

# BGR-Faktenblatt

## Ton- und Tonsteinforschung

### Ein Endlager für radioaktive Abfälle im Tonstein?



Geophysikalische Messungen der BGR im Felslabor Mont Terri in der Schweiz

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) erforscht seit den 1990er-Jahren die Eignung von Tonstein als geologische Barriere für die Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle im tiefen Untergrund. Neben dem Wirtsgestein Tonstein untersucht die BGR auch das Langzeitverhalten von geotechnischen Tonbarrieren (Bentonit), die dazu dienen, die radioaktiven Abfälle zu umschließen. Dafür ist die BGR an internationalen Forschungsprojekten in den Untertage-labors in Frankreich, Schweden und der Schweiz beteiligt.



Beheizbare triaxiale Prüfmaschine im gesteinsphysikalischen Labor der BGR

### Warum kommt Tonstein für die Endlagerung in Frage?



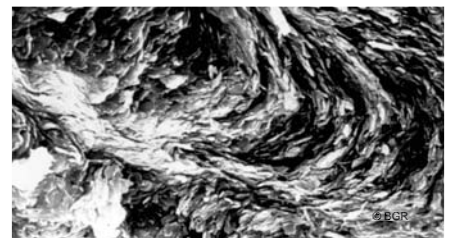
Fossilien sind Zeugen der Vergangenheit. Werden sie optimal im Ton eingeschlossen, wie dieser Ammonit, bleibt auch organische Substanz und damit das schillernde Perlmutter der Schale erhalten

Viele Tonsteine waren ursprünglich Schlammablagerungen am Grund urzeitlicher Meere. Dieser zunächst lockere Schlamm wurde zunehmend mit weiteren Sedimenten bedeckt, in den Untergrund versenkt und dabei verfestigt. Tonsteine bestehen überwiegend aus plättchenförmigen Tonmineralen mit einem Korndurchmesser bis 0,002 Millimeter.



Mit Töpferwaren nutzt der Mensch die besonderen Eigenschaften des Tons

Tone und Tonsteine besitzen gute Abdichtungseigenschaften. So fand man Baumstämme in einer Tongrube in Dunarobba (Italien), die über 2 Millionen Jahre als Holz konserviert wurden. Dieses Beispiel aus der Natur (Natürliches Analogon) zeigt das Isolationsvermögen von Ton gegenüber Wasser- und Gaszutritten.



Tonstein unter dem Rasterelektronenmikroskop. Die spezifische Oberfläche von 1 Gramm Ton kann rund 800 Quadratmeter betragen. Die Bildbreite von ca. 0,08 Millimeter entspricht der Dicke eines Blattes Papier

In Deutschland hat der Bund gemäß Atomgesetz Endlager für radioaktive Abfälle einzurichten. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) bearbeitet die geowissenschaftlichen und geotechnischen Fragen zu den Endlagermaßnahmen des Bundes.

# Welche Eigenschaften von Tonstein sind für die Endlagerung wichtig?



Sicherungsmaßnahmen (Spritzbeton und Ausbau) untertage im Tonstein

## Durchlässigkeit

Eine für die Endlagerung günstige Eigenschaft der Tonsteine ist insbesondere die sehr geringe Durchlässigkeit. Tonsteinformationen zeigen als abdeckende Schichten beispielweise von Erdöl- und Erdgasvorkommen ihre langfristige Wirksamkeit als geologische Barriere.

## Sorptionsverhalten

Tonstein ist als Wirtsgestein interessant, da es über gute Rückhalteigenschaften verfügt und Radionuklide binden kann. Diese

Bindung – von Fachleuten auch als Sorption bezeichnet – ist auf die elektrisch geladenen Oberflächen der Tonminerale zurückzuführen.

## Richtungsabhängigkeit

Viele Tonsteine sind geschichtet. Sie zeigen aufgrund ihrer Schichtung ein deutlich anisotropes Verhalten, d. h. ihre mechanischen und hydraulischen Eigenschaften sind in unterschiedlichen Raumrichtungen verschieden.

## Verformungsverhalten

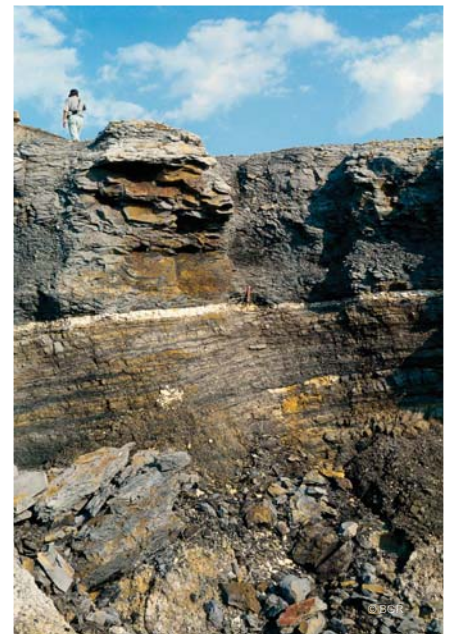
Einige Tonminerale sind quellfähig. Bei Wasserzutritt führt dies zu einer Volumenzunahme dieser Tonminerale, zum Beispiel an einer Rissoberfläche. Dadurch kann eine Selbstabdichtung von Rissen und Klüften erreicht werden.

## Hohlraumstabilität

Endlagerung in tiefen geologischen Formationen setzt generell eine ausreichende Festigkeit für die Erstellung und Offenhaltung der untertägigen Hohlräume voraus. In Tonsteinen kann die Standsicherheit der Hohlräume nur mit Sicherheitsmaßnahmen wie Spritzbeton, Ankerung und eventuell Ausbau erreicht werden. Bei unverfestigten Tonen sind diese Sicherheitsmaßnahmen besonders aufwändig und kostspielig.

## Temperaturbelastbarkeit

In Endlagern mit Tonsteinen als Wirtsgestein darf die durch die Abfallwärme hervorgerufene maximale Gebirgstemperatur 100 °C nicht überschreiten (zum Vergleich Steinsalz: 200 °C). Höhere Temperaturen führen zu Mineralumbildungen und verändern dadurch die gesteinsphysikalischen Eigenschaften der Tonminerale und damit die Barrierewirksamkeit.



Geschichteter Tonstein weist auf die sedimentäre Entstehung im Meer hin



Bohrkerne mit unterschiedlich ausgebildetem Tonstein

## Bentonit – die geotechnische Barriere

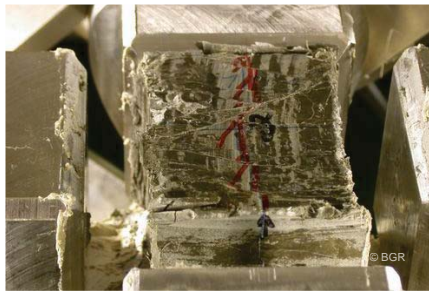
Bentonit ist ein durch mineralogische Umwandlung von zumeist vulkanischen Aschen gebildeter Tonstein. Die quellfähige Mischung aus verschiedenen Tonmineralen, Quarz, Glimmer und Feldspat soll als sogenannte geotechnische Barriere die radioaktiven Abfälle in einem Endlager im Tonstein oder im Granit abdichten. In der BGR finden Untersuchungen statt, um Bentonit zu charakterisieren. Die Experimente beschäftigen sich u. a. mit Reaktionen zwischen Bentonit und Zementporenwasser und mit der Korrosion von Stahl, der potenziell als Abfallbehälter in Bentonit eingebettet ist.

## Wie erforscht die BGR Tonsteine?

In der Schweiz hat man sich bereits auf Tonstein als Wirtsgestein für hoch radioaktive Abfälle festgelegt. Zu Forschungszwecken wurde daher das internationale Felslabor Mont Terri im 180 Millionen Jahre alten Opalinuston der Jurazeit eingerichtet. Die BGR führt dort seit 1996 Forschungsarbeiten durch. In ihre Experimente bringt die BGR auch ihr Know-how aus der Salzgesteinsforschung ein.

Untertage untersucht die BGR die gebirgsmechanischen Eigenschaften von Tonsteinen mittels geophysikalischer und geotechnischer Messungen. Daneben führt die BGR auch Versuche im gesteinsphysikalischen Prüflabor durch, in denen die thermischen, mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tonstein an Gesteinsproben aus Bohrungen untersucht werden. Die physiko-chemischen Eigenschaften werden im Tonmineralogie-Labor erforscht. Weitere Experimente beschäftigen sich mit der Ausbreitung von Radionukliden im Ton.

In einem EU-Projekt im Felslabor Mont Terri wurde die Einlagerung eines Dummy-Behälters für hoch radioaktive Abfälle im Tonstein in einem 1:1 Maßstab und über einen Zeitraum von 10 Jahren erprobt. Mit geophysikalischen Messungen wurde die Entwicklung des Wirtsgesteins sowohl nach der Einlagerung als auch nach Öffnung und Beseitigung des Versatzmaterials (Bentonit) untersucht. Zudem wurde die Entwicklung des Bentonits um den Behälter herum beobachtet. Neben der BGR waren die französische ANDRA, die spanische ENRESA und die schweizerische NAGRA beteiligt.



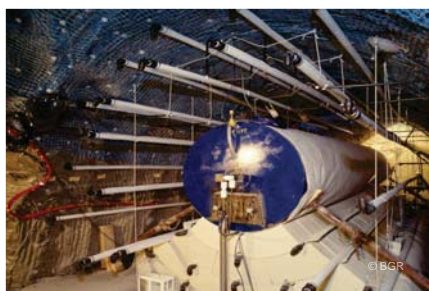
*Opalinuston-Probe nach Belastung in echt-triaxialer Prüfmachine im Labor*

Im gesteinsphysikalischen Labor untersucht die BGR wie Tonstein auf Druck, Temperatur und Änderung des Chemismus reagiert. Dies dient zusammen mit Modellberechnungen der Bewertung der Stabilität des Grubengebäudes und des Langzeitverhaltens von Tonsteinen.



*Gebirgsspannungs-Messungen mit der BGR-Überbohrsonde*

Die BGR untersucht den Spannungszustand des Gebirges. Die Ergebnisse werden für großräumige Modellberechnungen zur Anlage eines Endlagers im Tonstein verwendet, mit denen eine Prognose zum mechanischen Langzeitverhalten des Tons als Wirtsgestein ermöglicht wird.



*Nische mit Dummy-Behälter auf einem Bentonit-Bett und Instrumentierung*



*Geophysikalische In-situ-Messung, ausgehend von einer Tunnelwand*

Mit seismischen und bohrlochgeoelektrischen Messungen sowie dem Ultraschall-Verfahren bestimmt die BGR untertage zahlreiche Parameter, um das Gestein und dessen Langzeitverhalten im Umfeld untertägiger Grubenräume zu charakterisieren.



*Permeabilitäts-Messungen zur Charakterisierung der Auflockerungszone*

Auflockerungszonen um untertägige Hohlräume entstehen zwangsläufig bei der Auffahrung. Da sie potenzielle Wegsamkeiten für Schadstoffe bilden und die Standsicherheit von Grubenbauen beeinflussen können, ist deren Erforschung wichtig.



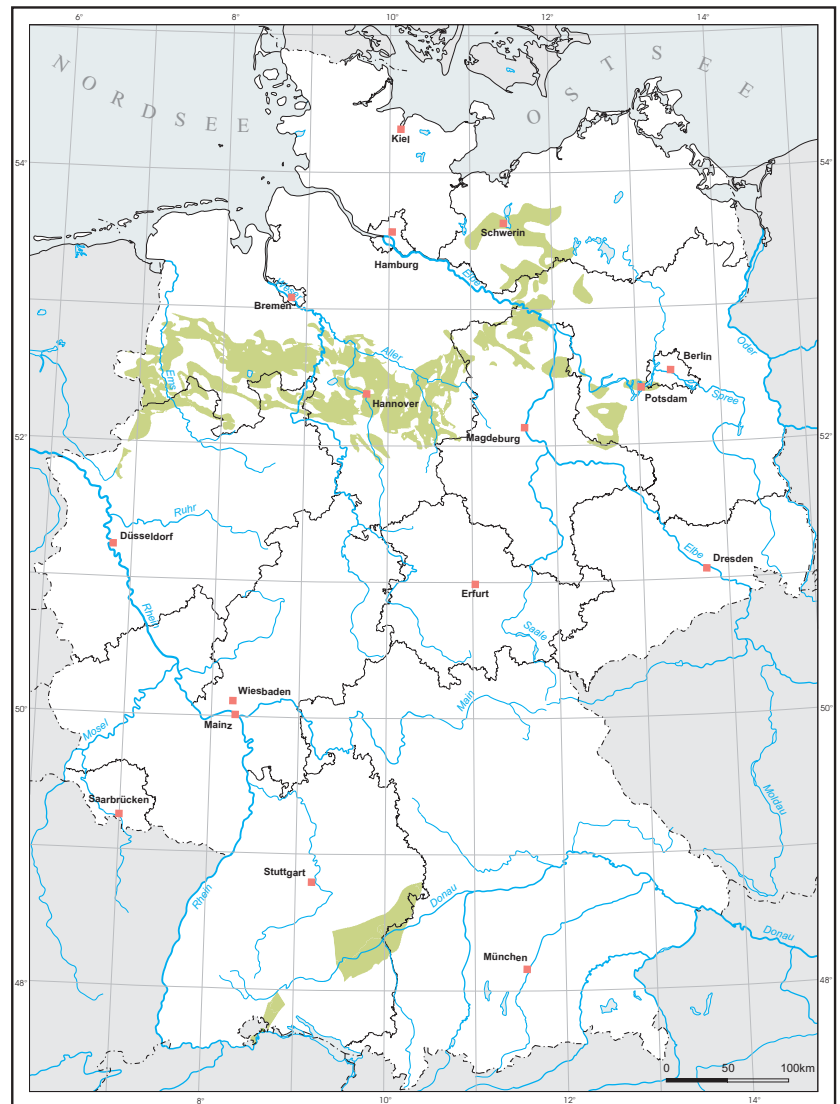
*Dieselbe Nische wie links wurde nach der Verfüllung 10 Jahre dauerüberwacht*

## Welche Tonsteininformationen sind in Deutschland untersuchungswürdig?

Die BGR erhielt im Jahre 2003 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) den Auftrag, eine Studie über die Verbreitung von Tonsteinen als potenzielle Wirtsgesteine für die Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle in Deutschland zu erstellen. Die „Tonstudie“ wurde 2007 veröffentlicht und ergänzt die zuvor erstellten BGR-Studien zu den Wirtsgesteinen Steinsalz und Kristallingestein.

In der Studie wurden die im Jahr 2002 vom Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd) aufgestellten wirtsgesteinsunabhängigen Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen zugrunde gelegt. Zusätzlich wurden weitere von der BGR aus geowissenschaftlicher Sicht als maßgeblich erachtete Abwägungskriterien bei der Auswahl der Regionen berücksichtigt.

Als Ergebnis weist die Studie in einer Übersichtskarte Tonsteinvorkommen der Unterkreide in Norddeutschland und des Jura in Nord- und Süddeutschland als untersuchungswürdig aus.



untersuchungswürdige Tonsteininformationen in Deutschland

## Deshalb Ton- und Tonsteinforschung

Im Fokus der Ton- und Tonsteinforschung der BGR steht die Charakterisierung des Wirtsgesteins, die Verwendbarkeit von Ton (Bentonit) als geotechnische Barriere sowie die Langzeitsicherheit eines Endlagers in Tonstein. Tonsteine variieren – abhängig von ihrer Entstehung – vom plastischen Ton mit Übergangsformen bis zum stark verfestigten

und geklüfteten Tonstein. Entsprechend groß sind die Unterschiede im Mineralbestand, Verformungsverhalten, der Temperaturempfindlichkeit und der Gebirgsstabilität. Das Verständnis der Prozesse und ihres Zusammenwirkens kann nur durch umfangreiche Forschungsarbeit erreicht werden.



### Ansprechpartner

Dr. Volkmar Bräuer

Abteilung: Unterirdischer Speicher- und Wirtschaftsraum

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Stilleweg 2, 30655 Hannover

Telefon: 0511/643-2436

E-Mail: volkmar.braeuer@bgr.de