



# Deformation mechanisms and their microstructural indicators in the compaction of crushed salt as a geotechnical barrier

Kristoff Svensson, Kornelia Zemke, and Ben Laurich

Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), Hannover, 30655, Germany

**Correspondence:** Kristoff Svensson (kristoff.svensson@bgr.de)

Published: 10 November 2021

**Abstract.** Following 30 years of research, it is common sense that crushed salt is the most suitable geotechnical material for encapsulating radioactive waste in a rock salt repository (e.g., Chaikowski et al., 2020). After emplacement, it provides sufficient permeability to allow outflow of unwanted canister-corrosion gases. In the long term, however, when it becomes compacted by converging cavity walls, it safely hinders any fluid flow from and to the waste. Hence, it is essential to know the evolution of (1) the material's key parameters during compaction, such as porosity and permeability, backfill resistance and viscosity; (2) the material's response to environmental controls, such as temperature, humidity, and stress; and (3) the material's long-term rheology.

Here we align microstructural deformation indicators with physical processes that underlie compaction (Mills et al., 2018a). We strive to identify and – where feasible – to quantify the dominant deformation mechanisms (Blenkinsop, 2002; Jackson and Hudec, 2017).

As a preliminary result, we show that the abundance of deformation indicators increases with increasing compaction state. In early compaction, we observe more brittle mechanisms, such as grain fracturing (Fig. 1a) and cataclastic flow. At later stages, especially in the presence of moisture, plastic deformation overtakes. Therein, we observe an increased presence of indicators for pressure solution precipitation (grain boundary seams) and dislocation creep (subgrain formation, Fig. 1b), with progressing deformation.

In our upcoming work, we aim at linking the observed indicators to environmental controls, such as moisture content, temperature, and strain rate by applying our approach to larger suits of samples compacted under best-known controlled conditions. Final goal is the joint interpretation with findings from in situ-compacted material (Mills et al., 2018b). Do lab tests mimic in situ processes of crushed salt compaction adequately? Can we learn how to do better by means of microstructural investigations?

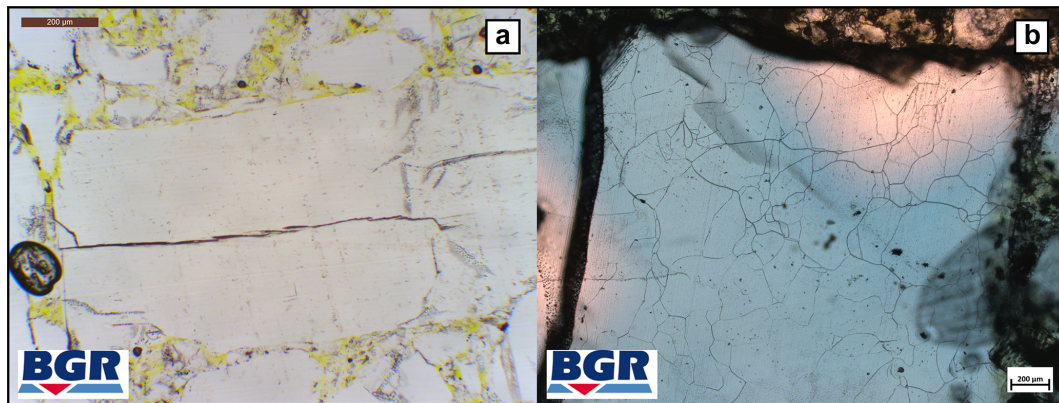
**Kurzfassung.** Nach 30 Jahren Forschung wird Salzgrus als das bestgeeignetste Material betrachtet um radioaktiven Abfall in einem Steinsalzendlager einzuschließen (z. B. Czaikowski et al., 2020). Nach der Einlagerung bietet Salzgrus eine ausreichende Permeabilität, damit Korrosionsgase aus den Behältern entweichen können. Langfristig wird der Salzgrus durch die konvergierenden Wände des Lagers jedoch verdichtet und somit einen Flüssigkeitszustrom oder –austritt verhindert. Deshalb ist es notwendig zu wissen wie sich die Materialparameter (vor allem Porosität, Permeabilität, Versatzwiderstand und Viskosität) während der Kompaktion verändern. Auch die Reaktion des Materials auf veränderte Umgebungsfaktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit und Spannungsregime sind entscheidend zu kennen.

An dieser Stelle wollen wir mikrostrukturelle Indikatoren mit physikalischen Prozessen in Zusammenhang bringen, welche der Kompaktion zugrunde liegen (Mills et al., 2018a). Unser Ziel ist, den bei der Kompaktion dominierenden Deformationsmechanismus zu identifizieren und – wenn möglich – zu quantifizieren (e.g. Blenkinsop, 2002; Jackson and Hudec, 2017).

Als vorläufiges Ergebnis zeigen wir, dass die Anzahl der mikrostrukturellen Indikatoren für eine Deformation mit steigender Kompaktion zunehmen. In den Anfangsstadien der Kompaktion lassen sich eher Hinweise auf eine spröde Deformation, zum Beispiel Kornbruch (Abb. 1a) und kataklastische Veränderungen

beobachten. In späteren Stadien der Kompaktion nimmt die plastische Verformung zu, insbesondere bei erhöhter Feuchtigkeit. Dabei beobachten wir, dass mit fortschreitender Kompaktion vermehrt Indikatoren für die Drucklösung und –fällung (an Kontaktflächen von Mineralkörnern) sowie Versetzungskriechen (Subkornbildung, Abb. 1b) auftreten.

In unseren zukünftigen Arbeiten möchten wir die beobachteten Indikatoren mit Umgebungsfaktoren (zum Beispiel Feuchtigkeit, Temperatur, Belastungsgeschwindigkeit) in Zusammenhang bringen. Dies erfolgt, indem wir Proben, die unter bekannten, kontrollierten Bedingungen kompaktiert wurden, mikrostrukturell untersuchen. Schließlich sollen die Ergebnisse mit Material verglichen werden, welches in-situ kompaktiert wurde. Dies soll uns helfen folgende Fragen zu beantworten: Können Labortests die in-situ Prozesse der Salzgruskompaktion adäquat nachbilden? Können wir durch die Untersuchung der Mikrostrukturen lernen, wie die Laborversuche verbessert werden können?



**Figure 1.** Examples for intragranular fractures (a) and subgrains (b) in compacted crushed salt ( $\sim 6$  vol % porosity, 0.1 M % moisture; Oedometric compaction performed at  $50^\circ\text{C}$ , up to 30 MPa axial load, strain rate ranging from  $10^{-6}$  to  $10^{-10}\text{ s}^{-1}$ ). Image width is 1.37 mm for (a) and 2.68 mm for (b).

## References

- Blenkinsop, T.: *Deformation Microstructures and Mechanisms in Minerals and Rocks*, Kluwer Academic Publishers, New York, USA, ISBN 0-412-73480-X, 2002.
- Czaikowski, O., Friedenberg, L., Wieczorek, K., Müller-Hoepe, N., Lerch, C., Eickemeier, R., Laurich, B., Liu, W., Stührenberg, D., Svensson, K., Zemke, K., Lüdeling, C., Popp, T., Bean, J., Mills, M., Reedlunn, B., Düsterloh, U., Lerche, S., and Zhao, J.: *Compaction of crushed Salt for the safe containment, KOMPASS – final report, GRS 608, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Braunschweig, Germany, ISBN 978-3-947685-94-3, 2020.*
- Jackson, M. P. A. and Hudec, M. R.: *Salt Tectonics – Principles and Practice*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, ISBN 978-1-107-01331-5, 2017.
- Mills, M. M., Stormont, J., and Bauer, S. J.: Micromechanical processes in consolidated granular salt, *Eng. Geol.*, 239, 206–213, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.03.024>, 2018a.
- Mills, M. M., Stührenberg, D., and Hansen, F.: Characterization of salt backfill with repository applications, *Proceedings of the 9th Conference on the Mechanical Behavior of Salt, SaltMech IX*, Hannover, Germany, ISBN 978-3-9814108-6-0, 2018b.