

Gebirgsmechanische Bewertung der geologischen Barrierefunktion des Hauptanhydrits in einem Salzbergwerk

Von der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau der
TU Bergakademie Freiberg

angenommene

Habilitationsschrift

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur habilitatus
(Dr.-Ing. habil.)

vorgelegt

von Dr.-Ing. Wolf-Peter Kamlot
geboren am 07.09.1955 in Sangerhausen

eingereicht am 17.06.2008

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Konietzky, Freiberg
Prof. Dr.-Ing. habil. Karl-Heinz Lux, Clausthal
Prof. Dr.-Ing. Joachim Stahlmann, Braunschweig
Prof. Dr.-Ing. Helmut Bock, Bad Bentheim

Tag der Verleihung: 02.04.2009

Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung.....	12
2. Abgrenzung der Aufgabenstellung.....	13
3. Bearbeitungsablauf.....	15
4. Regionalgeologische Beschreibung der Lithologie, Stratigraphie und Tektonik des Hauptanhydrits und Grauen Salztons im Südharz- und Nordharzgebiet und Begründung der Messortauswahl.....	19
4.1 Einleitung.....	19
4.2 Ausbildung und Tektonik des Hauptanhydrits.....	19
4.2.1 Makrogefüge und Stratigraphie.....	19
4.2.2 Mikrogefüge und Mineralbestand.....	23
4.2.3 Lagerungsverhältnisse.....	24
4.2.4 Rupturelles Inventar.....	26
4.3 Ausbildung und Tektonik des Grauen Salztons.....	29
4.3.1 Ausbildung.....	29
4.3.2 Tektonik.....	32
4.4 Begründung der Messortauswahl anhand der Typen und Formen des Hauptanhydrits und Grauen Salztons.....	33
4.5 Bergbauliche Kurzcharakteristik der Gruben Volkenroda-Pöthen und Bernburg.....	34
4.6 Stratigraphie und Tektonik im Bereich der Messorte.....	37
4.7 Petrographisch-petrologische Untersuchungen an Dünnschliffen.....	53
5. Ergebnisse der Laborversuche am Hauptanhydrit und Grauen Salztion.....	58
5.1 Dichten, elastische Parameter, Festigkeiten und Gaspermeabilitäten.....	58
5.2 Untersuchungen zur Hydrofrac-Rissbildung im Anhydrit, Salztion und Steinsalz..... sowie zur Kluftpermeabilität im Anhydrit.....	74

5.2.1	<i>Anwendbarkeit der klassischen Interpretation von Spannungs Sondierungen</i>	74
	<i>mittels der Hydrofracmethode im Steinsalz</i>	74
5.2.2	<i>Fracversuche und Permeabilitätsmessungen an Gesteinswürfeln</i>	81
5.2.2.1	<i>Versuchsaufbau und -durchführung</i>	81
5.2.2.2	<i>Ergebnisse der Würfelfracversuche</i>	83
5.2.2.3	<i>Kluftpermeabilitätsmessungen im Anhydrit</i>	91
5.2.2.4	<i>Gesamtauswertung</i>	95
6.	<i>Analyse des Bergbaus am Stafffurter Sattel als historisches Analogon für einen Integritätsverlust im Hauptanhydrit</i>	99
6.1	<i>Einleitung</i>	99
6.2	<i>Geologie und Vorgeschichte bis zum ersten Kalisalzabbau</i>	101
6.3	<i>Ursachen der Laugeneinbrüche und -ausbreitung</i>	102
6.4	<i>Der Bau der "Großen Mauer" im Markscheidepfeiler zu Neustafffurt</i>	105
6.5	<i>Gegenwärtige Situation am Stafffurter Sattel</i>	110
6.6	<i>Gebirgsmechanische Modellierung der Auffahrung und Flutung der Gruben am Markscheideseicherheitspfeiler unter Berücksichtigung der Kluftintegrität</i>	112
6.6.1	<i>Lösungsweg und Ziel</i>	112
6.6.2	<i>Stoffverhalten und Materialparameter</i>	114
6.6.3	<i>Beschreibung des querschlägigen Modells sowie der Rechenergebnisse</i>	116
6.6.4	<i>Beschreibung des streichenden Modells sowie der Rechenergebnisse</i>	122
6.7	<i>Schlussfolgerungen</i>	127
7.	<i>In-situ-Untersuchungen zur Ermittlung des Spannungszustandes an den Messorten und der Deformationen bei der Messkammerauffahrung sowie Weiterentwicklung der Messverfahren</i>	129
7.1	<i>Beschreibung der Messmethoden zur Spannungsermittlung</i>	129
7.2	<i>Messungen im Hauptanhydrit und Grauen Salzton in Volkenroda-Pöthen</i>	134

7.3 Messungen im Hauptanhydrit und Grauen Salzton in Bernburg	141
7.4 Konstruktion und Bau einer Hydrofracsonde mit integrierter SE-Rissortung	153
7.4.1 Kurzbeschreibung der Bohrlochsonde	153
7.4.2 Nachweis der Anwendbarkeit zur Risslagenortung	156
7.5 Anwendung der Bohrlochschlitzmethode im Steinsalz unter Berücksichtigung	160
der Spannungsrelaxation an der Bohrlochkontur	160
7.5.1 Beschreibung der Methode	160
7.5.2 Nachweis der Anwendbarkeit zur 3D-Spannungssondierung im Steinsalz	165
8. Ausgewählte In-situ-Untersuchungen im Hauptanhydrit und benachbarten	171
Steinsalz zur Fluiddruckbelastbarkeit und Rissbildung	171
8.1 Einleitung	171
8.2 Untersuchungen unter konstanten Gebirgsspannungen	171
8.2.1 Beobachtung der Rissöffnung und -ausbreitung mit Oberflächenradar-,	171
Schallemissions- und Verschiebungsmessungen im ungeklüfteten Anhydrit	171
8.2.1.1 Anwendung der Oberflächenradarmessung im Hauptanhydrit	171
8.2.1.2 Einsatz der SE-Rissortung und von Verschiebungsmessungen zum Nachweis der	179
Rissbildung	179
8.2.2 Beobachtung der Rissöffnung in einer Kluft mit Carnallitfüllung	183
8.2.3 Gesamtinterpretation einschließlich der minimalen Druckeinspannungen und	185
Permeabilitäten	185
8.3 Untersuchungen unter wechselnden Gebirgsspannungen infolge Abbautätigkeit	191
8.3.1 Bergbauliche und geologische Situation	191
8.3.2 Konvergenz in der Steinsalzzufahrtsstrecke zum Anhydritmessort	194
8.3.3 Untersuchung des hydraulischen Abströmwiderstandes im geklüfteten Anhydrit	201
in Abhängigkeit vom Abbaufortschritt	201
8.3.4 Interpretation der Ergebnisse	213
8.4 Analyse der Gültigkeit des kubischen Fließgesetzes	217

9. Entwicklung einer Messmethode und Auswertebeziehung zur Ermittlung der.....	221
Porosität und Permeabilität aus Bohrlochmessungen in situ.....	221
9.1 Einleitung.....	221
9.2 Messmethode und Auswertebeziehung.....	221
9.3 Ermittlung hydraulischer Kennwerte im Anhydrit.....	225
10. Modellierung der Fluidströmung im Porenraum der Gesteinsmatrix und in.....	228
Klüften.....	228
10.1 Einleitung.....	228
10.2 Überprüfung des Modells einer instationären Permeation in einem Bohrloch in.....	228
situ entlang des gesamten Druckintervalls.....	228
10.3 Berechnung einer stationären parallelen Kluftrömung im Laborversuch.....	232
10.3.1 Simulation unterschiedlicher hydraulischer Randbedingungen am Bohrloch.....	232
10.3.2 Abhängigkeit der stationären parallelen Kluftrömung von der normal zur Kluft.....	237
wirkenden Spannung.....	237
10.4 Berechnung von Fluidströmungen in einer geschlossenen Anhydritkluft.....	240
11. Gesamtauswertung und Interpretation.....	243
11.1 Stratigraphie, Gefüge und tektonische Ausbildung des A3 und T3.....	243
11.2 Ergebnisse der Laborversuche am Hauptanhydrit und Grauen Salzton.....	248
11.3 Analyse des historischen Bergbaus am Stafffurter Sattel hinsichtlich des.....	253
Integritätsverlustes im Hauptanhydrit.....	253
11.4 In-situ-Untersuchungen zur Ermittlung des Spannungszustandes an den.....	256
Messorten und der Deformationen bei der Messkammerauffahrung sowie.....	256
Weiterentwicklung der Messverfahren.....	256
11.5 Ausgewählte In-situ-Untersuchungen im Hauptanhydrit und benachbarten Steinsalz zur	
Fluidruckbelastbarkeit und Rissbildung.....	259
11.6 Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Porositäts- und Permeabilitätsbestimmung	
und Überprüfung der In-situ- und Labortests mit gekoppelten Modellrechnungen.....	264

12. Schlussfolgerungen für das Anhydritszenario.....	266
Literaturverzeichnis	268
Abbildungsverzeichnis	276
Tabellenverzeichnis.....	285
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	287