist eine stärkere Beanspruchung des Bauwerks im stirnflächennahen Konturbereich bis zu einer Tiefe von maximal 1 m festzustellen. Insbesondere im Firstbereich der östlichen, sowie im Sohlbereich der westlichen Stirnfläche treten die maximalen Ausnutzungsgrade im gesamten Abdichtungskörper auf, die mit Ausnahme der o.g. Zone im Betrachtungszeitraum unterhalb 100% bleiben (Anhänge 13, 21 und 27).

Im Kernbereich der Abdichtung zwischen den Schnitten S2 und S4 (24 m Abdichtungslänge) betragen die maximalen Ausnutzungsgrade im Zeitraum von 100 Jahren bis 30000 Jahren ca. 80 % (Anhänge 13, 14, 21, 22, 27 und 28). Für den Kernbereich des Abdichtungskörpers ist dabei innerhalb des Betrachtungszeitraumes eine Verringerung des Ausnutzungsgrades festzustellen. Dies wird durch Abbildung 6.5-8 verdeutlicht, in der ein Ansteigen der Hauptspannungen bei im Wesentlichen gleichbleibenden Hauptspannungsdifferenzen sichtbar wird.

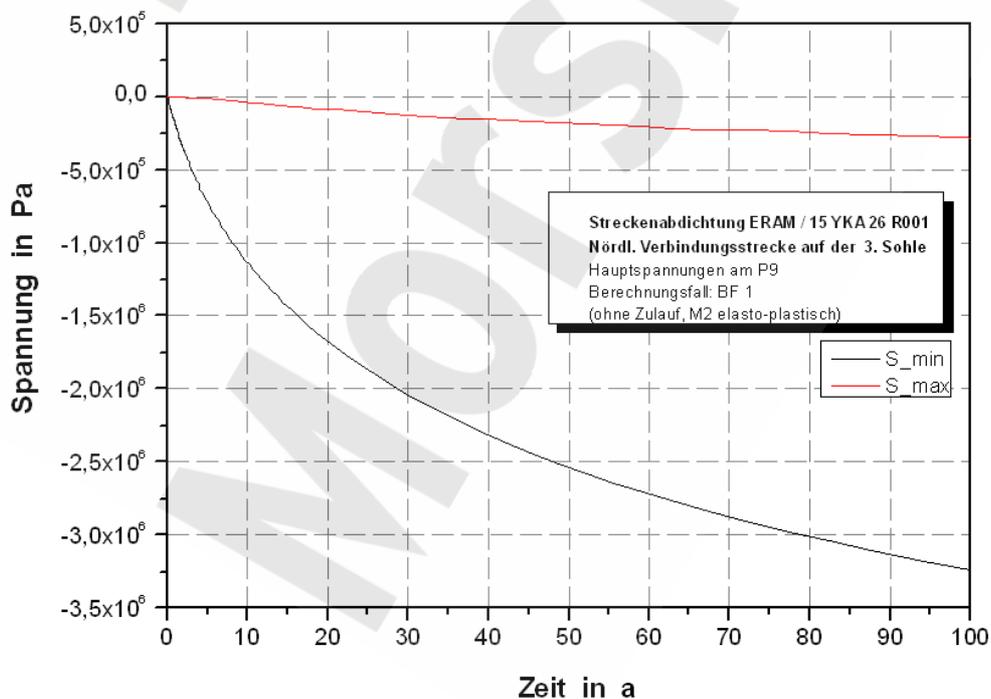


Abbildung 6.5-7: Zeitliche Entwicklung (0 - 100 Jahre) der Hauptspannungen (BF1, Auswertezone P9)

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

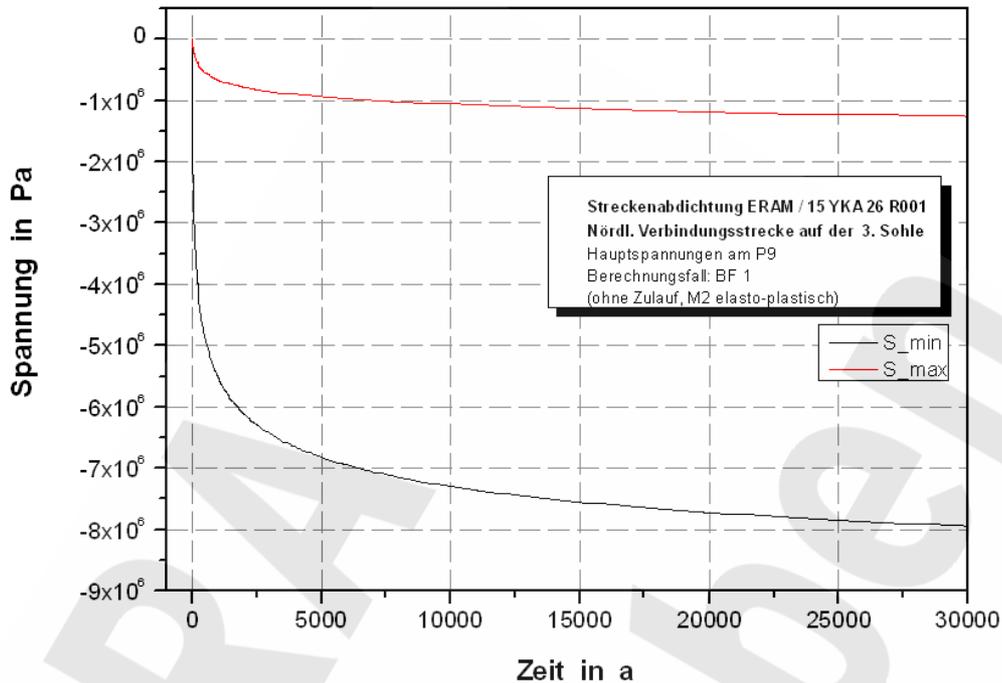


Abbildung 6.5-8: Zeitliche Entwicklung (0 – 30000 Jahre) der Hauptspannungen (BF1, Auswertezone P9)

Auflockerungs- und Kontaktzone:

Die Auswertung des akkumulierten Dilatanzkriteriums zur Ermittlung der potentiell geschädigten Zonen für die Auflockerungs- und Kontaktzone zeigt bei Gegenüberstellung mit dem Zustand vor Errichtung des Abdichtungskörpers, dass innerhalb des Betrachtungszeitraums keine Ausweitung der potentiell geschädigten Zonen am Standort der Streckenabdichtung stattfindet (vgl. Anhang 11 und 12 mit 15, 16, 23, 24, 29 und 30). Die Auswertung der momentanen Dilatanz zeigt eine deutliche Verbesserung des geomechanischen Zustandes für den konturnahen Gebirgsbereich mit zunehmender Zeit. Nach 100 Jahren weisen die Berechnungen für die Auflockerungszone mit Ausnahme eines lokal begrenzten Bereiches an der Firste der Oststirnfläche einen maximalen Ausnutzungsgrad von < 50 % aus (Anhang 13 und 14), welcher nach 2 500 Jahren auf < 20 % (Anhang 21 und 22) und zum Ende des Betrachtungszeitraums auf < 10 % abnimmt (Anhang 27 und 28), wobei nur wenige Zonen in der Firste der östlichen Stirnfläche einen Ausnutzungsgrad von < 20 % aufweisen.

Die Auswertung des für diesen Berechnungsfall nicht maßgebenden Fluidkriteriums weist für den frühen Nachweiszeitraum eine weiträumige Verletzung des Fluidkriteriums aus. Bei Ansatz eines fiktiven Fluiddrucks von 6 MPa reicht der Bereich, in dem das Kriterium verletzt wird ca. 1,8 – 2,5 m tief ins Gebirge (Anhang 19 und 20). Für den Berechnungszeitpunkt 02/4504 wird das Kriterium fast auf der gesamten Länge der Abdichtung mit Ausnahme der stirnflächennahen

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Bereiche < ca. 1 m am westlichen bzw. < ca. 1,2 m am östlichen Ende der Abdichtung erfüllt (Anhang 25 und 26). Am Ende des Betrachtungszeitraumes wird das Fluidkriterium in der Auflockerungszone lediglich im Bereich der beiden Stirnflächen der Abdichtung bis zu einer Tiefe von < 1 m verletzt (Anhang 31 und 32).

Für diesen Berechnungsfall ist rechnerisch der Nachweis der Rissbeschränkung geführt, da die für diesen Fall gültigen Kriterien auf 80 % der Länge der Abdichtung erfüllt sind. Durch die Einhaltung der Kriterien wird gezeigt, dass keine Risse entstehen bzw. in der Auflockerungszone kein Risswachstum erfolgt.

Berechnungsfall BF2 (kein Zulauf innerhalb des Betrachtungszeitraumes, kriechfähiges Material)

Die Berechnungsergebnisse des Berechnungsfalles BF2 werden in den Anhängen 33 bis 52 dargestellt.

Abdichtungskörper:

Im Anhang 37 und 38 sind die Berechnungsergebnisse für das akkumulierte Festigkeitskriterium dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass es auch für BF2 während des frühen Nachweiszeitraumes (100 Jahre nach Errichtung der Abdichtung) zu keiner Überschreitung des Festigkeitskriteriums im Salzbetonkörper kommt, obwohl temporär geringe Zugspannungen von maximal ca. 0,01 MPa vorhanden sind (vgl. Abbildung 6.5-9). Durch die Berücksichtigung von kriechfähigem Material ergibt sich im Fall BF2 ein deutlich günstigeres Berechnungsergebnis hinsichtlich der geomechanischen Beanspruchung des Abdichtungskörpers als im Fall BF1.

Die Auswertung der Dilatanzbedingung für den späten Nachweiszeitraum weist am Ende des Betrachtungszeitraums keine potentiell geschädigten Zonen im Abdichtungskörper aus (Anhang 49 und 50). Die stirnflächennahen Bereiche unterliegen einer geringeren geomechanischen Beanspruchung als im Berechnungsfall BF1. Nach 100 Jahren beträgt der maximale Ausnutzungsgrad weniger als 80% (östliche Stirnfläche, siehe Anhang 33). Im Kernbereich der Abdichtung zwischen den Schnitten S2 und S4 (24 m Abdichtungslänge) betragen die maximalen Ausnutzungsgrade im Zeitraum von 100 Jahren bis 30000 Jahren < 60% (Anhänge 33, 34, 41, 42, 47 und 48). Für den Kernbereich des Abdichtungskörpers ist dabei innerhalb des Betrachtungszeitraumes eine Verringerung des Ausnutzungsgrades bis auf <20 % festzustellen (Anhang 47 und 48). Dies wird auch durch Abbildung 6.5-10 verdeutlicht, in der ein Ansteigen der Hauptspannungen bei sich verringernden Hauptspannungsdifferenzen sichtbar wird.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

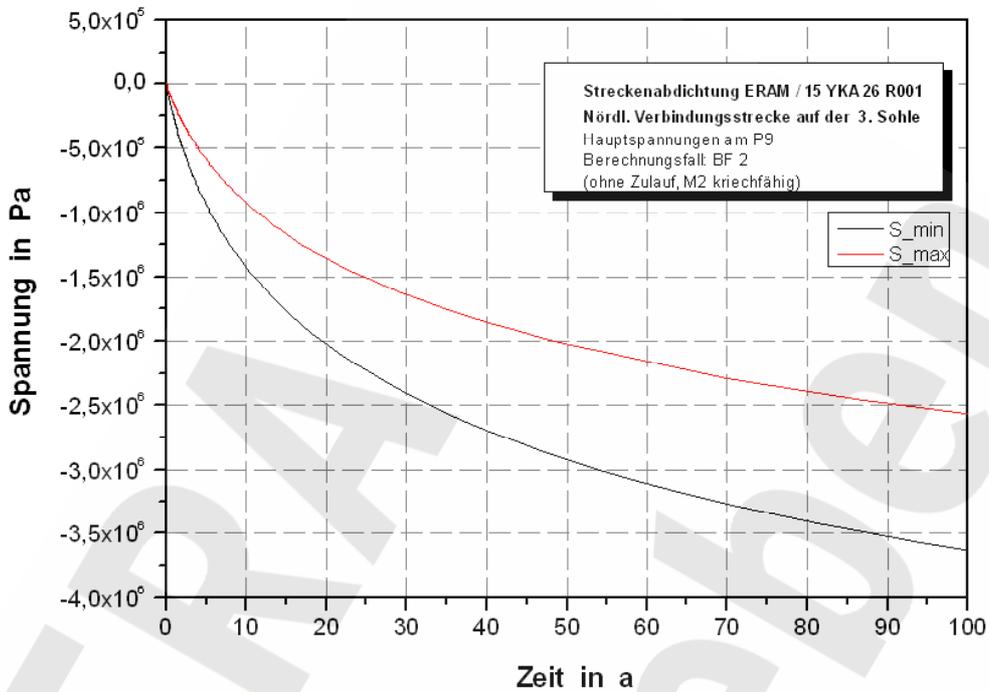


Abbildung 6.5-9: Zeitliche Entwicklung (0 - 100 Jahre) der Hauptspannungen (BF2, Auswertezone P9)

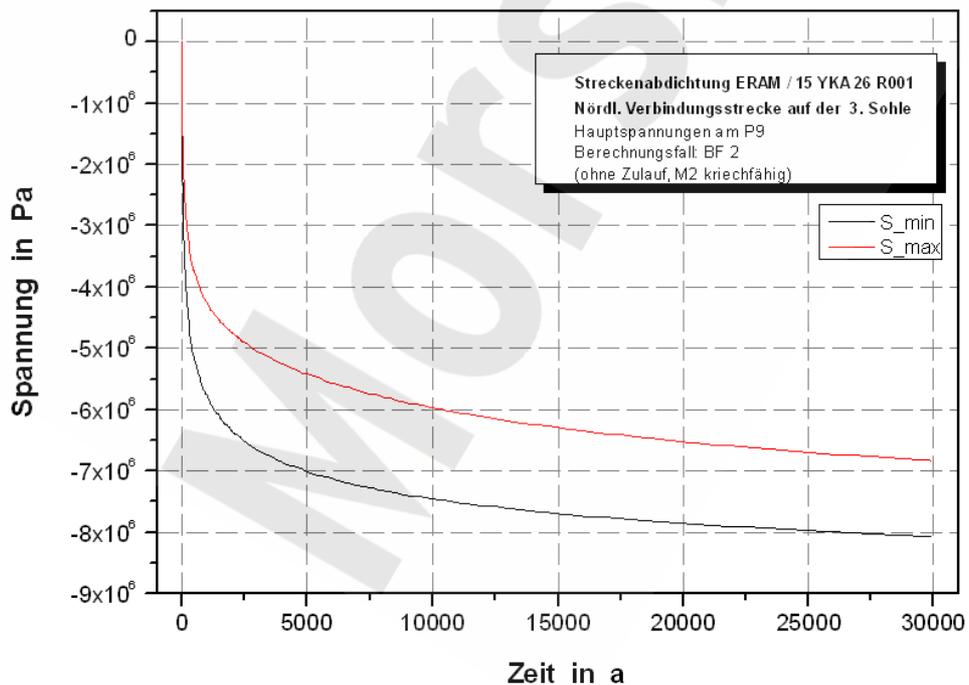


Abbildung 6.5-10: Zeitliche Entwicklung (0 – 30000 Jahre) der Hauptspannungen (BF2, Auswertezone P9)

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Auflockerungs- und Kontaktzone:

Die Auswertung des akkumulierten Dilatanzkriteriums zur Ermittlung der potentiell geschädigten Zonen für die Auflockerungs- und Kontaktzone zeigt bei Gegenüberstellung mit dem Zustand vor Errichtung des Abdichtungskörpers, dass innerhalb des Betrachtungszeitraums keine Ausweitung der potentiell geschädigten Zonen am Standort der Streckenabdichtung stattfindet (vgl. Anhang 11 und 12 mit 35, 36, 43, 44, 49 und 50). Die Auswertung der momentanen Dilatanz zeigt eine mit zunehmender Zeit deutliche Verbesserung des geomechanischen Zustandes für den konturnahen Gebirgsbereich, wobei die Zustände für die betrachteten Zeitpunkte mit denen des BF1 vergleichbar sind. Nach 100 Jahren weisen die Berechnungen für die Auflockerungszone mit Ausnahme eines lokal begrenzten Bereiches an der Firste der Oststirnfläche (< 70 %) einen maximalen Ausnutzungsgrad von < 50 % aus (Anhang 33 und 34), welcher nach 2 500 Jahren auf < 30 % (Anhang 41 und 42) und zum Ende des Betrachtungszeitraums auf < 20 % abnimmt (Anhang 47 und 48). Für den o.g. Bereich an der Firste der Oststirnfläche, der sich am Übergang gestütztes/durch weiches Fugenmaterial gestütztes Gebirge befindet, werden für beide späte Auswertzeitpunkte rechnerisch Zugspannungen ausgewiesen. Diese Spannungsspitzen sind auf die Länge einer Zone (also < 0,5 m) beschränkt (Anhang 47 und 49).

Ähnlich wie bei BF1 weist die Auswertung des für diesen Berechnungsfall nicht maßgebenden Fluidkriteriums für den frühen Nachweiszeitraum eine weiträumige Verletzung des Fluidkriteriums aus. Bei Ansatz eines fiktiven Fluiddrucks von 6 MPa reicht der Bereich, in dem das Kriterium verletzt wird ca. 1,8 – 2,5 m tief ins Gebirge (Anhang 39 und 40). Für den Berechnungszeitpunkt 02/4504 wird das Kriterium fast auf der gesamten Länge der Abdichtung erfüllt. Ausnahme bilden die stirnflächennahen Bereiche < ca. 2 m am östlichen bzw. < ca. 3,5 m am westlichen Ende der Abdichtung, wo das Kriterium in einzelnen Zonen verletzt wird (Anhang 45 und 46). Am Ende des Betrachtungszeitraumes wird das Fluidkriterium in der Auflockerungszone an beiden Stirnflächen auf einer Länge von < ca. 2 m verletzt (Anhang 51 und 52).

Für diesen Berechnungsfall ist rechnerisch der Nachweis der Rissbeschränkung geführt, da die für diesen Fall gültigen Kriterien auf 80 % der Länge der Abdichtung erfüllt sind. Durch die Einhaltung der Kriterien wird gezeigt, dass keine Risse entstehen bzw. in der Auflockerungszone kein Risswachstum erfolgt.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	



6.5.5 Zulauf innerhalb von 2500 Jahren

Auch hier ist, wie in Abschnitt 5.3.2 beschrieben, für den Salzbetonkörper innerhalb des frühen Nachweiszeitraums der Nachweis der Rissbeschränkung über die Einhaltung des Festigkeitskriteriums und für den späten Nachweiszeitraum über die Einhaltung des Dilatanzkriteriums zu führen. Der Nachweis der Rissbeschränkung in der Kontaktzone wird ebenfalls durch die Einhaltung der Dilatanzbedingung für Salz geführt, welche für die Kontaktzone abdeckend ist. Der Gebirgsbereich am Standort der Streckenabdichtung, und hierbei insbesondere die potentiell geschädigten Zonen in der Auflockerungszone, wird weiterhin auf die Einhaltung des Fluidkriteriums untersucht, wobei der Gleichung (5-8) ein Fluiddruck von $p = 6 \text{ MPa}$ zugrunde gelegt wird.

Für die verschiedenen Berechnungsfälle, die einen Zulauf innerhalb von 2500 Jahren berücksichtigen (BF3 und BF4) werden die Berechnungszeitpunkte 2/4504 (Ende der Prologphase) und 2/32004 (Ende des Betrachtungszeitraumes) betrachtet. Für den Berechnungsfall BF4 findet zusätzlich eine Betrachtung des Zulaufzeitpunktes 2/4404 (2400 Jahre nach Errichtung der Abdichtung) statt.

Da die Belastungsgeschichte für BF3 und BF4 mit der des Berechnungsfalles BF1 bis zum Zeitpunkt 2/2104 (100 a nach Errichtung der Abdichtung) identisch ist, kann die Auswertung für den frühen Nachweiszeitraum (siehe Abschnitt 6.5.4; BF1) auf die Berechnungsfälle BF3 und BF4 übertragen werden.

Berechnungsfall BF3 (Zulaufzeitraum 100 bis 2500 Jahre, elastoplastisches Material)

Die Berechnungsergebnisse des Berechnungsfalles BF3 werden in den Anhängen 53 bis 64 dargestellt.

Abdichtungskörper:

Im Anhang 17 und 18 sind die Berechnungsergebnisse für das akkumulierte Festigkeitskriterium dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass es während des frühen Nachweiszeitraums (100 Jahre nach Errichtung der Abdichtung) zu keiner Überschreitung des Festigkeitskriteriums im Salzbetonkörper kommt.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Bis zum Ende des Betrachtungszeitraums treten im Abdichtungskörper keine in Folge Dilatanz oder Zugspannungen geschädigten Zonen auf (Anhang 61 und 62). Durch den Fluiddruck wird eine triaxiale Beanspruchung des zulaufseitigen Bereiches des Abdichtungskörpers erreicht. Die Auswertung der momentanen Dilatanz für die Zeitpunkte 2/4504 (Anhänge 53 und 54) und 2/32004 (Anhänge 59 und 60) zeigt einen – gegenüber dem Berechnungsfall BF1 (ohne Zulauf) – günstigeren geomechanischen Zustand des Abdichtungskörpers für einen Bereich bis etwa 10 m hinter der östlichen Stirnfläche. Im Kernbereich der Abdichtung verschwindet der Einfluss des Fluiddrucks, wobei die Berechnungsergebnisse für den westlichen Teil der Abdichtung denen des BF1 gleichen. Auch hier ist eine stärkere Beanspruchung des Bauwerks im stirnflächennahen Konturbereich bis zu einer Tiefe von maximal 1 m festzustellen. Am Ende des Betrachtungszeitraumes treten im Sohlbereich der westlichen Stirnfläche die maximalen Ausnutzungsgrade < 90 % auf. Im Kernbereich der Abdichtung zwischen den Schnitten S2 und S4 (24 m Abdichtungslänge) betragen die maximalen Ausnutzungsgrade im Zeitraum von 100 Jahren bis 30000 Jahren ca. 80% (Anhänge 13,14, 53, 54, 59 und 60). Für den Kernbereich des Abdichtungskörpers ist dabei innerhalb des Betrachtungszeitraumes eine Verringerung des Ausnutzungsgrades festzustellen.

Auflockerungs- und Kontaktzone:

Die Auswertung des akkumulierten Dilatanzkriteriums zur Ermittlung der potentiell geschädigten Zonen für die Auflockerungs- und Kontaktzone zeigt bei Gegenüberstellung mit dem Zustand vor Errichtung des Abdichtungskörpers, dass innerhalb des Betrachtungszeitraums keine Ausweitung der potentiell geschädigten Zonen am Standort der Streckenabdichtung stattfindet (vgl. Anhang 11 und 12 mit 55, 56, 61 und 62). Die Auswertung der momentanen Dilatanz zeigt eine deutliche Verbesserung des geomechanischen Zustandes für den konturnahen Gebirgsbereich mit zunehmender Zeit. Nach 100 Jahren, also zu Beginn des Zulaufs weisen die Berechnungen für die Auflockerungszone mit Ausnahme eines lokal begrenzten Bereiches an der Firste der Oststirnfläche (< 60 %) einen maximalen Ausnutzungsgrad von < 50 % aus (Anhang 13 und 14), welcher nach 2500 Jahren auf < 30 % (Anhang 53 und 54) und zum Ende des Betrachtungszeitraums auf < 20 % abnimmt (Anhang 59 und 60). Die maximalen Ausnutzungsgrade in der Auflockerungszone treten hierbei im Firstbereich des östlichen Endes der Abdichtung auf und sind etwas größer als die des Berechnungsfalles BF1.

Die Auswertung des Fluidkriteriums weist für den frühen Nachweiszeitraum eine weiträumige Verletzung des Fluidkriteriums aus. Bei Ansatz eines fiktiven Fluiddrucks von 6 MPa reicht der Bereich, in dem das Kriterium verletzt wird ca. 1,8 – 2,5 m tief ins Gebirge (Anhang 19 und 20). Für den Berechnungszeitpunkt 02/4504 wird das Kriterium fast auf der gesamten Länge der

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Abdichtung mit Ausnahme der stirnflächennahen Bereiche < ca. 1 m am westlichen bzw. < ca. 1,2 m am östlichen Ende der Abdichtung erfüllt (Anhang 57 und 58). Am Ende des Betrachtungszeitraumes wird das Fluidkriterium in der Auflockerungszone lediglich an beiden Enden der Abdichtung auf einer Länge von < 1 m verletzt (Anhang 63 und 64).

Für Berechnungszeitpunkte zwischen Zulaufbeginn und Ende der Prologphase wird das Fluidkriterium in der Auflockerungszone verletzt. Wenn man fiktiv den vollen Fluiddruck von 6 MPa zur Auswertung des Fluidkriteriums für jeden Zeitpunkt heranzieht, wäre damit für diesen Berechnungsfall rechnerisch der Nachweis der Rissbeschränkung nicht erbracht. Allerdings ist dieser Ansatz extrem konservativ, da der aufnehmbare Fluiddruck dem größtmöglichen Fluiddruck (6 MPa) im gesamten Betrachtungszeitraum gegenübergestellt wird. Eine genauere Betrachtung dieser Konservativität erfolgt für verschiedene Zeitverläufe des Druckaufbaus gesondert in Abschnitt 6.5.6.

Berechnungsfall BF4 (Zulaufzeitraum 2400 bis 2500 Jahre, elastoplastisches Material)

Die Berechnungsergebnisse des Berechnungsfalles BF4 werden in den Anhängen 65 bis 82 dargestellt.

Abdichtungskörper:

Im Anhang 17 und 18 sind die Berechnungsergebnisse für das akkumulierte Festigkeitskriterium dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass es während des frühen Nachweiszeitraums (100 Jahre nach Errichtung der Abdichtung) zu keiner Überschreitung des Festigkeitskriteriums im Salzbetonkörper kommt.

Bis zum Beginn des Zulaufs treten im Abdichtungskörper keine Dilatanz oder Zugspannungen auf (Berechnungszeitpunkt 2/2404; Anhang 67 und 68). Ähnlich wie in den anderen Berechnungsfällen liegen die maximalen Ausnutzungsgrade mit 90-100% innerhalb lokal begrenzter Bereiche in der Nähe der Abdichtungsstirnflächen vor. Im Kernbereich der Abdichtung zwischen den Schnitten S2 und S4 bleiben die maximalen Ausnutzungsgrade < 80 % (Anhang 65 und 66). Nach dem Ende des Zulaufs wird für einen lokal begrenzten Bereich an der Firste ca. 1 m hinter der östlichen Stirnfläche rechnerisch Zugspannung ausgewiesen (Anhang 71 und 73). Es kommt bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes zu keiner weiteren Ausdehnung dieses Bereiches (Anhänge 73, 74, 79 und 80). Ferner ist für die Auswertezeitpunkte nach 2500 und 30000 Jahren in Folge der Belastung aus Gebirgs- und Fluiddruck eine günstigere geomechanische Beanspruchung festzustellen (Anhänge 71, 72, 77 und 78). Durch den Fluiddruck wird

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

eine triaxiale Beanspruchung des zulaufseitigen Bereiches des Abdichtungskörpers erreicht. Die Auswertung der momentanen Dilatanz für die Zeitpunkte 2/4504 (Anhänge 71 und 72) und 2/32004 (Anhänge 77 und 78) zeigt einen – gegenüber dem Berechnungsfall BF1 (ohne Zulauf) – günstigeren geomechanischen Zustand des Abdichtungskörpers für einen Bereich bis etwa 10 m hinter der östlichen Stirnfläche. Im Kernbereich der Abdichtung verschwindet der Einfluss des Fluiddrucks, wobei die Berechnungsergebnisse für den westlichen Teil der Abdichtung denen des BF1 gleichen. Auch hier ist eine stärkere Beanspruchung des Bauwerks im stirnflächennahen Konturbereich bis zu einer Tiefe von maximal 1 m festzustellen. Am Ende des Betrachtungszeitraumes treten im Sohlbereich der westlichen Stirnfläche die maximalen Ausnutzungsgrade < 90 % auf. Im Kernbereich der Abdichtung zwischen den Schnitten S2 und S4 (24 m Abdichtungslänge) betragen die maximalen Ausnutzungsgrade im Zeitraum von 100 Jahren bis 30000 Jahren ca. 80% (Anhänge 13, 14, 65, 66, 71, 72, 77 und 78). Für den Kernbereich des Abdichtungskörpers ist dabei innerhalb des Betrachtungszeitraumes eine Verringerung des Ausnutzungsgrades festzustellen.

Auflockerungs- und Kontaktzone:

Die Auswertung des akkumulierten Dilatanzkriteriums zur Ermittlung der potentiell geschädigten Zonen für die Auflockerungs- und Kontaktzone zeigt bei Gegenüberstellung mit dem Zustand vor Errichtung des Abdichtungskörpers, dass innerhalb des Betrachtungszeitraums keine Ausweitung der potentiell geschädigten Zonen am Standort der Streckenabdichtung stattfindet (vgl. Anhang 11 und 12 mit 67, 68, 73, 74, 79 und 80). Die Auswertung der momentanen Dilatanz zeigt eine deutliche Verbesserung des geomechanischen Zustandes für den konturnahen Gebirgsbereich mit zunehmender Zeit. Nach 2400 Jahren, also zu Beginn des Zulaufs weisen die Berechnungen für die Auflockerungszone mit Ausnahme eines lokal begrenzten Bereiches an der Firste der Oststirnfläche (< 30 %) einen maximalen Ausnutzungsgrad von < 20 % aus (Anhang 65 und 66). Nach Ende des Zulaufs (2500 Jahre nach Errichtung der Abdichtung) weisen die Berechnungsergebnisse einen geringfügigen Anstieg des Ausnutzungsgrades im First- und Stoßbereich der östlichen Stirnfläche auf Werte < 30 % aus (Anhänge 71 und 72). Zum Ende des Betrachtungszeitraums liegen in der Auflockerungszone mit Ausnahme weniger Zonen im östlichen Bereich (< 20%) maximale Ausnutzungsgrade von < 10 % vor (Anhang 77 und 78).

Die Auswertung des Fluidkriteriums weist für den frühen Nachweiszeitraum eine weiträumige Verletzung des Fluidkriteriums aus. Bei Ansatz eines fiktiven Fluiddrucks von 6 MPa reicht der Bereich, in dem das Kriterium verletzt wird ca. 1,8 – 2,5 m tief ins Gebirge (Anhang 19 und 20). Für den Berechnungszeitpunkt vor Beginn des Zulaufs 02/4404 wird das Kriterium fast auf der gesamten Länge der Abdichtung mit Ausnahme der stirnflächennahen Bereiche < ca. 1 m am

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

westlichen bzw. < ca. 1,2 m am östlichen Ende der Abdichtung erfüllt (Anhang 69 und 70). Die Berechnungsergebnisse für das Ende der Zulaufphase weisen eine geringfügige Vergrößerung des Bereiches an der Firste der östlichen Stirnfläche auf ca. 2 m aus, in dem das Fluidkriterium verletzt ist (Anhänge 75 und 76). Zum Ende des Betrachtungszeitraumes wird das Fluidkriterium mit Ausnahme des Konturbereiches an beiden Enden der Abdichtung mit Längen von jeweils < 1 m erfüllt (Anhang 81 und 82).

Für diesen Berechnungsfall ist rechnerisch der Nachweis der Rissbeschränkung erbracht, da die für diesen Fall gültigen Kriterien auf 80 % der Länge der Abdichtung erfüllt sind. Durch die Einhaltung der Kriterien wird gezeigt, dass keine Risse entstehen bzw. in der Auflockerungszone kein Risswachstum erfolgt.

6.5.6 Berücksichtigung des zeitlichen Druckaufbaus

Für den Berechnungsfall BF3 wäre der Nachweis der Rissbeschränkung aufgrund einer Verletzung des Fluidkriteriums im Zulaufzeitraum nicht erbracht, wenn man fiktiv den vollen Fluiddruck von 6 MPa zur Auswertung nach Gleichung (5-8) heranzieht. Allerdings ist dieser Ansatz extrem konservativ, da man davon ausgeht, dass der größtmögliche Fluiddruck bereits zu sehr frühen Zeitpunkten ansteht. Im Folgenden wird daher der maximal zulässige (aufnehmbare) Fluiddruck während verschiedener Zeitpunkte in der Prologphase anhand der Berechnungsfälle BF1 und BF2 ermittelt und mit den für die Berechnungsfälle getroffenen Annahmen hinsichtlich des Druckaufbaus verglichen. Eine evtl. Auswertung für die Auflockerungszone unter Berücksichtigung eines Porendruckes (Fluiddruck) von 6 MPa erfolgt mit Hilfe des effektiven Dilatanzkriteriums bei einer wirksamen Länge von 24 m (abzüglich jeweils 1,0 m an den Stirnflächen). Abbildung 6.5-11 zeigt, dass die Abdichtung - unabhängig vom Ansatz hinsichtlich des Materialverhaltens des Salzbetons - bereits zu frühen Zeitpunkten in der Lage ist, hohe Fluiddrücke aufzunehmen (z.B. ca. 3,2 MPa nach 100 Jahren).

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

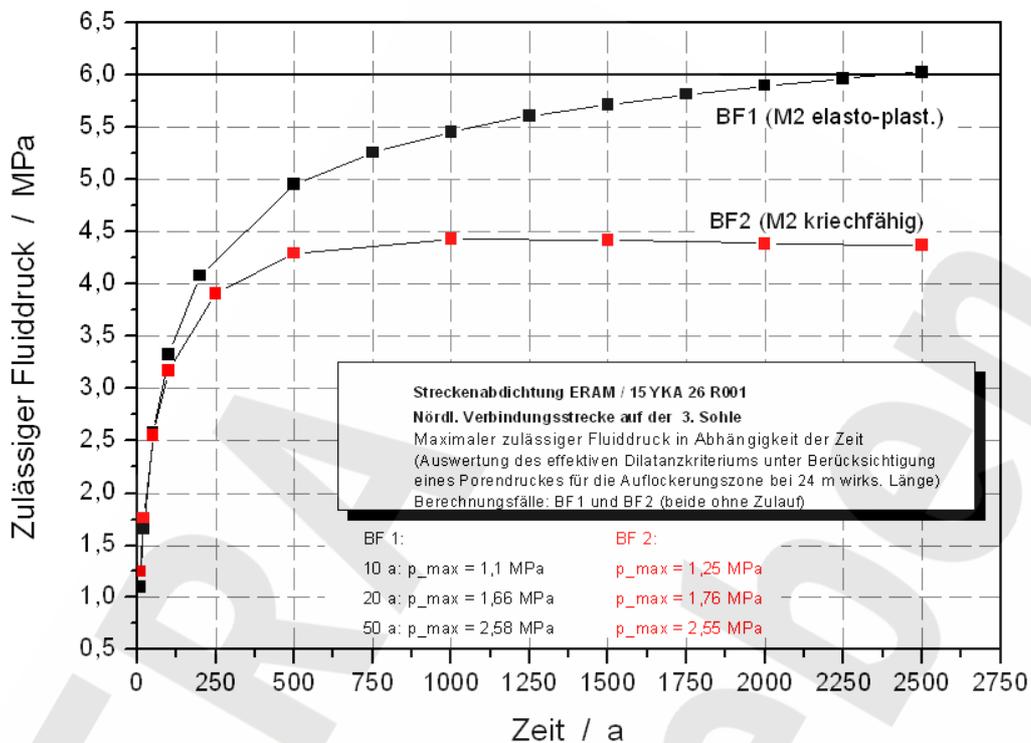


Abbildung 6.5-11: Maximal zulässiger Fluiddruck in Abhängigkeit von der Zeit

Weiterhin ist ersichtlich, dass sich bei Ansatz elastoplastischen Materialverhaltens für den Abdichtungskörper in der Auflockerungszone günstigere geomechanische Spannungszustände einstellen und der größtmögliche Fluiddruck von 6,0 MPa nach ca. 2400 Jahren bei einer wirksamen Länge von 24 m aufgenommen werden kann. Für den Ansatz von kriechfähigem Material beträgt der maximal aufnehmbare Druck am Ende der Prologphase ca. 4,4 MPa, wenn man eine wirksame Länge von 24 m zu Grunde legt. Bei Betrachtung der mindestens erforderlichen wirksamen Länge, die dem 0,8-fachen der Abdichtungslänge (ca. 21 m) entspricht, ist die Aufnahme des größtmöglichen Fluiddrucks von 6,0 MPa im Berechnungsfall BF2 jedoch bereits nach ca. 2000 Jahren möglich.

Eine Gegenüberstellung des maximal zulässigen Fluiddrucks (wirksame Länge = 24 m) mit den in BF3 und BF4 getroffenen Annahmen hinsichtlich des Druckaufbaus zeigt, dass auch für den Berechnungsfall BF3 zu jedem Zeitpunkt der zulässige Druck oberhalb des Drucks der Lastannahme liegt. Lediglich für die Annahme eines instantanen Zulaufs, vgl. Abschnitt 2.3, innerhalb kurzer Zeit – in Abbildung 6.5-12 exemplarisch durch den orangefarbenen Graphen repräsentiert – liegen die maximal aufnehmbaren Fluiddrücke unterhalb der zu diesem Zeitpunkt wirkenden Drücke.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

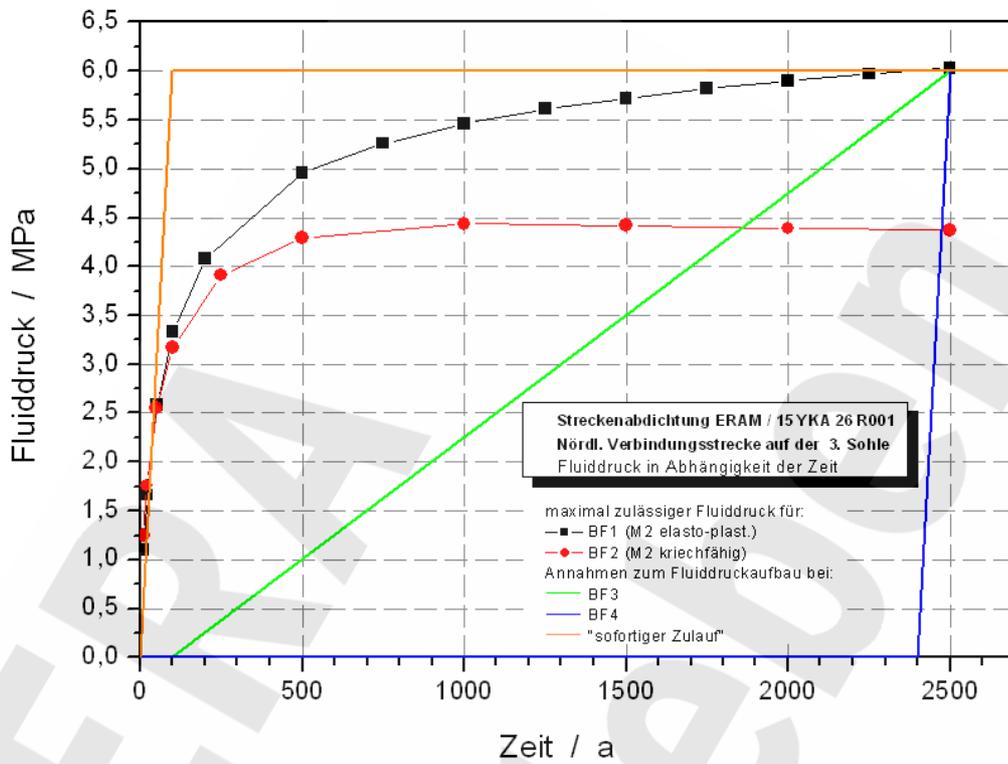


Abbildung 6.5-12: Gegenüberstellung des maximal zulässigen Fluiddruck mit verschiedenen Berechnungsannahmen als Funktion der Zeit bei 24 m wirksamer Abdichtungslänge

Bei Ansatz instantanen Zulaufs innerhalb kurzer Zeit, ist es daher zwingend, die maßgebende Auflockerungszone mittels Injektion zu vergüten.

Abbildung 6.5-13 zeigt eine weitere Auswertung des effektiven Dilatanzkriteriums unter Berücksichtigung eines Porendruckes (Fluiddruckes) von 6,0 MPa. Dies ermöglicht Aussagen zur Entwicklung der wirksamen hydraulischen Länge der Abdichtung als Funktion der Zeit unter der Annahme des vollen fiktiven Fluiddrucks von 6 MPa. Für die Annahme elasto-plastischen Materialverhaltens wird das effektive Dilatanzkriterium in der Auflockerungszone nach ca. 1700 Jahren auf 80 % der Gesamtlänge erfüllt. Bei Annahme kriechfähigen Materialverhaltens ist dies nach ca. 2000 Jahren der Fall.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

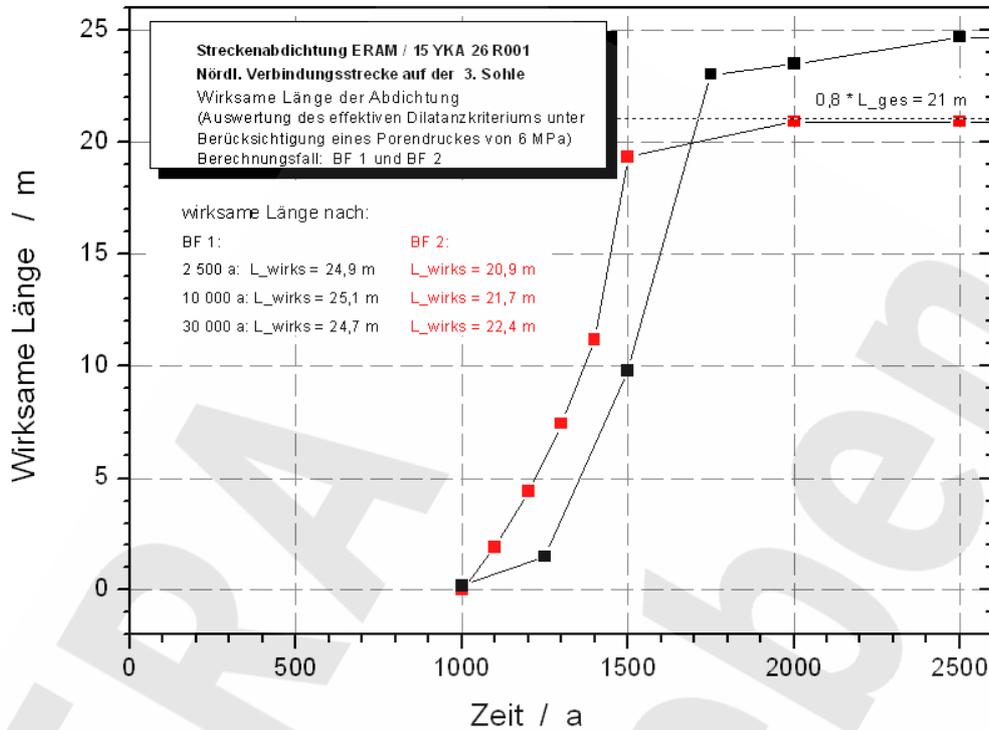


Abbildung 6.5-13: Wirksame Länge der Abdichtung als Funktion der Zeit bei einem Fluidruck vom 6 MPa

Ein auf die westliche Stirnfläche wirkender Gasdruck wird im Rahmen dieser Berechnungen nicht betrachtet. Die frühestens zum Ende des Betrachtungszeitraumes anstehenden maximalen Gasdrücke betragen ca. 4,2 MPa und sind somit kleiner als der Lösungsdruck, welcher daher als maßgebliche Last betrachtet wird /1/. Darüber hinaus ist für die Berechnungsfälle mit einem Zulauf innerhalb von 2500 Jahren festzustellen, dass der Fluidruck einen günstigeren geomechanischen Zustand (triaxiale Belastung) des Salzbetonkörpers bewirkt.

6.5.7 Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Im Rahmen der thermischen Berechnungen konnte gezeigt werden, dass ein technisch realisierbarer Verfüllvorgang möglich ist, bei dem das Temperaturkriterium zur Rissbeschränkung eingehalten wird. Für die Bauzustände ist damit der Nachweis der Rissbeschränkung in der Abdichtung geführt.

Für die mechanischen Berechnungsfälle BF1, BF2 und BF4 konnte der Nachweis der Rissbeschränkung im Betrachtungszeitraum geführt werden. Die für diesen Nachweis erforderlichen

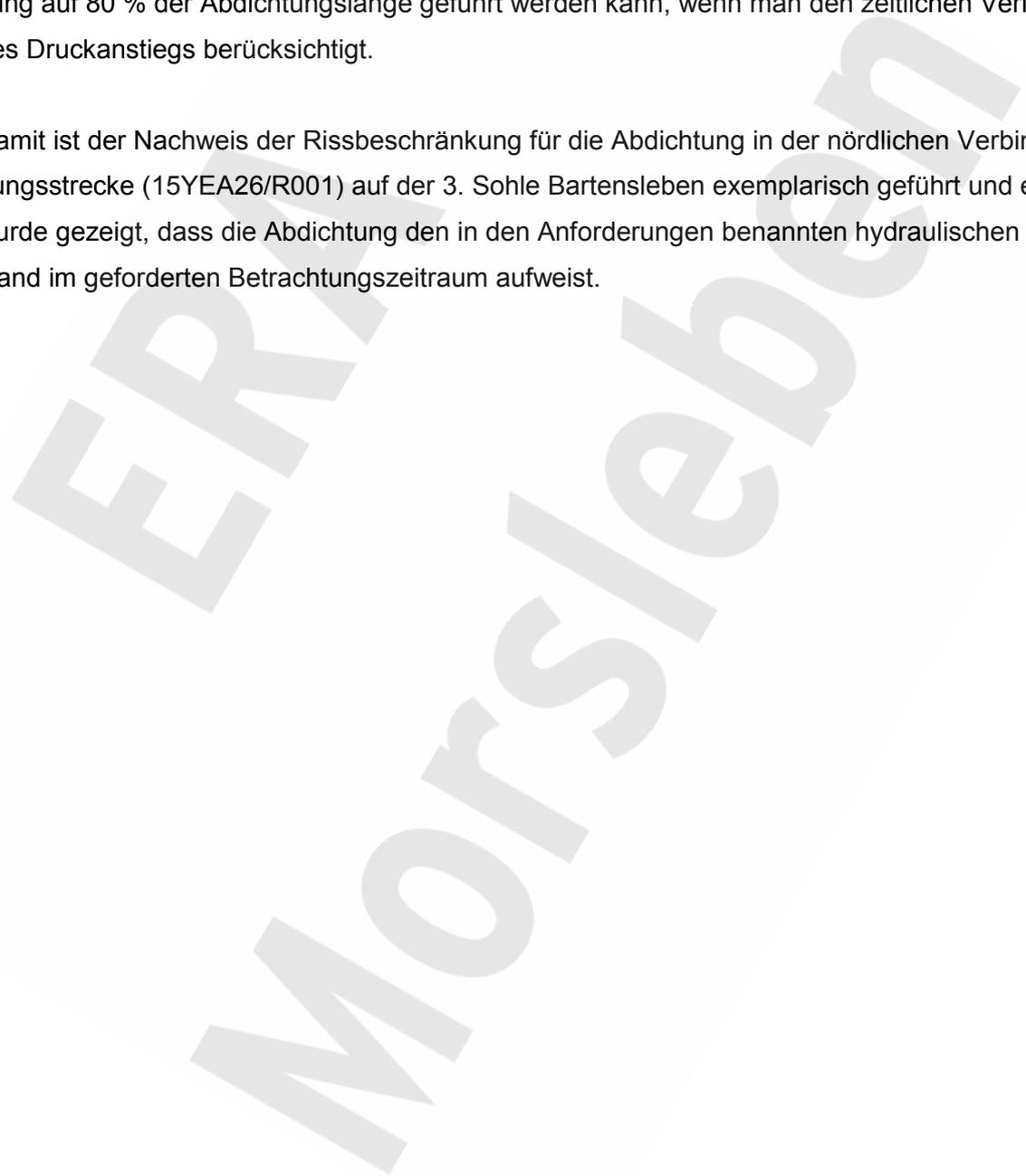
Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Kriterien werden auf mindestens 80 % der Abdichtungslänge, also der erforderlichen Mindestlänge, erfüllt. Durch die Einhaltung der Kriterien wird gezeigt, dass innerhalb des Betrachtungszeitraumes keine Risse entstehen bzw. in der Auflockerungszone kein Risswachstum erfolgt.

Auch für den Berechnungsfall BF3 lässt sich feststellen, dass der Nachweis der Rissbeschränkung auf 80 % der Abdichtungslänge geführt werden kann, wenn man den zeitlichen Verlauf des Druckanstiegs berücksichtigt.

Damit ist der Nachweis der Rissbeschränkung für die Abdichtung in der nördlichen Verbindungsstrecke (15YEA26/R001) auf der 3. Sohle Bartensleben exemplarisch geführt und es wurde gezeigt, dass die Abdichtung den in den Anforderungen benannten hydraulischen Widerstand im geforderten Betrachtungszeitraum aufweist.



Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

7 Technische Realisierung der Vorzugsvariante

Auf Grund der geologischen und bergbaulichen Situation ist die zu Verfügung stehende Länge für die Abdichtungen z. T. gering, siehe Tabelle 2-5.1. Aus diesem Grund wird auf Basis der Ergebnisse in Kapitel 1 bis 6 eine Abdichtungsstruktur als Vorzugsvariante gewählt, in der das Dichtelement auch die Widerlagerfunktion ausübt, um eine maximale Länge an hydraulisch wirksamem Widerstand zu erzielen.

Der Vorgabe, das Streckenprofil nicht zu verändern, wird für die Vorzugsvariante gefolgt, als Ergebnis der Planung ist festzuhalten, dass ein Ansträngen die technische Realisierung wesentlich erleichtert. Die Vorzugsvariante ist in Anlage 2 zeichnerisch dargestellt.

7.1 Beschreibung der Vorzugsvariante

Die Vorzugsvariante besteht aus einem oder mehreren Segmenten aus Salzbeton M2, die je nach Gesamtlänge der Abdichtung hintereinander angeordnet werden. Die Segmentlänge beträgt zwischen 15 m und 30 m. Die Obergrenze von 30 m resultiert aus der Notwendigkeit, Zwangsspannungen nach derzeitigem Stand des Wissens adäquat gering zu halten. Die Untergrenze von 15 m ergibt sich aus den im ERAM vorliegenden bergbaulichen und geologischen Gegebenheiten. Die einzelnen Segmente werden durch plastische Fugen voneinander getrennt, deren Dicke 0,5 m – 1 m beträgt. Für die Ausbildung der plastischen Fugen sind verschiedene Materialien denkbar. In der Vorzugsvariante sind plastische Fugen aus Salzbriketts geplant, die ggf. gleichzeitig als verlorene Schalung dienen. Es sind jedoch auch Alternativen denkbar, z.B. mit Schotter oder Salzgrus gefüllte Elemente aus Ziegelmauerwerk oder angepasste Systeme auf der Basis von Bullflexschläuchen.

Bei standortspezifischer Erfordernis einer Injektion werden Injektionsleitungen (Manschettenring aus PE-Kunststoffrohren) ringförmig auf die Streckenkontur aufgebracht und mit Schellen verdübelt. Der Abstand der Injektionsringe liegt unter Zugrundelegung der Erfahrung zwischen 1,5 m und 0,75 m. Die erforderlichen Parameter des Injektionsverfahrens werden versuchsgestützt ermittelt. Als Verpressmaterial sind mineralische Bindemittel vorgesehen, vorzugsweise auf Zementbasis, um die Verträglichkeit mit dem Salzbeton M2 sicherzustellen. Auf Basis der aktuellen Datenlage lässt sich ableiten, dass es sinnvoll ist, die Injektionsleitungen geringfügig in die Salzkontur (Streckensaum) einzulassen, da die Streckenkontur zum Zeitpunkt der Injekti-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

on eine höhere Permeabilität als der Salzbeton aufweist und damit eine bessere Verteilung des Injektionsgutes erzielt wird. Ein abschnittsweises Abpackern und Verpressen eines Manschettenringes ist nicht möglich. Jeder Ring kann nur in einem Zuge und einem Injektionsgang verpresst werden. Dies erfordert eine entsprechend lange Pump- und Injizierbarkeit des Injektionsmediums.

Eine variable Gestaltung des Auslauf-Ventilabstandes des Manschettenrohres ist möglich. So ist im Firstbereich ein geringerer Ventilabstand, z.B. von 0,3 m möglich, als mit z.B. 0,5 m in den übrigen Bereichen.

Die Vorlauf- und Rücklaufleitung eines jeden Injektionsringes wird in ein Hüllrohr (Sammelrohr) geführt, das im Abdichtungssegment angeordnet ist. Auf der luftseitigen Stirnfläche des Abdichtungssegmentes wird das Ende der Rücklaufleitung mit einem Manometer (Druckkontroll-Anzeige-Gerät) und einem Absperrventil bestückt. Nach Austritt von Injektionsmittel wird das Ventil geschlossen und die Injektion bis zum Erreichen des angestrebten Verpressdruckes fortgesetzt.

Das Injizieren wird gestoppt, wenn nachweislich keine Injektionsmittelaufnahme mehr festgestellt wird. Zu diesem Zeitpunkt wird die Vorlaufleitung abgeschiebert. Das Injektionsmittel kann nun im druckbeaufschlagten Zustand aushärten. Ein Wiederaufbohren der Manschettenrohre ist nicht möglich.

Nach Aushärten des Injektionsmittels wird das Hüllrohr durch Überbohren entfernt und die Bohrung verpresst.

7.1.1 Verfahrensbeschreibung

Die Errichtung der Abdichtungssegmente und die vorbereitenden Infrastrukturmaßnahmen erfolgen im Rahmen einer Gesamtplanung. Im Folgenden sind die für die Errichtung eines Abdichtungssegmentes erforderlichen Verfahrensschritte exemplarisch dargestellt.

Vorbereitende Maßnahmen

- Einrichten Betriebspunkt
- Ggf. Rückbau von Kabeln, Rohren, Ankern etc. im Streckenabschnitt
- Nachschneiden des Streckensaums inkl. Sohle

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 121

- Spitzarbeiten
- Händische Nachrissarbeiten

Ggf. Montage der Injektionsleitungen

- Herstellen der Schlitze für die Injektionsleitungen und der Bohrungen zur Befestigung der Injektionsleitungen und –armaturen
- Montage Manschettenrohr und Hüllrohr

Montage der Verfüll- und ggf. Entlüftungsrohre

- Installieren der Aufständungen bzw. Abhängungen für die Rohrstränge
- Montage der Rohrleitungen
- Sofern auf Grund der gegebenen Verhältnisse nicht vorhanden: Ausspitzen bzw. Schaffen des „höchsten“ Firstpunktes an der luftseitigen Schalung als Austrittsstelle für den Verfüllbaustoff

Errichten der Stirnschalung

- Vorbereitung der Stöße, Firste und Sohle für das Errichten der Schalung durch händische Spitzarbeit
- Errichten der Schalung
- Abdichten des Überganges zum Gebirgsstoß
- Abdichten der Durchtrittstellen für das Hüllrohr/Sammelrohr und Verfüll- bzw. Entlüftungsrohrleitungen

Einbringen des Verfüllbaustoffes

- Anschließen der Verfüllleitungen
- Verfüllen: Ansatz 20 cm Schichtdicke/Tag
- Abrüsten

Abbinden des Salzbetons M2

- Wartezeit für das Abbinden des Salzbetons
- Ggf. Rückbau von Schalungselementen nach Erreichen der Grünfestigkeit
- Ggf. vorbereitende Arbeiten für die Ringinjektion

Ggf. Ringinjektion

- Installieren der Injektionseinheiten inkl. Mischer
- Injektion der Manschettenrohrleitungen

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- Abrüsten

Ggf. Überbohren Verfüll- und Entlüftungsrohr bzw. Hüllrohr

- Aufrüsten Bohranlage
- Einrichten der Bohranlage
- Überbohren der Rohre, ca. 25 m
- Ausbau Bohrgestänge
- Rückbau und Abtransport Bohranlage

Ggf. Verpressen Verfüllrohr- und Entlüftungsrohrbohrung bzw. Hüllrohrbohrung

- Bohrlochreinigung
- Aufrüsten Injektionsreinrichtungen
- Einbau Packer
- Auffüllen der Bohrung
- Verpressen bis zum Erreichen des angestrebten Injektionsdruckes

Errichten Bewegungsfuge (z. B. Einbau von Salzformsteinen)

- Einrichten Baustelle
- Einbau Salzformsteine
- Abrüsten

Bei angeschrägter Firste können Verfüll- und ggf. Entlüftungsleitungen parallel zum Verfüllprozess rückgeführt werden, so dass auch auf ein nachträgliches Überbohren und Verpressen der Bohrungen verzichtet werden kann.

7.1.2 Maschinen und Geräteeinsatz

Im Folgenden ist der Maschinen und Geräteeinsatz exemplarisch dargestellt.

Für das Nachreißen der Streckenkontur können Teilschnittmaschinen und Fräsen eingesetzt werden, die sowohl als Firsten- als auch Sohlenfräsen verwendet werden können.

Die Erstellung von Schlitzern z. B. zum Einlassen der Injektionsleitungen in den Streckensaum erfolgt mittels Winkelschleifer und Spitzen, die Schaffung des höchsten Firstpunktes erfolgt falls

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

erforderlich mittels Spitzarbeit. Für die dafür erforderlichen Bohrungen wird geeignetes Bohrgestütz eingesetzt.

Das Injektionsmittel wird vor Ort angemischt. Für das Injizieren empfiehlt sich eine elektrohydraulische Injektionseinrichtung mit Messung und Aufzeichnung der Drücke und Mengen. Der Injektionsdruck kann bei dieser Art Geräteausstattung definiert eingestellt werden, so dass eine Überschreitung des zulässigen Maximaldrucks ausgeschlossen werden kann.

Zum Transport von Material können Lader, Stapler und Muldenkipper eingesetzt werden. Hubeinrichtungen lassen das Arbeiten in der Firste von Strecken zu.

7.1.3 Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung erfolgt mit Hilfe von Qualitätssicherungsprogrammen, die auf Prüfplänen und Qualitätssicherungsvereinbarungen basieren. Der Prüfplan beschreibt die qualitätssichernden Verfahrensschritte und die Qualitätsvereinbarungen beschreiben die qualitätszusichernden Eigenschaften. So enthält der Prüfplan neben projektspezifischen Angaben die Beschreibung der zu prüfenden Sachverhalte und der einzelnen Prüfschritte. Der Prüfplan enthält Angaben zur Prüfmethode, zur Prüfbeteiligung, zum Prüfumfang und zur Prüftätigkeit. Der Nachweisschlüssel, d.h. die Art der Dokumentation der Durchführung der Prüfschritte, ist im Prüfplan ebenfalls aufgeführt.

Die Qualitätsvereinbarung beschreibt die qualitätszusichernden Größen und Eigenschaften. Im Einzelfall wird auch das anzuwendende Nachweisverfahren beschrieben, im Regelfall wird auf Richtlinien und Normen, z.B. aus dem Bereich der Baustofftechnologie, verwiesen.

Für die Streckenabdichtungen sind ein Prüfplan und Qualitätsvereinbarungen zu folgenden Sachverhalten zu erstellen:

- vorbereitende Arbeiten
- Baustoffe
- Bauablauf

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

7.1.3.1 Vorbereitung der Strecken und der Baustelle

Abzudichtende Streckenabschnitte sind anforderungsgemäß vorzubereiten. Dies beinhaltet im ersten Schritt das Entfernen von Einbauten, wozu z.B. auch Kabel, Rohrleitungen, Anker und Bolzen zählen.

Die anforderungsgemäße Ausführung des Nachschneidens muss gewährleistet werden. An ausgewählten Positionen sind exemplarisch Permeabilitätstests in der Streckenkontur (Auflockerungszone) durchzuführen. Abzudichtende Streckenabschnitte sind mittels markscheiderischer Vermessung aufzunehmen.

In der Strecke lokal vorhandene Salze, die durch gesättigte NaCl-Lösung angelöst werden könnten, sind zu identifizieren und vorzubehandeln, um die Anlösung der Streckenkontur während der Einbringung des Salzbetons zu vermeiden.

Unmittelbar vor Einbau der Abdichtungen sind die entsprechenden Streckenabschnitte nochmals auf Abschalungen zu überprüfen und diese ggf. zu entfernen. Die Sohle muss sich in einem sauberen Zustand befinden, auch Feinteile und Staub sind zu entfernen. Die Streckenkontur wird zwecks besserer Identifikation von konturnahen Auflockerungen mit Wasser bzw. Salzlösung besprüht und ggf. vorhandene Ablösungen werden entfernt.

Die Baustelle ist entsprechend Bauablaufplanung vorzubereiten. Dies umfasst die Funktionsprüfung aller technischen Einrichtungen und Hilfsmittel wie Prüf- und Messgeräte über und unter Tage gemäß Checklisten. Die erforderliche Geräteausstattung wird auf der Baustelle bereitgestellt sowie Behältnisse für Probennahme vorgehalten.

Für die Durchführung aller Arbeiten ist qualifiziertes und entsprechend geschultes Personal einzusetzen.

Die Ausführung der Maßnahmen ist zu dokumentieren.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	



7.1.3.2 Baustoffe

Die Qualität der Baustoffe ist durch ein auf die Anforderungen hinsichtlich der Streckenabdichtungen abgestimmtes Qualitätssicherungsprogramm zu überwachen. Dies betrifft sowohl das Referenzmaterial Salzbeton M2 als auch ggf. das Injektions- und das Verpressmittel. Im Prüfplan werden die einzelnen Verfahrensschritte aufgeführt. Diese reichen von der Eignungsprüfung des Baustoffes bis zur Erstellung einzelner Arbeitsanweisungen, z.B. für das Einbringen des Baustoffes. Die Qualitätsvereinbarung bezieht sich auf die Anforderungen an die Baustoffe und die zu überprüfenden Baustoffeigenschaften. Die dort aufgeführten Spezifikationen müssen realistische Bandbreiten für die Baustoffeigenschaften beinhalten. Die Baustoffeigenschaften werden mittels Eignungs- und Erstprüfung festgestellt und während des Bauvorganges mittels Eigen- und Fremdüberwachung begleitend überwacht. Entsprechend Regelwerk werden von den eingesetzten Baustoffen Rückstellproben entnommen.

Für die Durchführung aller Verfahrensschritte ist qualifiziertes und entsprechend geschultes Personal einzusetzen.

Die Einhaltung der Baustoffeigenschaften und der Rezepturzusammensetzung ist zu dokumentieren.

7.1.3.3 Einbau der Abdichtungssegmente

Die anforderungsgemäße Positionierung der Schalungssysteme ist vorzunehmen, ebenso deren anforderungsgemäße Abdichtung. Eine Umläufigkeit von Baustoff und Lösung muss verhindert werden, um die Anbindung des Baustoffs an der Kontur zu gewährleisten.

Die anforderungsgemäße Positionierung von Verfüll- und ggf. Entlüftungsrohren ist zu gewährleisten.

Die anforderungsgemäße und feste Positionierung der ggf. erforderlichen Injektionsschläuche und der Hüllrohre ist zu gewährleisten, dabei ist für die Injektionsschläuche die knickfreie Verlegung gesondert zu bestätigen.

Um Arbeitsfugen zu vermeiden, ist vorgesehen den Baustoff frisch in frisch zu verarbeiten. Allerdings sind zur Begrenzung der Temperaturerhöhung in Folge der Hydratationswärme Verfüll-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

pausen notwendig. Um Rissbildung in Folge von Hydratationswärme im Abdichtungssegment zu vermeiden, ist die Temperaturerhöhung zu begrenzen. Dies geschieht durch die Kombination der Begrenzung der Einbringtemperatur der Baustoffsuspension, der Begrenzung der Höhe der Lagen sowie der Einhaltung von Verfüllpausen. Die Einhaltung der jeweiligen Begrenzung ist durch qualitätssichernde Maßnahmen zu gewährleisten. So ist z.B. die Temperatur des einzubringenden Salzbetons zu überwachen und zu dokumentieren. Es muss gewährleistet sein, dass der Baustoff hinreichend lange verarbeitungsfähig ist. Wird in den Verfüllpausen das Leitungssystem gespült, ist zu gewährleisten, dass kein Spülwasser in die Schalung für die Abdichtungssegmente eintritt. Das Spülwasser soll im Sammelbecken auf der Baustelle gespeichert und rückgeführt werden.

Das anforderungsgemäße Einbringen der Betonierlagen ist zu dokumentieren, um sicherzustellen, dass keine Setzungen im Firstbereich erfolgen und in Folge des Fließwinkels Lufteinschlüsse entstehen oder eingeschlossene Überstandslösung zu verbleibenden, offenen Bereichen führt. Weiterhin ist die anforderungsgemäße Rückführung der Verfüllrohre und ggf. weiterer Verfülleinrichtungen, die langfristig Wegsamkeiten darstellen können, sicherzustellen.

Die durch den ggf. erforderlichen Injektionsvorgang auftretenden Spannungen dürfen die zulässigen Festigkeitswerte des eingesetzten Salzbetons nicht überschreiten bzw. sind auf den Nahbereich zu begrenzen. Ein Fracken des Gebirges ist ebenfalls zu vermeiden, siehe Kapitel 7.1.2

Das ggf. vorhandene Hüllrohr wird entfernt und die Bohrung verpresst.

Die Gesamtmenge des jeweils eingebrachten Baustoffes pro Abdichtungssegment ist jeweils zu ermitteln.

Für die Durchführung aller Arbeiten ist qualifiziertes und entsprechend geschultes Personal einzusetzen.

Die Ausführung der Maßnahmen ist zu dokumentieren.

7.2 Standortspezifische Prüfung der Vorzugsvariante

Die Machbarkeit der Vorzugsvariante wurde an den einzelnen Standorten im ERAM überprüft. Das Ergebnis der Überprüfung ist in Tabelle 7.2-1 zusammengefasst. In den Anlagen 3 bis 12 sind beispielhaft mögliche Positionen hydraulisch wirksamer Abdichtungssegmente dargestellt.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Gemäß Langzeitsicherheitsnachweis ist die Anordnung hydraulisch wirksamer Abdichtungssegmente in allen als „optionale Bereiche für Streckenverfüllungen“ gekennzeichneten Streckenabschnitten möglich. Eine räumliche Darstellung des Wetterrollloches südlich ist in Anhang 83 gegeben.

ERA
Morsleben

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 128

Grubenbaue mit Standorten der qualifizierten Streckenverfüllungen

Sohle	Grubenbau	Kennzeichnung	Länge der Abdt. gem LZSN [m]	Länge der Abdt. im Steinsalz bzw. HA [m]	Anzahl + Länge der Segmente	Summe der Segmentlängen	Kalifiz. in der Strecke
-253	Nördliche Verbindungsstrecke Lager B/C nördlich*	09YEA25/R001	75	70	2 x 25, 1 x (20+5)	75	ki
-253	Ostquerschlag B/C	09YEQ01/R001	75	75	3 x 25	75	ki
-253	Wetterstrecke südlich	09YEA52/R004	75	75	3 x 25	75	ki
-253	Wetterrolloch südlich, bis 2. Sohle*	09YEA52/RL003	38**	?	?	?	ki (?)
-291	Nördliche Verbindungsstrecke Lager B/C nördlich*	12YKA24/R001	38	35	1 x (15+2), 1 x (19+1)	37	ki, sy
-291	Ostquerschlag	12YEQ01/R001	150	150	1 x 30, 4 x 25, 1 x 20	150	-
-291	Ostquerschlag B/C	12YEQ01/R001	75	75	2 x 15, 1 x 20, 1 x 25	75	ki, sy
-291	1. Südliche Richtsstrecke	12YER51/R001	75	75	3 x 25	75	ki, ct, (sy)
-291	Wetterstrecke südlich	12YER51/R002	75	75	1 x 20, 1 x 25, 1 x 30	75	ki, sy
-291	Nördliche Richtsstrecke nach Marie	12YER21/R001	200	200	6 x 30, 1 x 20	200	sy, ki
-291	Wetterrolloch südlich, bis 4. Sohle*	12YER51/RL003	81**	?	?	?	ki (?)
-332	Nördliche Verbindungsstrecke Lager B/C nördlich*	15YKA26/R001	26	20	1 x (20+6)	26	ki
-332	Ostquerschlag B/C	15YEQ01/R001	75	75	1 x 20, 1 x 25, 1 x 30	75	ki
-332	Wetterstrecke südlich*	15YEA32/R002	75	70	2 x 20, 1 x (15+5), 1 x 15	75	ki
-332	1. nördliche Richtsstrecke	15YER21/R001	200	200	3 x 15, 5 x 20, 1 x 25, 1 x 30	200	sy, ki
-332	Westquerschlag	15YEQ02/R001	25	25	1 x 25	25	sy, ki
-332	Verbindungsstrecke Bergemühle - Wetterstr. süd. *	15YEA32/R004	40	40	2 x 20	40	?
-372	Ostquerschlag*	17YEQ01/R001	150	150	2 x 20, 2 x 25, 2 x 30	150	-
-372	Ostquerschlag B/C*	17YEQ01/R001	26	20	1 x (20+6)	26	ki
-372	Wetterstrecke südlich	17YER51/R003	70	70	2 x 25, 1 x 20	70	ki
-372	Richtsstrecke nach Süden -> "Störreservelager"	17YER12/R001	25	25	1 x 25 / (1 x 25)	25	sy, ki
-372	Westquerschlag	17YEQ02/R001	25	25	1 x 25	25	sy, ki

*) Diese Standorte weisen im Bereich einzelner Abdichtungssegmente Besonderheiten auf. Auf sie wird in Kapitel 8 gesondert eingegangen. So muss z. B. für einige Abdichtungslokalationen der Erkundungszustand verbessert werden. Für sie ist die Planung der Segmente noch offen (Kennzeichnung durch "?")

**) Die beiden Abschnitte des Wetterrollochs werden einer Abdichtung zugeordnet

Die mit Klammern gekennzeichneten Segmente befinden sich ganz oder teilweise im Kalifiz. bei zwei Zahlen bezieht sich die 2. Zahl auf die Länge des Segmentes im durch Kalisalz beeinflussten Bereich

Tabelle 7.2-1: Grubenbaue mit Standorten der qualifizierten Streckenverfüllungen

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Zu Tabelle 7.2-1 ist Folgendes zu bemerken:

Die Gesamtlänge der Abdichtung wird unterteilt in die Länge, die sich im Steinsalz bzw. Hauptanhydrit befindet und die Länge, in der Kalisalz ansteht. Die Art der Ausbildung des Kaliflözes ist angegeben (ki : kieseritisch, sy : sylvinitisch). Des Weiteren sind die Abmessungen der Einzelsegmente angegeben und die Summe der Segmentlängen. In einigen Fällen weicht die Referenzlänge der Abdichtung gemäß Langzeitsicherheitsnachweis von der Summe der Segmentlängen ab. Die Abweichungen resultieren aus ungünstigen geologischen bzw. bergbaulichen Gegebenheiten. In allen Fällen ist jedoch die 0,8fache Abdichtungslänge entsprechend der unteren Grenze der Bandbreite gemäß Langzeitsicherheitsnachweis nicht unterschritten.

Einige Abdichtungen weisen gemäß Fußnote zu Tabelle 7.2-1 Besonderheiten auf. Auf sie wird in Kapitel 8 gesondert eingegangen.

Als Ergebnis der standortspezifischen Prüfung der Vorzugsvariante ist festzuhalten, dass die Vorzugsvariante an allen Standorten realisiert werden kann.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

8 Besondere Lokationen

Nachstehend aufgeführte Abdichtungslokationen weisen Besonderheiten auf, diese erfordern jedoch keine grundsätzlich veränderte Nachweisführung, da den Besonderheiten entweder durch konstruktive Maßnahmen begegnet wird oder sie sich nur auf den Erkundungszustand der Abdichtungslokationen beziehen.

8.1 Abdichtung des Ostquerschlages im Anhydrit

Alle Abdichtungssegmente im Ostquerschlag auf der 4. Sohle zwischen Kalilager E und Ostfeld befinden sich im Anhydrit. Daten zur Permeabilität der Auflockerungszone des Anhydrits liegen nicht vor. Diese Daten werden standortspezifisch ermittelt.

Da der Anhydrit kein relevantes Kriechverhalten aufweist, muss davon ausgegangen werden, dass das Fluidkriterium bzw. die effektive Dilatanzbedingung in der Auflockerungszone des Anhydrits auch langfristig nicht erfüllt sind. Deshalb ist im Falle der Abdichtungssegmente im Anhydrit die Auflockerungszone zu vergüten. Dazu sind Ringinjektionen vorgesehen, die erforderlichen Parameter des Injektionsverfahrens werden versuchsgestützt ermittelt.

In diesem Streckenabschnitt sind weiterhin streckenbegleitend Bohrungen vorhanden /42/. Sie werden in Fällen, in denen sie zu einem hydraulischen Kurzschluss führen, geeignet verfüllt.

8.2 Abdichtungen an Kalilagern

Gemäß Tabelle 7.2-1 ist in einigen abzudichtenden Streckenbereichen Kaliflöz aufgeschlossen. Mit einer Ausnahme steht das Kaliflöz überwiegend senkrecht zur Streichrichtung der Strecke. Soweit möglich erfolgte die Anordnung der Abdichtungssegmente unter Auslassung der Kalisalzauflüsse, so dass diese Bereiche nicht der hydraulisch als Widerstand wirksamen Abdichtungslänge zugeordnet werden. Lediglich in folgenden Strecken sind Abdichtungssegmente durch Kaliaufschlüsse direkt berührt /2/.

Nördliche Verbindungsstrecke Lager B/C nördlich (09YEA25/R001), 1. Sohle
 Nördliche Verbindungsstrecke Lager B/C nördlich (12YKA24/R001), 2. Sohle

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Nördliche Verbindungsstrecke Lager B/C nördlich (15YKA26/R001), 3. Sohle
Wetterstrecke südlich (15YEA32/R002), 3.Sohle
Ostquerschlag B/C (17YEQ01/R001), 4. Sohle
Richtstrecke nach Süden → „Störreservelager“ (17YER12/R001), 4.Sohle

Mit Ausnahme der nördlichen Verbindungsstrecke Lager B/C nördlich (12YKA24/R001), 2. Sohle, und der Richtstrecke nach Süden → „Störreservelager“ (17YER12/R001), 4.Sohle, ist das Kaliflöz kieseritisch ausgebildet. Kieserit wandelt sich bei Kontakt mit NaCl-Lösung unter Verbrauch von Sylvin unter Volumenzunahme in Kainit ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 2,75 H_2O$) um /43/. Damit wird eine zusätzliche Abdichtungswirkung (Selbstabdichtung) erzielt. Langfristig wird Kainit durch NaCl- gesättigte Lösung wieder gelöst, gegenüber $MgCl_2$ gesättigten Lösungen ist Kainit langzeitstabil. Aus der Existenz der kieseritisch ausgebildeten Kaliaufschlüsse senkrecht zum Streichen der Strecke ergeben sich deshalb keine besonderen Anforderungen.

Im Bereich der Abdichtung der nördlichen Verbindungsstrecke Lager B/C nördlich, 2. Sohle, tritt an einem Abdichtungssegment ein sylvinitisch ausgebildetes Kaliflöz auf, das senkrecht zum Streichen der Strecke aufgeschlossen ist. Es wird vor Einbringen des Salzbetons gesondert vorbehandelt.

Im Bereich der Abdichtung der Richtstrecke nach Süden → „Störreservelager“ ist sylvinitisch ausgebildetes Kaliflöz im Streichen der Strecke vorhanden. Vorsorglich wurde deshalb in Ergänzung zu den bestehenden Planungen ein zweites, redundantes Abdichtungssegment im Störreservelager (17YEA31/R001) angeordnet, um die Auswirkungen einer potentiellen Umläufigkeit zu beherrschen.

8.3 Abdichtung des Wetterrolllochs südlich

Das Wetterrollloch zwischen der 1. und der 4. Sohle, das markscheiderisch in zwei Abschnitten erfasst ist, dem Abschnitt zwischen 1. und 2. Sohle (09YEA52/RL003) und dem Abschnitt von der 2. bis zur 4. Sohle (12YER51/RL003), wird derzeit erkundet.

Zur Abdichtung der Wetterrolllöcher ist geplant, diese nach Entfernung der Auflockerungszone in Abschnitten analog zu den Segmenten mit Salzbeton M2 zu verfüllen. Zwecks Ausbildung der plastischen Fuge wird zwischen den Abschnitten aus Salzbeton M2 Salzmaterial eingebracht.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Da auf Grund der überwiegend vertikalen Anordnung der Rolllöcher Luft- und Flüssigkeitseinschlüsse im Konturbereich zum anstehenden Salz ausgeschlossen werden können, ist ein Nachverpressen zum Nachweis des Formschlusses nicht erforderlich.

8.4 Verbindungsstrecke Bergemühle – Wetterstrecke südlich

Die Verbindungsstrecke Bergemühle - Wetterstrecke südlich ist derzeit bergbaulich nicht zur Befahrung freigegeben. Gemäß Risswerk /42/ weist sie jedoch keine bergbaulichen Besonderheiten auf, die bei der Planung von Abdichtungen berücksichtigt werden müssen. Auch geologische Besonderheiten, die die Planung der Abdichtungen beeinflussen, sind gemäß Lagerstättenmodell /2/ nicht vorhanden.

Für diese Strecke muss der Erkundungszustand verbessert werden.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

9 Literaturverzeichnis

- /1/ GRS
ERAM - Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit mit dem Rechenprogramm EMOS, GRS-A-3185, Juli 2004
- /2/ BGR
ERA Morsleben Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells (AP 9M 212 460 11), Abschlussbericht, Dezember 1997
- /3/ Sander, W.
Geochemische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Salzversatz mit Zuschlagstoffen, Untertägige Entsorgung, Viertes Statusgespräch zu FuE-Vorhaben auf dem Gebiet der Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 14.-15. September 1999, Clausthal-Zellerfeld, Wissenschaftliche Berichte, FZKA-PTE Nr.6, Dezember 1999
- /4/ Preuss, J.; Müller-Hoeppe, N; Schimpf, C.:
The Interaction of the Evidence of Post Closure Safety and Requirements to Backfill Materials for the Morsleben Repository, Proc. DISTEC 2000, Berlin, September 4-6, 2000
- /5/ DBE
Systembeschreibung Material für die Stilllegung, Stand 20.03.2002
- /6/ DBE
Verfüllmaterial von Strecken mit hohen Anforderungen – Materialeigenschaften und Materialkennwerte Salzbeton M2, Stand 17.11.2004
- /7/ GRS
Endlager Morsleben – Zementkorrosion, Abschlussbericht von GRS und IBMB, Projekt Morsleben PSP-Element 9M 232200-11/12, GRS-A-3034, April 2002

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- /8/ Deutsches Institut für Normung,
DIN 4093, Baugrund, Einpressen in den Untergrund, Planung, Ausführung, Prüfung,
September 1987

- /9/ Ahrens, E. H. Dale, T.F
Data report on the Waste Isolation Pilot Plant small-scale seal performance test, Series
F grouting experiments. Sandia National Laboratories, Report SAND93-1000, Albuquer-
que 03/96

- /10/ Kühn, R.
Bekämpfung von Lösungszuflüssen durch gezielte Anwendung der ozeanischen Lö-
sungsgleichgewichte, Kali und Steinsalz, Band 11, Heft 3/4, April 1993

- /11/ Wischers, G.
Betontechnische und konstruktive Maßnahmen gegen Temperaturreisse in massigen
Bauteilen, Beton Verlag, 2. Auflage, 1977

- /12/ CEN
Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke, Teil1:
Grundlagen der Tragwerksplanung, ENV 1991 – 1. Oktober 1994

- /13/ CEN
Eurocode 7, Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, DIN VC ENV
1997-1, April 1996

- /14/ DAfStb
Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“, 1996

- /15/ DAfStb
Statusseminar „Sicherheit von Betonkonstruktionen technischer Anlagen für umweltge-
fährdende Stoffe, Bochum 10. März 1994

- /16/ DAfStb
Sicherheitskonzept für Bauten des Umweltschutzes, Erfahrungen mit Bauten des Um-
weltschutzes, Qualitätskontrollen bei Betonkonstruktionen, Heft 481, Beuth Verlag, Ber-
lin, 1997

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- /17/ CPE
ERAM - Langzeitsicherheitsnachweis für das verfüllte und verschlossene Endlager mit dem Programm PROSA, Juli 2004
- /18/ Häfner, F. et al.
In-situ-Ermittlung von Strömungskennwerten natürlicher Salzgesteine in Auflockerungszonen gegenüber Gas und Salzlösungen unter den gegebenen Spannungsbedingungen im Gebirge, Abschlussbericht, Forschungsvorhaben FKZ 02 C 05276, Freiberg, April 2001
- /19/ BGR
Hydraulische Untersuchungen im Grubengebäude Morsleben Abschlussbericht, Archiv-Nr. 117065, März 1998
- /20/ GRS
Untersuchung zur Auflockerungszone im Salinar (ALOHA2), GRS-198, Abschlussbericht, April 2004
- /21/ Gläß, F.; Mauke, R.; Müller-Hoeppe, N.
Investigations on the 'Asse-Vordamm' to prove the tightness of the contact zone of the sealing constructions for the Morsleben Repository for Radioactive Waste (Endlager für radioactive Abfälle Morsleben, ERAM), European Commission CLUSTER Conference "Impact of the Excavation Disturbed or Damaged Zone (EDZ) on the Performance of Radioactive Waste Geological Repositories, Luxemburg, 3-5. November 2003
- /22/ Mauke, R.; Schmidt, H.
Untersuchung der Kontaktzone am Asse -Vordamm - Darstellung und Bewertung der Ergebnisse, 32. Geomechanik Kolloquium, Leipzig, 14. November, 2003
- /23/ ZTV-Riss 93
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für das Füllen von Rissen in Betonteilen, Verkehrsblatt - Dokument B 5237, Verkehrsblatt - Verlag

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- /24/ DAFStb
Fließverhalten von Flüssigkeiten in durchgehend gerissenen Betonkonstruktionen, Heft 460, Beuth Verlag, Berlin, 1996
- /25/ Kolditz, O.
Strömung, Stoff- und Wärmetransport in Kluftgestein, Gebr. Bornträger, Berlin, Stuttgart, 1997
- /26/ Busch, K-F.; Luchner, L.; Tiemer, K.
Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 3, Geohydraulik, Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart 1993
- /27/ Schmidt-Döhl, F.
Dauerhaftigkeitmodellierung für mineralische Baustoffe, in: Beiträge zum 40. Forschungskolloquium des DAFStb am 11. und 12. Oktober 2001 in Braunschweig, IBMB, H. 160, 2001
- /28/ Schmidt-Döhl, F.
Ermittlung von Parametern zur Bewertung der Langzeitstabilität von Salzbeton im Kontakt mit salinaren Lösungen, Bericht zum AP 9M 22345021, Braunschweig, IBMB, 2003
- /29/ Schneider, H.-J. (Hrsg.)
Bautabellen für Ingenieure mit europäischen und nationalen Vorschriften, Werner Verlag, 11. Auflage 1994
- /30/ DBE
Geomechanische Betriebsüberwachung 2002, Stand 10.03.2003
- /31/ DAFStb
Wirksame Betonzugfestigkeit im Bauwerk bei früh einsetzendem Temperaturzwang, Heft 449, Beuth Verlag, Berlin, 1995
- /32/ DBE
Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität), Stand 31.08.2001

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 137

- /33/ Institut für Bergbausicherheit Leipzig
Erarbeitung geomechanischer Grundlagen für die Endlagerung hochaktiver Abfallprodukte in Steinsalzformationen, Zwischenbericht, Vertrags-Nr. 21-328, Oktober 1974

- /34/ Sadgorski, W.; Smolczyk, U.
Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Kommentar u.a. zu DIN V ENV 1997-1: Eurocode 7, Beuth Verlag, Berlin 1996

- /35/ BGR
Gebirgsmechanische und geotechnische Untersuchungen im Labor und in situ, Ingenieurgeologische Erkundung von Homogenbereichen (AP 9M 213 100 15), Abschlussbericht, Archiv-Nr.: 117213, Mai 1998

- /36/ BGR
Gebirgsmechanische Beurteilung der Integrität der Salzbarriere in der Schachtanlage Bartensleben, Archiv-Nr.: 0120259, Dezember 2000

- /37/ Klein, Stadic, Gärtner
Standortsicherheitsnachweis für Schacht Bartensleben und Schacht Marie - Abschlussbericht U461 M4. DMT, 1999

- /38/ BGR
Untertägige Temperaturmessungen im Rahmen der geowissenschaftlichen Standorterkundung des Endlagers für radioaktive Abfälle in Morsleben (AP 9M 2123311100), Abschlussbericht, Archiv Nr.116704; Juni 1998

- /39/ DBE
Salzbeton-Eigenschaften und Materialkennwerte (Referenzmaterial M3),
Stand 21.03.2001

- /40/ Itasca Consultants
FLAC Handbücher, Minnesota, USA, 1997

- /41/ ANSYS
ANSYS Manuals, USA, 1999

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 138

/42/ DBE

Morsleben - Risswerk ERAM, Stand 30.06.2002

/43/ Voigt, W.; Voigt, H.; Jockel A.

Lösungsprozesse im carnallitischen Salzgebirge-Geochemische Modellierung und praktische Bedeutung, Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW, Berlin, Heft 211, 2001

ERA
Morsleben

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

10 Glossar

- Abbau:** Bezeichnung für einen durch bergmännische Tätigkeiten bei der Gewinnung von Kali- oder Steinsalz hergestellten Hohlraum
- Abdichtung:** Bauwerke in ausgewählten Strecken, Streckenabschnitten oder Rolllöchern zwischen einem Einlagerungsbereich und dem restlichen Grubengebäude bzw. relevanten zutrittsgefährdeten Bereichen, die mit erhöhtem Aufwand firstbündig verfüllt werden und deren hydraulischer Widerstand bei der Ermittlung von Zutritts- und Austrittsraten von Salzlösung in den Einlagerungsbereich im Rahmen des Sicherheitsnachweises berücksichtigt wird.
- Aktivierungsenergie:** Mindestenergie zur Erzielung einer chemischen Reaktion
- Anhydrit:** Mineral und Gestein, CaSO_4
- Auffahren (Auffahrung):** Herstellen einer söhligen oder geneigten Strecke oder eines anderen Grubenbaus
- Auflockerungszone:** Zone mit Mikroklüftung oder erweiterten Porenräumen, die um Strecken, Schächte oder Bohrungen entwickelt ist
- Ausnutzungsgrad:** Relatives Bewertungsmaß in Bezug auf einen Grenzzustand
- Barrieren:** Hindernisse zwischen den Quellen ionisierender Strahlung und der Biosphäre
- Bauzustand:** Zustand, der während der Baumaßnahme temporär auftritt

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- Beanspruchung:** Beanspruchung ist sowohl die Unterwerfung eines Bauteils unter eine Belastung beliebiger Art als auch der Zustand des Bauteils, das unter dem Einfluss von Spannungen steht. Ursache einer Beanspruchung können äußere Kräfte oder Belastungen, Eigengewichtskräfte, Auflagerverschiebungen oder Temperaturdehnungen sein.
- Belastung:** Die Summe aller an einem Körper angreifenden äußeren Kräfte; zusammen mit dem Eigengewicht steht sie bei einem ruhenden Körper im Gleichgewicht mit den Reaktionskräften (wie Berührungs- und Stützkräfte).
- Bemessungswert:** Der Wert, der sich durch Verknüpfung des repräsentativen Wertes mit dem Teilsicherheitsbeiwert ergibt. Man unterscheidet z.B. Bemessungswerte für Einwirkungen, Materialeigenschaften und geometrische Eigenschaften
- Bentonit:** Tongestein, welches aufgrund seiner mineralogischen Zusammensetzung ein starkes Quellungsvermögen aufweist
- Bergemühle:** Im Allgemeinen im Steinsalz gelegener Grubenbau zur Gewinnung von Versatz für Abbaubetriebe im Kalilager
- Betonalter, wirksames:** Alter des Betons bei einer konstanten Lagerungstemperatur von 20 °C. Bei höheren oder niedrigeren Lagerungstemperaturen wird zu Vergleichszwecken eine Zeittransformation, die eine Funktion der Lagerungstemperatur ist, vom realen Betonalter in das wirksame Betonalter vorgenommen
- Carnallit:** Salzmineral $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$
- Carnallitit:** Salzgestein, Gemenge aus Carnallit, Kieserit und Steinsalz
- Deckgebirge:** Die Lagerstätte überdeckende Gebirgsschichten

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- Dehnung:** Dehnung ε heißt das Verhältnis aus der Längenänderung eines Körpers zu seiner ursprünglichen Länge. Ist $\varepsilon > 0$, so bezeichnet man ε stets als Dehnung (es haben Zugkräfte gewirkt), bei $\varepsilon < 0$ nennt man ε auch Stauchung (es haben Druckkräfte gewirkt).
- Deviator:** Mathematische Größe; ein Tensor, in dem der hydrostatische Anteil abgespalten ist
- 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
- Einfallen:** Neigungswinkel einer Gebirgsschicht oder einer Schieferung gegen die Horizontalebene nach Größe und Richtung
- Einlagerungsbereich, langzeit-sicherheitlich:** Diejenigen Hohlräume um die Einlagerungshohlräume eines Feldes, die von diesen hydraulisch nicht strikt getrennt sind; die Einlagerungsbereiche enden normalerweise an den Abdichtungen

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- Elastizität:** Eigenschaften eines Stoffes nach einer Belastung und anschließender Entlastung wieder seine ursprüngliche Form anzunehmen. Die Geschwindigkeit der Lastaufbringung kann gering (statisch) oder hoch (dynamisch) sein
- elastoplastisch:** Materialverhalten mit reversiblen, elastischen und irreversiblen, plastischen Anteilen
- Ereignisse:** Jegliche spontane Veränderungen von kurzer Dauer, wie das Einsetzen oder Aufhören von Prozessen, oder auch von Vorgängen (z.B. Erdbeben etc.)
- Firste:** Obere Grenzfläche eines Grubenbaus
- Flugasche:** (Filterasche) Feinkörniges Material, das hauptsächlich aus kugelförmigen, glasigen Partikeln besteht und bei der Verbrennung von Kohle anfällt
- Füllort:** Übergangsbereich vom Schacht zum Grubengebäude
- Gaskonstante, universelle:** physikalische Konstante: 8,314 [J/mol]
- Gebirge:** Komplexbezeichnung aller um das Grubengebäude herum anstehender Schichten
- Gefahr:** potentiell schadenauslösendes Ereignis oder potentiell schadenauslösender Zustand
- Grenzzustand:** Zustand, bei deren Überschreitung ein Tragwerk die (Entwurfs)anforderungen nicht mehr erfüllt
- Grubenbau:** Planmäßig bergmännisch hergestellter Hohlraum unter Tage
- Grubengebäude:** Sammelbegriff für alle bergmännisch hergestellten Hohlräume eines Bergwerks

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- Hartsalz:** Salzgestein aus einem Gemenge von Steinsalz, Sylvin und Kieserit
- Hauptanhydrit:** Im Rahmen des Salzzklus Zechstein 3 (Leine Serie) ausgeschiedener Anhydrit (siehe Anhydrit)
- Hauptspannung:** In jedem Punkt eines belasteten Körpers gibt es drei ausgezeichnete, aufeinander senkrecht stehende Schnittebenen, in denen die Schubspannungen verschwinden und zwei der Normalspannungen Extremwerte erreichen; in diesem Falle werden die Normalspannungen Hauptspannungen σ_1 , σ_2 , σ_3 genannt.
- Hydratationsgrad:** Verhältnis von hydratisierten zu hydratisierbaren Bindemittelanteilen
- Hydratationsmodell:** Mathematische Beschreibung des Abbindevorganges von Bindemittelsystemen im Hinblick auf die Materialeigenschaften E-Modul, Druckfestigkeit und Zugfestigkeit in Abhängigkeit der Temperaturentwicklung
- Hydratationswärme:** Wärme, die als Folge exothermer Mineralreaktionen der Bindemittel (z. B. Zement, Flugasche) mit der Anmischflüssigkeit freigesetzt wird
- isotrop:** Stoffeigenschaft, bei der alle Raumrichtungen gleiche physikalische Eigenschaften aufweisen; Gegenteil: anisotrop
- Kainit:** Mineral ($KCl Mg SO_4 \cdot H_2O$)
- Kalilagerteil:** Bezeichnung für durch tektonische Vorgänge separiertes Teil des Kaliflözes
- Kieserit:** Salzmineral; $MgSO_4 \cdot H_2O$; spezifisches Gewicht 2,57; benannt nach dem Jenaer Naturforscher D.G. von Kieser

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- Klima:** Einwirkung der Umgebungsbedingungen auf den menschlichen Organismus (Trockentemperatur, Feuchtigkeit, Wettergeschwindigkeit, Wärmestrahlung)
- Kluft:** Im Gebirge durch tektonische Vorgänge entstandener Riss; speziell: tatsächliche Einzelkluft bzw. geöffneter Riss im Anhydrit
- Kontur:** Umriss(linie)
- Konvergenz, bergmännische:** Natürlicher Prozess der Volumenreduzierung von untertägigen Hohlräumen infolge Verformung bzw. Auflockerung aufgrund des Gebirgsdrucks
- Konvergenzrate:** Zeitliche Ableitung der Konvergenz; beschreibt die Geschwindigkeit mit der sich ein Grubenbau schließt; stationäre K.: keine Änderung der K. über die Zeit
- Kriechen:** Zeitabhängige, plastische (irreversible) Deformation
- Lagerstätte:** Anreicherungszone von mineralischen Rohstoffen im Bereich der Erdkruste
- Lastumlagerung:** Fähigkeit eines statisch unbestimmten Tragsystems sein eigenes Tragverhalten in Bezug auf die Abtragung von Lasten zu optimieren
- Normalbeton:** Baustoff, erzeugt durch Mischen von Zement, Zuschlag und Wasser, mit oder ohne Zugabe von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen, mit einer Rohdichte (ofentrocken) über 2.000 kg/m³, höchstens aber 2.600 kg/m³

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- Normal-Null (NN):** Bezeichnung für eine bestimmte Niveaufläche, die in einem Land als einheitliche Bezugsfläche für die Angabe der Vertikalabstände beliebiger Punkte der Erdoberfläche vom mittleren Meeresniveau dient. In der Bundesrepublik Deutschland wird diese Niveaufläche vom Nullpunkt des Amsterdamer Pegels abgeleitet, d.h. vom mittleren Wasserstand der Nordsee bei Amsterdam. Für die DDR galt seit 1960 eine Niveaufläche, die durch den Nullpunkt des Ostseepegels von Kronstadt ging
- Permeabilität:** Durchlässigkeit eines Gesteins für Flüssigkeiten und Gase, abhängig von der Querschnittsgröße und -form der einzelnen Fließkanäle, deren räumlichem Verlauf und ihrer gegenseitigen Verknüpfung
- Prozesse:** Veränderung der Zustände von Systemen, die entweder direkt zu beobachten und zu messen sind oder hypothetisch erschlossen werden können und mit gleichbleibender oder unterschiedlicher Geschwindigkeit über längere Zeiträume ablaufen (z.B. Epirogenese, Bildung von Korrosionsgasen, Entstehung von Kaltzeiten, etc.). Prozesse unterliegen bestimmten Wirkungskräften und -mechanismen. Sie können Ereignisse auslösen
- Qualität:** Die Gesamtheit von Eigenschaften und Merkmalen eines Produktes oder einer Maßnahme, die sich auf deren Eignung zur Erfüllung festgelegter oder vorausgesetzter Erfordernisse beziehen
- Qualitätssicherung:** Die Gesamtheit aller organisatorischen und technischen Maßnahmen zur Sicherung der Qualität
- Querkontraktion:** Verformung normal zur Längsdeformation bzw. -dehnung bei elastisch festen Körpern. Die Querkontraktionszahl μ ist das negative Verhältnis der Quer- zur Längsverformung

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

- Querschlag:** Etwa rechtwinklig zum Streichen der Lagerstätte aufgefahrene Strecke
- Radionuklid:** Instabiles Nuklid, das spontan ohne äußere Einwirkung unter Strahlungsemission zerfällt
- Restgrube:** Teil des Grubengebäudes außerhalb der Einlagerungsfelder
- Resthohlraum:** Porenraum/-volumen und unverfüllter Hohlraum eines Grubenbaus/des Grubengebäudes
- Richtstrecke:** Im Streichen der Lagerstätte aufgefahrene Strecke
- Risswerk:** Vermessungstechnische Unterlage, in der die Grubenbaue dargestellt sind
- Rollloch:** Stark geneigter bis seiger verlaufender Grubenbau mit geringem Querschnitt, der übereinander liegende Grubenbaue verbindet und der Fahrung, Wetterführung oder der Abwärtsförderung dient
- Salzbeton:** Dickstoff aus Salzgrus, Zement, Steinkohlefilterasche und Anmachflüssigkeit
- Sicherheitsniveau:** Zahlenwert, der als Maßstab für die (nachweisbare) Sicherheit verwendet wird
- Sohle:**
 1. Gesamtheit der annähernd in einem Niveau aufgefahrenen Grubenbaue
 2. Untere Grenzfläche eines Grubenbaus
- Spannung:** Unter Spannung versteht man die auf die Flächeneinheit bezogenen inneren Kräfte eines Körpers. Man unterscheidet Normalspannungen (senkrecht auf die Schnittfläche wirkende Druck- oder Zugspannungen) und Schubspannungen (parallel zur Schnittfläche wirkende Spannungen).

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Steifigkeit: Ein aus Materialverhalten und Formgebung entwickeltes Maß, das den Verformungswiderstand eines Baustoffes oder –werkes gegenüber Beanspruchungen kennzeichnet

Steinsalz Salzmineral, NaCl, Halit

Stilllegung: Alle Maßnahmen zum Sichern des Bergwerkes nach Einstellung des Betriebes

Stoß: Seitliche Kontur eines Grubenbaus

Stratigraphie (Formationskunde): Lehre von der Aufeinanderfolge der Gesteinsschichten und Formationen sowie deren altersmäßige Zuordnung

Strecke: Tunnelartiger Grubenbau, der nahezu söhlig aufgefahren ist

Streckensaum: Randbereich einer Strecke (Firste, Stöße und Sohle)

Streichen: Richtung der Schnittlinie einer geologischen Fläche mit der Horizontalebene bezogen auf die Nordrichtung

Suspension: 2phasige Fluide. Verteilung von festen Partikeln in einer Flüssigkeit

Sylvin: Salzmineral; KCl; spezifisches Gewicht 1,99; benannt nach dem Mediziner F. de la Boe Sylvius aus Leyden, 1614 – 1672

Sylvinit Salzgestein aus einem Gemenge von Sylvin und Steinsalz

Teilschnittmaschine: Streckenvortriebsmaschine, die die Ortsbrust abschnittsweise bearbeitet

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	



- Tensor:** Mathematische Form (Multilinearform) zur Beschreibung des physikalischen Zustandes oder der physikalischen Eigenschaft eines Raumpunktes: Z. B. ist Temperatur als skalare Größe ein Tensor nullter Stufe, Verschiebung als vektorielle Größe ein Tensor erster Stufe, Spannung und Verzerrung sind Tensoren zweiter Stufe und ein mechanisches Stoffgesetz ein Tensor vierter Stufe
- Teufe:** Tiefenlage unter der Tagesoberfläche
- Tiefe:** Lage unter NN
- Verfüllen:** Einbringen von Salzbetonversatz in Einlagerungsgrubenbaue und sonstige Grubenbaue
- Versatz:**
 1. Verfüllgut für die Verfüllung oder Stützung von Grubenbauen
 2. Verfüllung eines Grubenbaus (Versetzen)
- Verzerrung:** Änderung von Längen- und Winkelgrößen eines Körpers in Folge von Formänderungen des Körpers
- Viskoplastizität:** Verhalten eines Stoffes, bei dem das plastische Verhalten von der Zeit abhängt
- Wärmeausdehnungskoeffizient:** Maß der Volumen- bzw. Längenänderung eines Körpers infolge Temperaturerhöhung bzw. -erniedrigung. Im Allgemeinen ist der mittlere Längenausdehnungskoeffizient α für ein Temperaturintervall angegeben ($\alpha = \Delta l / (l_0 \cdot \Delta T)$), l_0 : Länge bei Bezugstemperatur, ΔT : Temperaturänderung, Δl : Längenänderung infolge ΔT).
- Wärmekapazität, spezifische:** Zum Erwärmen von 1 g Substanz um 1 Kelvin erforderliche Wärmemenge [J/(g · K)]. Entsprechend den Messbedingungen wird eine Wärmekapazität bei konstantem Volumen und konstantem Druck unterschieden

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

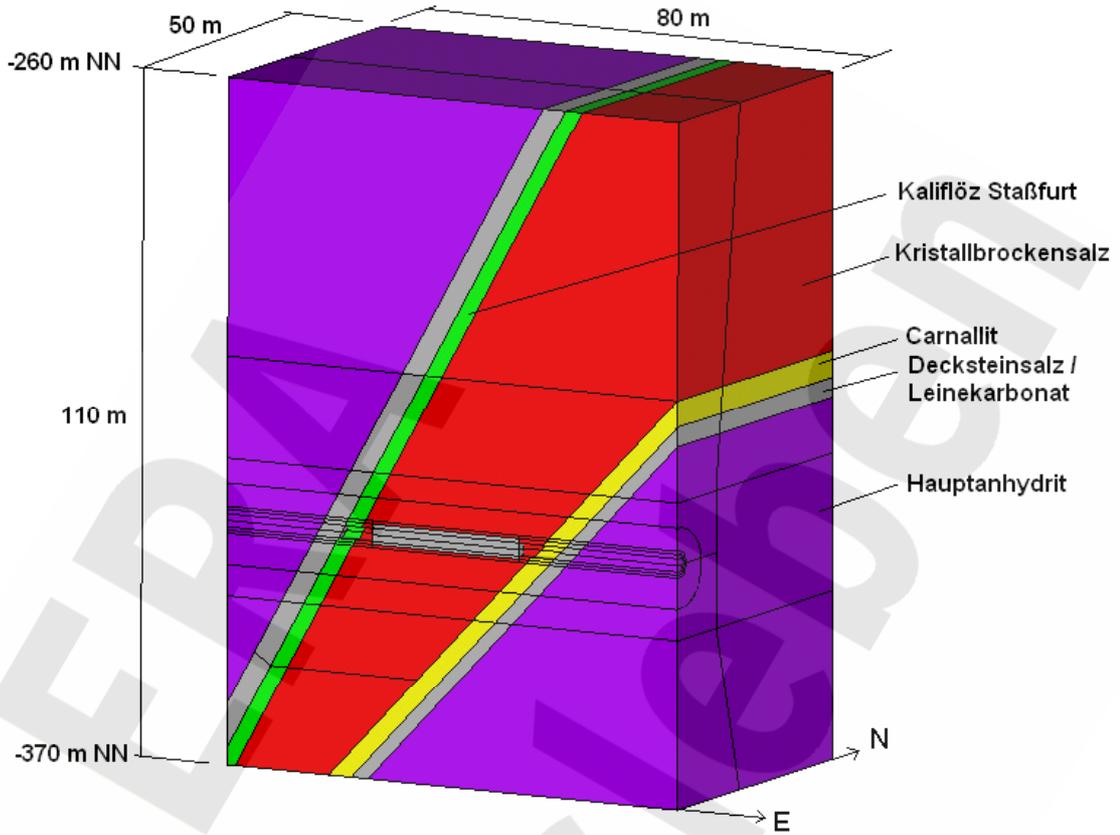
- Wärmeleitfähigkeit:** Stoffeigenschaft, die bestimmt, wie groß in einem Temperaturfeld der Wärmestrom ist, der die Messfläche unter der Wirkung des in Richtung der Flächennormale genommenen Temperaturgefälles durchströmt
- Wert, charakteristischer:** Wichtiger repräsentativer Wert, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit nicht erreicht bzw. nicht überschritten wird. Man unterscheidet z.B. charakteristische Werte für Einwirkungen, Materialeigenschaften und geometrische Eigenschaften
- Wetter:** Grubenluft
- Zement:** Hydraulisches Bindemittel. Anorganischer, fein aufbereiteter Stoff, der infolge chemisch-mineralogischer Reaktionen mit der Anmachflüssigkeit dauerhaft erhärtet
- Zugfestigkeit:** Festigkeit eines Materials unter Zugbeanspruchung
- Zustände:** Gesamtheit von Parametern, die zu einem bestimmten Zeitpunkt ein bestimmtes System charakterisieren
- Zuverlässigkeit:** Die Zuverlässigkeit umfasst die Sicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit einer Konstruktion, z. B. eines Tragwerkes
- Zwang:** Beanspruchung, die nicht aus einem Lasteintrag sondern aus der Behinderung von Deformationen entsteht

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 150

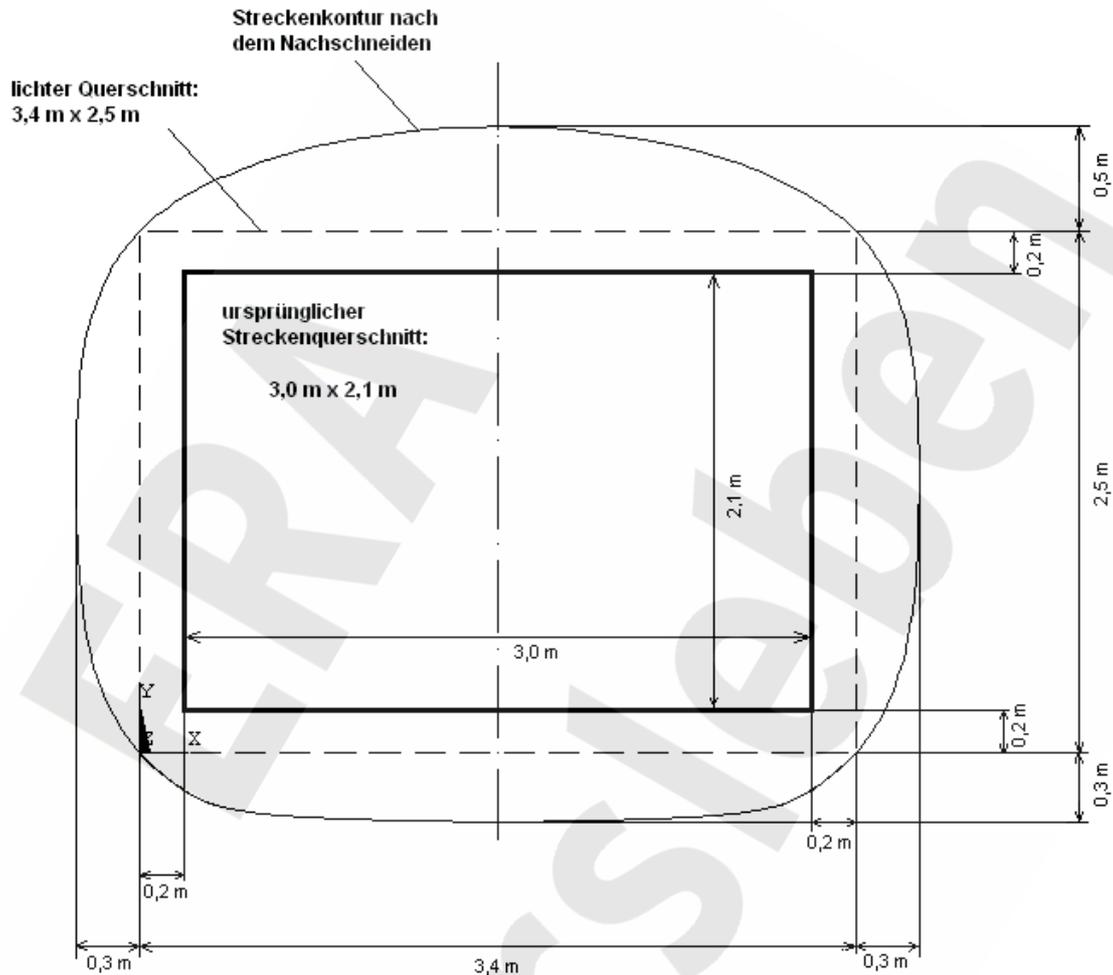


Anhang 1: Ausschnitt des 3D-Modells mit Darstellung der geologischen Situation und Modellabmessungen

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

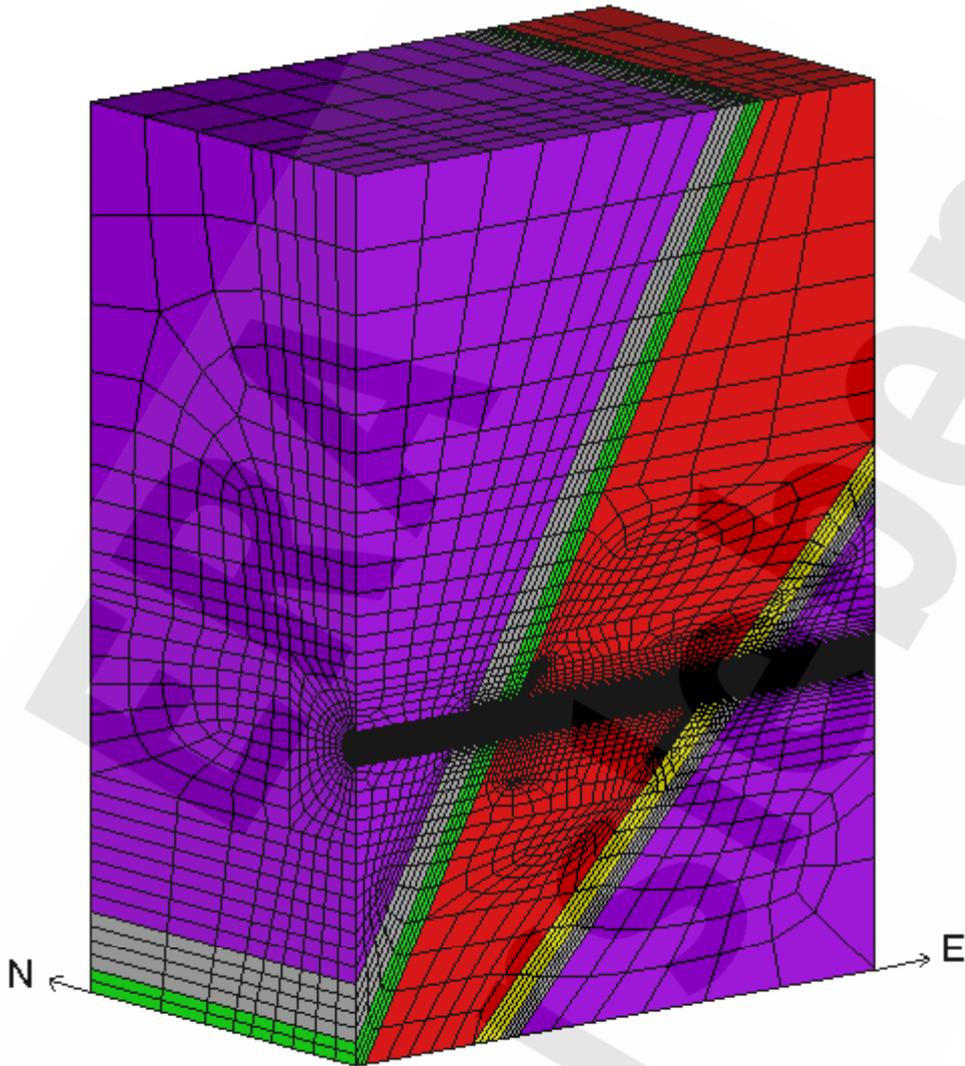


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung



Anhang 2: Querschnitt der Nördlichen Verbindungsstrecke 15YKA26/R001 mit Darstellung des im numerischen Modell verwendeten Nachschnittprofils und dessen geometrische Abmessungen

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

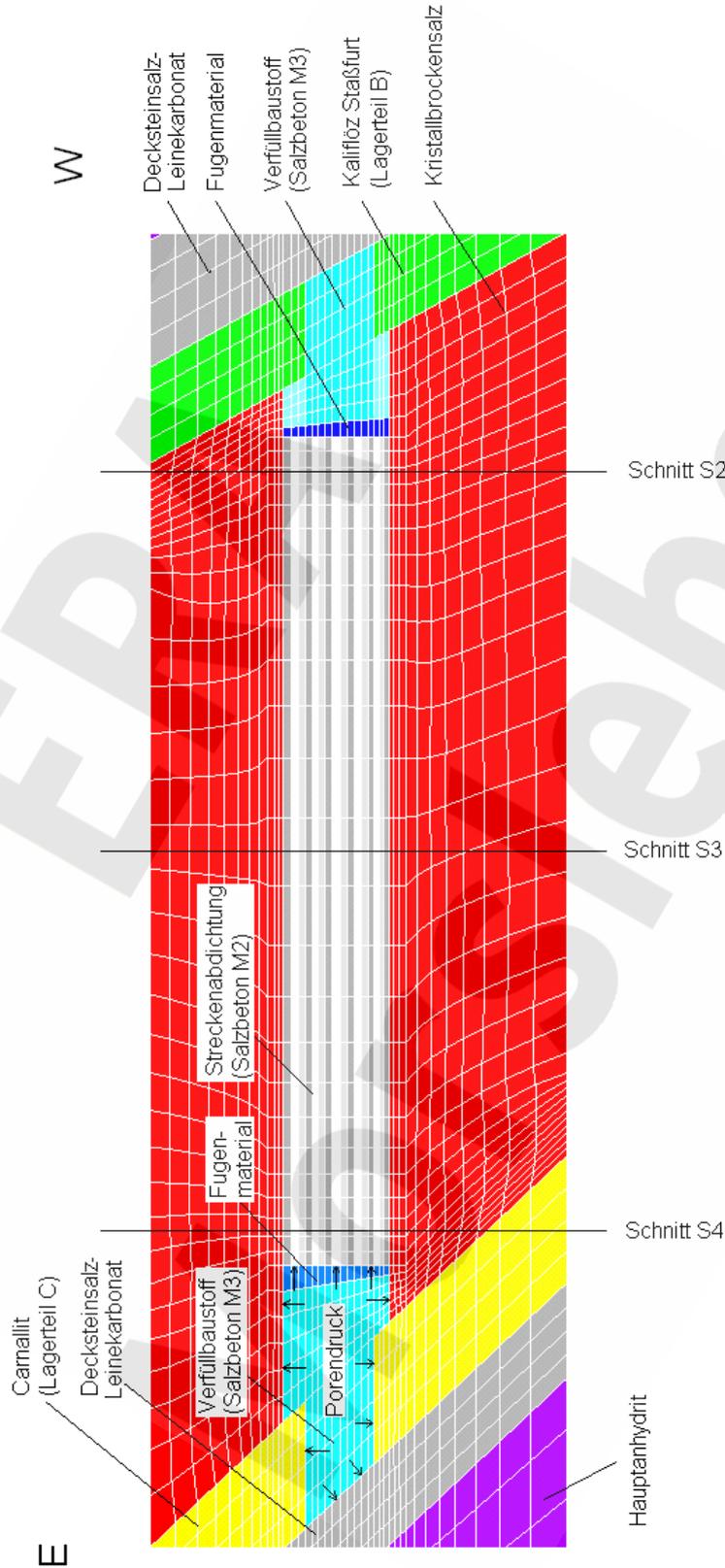


Anhang 3: Ausschnitt des 3D-Modells mit Darstellung der Vernetzung im Bereich der Streckenabdichtung

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

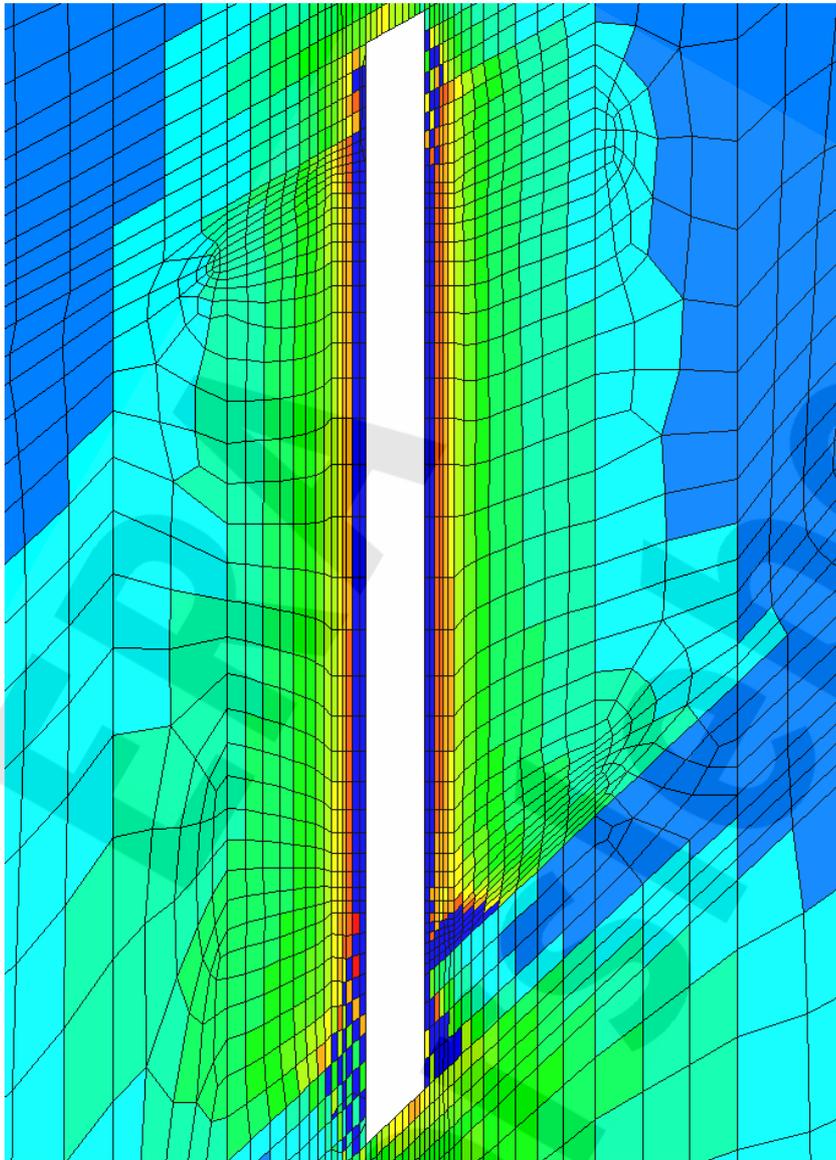


Anhang 4: Ausschnitt des 3D-Modells entlang des Schnittes S1 mit Darstellung der Lage der Schnitte S2 – S4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AAANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



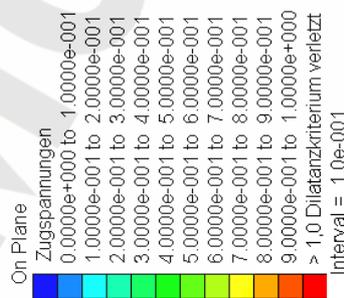
Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung



Flac3D 2.20

13:32:47 Mon Jun 07 2004
 Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 5: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 01/2004 (vor dem Nachschnitt)

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 155

Flac3D 2.20
 13:53:13 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 13:54:00 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

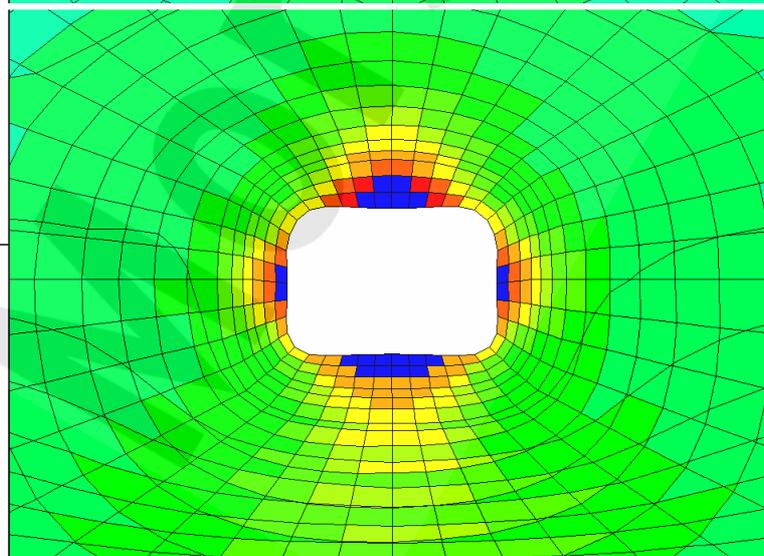
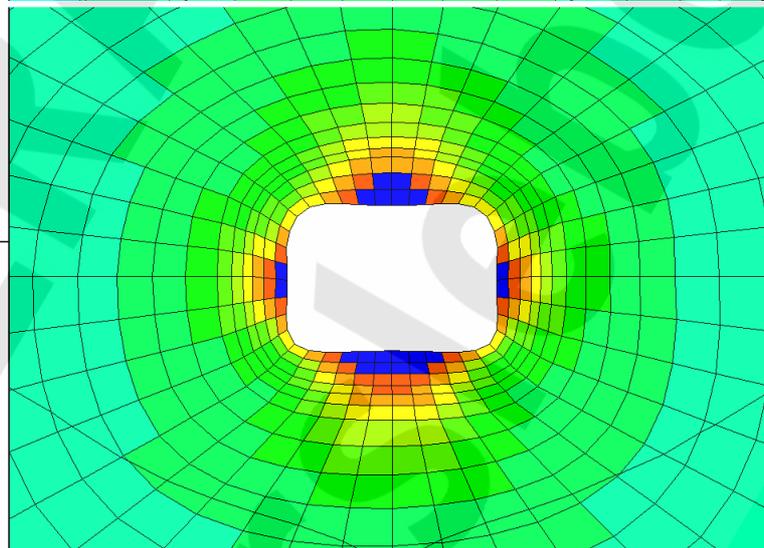
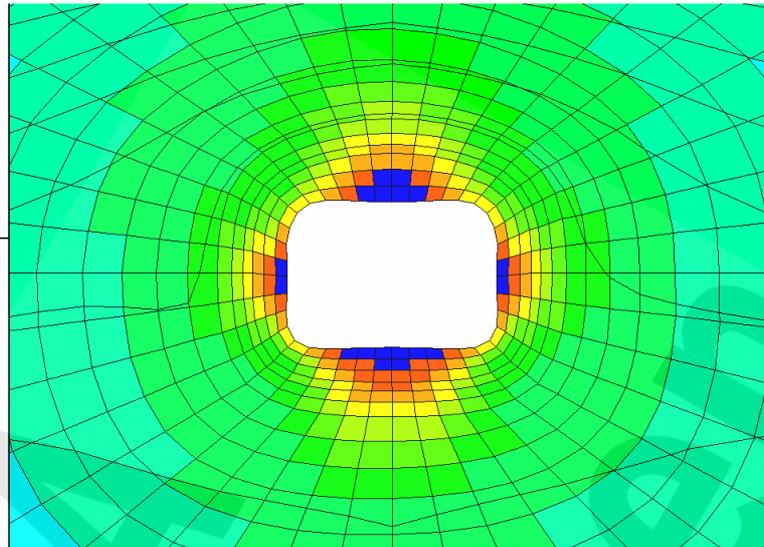
Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 13:54:42 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



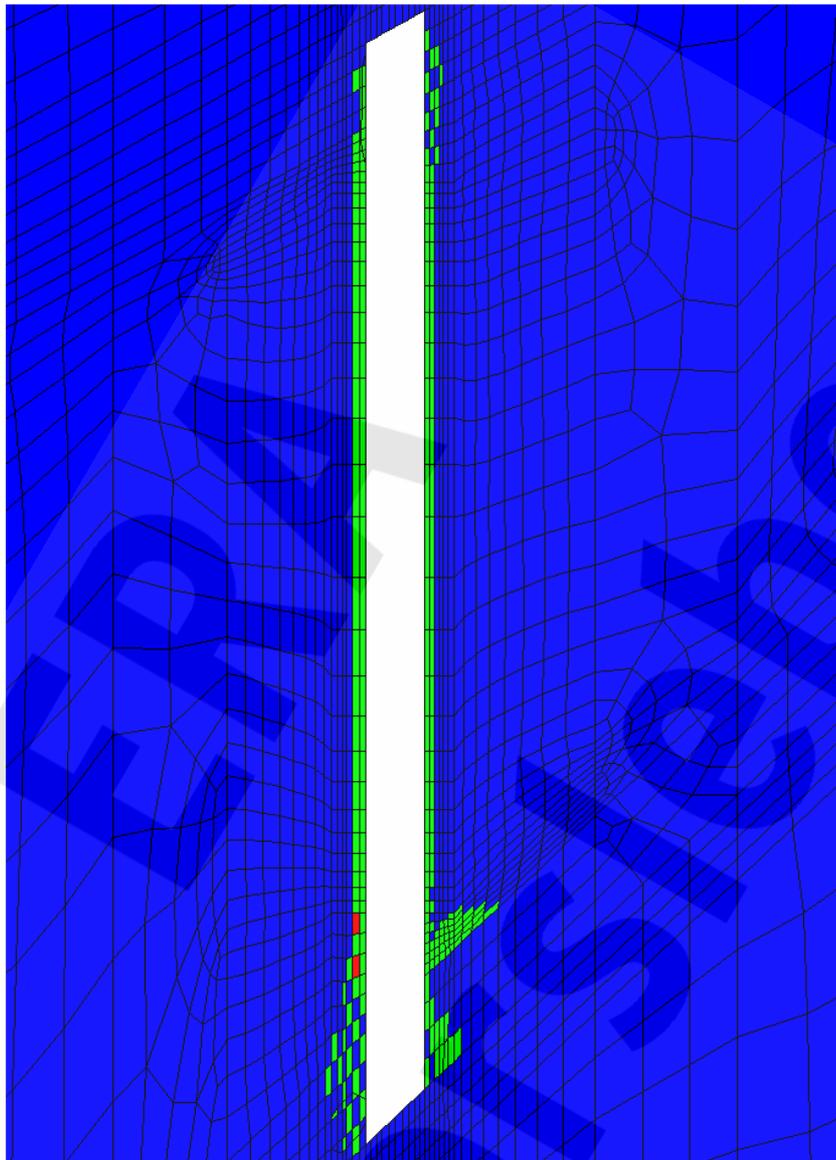
Anhang 6: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 01/2004 (vor dem Nachschnitt)

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 156



Flac3D 2.20

13:31:48 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 4.000e+001 Y: 0.000
 Y: 5.000e+001 Z: 180.000
 Dist: 7.500e+001 Ang.:
 X: 22.500 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 0.000e+000 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: -1.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 nicht geschädigt
 Zugspannung
 Dilatanz

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 7: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 01/2004 (vor dem Nachschnitt)

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

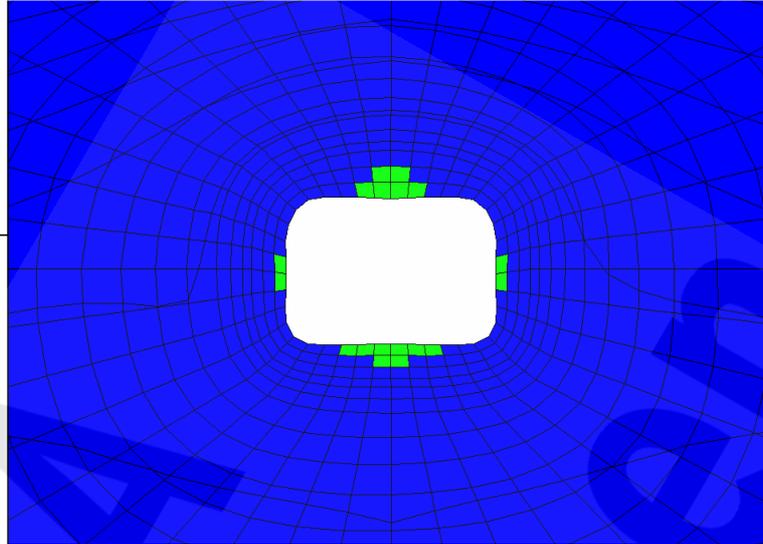
Blatt: 157

Flac3D 2.20

13:38:53 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



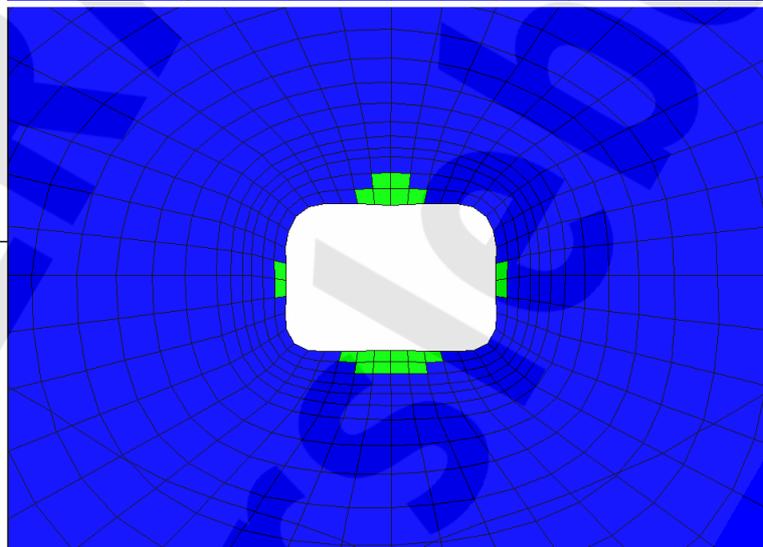
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20

13:39:35 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



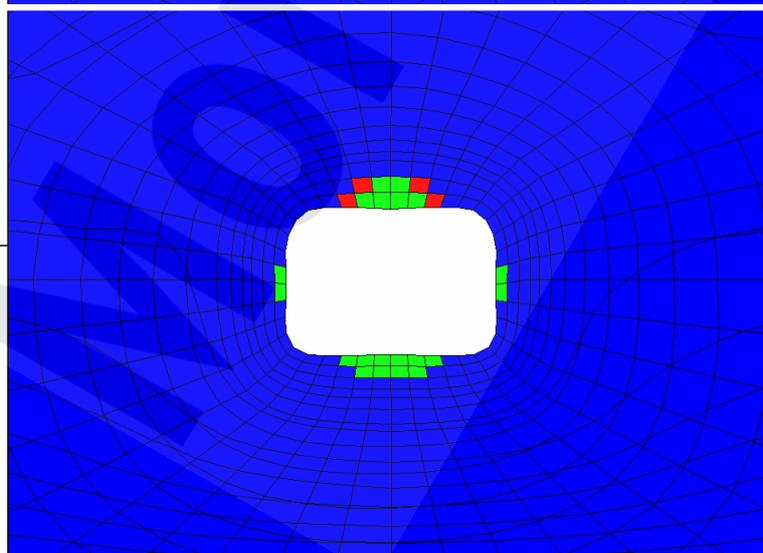
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20

13:40:10 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

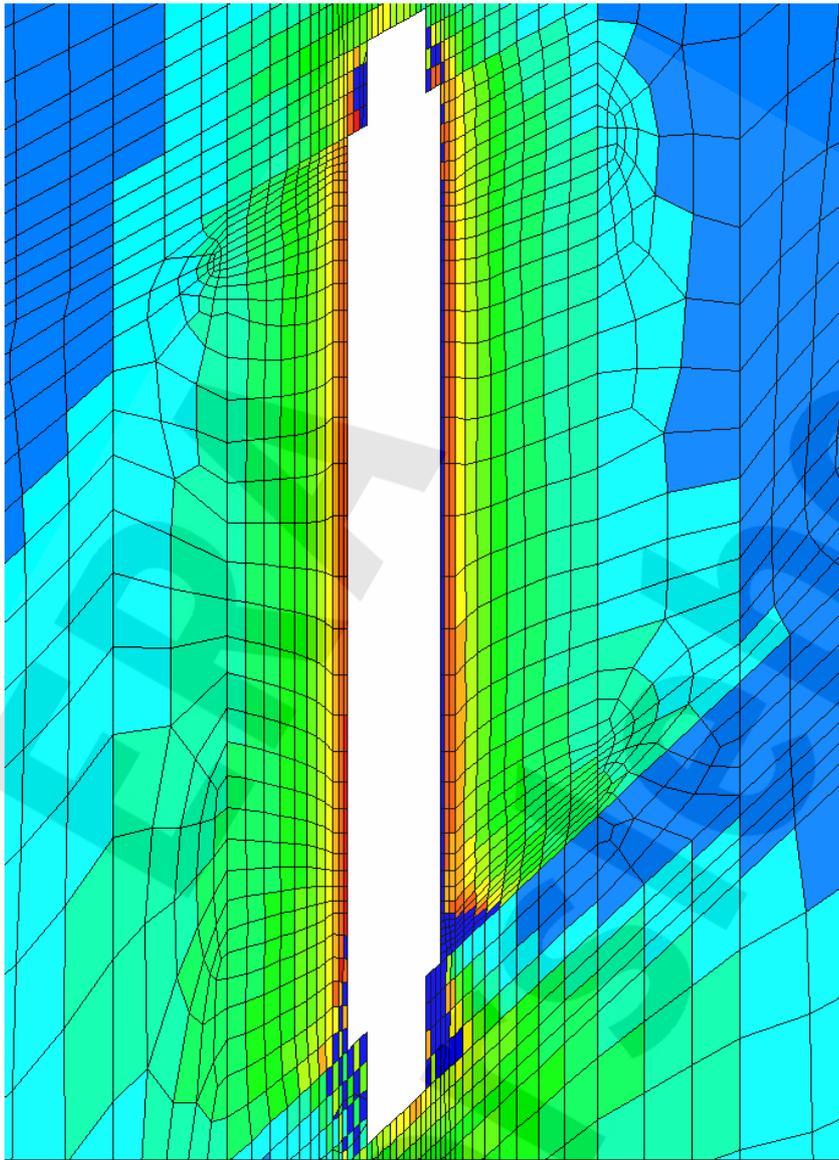
Anhang 8: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 01/2004 (vor dem Nachschnitt)

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AAANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 158



Flac3D 2.20

11:36:22 Mon Jun 07 2004

Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000e+000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1.0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 9: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2004 (vor Errichtung der Streckenabdichtung)

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 159

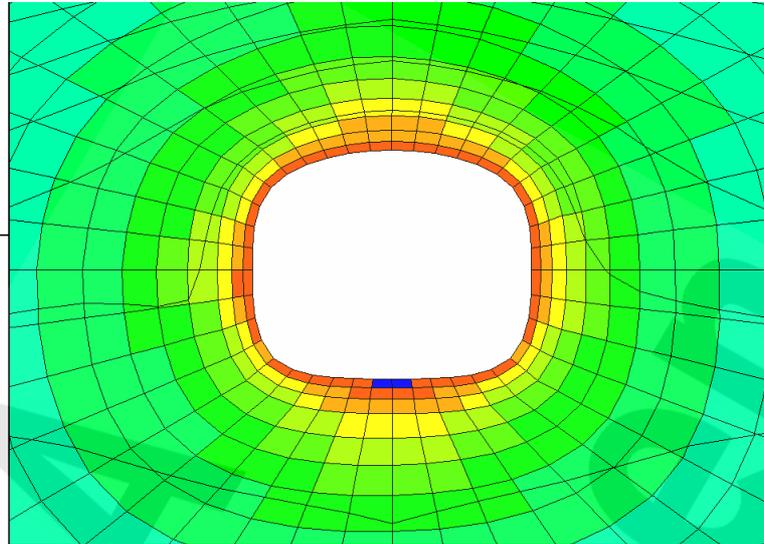
Flac3D 2.20

11:45:20 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1.0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



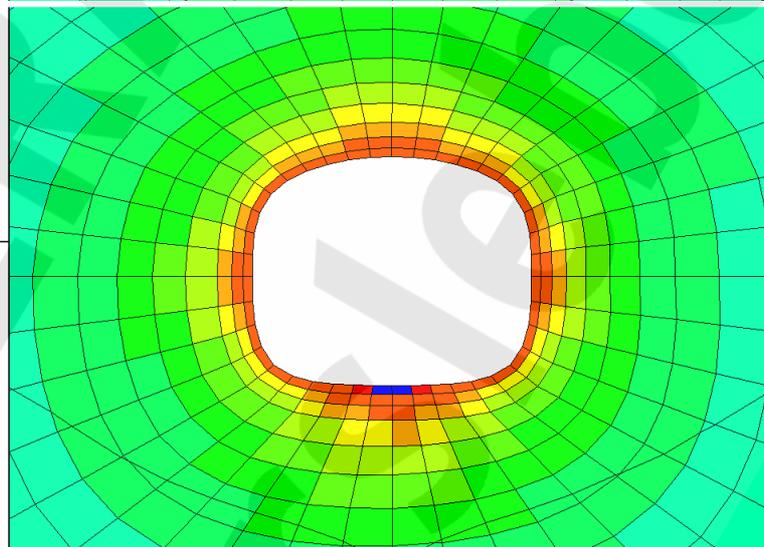
Flac3D 2.20

11:46:00 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1.0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



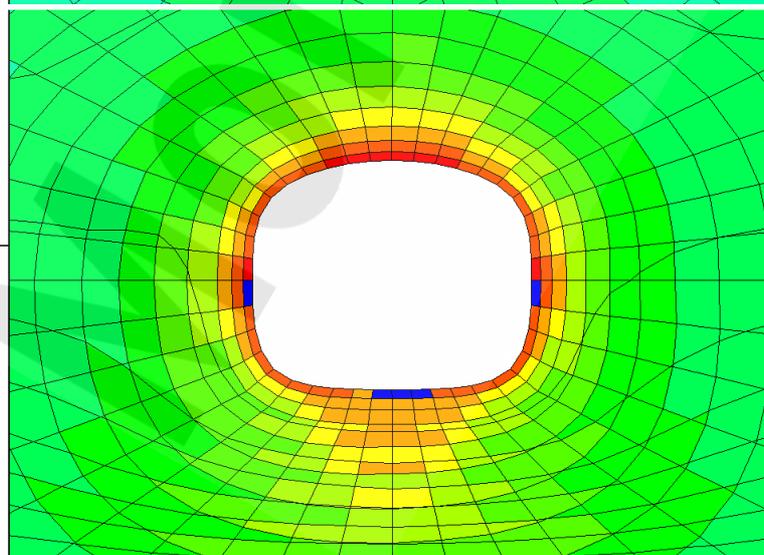
Flac3D 2.20

11:47:04 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1.0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



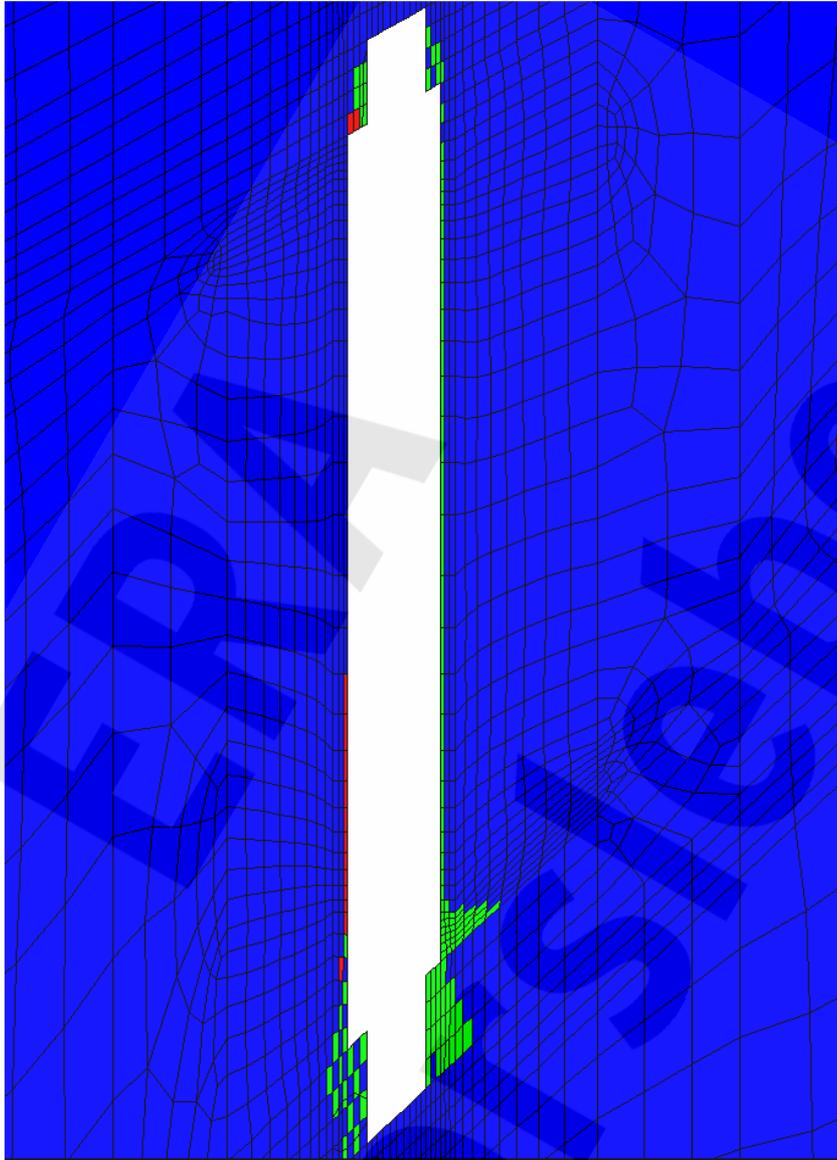
Anhang 10: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2004 (vor Errichtung der Streckenabdichtung)

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 160



Flac3D 2.20

11:35:10 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000
 Y: -1.000
 Z: 0.000
 Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 nicht geschädigt
 Zugschädigung
 Dilatanz

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

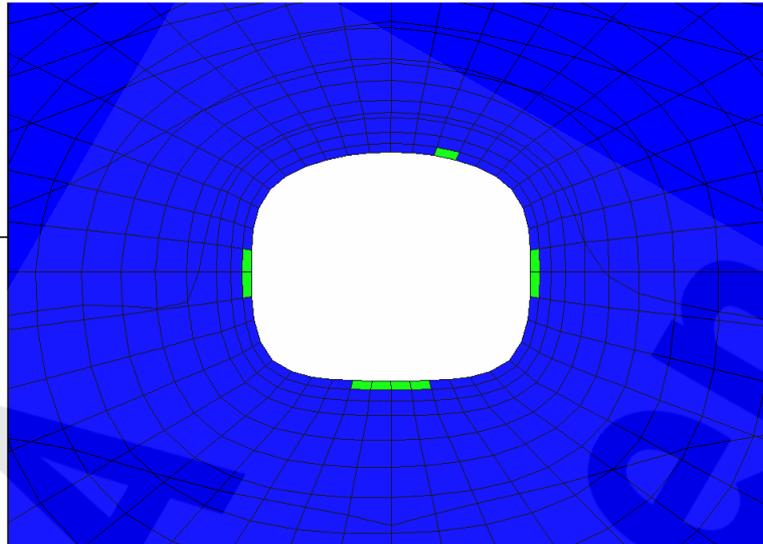
Blatt: 161

Flac3D 2.20

11:41:48 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



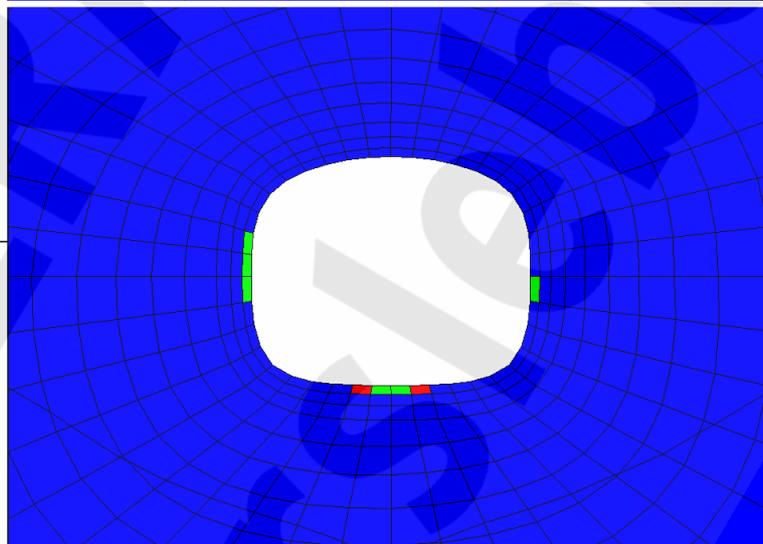
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20

11:42:31 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



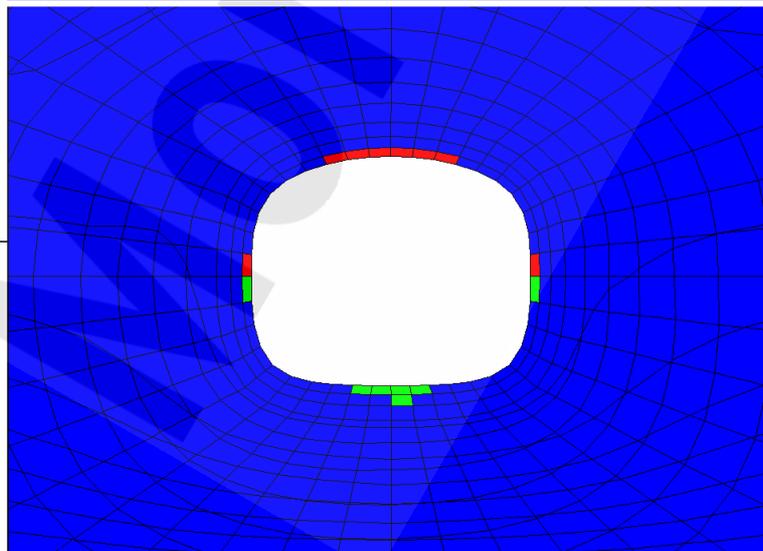
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20

11:43:18 Mon Jun 07 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

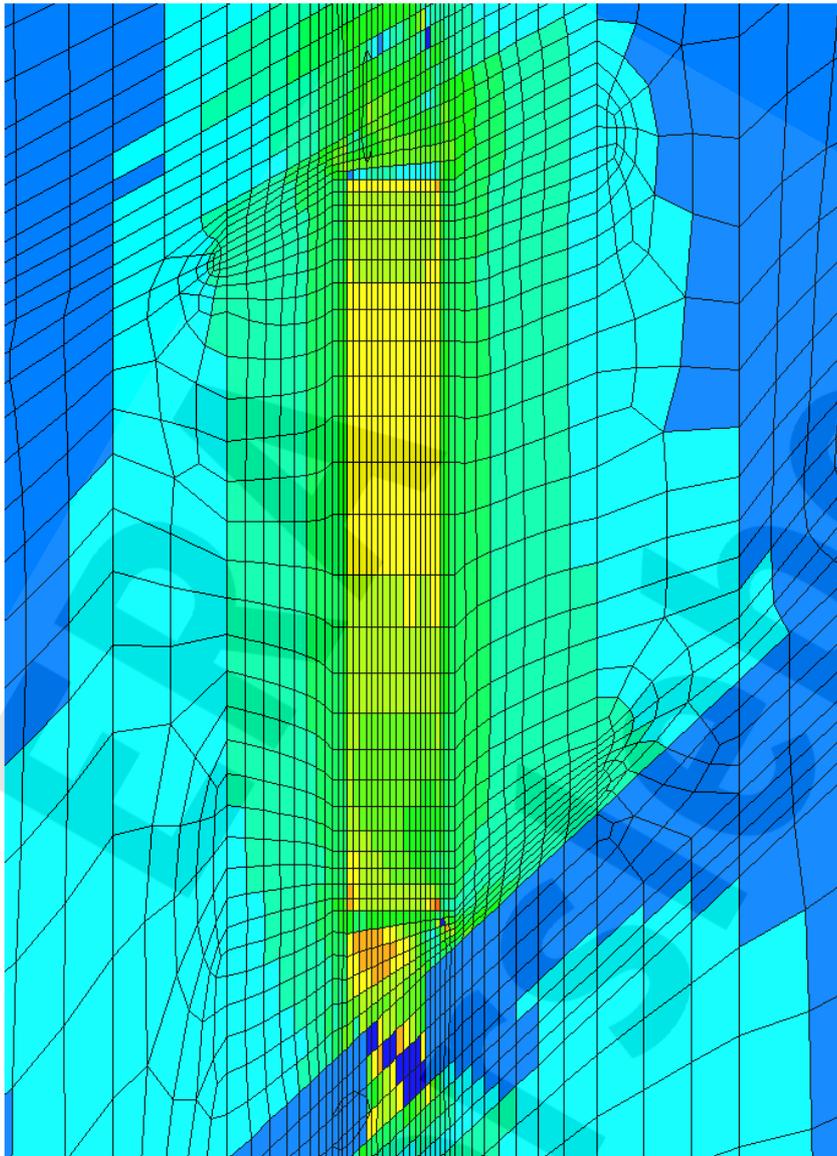
Anhang 12: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2004 (vor Errichtung der Streckenabdichtung)

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

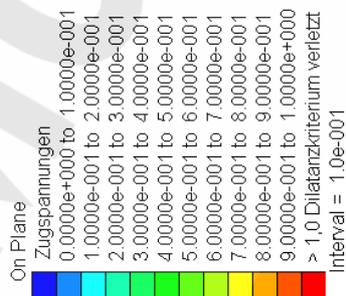
Blatt: 162



Flac3D 2.20

11:21:43 Tue Jun 08 2004
 Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000
 Y: 5.000e+001
 Z: -1.000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 13: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 163

Flac3D 2.20

11:32:11 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20

11:32:51 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

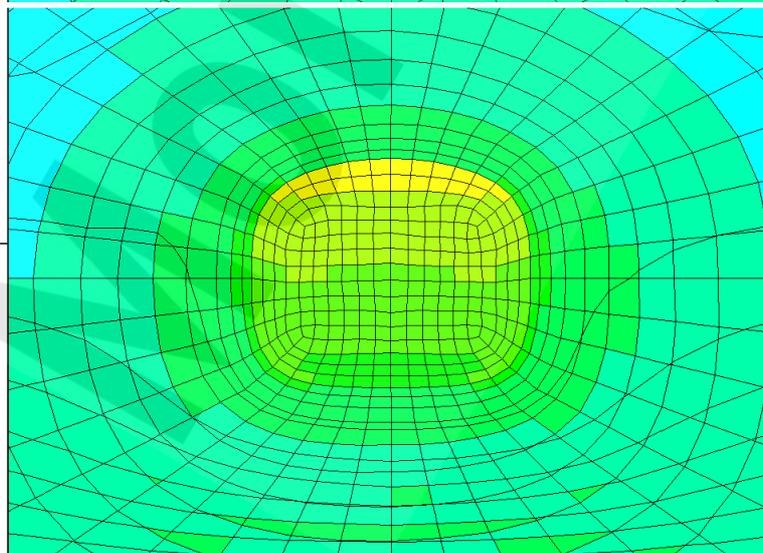
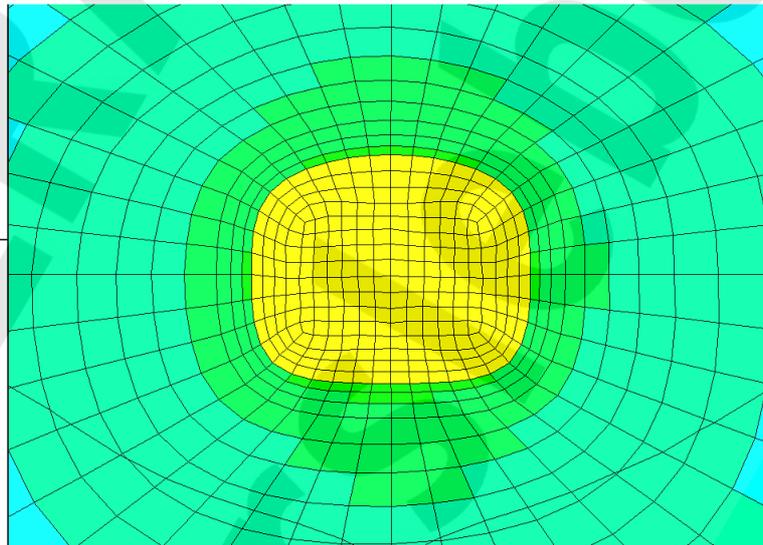
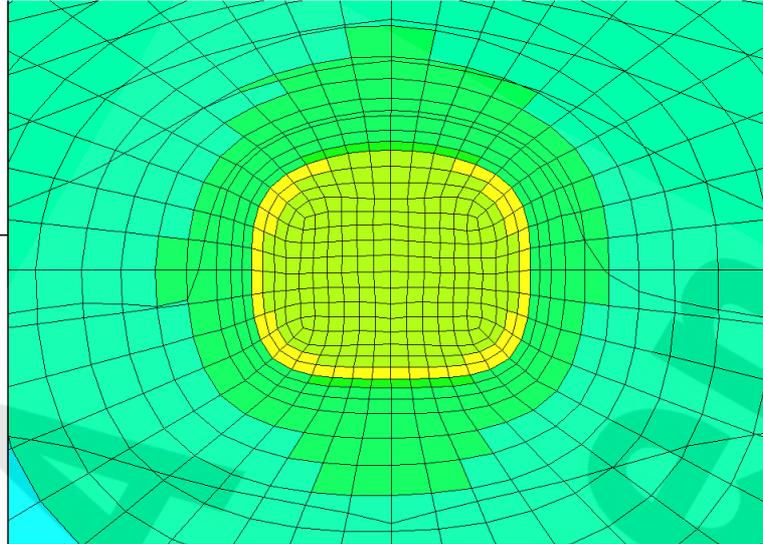
Flac3D 2.20

11:33:25 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



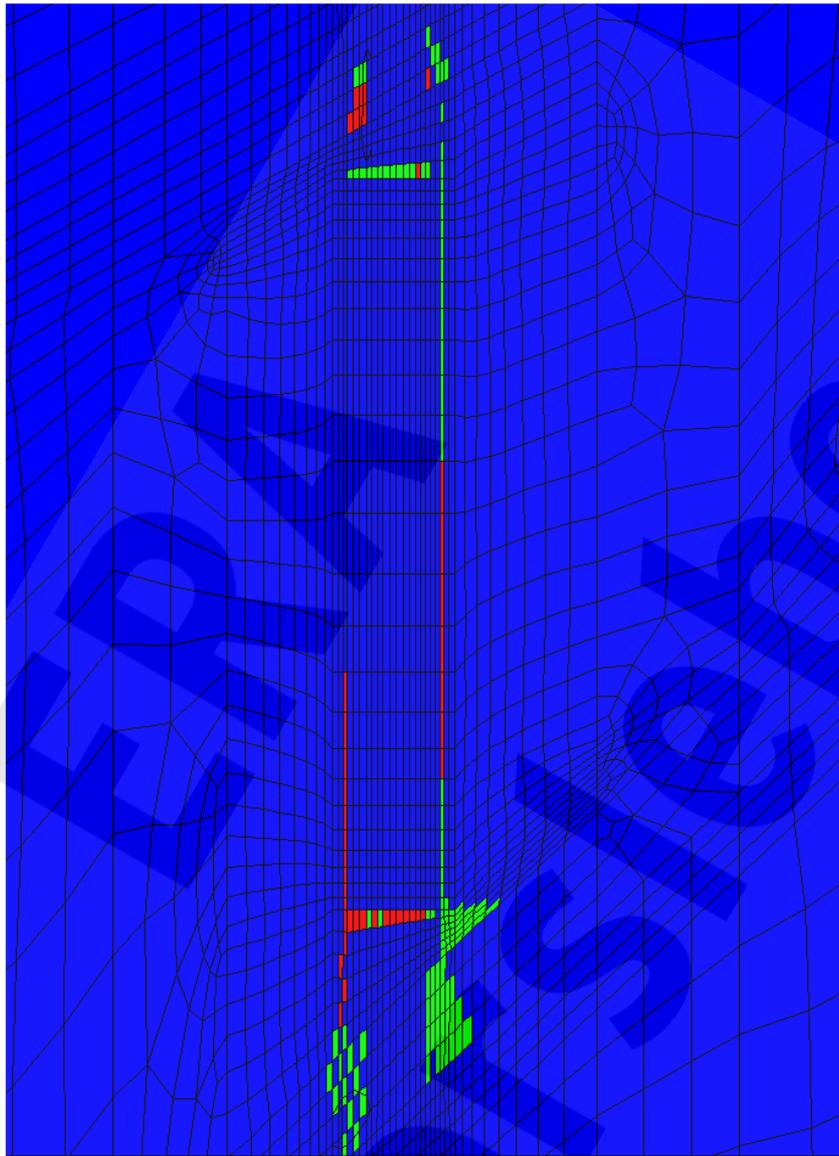
Anhang 14: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 164



Flac3D 2.20

11:20:59 Tue Jun 08 2004
 Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Angl.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000e+000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 nicht geschädigt
 Zugspannung
 Dilatanz

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 15: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4

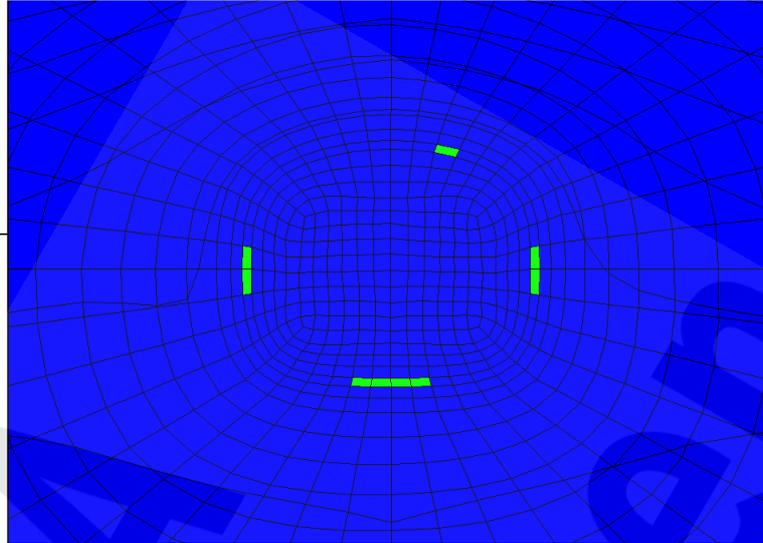
Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Flac3D 2.20
 11:28:38 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

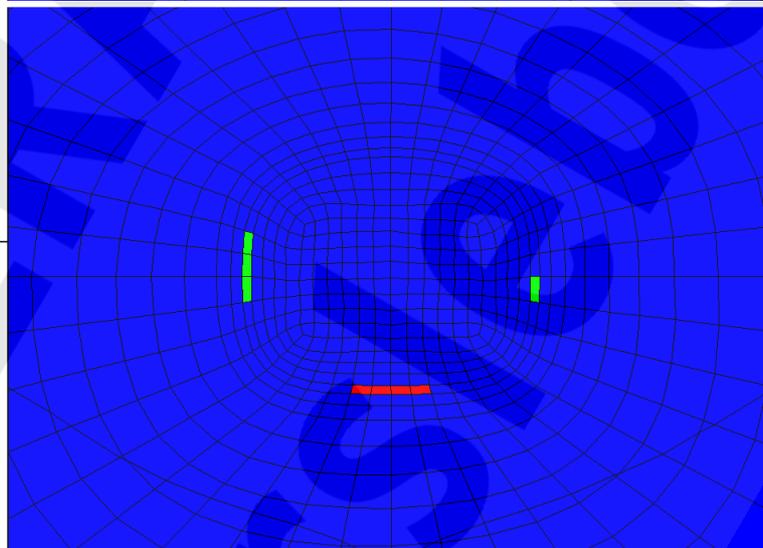
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 11:29:15 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

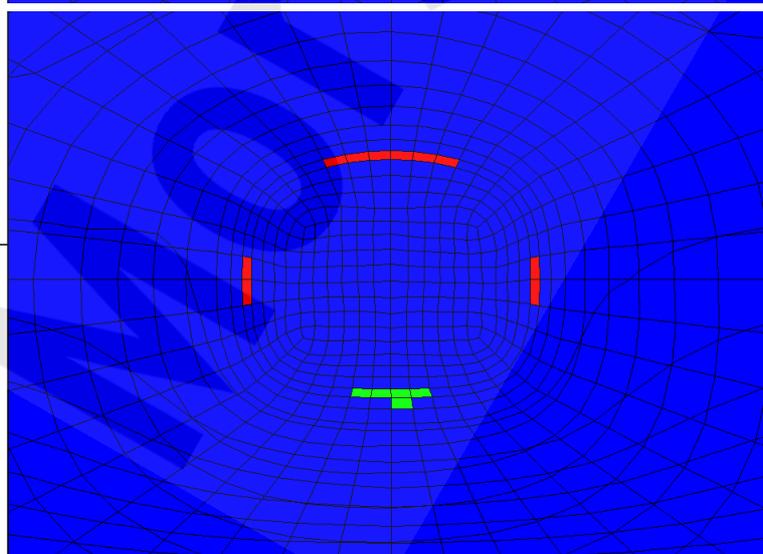
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 11:29:54 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

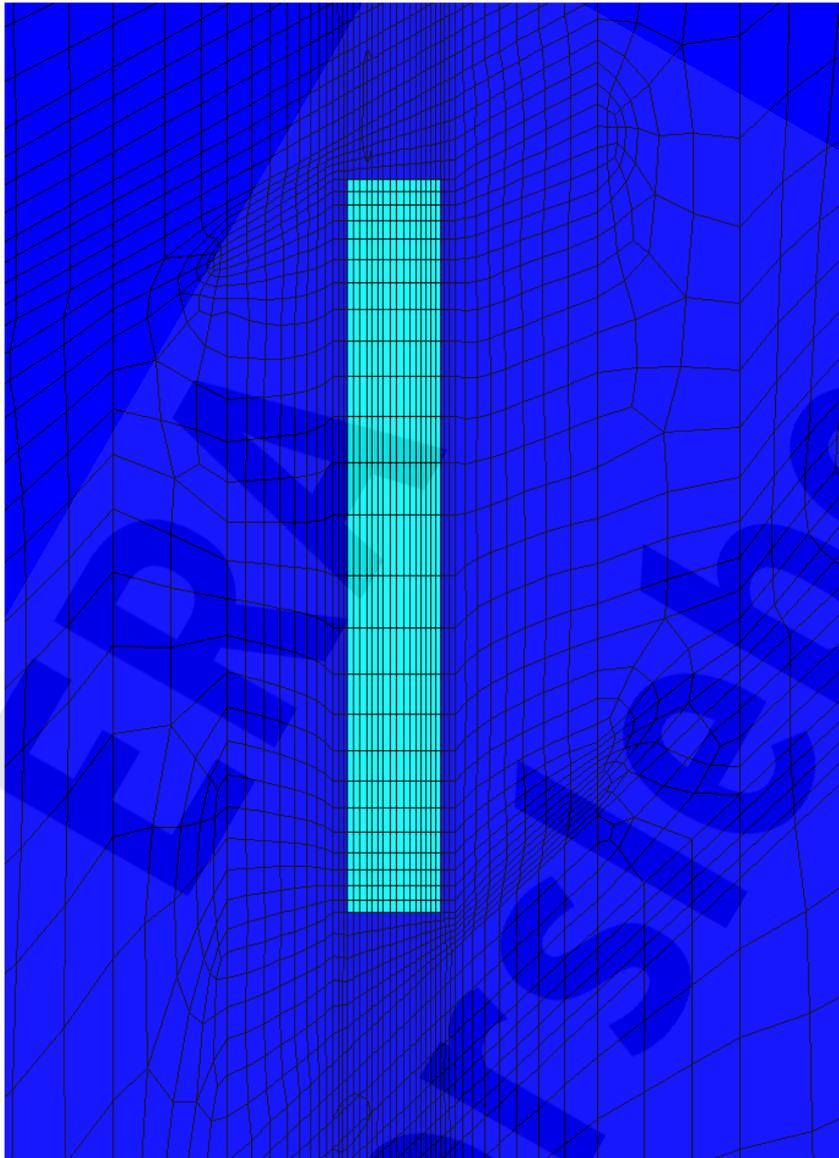
Anhang 16: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AAANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 166



Flac3D 2.20

Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000e+000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

**Festigkeitskriterium
 nach Drucker-Prager**

Gebirge
 kein Versagen
 Zugversagen
 Zug- und Scherversagen
 Scherversagen



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

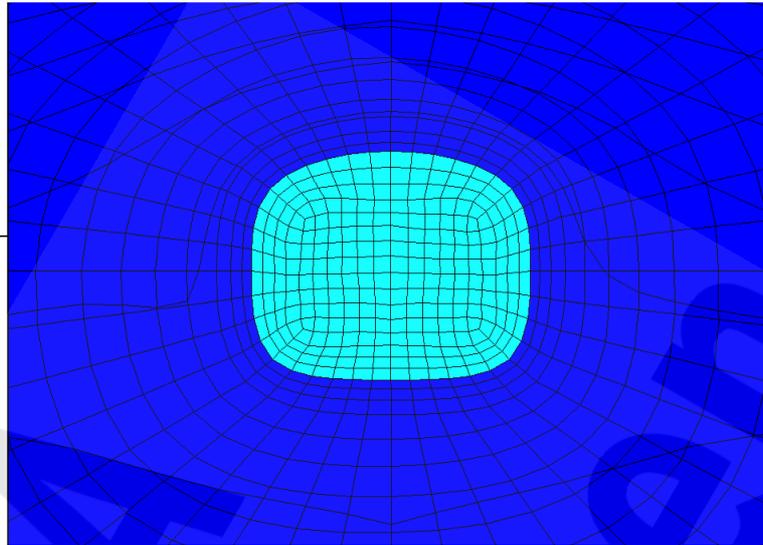
Blatt: 167

Flac3D 2.20
Center: Rotation
X: 2.675e+001 X: 0.000
Y: 5.000e+001 Y: 0.000
Z: -3.310e+002 Z: 90.000
Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
Plane Origin: Plane Normal:
X: 2.675e+001 X: 1.000
Y: 5.000e+001 Y: 0.000
Z: 0.000e+000 Z: 0.000
Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Festigkeitskriterium nach Drucker-Prager

- Gebirge
- kein Versagen
- Zugversagen
- Zug- und Scherversagen
- Scherversagen

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

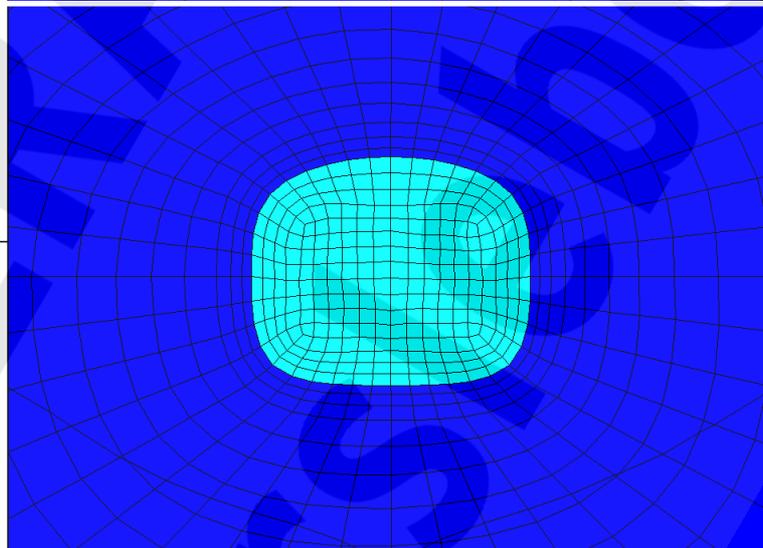


Flac3D 2.20
Center: Rotation
X: 3.870e+001 X: 0.000
Y: 5.000e+001 Y: 0.000
Z: -3.310e+002 Z: 90.000
Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
Plane Origin: Plane Normal:
X: 3.870e+001 X: 1.000
Y: 5.000e+001 Y: 0.000
Z: 0.000e+000 Z: 0.000
Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Festigkeitskriterium nach Drucker-Prager

- Gebirge
- kein Versagen
- Zugversagen
- Zug- und Scherversagen
- Scherversagen

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

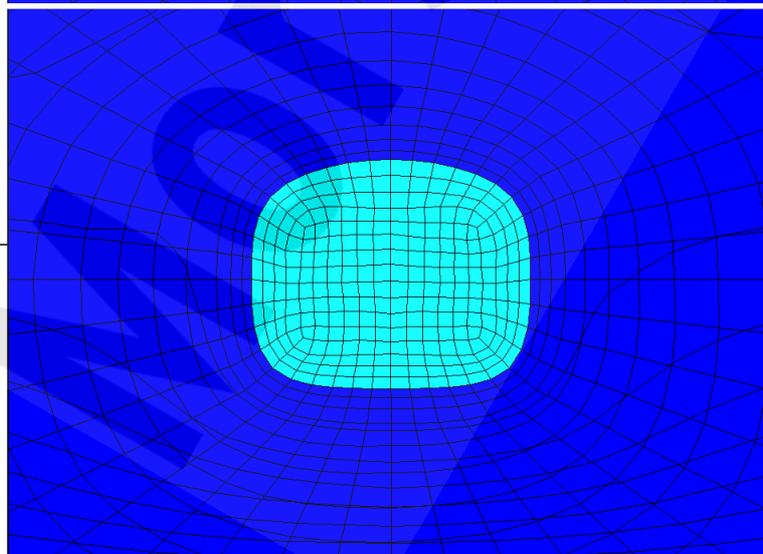


Flac3D 2.20
Center: Rotation
X: 5.075e+001 X: 0.000
Y: 5.000e+001 Y: 0.000
Z: -3.310e+002 Z: 90.000
Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
Plane Origin: Plane Normal:
X: 5.075e+001 X: 1.000
Y: 5.000e+001 Y: 0.000
Z: 0.000e+000 Z: 0.000
Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Festigkeitskriterium nach Drucker-Prager

- Gebirge
- kein Versagen
- Zugversagen
- Zug- und Scherversagen
- Scherversagen

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA



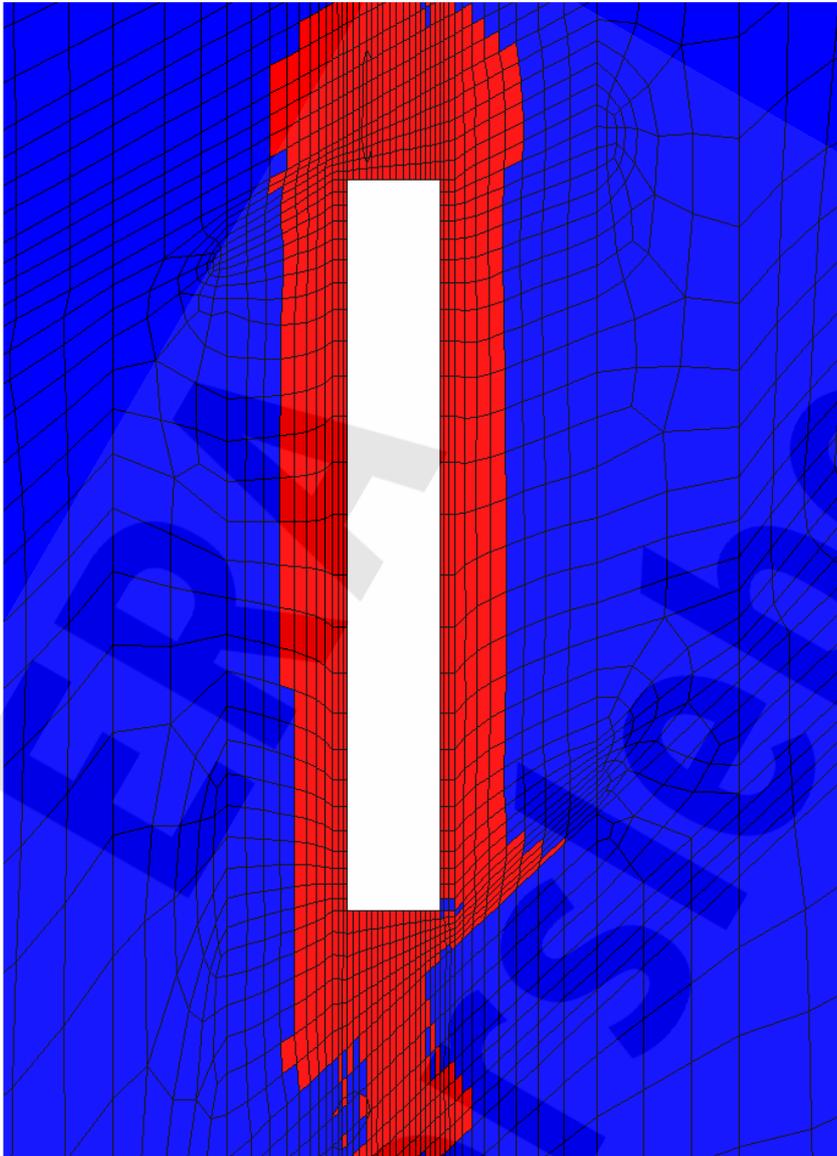
Anhang 18: Festigkeitskriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 168



Flac3D 2.20

11:22:28 Tue Jun 08 2004
 Center:
 Rotation
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000e+000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane
 S_max < p_laenge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_laenge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max: kleinste Hauptspannung, Konvention: Drücke sind < 0)

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 19: Fluidkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

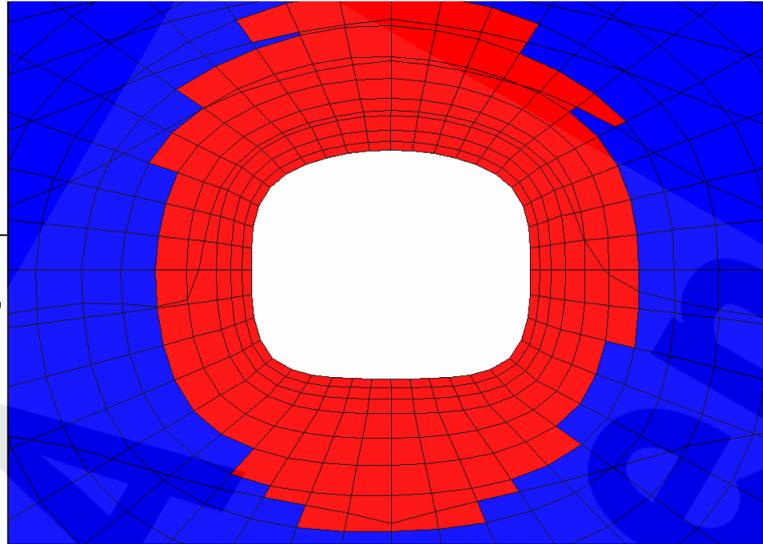
Blatt: 169

Flac3D 2.20

11:35:32 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



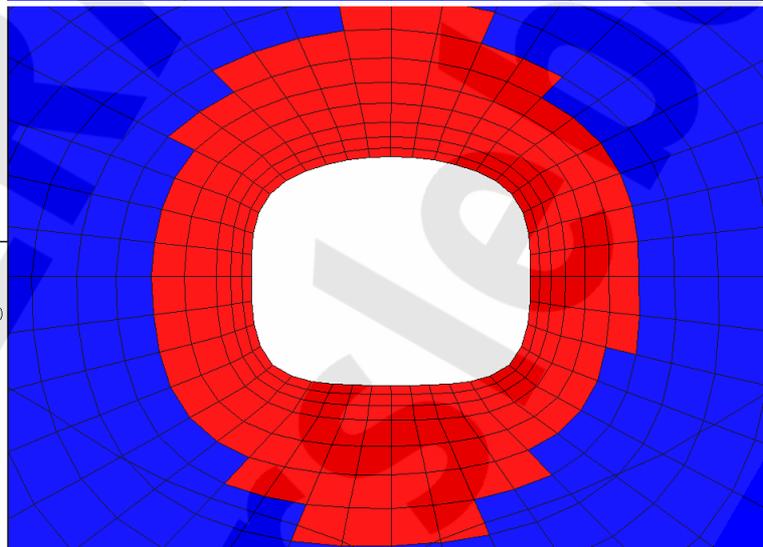
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20

11:36:18 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



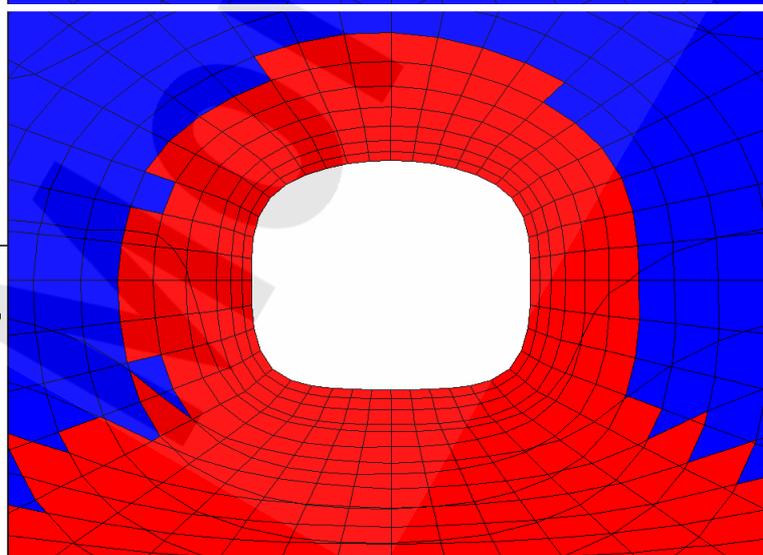
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20

11:37:14 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

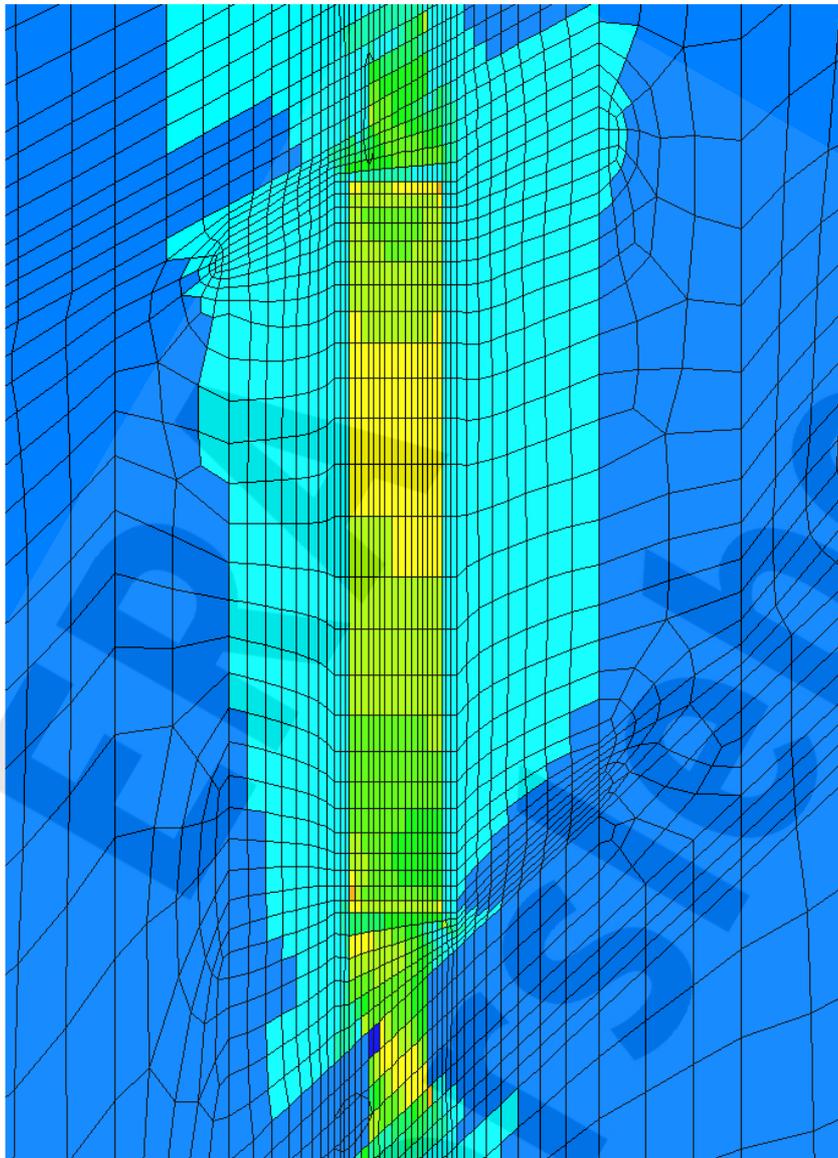
Anhang 20: Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten),
 Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF1, BF3 und BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

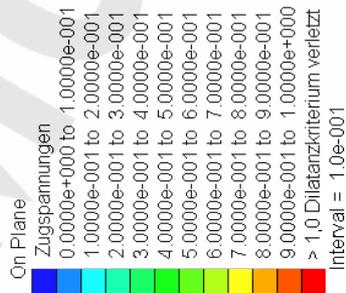
Blatt: 170



Flac3D 2.20

09:08:08 Wed Jun 09 2004
 Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000
 Y: -1.000
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 21: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF1

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 171

Flac3D 2.20
 09:29:07 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 09:29:43 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

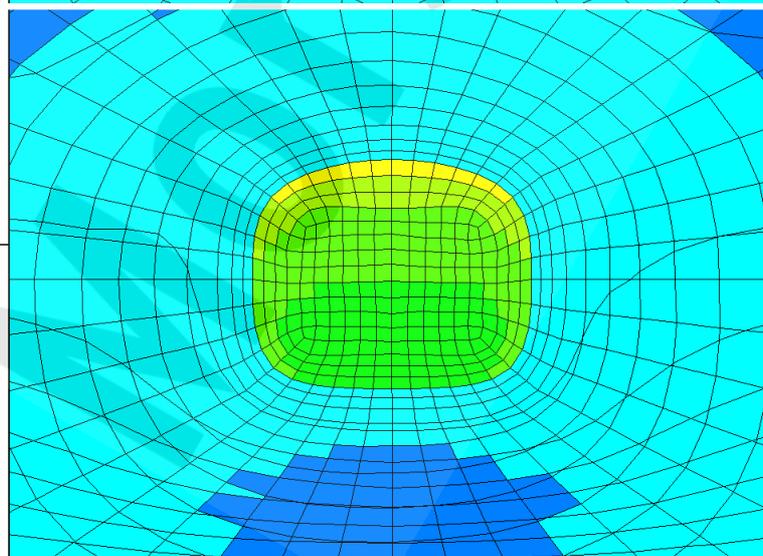
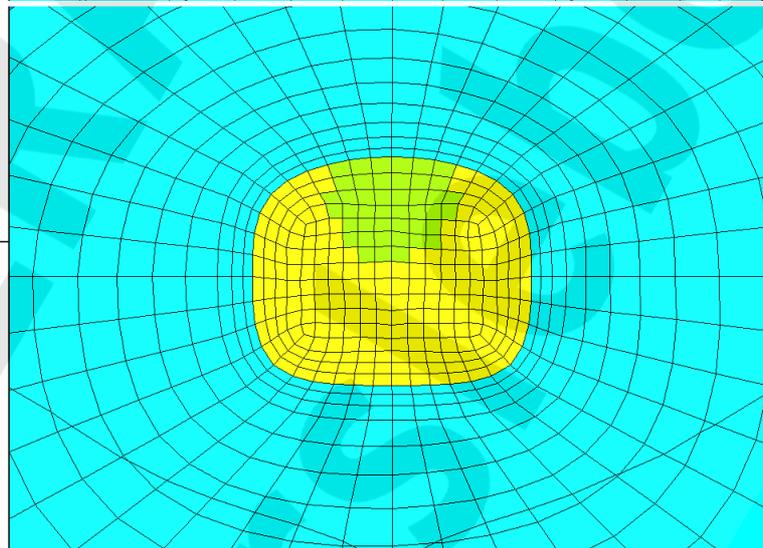
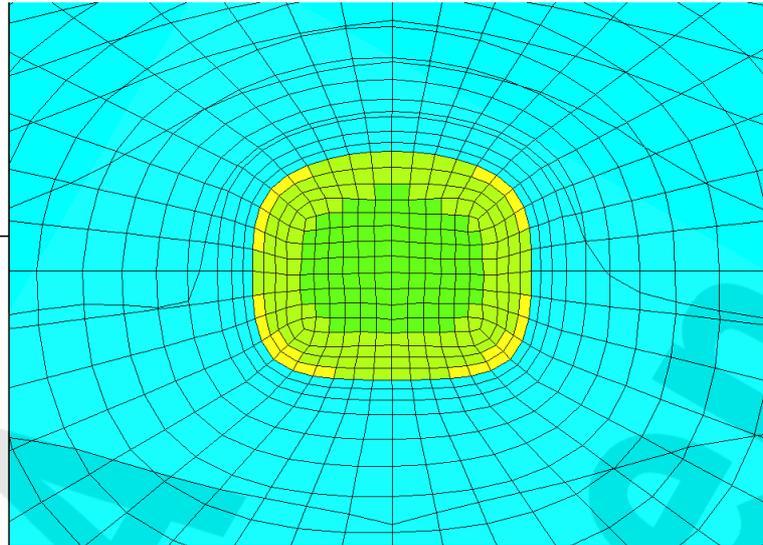
Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 09:30:19 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



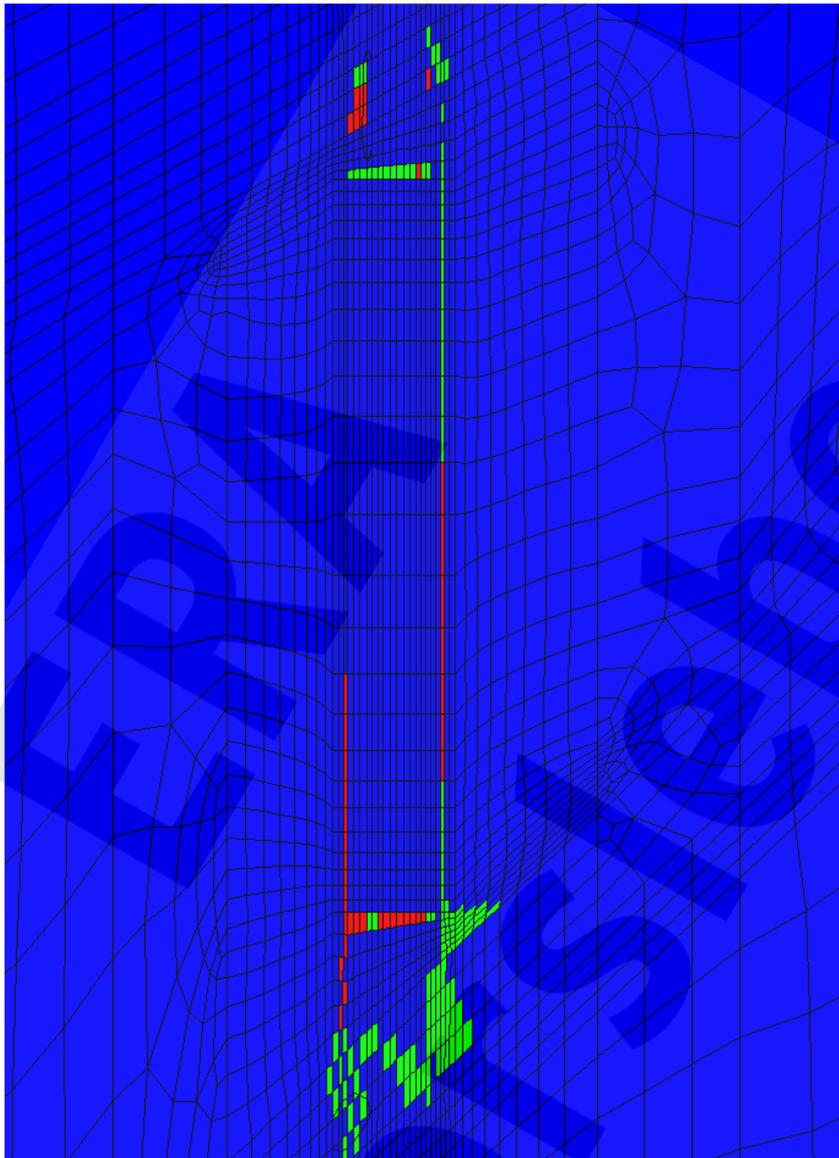
Anhang 22: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF1

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 172



Flac3D 2.20

09:03:57 Wed Jun 09 2004
 Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000
 Y: -1.000
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 nicht geschädigt
 Zugspannung
 Dilatanz

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

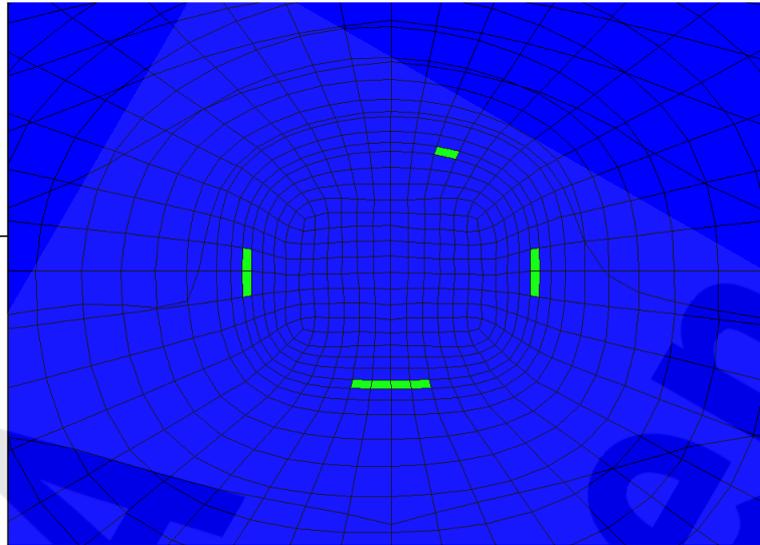


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 173

Flac3D 2.20
 09:20:25 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

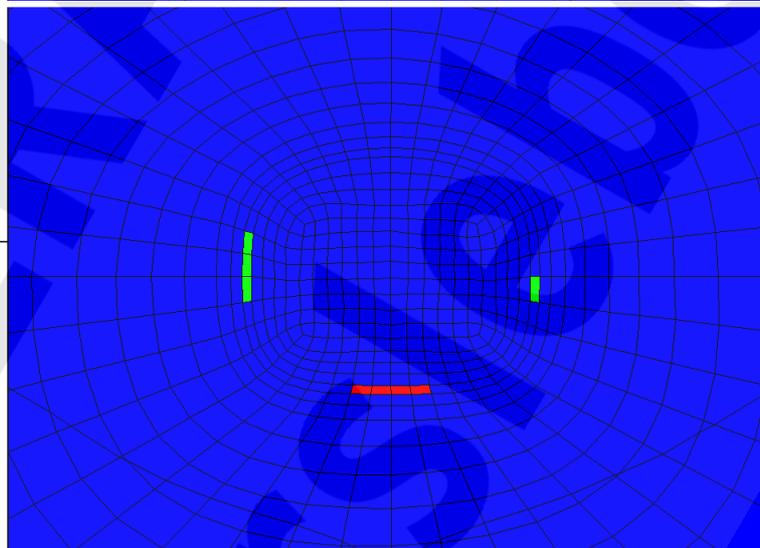
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 09:21:05 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

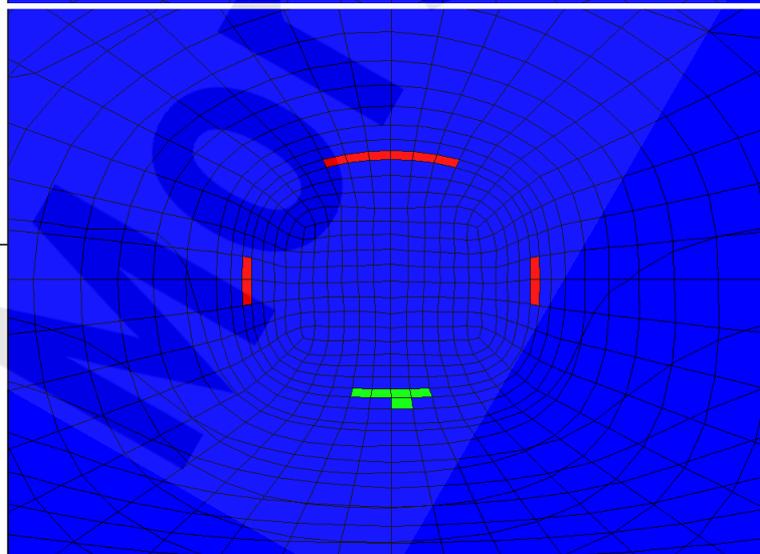
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 09:21:47 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

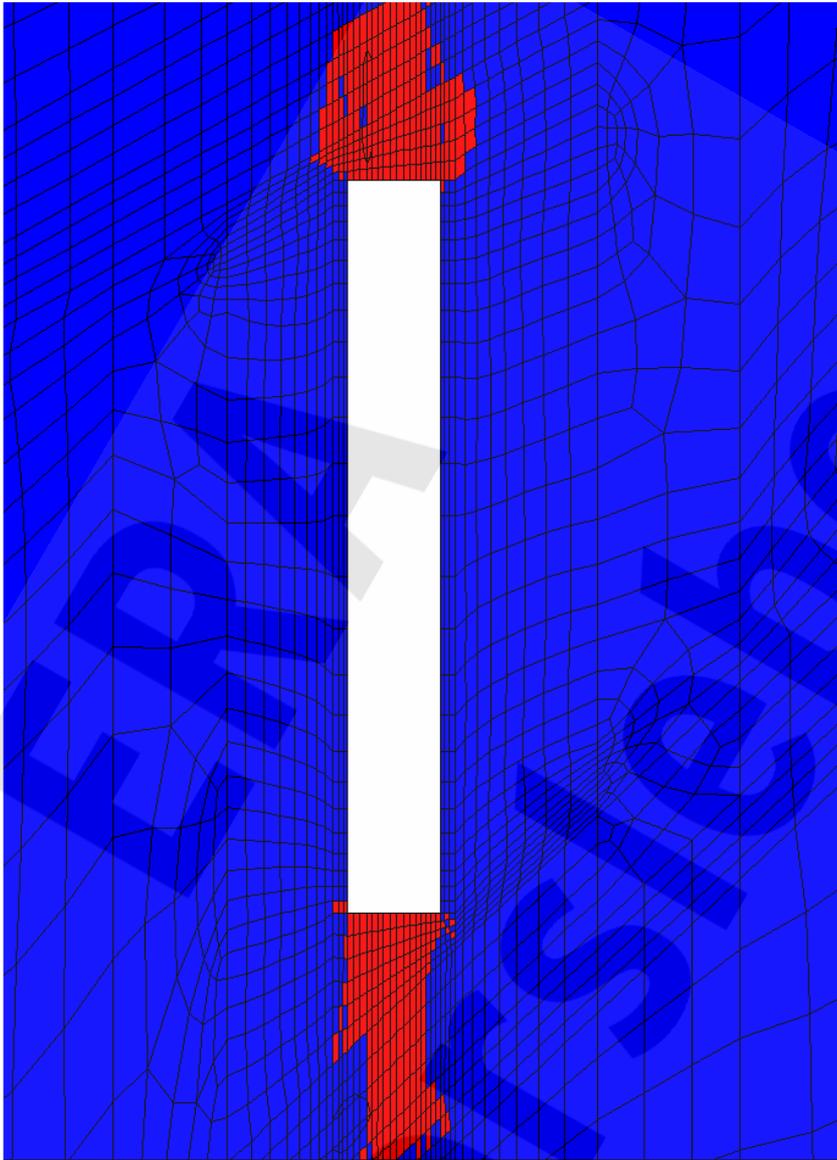
Anhang 24: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF1

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 174



Flac3D 2.20

09:12:39 Wed Jun 09 2004

Center:
 Rotation
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:

X: 22.500
 Y: 22.500

Plane Normal:

X: 0.000e+000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane

■ S_max < p_laenge (Fluidkriterium erfüllt)
 ■ S_max > p_laenge (Fluidkriterium verletzt)

(S_max: kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

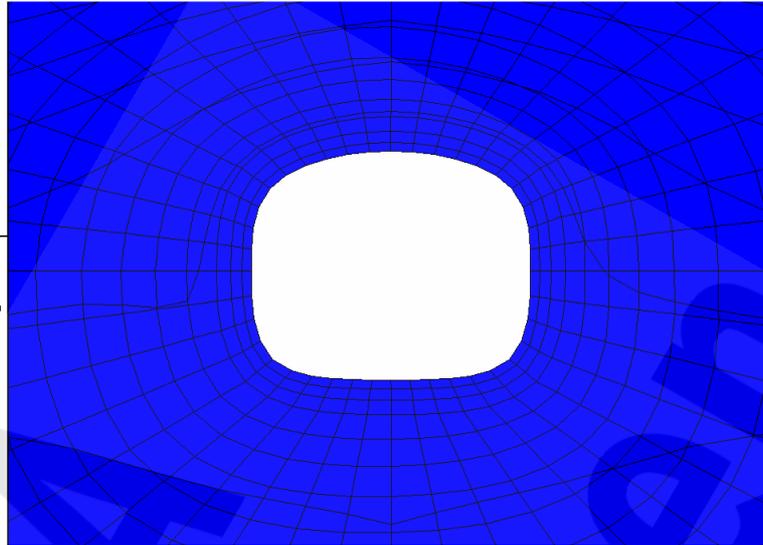


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 175

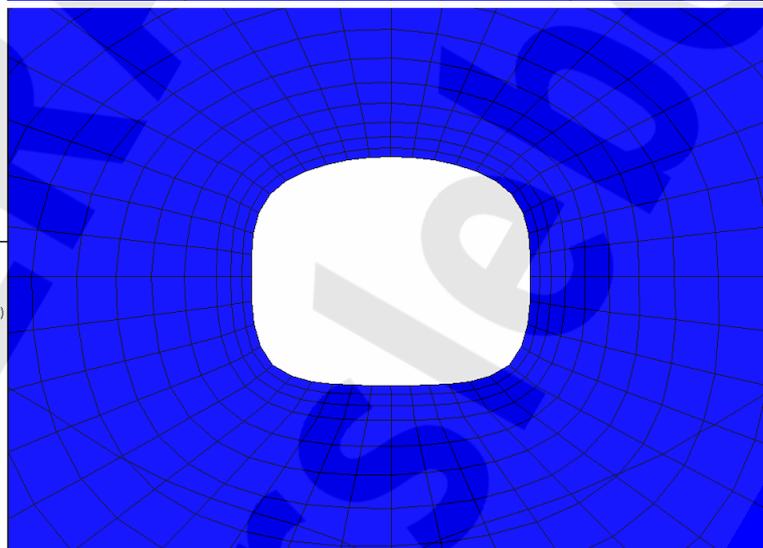
Flac3D 2.20
 09:34:13 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



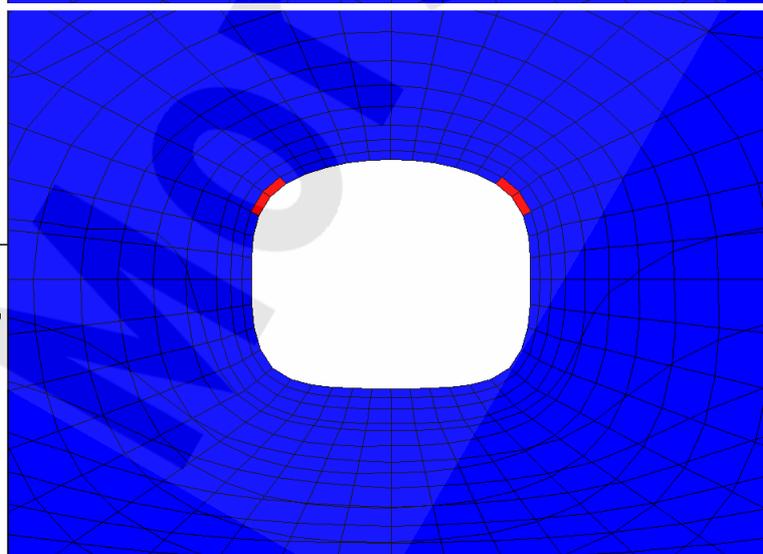
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 09:35:04 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 09:35:43 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



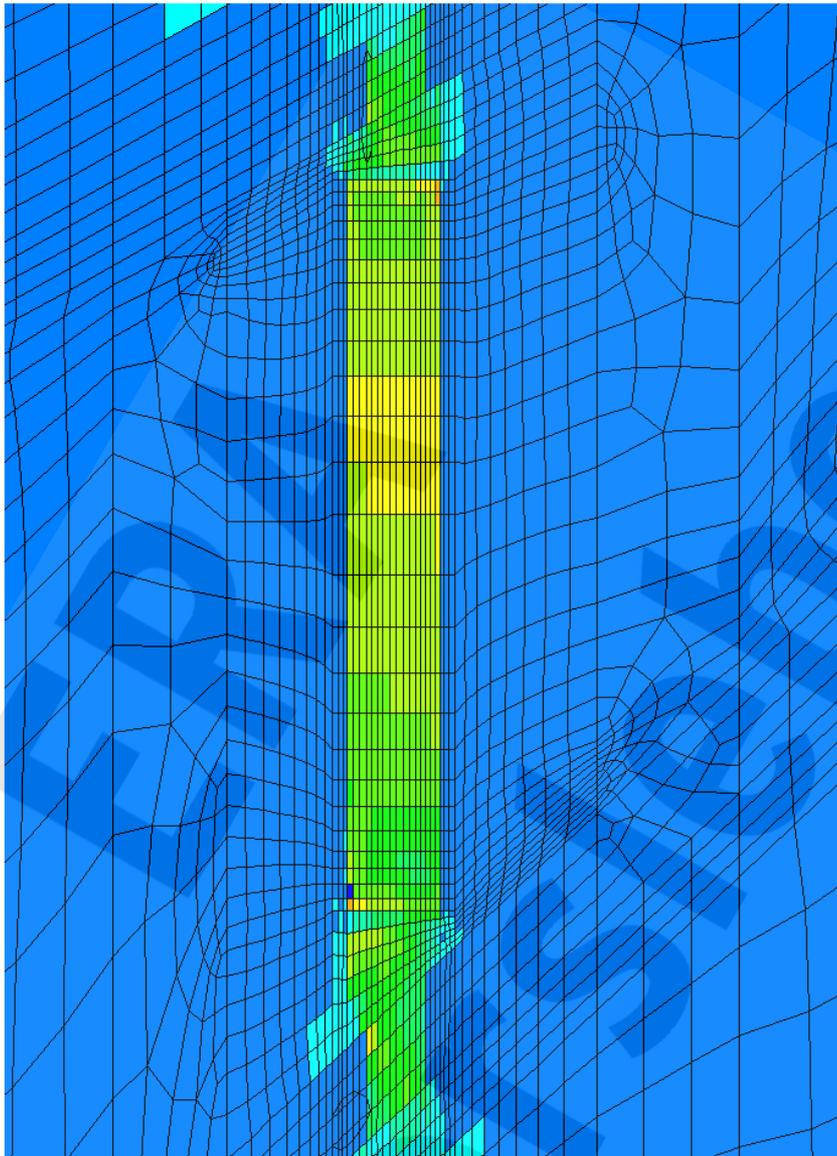
Anhang 26: Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF1

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

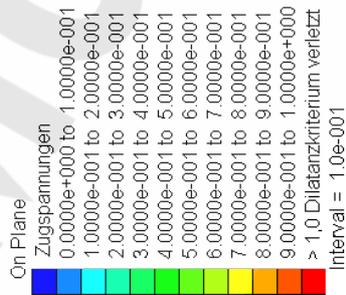
Blatt: 176



Flac3D 2.20

10:02:38 Wed Jun 09 2004
 Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000e+000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 27: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF1

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 177

Flac3D 2.20
 10:13:08 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 10:14:16 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

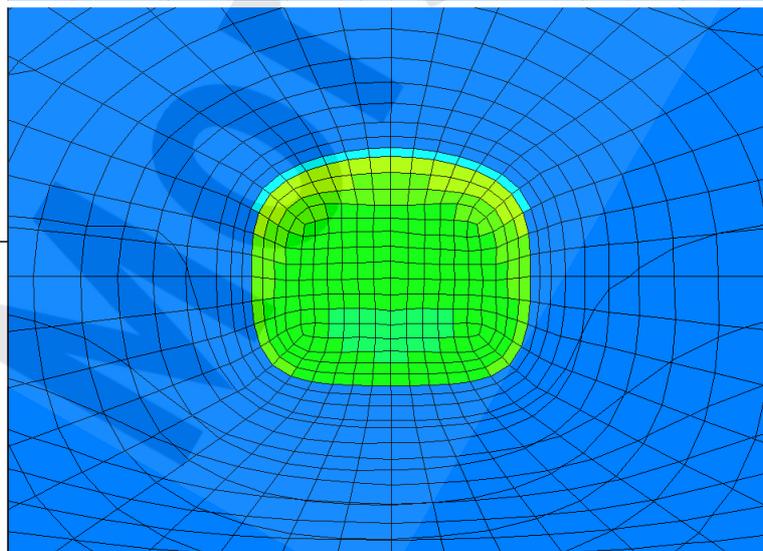
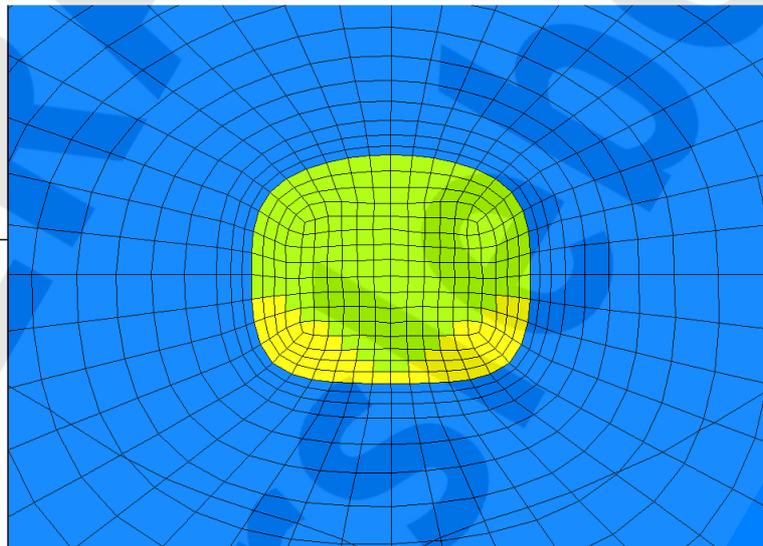
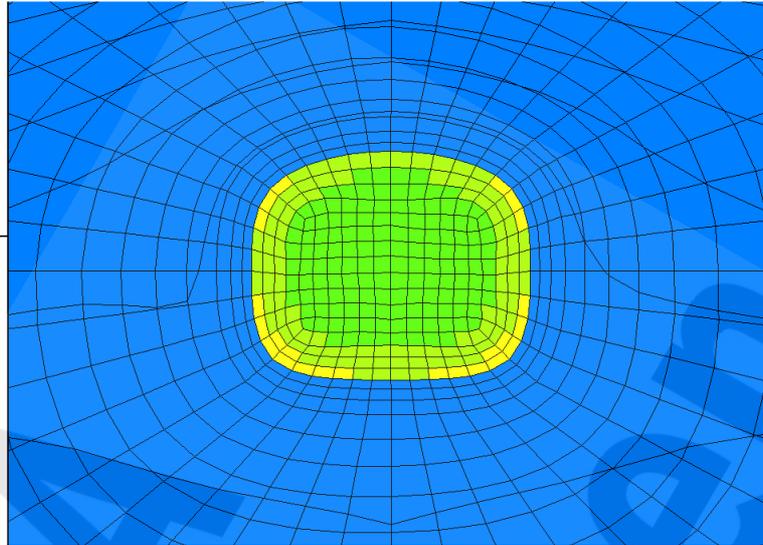
Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 10:15:41 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



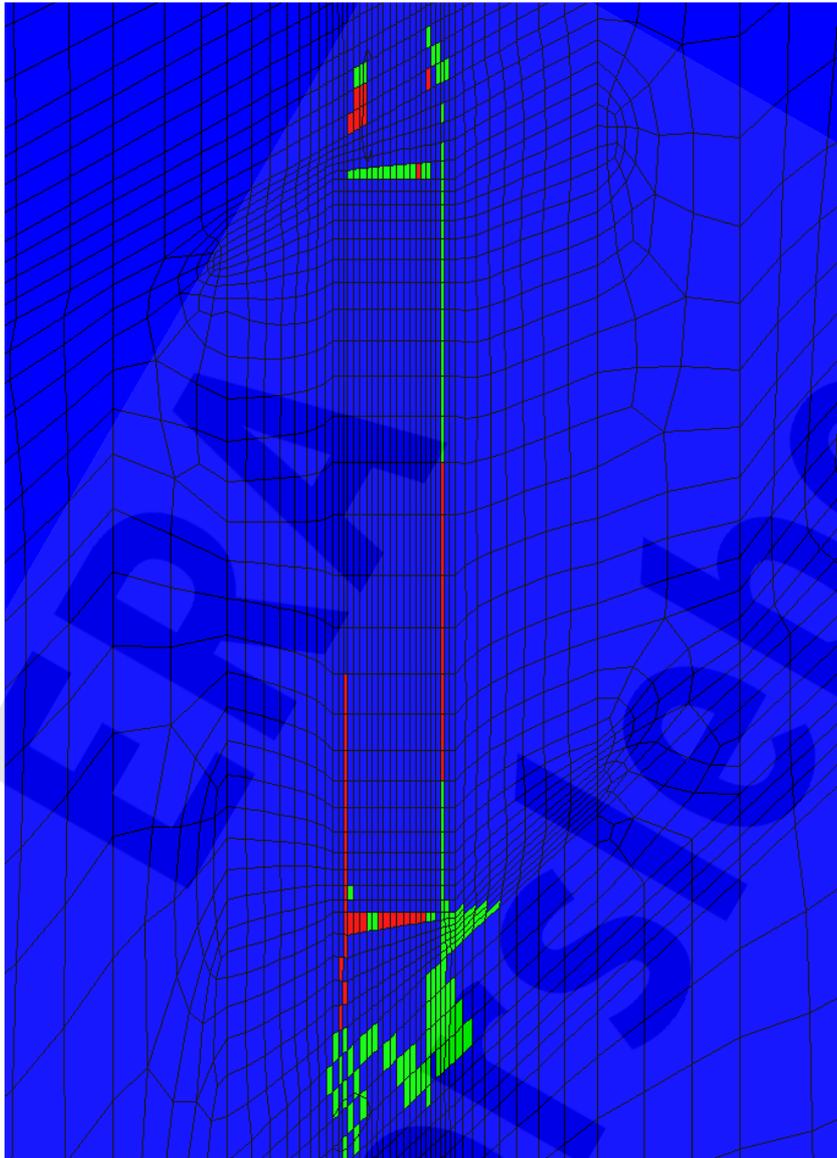
Anhang 28 Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF1

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AAANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 178



Flac3D 2.20

10:01:29 Wed Jun 09 2004
 Center: X: 4.000e+001 Y: 5.000e+001 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.: X: 22.500 Y: 22.500
 Plane Origin: X: 0.000e+000 Y: 5.000e+001 Z: 0.000e+000
 Plane Normal: X: 0.000 Y: -1.000 Z: 0.000
 Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 nicht geschädigt
 Zugspannung
 Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

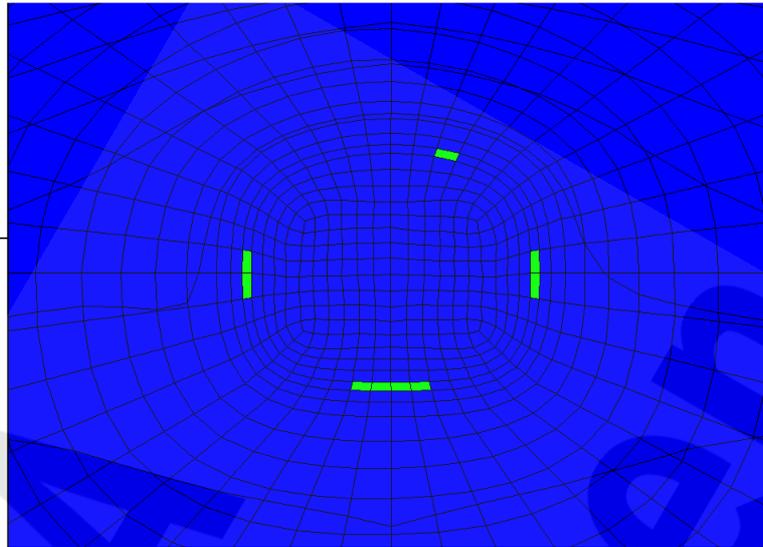


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 179

Flac3D 2.20
 10:09:19 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

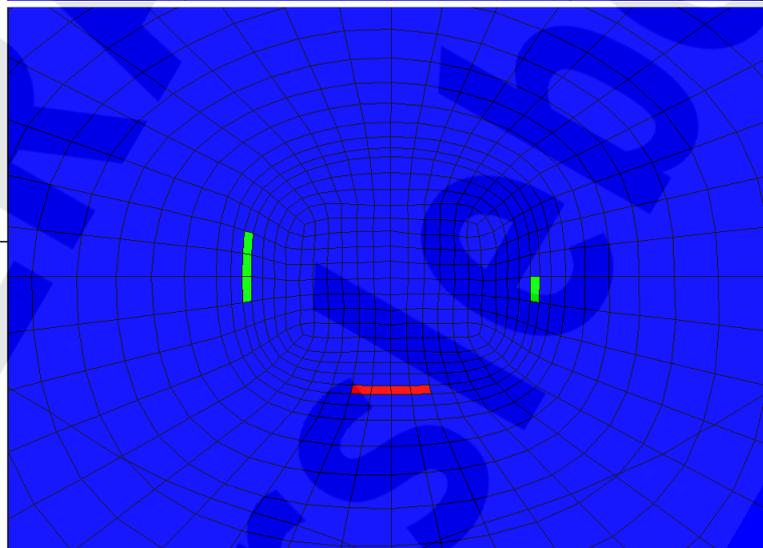
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 10:10:02 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

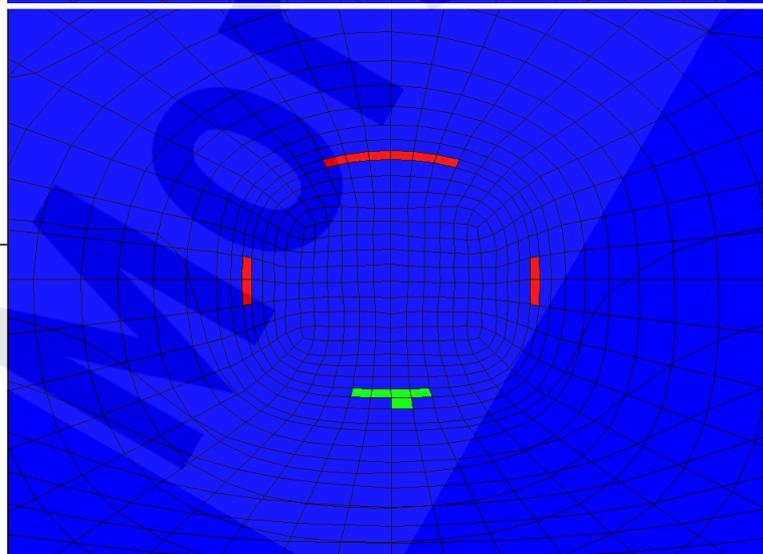
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 10:11:02 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

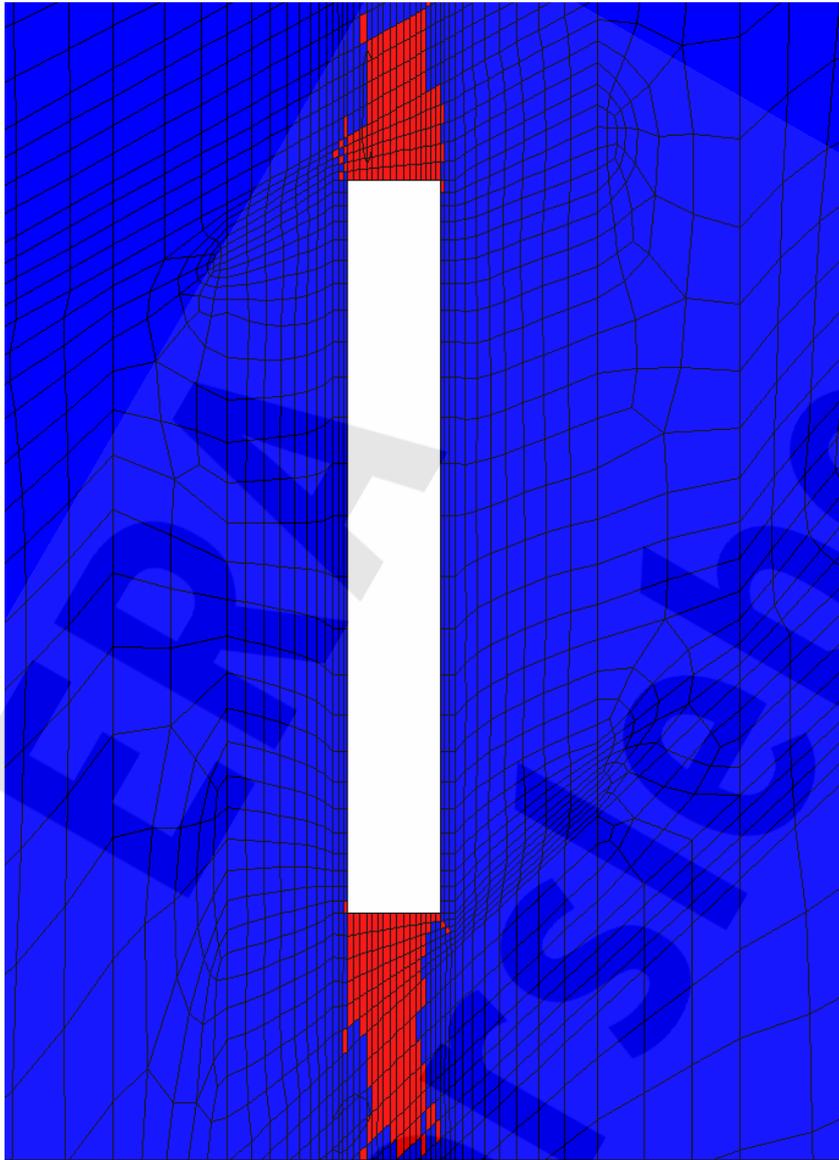
Anhang 30: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF1

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 180



Flac3D 2.20

10:05:16 Wed Jun 09 2004

Center: Rotation

X: 4.000e+001 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: 0.000

Z: -3.320e+002 Z: 180.000

Dist: 7.500e+001 Ang.:

X: 22.500

Y: 22.500

Plane Normal:

X: 0.000e+000 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: -1.000

Z: 0.000e+000 Z: 0.000

Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane

■ S_max < p_laenge (Fluidkriterium erfüllt)

■ S_max > p_laenge (Fluidkriterium verletzt)

(S_max: kleinste Hauptspannung,

Konvention: Drücke sind < 0)

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

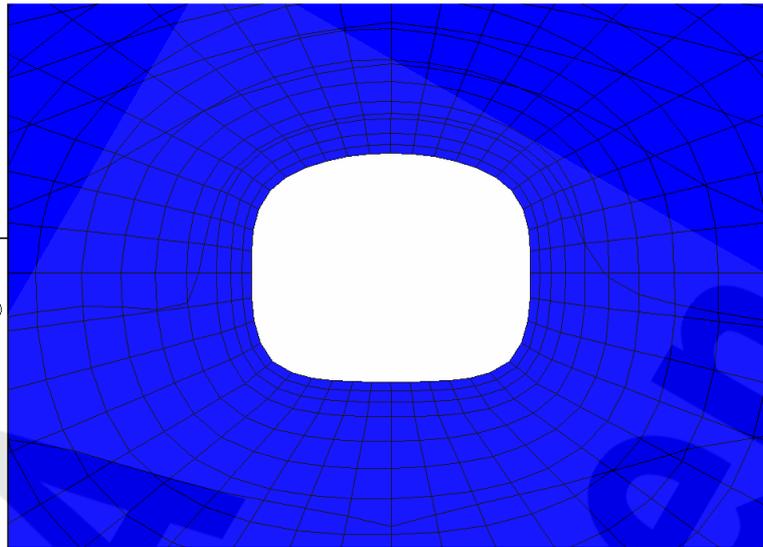


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 181

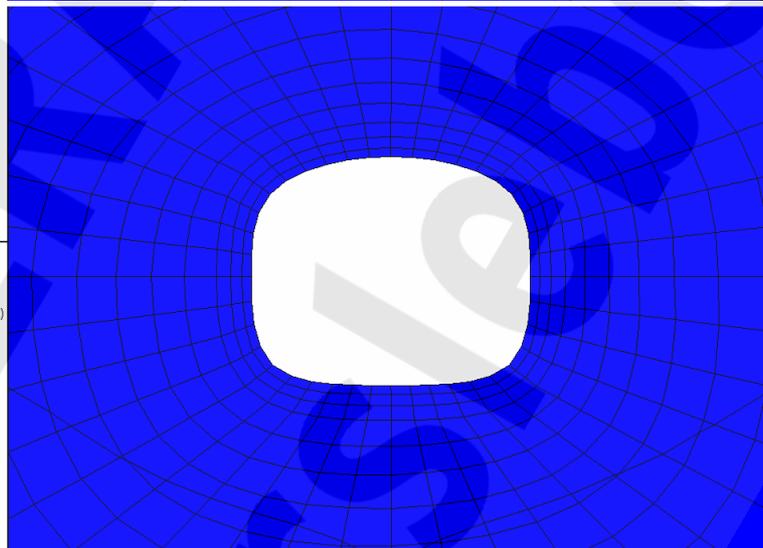
Flac3D 2.20
 10:18:01 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



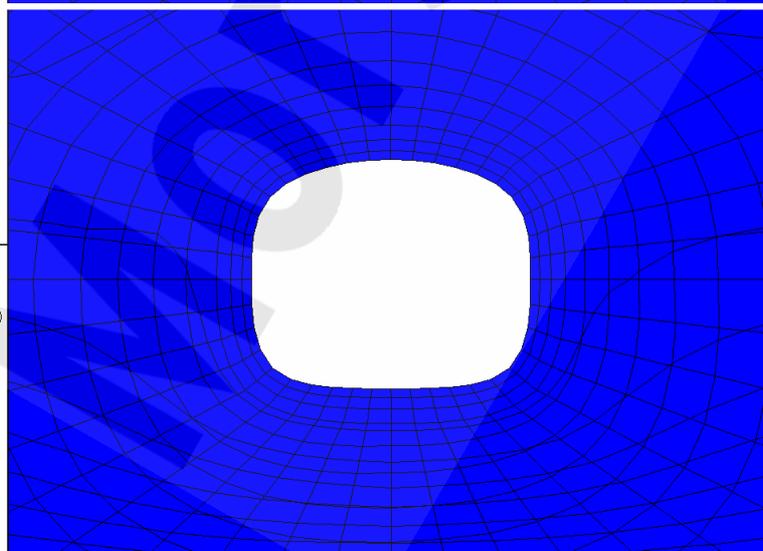
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 10:19:06 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 10:19:50 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)

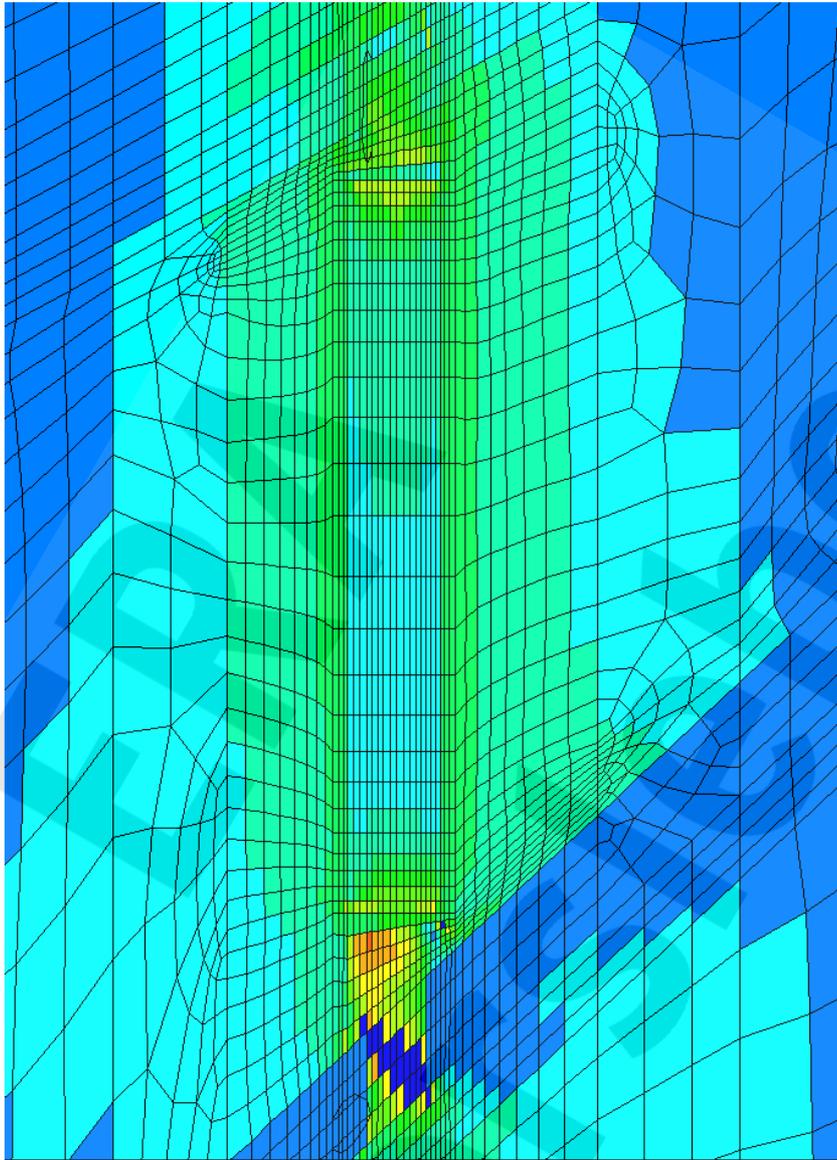


Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 32: Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF1

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00	

Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung



Flac3D 2.20

14:06:00 Wed Jun 09 2004

Center:

Rotation

X: 0.000

Y: 0.000

Z: 180.000

Ang.:

X: 22.500

Y: 22.500

Plane Normal:

X: 0.000

Y: -1.000

Z: 0.000

Trans.: 3.11

Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane

Zugspannungen

0.0000e+000 to 1.0000e-001

1.0000e-001 to 2.0000e-001

2.0000e-001 to 3.0000e-001

3.0000e-001 to 4.0000e-001

4.0000e-001 to 5.0000e-001

5.0000e-001 to 6.0000e-001

6.0000e-001 to 7.0000e-001

7.0000e-001 to 8.0000e-001

8.0000e-001 to 9.0000e-001

9.0000e-001 to 1.0000e+000

> 1.0 Dilatanzkriterium verletzt

Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

Anhang 33: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 183

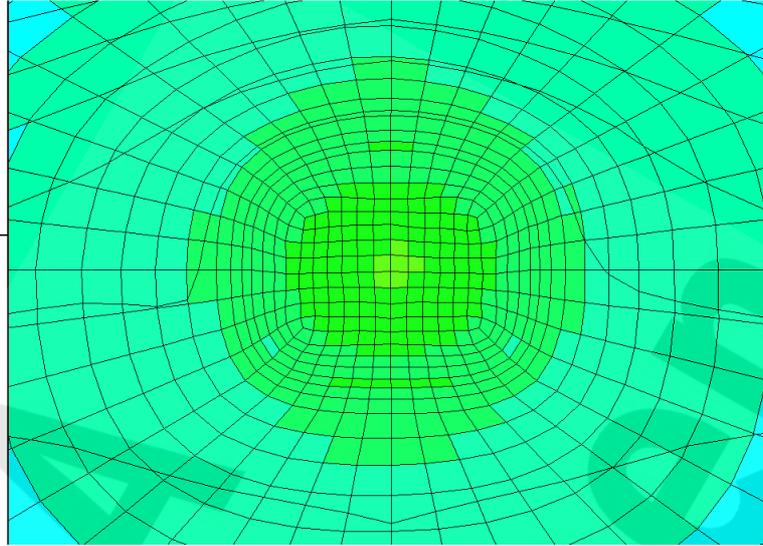
Flac3D 2.20

14:21:58 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



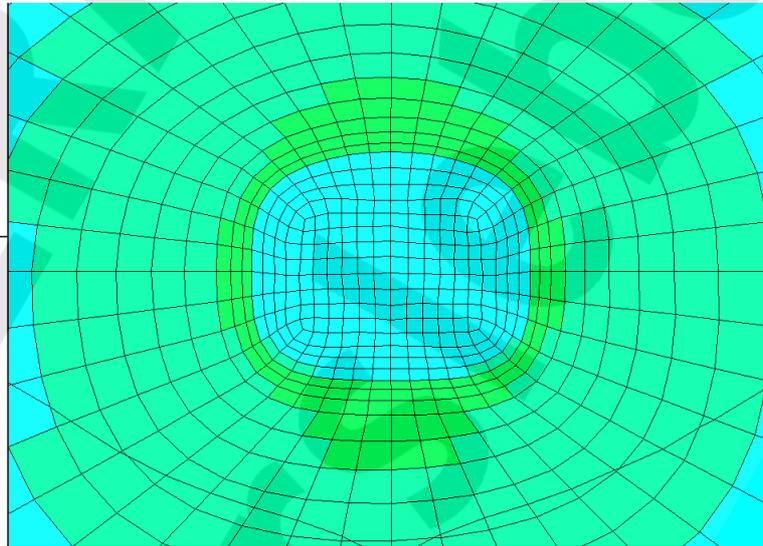
Flac3D 2.20

14:22:37 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



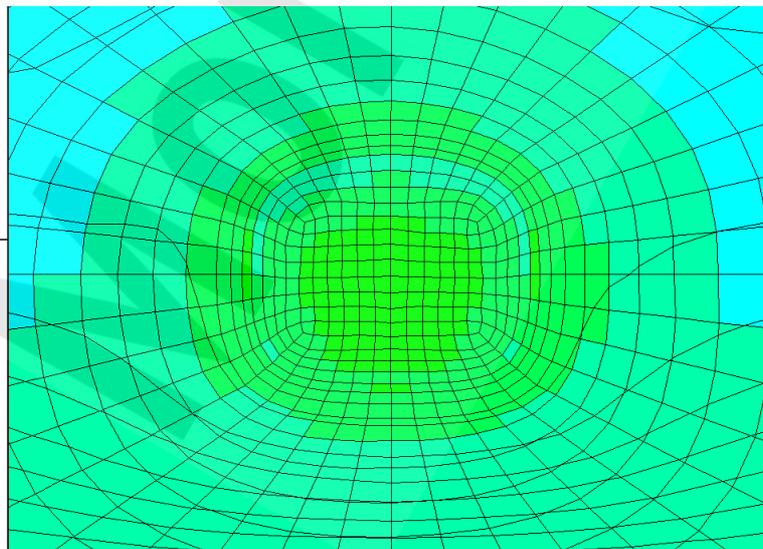
Flac3D 2.20

14:24:29 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



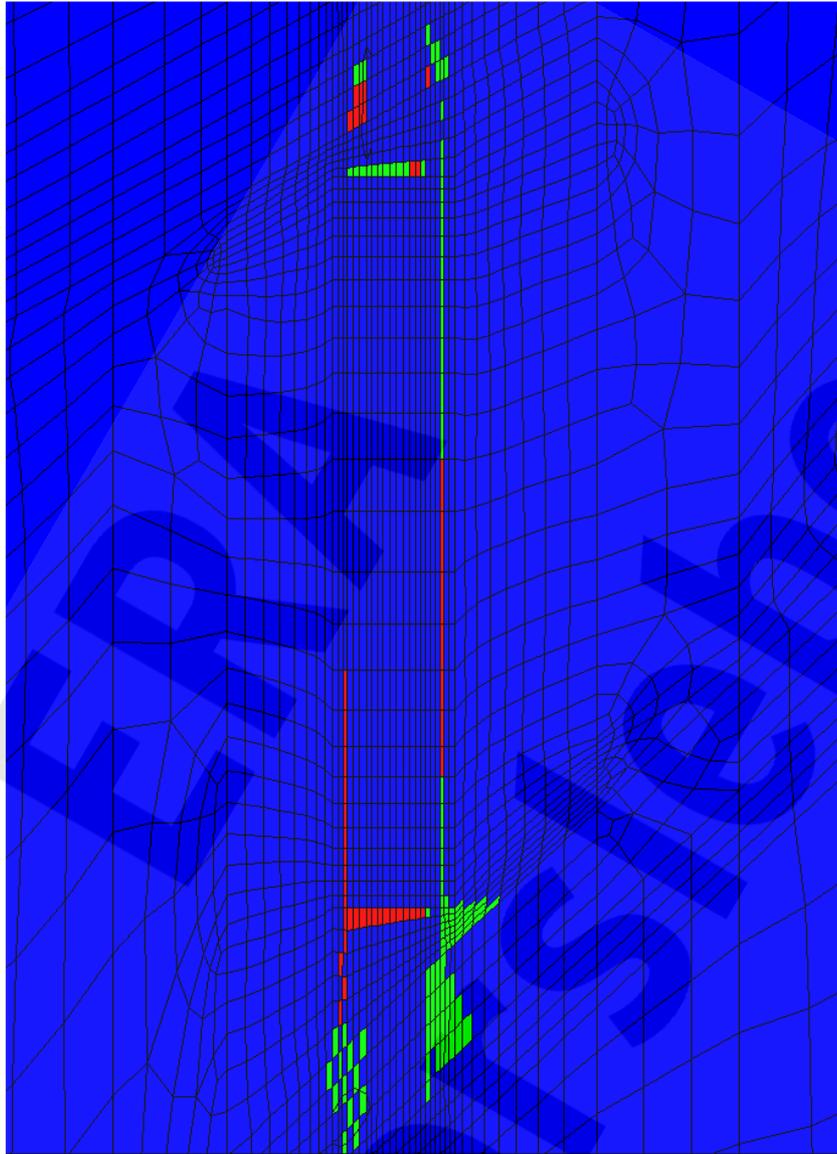
Anhang 34: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 184



Flac3D 2.20

13:59:09 Wed Jun 09 2004

Center: Rotation

X: 4.000e+001 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: 0.000

Z: -3.320e+002 Z: 180.000

Dist: 7.500e+001 Angl.:

X: 22.500

Y: 22.500

Plane Normal:

X: 0.000e+000 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: -1.000

Z: 0.000e+000 Z: 0.000

Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane

nicht geschädigt

Zugspannung

Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

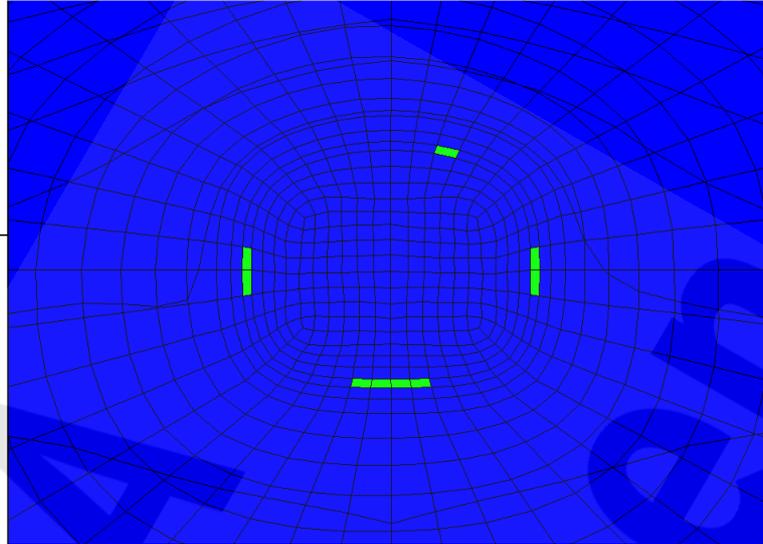
Blatt: 185

Flac3D 2.20

14:15:47 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



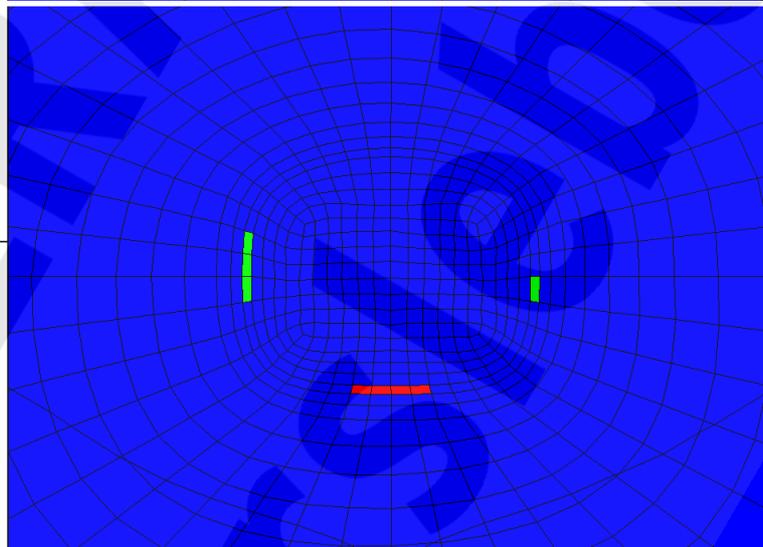
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20

14:16:25 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



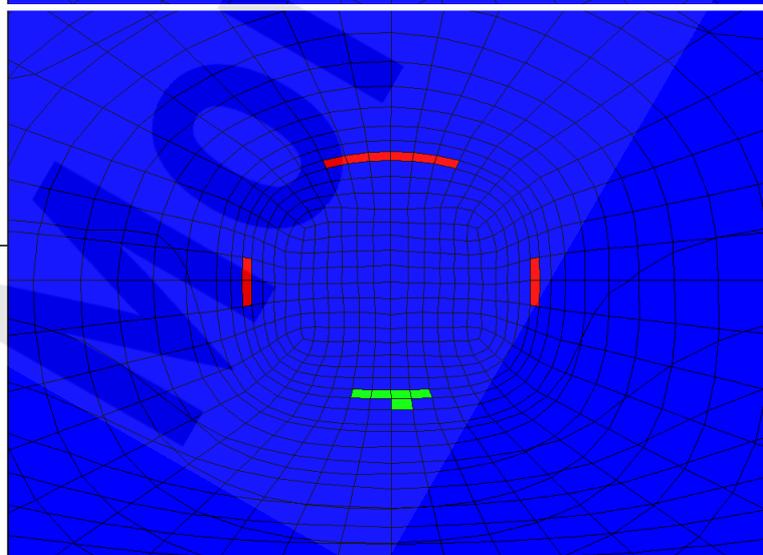
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20

14:17:03 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

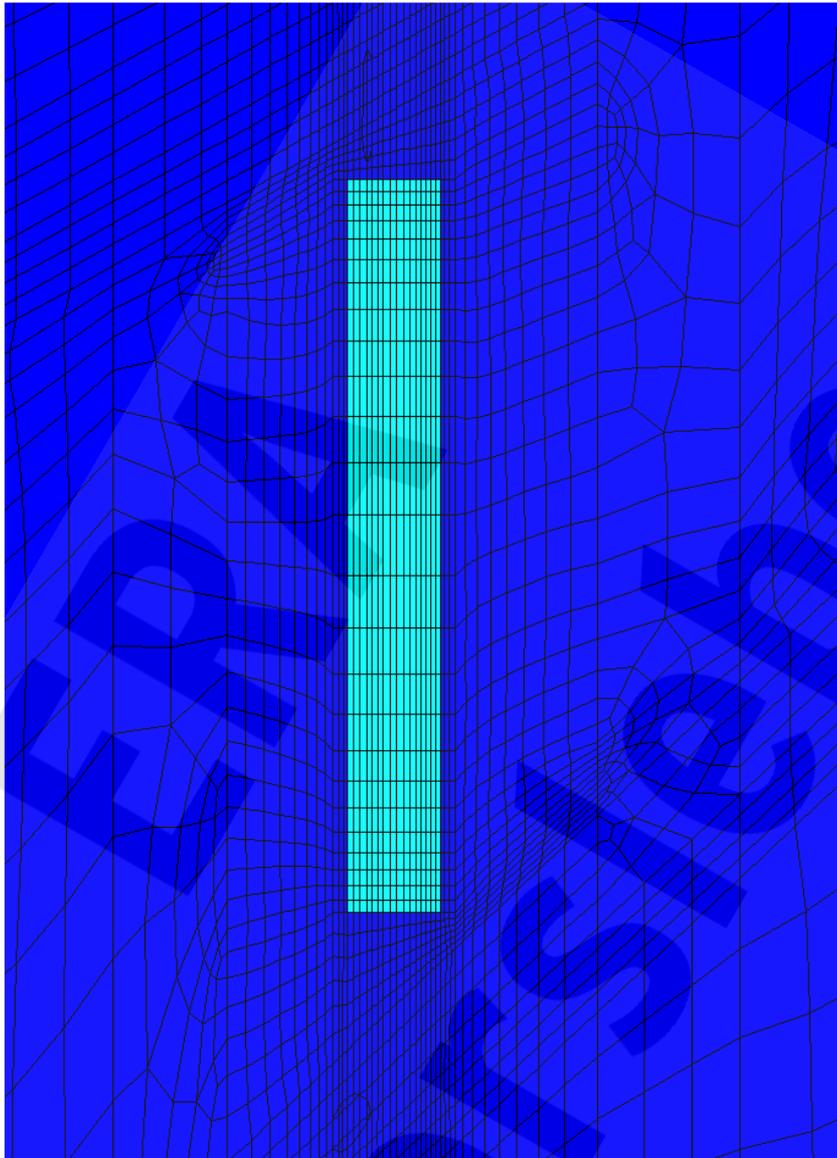
Anhang 36: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AAANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 186

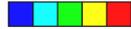


Flac3D 2.20

Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000e+000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

**Festigkeitskriterium
 nach Drucker-Prager**

Gebirge
 kein Versagen
 Zugversagen
 Zug- und Scherversagen
 Scherversagen



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



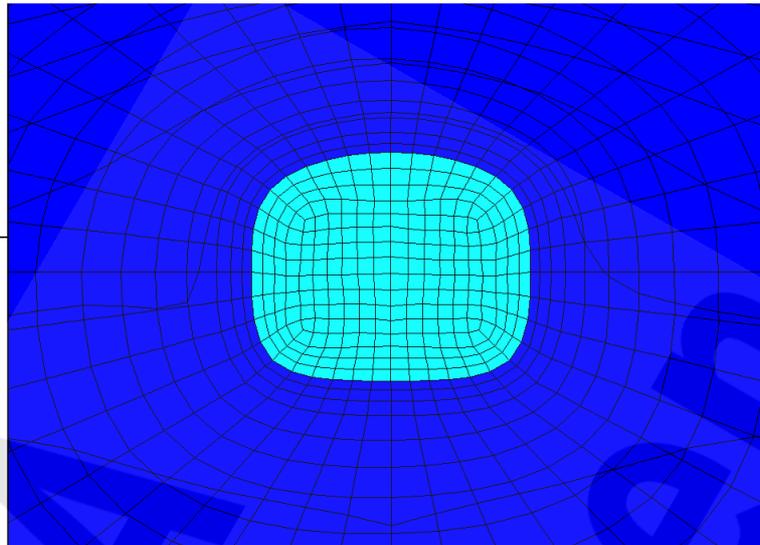
Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 187

Flac3D 2.20
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Festigkeitskriterium nach Drucker-Prager

- Gebirge
- kein Versagen
- Zugversagen
- Zug- und Scherversagen
- Scherversagen

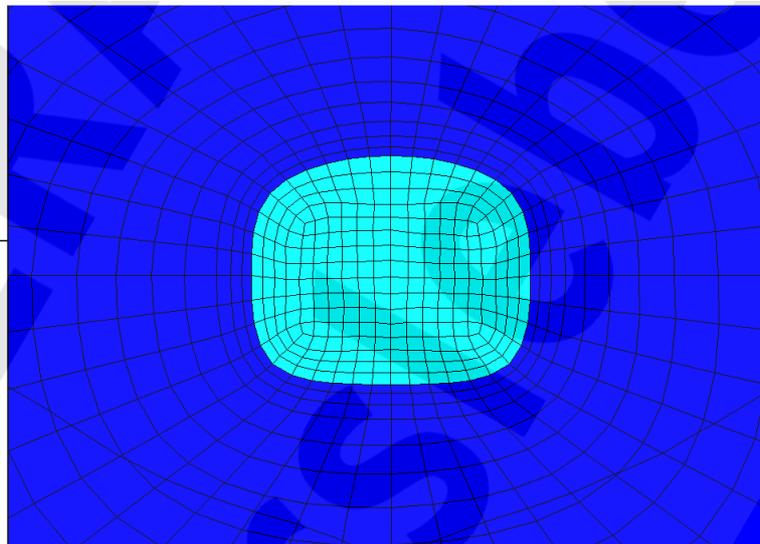


Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Festigkeitskriterium nach Drucker-Prager

- Gebirge
- kein Versagen
- Zugversagen
- Zug- und Scherversagen
- Scherversagen

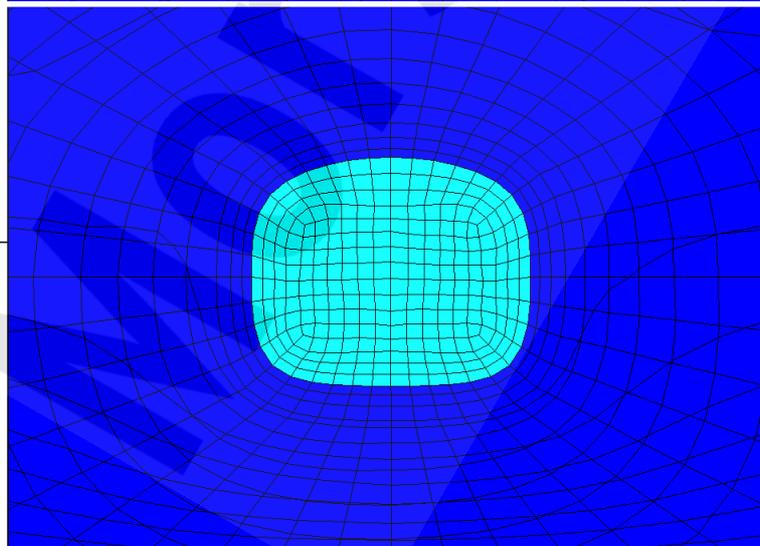


Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Festigkeitskriterium nach Drucker-Prager

- Gebirge
- kein Versagen
- Zugversagen
- Zug- und Scherversagen
- Scherversagen



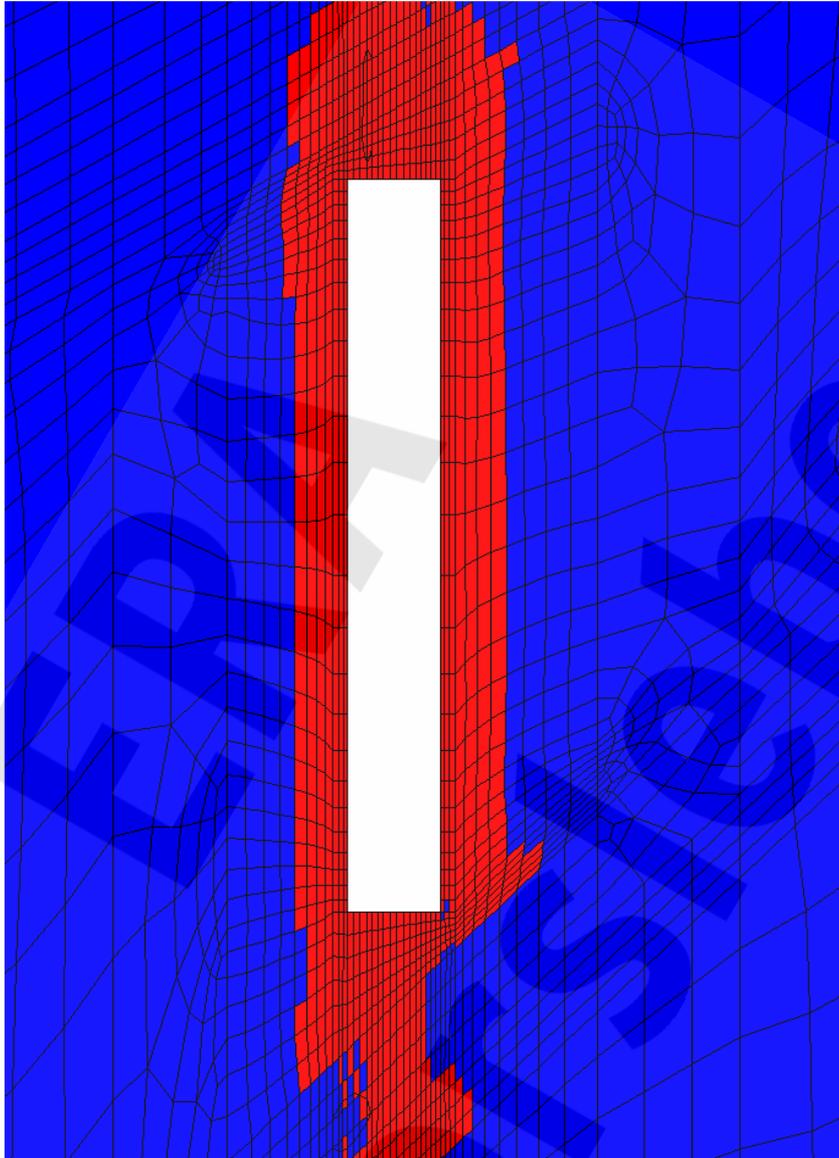
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 38: Festigkeitskriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung



Flac3D 2.20

14:10:55 Wed Jun 09 2004

Center: Rotation

X: 4.000e+001 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: 0.000

Z: -3.320e+002 Z: 180.000

Dist: 7.500e+001 Ang: .

X: 22.500

Y: 22.500

Plane Normal:

X: 0.000e+000 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: -1.000

Z: 0.000e+000 Z: 0.000

Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane

■ S_max < p_laue (Fluidkriterium erfüllt)

■ S_max > p_laue (Fluidkriterium verletzt)

(S_max: kleinste Hauptspannung, Konvention: Drucke sind < 0)

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

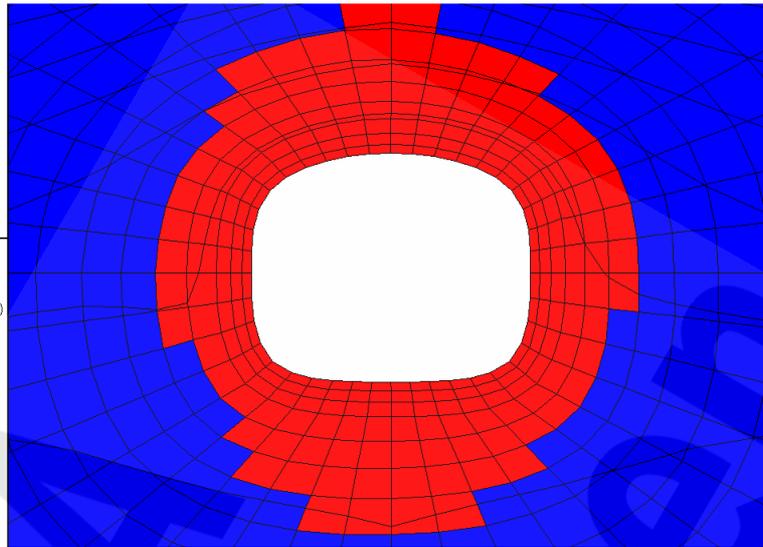


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 189

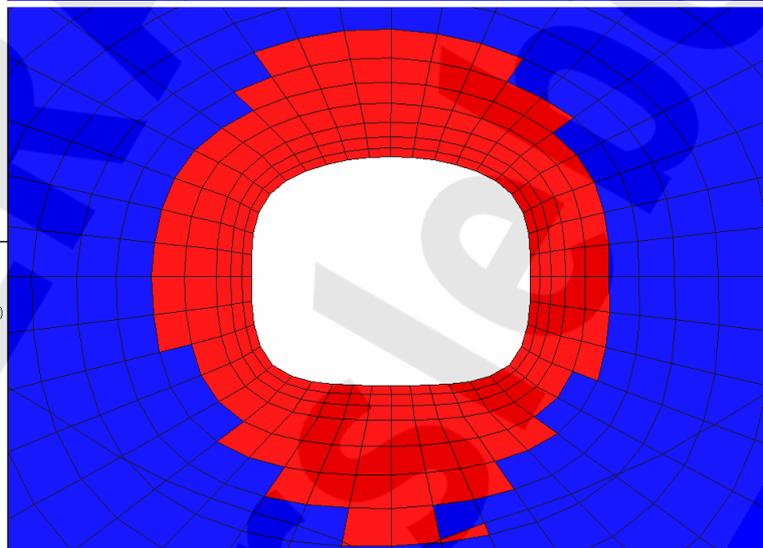
Flac3D 2.20
 15:43:49 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



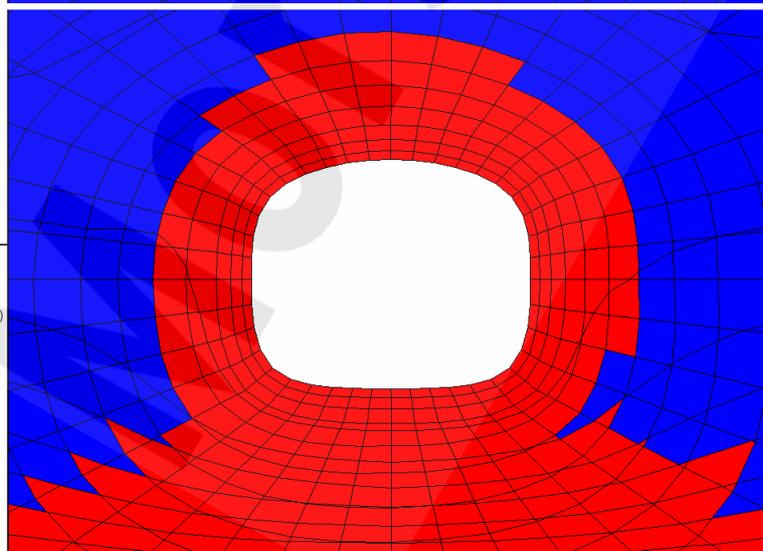
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 15:44:30 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 15:45:03 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



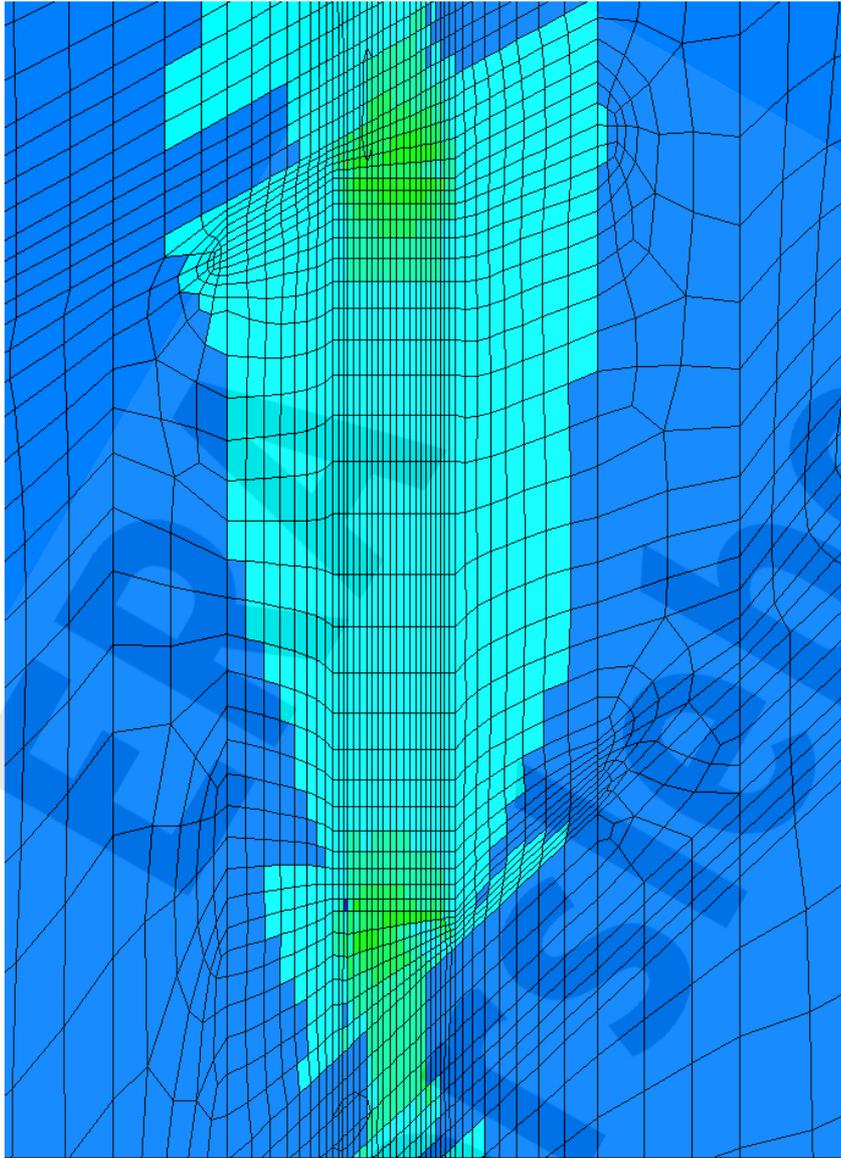
Anhang 40: Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/2104 (100 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 190



Flac3D 2.20

11:34:32 Wed Jun 09 2004

Center:
 Rotation
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:

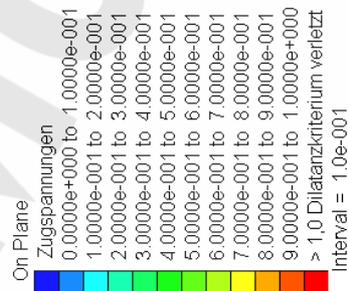
X: 22.500
 Y: 22.500

Plane Normal:

X: 0.000e+000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11

Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 41: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

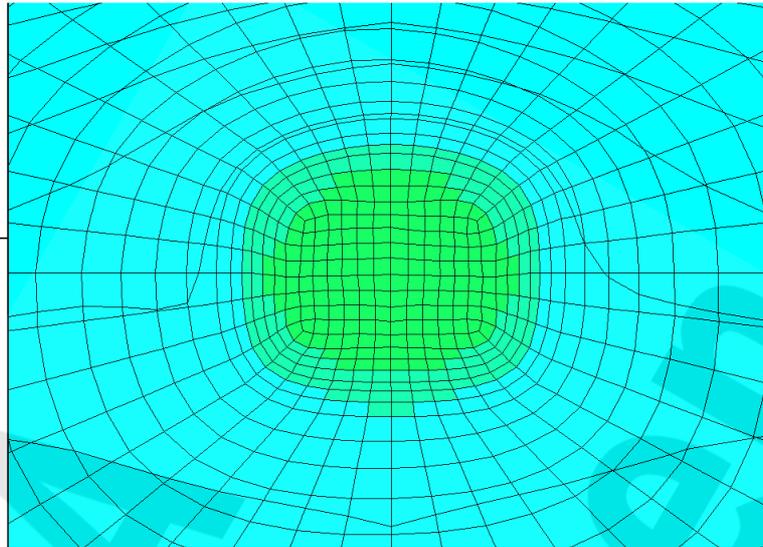


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 191

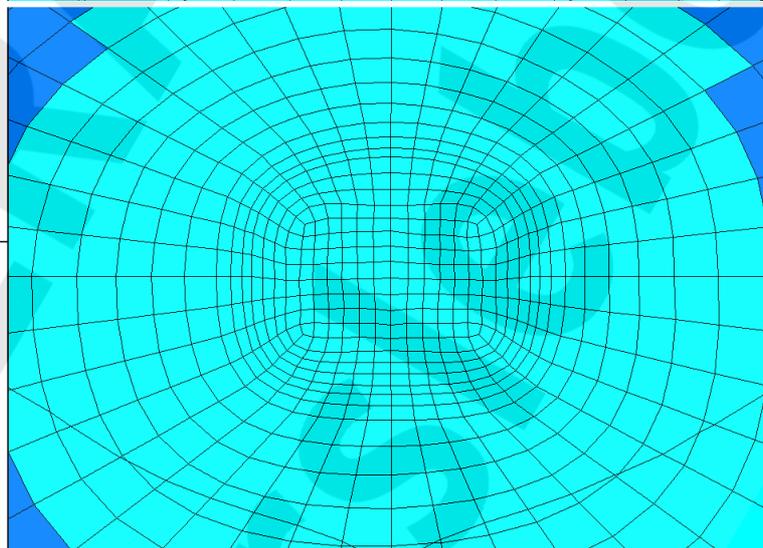
Flac3D 2.20
 11:43:24 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001



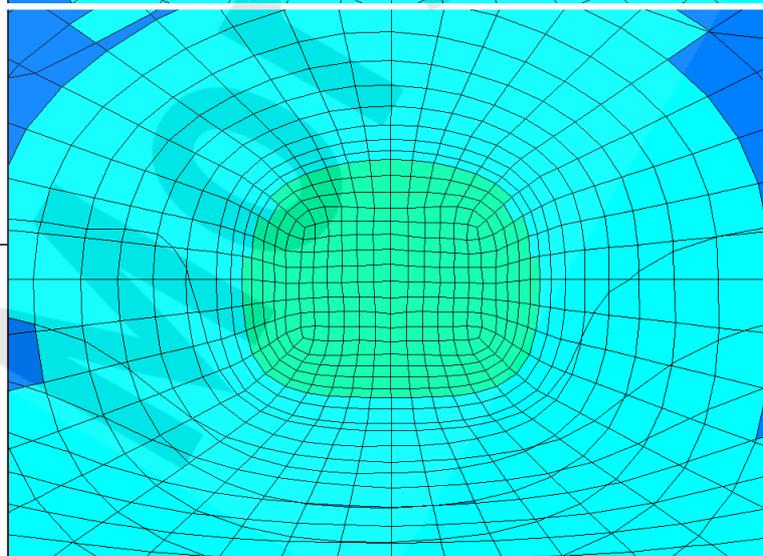
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 11:43:54 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001



Flac3D 2.20
 11:44:32 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001



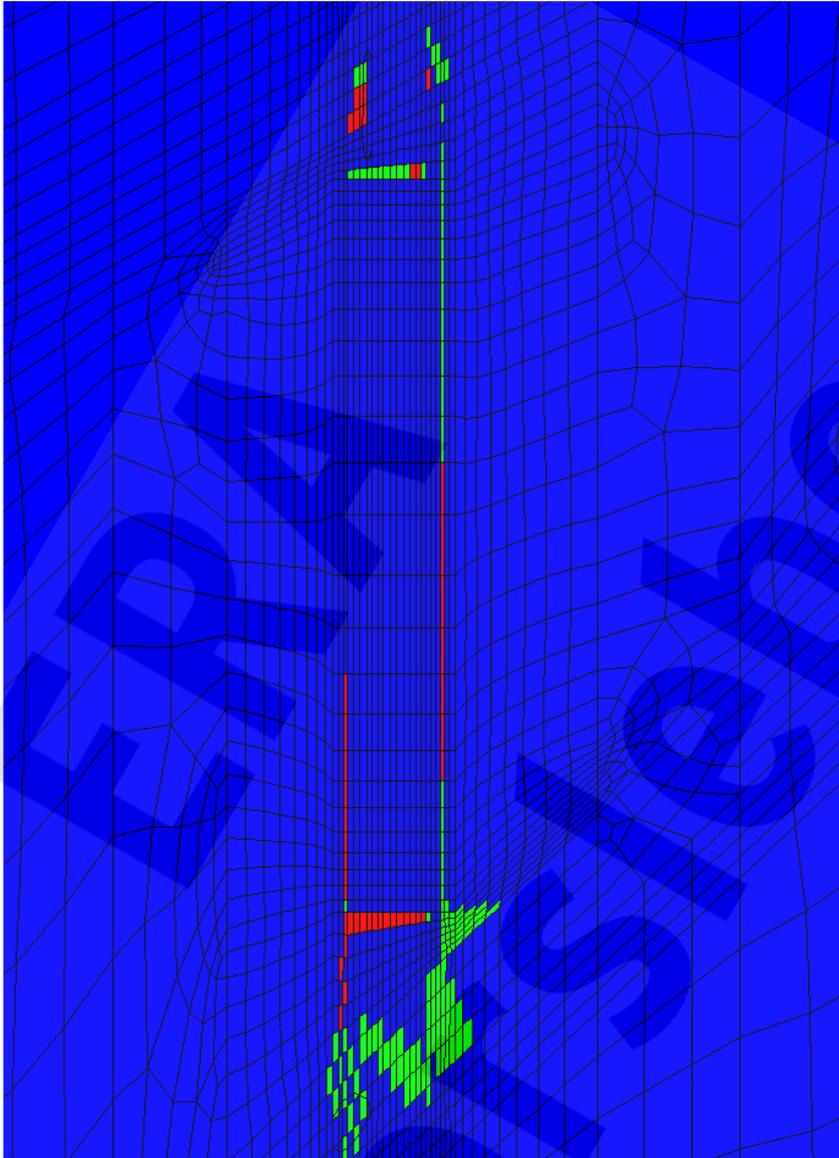
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 42: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung



Flac3D 2.20

11:33:55 Wed Jun 09 2004
 Center: X: 4.000e+001 Y: 5.000e+001 Z: -3.320e+002
 Ang.: Dist: 7.500e+001
 X: 22.500 Y: 22.500
 Plane Normal: X: 0.000 Y: -1.000 Z: 0.000
 Plane Origin: X: 0.000e+000 Y: 5.000e+001 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 nicht geschädigt
 Zugspannung
 Dilatanz

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

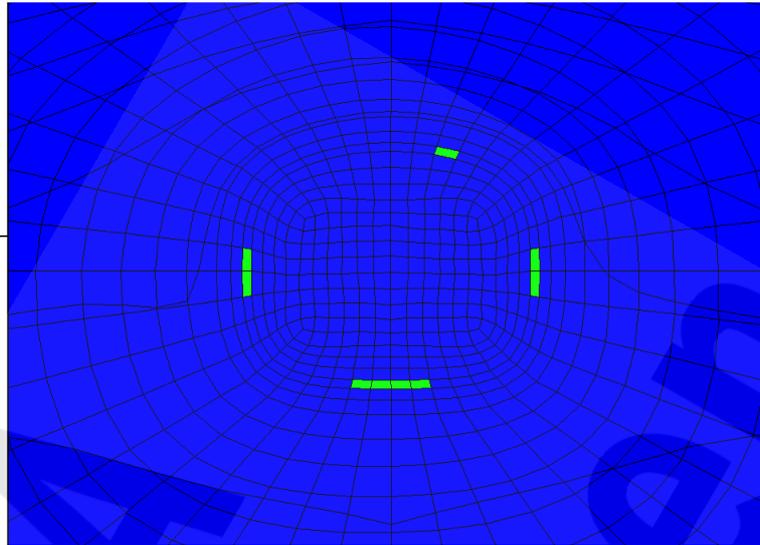


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 193

Flac3D 2.20
 11:40:17 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

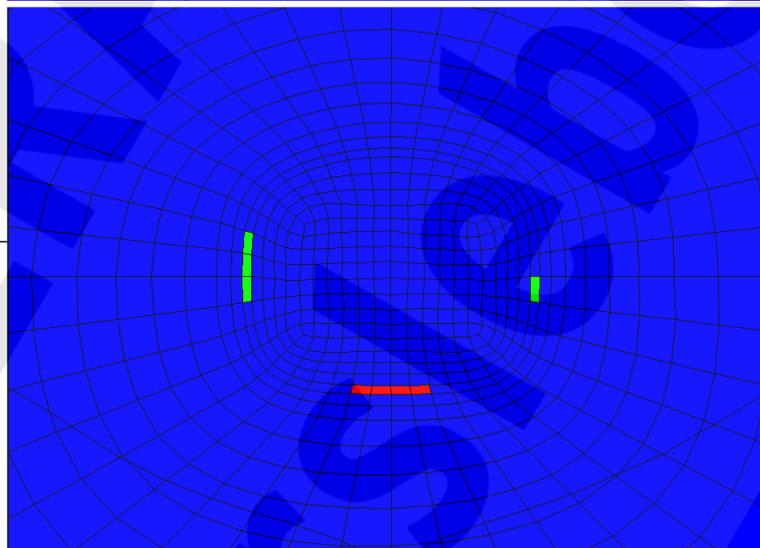
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 11:40:51 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

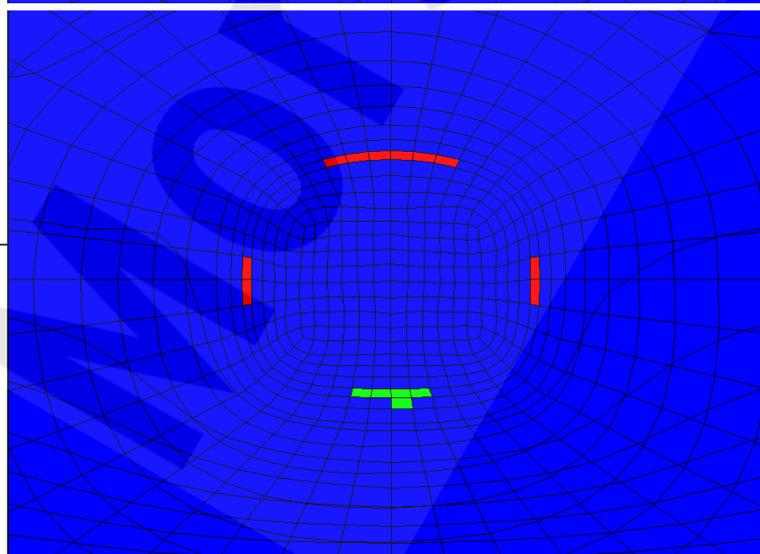
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 11:41:24 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

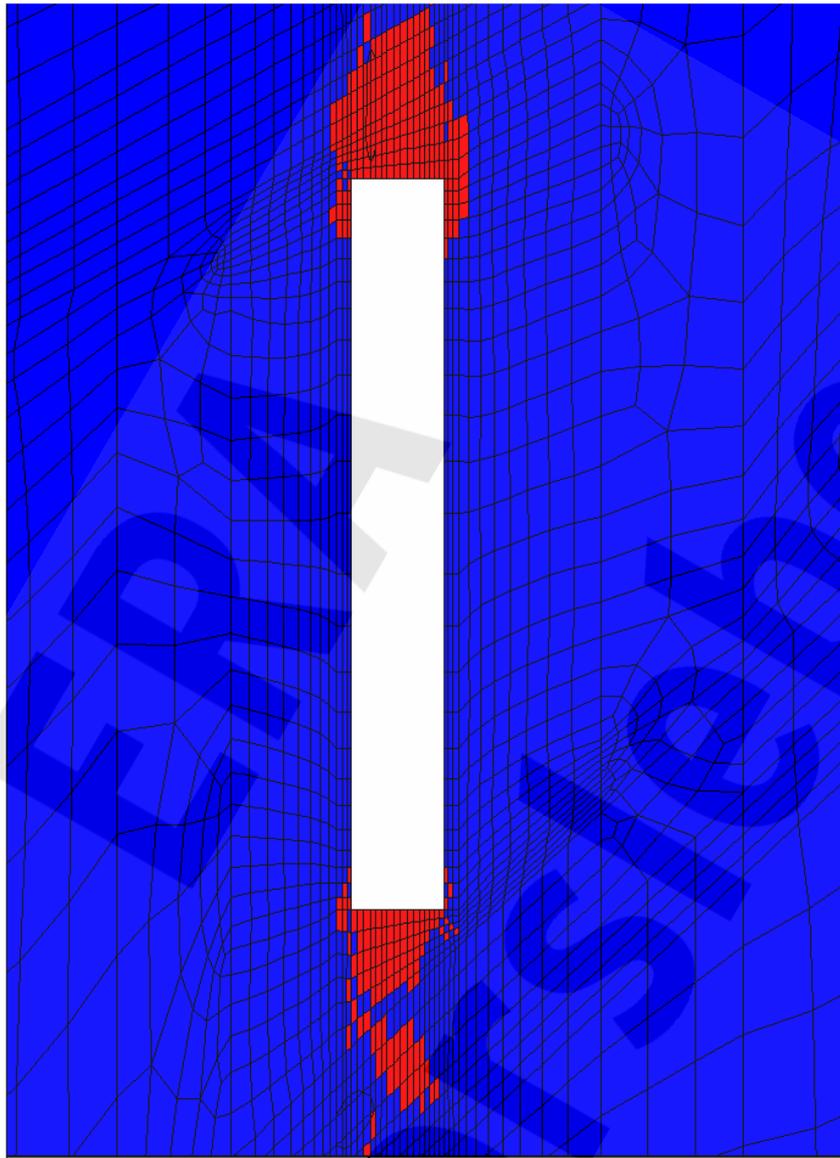
Anhang 44: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 194



Flac3D 2.20

11:35:09 Wed Jun 09 2004

Center: Rotation

X: 4.000e+001 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: 0.000

Z: -3.320e+002 Z: 180.000

Dist: 7.500e+001

Angl.:

X: 22.500

Y: 22.500

Plane Normal:

X: 0.000e+000 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: -1.000

Z: 0.000e+000 Z: 0.000

Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane

■ S_max < p_laenge (Fluidkriterium erfüllt)

■ S_max > p_laenge (Fluidkriterium verletzt)

(S_max: kleinste Hauptspannung,

Konvention: Drücke sind < 0)

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

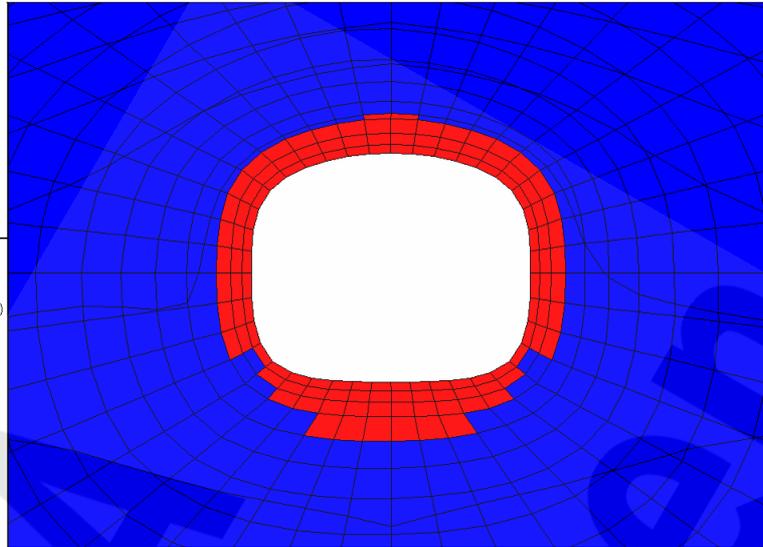
Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

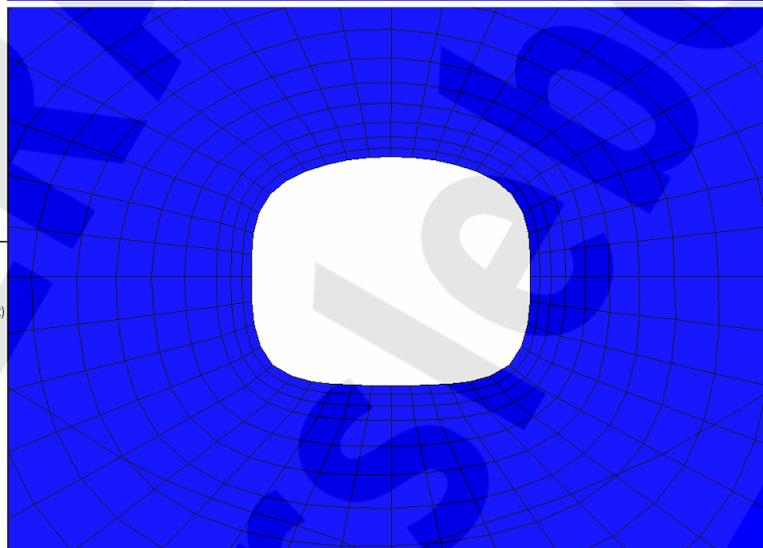
Flac3D 2.20
 11:46:36 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_laue (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_laue (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



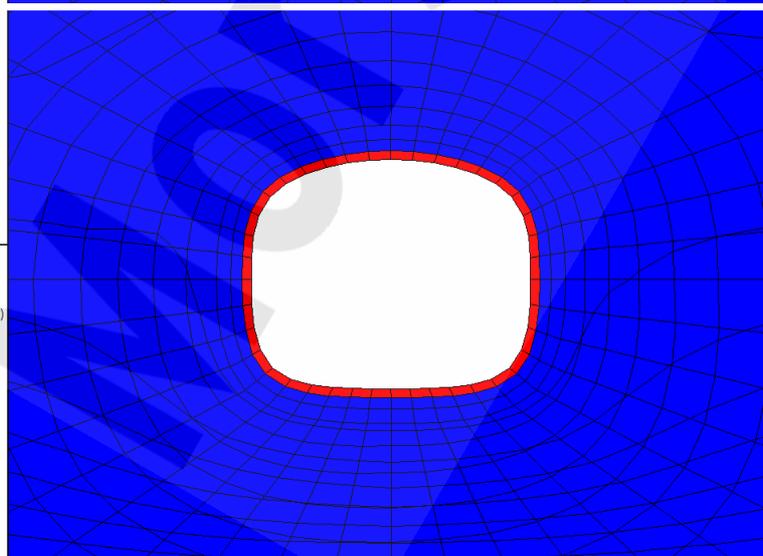
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 11:47:07 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_laue (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_laue (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 11:47:50 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_laue (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_laue (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

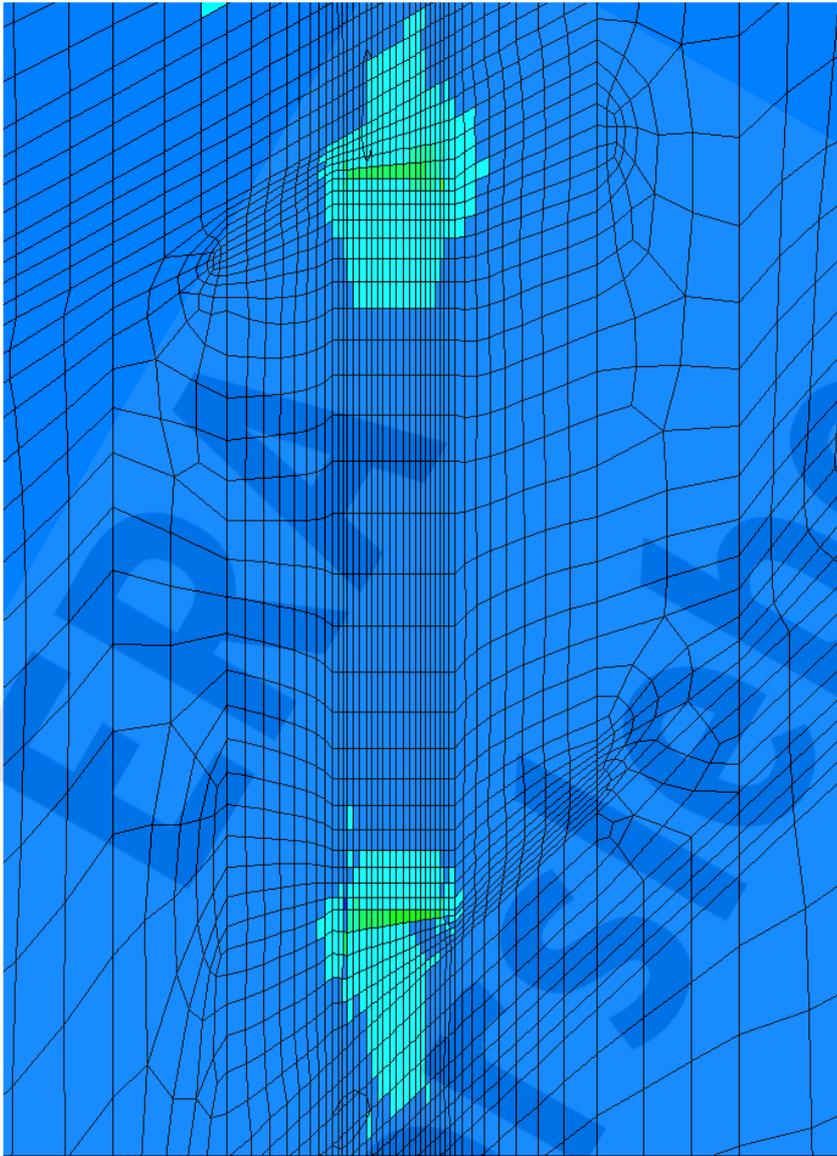
Anhang 46: Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 196

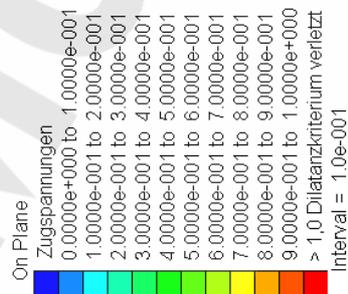


Flac3D 2.20

12:09:29 Wed Jun 09 2004

Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Angl.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Anhang 47: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 197

Flac3D 2.20
 12:48:54 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 12:49:25 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

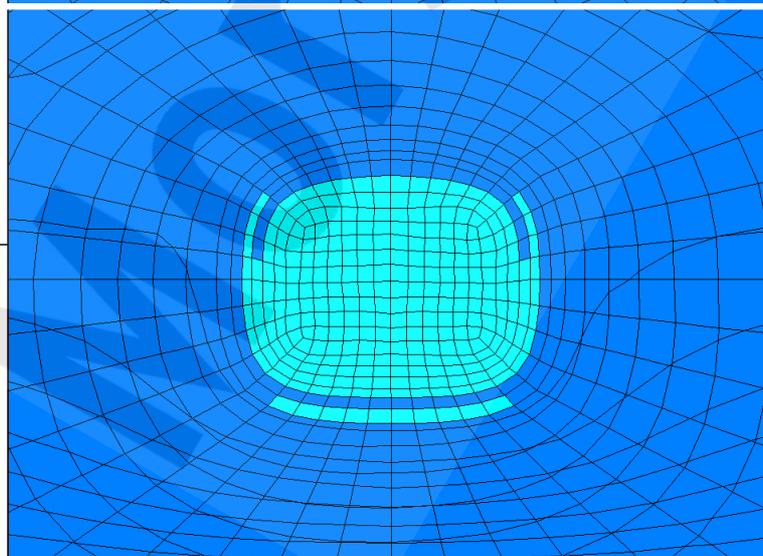
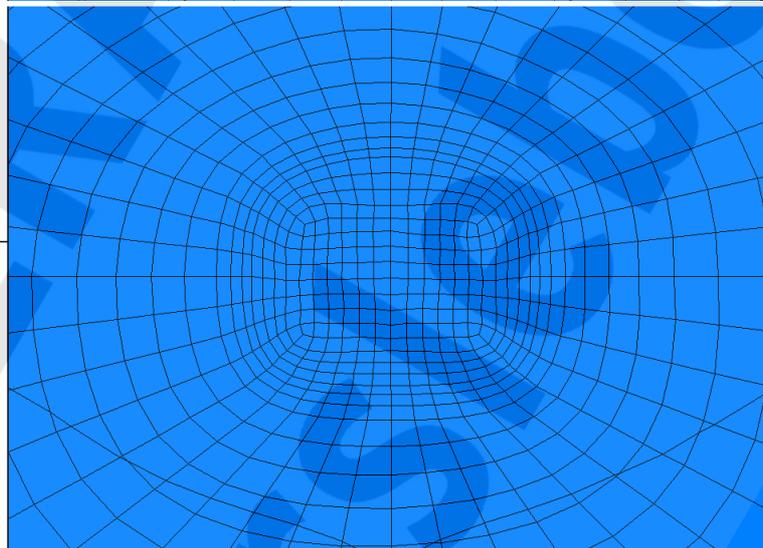
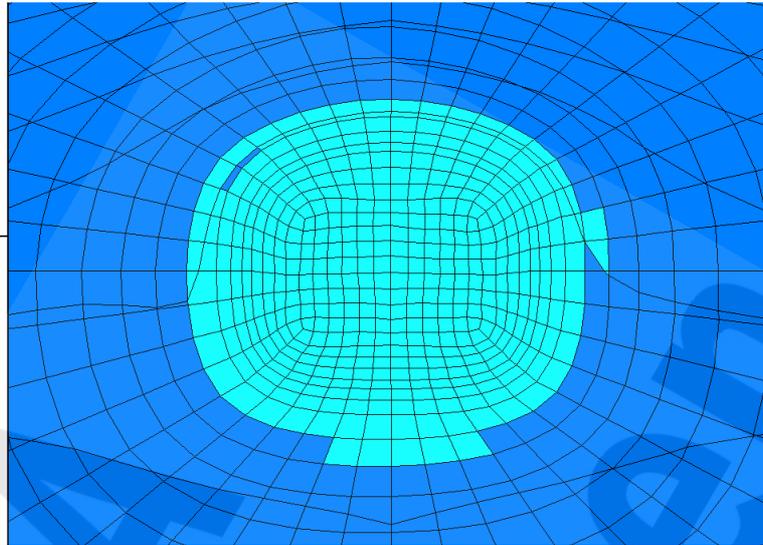
Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 12:49:58 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

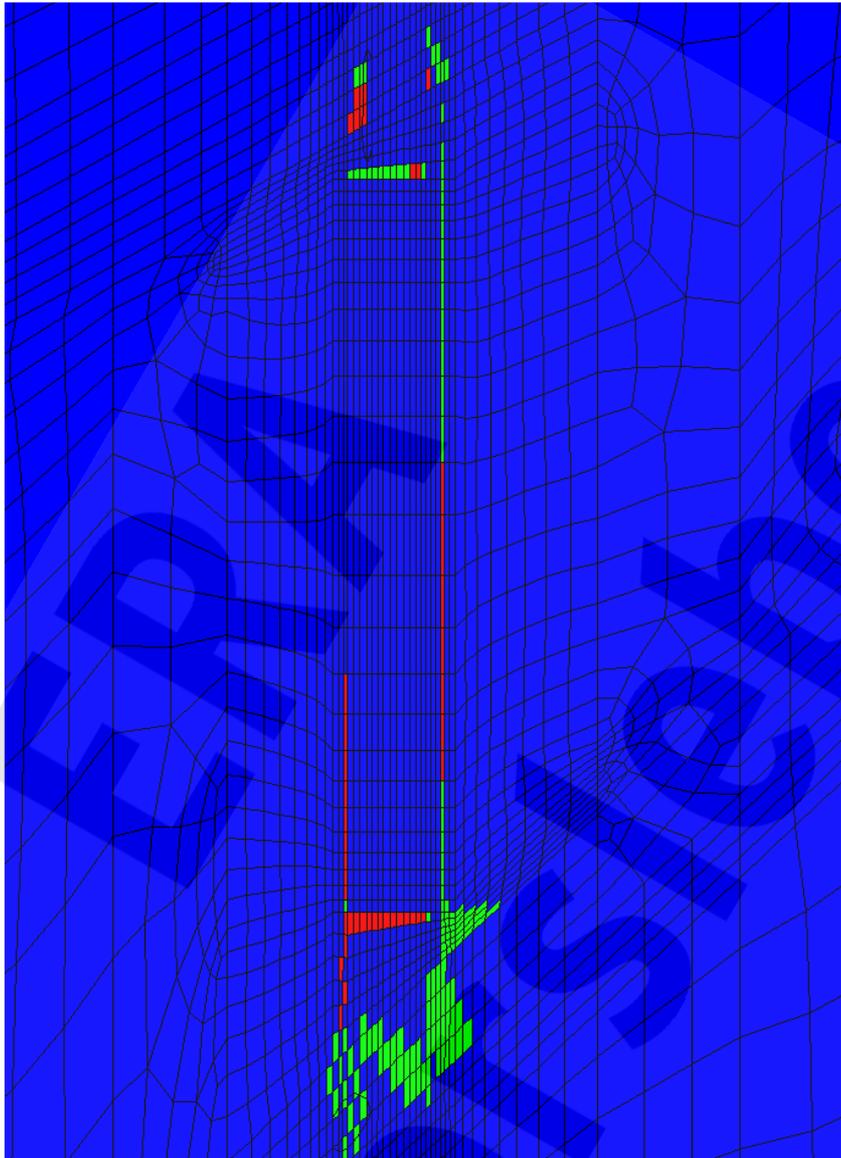


Anhang 48: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung



Flac3D 2.20

12:08:45 Wed Jun 09 2004
 Center: X: 4.000e+001 Y: 5.000e+001 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.: X: 22.500 Y: 22.500
 Plane Origin: X: 0.000e+000 Y: 5.000e+001 Z: 0.000e+000
 Plane Normal: X: 0.000 Y: -1.000 Z: 0.000
 Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 nicht geschädigt
 Zugspannung
 Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

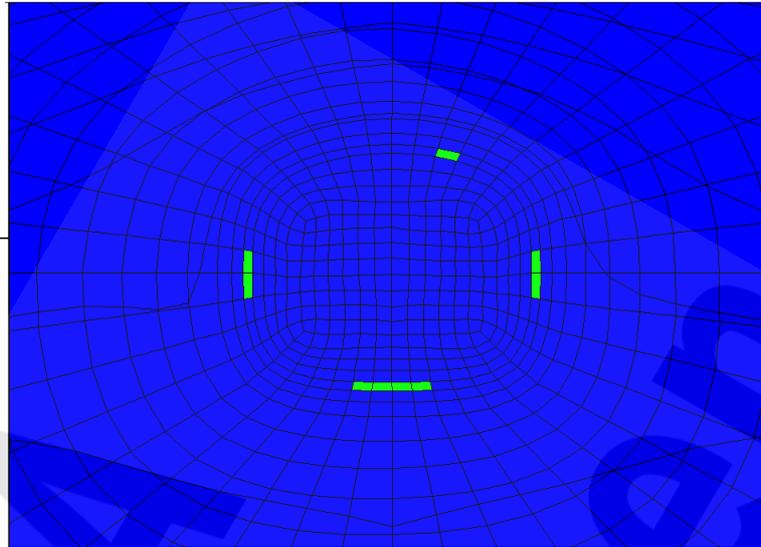


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 199

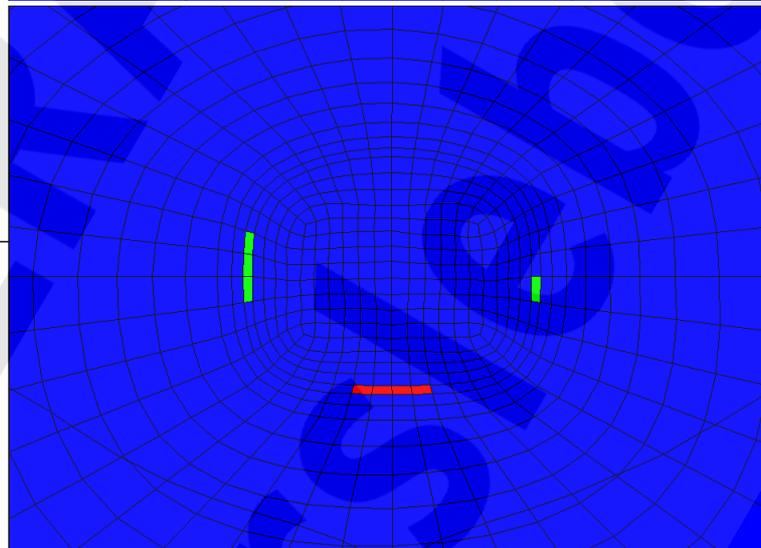
Flac3D 2.20
 12:15:56 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



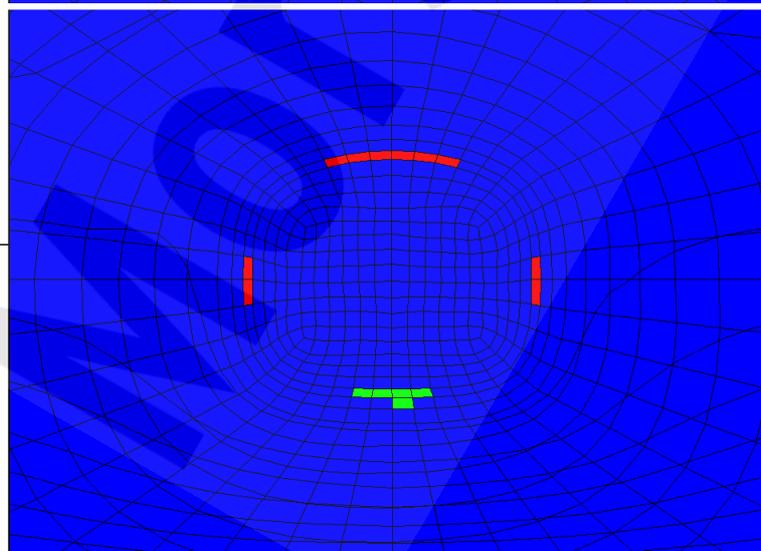
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 12:16:53 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 12:17:34 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

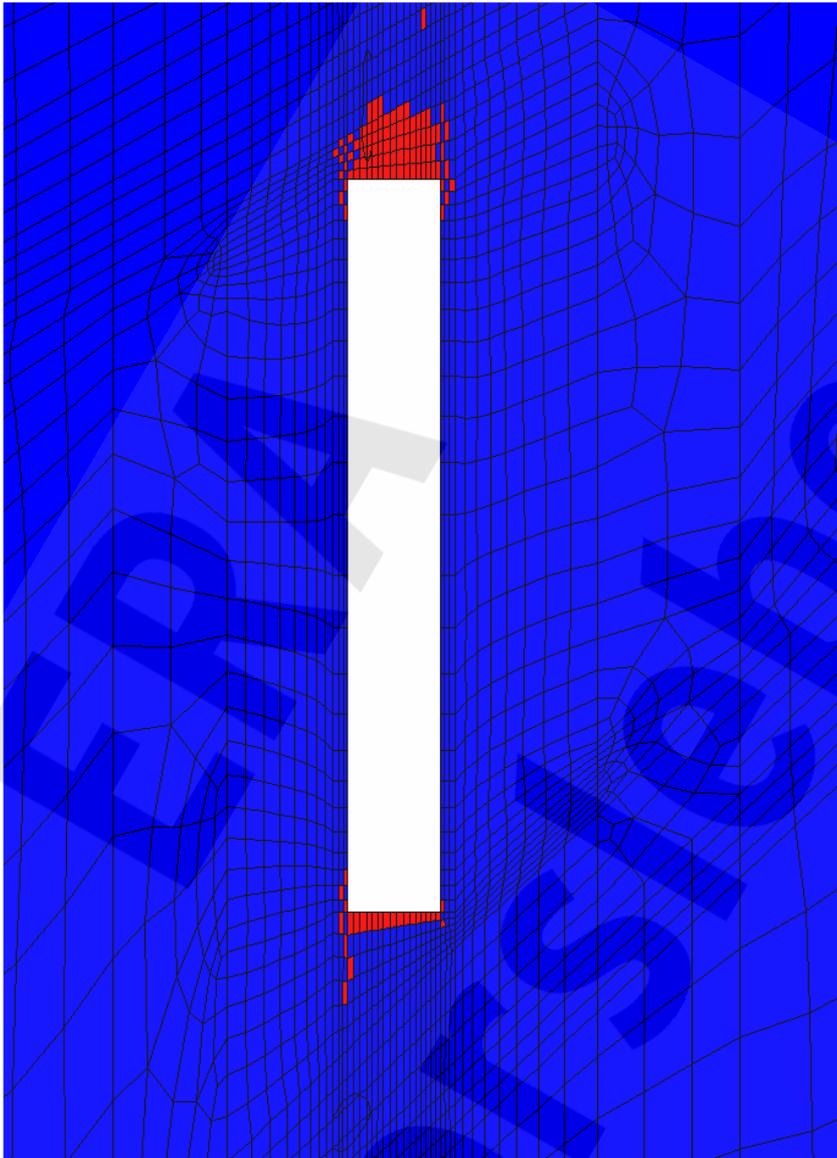
Anhang 50: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 200



Flac3D 2.20

12:12:03 Wed Jun 09 2004
 Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin:
 X: 0.000e+000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane
 S_max < p_laue (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_laue (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max: kleinste Hauptspannung, Konvention: Drucke sind ≤ 0)

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 201

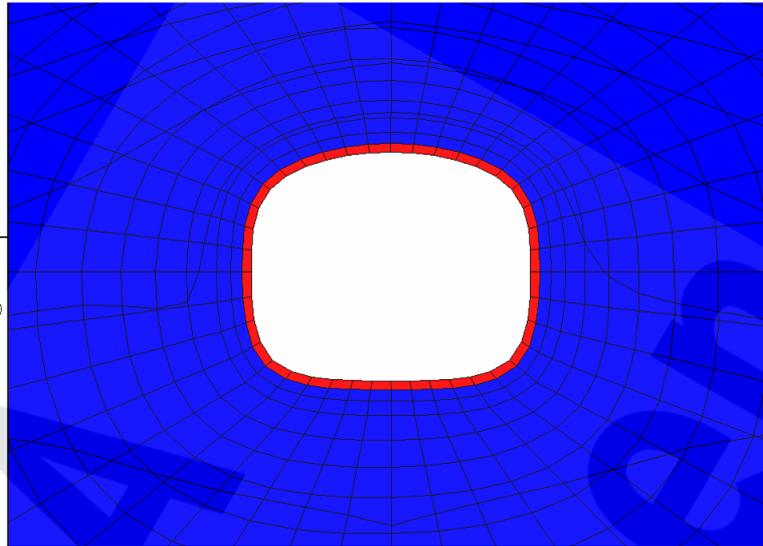
Flac3D 2.20

12:55:02 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)

(S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

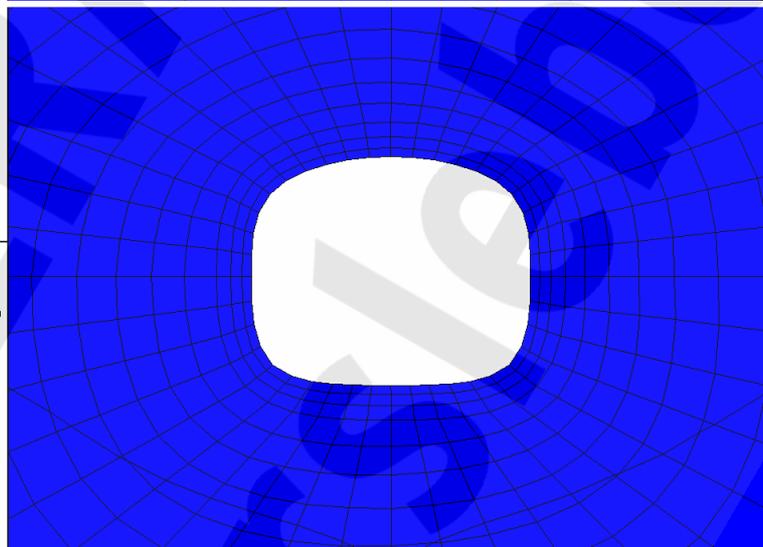
Flac3D 2.20

12:55:37 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)

(S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

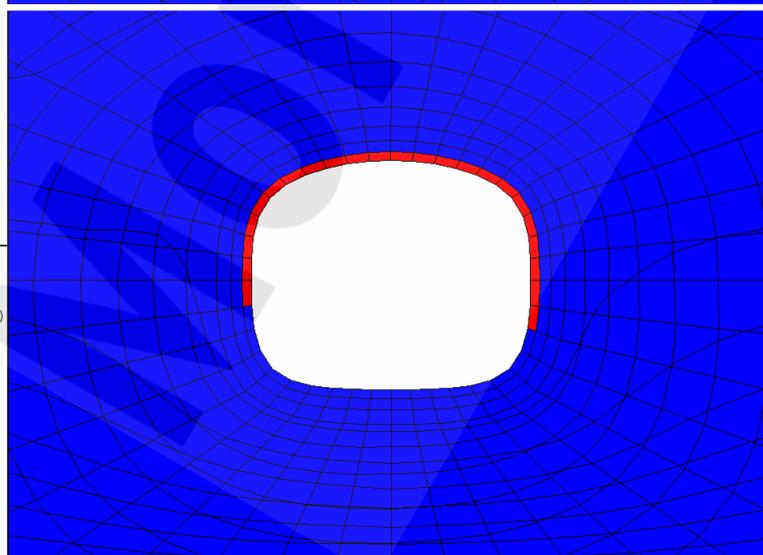
Flac3D 2.20

12:56:25 Wed Jun 09 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)

(S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

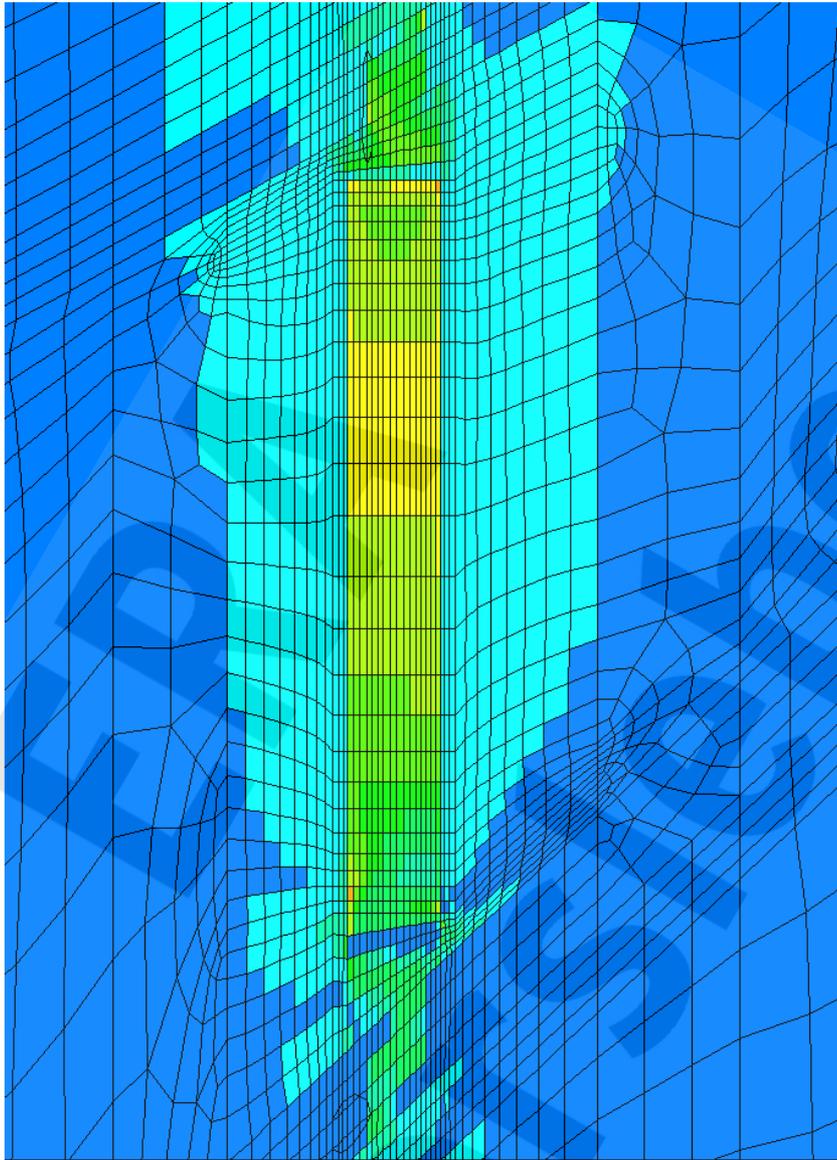
Anhang 52: Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten),
 Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 202



Flac3D 2.20

12:14:30 Tue Jun 08 2004

Center: Rotation

X: 4.000e+001 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: 0.000

Z: -3.320e+002 Z: 180.000

Dist: 7.500e+001 Ang.:

X: 22.500

Y: 22.500

Plane Normal:

X: 0.000e+000 X: 0.000

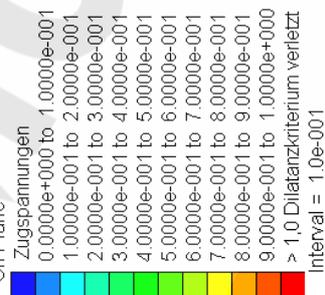
Y: 5.000e+001 Y: -1.000

Z: 0.000e+000 Z: 0.000

Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane



Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

Anhang 53: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF3

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 203

Flac3D 2.20
 12:25:03 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 12:25:41 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

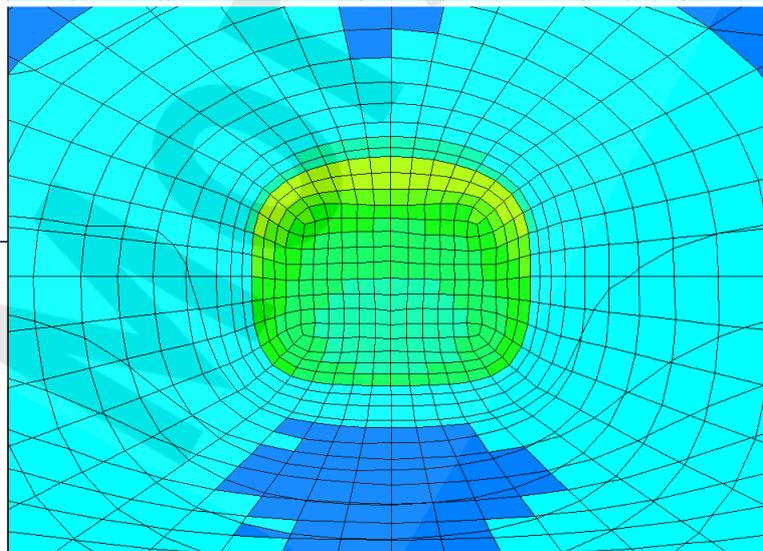
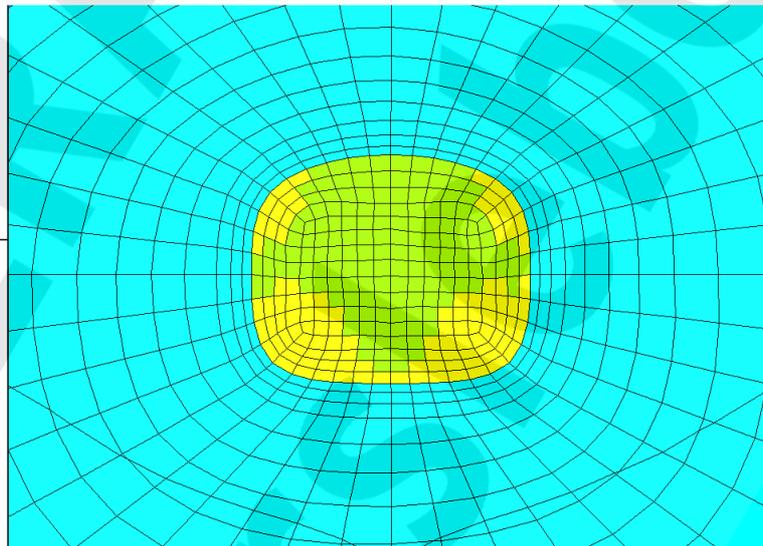
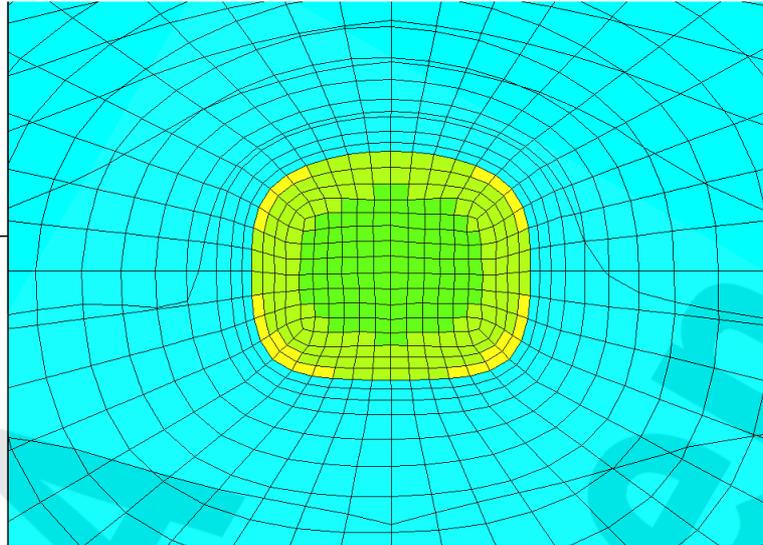
Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 12:54:46 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



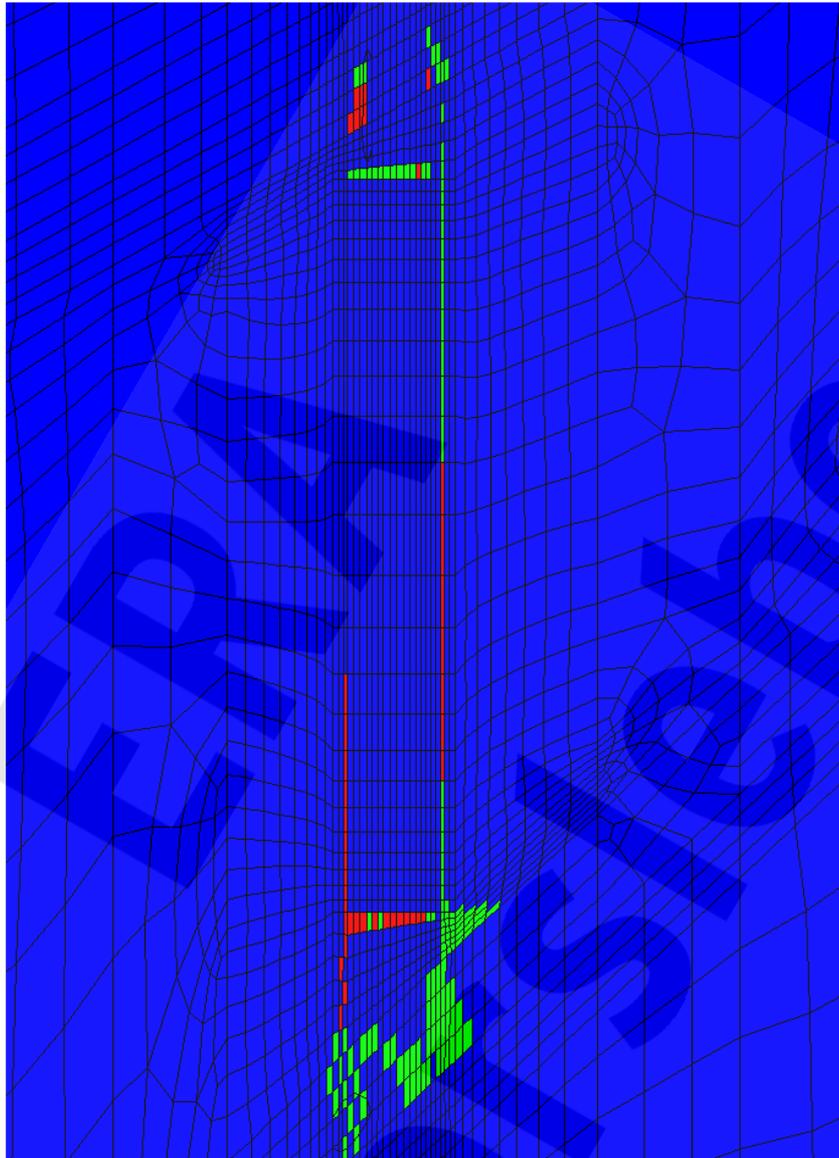
Anhang 54: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF3

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 204



Flac3D 2.20

12:11:27 Tue Jun 08 2004
 Center: X: 4.000e+001 Y: 5.000e+001 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.: X: 22.500 Y: 22.500
 Plane Origin: X: 0.000 Y: 5.000e+001 Z: 0.000e+000
 Plane Normal: X: 0.000 Y: -1.000 Z: 0.000
 Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 nicht geschädigt
 Zugspannung
 Dilatanz

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

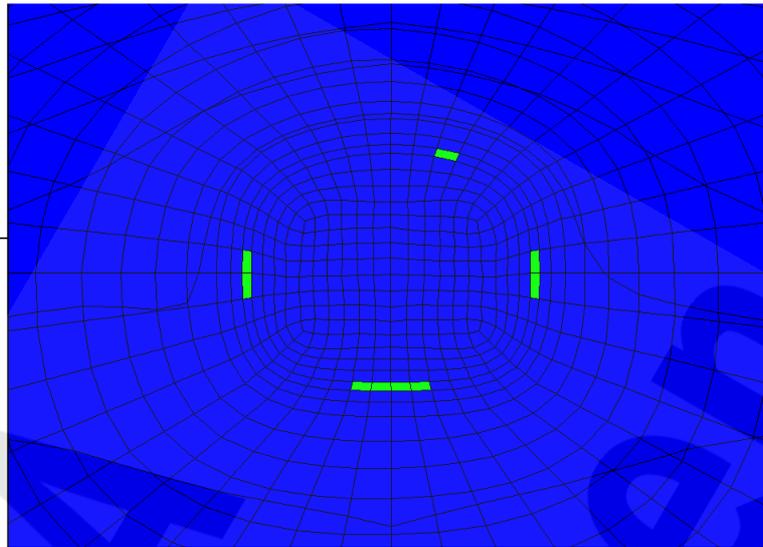


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 205

Flac3D 2.20
 12:22:13 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

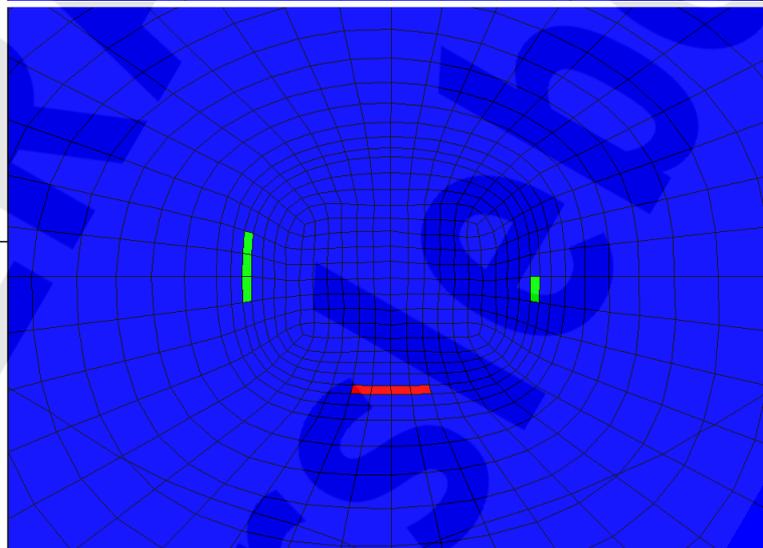
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 12:22:48 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

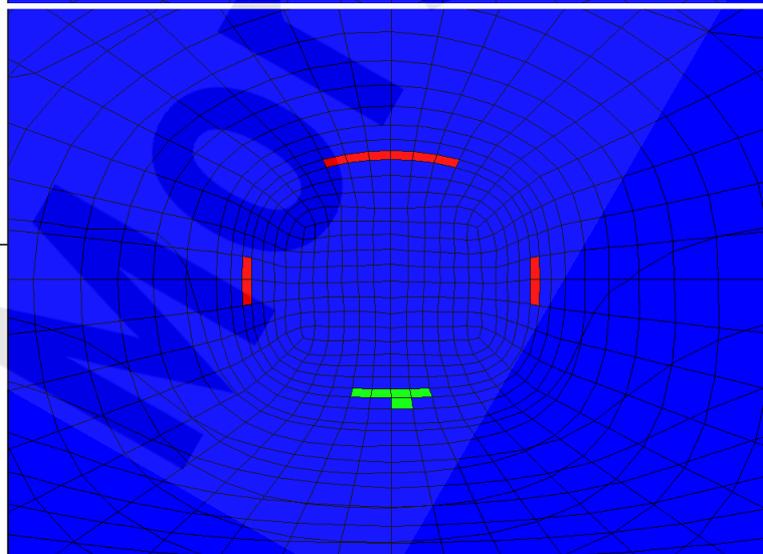
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 12:23:21 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

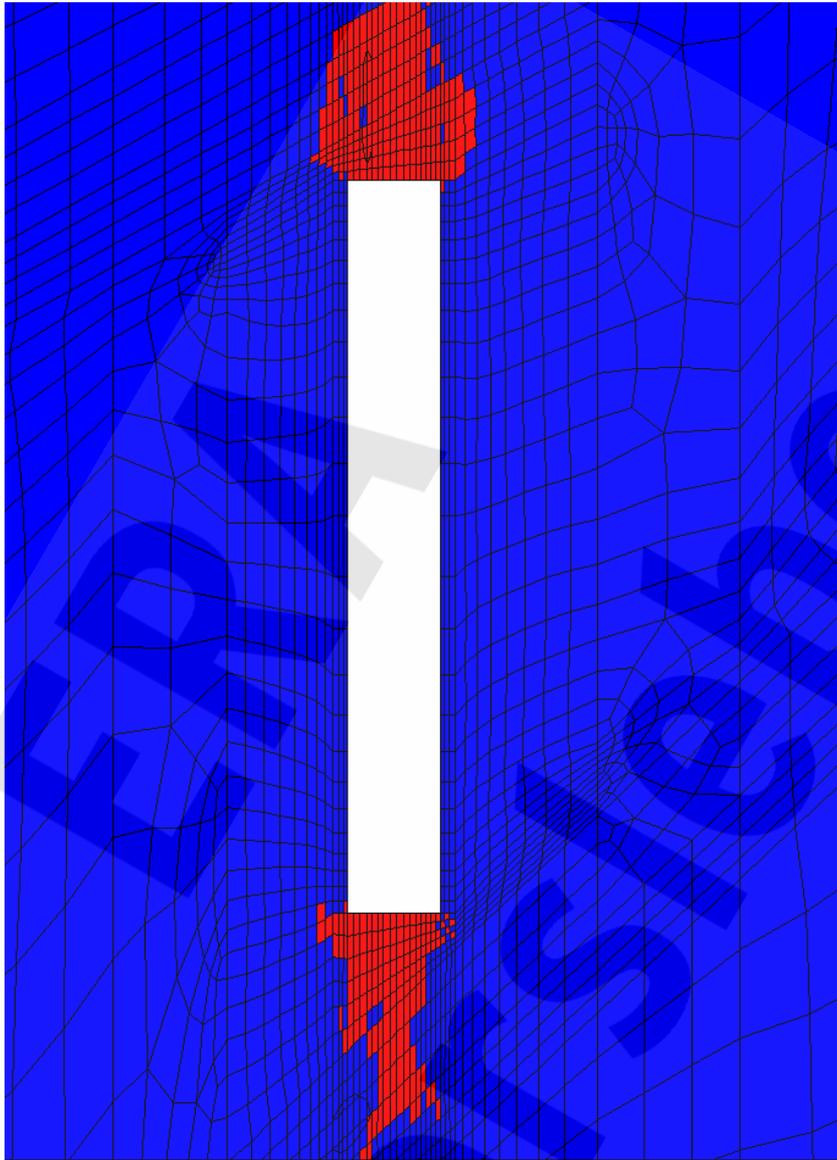
Anhang 56: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF3

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 206



Flac3D 2.20

12:15:08 Tue Jun 08 2004

Center: Rotation

X: 4.000e+001 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: 0.000

Z: -3.320e+002 Z: 180.000

Dist: 7.500e+001 Ang.:

X: 22.500

Y: 22.500

Plane Normal:

X: 0.000e+000 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: -1.000

Z: 0.000e+000 Z: 0.000

Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane

■ S_{max} < p_{lauge} (Fluidkriterium erfüllt)

■ S_{max} > p_{lauge} (Fluidkriterium verletzt)

(S_{max}: kleinste Hauptspannung, Konvention: Drücke sind < 0)

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

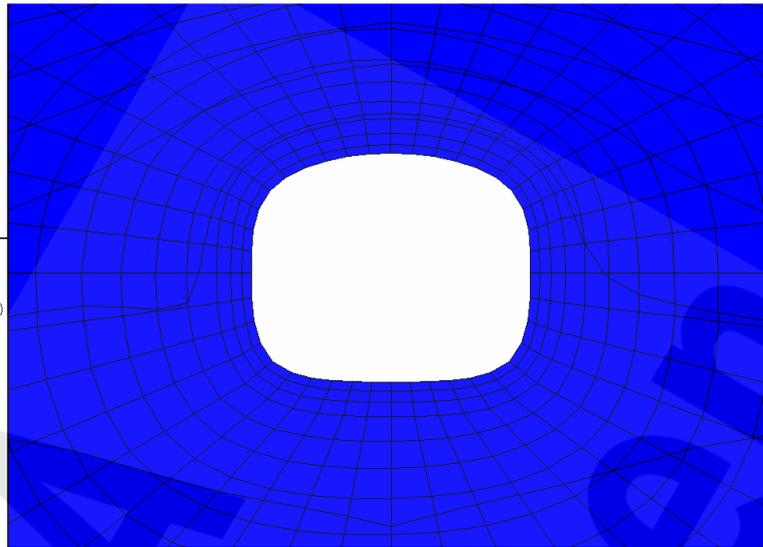


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 207

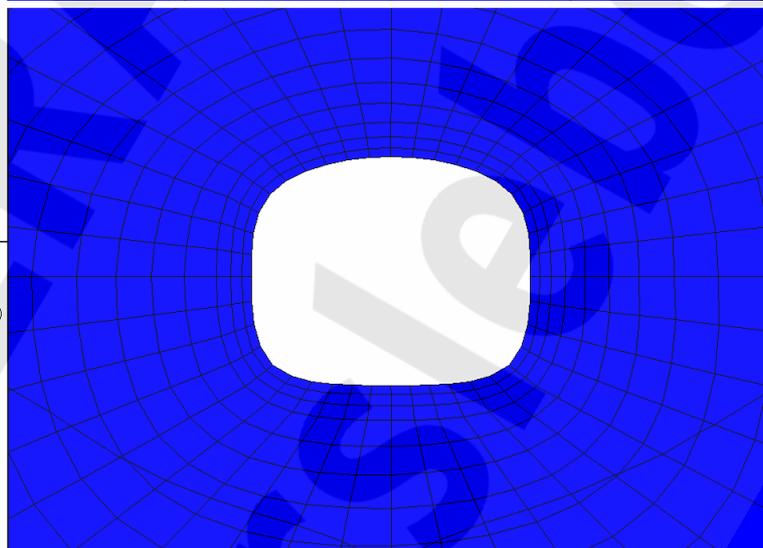
Flac3D 2.20
 13:03:48 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



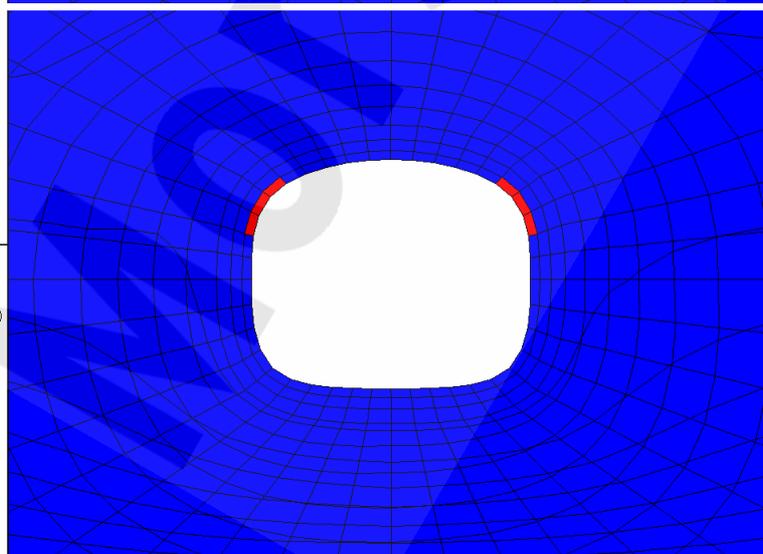
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 13:04:33 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 13:05:12 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

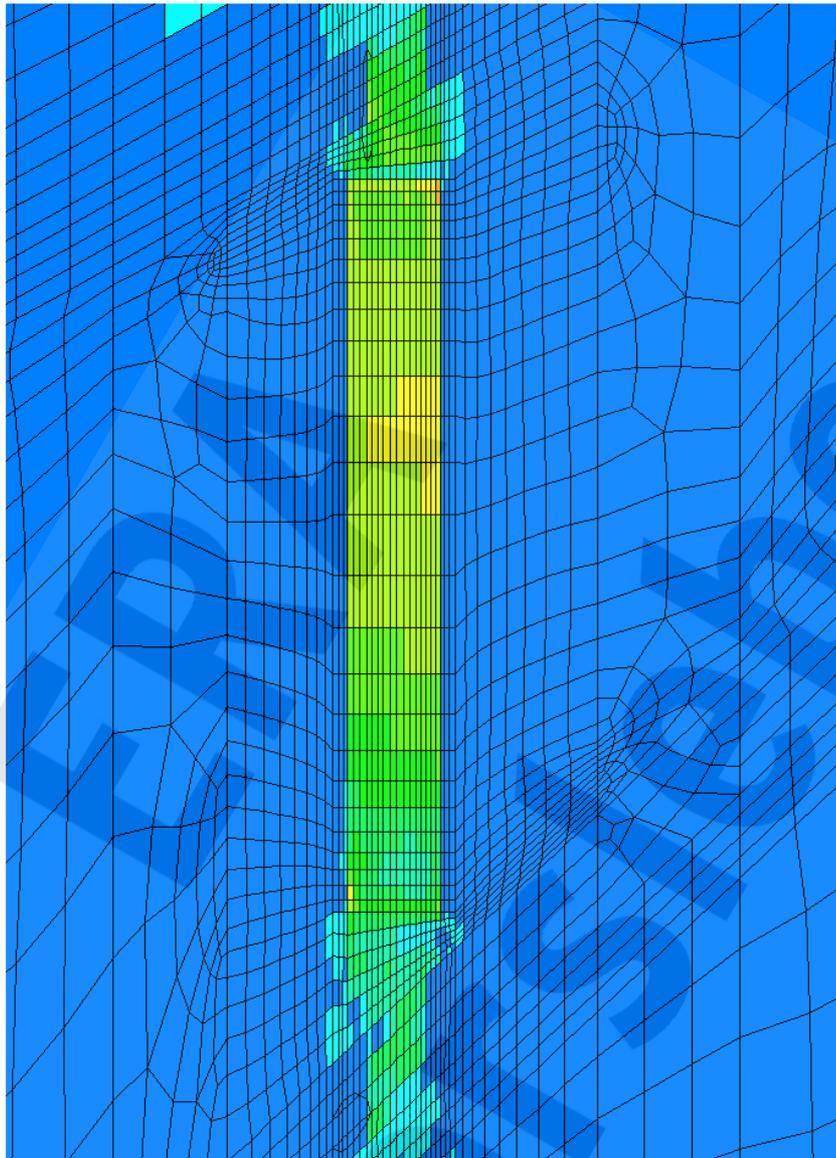
Anhang 58: Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF3

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

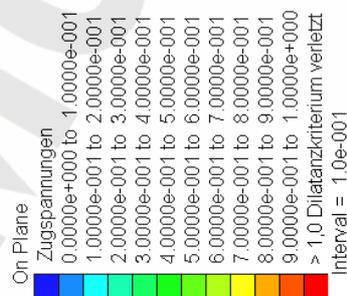
Blatt: 208



Flac3D 2.20

13:34:32 Tue Jun 08 2004
 Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 209

Flac3D 2.20
 13:43:41 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 13:44:13 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

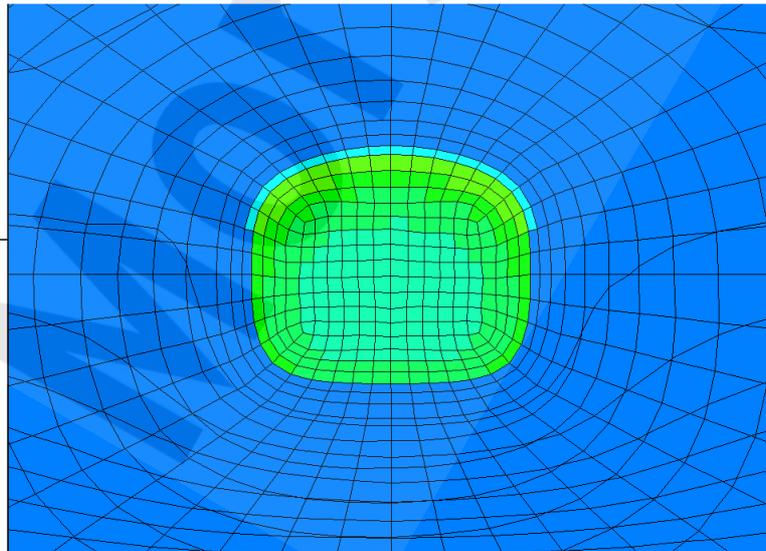
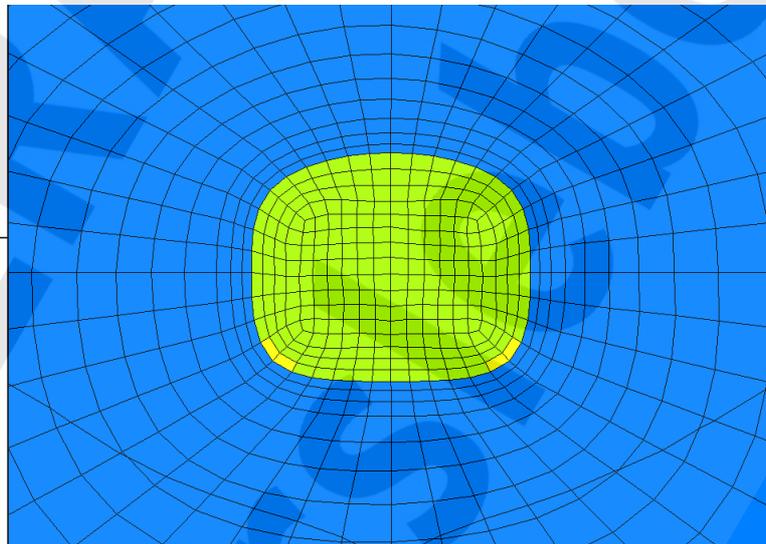
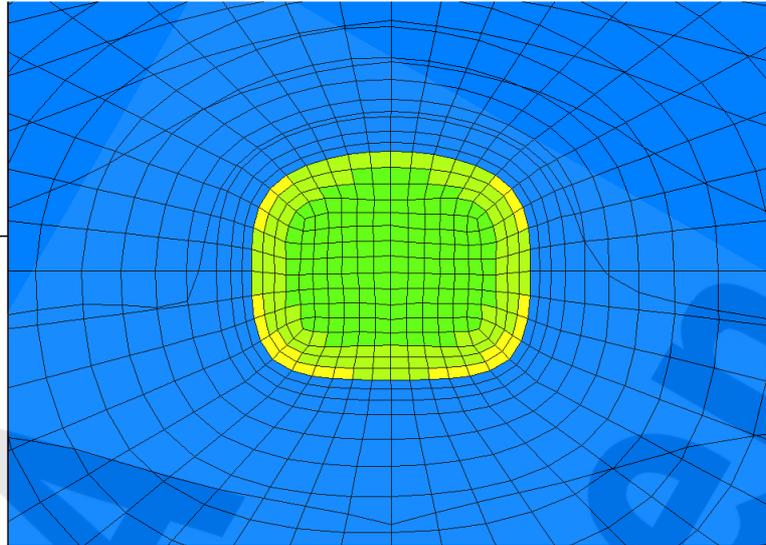
Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 13:44:49 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



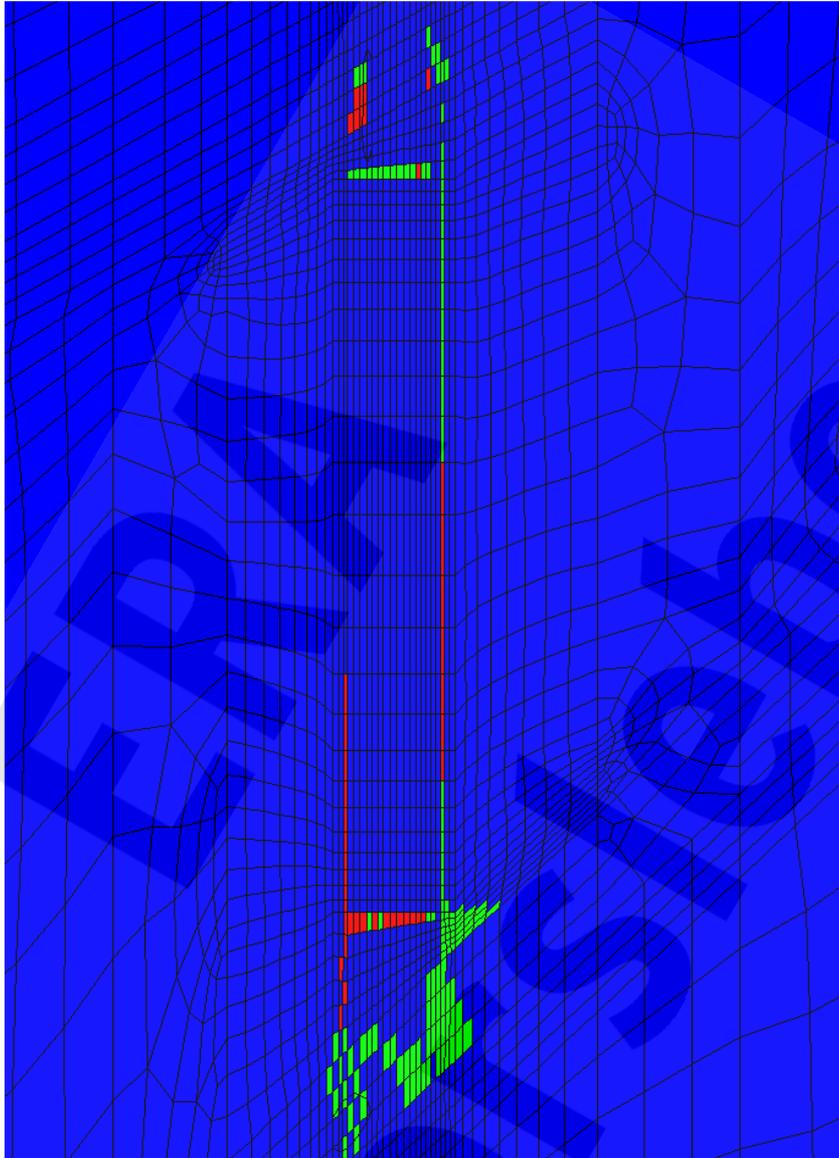
Anhang 60: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF3

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 210



Flac3D 2.20

13:33:57 Tue Jun 08 2004
 Rotation
 Center: X: 4.000e+001 Y: 5.000e+001 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.: X: 22.500 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000 Y: -1.000 Z: 0.000
 Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 nicht geschädigt
 Zugspannung
 Dilatanz

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

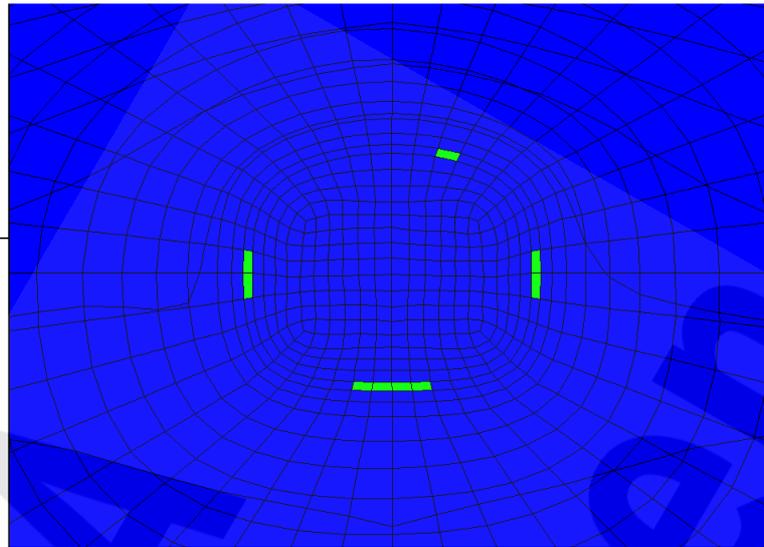


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 211

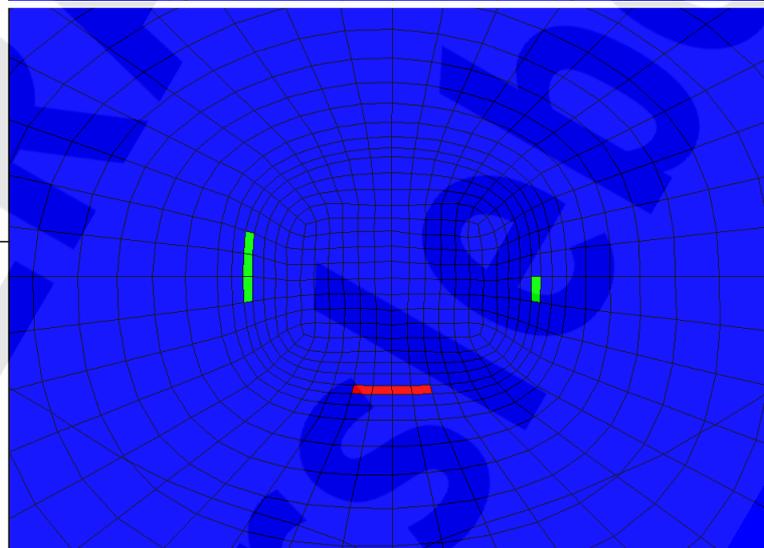
Flac3D 2.20
 13:40:15 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



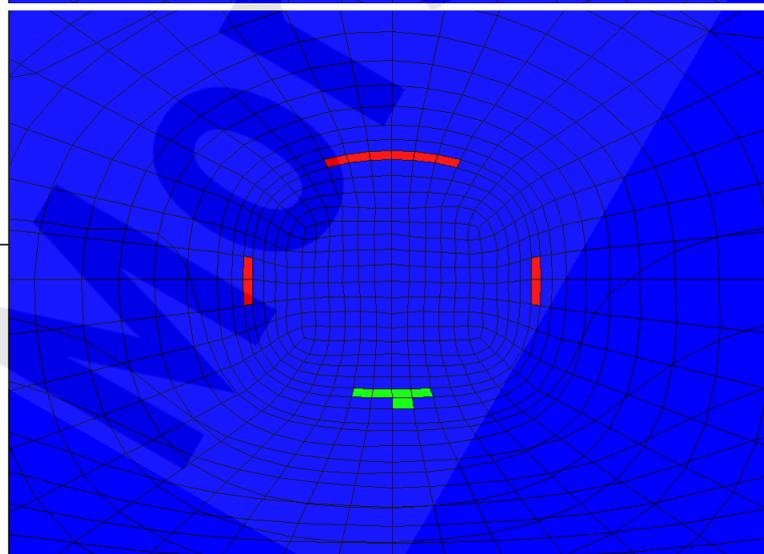
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 13:41:00 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 13:41:40 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

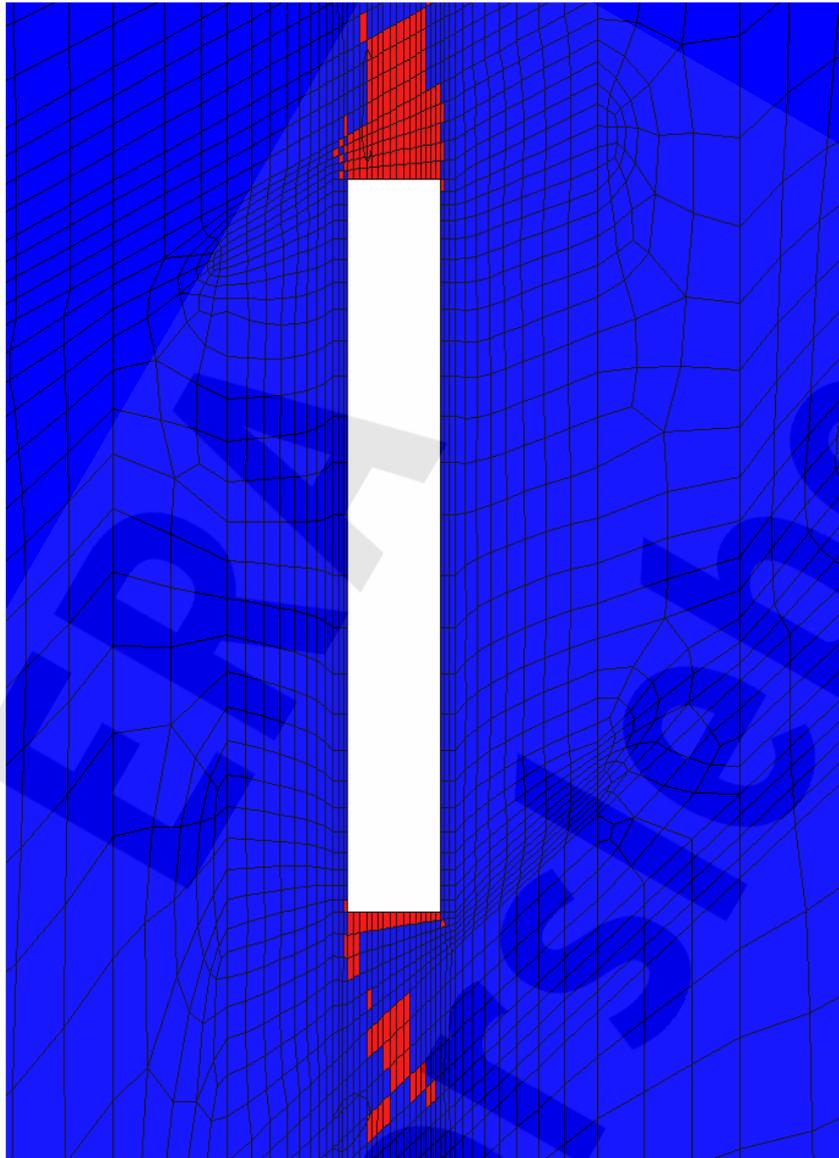
Anhang 62: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF3

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 212



Flac3D 2.20

13:35:07 Tue Jun 08 2004

Center: X: 4.000e+001 Y: 5.000e+001 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.: X: 22.500 Y: 22.500
 Plane Origin: X: 0.000e+000 Y: 5.000e+001 Z: 0.000e+000
 Plane Normal: X: 0.000 Y: -1.000 Z: 0.000
 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane
 S_max < p_laue (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_laue (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max: kleinste Hauptspannung, Konvention: Drücke sind < 0)

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 213

Flac3D 2.20

13:46:57 Tue Jun 08 2004

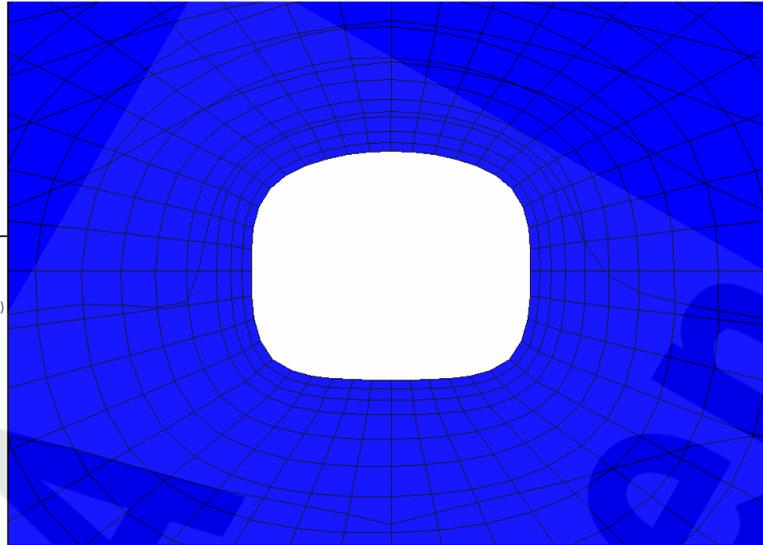
Center: Rotation
X: 2.675e+001 X: 0.000
Y: 5.000e+001 Y: 0.000
Z: -3.310e+002 Z: 90.000
Dist: 2.000e+001 Ang:
X: 22.500
Y: 22.500
Plane Origin: Plane Normal:
X: 2.675e+001 X: 1.000
Y: 5.000e+001 Y: 0.000
Z: 0.000e+000 Z: 0.000
Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane

■ S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
■ S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)

(S_max: kleinste Hauptspannung,
Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20

13:47:44 Tue Jun 08 2004

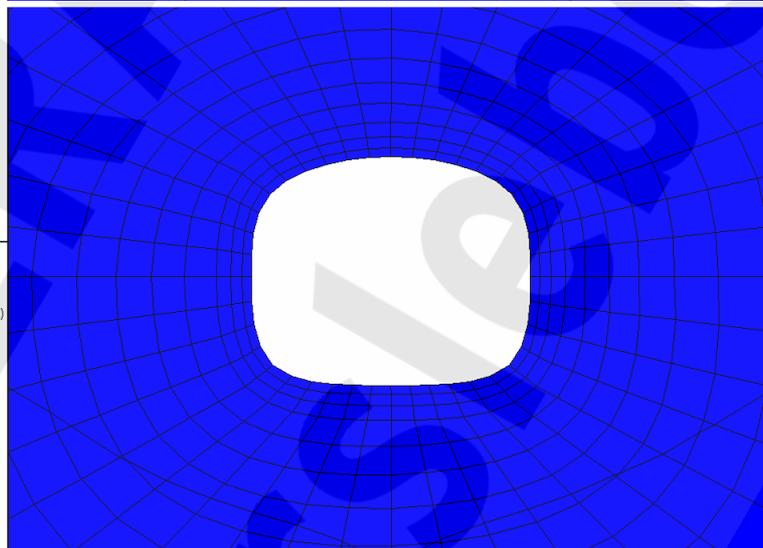
Center: Rotation
X: 3.870e+001 X: 0.000
Y: 5.000e+001 Y: 0.000
Z: -3.310e+002 Z: 90.000
Dist: 2.000e+001 Ang:
X: 22.500
Y: 22.500
Plane Origin: Plane Normal:
X: 3.870e+001 X: 1.000
Y: 5.000e+001 Y: 0.000
Z: 0.000e+000 Z: 0.000
Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane

■ S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
■ S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)

(S_max: kleinste Hauptspannung,
Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20

13:48:22 Tue Jun 08 2004

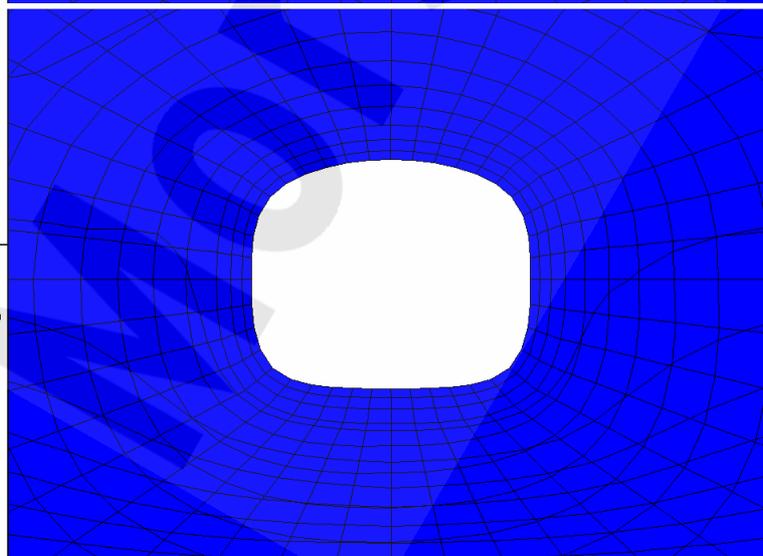
Center: Rotation
X: 5.075e+001 X: 0.000
Y: 5.000e+001 Y: 0.000
Z: -3.310e+002 Z: 90.000
Dist: 2.000e+001 Ang:
X: 22.500
Y: 22.500
Plane Origin: Plane Normal:
X: 5.075e+001 X: 1.000
Y: 5.000e+001 Y: 0.000
Z: 0.000e+000 Z: 0.000
Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane

■ S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
■ S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)

(S_max: kleinste Hauptspannung,
Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

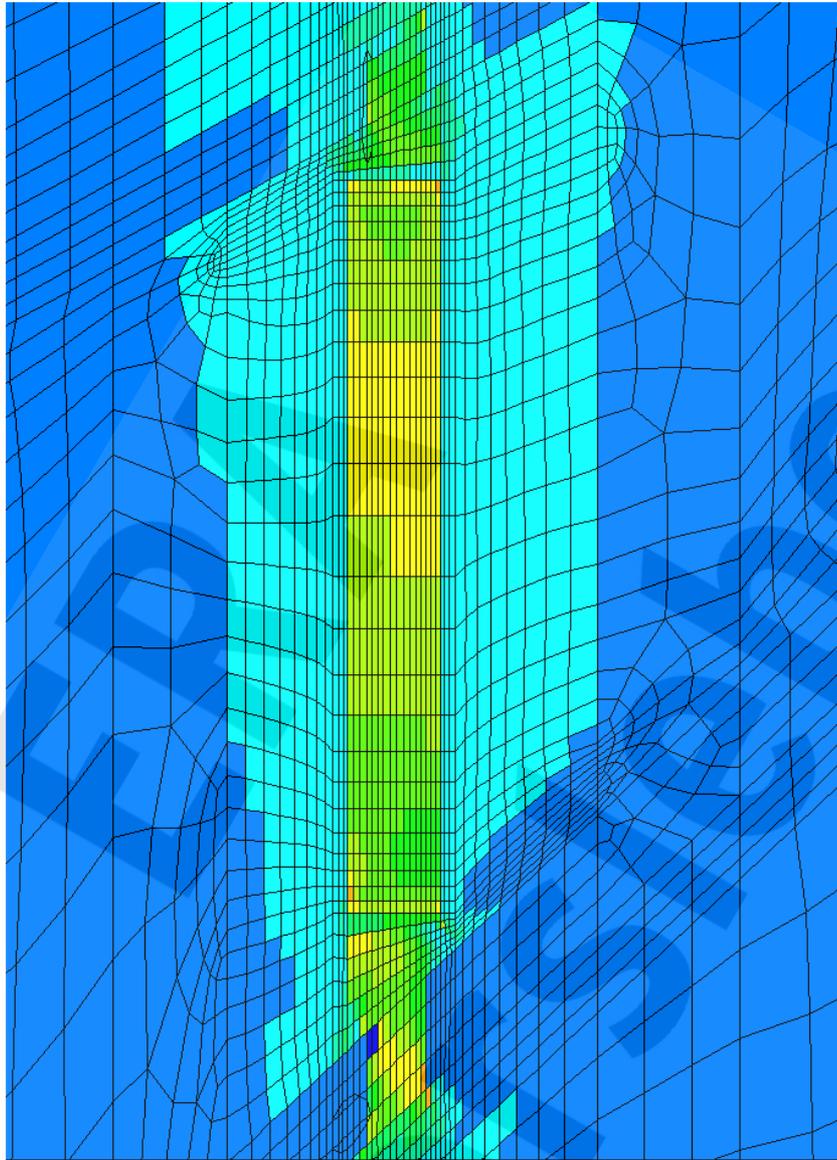
Anhang 64: Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten),
Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF3

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 214



Flac3D 2.20

16:34:16 Tue Jun 08 2004

Center: Rotation

X: 4.000e+001 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: 0.000

Z: -3.320e+002 Z: 180.000

Dist: 7.500e+001 Ang.:

X: 22.500

Y: 22.500

Plane Normal:

X: 0.000e+000 X: 0.000

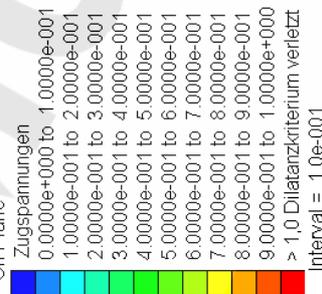
Y: 5.000e+001 Y: -1.000

Z: 0.000e+000 Z: 0.000

Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane



Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

Anhang 65: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4404 (2400 a), BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 215

Flac3D 2.20
 16:45:38 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 16:46:19 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

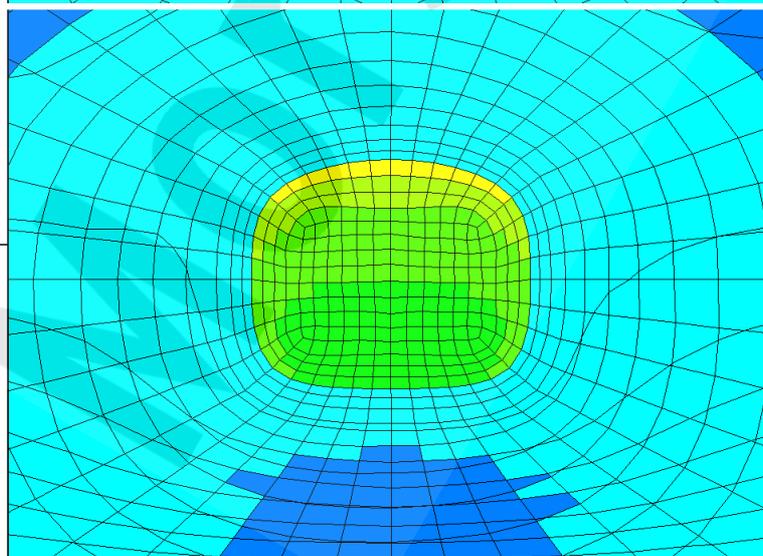
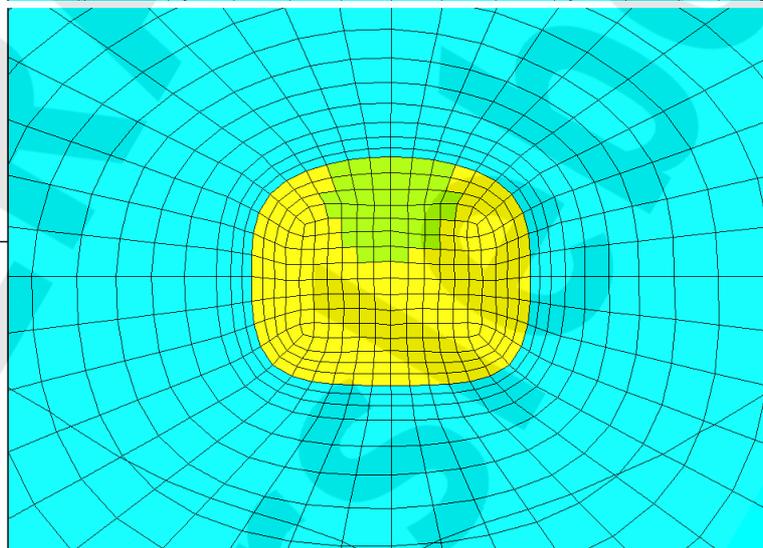
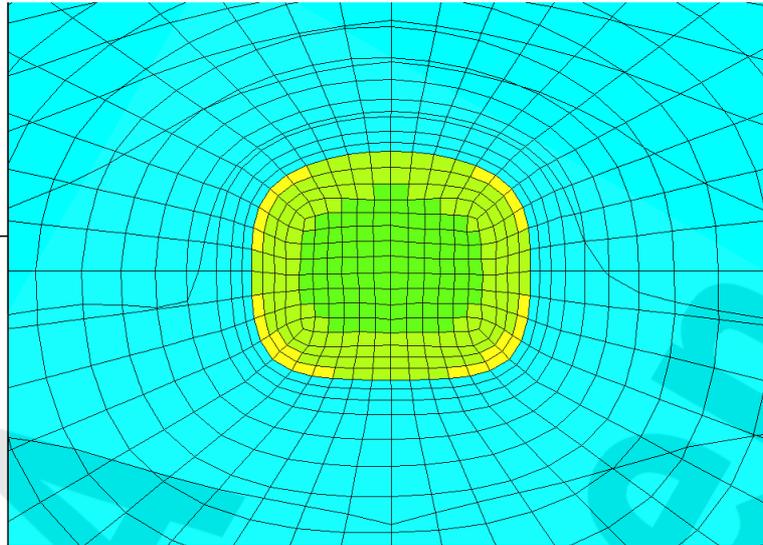
Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 16:46:54 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



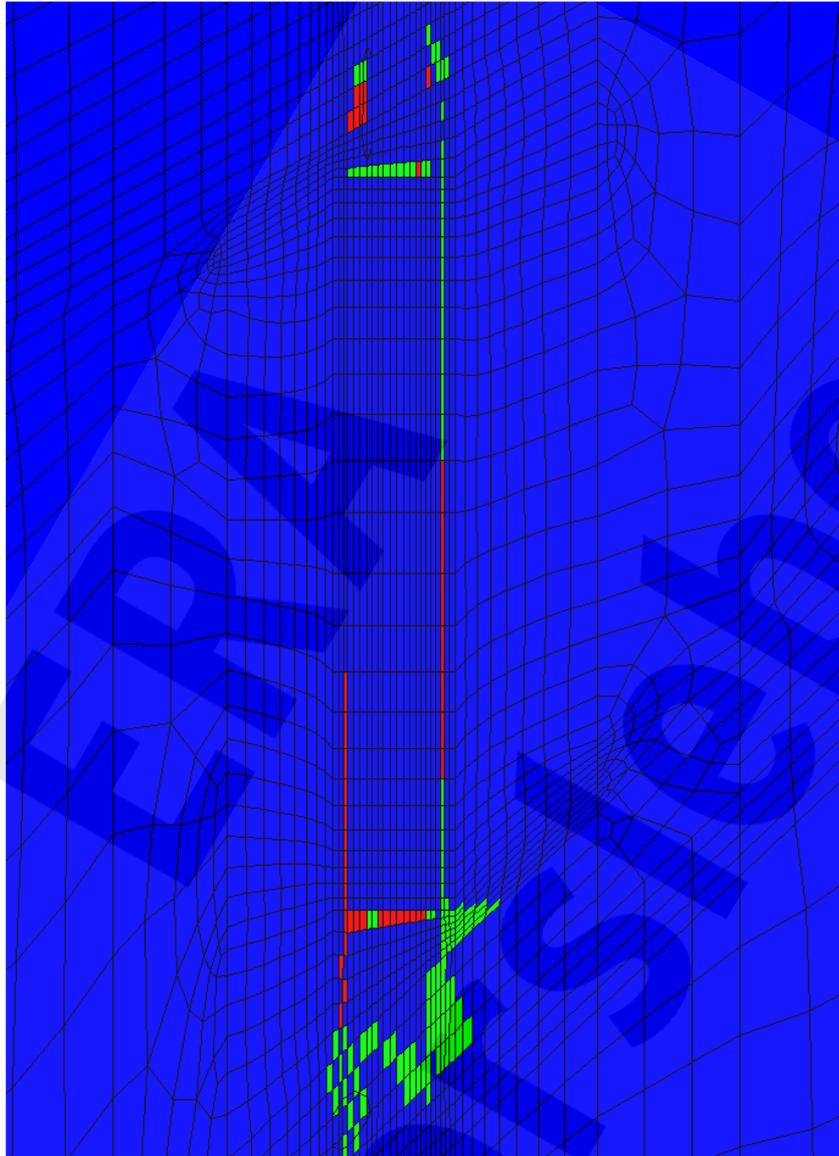
Anhang 66: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4404 (2400 a), BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 216



Flac3D 2.20

16:33:42 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 4.000e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.320e+002 Z: 180.000
 Dist: 7.500e+001 Ang.:
 X: 22.500 X: 22.500
 Y: 22.500 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 0.000e+000 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: -1.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 nicht geschädigt
 Zugspannung
 Dilatanz

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

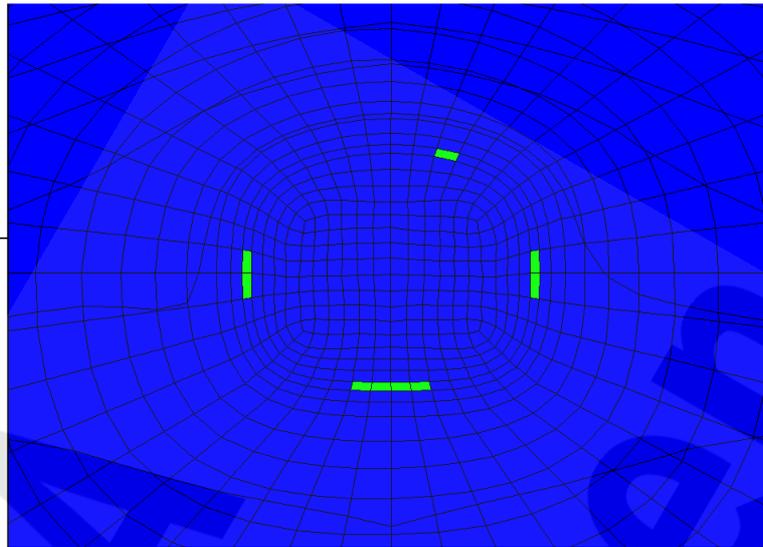


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 217

Flac3D 2.20
 16:39:44 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

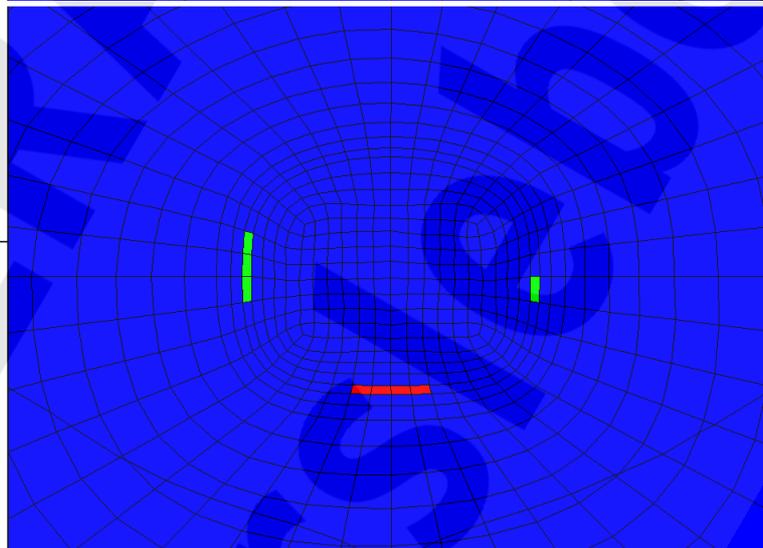
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 16:40:20 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

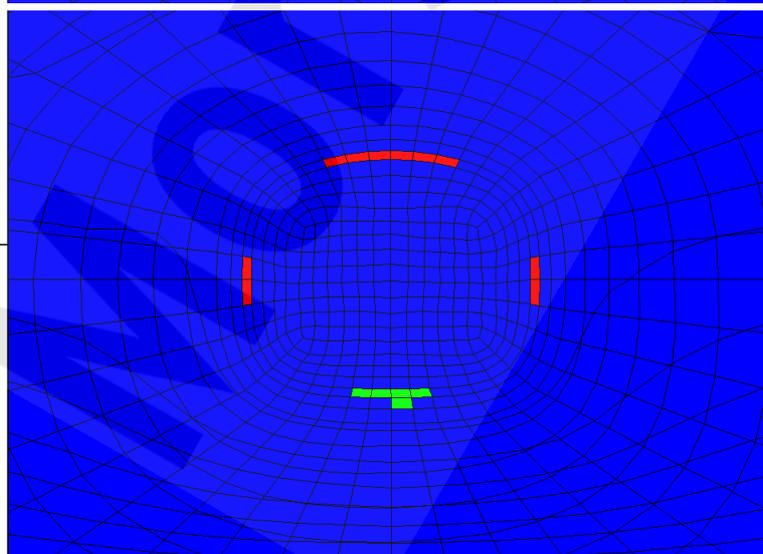
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 16:42:36 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

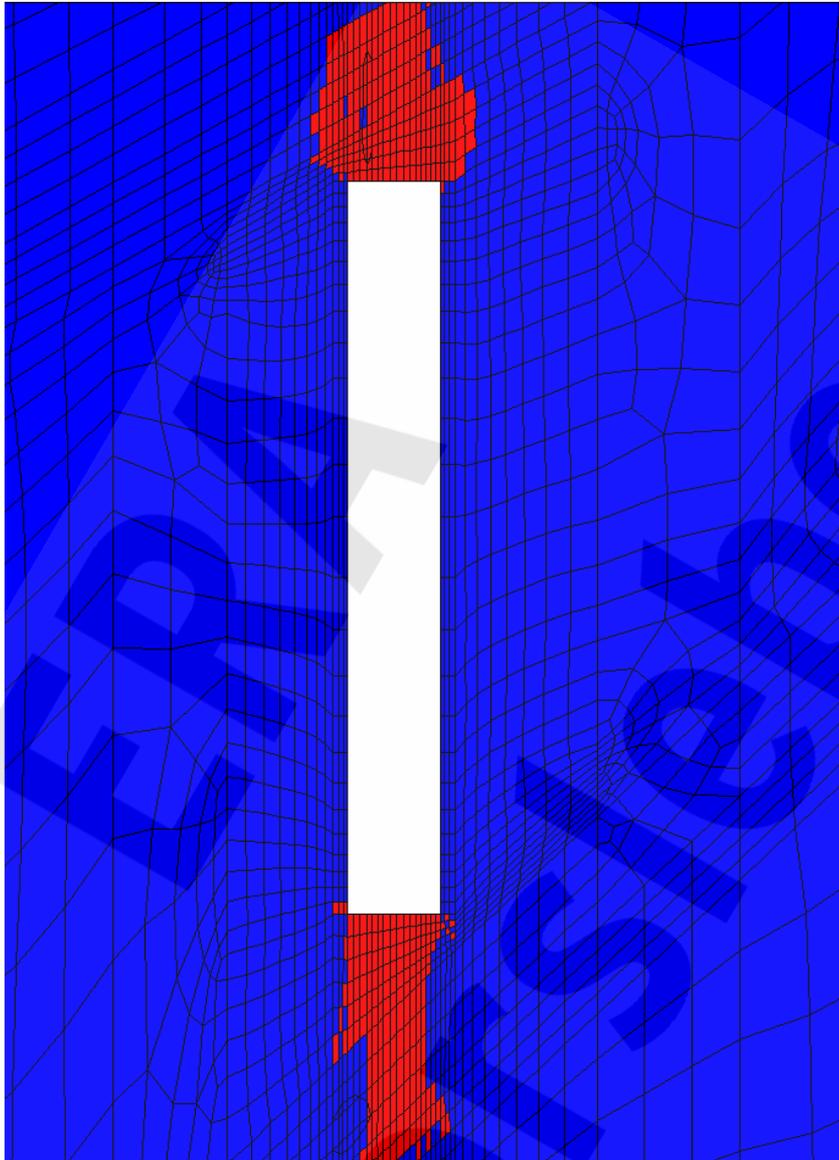
Anhang 68: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4404 (2400 a), BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 218



Flac3D 2.20

16:34:57 Tue Jun 08 2004

Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000e+000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane

■ S_max < p_laue (Fluidkriterium erfüllt)
 ■ S_max > p_laue (Fluidkriterium verletzt)

(S_max: kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drucke sind < 0)

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

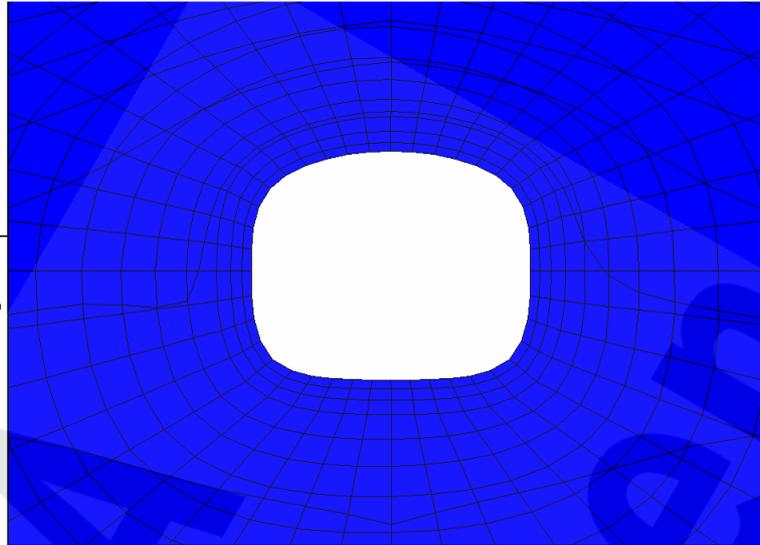


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 219

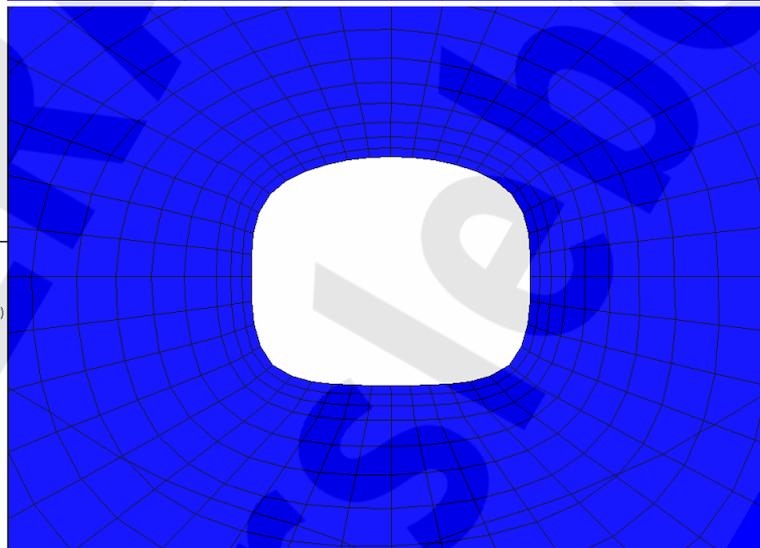
Flac3D 2.20
 16:49:02 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



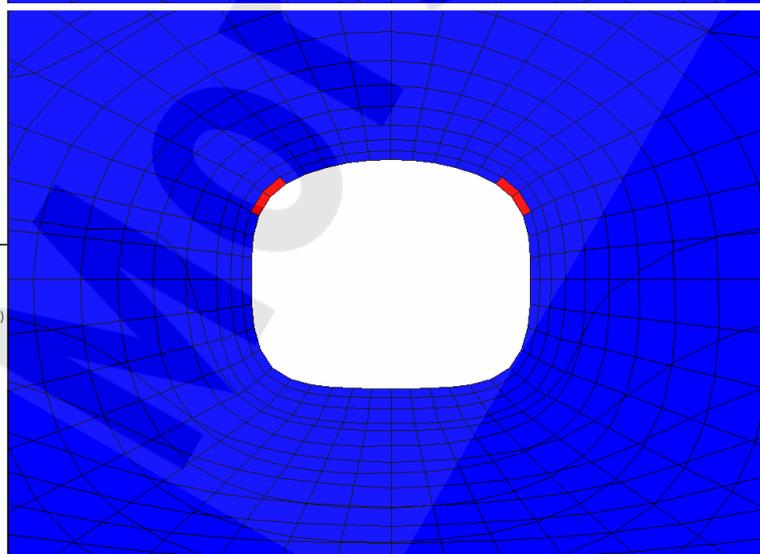
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 16:49:52 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 16:50:42 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

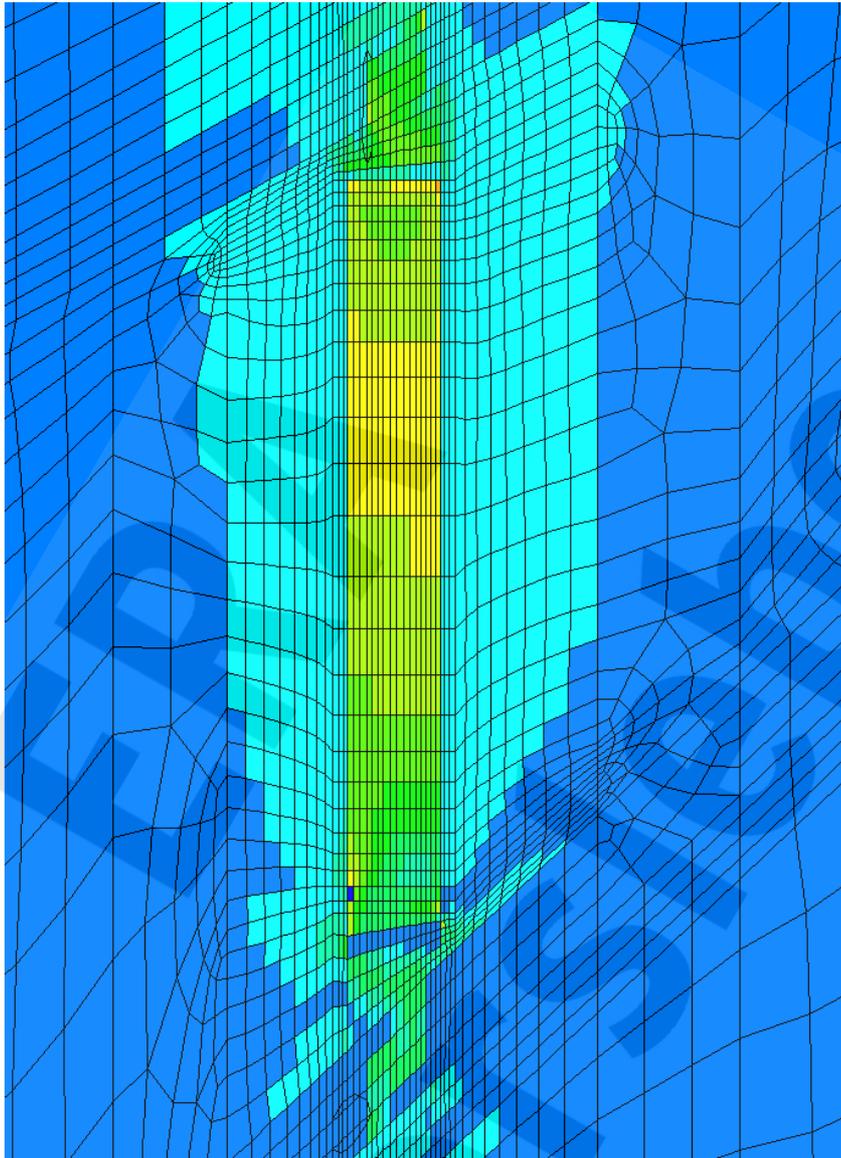
Anhang 70: Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4404 (2400 a), BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 220



Flac3D 2.20

17:15:13 Tue Jun 08 2004

Center: Rotation

X: 4.000e+001 X: 0.000

Y: 5.000e+001 Y: 0.000

Z: -3.320e+002 Z: 180.000

Dist: 7.500e+001 Ang.:

X: 22.500

Y: 22.500

Plane Normal:

X: 0.000e+000 X: 0.000

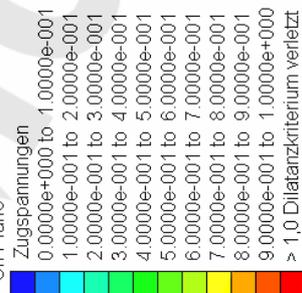
Y: 5.000e+001 Y: -1.000

Z: 0.000e+000 Z: 0.000

Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium

On Plane



Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

Anhang 71: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S1, Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 221

Flac3D 2.20
 17:23:35 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 17:24:32 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

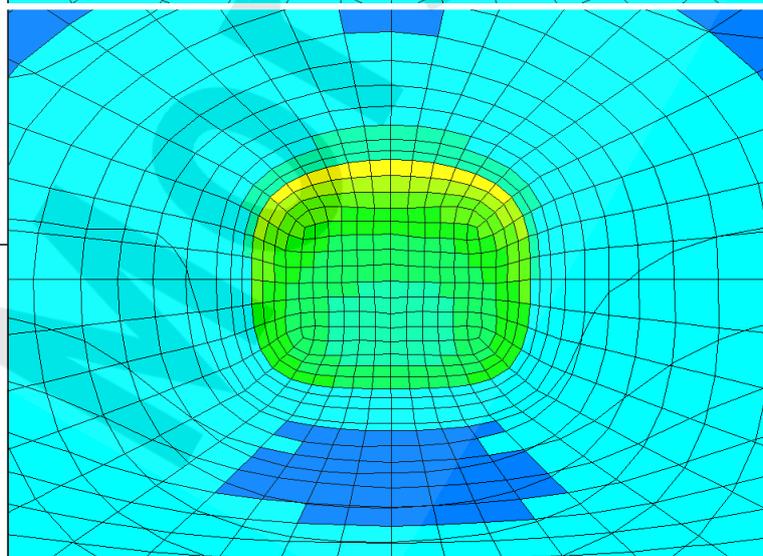
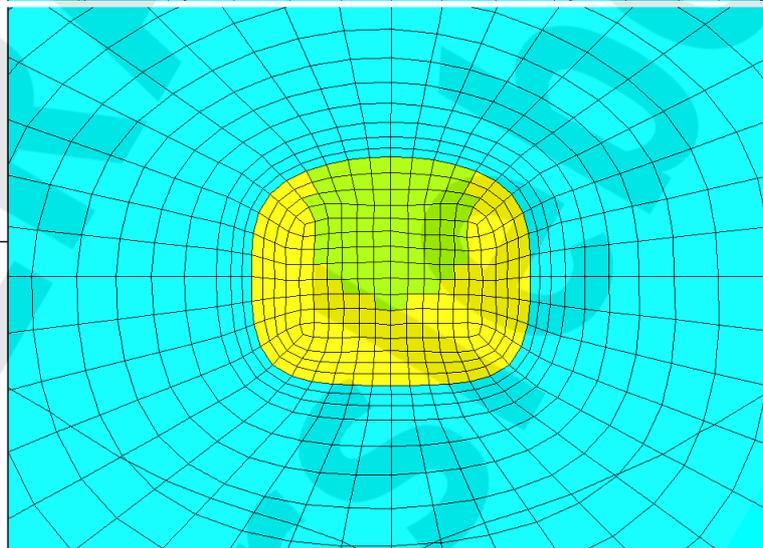
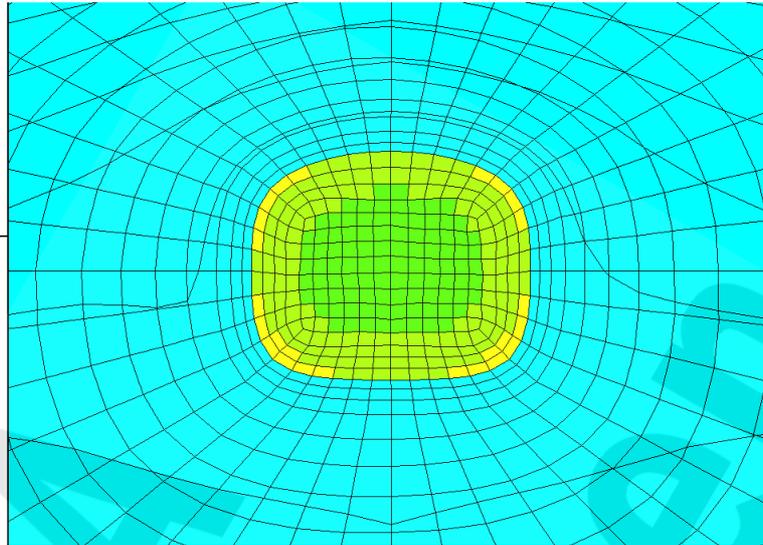
Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 17:25:10 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



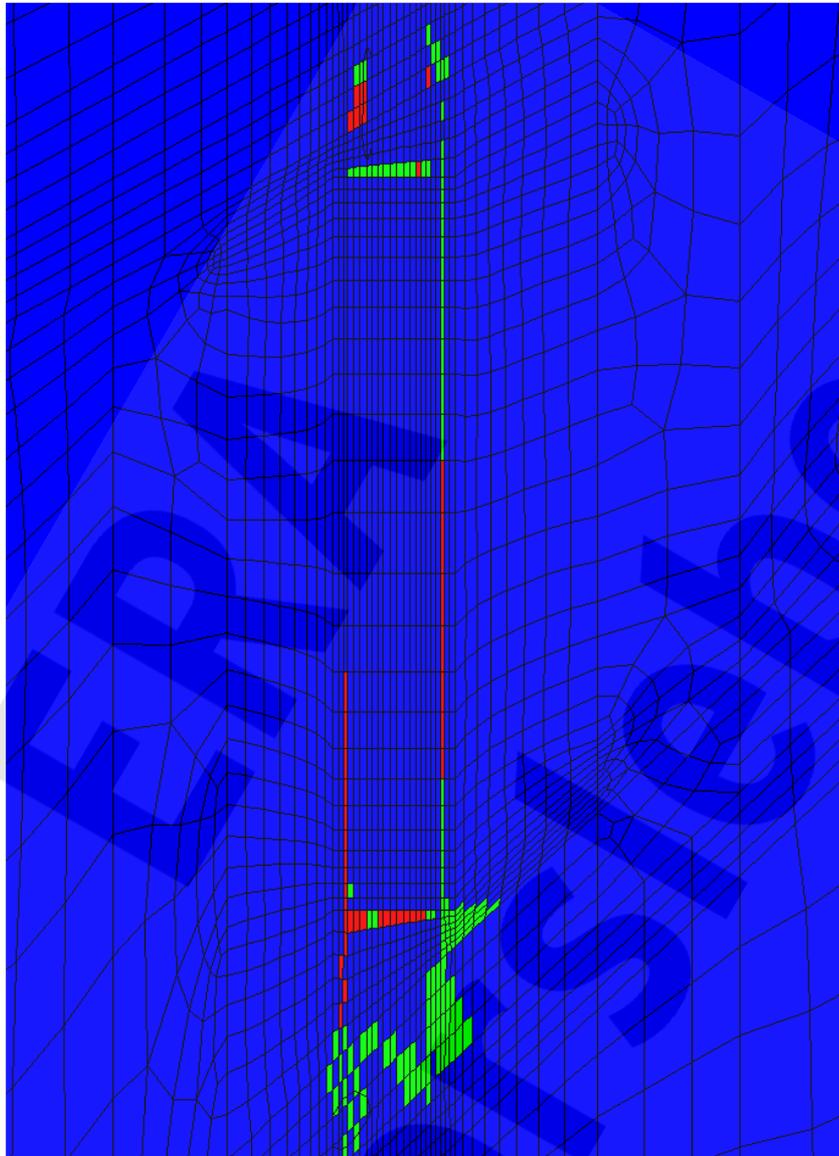
Anhang 72: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 222



Flac3D 2.20

17:14:34 Tue Jun 08 2004
 Rotation
 Center: X: 4.000e+001 Y: 5.000e+001 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.: X: 22.500 Y: 22.500
 Plane Normal:
 X: 0.000 Y: -1.000 Z: 0.000
 Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 nicht geschädigt
 Zugspannung
 Dilatanz

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

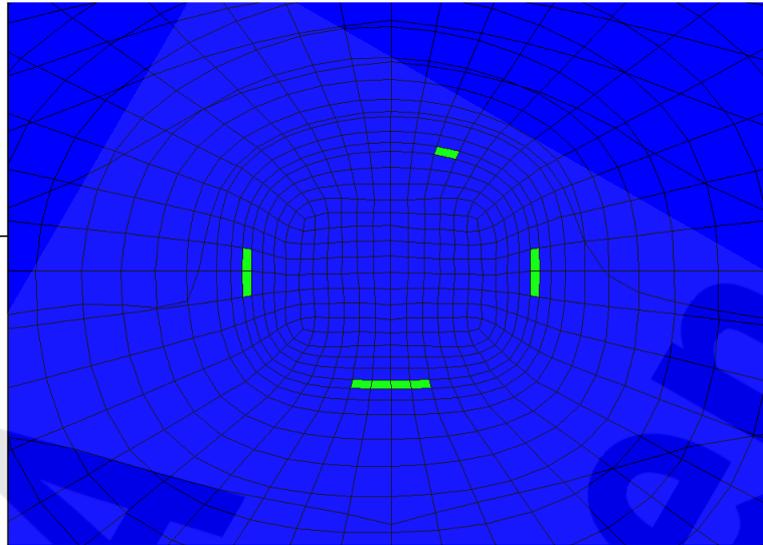


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 223

Flac3D 2.20
 17:20:16 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

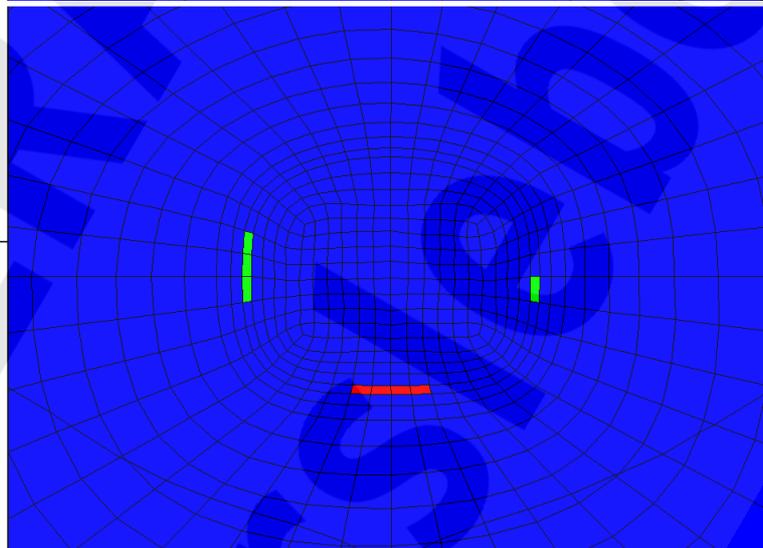
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 17:20:59 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

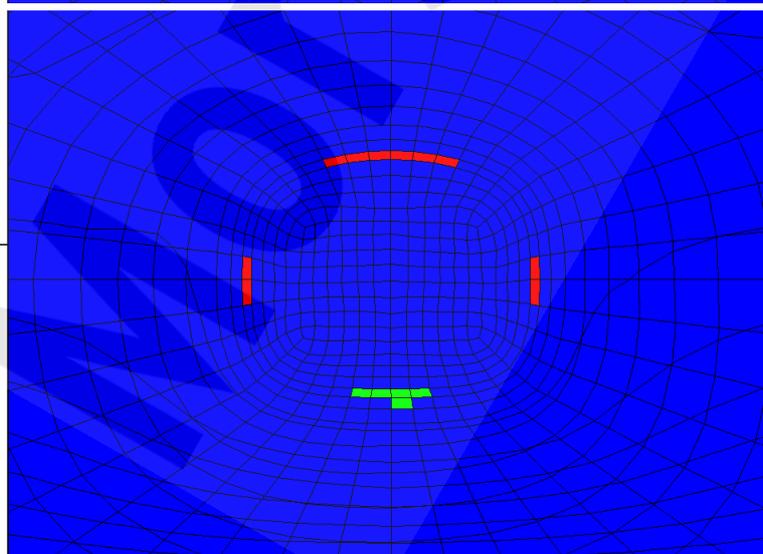
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 17:21:35 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

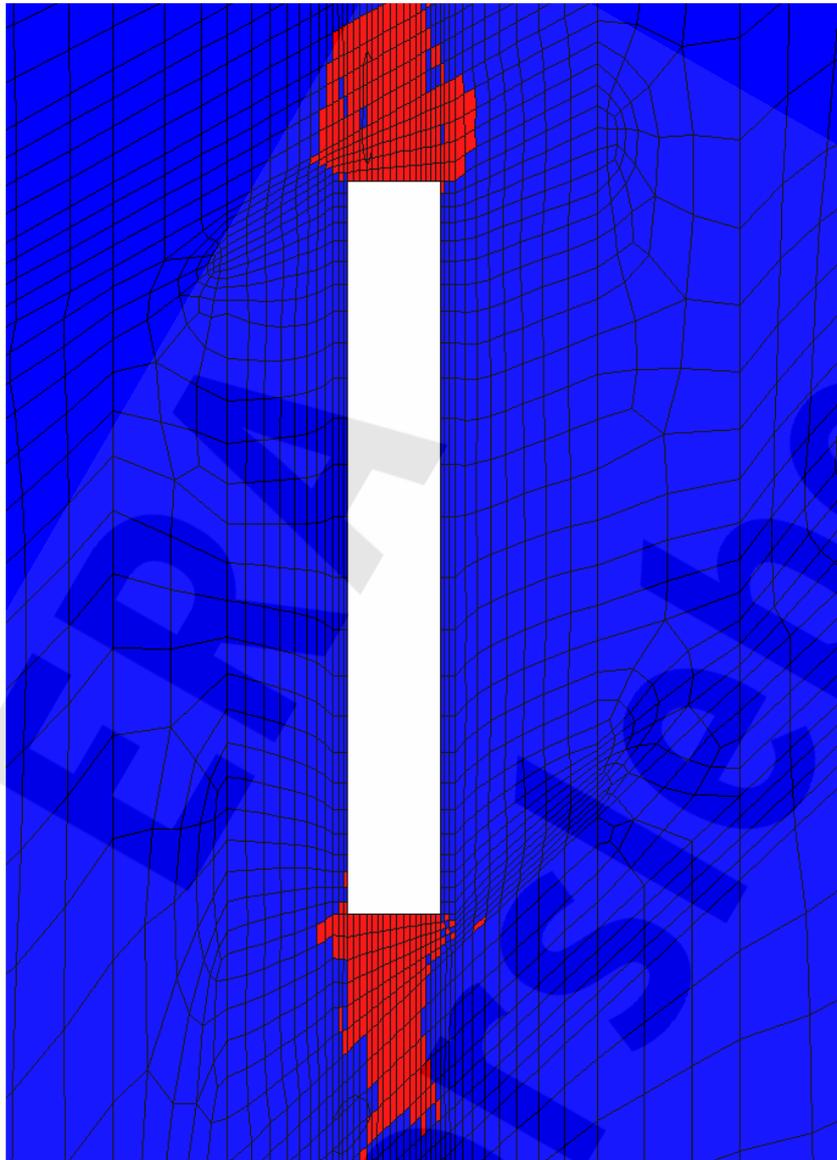
Anhang 74: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 224



Flac3D 2.20

17:15:50 Tue Jun 08 2004

Center:
 Rotation
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500

Plane Origin:
 X: 0.000e+000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane

■ S_max < p_laue (Fluidkriterium erfüllt)
 ■ S_max > p_laue (Fluidkriterium verletzt)

(S_max: kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

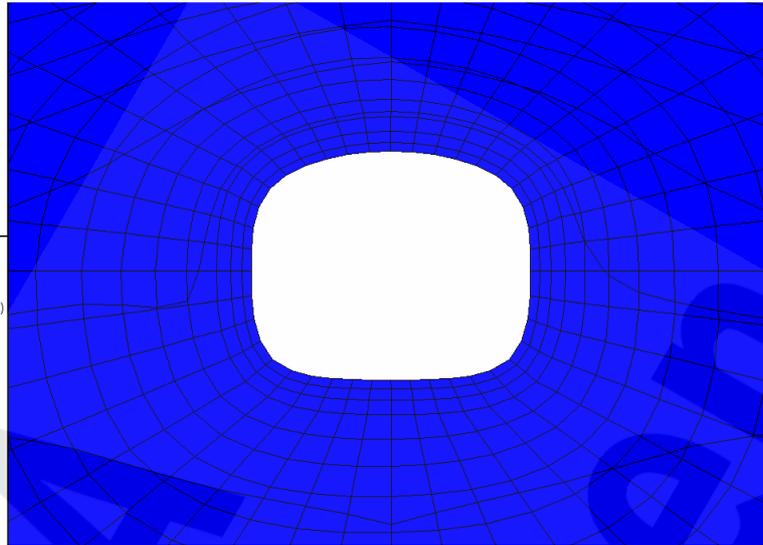


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 225

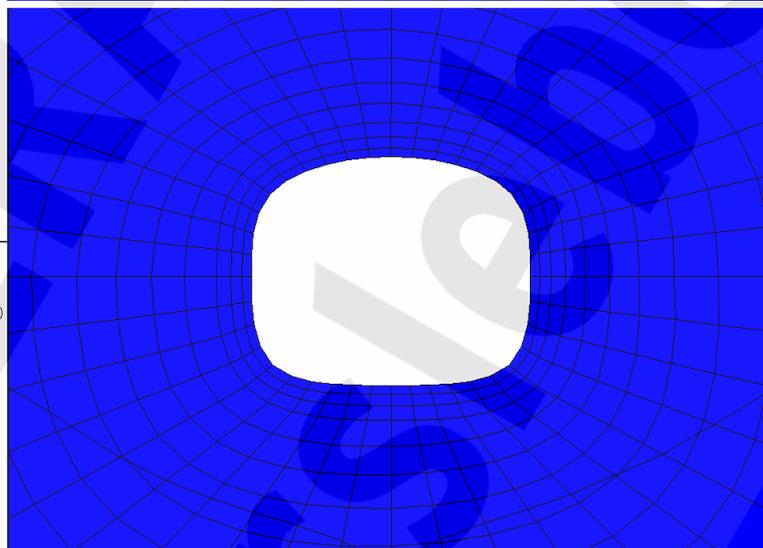
Flac3D 2.20
 17:27:26 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



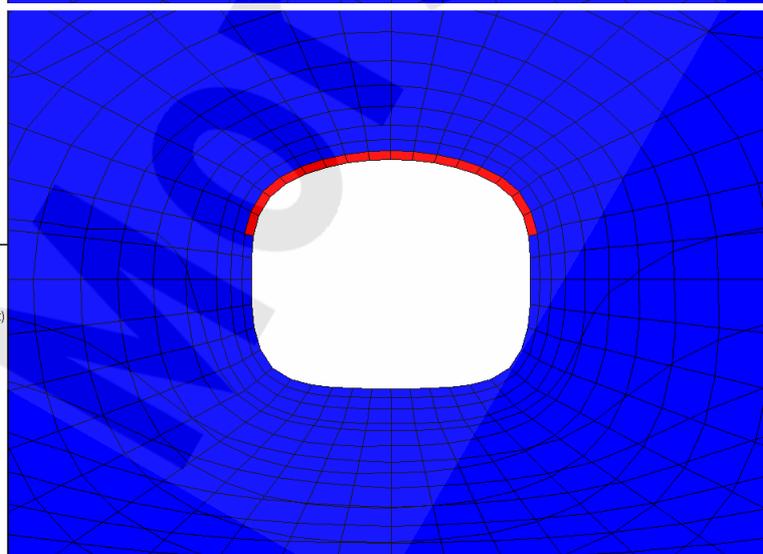
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 17:27:59 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 17:28:29 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_lauge (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_lauge (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

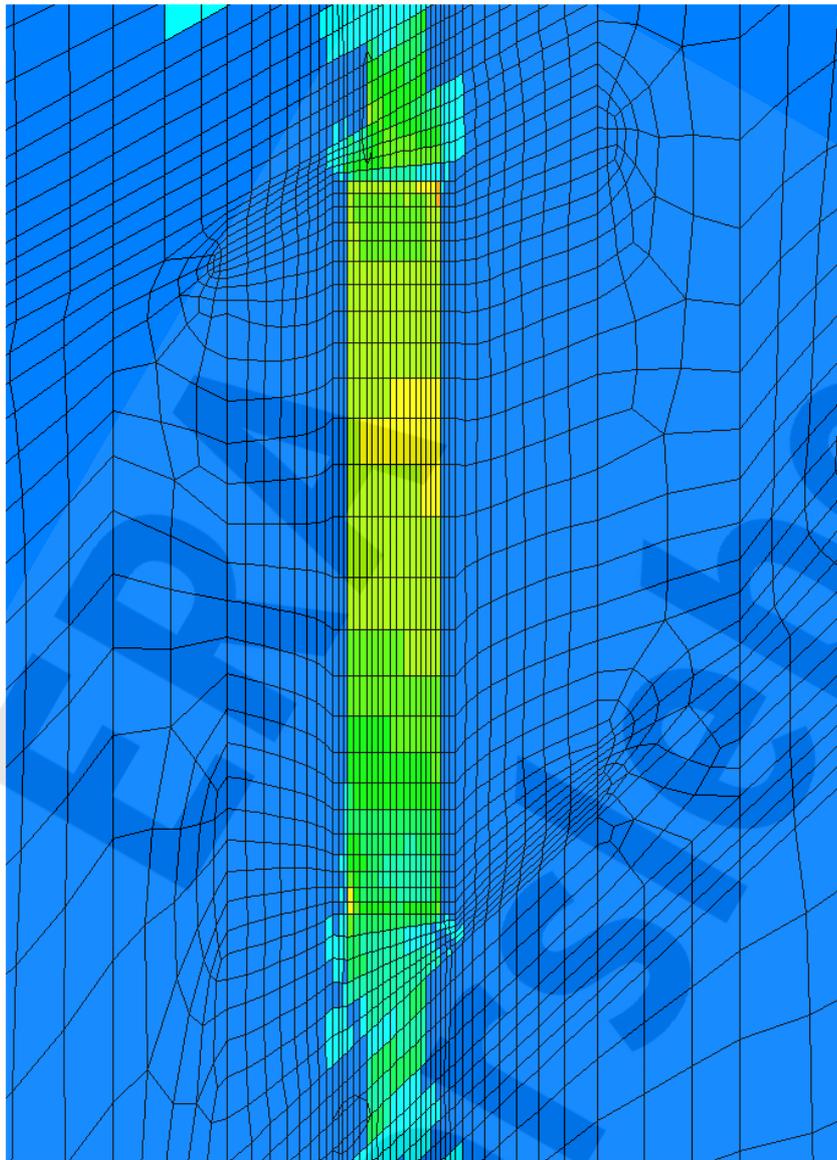
Anhang 76: Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/4504 (2500 a), BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

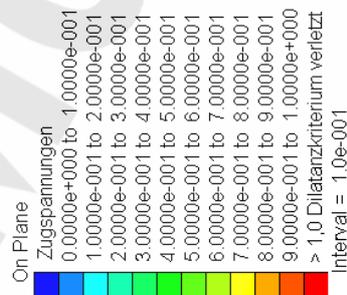
Blatt: 226



Flac3D 2.20

17:51:17 Tue Jun 08 2004
 Center: X: 4.000e+001 Y: 5.000e+001 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.: X: 22.500 Y: 22.500
 Plane Normal: X: 0.000 Y: -1.000 Z: 0.000
 Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 227

Flac3D 2.20
 18:02:35 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 18:03:10 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

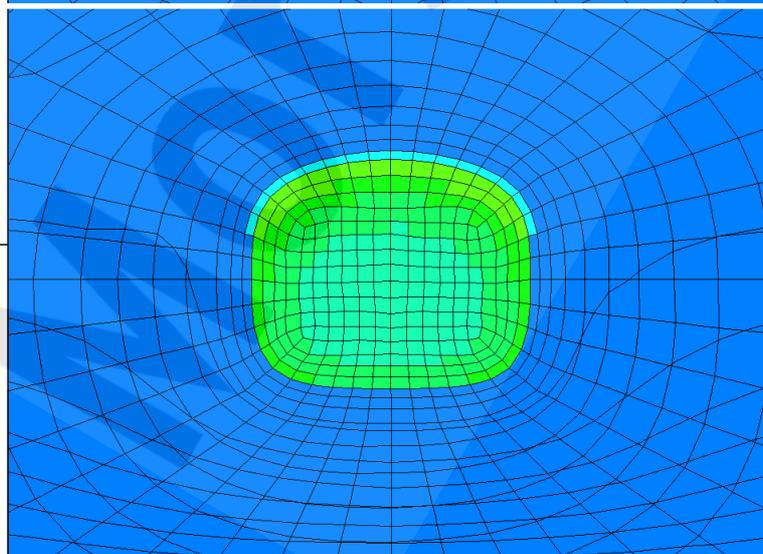
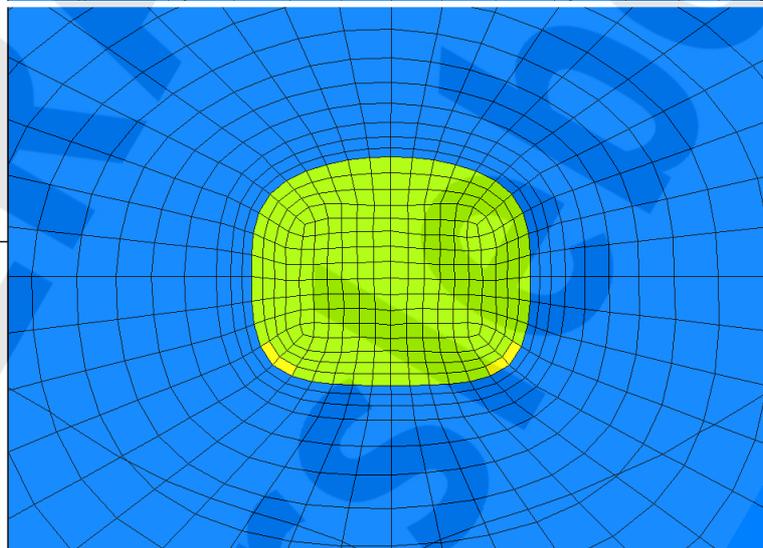
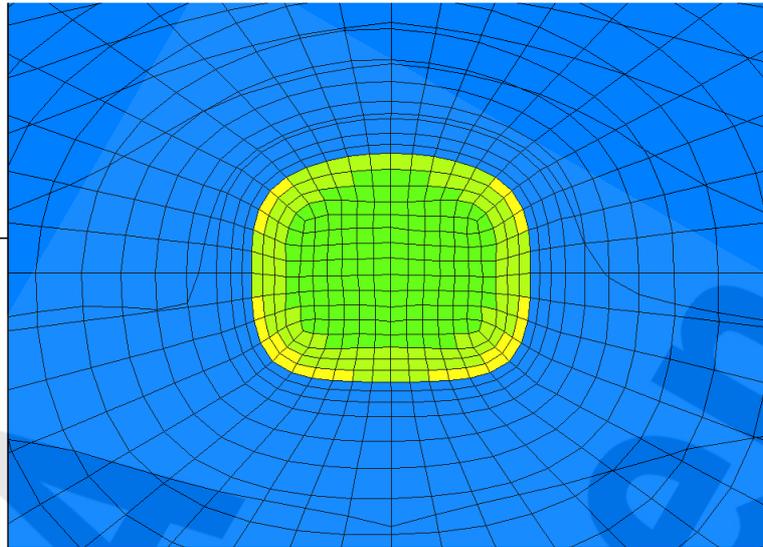
Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 18:03:43 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Dilatanzkriterium
 On Plane
 Zugspannungen
 0.0000e+000 to 1.0000e-001
 1.0000e-001 to 2.0000e-001
 2.0000e-001 to 3.0000e-001
 3.0000e-001 to 4.0000e-001
 4.0000e-001 to 5.0000e-001
 5.0000e-001 to 6.0000e-001
 6.0000e-001 to 7.0000e-001
 7.0000e-001 to 8.0000e-001
 8.0000e-001 to 9.0000e-001
 9.0000e-001 to 1.0000e+000
 > 1,0 Dilatanzkriterium verletzt
 Interval = 1.0e-001

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



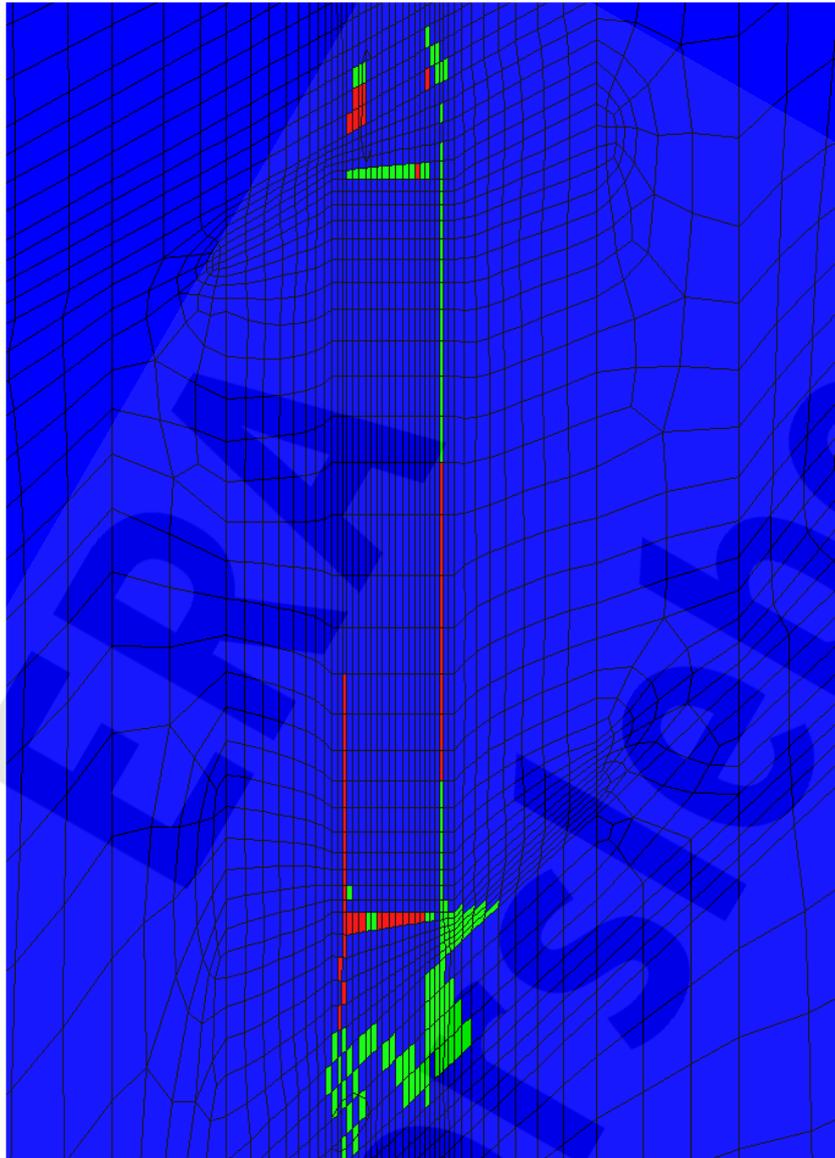
Anhang 78: Dilatanzkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 228



Flac3D 2.20

17:50:22 Tue Jun 08 2004
 Center: X: 4.000e+001 Y: 5.000e+001 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.: X: 22.500 Y: 22.500
 Plane Origin: X: 0.000e+000 Y: 5.000e+001 Z: 0.000e+000
 Plane Normal: X: 0.000 Y: -1.000 Z: 0.000
 Trans.: 3.11 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen

On Plane
 nicht geschädigt
 Zugspannung
 Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

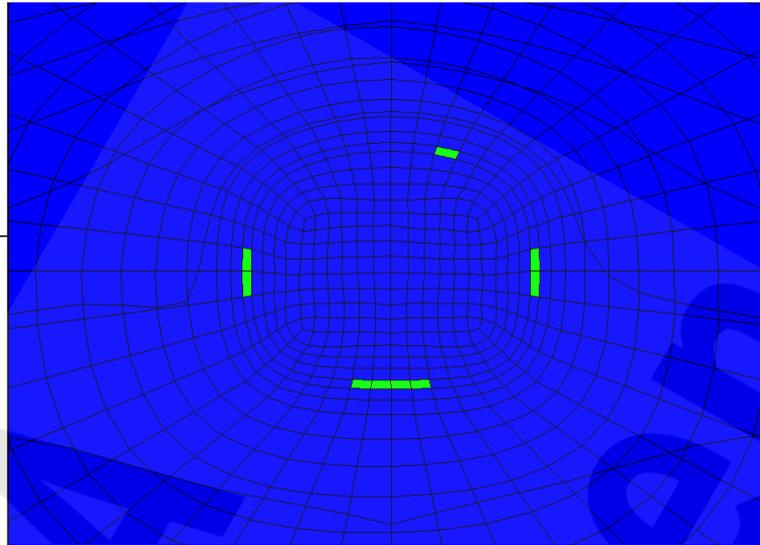


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 229

Flac3D 2.20
 17:59:37 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

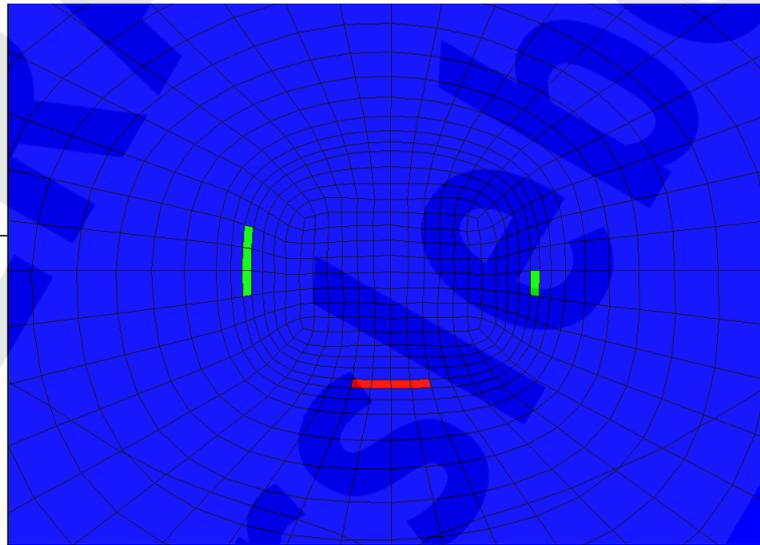
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 18:00:11 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

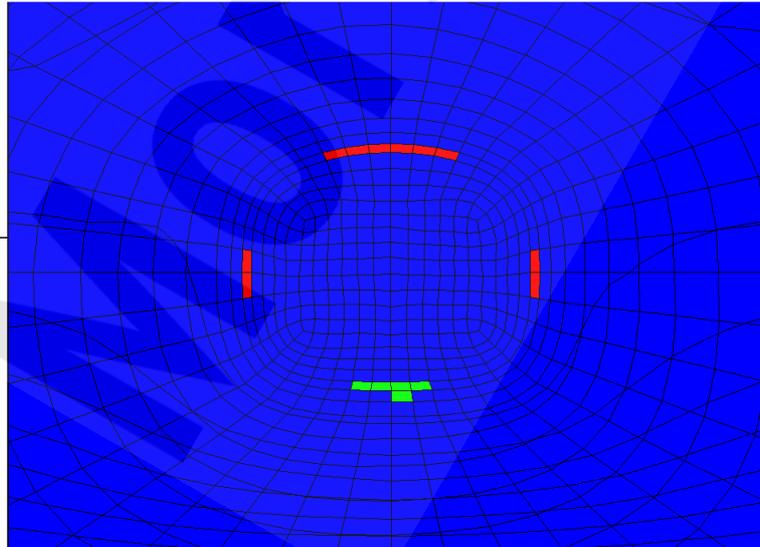
Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Flac3D 2.20
 18:00:45 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Potentiell geschädigte Zonen
 On Plane
 ■ nicht geschädigt
 ■ Zugspannung
 ■ Dilatanz



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

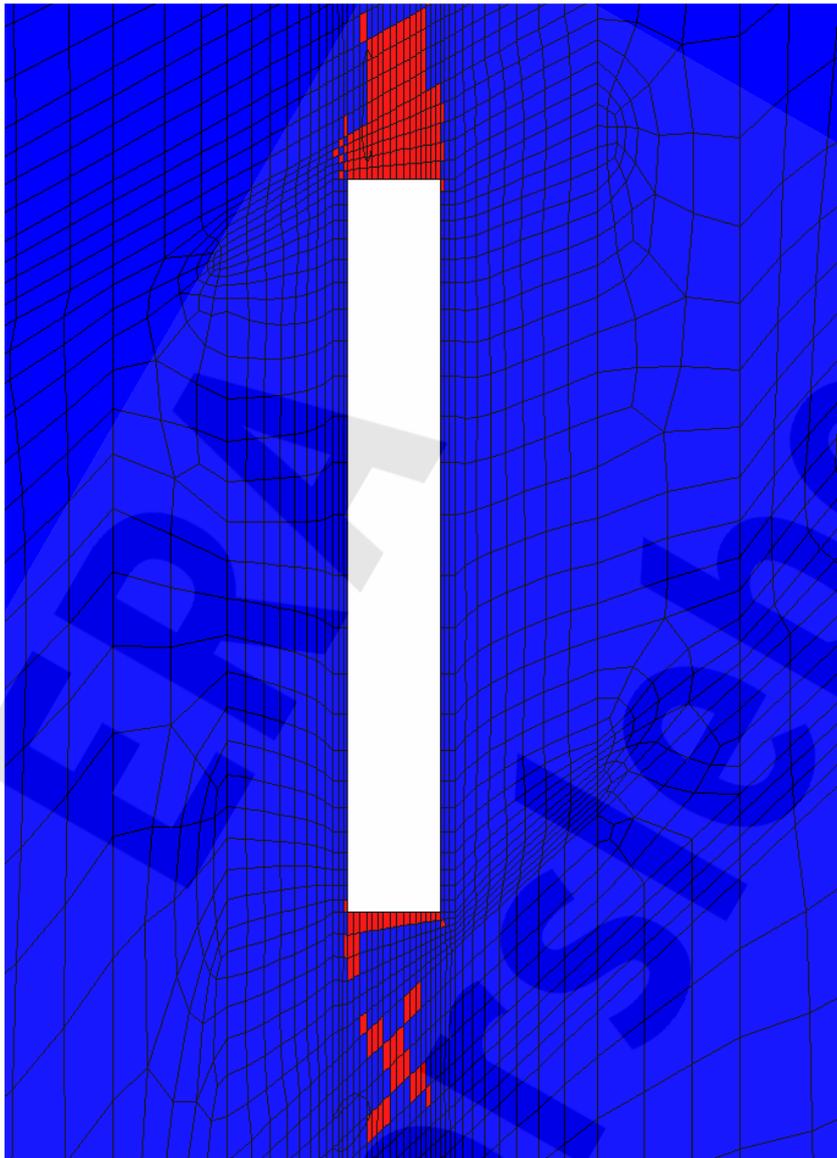
Anhang 80: Potentiell geschädigte Zonen, Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AAANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 230



Flac3D 2.20

17:51:52 Tue Jun 08 2004

Center:
 X: 4.000e+001
 Y: 5.000e+001
 Z: -3.320e+002
 Dist: 7.500e+001
 Ang.:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin:
 X: 0.000e+000
 Y: 5.000e+001
 Z: 0.000e+000
 Trans.: 3.11
 Rotate: 10.000

Fluidkriterium

On Plane
 S_max < p_laue (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_laue (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max: kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00

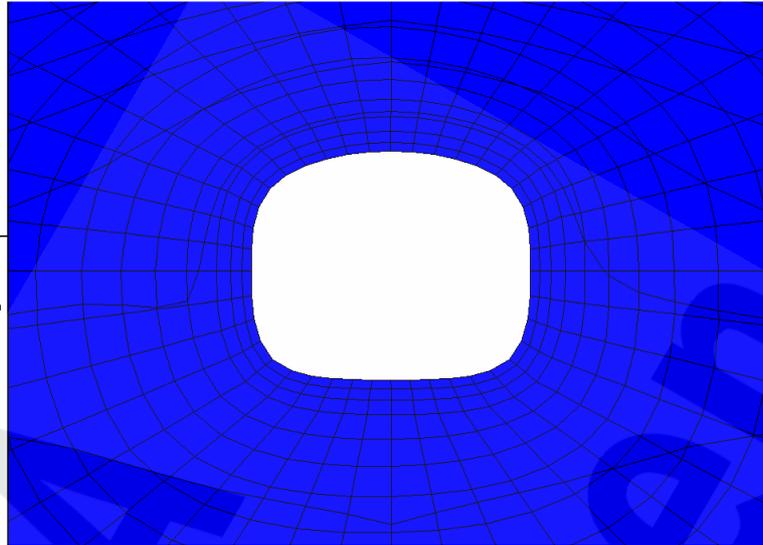


Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 231

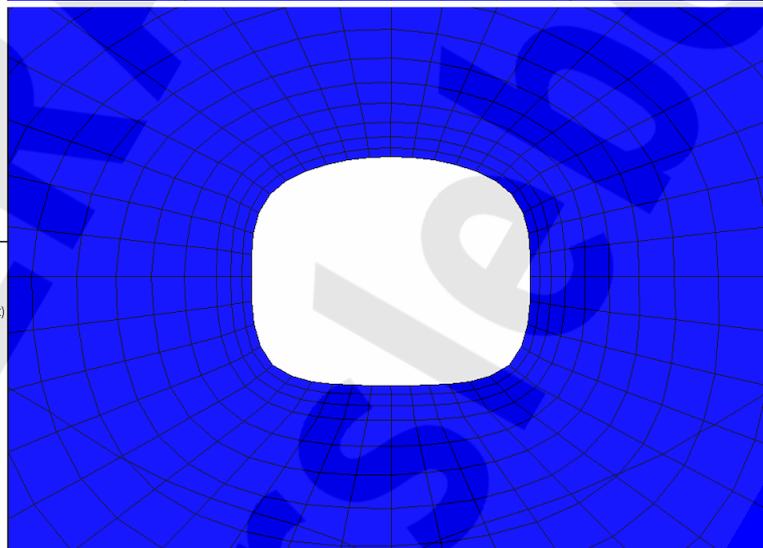
Flac3D 2.20
 18:05:34 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 2.675e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 2.675e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_laue (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_laue (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max: kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



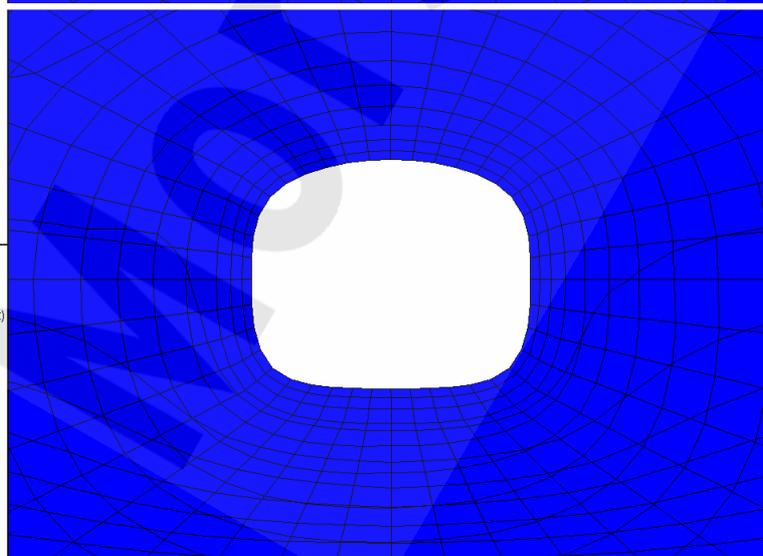
Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 18:06:38 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 3.870e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 3.870e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_laue (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_laue (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max: kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA
Flac3D 2.20
 18:07:19 Tue Jun 08 2004
 Center: Rotation
 X: 5.075e+001 X: 0.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: -3.310e+002 Z: 90.000
 Dist: 2.000e+001 Ang:
 X: 22.500
 Y: 22.500
 Plane Origin: Plane Normal:
 X: 5.075e+001 X: 1.000
 Y: 5.000e+001 Y: 0.000
 Z: 0.000e+000 Z: 0.000
 Trans.: 0.828 Rotate: 10.000

Fluidkriterium
 On Plane
 S_max < p_laue (Fluidkriterium erfüllt)
 S_max > p_laue (Fluidkriterium verletzt)
 (S_max: kleinste Hauptspannung,
 Konvention: Drücke sind < 0)



Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA

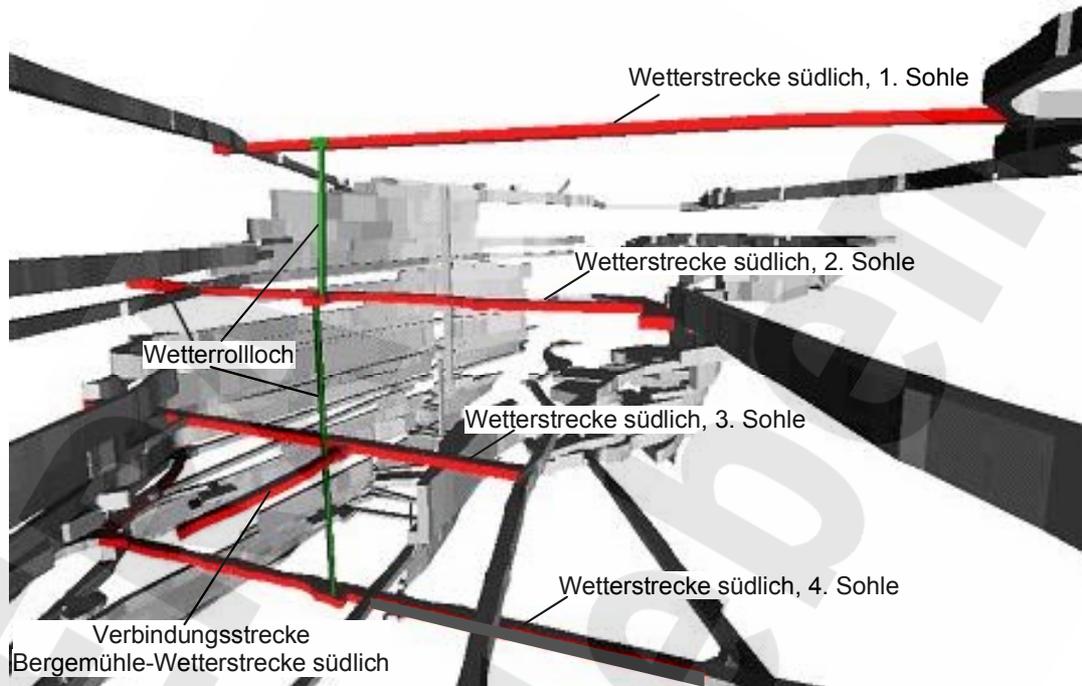
Anhang 82: Fluidkriterium [-], Schnitt S2 – S4 (von oben nach unten), Berechnungszeitpunkt 02/32004 (30000 a), BF4

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M	22310111		AJ			GH	BZ	0063	00



Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung

Blatt: 232



Anhang 83: Wetterrollloch südlich, 1. bis 4. Sohle (nicht maßstäblich)