

IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH

Veröffentlichungen

Herausgeber: W. MINKLEY, W. SCHREINER

Heft 1

**Gebirgsmechanische Beschreibung
von Entfestigung und Sprödbrucherscheinungen
im Carnallit**

von

Wolfgang Minkley



Leipzig 2004

Der Autor dieses Heftes ist:

Dr. - Ing. habil. Wolfgang Minkley

Geschäftsführer des Instituts für Gebirgsmechanik GmbH

Schriftenreihe des Institut für Gebirgsmechanik

Band 1

Wolfgang Minkley

**Gebirgsmechanische Beschreibung von Entfestigung
und Sprödbrucherscheinungen im Carnallit**

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Copyright Shaker Verlag 2004

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3495-0

ISSN 1860-0123

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

ABSTRACT

Potash mining in Germany has been affected by a series of rock bursts during its more than 100-year-long history. These rock bursts led to the destruction of mining fields within seconds and to earthquake-like shocks at the surface. They occurred primarily in seams consisting of carnallite, a potash salt rock which is characterized by its extreme susceptibility to brittle failure and that caused the strongest mining-induced seismic energy releases globally.

In order to be able to adequately simulate these failure processes in geomechanic modelling, an elasto-plastic material model with deconsolidation is needed to be developed. The shortcoming of the linear MOHR-COULOMB model is that effective strength is infinitely increasing with ascending confining pressure. Since an infinite effective strength is not physically consistent, a strength limit, the maximum effective strength σ_{MAX} , was introduced.

New parameters depending on plastic shear deformation are introduced for the description of strain hardening and softening. The elasto-plastic model is linked to a modified non-linear BURGERS model. The developed visco-elasto-plastic model with hardening/softening and dilatancy can be utilized in UDEC, 3DEC, FLAC2D and FLAC3D as a user defined model.

Rock mechanical lab-tests were carried out to estimate the material parameters of carnallite from various potash locations.

After a world wide overview of rock burst incidents in potash mining is given, the practical use of the developed model is demonstrated. The rock burst mechanisms in the course of the collapse of the eastern working area in the mined-out 'Teutschenthal' potash mine is in conformity with the developed geomechanical model which enabled to predetermine by calculation the dynamic processes occurring during a rock burst for the first time. The substantial parameters of the chain reaction-like collapse of the pillars such as an event duration of approximately 1.5 s, a local magnitude of $M_L = 4.9$, a limitation of the fractured zone to 2.5 km² and surface subsidence of 0.5 m correspond to the predetermined parameters obtained by means of the brittle failure model specifically developed for carnallite.

The developed constitutive model was also used in a back analysis of the rock burst 'Völkershausen'. This rock burst was one of the most devastating mining induced seismic events world wide with a local magnitude M_L of 5.6. Within a few seconds 3200 pillars in a mining field with an area of 6.5 square kilometres in a depth of 750 m to 900 m in the carnallitic seam 'Thüringen' were destroyed. The damage occurred in 'Völkershausen' - a village directly above the fractured zone - was catastrophic. Numerical back analysis was performed to investigate the mechanism of this rock burst.

Static and dynamic calculations using the visco-elasto-plastic constitutive model provided a consistent understanding from the time-dependent destrengthening processes and the dynamic processes occurring during the collapse to the consequences of the rock burst 'Völkershausen' 1989.

Finally numerical simulations were done to investigate dynamic system stability of mining structures in salt mines under earthquake loads.

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit, die sich mit der gebirgsmechanischen Beschreibung von Entfestigung und Sprödbrucherscheinungen im Carnallitit befaßt, basiert im wesentlichen auf langjährigen praktischen Erfahrungen bei der Lösung geomechanischer Problemstellungen im Kalibergbau und Forschungsergebnissen, die im Rahmen von BMBF geförderten Projekten zur dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar ab 1995 entstanden sind.

Die Arbeit ist inhaltlich bis auf Kap. 5.4 identisch mit der gleichlautenden Habilitationsschrift des Verfassers. Kap. 5.4 „Rückrechnung Gebirgsschlag Völkershausen 1989“ ist nachträglich aufgenommen worden und rundet das Bild über Sprödbrucherscheinungen im Carnallitit und den heute erreichten Stand der gebirgsmechanischen Analyse derartiger dynamischer Vorgänge am Beispiel eines der weltweit stärksten bergbauinduzierten seismischen Ereignisse ab.

Mein Dank gilt den Herren Dr. Brückner und Dr. Closs vom Projektträger Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe, die sich für das Zustandekommen und bei der Begleitung der Forschungsprojekte engagiert haben.

Den Herren Professor Natau (Karlsruhe) und Professor Wallner (Hannover) danke ich für Ihre Bereitschaft, die Arbeit zu begutachten.

Den Herren Dipl. - Phys. Brückner und Dipl. - Phys. Böhnelt bin ich für die Durchführung der experimentellen Untersuchungen im Gesteinslabor des Institutes für Gebirgsmechanik in Leipzig und die anregenden, fachlichen Diskussionen zur Bestimmung von Stoffparametern für das entwickelte Entfestigungsmodell dankbar.

Nicht zuletzt gilt mein besonderer Dank Herrn Professor Heinrich (Freiberg) für das große Interesse an der Habilitationsschrift.

Wolfgang Minkley

Inhaltsverzeichnis

1	Wissenschaftliche Problemstellung	1
2	Entwicklung eines Stoffmodells für Salzgesteine mit Entfestigung, Dilatanz und Kriechen.....	5
2.1	Elasto-plastisches Stoffmodell.....	5
2.1.1	Nichtlineares MOHR-COULOMB'sches Bruchkriterium.....	5
2.1.2	Inkrementelles elastisches Gesetz.....	11
2.1.3	Fließfunktion, Potentialfunktion und plastische Korrektur	12
2.1.4	Dilatanz	14
2.1.5	Verfestigung / Entfestigung	16
2.2	Visko-elasto-plastisches Stoffmodell	20
3	Bestimmung von Stoffparametern für das visko-elasto-plastische Stoffmodell an verschiedenen Carnallitvarietäten.....	27
3.1	Elastische Materialparameter	27
3.2	Plastische Materialparameter	30
3.2.1	Charakteristisches Spannungs-, Verformungs- und Dilatanzverhalten.....	30
3.2.2	Spannungs- und verformungsabhängige Festigkeit und Entfestigung.....	33
3.2.3	Einfluß der Verformungsrate und Feuchtigkeit.....	38
3.2.4	Spannungs- und verformungsabhängige Dilatanz	41
3.3	Viskose Materialparameter.....	49
4	Verifizierung Stoffmodell und Modellvorstellungen zum Verformungs- und Bruchverhalten in Grubengebäuden unter besonderer Berücksichtigung des Entfestigungs- und Spröbruchverhaltens von Carnallit	55
4.1	Spröbruchverhalten von Salzgesteinen.....	55
4.2	Simulation einaxialer und triaxialer Druckversuche unter Verwendung des entwickelten elasto-plastischen Stoffmodells	57
4.3	Simulation einaxialer Kriechversuche unter Verwendung des entwickelten visko-elasto-plastischen Stoffmodells.....	63
4.4	Berechnungen zur Tragfähigkeit von Carnallitpfeilern unter Berücksichtigung von Entfestigung	65
4.4.1	Verifizierung elasto-plastisches Stoffmodell.....	65
4.4.2	Spröbruchverhalten von Carnallitpfeilern	77
4.5	Berechnungen zur Entfestigung carnallitischer Kammersohlen, zur dynamischen Systemstabilität und zur Stabilisierung von Tragelementen.....	87
5	Validierung der Modellvorstellungen an ausgewählten dynamischen Er- scheinungen (Gebirgsschlägen) in Grubengebäuden der flachen Lagerung	91
5.1	Spröbruchvorgänge und Gebirgsschläge im Carnallit	91
5.1.1	Bergbauinduzierte und natürliche Seismizität	91
5.1.2	Gebirgsschlag Angersdorf 1916.....	93
5.1.3	Gebirgsschlag Krügershall 1940	93
5.1.4	Gebirgsschlag Teutschenthal 1996.....	97
5.1.5	Gebirgsschlag Aschersleben 1971	104
5.1.6	Gebirgsschlag Bleicherode 1983	105
5.1.7	Gebirgsschlag Heringen 1953.....	105
5.1.8	Gebirgsschlag Merkers 1958 und Merkers 1961	106
5.1.9	Gebirgsschlag Unterbreizbach 1975.....	107
5.1.10	Gebirgsschlag Völkershäuser 1989	108
5.1.11	Gebirgsschlag Solikamsk 1995.....	113
5.1.12	Gebirgsschlag Wyoming 1995	114

5.2	Kenntnisstand über Gebirgsschlagmechanismus und Energiefreisetzung im Kalibergbau.....	117
5.3	Validierung der entwickelten Stoffmodelle am Gebirgsschlag Teutschenthal 1996	126
5.3.1	Berechnungen mit dem elasto-plastischen Stoffmodell	126
5.3.1.1	Vorbemerkung.....	126
5.3.1.2	Geologische und bergbauliche Situation.....	126
5.3.1.3	Vergleich Vorausberechnung mit Gebirgsschlag	128
5.3.1.4	Schlußfolgerungen	132
5.3.2	Berechnungen mit dem visko-elasto-plastischen Stoffmodell	133
5.3.2.1	Modellaufbau.....	133
5.3.2.2	Statische und dynamische Berechnungen.....	137
5.3.2.3	Schlußfolgerungen	143
5.4	Rückrechnung Gebirgsschlag Völkershäuser 1989.....	146
5.4.1	Modellaufbau.....	146
5.4.2	Primärspannungszustand	155
5.4.3	Statische Berechnung des Zustandes vor Gebirgsschlag	157
5.4.4	Dynamische Berechnung - Gebirgsschlag.....	160
5.4.5	Beanspruchung der geologischen Barrieren.....	165
5.4.5.1	Bewertungskriterien zur Dichtheit und zum Permeabilitätsverhalten geologischer Barrieren	166
5.4.5.2	Gebirgsschlagwirkungen auf die geologischen Barrieren	170
5.4.6	Schlußfolgerungen	174
5.5	Berechnungen zur dynamischen Systemstabilität carnallitischer Tragwerke bei Erdbebenanregung	175
5.5.1	Festlegung des Bemessungserdbebens.....	175
5.5.2	Modell Gebirgsschlag Sünna	177
5.5.3	Berechnungen mit abbauinduzierter und seismischer Anregung.....	179
5.5.4	Schlußfolgerungen	183
6	Zusammenfassung	185
	Literaturverzeichnis	191
	Abbildungsverzeichnis.....	197