



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Forschung und Entwicklung im Bereich Standortauswahl

Loccumer Atommüll-Lager Tagung 2021

Steffen Kanitz, Lisa Seidel

Loccum, 26. - 27.11.2021

Forschung und Entwicklung im Bereich Standortauswahl

Loccumer Atommüll-Lager
Tagung 2021



01

Wie forscht der Bereich Standortauswahl?

02

Laufende F&E Vorhaben im Bereich STA

03

Internationale Kooperationen

04

Endlagerbehälterentwicklung

05

Endlagerkonzepte

Forschung und Entwicklung im Bereich Standortauswahl

Loccumer Atommüll-Lager
Tagung 2021



06

Erkundungsprogramme für die übertägige Erkundung

07

Ausblick F&E Vorhaben der Standortauswahl



Wie forscht der Bereich Standortauswahl?

01

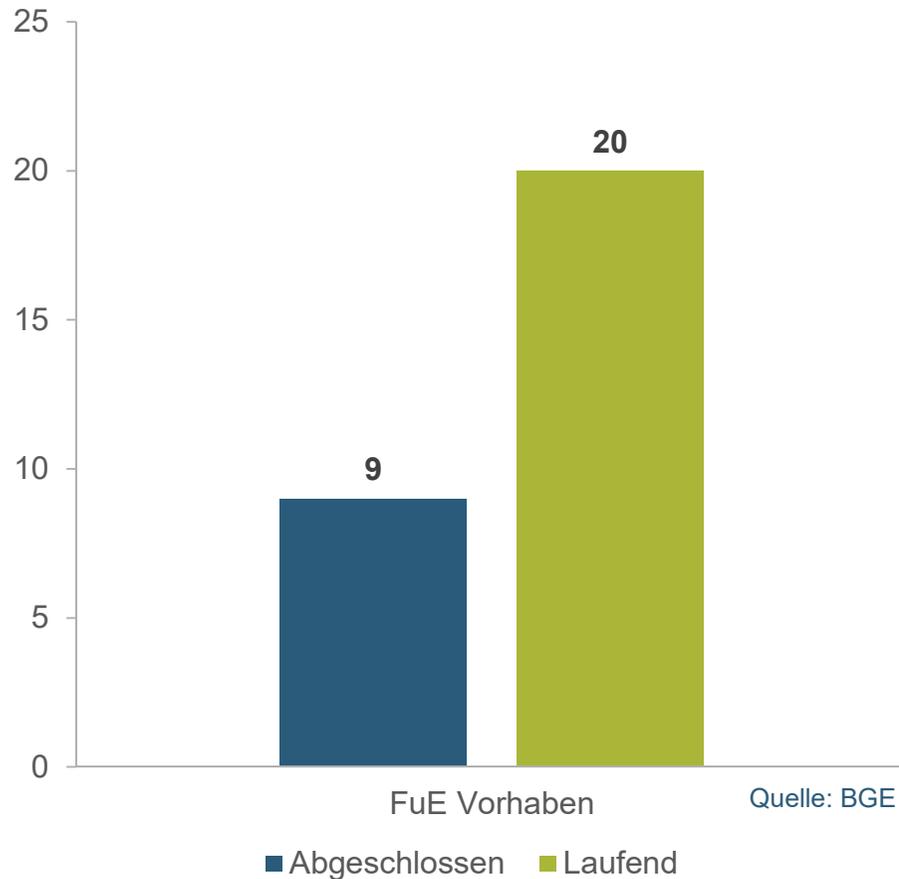
Forschungsagenda und Roadmap

- aktuelle Version veröffentlicht August 2021
- Beschreibung / Identifizierung von F&E-Fragen und Bedürfnissen für die Umsetzung der Standortauswahl
- Priorisierung und Planung von F&E-Fragen und -Bedarfen hinsichtlich Struktur und Zeitplan
- F&E-Fragen und -Bedarf gruppiert in 5 Forschungsfelder mit spezifischen Themen
 1. Verhalten radioaktiver Abfälle und Entwicklung der radiotoxischen und chemotoxischen Eigenschaften
 2. Geowissenschaftliche Fragestellungen
 3. Endlagerplanung
 4. vorläufige Sicherheitsuntersuchungen
 5. Transfer und Interaktivität zu soziotechnischen Fragen



Quelle: BGE

Entwicklung von F&E Vorhaben im Bereich STA



Abgeschlossene FuE Vorhaben

- Zeitraum von August 2018 bis Juni 2021
- 5 FuE Vorhaben mit direktem Bezug zum ZBTG

Laufende FuE Vorhaben

- Zeitraum von November 2019 bis 2030
- 10 Projekte werden im UTL Mont Terri durchgeführt (zwei Experimente laufen bis mindestens 2030)

Wie vergibt der Bereich STA F&E Vorhaben?



Forschungsaufrufe

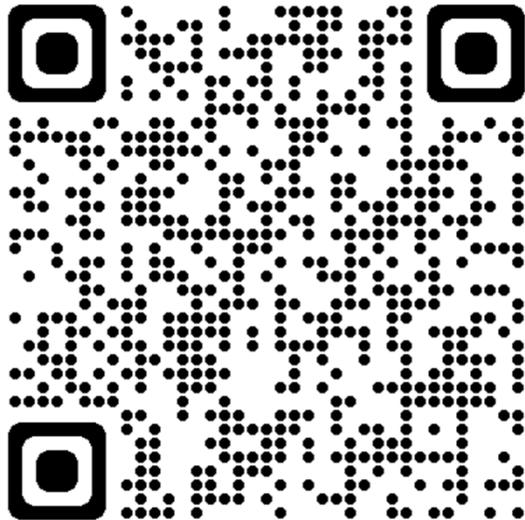
- Offene Vergabe von spezifischen Forschungsfragen über einen Aufruf auf der BGE-homepage.
- Um auch internationale Spitzenforschung anzusprechen werden die Aufrufe auch in englischer Sprache veröffentlicht.
- Eingegangene Projektskizzen von Forschungseinrichtungen wie Universitäten, der BGR oder der Privatwirtschaft werden ergebnisoffen bewertet und vergeben.

Direkte Kooperation

- Die BGE freut sich grundsätzlich über Ideen aus der wissenschaftlichen Gemeinschaft, die zu wichtigen Forschungsk Kooperationen führen können.

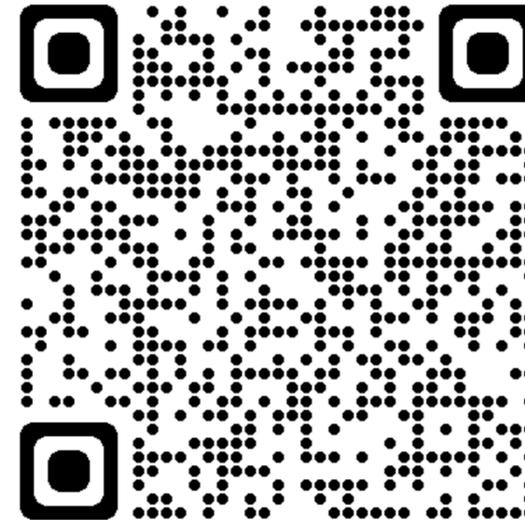
Wo können Sie sich über die Forschungsaktivitäten der BGE informieren?

Informationen zu unseren **F&E- Vorhaben** finden Sie auf der Homepage der BGE unter:



<https://www.bge.de/de/endlagersuche/forschung/>

Informationen zu unseren **Forschungsaufrufen** finden Sie auf der Homepage der BGE unter:



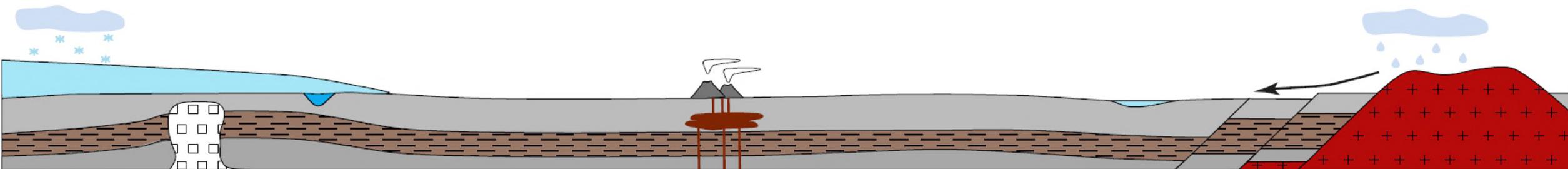
<https://www.bge.de/de/aktuelles/forschungsaufrufe/>

Forschung zu geowissenschaftlichen Fragestellungen

Ziele der Forschung zu geowissenschaftlichen Fragestellungen

- Verbesserte Charakterisierung der Eigenschaften der geologischen Barriere, bzw. des Wirtsgesteins
- Verbessertes Verständnis zur Prognose geologischer Prozesse, die die Sicherheit eines Endlagers beeinflussen
- Verbesserung der Qualität und Quantität gebietsübergreifender Datensätze

Geowissenschaftliche Forschung findet für alle **Wirtsgesteinstypen** gleichermaßen statt

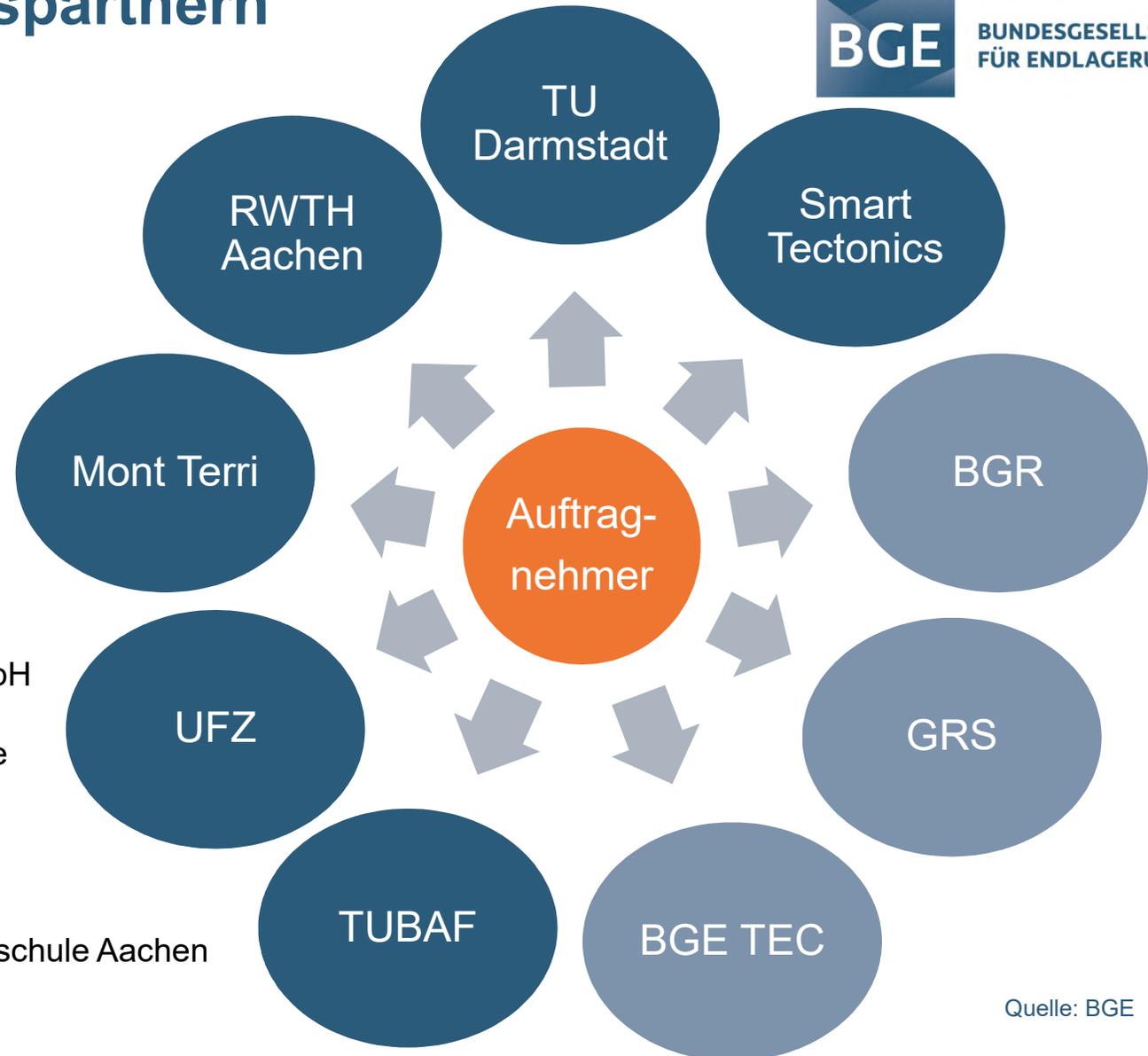


Quelle: BGE

Entwicklung von Forschungspartnern



-  Forschungspartner von abgeschlossenen und laufenden F&E Vorhaben
-  Forschungspartner von laufenden F&E Vorhaben



GRS = Gesellschaft für Anlagen- u. Reaktorsicherheit gGmbH
BGE TEC = BGE Technology
BGR = Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

TUBAF = Technische Universität Bergakademie Freiberg
UFZ = Helmholtzzentrum für Umweltforschung
Mont Terri = Untertage Labor Mont Terri Project
RWTH Aachen = Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
TU Darmstadt = Technische Universität Darmstadt

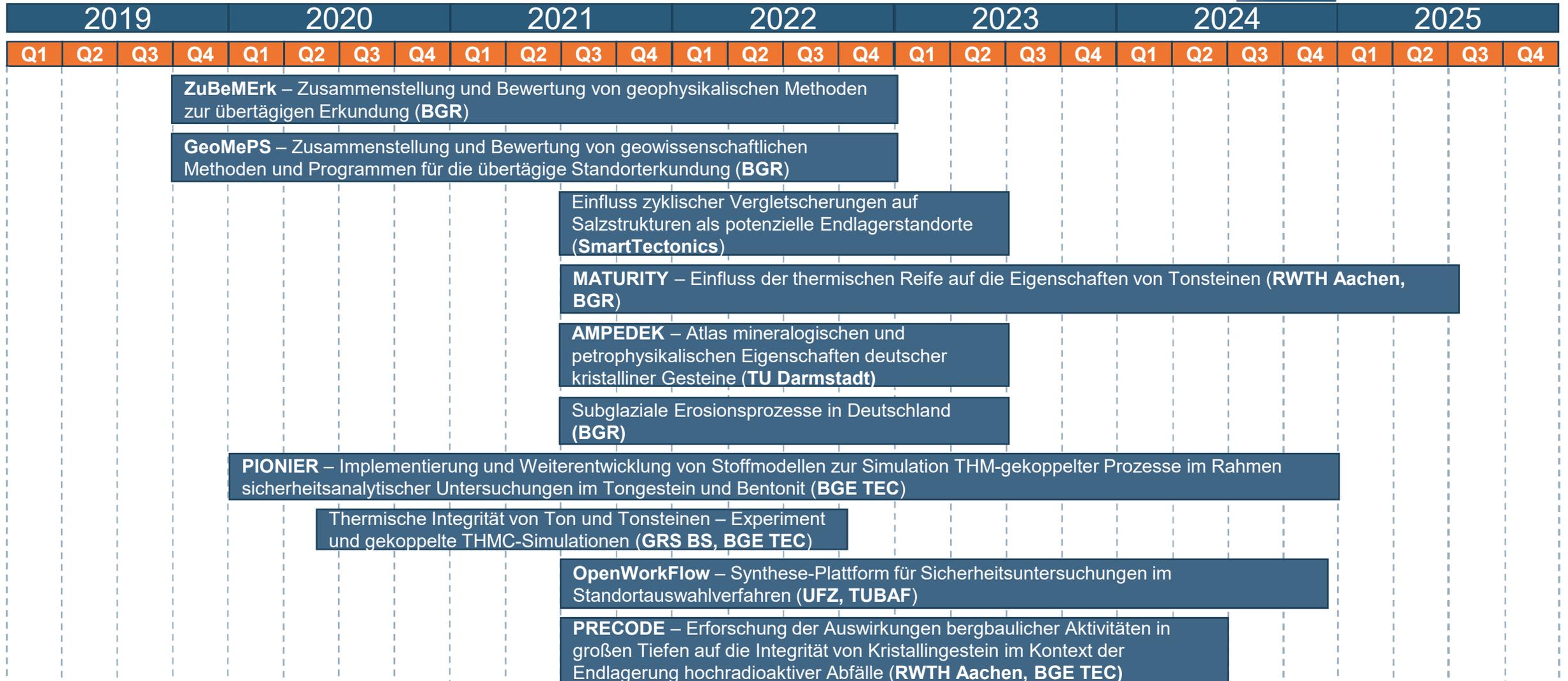
Quelle: BGE



Laufende F&E Vorhaben im Bereich STA

02

Laufende FuE Vorhaben



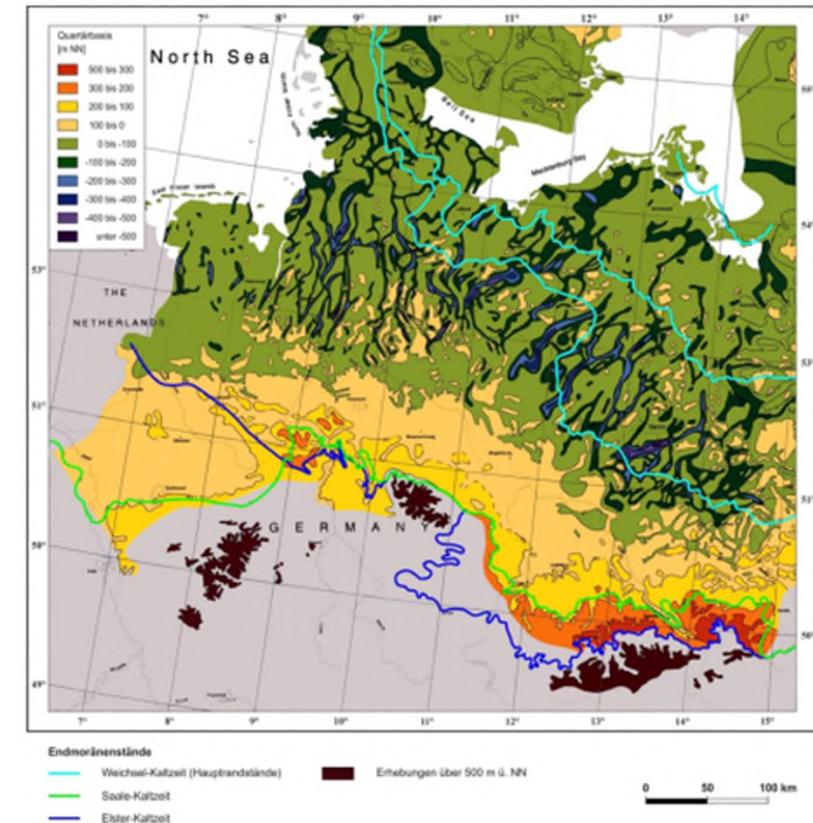
Berücksichtigung subglazialer Erosionsprozesse bei Auswahl eines Standortes für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle

Projektpartner: BGR

Volumen: Zusammenarbeitsvereinbarung zwischen BGE und BGR

Projektziel:

- Erstellung einer Prognose über die potenzielle Reichweite und ortsabhängige Tiefenwirkung möglicher zukünftiger Vergletscherungen in Deutschland
- Dabei spielen auch die in der geologischen Vergangenheit in Deutschland entstandenen, bis zu 550 m tiefen subglazialen Rinnen sowie die regionalgeologischen Gegebenheiten eine wichtige Rolle.
- Auf Basis der Ergebnisse sollen ortsabhängig Tiefenlagen für die obere Begrenzung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereiches für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle ermittelt werden.



Quelle: Weitkamp & Bebiolka (2017)

OpenWorkFlow – Synthese-Plattform für Sicherheitsuntersuchungen im Standortauswahlverfahren



Projektpartner: UFZ, TUBAF

Volumen: 4.9 Mio. €

Projektziel:

- Entwicklung einer Synthese-Plattform, die an die Anforderungen des Standortauswahlverfahrens in Deutschland angepasst ist und die Durchführung vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen sowie später die Führung eines Sicherheitsnachweises unterstützt.
- Gut dokumentiert, qualitätsgesichert und frei zugänglich („Open-Source“).

OpenWorkFlow (OWF)

Development of an open-source synthesis platform based on the OpenGeoSys concept for deep geological repositories in different host rock settings

Contact

Project coordination:
Wolfram Rühaak (BGE)
wolfram.ruehaak@bge.de
Olaf Kolditz (UFZ/TU Dresden)
olaf.kolditz@ufz.de
Thomas Nagel (TUBAF)
thomas.nage@igt.tu-freiberg.de
Uwe-Jens Görke (UFZ)
uwe-jens.goerke@ufz.de

News / Press

BGE Pressemitteilung (30.07.2021)
OGS-News @ OpenGeoSys.org

Information

Steckbrief für Forschungsvorhaben

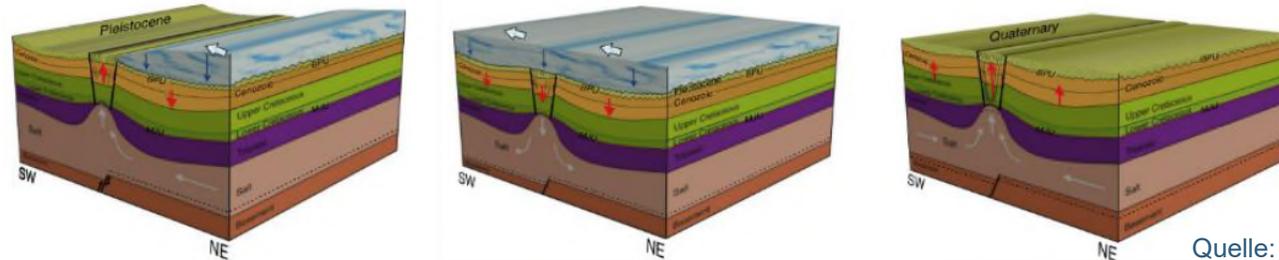
Quelle: <https://www.ufz.de/index.php?en=48378>

Einfluss zyklischer Vergletscherungen auf Salzstrukturen als potenzielle Endlagerstandorte

Projektpartner: SmartTectonics

Volumen: ca. 350.000 €

Projektziel:



Quelle: SmartTectonics¹

- Welchen Einfluss hat die wechselnde Be- und Entlastung durch Inlandseis auf Salzstrukturen im Hinblick auf das Spannungsfeld, die Mobilität und Langzeitstabilität von Salzstrukturen?
- Wie funktioniert das Zusammenspiel von wechselnder glazialer Auflast, Salzbewegung und Reaktivierung von Störungszonen im Deckgebirge von Salzstrukturen?
- Können Gebiete innerhalb von Salzstrukturen identifiziert werden, die sich bezogen auf die Langzeitstabilität als Endlagerstandort besonders eignen?
- Können geodynamische Modellrechnungen Parameter liefern, die dem Vergleich von Salzstrukturen bezüglich ihres Potentials zum sicheren Einschluss von hochradioaktiven Abfällen über geologische Zeiträume dienen?
- Was sind Ungewissheiten und Sensitivitäten der Modelle? Welches sind die Schlüsselparameter?
- Können die Simulationen reale Beobachtungen ausreichend erklären?



Internationale Kooperationen

03

Beteiligungen an internationalen Projekten

- **Aktivitäten in generischen Untertagelaboren**

- UTL Felslabor Mont Terri, Schweiz, Tongestein
- UTL Felslabor Grimsel, Schweiz – Kristallingestein
- UTL Bedretto, Schweiz – Kristallingestein



Quelle: www.mont-terri.ch

- **DECOVALEX (int. Forschungskollaboration)**

- Ziel: Gemeinsame Bearbeitung von Herausforderungen im Zusammenhang mit gekoppelten THM- und THMC-Prozessen (Modellierung gekoppelter thermischer, hydraulischer, mechanischer und chemischer Prozesse)
- Beteiligung mit der Technischen Universität Bergakademie Freiberg an einem Langzeitversuch einer Einlagerungsstrecke im Felslabor Mont Terri in der Schweiz. Das Ziel ist die Integritätsbewertung des Verbundes aus geotechnischer und geologischer Barriere

- **Michigan International Copper Analogue (MICA)**

- Untersuchung zu Korrosions- / Alterationsprozessen von metallischem Kupfer
- Unterstützung Argumente Safety Case



Endlagerbehälterentwicklung

04

BGE-Bericht „Grundlegende Anforderungen an Endlagerbehälter für hochradioaktive Abfälle“



Inhalt:

- Betrachtete Regelwerke und Dokumente (Gesetze, Verordnungen, Empfehlungen der ESK, IAEA-Dokumente, ...) zur Herleitung von Anforderungen
- Definition des Behälterlebenszyklus
 - Phase von Beginn der Fertigung bis zum Ende des Einlagerungsvorgangs
 - Phase der Rückholbarkeit
 - Phase der Bergbarkeit
 - Phase bis zum Ende des Bewertungszeitraums
- Ableitung von Anforderungen an Endlagerbehälter¹ (auf der nächsten Folie) und Zuordnung dieser zu dem Behälterlebenszyklus

Anforderungen – Produktanforderungen an Endlagerbehälter

- Abschirmung ionisierender Strahlung¹
- Aufnahme der hochradioaktiven Abfälle
- Einschluss radioaktiver Abfälle und Integrität des Endlagerbehälters
- Handhabbarkeit
- Herstellbarkeit
- Identifizierbarkeit
- Kritikalitätsausschluss
- Robustheit²
- Temperatur an der Behälteraußenwand³
- Temperatur im Behälterinneren
- Verträglichkeit mit anderen Barrieren

^{1,2,3} ggf. durch weitere Maßnahmen (z. B. Verpackungen) umsetzbar

Behälterentwicklung – Vorgehensweise

Behälterentwicklung erfolgt **wirtsgesteinsspezifisch**, d. h. für jedes Wirtsgestein eine separate Bearbeitung

Reihenfolge (zeitversetzt):

- Kristallines Wirtsgestein (mit und ohne einschlusswirksamen Gebirgsbereich):
Ausschreibung ist veröffentlicht (01/21), kurz vor der Zuschlagserteilung
- Tongestein und Steinsalz befinden sich in der Vorbereitung

KBS-3 Endlagerbehälter von Finnland/Schweden für Kristallingestein



Quelle: Posiva, aufgerufen am 09.11.2021

<https://www.posiva.fi/material/collections/20201009130515/7KylPkJWj/kapseli.jpg>

Behälterentwicklung – Ziele und Inhalte der Bearbeitung



- Darstellung des **Standes von Wissenschaft und Technik** und Konkretisierung der **Produktanforderungen** an Endlagerbehälter
 - Anpassung, Optimierung und Erweiterung vorhandener und Ideensammlung für neue **Endlagerbehälterkonzepte** unter Berücksichtigung der Anforderungen an Endlagerbehälter sowie **begründeter Vorschlag von ein bis drei weiterzuverfolgenden Konzepten (pro Wirtsgestein)**
 - **Detaillierung und konstruktive Auslegung** der ausgewählten Endlagerbehälterkonzepte unter Berücksichtigung der Anforderungen
 - **Sicherheits- und Nachweiskonzept** einschl. **Arbeits- und Versuchsprogramm** für (nachlaufende) **Nachweisführung**
- ➔ In allen Arbeitspaketen wird auch der Forschungs- und Entwicklungsbedarf hergeleitet.



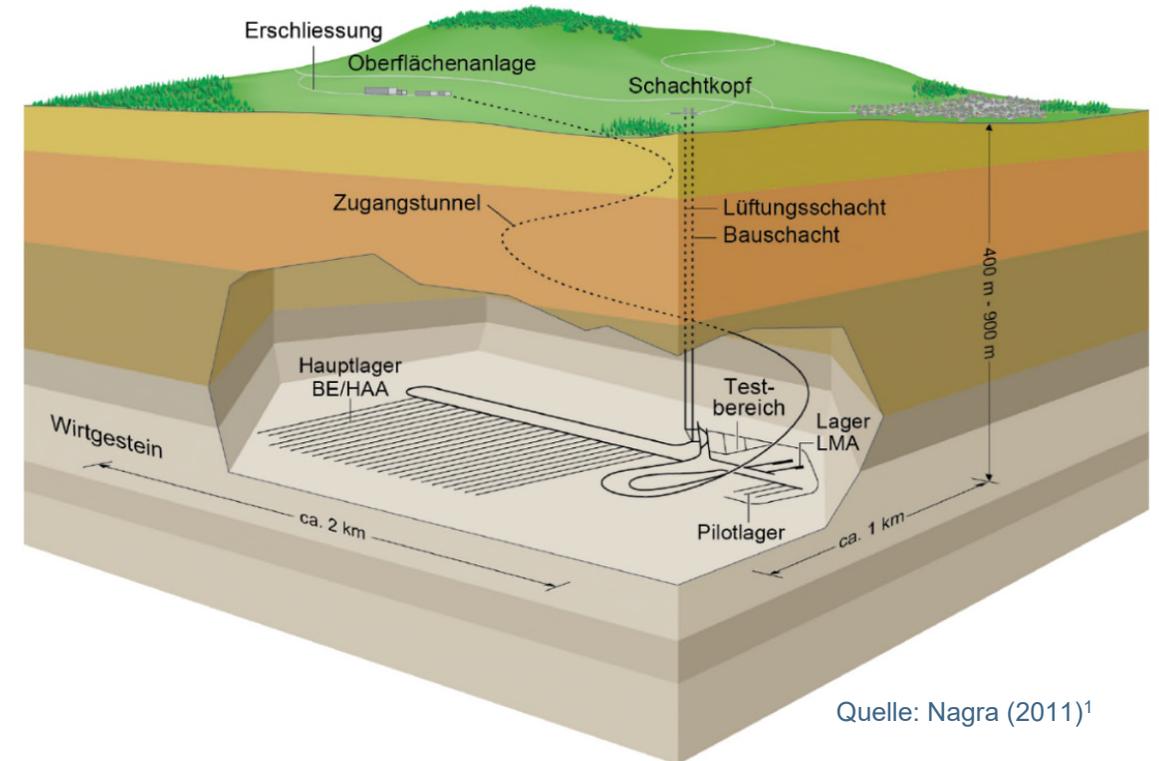
Endlagerkonzepte

05

Komponenten eines Endlagers (Auszug)

- Tagesanlagen
- Tageszugänge (Schacht/Rampe)
- Endlagerbergwerk (unter Tage)
 - Infrastrukturräume (z. B. Werkstätten, Sozialräume)
 - Streckensysteme
 - Endlagertechnik (z. B. Teilschnittmaschinen, Transportmittel, Einlagerungstechnik, Verfülltechnik)
 - Einlagerungsstrecken/Bohrlöcher
 - Endlagergebäude und Versatz- und Verfüllmaterial
 - Abdichtbauwerke (Schacht- und Streckenverschlüsse)

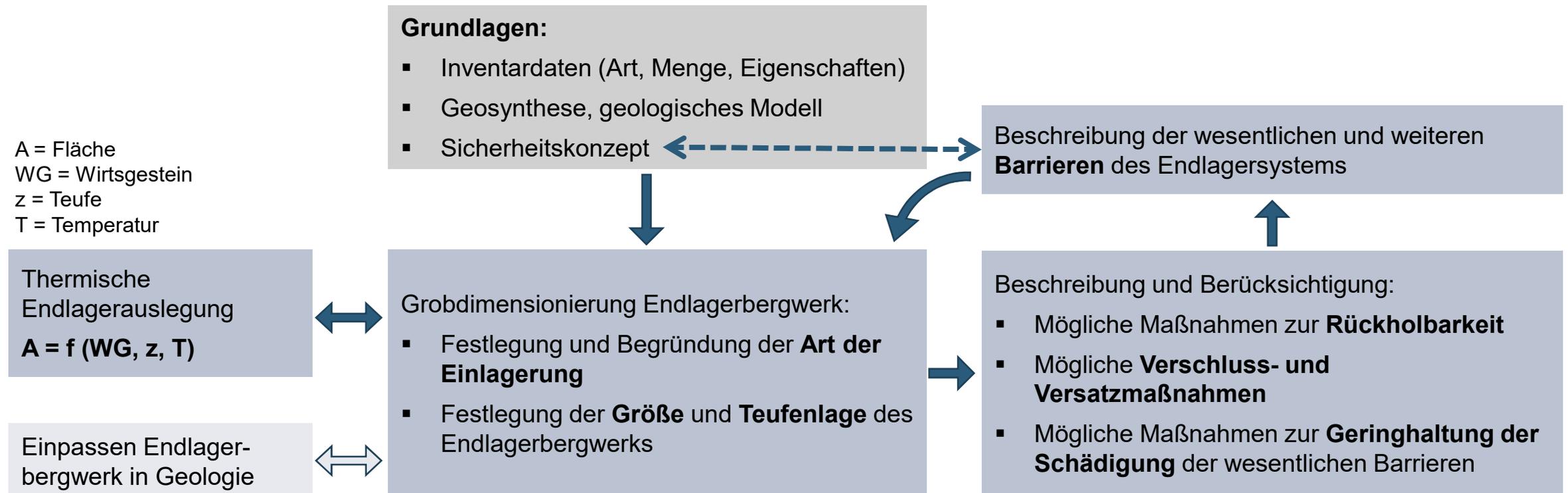
Beispiel: Darstellung einer möglichen Auslegung des Endlagers für hochradioaktive Abfälle in der Schweiz



¹ Vorschläge zur Platzierung der Standortareale für die Oberflächenanlage der geologischen Tiefenlager sowie zu deren Erschliessung - Genereller Bericht. Technischer Bericht 11-01. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra). Wettingen, Schweiz

Vorläufige Auslegung des Endlagers gemäß § 6 Abs. 4 EndlSiUntV

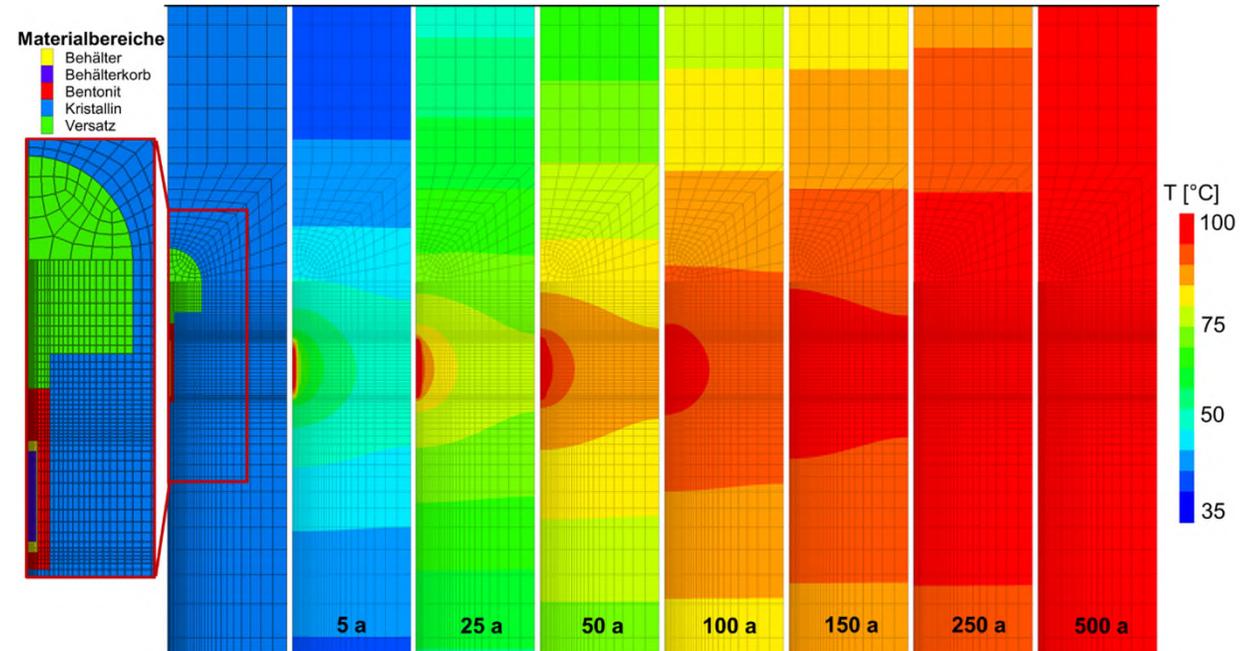
Vorgehensweise



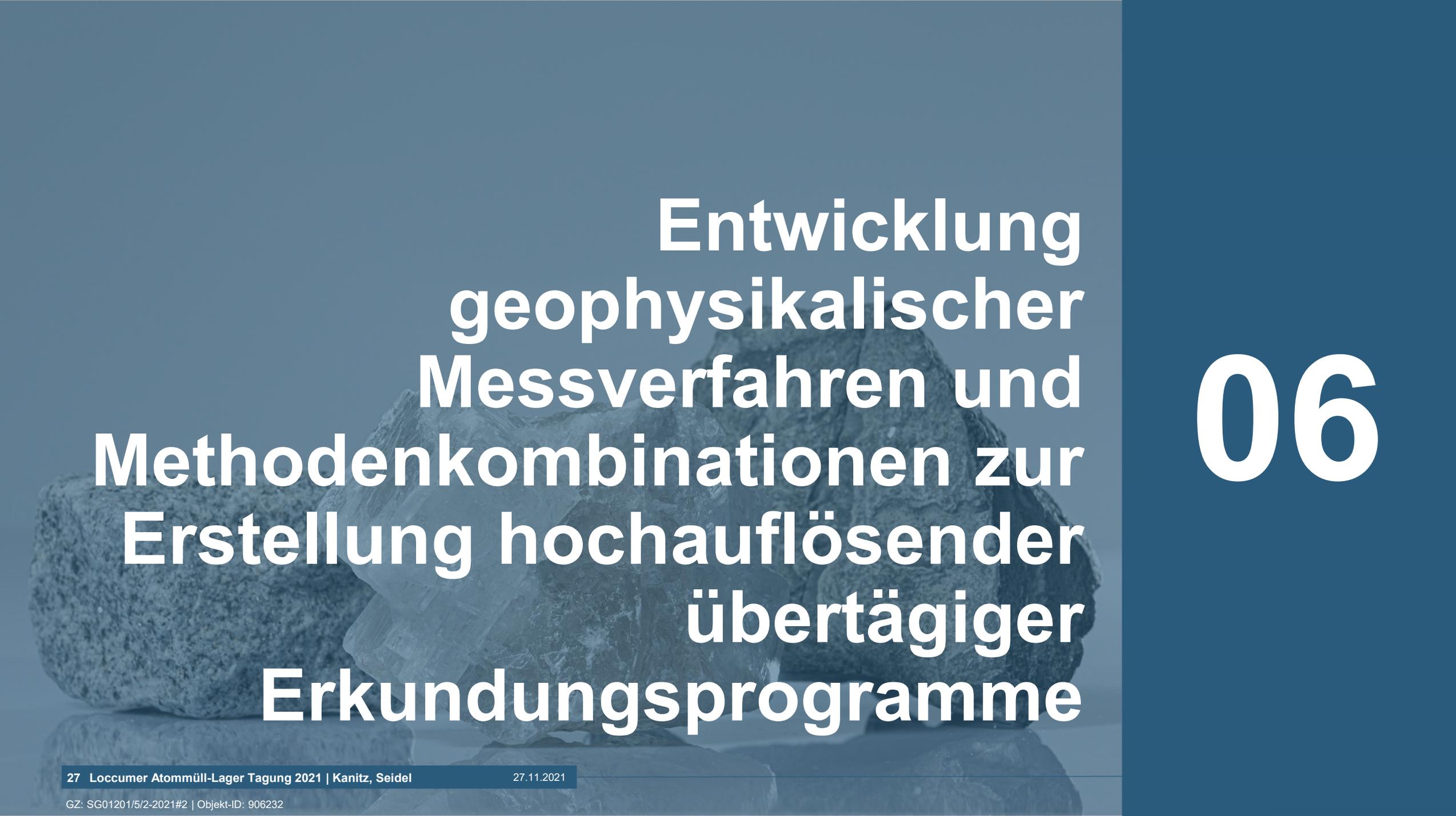
Teufenabhängiger Flächenbedarf – Berechnung

- Zusammenarbeit mit BGE TEC
 - Erhöhter Flächenbedarf bei größerer Teufe
 - Geothermischer Gradient
 - Gebirgsdruck
 - Analyse des Flächenbedarfs basierend auf numerischen Temperaturfeldsimulationen
 - Grenztemperatur an Behälteroberfläche von 100 °C
 - Annahme geothermischer Temperaturgradient: 3 °C / 100 m
- und bergbaulichen Betrachtungen

Illustration: repräsentative zeitliche Temperaturentwicklung um ein Endlagergebäude für den Fall der vertikalen Bohrlochlagerung in kristallinem Wirtsgestein



Quelle: BGE TEC



Entwicklung geophysikalischer Messverfahren und Methodenkombinationen zur Erstellung hochauflösender übertägiger Erkundungsprogramme

06

Entwicklung geophysikalischer Messverfahren und Methodenkombinationen...

Anliegen des Vorhabens

- Einsatz neuer Erkundungstechnologien in der Praxis
- Zusammenführen komplementärer innovativer Verfahren
- Entwicklung von methodischen Ansätzen zur gemeinsamen Inversion von Datensätzen unterschiedlicher Messverfahren
- Entwicklung neuer gemeinsamer Interpretationsansätze (interpretative Überlagerung mehrerer Verfahren)
- Verifizierung der Ergebnisse der Oberflächengeophysik durch Bohrungen, Bohrlochmessungen und Laborversuche

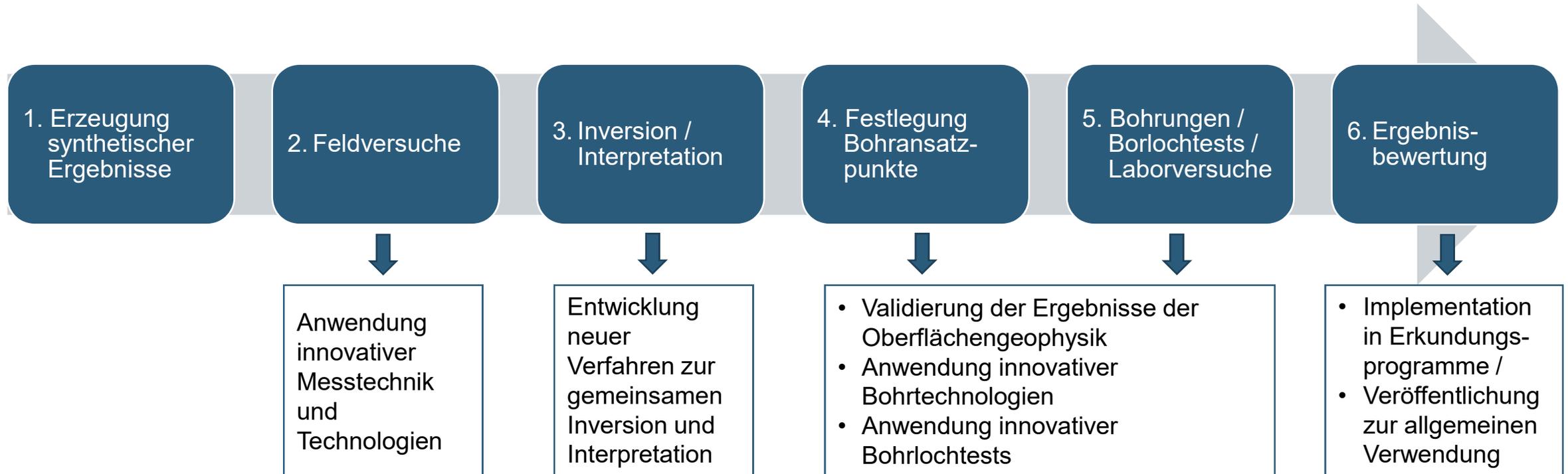


Quelle: BGE

Entwicklung geophysikalischer Messverfahren und Methodenkombinationen...

Vorhabenablauf

Zwei parallele Testgebiete (ausserhalb von Teilgebieten): 1x Fokus Kristallines Wirtsgestein, 1x Fokus Deckgebirge





Ausblick F&E Vorhaben der Standortauswahl

07

Ungewissheiten und Robustheit mit Blick auf die Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle



Themenfeld	Titel	Forschungsverbund
1	Risiko, Zuverlässigkeit und die Charakterisierung von Ungewissheiten	Leibniz Universität Hannover/Institut für Risiko und Zuverlässigkeit
2	Quantifizierungsmöglichkeiten von Ungewissheiten und Robustheit	TUBAF/TU Chemnitz/UFZ/BGR
3	Regulatorische Aspekte beim Umgang mit Ungewissheiten und Robustheit	TU Clausthal/Universität Kassel
4	Physikbasierte Szenarienmodellierung und Impaktmodelle	RWTH Aachen, Universität Stuttgart
4	Physikbasierte Szenarienmodellierung und Impaktmodelle	GRS/PIK
5	Ungewissheiten bei der Beschreibung von Gebieten	RWTH Aachen/University of Aberdeen/BGR

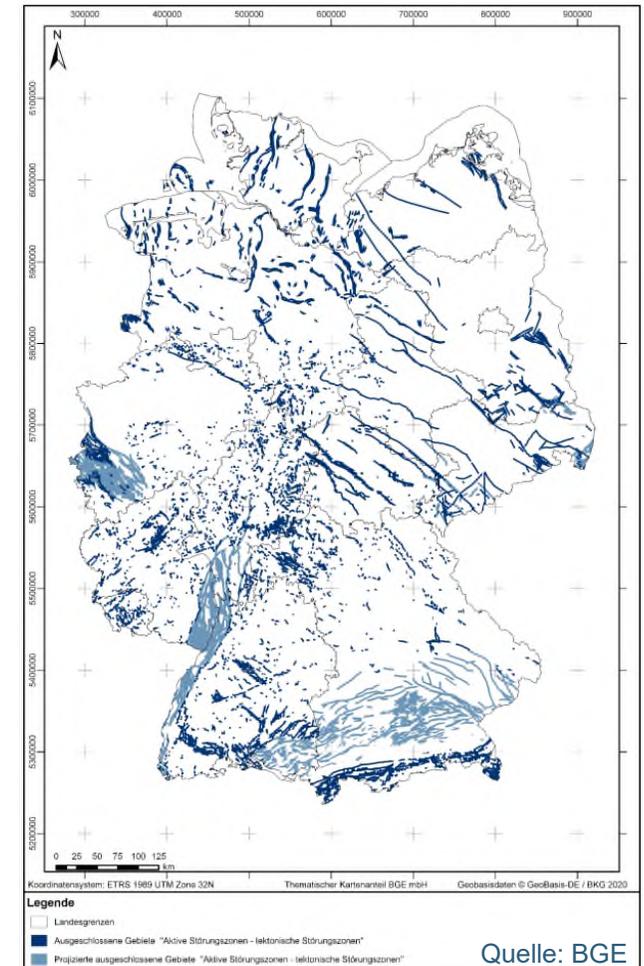
F&E-Projekt Neotektonische Aktivität in Mittel- und Süddeutschland

Identifizierung, strukturgeologische Bewertung und Erstellung einer Datenbank mit aktiven Störungzonen (2022-2024)

Projektziel:

- Strukturgeologisch sinnvolle **Vervollständigung der Daten**, der für den Zwischenbericht Teilgebiete identifizierten Störungsspurensegmente.
- Ableitung von kinematischen Eigenschaften und Sprungbeträgen der Störungzonen.
- **Identifizierung neuer aktiver Störungzonen** durch die Analyse der Topographie anhand von hochauflösenden digitalen Geländemodellen.
- Entwicklung einer Methode zur Bestimmung von **individuellen** Sicherheitsabständen um aktive Störungzonen.
- **Erweiterung der Datenquantität und -qualität aktiver Störungzonen**

Karte der ausgeschlossenen Gebiete „Aktive Störungzonen“ zum Stand des Zwischenberichts Teilgebiete.



Quelle: BGE

Weitere Forschungsauftrufe zu geowissenschaftlichen Fragestellungen auf der Zielgeraden



Laufende Forschungsauftrufe

- **Quantifizierung und Prognose von Erosionsprozessen in Deutschland** (Forschungsauftrag ist abgelaufen)
- **Auswirkungen von Subrosion auf die Barrierewirkung des ewG und des Deckgebirges eines potentiellen Endlagerstandortes für hochradioaktive Abfälle** (Forschungsauftrag ist abgelaufen)

Weitere direkte Kooperationen mit unterschiedlichen potentiellen Partnern befinden sich in Abstimmung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit! Sie wollen noch einmal nachlesen?



- [Die interaktive Einführung zur Erstellung des Zwischenberichts und zu allen Kriterien und Anforderungen](#)
- [Ihre Fragen und unsere Antworten](#)
- [Den Zwischenbericht Teilgebiete mit allen Unterlagen und Anlagen](#)
- [Eine eigene Seite zu jedem Teilgebiet](#)
- [Eine interaktive Karte mit allen Teilgebieten und identifizierten Gebieten sowie den ausgeschlossenen Gebieten](#)
- [Steckbriefe für die Gebiete zur Methodenentwicklung](#)

Kontakt: dialog@bge.de

[**www.bge.de**](http://www.bge.de)
www.einblicke.de





BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

Steffen Kanitz, Lisa Seidel
Standortauswahl

Eschenstraße 55 | 31224 Peine

www.bge.de
www.einblicke.de



@die_BGE