



Wei Xing (Autor)

# Untersuchung des geomechanischen Verhaltens von Schichtsalzen aus China in Abhängigkeit von Verunreinigungen

Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen

**efzn**

Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen



TU Clausthal

## Untersuchung des geomechanischen Verhaltens von Schichtsalzen aus China in Abhängigkeit von Verunreinigungen

Wei Xing

Promotion an der Technischen Universität Clausthal  
Arbeitsgruppe Rock Mechanics in Petroleum Engineering  
Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Z. Hou

Band 37



Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7266>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>



# Inhaltsübersicht

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung</b> .....  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Die Salzkaverne als ein untertägiger Speicherraum für gasförmige Energieträger .....           | 2         |
| 1.2      | Entwicklung des Salzkavernenbaus in Schichtsalz mit hohem Verunreinigungsanteil in China ..... | 3         |
| 1.3      | Zielsetzung und Fragestellung der Arbeit .....   | 5         |
| <b>2</b> | <b>Stand der Wissenschaft zum mechanischen Verhalten von Steinsalz</b> ..                      | <b>7</b>  |
| 2.1      | Langzeitverhalten (Kriechen) .....   | 8         |
| 2.2      | Kurzzeitverhalten (Festigkeit) .....   | 11        |
| 2.3      | Schädigung und Dilatanz .....  | 13        |
| 2.3.1    | Definition der Schädigung .....  | 13        |
| 2.3.2    | Merkmale zur Quantifizierung der Schädigung und Dilatanz .....                                 | 15        |
| 2.3.3    | Versuchstechnik zur Erfassung der Schädigung und Dilatanz .....                                | 17        |
| 2.3.3.1  | Minimalwert der Volumenverzerrung .....  | 17        |
| 2.3.3.2  | Wendepunkt der Ultraschallwellengeschwindigkeit .....  | 18        |
| 2.3.3.3  | Erhöhung der Permeabilität .....   | 20        |
| 2.3.3.4  | Zunahme der akustischen Emissionen .....   | 20        |
| 2.4      | Verheilungsvermögen .....  | 21        |
| 2.5      | Hydraulische Eigenschaften .....   | 22        |
| 2.6      | Stoffmodelle für Steinsalz .....   | 23        |
| 2.7      | Einfluss von Verunreinigungen .....  | 27        |
| 2.7.1    | Intrakristalline Verunreinigungen .....  | 27        |
| 2.7.2    | Interkristalline Verunreinigungen .....  | 29        |
| 2.7.3    | Zwischenschicht der Salzlagerstätte .....  | 30        |
| <b>3</b> | <b>Laboruntersuchungen an verunreinigten Steinsalzprüfkörpern aus Jintan, China</b> .....      | <b>32</b> |
| 3.1      | Probenvorbereitung .....   | 33        |
| 3.2      | Stoffmodell <i>Lux/Wolters</i> für Steinsalz .....   | 34        |
| 3.3      | Untersuchung des viskosen Verhaltens von Steinsalz aus Jintan .....                            | 41        |
| 3.3.1    | Versuchsaufbau und Versuchstechnik .....   | 41        |
| 3.3.2    | Datenauswertung und Versuchsergebnisse .....   | 43        |
| 3.3.3    | Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Werten .....                                     | 48        |
| 3.4      | Untersuchung des kurzzeitigen Verhaltens von Steinsalz aus Jintan .....                        | 51        |
| 3.4.1    | Prüfstände und Versuchstechnik für triaxiale Kurzzeitversuche .....                            | 51        |
| 3.4.2    | Versuchsaufbau und Versuchsablauf .....  | 53        |



|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.4.3    | Datenauswertung .....  | 56         |
| 3.4.4    | Versuchsergebnisse .....   | 58         |
| 3.4.4.1  | TC Versuche.....   | 58         |
| 3.4.4.2  | TE Versuche mit konstantem Manteldruck und reduziertem Axialdruck.....   | 61         |
| 3.4.4.3  | TE Versuche mit steigendem Manteldruck und konstantem Axialdruck.....  | 70         |
| 3.4.5    | Ermittlung der Festigkeitsparameter aus den Kurzzeitversuchen .....  | 75         |
| 3.5      | Untersuchung des Verheilungsverhaltens von Steinsalz aus Jintan .....  | 79         |
| 3.5.1    | Versuchsablauf und Datenauswertung.....  | 79         |
| 3.5.2    | Ermittlung der Stoffparameter für Schädigungsrückbildung .....   | 81         |
| 3.6      | Permeabilitätsuntersuchung .....   | 84         |
| 3.6.1    | Permeabilität in Axialrichtung der zylindrischen Probe .....   | 85         |
| 3.6.2    | Permeabilität in Radialrichtung der zylindrischen Probe .....  | 88         |
| 3.6.2.1  | Probenvorbereitung .....   | 88         |
| 3.6.2.2  | Darstellung des Prüfstandes und Diskussion der Messgenauigkeit.....  | 90         |
| 3.6.2.3  | Versuchsergebnisse.....  | 93         |
| <b>4</b> | <b>Einfluss der Verunreinigung auf das kurzzeitige Verhalten des Steinsalzes aus drei weiteren Lokationen in China .....</b> | <b>104</b> |
| 4.1      | Versuchs- und Auswertungsmethode .....   | 106        |
| 4.1.1    | Versuchstechnik und Versuchsaufbau .....   | 106        |
| 4.1.2    | Datenauswertungsmethode.....   | 107        |
| 4.1.2.1  | Einiaxiale Kompressionsversuche (UC Versuche).....   | 107        |
| 4.1.2.2  | Triaxiale Kompressionsversuche (TC Versuche).....  | 111        |
| 4.2      | Ermittlung des Verunreinigungsanteils durch Auflösung von Steinsalzprüfkörpern.....  | 113        |
| 4.3      | Zusammensetzung der unlöslichen Anteile .....  | 115        |
| 4.4      | Zusammenfassung und Diskussion der Versuchsergebnisse .....  | 116        |
| 4.4.1    | Beziehung zwischen Dichte und Anteil der unlöslichen Bestandteile..  | 119        |
| 4.4.2    | Einfluss des unlöslichen Anteils auf das kurzzeitiges Verhalten.....   | 120        |
| 4.4.2.1  | Einwirkung der unlöslichen Bestandteile auf die Verformbarkeit der „Steinsalz“-Prüfkörper .....                              | 121        |
| 4.4.2.2  | Modifikation des Festigkeitsteilmodells unter Berücksichtigung des Einflusses der Verunreinigung .....                       | 123        |
| <b>5</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>  | <b>130</b> |
|          | <b>Literatur .....</b>   | <b>135</b> |