

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG.....	XIX
ABSTRACT.....	XXI
1 EINFÜHRUNG.....	1
1.1 FRAGESTELLUNGEN UND ZIELSETZUNG DIESER ARBEIT	3
2 STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK	6
2.1 GRUNDLEGENDES ZUM STEINSALZ ALS GEOLOGISCHES BARRIERENGESTEIN	6
2.2 DAS FESTIGKEITSVERHALTEN VON STEINSALZ	7
2.3 DAS KRIECHVERHALTEN VON STEINSALZ	11
2.3.1 <i>Stoffmodelle zur Beschreibung des Kriechverhaltens von Steinsalz</i>	13
2.3.1.1 Stoffmodell LUBBY2.....	14
2.3.1.2 Stoffmodell Hou/Lux.....	17
2.4 GRUNDLEGENDES ZUM SALZGRUS ALS BOHRUNGSVERSATZ	23
2.4.1 <i>Das mechanische Verhalten von Salzgrus</i>	24
2.4.2 <i>Das Stoffmodell CWIPP zur Beschreibung der Salzgruskompaktion</i>	28
2.5 GEOLOGISCHE GEGEBENHEITEN IM NORDDEUTSCHEN BECKEN INNERHALB DER ALTMARK-REGION	30
2.6 TIEFBOHRTECHNISCHE UND GEOLOGISCHE BEDINGUNGEN EINES NAHEZU AUSGEFÖRDERTEN ERDGASFELDES HINSICHTLICH DER ENDBEDINGUNGEN EINER CO ₂ -SPEICHERSTÄTTE UND NACHWEIS DER INTEGRITÄT VON GEOLOGISCHEN BARRIEREN	35
2.6.1 <i>Tiefbohrtechnische Aspekte</i>	35
2.6.2 <i>Geologische Bedingungen</i>	37
2.6.3 <i>Kriterien zum Nachweis der Barrierenintegrität</i>	38
2.7 VERSCHLUSSRELEVANTE UNTERSCHIEDE ZWISCHEN KONVENTIONELLEN ERDÖL-/ERDGASLAGERSTÄTTEN UND CO ₂ -SPEICHERN SOWIE VORSTELLUNG DER KORROSIONSPROBLEMATIK	42
2.8 KONVENTIONELLE BOHRUNGSVERSCHLUSSTECHNOLOGIE IN DER ERDÖL-/ERDGASTECHNIK	46
2.9 MULTI-BARRIERENKONZEPT	49
2.9.1 <i>Technische Barriere</i>	51
2.9.2 <i>Geotechnische Barriere</i>	51
2.9.3 <i>Geologische Barriere</i>	52
2.9.4 <i>Kurzzeit- und Langzeitbarrieren</i>	54
2.10 ANWENDUNGSGEBIETE VON BOHRUNGSVERSCHLUSSKONZEPTEN UND DIESBEZÜGLICHE SALZMECHANISCHE ERFAHRUNGEN	55
2.10.1 <i>Kavernenverschlüsse und Kavernensolvorgänge</i>	55
2.10.2 <i>Erdgasbohrung unter Hochdruckbedingungen</i>	59
2.10.3 <i>Bohrungsverschlussmethoden von Endlagern</i>	60

2.10.4	<i>Verschlussmethoden von CO₂-Untergrundspeichern</i>	61
2.10.5	<i>Tiefbohrtechnische Problemstellungen im Salzgebirge</i>	63
2.10.6	<i>Laborative Untersuchungen zur Bohrungskonvergenz</i>	67
3	DARSTELLUNG DER DURCHGEFÜHRTEN ARBEITEN UND ERGEBNISSE	69
3.1	METHODIK	69
3.2	KONZEPTENTWICKLUNG FÜR DEN LANGZEIT-BOHRUNGSVERSCHLUSS IN DER ALTMARK	70
3.3	PARAMETERBESTIMMUNG FÜR DAS STOFFMODELL CWIPP	80
3.4	ERSTE PARAMETERABSCHÄTZUNG FÜR DIE STOFFMODELLE LUBBY2 UND Hou/LUX	82
3.4.1	<i>Einführende Erläuterungen</i>	82
3.4.1.1	<i>Parameterbestimmung für Steinsalz der Lokation Altmark</i>	83
3.4.1.2	<i>Parameterbestimmung für Steinsalz unter Integration der Lokation Sondershausen</i>	86
3.4.1.3	<i>Weiterführende Laborversuche an Steinsalzproben der Lokation Altmark</i>	89
3.4.1.4	<i>Bewertung und Vergleich der Ergebnisse mit dem vorherigen Parametersatz</i>	92
3.5	NUMERISCHE BERECHNUNGEN IM VORFELD DES FELDVERSUCHS	93
3.5.1	<i>Ablauf der numerischen Simulation</i>	94
3.5.1.1	<i>Primär- und Sekundärspannungsermittlung</i>	94
3.5.1.2	<i>Simulationsablauf</i>	97
3.5.1.3	<i>Bohrungsmodell für die numerische Simulation</i>	97
3.5.1.4	<i>Eigenentwicklung und Implementierung des Kompaktionsmodells CWIPPLUBBY2 für Salzgrus innerhalb des Simulationslaufs 1</i>	99
3.5.2	<i>Simulationsergebnisse unter Verwendung einer Bohrlochverfüllung (Simulationslauf 1)</i>	102
3.5.2.1	<i>Ergebnisbewertung</i>	109
3.5.3	<i>Numerische Simulationen ohne Salzgrusverfüllung (Simulationslauf 2)</i>	110
3.5.4	<i>Schlussfolgerungen aus der numerischen Vorstudie im Hinblick auf den Feldversuch</i>	114
3.6	FELDVERSUCH	116
3.6.1	<i>Einleitende Erläuterungen</i>	116
3.6.2	<i>Erstes Workover (Phase I)</i>	120
3.6.2.1	<i>Technischer Ablauf</i>	120
3.6.2.2	<i>Kalibermessung</i>	126
3.6.2.3	<i>CCL-Messung</i>	131
3.6.2.4	<i>Druck-, Temperatur- und Gamma-Ray-Messung</i>	134
3.6.2.5	<i>Spülungssystem</i>	137
3.6.3	<i>Konvergenzbeobachtungsphase (Phase II)</i>	144
3.6.3.1	<i>Durchführung und Auswertung der hydrostatischen Druckmessungen</i>	144

3.6.3.2	Hydraulischer Druckversuch.....	154
3.6.3.3	Flüssigkeitsprobennahme.....	158
3.6.3.4	Feststoffprobennahme.....	159
3.6.3.5	Herleitung der Volumenkonvergenz im Feldversuch.....	165
3.6.3.6	Back-Analyse.....	170
3.6.3.7	Berechnung zum zusätzlichen Solvermögen infolge Spülungsaustausch.....	174
3.6.4	<i>Zweites Workover (Phase III)</i>	177
3.6.4.1	Einleitende Erläuterungen.....	177
3.6.4.2	Casing-Kollaps.....	181
3.6.4.3	Kernbohrung -1. Kernmarsch	183
3.6.4.4	Kernbohrung- 2. Kernmarsch	187
3.6.4.5	1. Kernansprache sowie visueller Befund	188
3.6.4.6	Bewertung der Kernbohrung sowie der visuellen Befunde	192
3.6.4.7	Dichtheitsnachweis des Testbohrungsverschlusses anhand eines Integritätstests	196
3.7	BEGLEITENDE NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN UND MODELLVERIFIKATION	204
3.8	LABORVERSUCHE AN STEINSALZBOHRKERNEN AUS DER BARRIERE	226
3.8.1	<i>Mineralogische Zusammensetzung einer Feststoffprobe</i>	227
3.8.2	<i>Laborative Bestimmung der Porosität im Ton- und Steinsalzanteil des Bohrkerns</i> ..	228
3.8.2.1	Porosität des Steinsalzanteils	228
3.8.2.2	Porosität des Baryt-/Tonanteils.....	230
3.8.3	<i>Permeabilitätsmessung am Rohrschuh</i>	232
3.8.4	<i>Visueller Befund sowie Permeabilitätsmessung an einem präparierten Prüfkörper in der Triaxialzelle</i>	236
4	ZUSAMMENFASSUNG, ABSCHLIEßENDE DISKUSSION UND AUSBLICK	240
4.1	ZUSAMMENFASSUNG DER ERKENNTNISSE UND ERGEBNISSE AUS DER KONZEPTPLANUNG, DER NUMERIK, DES FELDVERSUCHS SOWIE DEN LABORERGEBNISSEN	240
4.1.1	<i>Konzeptplanung</i>	241
4.1.2	<i>Numerische Simulationen</i>	242
4.1.3	<i>Feldversuch</i>	246
4.1.4	<i>Laborversuchsergebnisse</i>	249
4.1.5	<i>Generelle Empfehlungen</i>	250
4.2	ABSCHLIEßENDE DISKUSSION HINSICHTLICH DER INTEGRIÄTÄTBEWERTUNG DES TESTBOHRUNGSVERSCHLUSSES	251
4.3	AUSBLICK AUF WEITERE WISSENSCHAFTLICHE STUDIEN DER TUC-HOU ZUM LANGZEITBOHRUNGSVERSCHLUSS SOWIE ÜBERTRAGUNG DER ERKENNTNISSE AUF ANDERE LOKATIONEN	255

5	EIGENE VERÖFFENTLICHUNGEN	258
5.1	KAPITEL IN FACHBÜCHERN	258
5.2	VERÖFFENTLICHTE PUBLIKATIONEN IN FACHZEITSCHRIFTEN	258
5.3	PUBLIKATIONEN IN TAGUNGSBÄNDEN BZW. PROJEKTVERÖFFENTLICHUNGEN	258
5.4	BETREUTE STUDENTISCHE ARBEITEN (HAUPTBETREUER: PROF. M.Z. HOU).....	259
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	260
7	ANLAGEN.....	269
	GESAMTSEITENZAHL:	303