

**UNTERSUCHUNGEN AN BAUSTOFFEN  
AUF  
STEINSALZ-ANHYDRIT-BASIS  
FÜR  
DAMMBAUWERKE IM SALZGEBIRGE**

**D i s s e r t a t i o n**  
zur Erlangung des Grades  
eines Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von  
**Dipl.-Ing. Helmut Mischo**  
aus Püttlingen / Saar

genehmigt von der  
Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenwesen  
der Technischen Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung  
28. Juni 2002

**D 104 (Dissertation TU Clausthal)**

Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr. rer. nat. A. Wolter

Hauptberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. W. Knissel

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. K. Kühn

Berichte aus dem Bergbau

**Helmut Mischo**

**Untersuchungen an Baustoffen  
auf Steinsalz-Anhydrit-Basis  
für Dammbauwerke im Salzgebirge**

D 104 (Diss. TU Clausthal)

Shaker Verlag  
Aachen 2002

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Mischo, Helmut:*

Untersuchungen an Baustoffen auf Steinsalz-Anhydrit-Basis  
für Dammbauwerke im Salzgebirge/Helmut Mischo.

Aachen: Shaker, 2002

(Berichte aus dem Bergbau)

Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 2002

ISBN 3-8322-0594-2

Copyright Shaker Verlag 2002

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-0594-2

ISSN 1610-3823

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Assistent und Oberingenieur am Institut für Bergbau der Technischen Universität Clausthal.

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Walter Knissel, möchte ich für die Betreuung und Förderung meiner Arbeit sehr herzlich danken. Danken möchte ich auch für das Vertrauen, mich bei den gewählten Zielen und Ansätzen stets zu unterstützen, und die Bereitschaft, mir neben meiner Tätigkeit als Oberingenieur die notwendigen Versuche am Institut für Bergbau zu ermöglichen.

Ebenfalls zu großem Dank verpflichtet bin ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Kühn für die Übernahme des Korreferates. Das stetige große Interesse an meiner Forschung, verbunden mit einer kritischen und konstruktiven Auseinandersetzung, sowie die Unterstützung bei der Durchführung des Technikumversuchs auf dem Forschungsbergwerk Asse haben mir bei der Anfertigung dieser Arbeit sehr geholfen.

Herrn Prof. Dr. rer. nat. Albrecht Wolter vom Institut für Nichtmetallische Werkstoffe der TU Clausthal gebührt mein Dank dafür, dass ich bei Fragen zur Baustofftechnologie bei ihm stets ein offenes Ohr gefunden habe.

Stellvertretend für alle Mitarbeiter des GSF-Forschungsbergwerks Asse seien hier Herr Betriebsführer Dipl.-Ing. Volker Schaueremann sowie Herr Fahrsteiger Hans-Henning Gärtner erwähnt. Ihre freundliche Unterstützung bei der Erstellung und Durchführung des Technikumversuchs haben viel zum Erfolg beigetragen.

Ohne die Bereitstellung von Versuchsmaterialien und technischen Daten durch die Industrie hätte die vorliegende Arbeit nicht angefertigt werden können. Es waren dies insbesondere die K+S Aktiengesellschaft, Kassel, die Gebr. Knauf Westdeutsche Gipswerke, Iphofen, sowie das Salzbergwerk Stetten der Wacker-Chemie GmbH in Stetten bei Haigerloch.

Mein Dank gilt auch allen Kollegen und Mitarbeitern des Instituts für Bergbau der TU Clausthal. Insbesondere die Werkstattleiter, Herr Fischer und Herr Exner, haben mich mit ihrer Erfahrung und ihren Anregungen bei der Konzeption und der Durchführung der Versuche in hohem Maße unterstützt. Danken möchte ich auch Herrn Leuner und Frau Hänschen für die wertvolle und stete Zuarbeit und Hilfe.

Besonders erwähnen möchte ich an dieser Stelle auch meine lieben Eltern. Ihr Vertrauen und ihre stete und uneingeschränkte Bereitschaft mich zu fördern und mir mit Rat und Tat zur Seite zu stehen, haben in erheblichem Maße zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen. Ihnen möchte ich diese Arbeit widmen.

Clausthal, im Juli 2002

Helmut Mischo

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG</b>	<b>1</b>
<b>2. DEPONIERUNG UND ENDLAGERUNG IM SALZGEBIRGE</b>	<b>3</b>
2.1 Konzept für Deponierung und Endlagerung im Salzgebirge	3
2.2 Dammbauwerke im Salzgebirge	7
<b>3. KONZEPTION EINES DAMMBAUSTOFFS AUF ANHYDRITBASIS</b>	<b>10</b>
3.1 Definition der Anforderungen an einen geeigneten Dammbaustoff für Dammbauwerke im Salinar	11
3.1.1 Abbindefähigkeit und Funktionsfähigkeit im salinaren Milieu	11
3.1.2 Funktionsfähigkeit bei hohen Temperaturen	13
3.1.3 Geringe Permeabilität	14
3.1.4 Laugenbeständigkeit	15
3.1.5 Alterungsbeständigkeit der Baustoffe	16
3.1.6 Fröhdichtigkeit ab Einbauzeitpunkt bei Gas- und Laugenandrang	16
3.1.7 Langzeitdichtigkeit gegen Gase und Laugen	17
3.1.8 Funktionsbeständigkeit der Dichtelemente bei für das Salinar typischen Konvergenzraten	18
3.1.9 Festigkeit	19
3.1.10 Anbindeverhalten an das umgebende Salzgebirge	21
3.1.11 Quelldruck und Quellvermögen	22
3.1.12 Eignung zum maschinellen Einbringen	23
3.1.13 Gesundheitliche Eignung	25
3.2 Konzeption eines Baustoffgemisches auf Salz-Anhydrit-Basis unter Berücksichtigung der Anforderungen an einen Dammbaustoff	26
3.2.1 Baustoffbestandteile - Auswahl und Eigenschaften	28
3.2.1.1 Bindemittel	28
3.2.1.2 Anreger	31
3.2.1.3 Zuschlagstoffe	33
3.2.1.4 Anmachflüssigkeit	34
3.2.2 Eigenschaften und Berechnung von Baustoffgemischen auf Steinsalz-Calciumsulfat-Basis	34
3.2.2.1 Hydratation	34
3.2.2.2 Laugenbeständigkeit	46
3.2.2.3 Alterungsbeständigkeit	47
3.2.2.4 Quellvermögen und Quelldruck	48
3.2.2.5 Porosität	52
3.2.2.6 Permeabilität	52
3.2.2.7 Kriechvermögen	53

3.2.2.8	Festigkeit	55
3.2.2.9	Eignung zum maschinellen Einbringen	57
3.2.2.10	Gesundheitliche Eignung	57
<b>4.</b>	<b>DURCHFÜHRUNG BAUSTOFFTECHNISCHER VERSUCHSREIHEN IM LABOR</b>	<b>59</b>
4.1	Probenauswahl und Probenbezeichnung	59
4.2	Festigkeit	61
4.2.1	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	62
4.2.2	Versuchsergebnisse	66
4.2.2.1	Abhängigkeit der Festigkeit vom eingestellten Wasser-Bindemittel-Wert	67
4.2.2.2	Abhängigkeit der Festigkeit vom NaCl-Anteil im Baustoff	70
4.2.2.3	Abhängigkeit der Festigkeit vom Anteil des Grobanhydrit im Bindemittel	71
4.2.2.4	Abhängigkeit der Festigkeit vom $\alpha$ -Halbhydratanteil im Bindemittel	72
4.2.2.5	Abhängigkeit der Festigkeit von der gewählten Anmachflüssigkeit	73
4.3	Untersuchung des Einflusses pneumatischer Förderung auf die Festigkeit	73
4.3.1	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	74
4.3.2	Versuchsergebnisse	76
4.4	Laugenbeständigkeit	79
4.4.1	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	79
4.4.2	Versuchsergebnisse	80
4.5	Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes	84
4.5.1	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	85
4.5.2	Versuchsergebnisse	89
4.5.3	Langzeitversuch	94
4.6	Bestimmung des Kriechvermögens und der möglichen Verdichtung unter Gebirgsdruck	95
4.6.1	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	95
4.6.2	Versuchsergebnisse	97
4.7	Porenvolumen	102
4.7.1	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	102
4.7.2	Versuchsergebnisse	103
4.8	Quellvermögen	104
4.8.1	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	105
4.8.2	Versuchsergebnisse	108

4.9	Anbindeverhalten an das umgebende Salzgebirge	109
4.9.1	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	110
4.9.2	Versuchsergebnisse	111
4.10	Funktionsfähigkeit bei hohen Temperaturen	115
4.11	Fehlerbetrachtung	117
4.11.1	Fehlerarten	117
4.11.2	Auswirkungen auf das Ergebnis	119
4.12	Zusammenfassung der Laboruntersuchungen	121
<b>5.</b>	<b>IN-SITU-VERSUCH „DAMMBAUSTOFFE“ AUF DEM GSF-FORSCHUNGSBERGWERK ASSE</b>	<b>123</b>
5.1	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	123
5.2	Messwerverfassung und Übertragung	133
5.3	Versuchsergebnisse	134
5.3.1	Technikumversuch mit teilgesättigter NaCl-Lauge	137
5.3.2	Technikumversuch mit MgCl <sub>2</sub> -gesättigter Q-Lauge	139
5.3.3	Technikumversuch mit gesättigter NaCl-Lauge (Zutrittslauge)	140
5.4	Zusammenfassung des Technikumversuches	142
<b>6.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b>	<b>145</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>149</b>
<b>8.</b>	<b>VERZEICHNIS DER VERWENDETEN FORMELN</b>	<b>159</b>
<b>9.</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>161</b>
<b>10.</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>164</b>
<b>11.</b>	<b>ANLAGENVERZEICHNIS</b>	<b>165</b>
	<b>ANLAGEN</b>	<b>168 - 227</b>
	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>228</b>