



## Compaction of crushed salt for safe containment – overview of the KOMPASS project

Larissa Friedenber<sup>1</sup>, James Bean<sup>5</sup>, Oliver Czaikowski<sup>1</sup>, Uwe Düsterloh<sup>6</sup>, Nina Müller-Hoepp<sup>2</sup>,  
Ben Laurich<sup>3</sup>, Christian Lerch<sup>2</sup>, Svetlana Lerche<sup>6</sup>, Christoph Lüdeling<sup>4</sup>, Melissa Mills<sup>5</sup>, Till Popp<sup>4</sup>,  
Benjamin Reedlunn<sup>5</sup>, Dieter Stührenber<sup>3</sup>, Kristoff Svensson<sup>3</sup>, Kornelia Zemke<sup>3</sup>, and Juan Zhao<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH,  
Theodor-Heuss-Straße 4, 38122 Braunschweig, Germany

<sup>2</sup>BGE TECHNOLOGY GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine, Germany

<sup>3</sup>Rock characterization for storage and final disposal, Federal Institute for Geosciences and  
Natural Resources (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover, Germany

<sup>4</sup>Geotechnik/Endlagerforschung, Institut für Gebirgsmechanik GmbH,  
Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig, Germany

<sup>5</sup>Sandia National Laboratories, New Mexico, 1515 Eubank SE, Albuquerque, New Mexico 87123, USA

<sup>6</sup>Institute of Mineral and Waste Processing, Waste Disposal and Geomechanics, Chair for Waste Disposal  
Technologies and Geomechanis, Clausthal University of Technology,  
Erzstraße 20, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Germany

**Correspondence:** Larissa Friedenber (larissa.friedenber@grs.de)

Published: 10 November 2021

**Abstract.** In Germany, rock salt formations are possible host rock candidates for a repository for heat-emitting radioactive waste. The safety concept of a repository in salt bases on a multibarrier system consisting mainly of the geological barrier salt and geotechnical seals ensuring safe containment.

Crushed salt will be used for backfilling of cavities and sealing measures in drifts and shafts due to its favourable properties and its easy availability (mined-off material). The creep of the rock salt leads to crushed salt compaction with time. Thereby, the crushed salts' porosity is reduced from the initial porosity of 30 %–40 % to a value comparable to the porosity of undisturbed rock salt ( $\leq 1$  %). In such low porosity ranges, technical impermeability is assumed.

The compaction behaviour of crushed salt is rather complex and involves several coupled THM processes (Kröhn et al., 2017; Hansen et al., 2014). It is influenced by internal properties like humidity and grain size distribution, as well as boundary conditions such as temperature, compaction rate or stress state.

However, the current process understanding has some important gaps referring to the material behaviour, experimental database and numerical modelling. It needs to be extended and validated, especially in the low porosity range.

The objective of the KOMPASS project was development of methods and strategies for the reduction of deficits in the prediction of crushed salt compaction leading to an improvement of the prognosis quality.

Key results are as follows (KOMPASS Phase 1, 2020):

- selection of an easily available and permanently producible synthetic crushed salt mixture, acting as a reference material for generic investigations;
- development and proof of different techniques for producing pre-compacted samples for further investigations;
- establishment of a tool of microstructure investigation methods to demonstrate the comparability of grain structures of pre-compacted samples with in-situ compacted material for future investigations;

- execution of various laboratory experiments using pre-compacted samples, e.g. long-term creep tests which deliver reliable information about time- and stress-dependent compaction behaviour;
- development of a complex experimental investigation strategy to derive necessary model parameters considering individual functional dependencies. Its technical feasibility was successfully verified;
- benchmarking with various existing numerical models using datasets from three different triaxial long-term tests. The result was not entirely satisfactory; however, the number of influencing factors is small and further validation work has to be done.

Overall, the KOMPASS project has made significant progress in the approaches to solving the outstanding question, building the basis for further investigations.

**Kurzfassung.** In Deutschland werden Steinsalzformationen als mögliches Wirtsgestein für die Lagerung wärmeproduzierender radioaktiver Abfälle in Betracht gezogen. Das Sicherheitskonzept eines Salzstockes als Lagerstätte basiert auf einem Mehrbarrieren-System, das hauptsächlich aus der geologischen Barriere Salz und geotechnischen Dichtungen besteht, die einen sicheren Einschluss gewährleisten.

Salzgrus wird aufgrund seiner günstigen Eigenschaften und leichten Verfügbarkeit (Abbaumaterial) für die Verfüllung von Hohlräumen und für Abdichtungsmaßnahmen in Stollen und Schächten verwendet. Die Kriechfähigkeit des Steinsalzes führt im Laufe der Zeit zu einer Kompaktion des Salzgruses. Dadurch wird die anfängliche Porosität des Salzgruses von 30 %–40 % auf einen Wert reduziert, der mit der Porosität von ungestörtem Steinsalz ( $\leq 1\%$ ) vergleichbar ist. Bei solch geringen Porositätsbereichen wird technische Undurchlässigkeit angenommen.

Das Kompaktionsverhalten von Salzgrus ist recht komplex und beinhaltet verschiedene gekoppelte THM-Prozesse (Kröhn et al., 2017; Hansen et al., 2014). Es wird durch Materialeigenschaften wie Feuchtigkeit und Korngrößenverteilung sowie durch Randbedingungen wie Temperatur, Kompaktionsrate oder Spannungszustand beeinflusst.

Das derzeitige Prozessverständnis weist jedoch noch einige wichtige Lücken in Bezug auf das Materialverhalten, die experimentelle Datenbasis und die numerische Modellierung auf. Es muss erweitert und validiert werden, insbesondere im Bereich niedriger Porosität.

Das Ziel des Projektes KOMPASS war die Erarbeitung von Methoden und Strategien, um die Defizite bei der Vorhersage des Kompaktionsverhaltens von Salzgrus zu verringern, und damit die Prognosequalität zu verbessern.

Die wesentlichen Ergebnisse sind (KOMPASS Phase 1, 2020):

- Auswahl einer leicht verfügbaren und auf Dauer herstellbaren synthetischen Salzgrusmischung als Referenzmaterial für generische Untersuchungen;
- Entwicklung und Testung verschiedener Techniken zur Herstellung vorkompakterter Proben für weitere Untersuchungen;
- Erarbeitung eines Instrumentariums von Methoden zur Untersuchung der Mikrostruktur zum Nachweis der Vergleichbarkeit der Kornstrukturen von vorkompaktierten Proben mit in-situ kompaktiertem Material für zukünftige Untersuchungen;
- Durchführung verschiedener Laborexperimente mit vorkompaktierten Proben, z.B. Langzeit-Kriechversuche, die zuverlässige Informationen über das zeit- und spannungsabhängige Kompaktionsverhalten liefern;
- Benchmarking mit verschiedenen bestehenden numerischen Modellen unter Verwendung von Datensätzen aus drei verschiedenen triaxialen Langzeittests. Das Ergebnis war nicht ganz zufriedenstellend; allerdings ist die Zahl der Einflussfaktoren gering, und es müssen weitere Validierungsarbeiten durchgeführt werden.

Insgesamt wurden im Rahmen des KOMPASS-Projekts bedeutende Fortschritte bei den Ansätzen zur Beantwortung noch offener Fragen erzielt, die die Grundlage für weitere Untersuchungen bilden.

**Financial support.** This research has been supported by the Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (grant no. FKZ 02E11708A-D), represented by the Project Management Agency Karlsruhe (PTKA) and the U.S. Department of Energy (grant no. DE-NA0003525).

## References

- Hansen, F. D., Popp, T., Wiczorek, K., and Stührenberg, D.: Granular Salt Summary: Reconsolidation Principles and Applications, Fuel Cycle Research & Development, FCRD-UFD-2014-000590, SAND2014-16141R, 2014.
- KOMPASS Phase 1: Czaikowski, O., Friedenberg, L., Wiczorek, K., Müller-Hoeppe, N., Lerch, Ch., Eickemeier, R., Laurich, B., Wenting, L., Stührenberg, D., Svensson, K., Zemke, K., Lüdeling, Ch., Popp, T., Bean, J., Mills, M., Reedlunn, B., Düsterloh, U., Lerche, S., and Zhao, J.: Compaction of crushed salt for the safe containment, KOMPASS project, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, GRS-608, Köln, 2020.
- Kröhn, K.-P., Stührenberg, D., Jobmann, M., Heemann, U., Czaikowski, O., Wiczorek, K., Müller, Ch., Zhang, C.-L., Moog, H., Schirmer, S., and Friedenberg, L.: Mechanical and hydraulic behaviour of compacting crushed salt backfill at low porosities, Repoperm 2, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, GRS-450, Köln, 2017.